



Funded by the
European Union



Smart Products and Service Engineering

PRIRUČNIK O PAMETNIM PROIZVODIMA I USLUGAMA



Funded by the
European Union



Disclaimer

“Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or EACEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.”



SADRŽAJ

1. UVODNA RAZMATRANJA.....	5
2. INDUSTRIJA 4.0	6
2.1 UVOD	6
2.2 EPOHE INDUSTRIJSKOG RAZVOJA	6
2.2.1 Industrija 4.0.....	7
2.2.2 Cyber-fizički sistemi (CPS).....	10
2.2.3 Internet stvari (IoT)	11
2.2.4 Internet usluga (IoS)	11
2.2.5 Pametne fabrike	11
2.2.6 Veštačka inteligencija.....	11
2.2.7 Veliki podaci i analitika podataka	12
2.2.8 Senzorske tehnologije.....	12
2.2.9 Digitalni blizanci	12
2.3 PAMETNI PROIZVODI	13
2.4 MODEL REFERENTNE ARHITEKTURE INDUSTRIJE 4.0 (RAMI4.0)	14
2.4.1 Opis modela.....	14
2.4.2 Slojevi modela referentne arhitekture (Layers)	15
2.4.3 Životni ciklus i lanac vrednosti (Life Cycle & Value Stream)	17
2.4.3.1 Životni ciklus (Life Cycle).....	17
2.4.3.2 Lanac vrednosti (Value Streams)	18
2.4.4 Hijerarhijska ravan (Hierarchy Levels)	18
2.4.5 Kriterijumi za proizvode industrije 4.0.....	18
2.5 LITERATURA	19
3. MODELI RAZVOJA PAMETNIH PROIZVODA	21
3.1 DEFINICIJA PROIZVODA	21
3.2 ZADATAK TEHNIČKOG PROIZVODA	22
3.3 FAZE PROCESA NASTAJANJA PROIZVODA	23
3.4 PLANIRANJE PROIZVODA	24
3.4.1 Identifikacija potencijala za uspeh u ranoj fazi	24
3.4.2 Selekcija inovativnih ideja.....	24
3.4.3 Konkretnizacija koncepta	25
3.4.4 Evaluacija i izbor.....	25
3.5 RAZVOJ I KONSTRUISANJE PROIZVODA.....	25
3.5.1 Uloga i značaj razvoja proizvoda	25
3.5.2 Modeli procesa razvoja i konstruisanja	26
3.5.2.1 Model VDI 2222	26
3.5.2.2 Model VDI 2221	28
3.5.2.3 Model VDI 2206	30
3.5.3 Glavne faze procesa razvoja i konstruisanja	32
3.5.3.1 Određivanje zahteva i definisanje liste zahteva	32
3.5.3.2 Koncipiranje konstrukcije	34
3.5.3.3 Preliminarna konstrukcija – načrt	38
3.5.3.4 Detaljno konstruisanje – razrada	38
3.6 PRINCIPI RAZVOJA PAMETNIH PROIZVODA	39
3.6.1 Interoperabilnost.....	40
3.6.2 Virtuelizacija	40
3.6.3 Decentralizacija	41
3.6.4 Mogućnost u realnom vremenu	41
3.6.5 Orientacija ka uslugama	41
3.6.6 Modularnost.....	42
3.7 LITERATURA	42
4. IT ALATI ZA RAZVOJ PAMETNIH PROIZVODA I USLUGA	43



4.1	INFORMACIONE TEHNOLOGIJE.....	43
4.1.1	Evropska digitalna budućnost.....	43
4.1.2	Računarski sistem.....	46
4.1.3	Nauka o algoritmima	48
4.1.4	Elementi softvera.....	49
4.1.5	Programski jezik.....	50
4.1.6	Internet.....	52
4.1.7	Mrežna komunikacija	54
4.1.8	Računarske mreže.....	56
4.1.9	Topologije mreža.....	56
4.1.10	Kategorije mreža.....	61
4.1.11	Mrežni protokoli	63
4.1.12	Računarstvo u oblaku	67
4.2	VEŠTAČKA INTELIGENCIJA.....	72
4.2.1	Definicija veštačke inteligencije.....	72
4.2.2	Istorijski razvoj veštačke inteligencije	72
4.2.3	Zadaci i primene veštačke inteligencije	78
4.2.4	Sredstva za ostvarenje veštačke inteligencije	80
4.2.4.1	Pretraživanje i optimizacija.....	80
4.2.4.2	Logika	81
4.2.4.3	Metode verovatnoće za neizvesno odlučivanje	81
4.2.4.4	Klasifikatori i statističke metode učenja	81
4.2.4.5	Veštačke neuronske mreže	82
4.2.5	Budućnost i izazovi veštačke inteligencije	82
4.2.6	EU strategija i regulativa u oblasti veštačke inteligencije	83
4.3	VELIKI PODACI I ANALITIKA PODATAKA.....	86
4.3.1	Evropska strategija za podatke	87
4.3.2	Podaci nekada i danas	88
4.3.3	Karakteristike velikih podataka – 3Vs model	89
4.3.4	Struktura podataka	90
4.3.4.1	Strukturirani podaci	91
4.3.4.2	Nestrukturirani podaci	92
4.3.4.3	Polustrukturirani podaci	92
4.3.4.4	Kvazistrukturirani podaci	93
4.3.5	Lanac vrednosti velikih podataka	93
4.3.5.1	Generisanje podataka	94
4.3.5.2	Prikupljanje podataka	94
4.3.5.3	Prethodna obrada podataka	95
4.3.5.4	Skladištenje podataka	95
4.3.5.5	Analiza podataka	96
4.3.5.6	Vizuelizacija podataka	97
4.3.5.7	Izlaganje podataka	97
4.3.6	Korelacija između količine podataka i analitike	97
4.3.7	Put od nestrukturiranih podataka do praktičnih uvida	98
4.3.8	Metode zaključivanja	99
4.3.8.1	Deduktivno zaključivanje	100
4.3.8.2	Induktivno zaključivanje	100
4.3.9	Vrste analitike podataka	101
4.3.9.1	Deskriptivna analitika	101
4.3.9.2	Dijagnostička analitika	101
4.3.9.3	Prediktivna analitika	102
4.3.9.4	Preskriptivna analitika	102
4.3.10	Životni ciklus analitike podataka	102
4.3.11	Budućnost velikih podataka u razvoju pametnih proizvoda i usluga	105
4.4	INTERNET I SENZORSKE TEHNOLOGIJE.....	105
4.4.1	Zašto je IoT važan?	105
4.4.2	Praktične aplikacije IoT sistema	106
4.4.3	Umrežavanje i internet povezivanje uređaja	112



4.4.4	Uloga IoT u razvoju pametnih proizvoda	113
4.4.5	Evropska praksa IoT tehnologija.....	114
4.5	SIMULACIJA I DIGITALNI BLIZANCI.....	115
4.5.1	Koreni digitalnog blizanca.....	118
4.5.2	Suštinski koncept digitalnog blizanca	121
4.5.3	Razumevanje tehnologije digitalnih blizanaca	122
4.5.4	Nivoi integracije digitalnog blizanca.....	123
4.5.5	Klasifikacija na bazi modelovanja.....	125
4.5.6	Sastavni elementi digitalnog blizanca	127
4.5.7	Modeli podataka digitalnog blizanca.....	128
4.5.8	Kako funkcioniše tehnologija digitalnog blizanca.....	129
4.5.9	Uloga softvera za digitalnog blizanca.....	129
4.5.10	Arhitektura digitalnog blizanca.....	130
4.5.11	Opšta šema Inteligentnog digitalnog blizanca	132
4.5.12	Arhitektura inteligentnog digitalnog blizanca.....	133
4.5.13	Početak rada sa digitalnim blizancem.....	135
4.5.14	Digitalni blizanac za predviđanje budućnosti	136
4.5.15	Digitalni blizanci i simulacije	137
4.5.16	Simulacioni digitalni blizanac	139
4.5.17	Prednosti korišćenja tehnologije digitalnih blizanaca	140
4.5.18	Pregled primene tehnologije digitalnih blizanaca	141
4.5.19	Primeri pametnih gradova.....	142
4.5.20	Budućnost tehnologije digitalnih blizanaca	143
4.6	LITERATURA	145
5.	DEFINISANJE EFIKASNOG POSTUPKA RAZVOJA NOVE GENERACIJE PAMETNIH PROIZVODA I USLUGA	147
5.1	HOLISTIČKI PRISTUP.....	147
5.2	SISTEMSKI INŽENJERING.....	149
5.3	PRIKAZ NOVOG V-MODELA ZA INŽENJERING PAMETNIH SISTEMA	152
5.3.1	Uvod	152
5.3.2	Struktura	152
5.3.3	Osnovne aktivnosti i zadaci	153
5.3.3.1	Ispunjene zahteva.....	153
5.3.3.2	Arhitektura sistema i projektovanje	153
5.3.3.3	Implementacija elemenata sistema.....	154
5.3.3.4	Integracija i verifikacija sistema	154
5.3.3.5	Validacija i tranzicija	155
5.4	ASPEKTI HOLISTIČKOG PRISTUPA	155
5.5	APLIKATIVNI ZNAČAJ	156
5.6	LITERATURA	157



1. UVODNA RAZMATRANJA

Priručnik je nastao u okviru projekta SPaSE (Smart Products and Services Engineering) finansiranog od strane Erasmus+ programa Žan Mone modul Evropske unije (broj projekta 101047566-JMO-2021-HEI-TCH-RSCH).

Projekat zajednički realizuju nastavnici i saradnici sa dva fakulteta Univerziteta u Nišu – Elektronskog fakulteta u Nišu (prof. dr Marko Milojković – koordinator projekta, prof. dr Dragan Antić, prof. dr Zoran Nikolić, doc. dr Staniša Perić, doc. dr Miroslav Milovanović, doc. dr Miodrag Spasić) i Mašinskog fakulteta u Nišu (prof. dr Vojislav Miltenović, prof. dr Milan Banić, prof. dr Aleksandar Miltenović, master inž. Dragana Dimitrijević Jovanović).

Ključni ciljevi SPaSE modula su:

- Sticanje neophodnih znanja i veština od strane studenata master studija tehničkih fakulteta iz oblasti inovacija i kreativnih tehnika za razvoj pametnih tržišno konkurentnih proizvoda i usluga
- Ovladavanje metodama, modelima i IT alatima primenljivim u efikasnom inženjeringu nove generacije pametnih proizvoda i usluga
- Prenos stečenih inženjerskih kompetencija u oblasti pametnih proizvoda i usluga na privredne subjekte u regionu
- Efikasnije korišćenje raspoloživih ljudskih resursa i brža integracija regiona u primeni evropskih dostignuća u ovoj oblasti

Priručnik je sačinjen od uvodnih razmatranja i četiri tematska poglavlja. Poglavlje **Industrija 4.0** daje osvrt na istorijske epohe industrijskog razvoja zaključno sa pojavom Industrije 4.0 i pametnim proizvodima i uslugama kao njenim ishodima. Na njega se nadovezuje poglavlje **Modeli razvoja pametnih proizvoda** koji opisuje faze procesa nastajanja pametnih proizvoda kao i glavne modele njihovog razvoja i konstruisanja. Nakon toga, sledi poglavlje **IT alati za razvoj pametnih proizvoda i usluga** koje se nakon uvida o informacionim tehnologijama detaljnije bavi konkretnim alatima za razvoj pametnih proizvoda i usluga (veštačka inteligencija, veliki podaci i analitika podataka, internet i senzorske tehnologije, i simulacija i digitalni blizanci). Završno poglavlje priručnika **Definisanje efikasnog postupka razvoja nove generacije pametnih proizvoda i usluga** posvećeno je holističkom pristupu razvoju pametnih proizvoda zasnovanom na novom V-modelu inženjeringu.

Priručnik može biti od koristi za edukaciju studenata tehničkih fakulteta za sticanje stručnih kompetencija i inovacione spremnosti u oblasti razvoja proizvoda, kao i za razvojne inženjere u industriji za razvoj pametnih tržišno konkurentnih proizvoda i usluga.

Priručnik će takođe imati za cilj da donosiocima odluka pruži smernice za efikasan razvoj pametnih proizvoda i usluga, kao i da usmerava svaku organizaciju koja želi da razvije svoje kapacitete za sprovođenje adekvatnih politika.



2. INDUSTRIJA 4.0

2.1 Uvod

Zahvaljujući brzom napredku informaciono komunikacionih tehnologija (ICT) poslednjih godina došlo je do velikih promena u oblasti razvoja, izrade i eksploatacije industrijskih proizvoda. Internet ima veliki uticaj na industrijske proizvode, poslovne procese i organizaciju, pa se došlo do pojma internet svega („Internet of Everything“). On obuhvata internet podataka, ljudi, usluga i stvari.

Internet stvari (Internet Of Things (IoT)) predstavlja novu vrstu komunikacije između inteligentnih uređaja. Praktično nastaje paralelni internet u kome „things“ komuniciraju međusobno, razmenjuju informacije, upravljaju jedni drugima, reaguju i utiču na okruženje u kome se nalaze i to bez uticaja ljudi.

Ovakav trend doveo je do Industrije 4, koja nudi ogroman potencijal za poboljšanje i uspeh ne samo u oblasti proizvodnje, već pre svega za inovacije proizvoda. Dolazi se do efikasnog inženjeringu nove generacije pametnih proizvoda i usluga, kao i u njihovom marketingu korišćenjem novih poslovnih modela. Da bi mogla uspešno da iskoriste ovaj potencijal industrijska preduzeća suočena su sa velikim procesom transformacije odnosno radikalnim promenama, gde moraju da savladaju mnoštvo izazova.

Fokus ovih promena u največoj meri vezan je sa modelima procesa, metodama, IT alatima i informacijskim modelima u razvoju pametnih proizvoda i usluga. Razvoj proizvoda i usluga najvažnija je faza inženjeringu, budući da u ovoj fazi leži najveći inovacioni potencijal i određuju se karakteristike budućih proizvoda.

2.2 Epohe industrijskog razvoja

Epohe industrijskog razvoja često se nazivaju „industrijskom revolucijom“. Industrijska revolucija, u modernoj istoriji predstavlja, **proces promene od agrarne i zanatske privrede u ekonomiju kojom dominiraju industrija i proizvodnja mašina**. Ove tehnološke promene uvele su nove načine rada i života i fundamentalno transformisale društvo.

Četvrta od takvih industrijskih revolucija (Industrija 4.0) dovela je do neverovatno brzih promena koje su posledica izuzetno brzog razvoja nauke i tehnike. Prve naznake 4 industrijske revolucije pojavile su se 2001 godine da bi kroz 10 godine pojedine zemlje formirale radne grupe za definisanje nacionalnih strategija visoke tehnologije. Za adekvatno razumevanje trendova I4 neophodan je osvrt na ranija dešavanja u ovoj oblasti. Osvrt će biti dat prvenstveno sa aspekta proizvoda u pojedinim periodima.

Računa se da je prva industrijska revolucija počela 1784 godine primenom parne mašine. Na mapi puta najvažnijih tehničkih prekretnica to je primena parne mašine za pogon mehaničkog razvoja Edmond Cartwright (sl. 2.2). Dakle ovaj period karakteriše prelazak sa ručne proizvodnje na mašinsku proizvodnju uz korišćenje parne mašine i vodnih turbina (sl. 2.1). Najviše je korišćen u tekstilnoj industriji i rудarstvu, ali i u poljoprivredi, brodogradnji. Doprino je da pojам „fabrika“ dobije na značaju. Dakle ključni proizvodi su **parna mašina i vodne turbine**, koje su korišćene kao pogonske mašine u proizvodnji. Glavni pokretači prve industrijske revolucije bile su klasične inženjerske nauke (tabela 2.1).



Naznake druge industrijske revolucije potiču iz 1850.godine, ali se smatra da je nastala u periodu 1870 i 1914.godine. Kao početak uzima se 1870.godina kada je uvedena u pogon transportna traka za obradu mesa u Sinsinatiju (sl. 2.2). Glavni pokretači druge industrijske revolucije su ekonomski nauke vezane podelu rada i za novi pristup menadžmentu (tabela 2.1). Najveći zamah druga industrijska revolucija dobila je počerkom 20.veka prvenstveno primenom električne energije što je omogućilo serijsku i masovnu proizvodnju u industriji. Masovna proizvodnja doprinela je ubrzanim razvoju železnice, a posledično železnica je doprinela daljem razvoju masovne proizvodnje. Karakterišu je značajne inovacije u hemiji i masovna proizvodnja čelika. Dakle ključni proizvod ovde je **električna energija**.

Tabela 2.1. *Glavni pokretači i karakteristike industrijskih revolucija*

Industrijska revolucija	Glavni pokretač	Karakteristika
1	Inženjerske nauke (klasične)	Pogonske i radne mašine (rast produktivnosti)
2	Ekonomski nauke Menadžment, Tejlorizmus, Fordizmus	Podela rada i linijska proizvodnja (masovna proizvodnja)
3	Elektronika (i elektrotehnika)	Automatizacija tehničkih sistema
4	Informaciono-komunikacione tehnologije (ICT), uklj. Informatiku, veštačku inteligenciju, itd.	Umrežavanje i automatizacija tehničkih sistema

Početak treće industrijske revolucije datira je između 1950. i 1970.godine i nosi naziv informaciono doba. Često se naziva digitalna revolucija, jer je došlo je do promene sa analognih i mehaničkih sistema na digitalne. Glavni pokretač treće industrijske revolucije bila je elektronika i elektrotehnika što je dovelo do automatizacije tehničkih sistema u automatizovane proizvodnje (tabela 2.1). Treća industrijska revolucija bila je i još uvek je direktna posledica velikog razvoja računara i informaciono-komunikacionih tehnologija. Kao njen početak uzima se 1969.godina kada su u firmi MODIKON 084 ugrađeni PLC - programabilni logički kontroleri (sl. 2.2).

2.2.1 Industrija 4.0

Četvrta industrijska revolucija nastala je u korelaciji između postojeće tradicionalne industrije sa inovacijama u oblasti interneta odnosno u području informaciono-komunikacionih tehnologija (ICT).

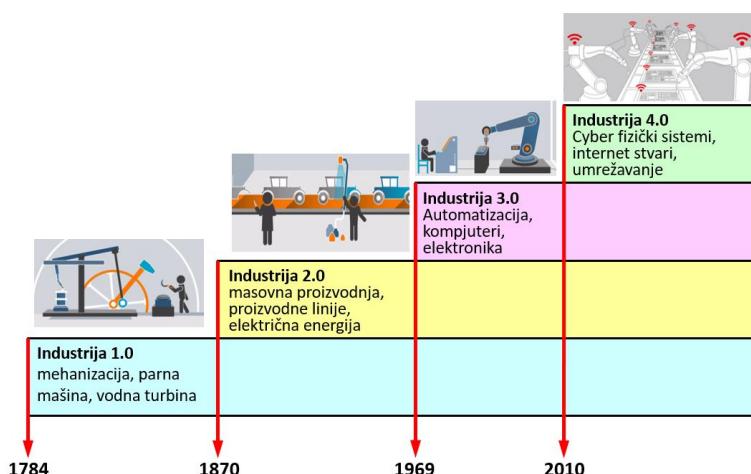
Ne postoji univerzalna definicija pojma „Industrija 4.0“ odnosno većina autora samostalno daje sopstvenu definiciju:

- Industrija I 4.0 označava četvrtu industrijsku revoluciju zasnovanu na sajber-fizičkim sistemima, odnosno, do tada nikada viđenoj integraciji fizičkog i virtuelnog sveta i predstavlja novi nivo organizovanja i kontrole čitavog lanca vrednosti kroz životni ciklus proizvoda [2.1].
- I 4.0 je integrirani skup inteligentnih proizvodnih sistema i naprednih informacionih tehnologija koji se zasnivaju na skupovima integrisanih softverskih sistema. [2.2]



- I 4.0 je skup tehnologija zasnovanih na digitalizaciji i međusobnom povezivanju svih proizvodnih jedinica prisutnih u okviru ekonomskog sistema [2.3].
- Iz proizvodne perspektive, Industrija 4.0 se shvata kao kretanje inteligentnih radnih komada koji nezavisno koordiniraju svoje putanje kroz fabriku. Mašine su u stanju da „ostvare“ ovu aktivnost i komuniciraju u realnom vremenu sa odgovarajućim skladištem. Ako je potrebno, nalozi se automatski aktiviraju [2.4].

Četvrta industrijska revolucija se najbolje može opisati kao produžetak treće industrijske revolucije. Dok je Industrija 3.0 uvela računare u proces proizvodnje, Industrija 4.0 se fokusira na međusobno povezivanje tih računara. Međutim, Industrija 4.0 prevazilazi mogućnost da sistemi u fabrici komuniciraju jedni sa drugima. Kada se u potpunosti primeni, Industrija 4.0 omogućava stvaranje pametnih fabrika i omogućava digitalnu proizvodnju.



Sl. 2.1. Od industrije 1.0 do industrije 4.0 [2.5]

Inovacije vezane za ICT mogu se razvrstati u pet kategorija:

- Internet (Internet stvari, Internet usluga, ...)
- Hardver (pametni uređaji, Cloud Computing, proširena stvarnost, ...)
- Softver (servisno orijentirana arhitektura, semantičke i Big-Data tehnologije, ...)
- Komunikacija (5G, WiFi, ...)

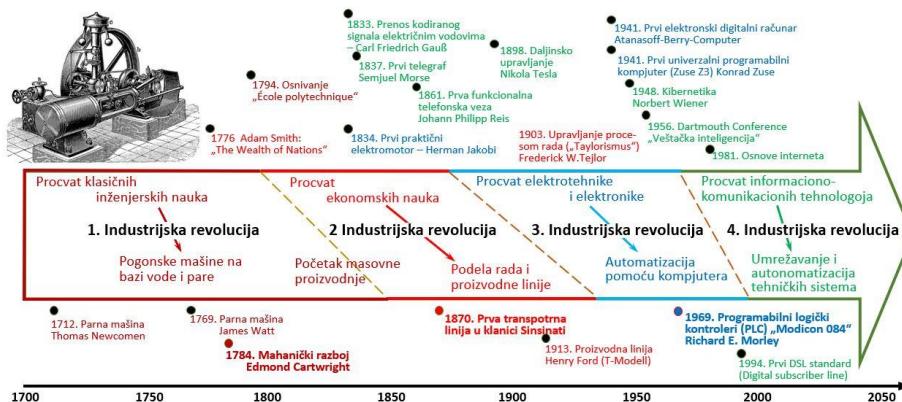
Ugrađeni mikrosistemi (mikroprocesori, mikro senzori i mikro aktuatori, ...)

Inovacije u ovim područjima čine osnovu za "Internet svega" (IoX), u kojem su podaci, ljudi, usluge i stvari (inteligentni uređaji) umreženi jedni sa drugima tako da mogu međusobno komunicirati. IoX je osnovni pokretač Industrije 4 u čijem središtu su pametni proizvodi i usluge [2.6].

Na osnovu literturnih podataka mogu se identifikovati sledeće komponente Industrije 4.0 (sl. 2.3):

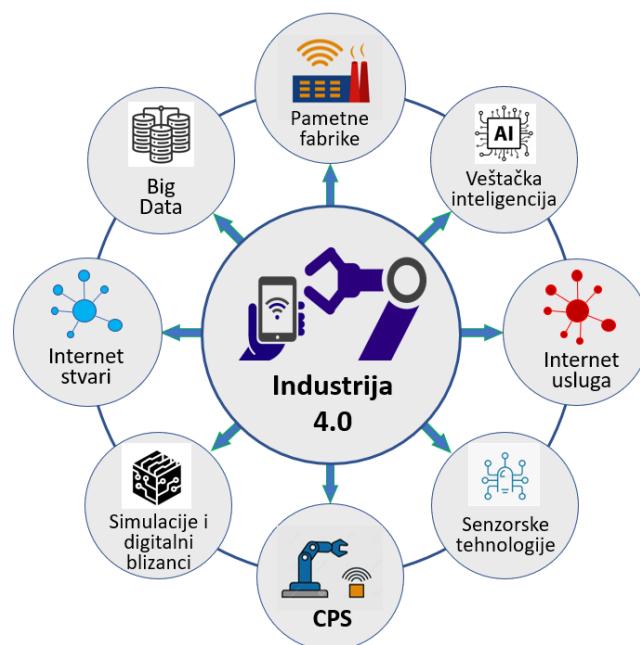
- Cyber-fizički sistemi (Cyber-Physical Systems) CPS
- Internet stvari IoT (Internet of Things)
- Internet usluga IoS (Internet of Services)

- Pametne fabrike (Smart Factory)
- Big Data
- Veštačka inteligencija
- Simulacije i digitalni blizanci
- Senzorske tehnologije



Sl. 2.2. Vremenska mapa puta najvažnijih tehničkih prekretnica [2.7]

Industrija 4.0 je zbirni pojam za tehnologije i koncepte organizacije lanca vrednosti. Unutar modularno strukturirane pametne fabrike Industrije 4.0, CPS nadzire fizičke procese, stvara virtualnu kopiju fizičkog sveta i donosi decentralizovane odluke. Preko IoT-a CPS komuniciraju i sarađuju jedni sa drugima i ljudima u stvarnom vremenu. Putem IoS-a učesnici lanca vrednosti nude i koriste interne i među organizacione usluge.



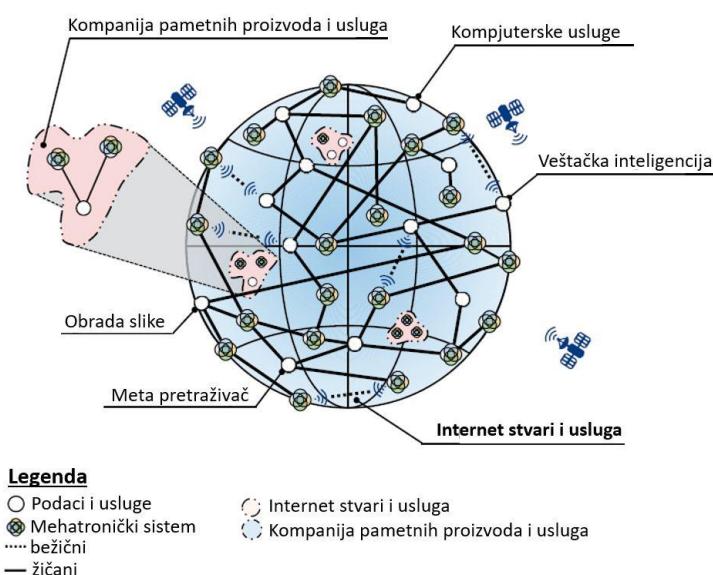
Sl. 2.3. Komponente industrije 4.0



2.2.2 Cyber-fizički sistemi (CPS)

Cyber-fizički sistemi (CPS) nastaju proširenjem mehatroničkih sistema sa dodatnim ulazima i izlazima i spajanjem na IoT. Uz pomoć veštačke intelogencije (AI), menjaju se karakteristike sistema tokom rada. Dakle, CPS predstavljaju sledeću generaciju integriracije softvera u tehničke sisteme prema potpuno softverski integrisanim i umreženim sistemima. Postoje različiti pristupi u razmatranju CPS:

Prema [2.8] CPS su međusobno povezani mehatronički sistemi koji su dodatno povezani sa Internetom stvari i usluga uz odgovarajuću adaptaciju karakteristika tokom rada (sl. 2.4). To im omogućuje međusobnu komunikaciju i korišćenje internetskih usluga.



Sl. 2.4. Definicija CPS [2.8]

Prema [2.9] CPS se definije kao integracija računara sa fizičkim procesima. Ugrađeni računar i mreže nadziru i kontrolisu fizičke procese, obično sa povratnim vezama gde fizički procesi utiču na računare i obrnuto .

Broy i Acatech [2.10, 2.11] definišu CPS kao blisku vezu između ugrađenih sistema za nadgledanje i kontrolu fizičkih procesa pomoću senzora i aktuatora preko komunikacijskih uređaja sa globalnim digitalnim mrežama ("cyberspace").

Razvoj CPS obuhvata četiri faze [2.12]:

- **Identifikacija:** Jednoznačna identifikacija bitna je u proizvodnji. Ovo je osnovni jezik kojim mašina može komunicirati. Kao primer može da posluži RFID (radiofrekventna identifikacija), gde se koristi elektromagnetsko polje za prepoznavanje određene oznake koja je često vezana za objekat. Ova tehnologija prisutna je od 1999. godine, odnosno na početku I4.
- **Integracija senzora i aktuatora:** Ovo je bitno za rad maštine. Integriranje senzora i aktuatora jednostavno omogućuje kontrolu određene maštine i njen uticaj na okolinu. Međutim, čak i uz integraciju senzora i aktuatora, njihova primena je ipak bila ograničena jer im ne dopušta međusobnu komunikaciju.



- **Razvoj senzora i aktuatora:** Takav razvoj omogućio je mašinama skupljanje i analizu podataka. CPS je sada opremljen sa više senzora i aktuatora koji se mogu umrežiti u cilju razmene informacija.
- **Pametni proizvodi:** Dodatno povezivanje CPS sa inteligentnim, internetskim uslugama, tzv. pametnim uslugama uz odgovarajuću adaptaciju karakteristika tokom rada (sl. 2.5) predstavljaju pametne proizvode (vidi 4.4).

2.2.3 Internet stvari (IoT)

Smatra se da je internet stvari jedan od glavnih pokretača za Industriju 4.0. Pod stvarima se ovde podrazumevaju inteligentni uređaji koji su opremljeni senzorima i softverima i imaju mogućnost međusobnog povezivanja preko interneta. To omogućuje objektima i mašinama međusobnu komunikaciju, ali i komunikaciju sa ljudima. Integriranje i primena takve tehnologije omogućuje objektima da prikupljaju i razmenjuju podatke, uspešno izvršavaju radnu funkciju i u izvesnoj meri samostalno rešavaju probleme. Internet stvari je dakle tehnologija koja obezbeđuje **efikasno povezivanje digitalnog i fizičkog sveta**, tj. povezivanje senzora i aktuatora iz stvarnog sveta sa internetom. Detaljni prikaz IoT dat je u podoglavlju 4.1.

2.2.4 Internet usluga (IoS)

Internet usluga je deo Interneta koji usluge i funkcije prikazuje kao detaljne web softverske komponente. Provajderi (pružaoci web usluga) nude ovu uslugu preko interneta i može se dobiti na zahtev. Pomoću interneta servisnih tehnologija mogu se međusobno integrisati pojedinačni softverski moduli ili usluge. Preduzeća mogu organizovati pojedinačne softverske komponente u složena, ali fleksibilna rešenja (servisno usmerena arhitektura). Veliki broj tržišnih učesnika može lako razvijati i nuditi internet usluge putem cloud razvojnih platformi. Pored toga, stvorene su platforme usluga na kojima kupci mogu pronaći kompletnu ponudu koja se temelji na potrebama ili na procesima umesto da traže, upoređuju i sastavljaju pojedinačne ponude.

U današnjem svetu često je svaki elektronski uređaj povezan ili sa drugim uređajem, ili sa internetom. Uz ogroman razvoj i raznolikost elektroničkih i pametnih uređaja, to dovodi do smanjenja pojedinih radnih funkcija pojedinačnih uređaja. Pametni telefoni, tableti, laptopovi, televizori postaju međusobno povezani, tako da dodatna vrednost zadnjeg uređaja postaje neprepoznatljiva. Internet usluga ima za cilj stvoriti omotač koji pojednostavljuje postupak za sve povezane uređaje tako da ih je moguće maksimalno iskoristiti. To je ulaz kupca ka proizvođaču. Detaljni prikaz IoS dat je u podoglavlju 4.1.

2.2.5 Pametne fabrike

Pametne fabrike su ključni element industrije 4.0. Mogu se definisati kao skup preduzeća koje koriste informaciono-komunikacione tehnologije za razvoj proizvoda, inženjeringu proizvodnih sistema, proizvodnju, logistiku i koordinaciju interfejsa prema kupcima kako bi mogli fleksibilnije reagovati na zahteve. Pametna fabrika uspešno vlada kompleksnošću, manje je sklona zastojima i povećava efikasnost u proizvodnji. Omogućuje da ljudi, maštine i resursi prirodno komuniciraju jedni sa drugima kao na društvenoj mreži.

2.2.6 Veštačka inteligencija

Veštačka inteligencija (AI) je jedna od ključnih tehnologija koja je neophodna za poboljšanje privrednih aktivnosti. Što se tiče procedura i procesa u kontekstu Industrije 4.0,



AI ima veliki potencijal za stvaranje vrednosti u proizvodnoj i uslužnoj industriji. U uslovima fleksibilne i promenljive, dinamične proizvodnje i uslužnih eko sistema igra veoma važnu ulogu. Pomoću veštačke inteligencije mogu se realizovati proizvodi, procesi, usluge ili novi poslovni modeli koji su optimizovani, prilagodljiviji, tolerantniji na greške ili koji do danas nisu bili ostvarivi – između ostalog i zbog svoje složenosti. Odlučujući faktor ovde je visoka prilagodljivost i sposobnost tehničkog sistema za rešavanje problema. U ISO/IEC 2382, veštačka inteligencija je opisana kao grana računarske nauke posvećena razvoju sistema za obradu podataka koji obavljaju funkcije koje su obično povezane sa ljudskom inteligencijom, kao što su logičko rasuđivanje, učenje i samousavršavanje. Sa stanovišta industrije, AI tehnologije treba shvatiti kao „metode i procese koji omogućavaju tehničkim sistemima da sagledaju svoje okruženje, obrađuju ono što se opaža, samostalno rešavaju probleme, pronalaze nova rešenja, donose odluke, posebno uče iz iskustva, a samim tim i bolje rešavati zadatke i delovati“. Detaljni prikaz ove tehnologije dat je u podpoglavlju 4.2.

2.2.7 Veliki podaci i analitika podataka

Industrija 4.0 povezuje stvarni i virtuelni svet. Vrlo važnu ulogu za sprovođenje I4.0 ima tehnologija koja koristi prednosti velikih podataka i veštačke inteligencije.

Međusobna povezanost sistema i računara i sposobnost analize velikih količina podataka omogućili su postojanje inteligentnih mašina koje mogu donositi odluke na osnovu informacija bez ikakvog ljudskog učešća. Internet stvari (IoT) je povezivao elemente dugi niz godina, ali vrednost dobijena putem velikih podataka podigla je termin na novi nivo: Internet sistema.

Big Data klasificuje prikupljene informacije i donosi relevantne zaključke koji pomažu u poboljšanju poslovanja kompanija u sledećim oblastima:

- Poboljšanje procesa skladištenja;
- Otklanjanje uskih grla;
- Prediktivna potražnja;
- Prediktivno održavanje.

Detaljni prikaz ove tehnologije dat je u podpoglavlju 4.3.

2.2.8 Senzorske tehnologije

Identifikacija stanja radne ispravnosti realnog objekta je od velikog značaja za izvršenje radne funkcije sistema. Senzorske tehnologije su od ključnog značaja za identifikaciju procesa koji se odvijaju u tehničkim sistemima i koji mogu da dovedu do narušavanja stanja radne ispravnosti i pojave otkaza, često sa katastrofalnim posledicama. Senzori omogućuju identifikaciju parametara za predviđanje otkaza, praćenje nivoa i povećanje efikasnosti za stvaranje pametne fabrike. Precizna merenja u teškim okruženjima i uslovima proširuju domet senzora na različite vrste opreme i procesa. Od minijaturnih senzora sa više digitalnih izlaznih signala do bežičnih senzorskih tehnologija, dobijaju se različita rešenja za omogućavanje industrije 4.0 i industrijskog interneta stvari (IIoT). Detaljni prikaz senzorskih tehnologija dat je u podpoglavlju 4.4.

2.2.9 Digitalni blizanci

Model digitalnog blizanca (Digital Twin) nastao je od ideje da se svaki sistem sastoji od fizičkog sistema koji je oduvek postojao i novog virtualnog sistema koji sadrži sve

informacije o fizičkom sistemu. Virtuelni sistem je slika u ogledalu stvarnog sistema. Ova dva sistema međusobno su povezana tokom čitavog životnog ciklusa.

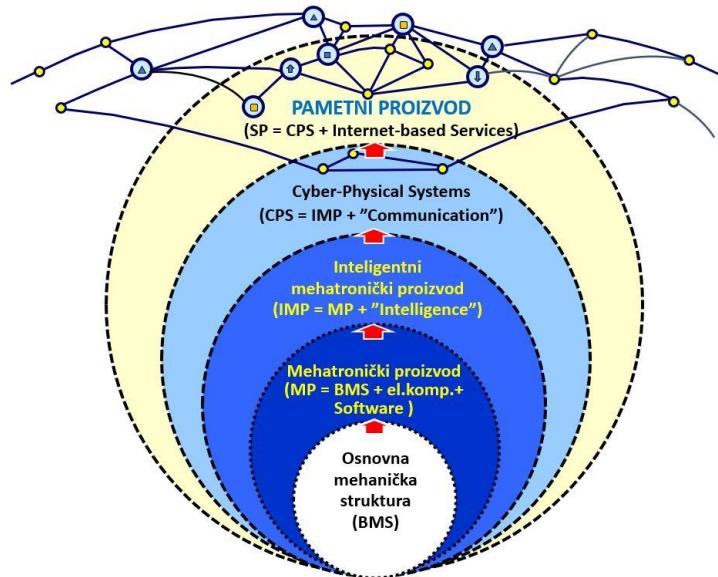
Prema tome Digital Tvin se može smatrati virtuelnom kopijom stvarnog sveta. Ovde integriše sve podatke, modele i druge struktuirane informacije o proizvodu, postrojenju, infrastrukturnom sistemu ili proizvodnom procesu. Ovi podaci se mogu generisati tokom projektovanja, inženjeringu, proizvodnje, puštanja u rad, rada ili servisa. Brzo usvajanje koncepta Digital Tvin temelji se na napretku u metodama simulacije, računarskim kapacitetima, dostupnosti IoT podataka i veštačkoj inteligenciji.

Digitalni blizanci su projektovani da modeliraju komplikovana sredstva ili procese koji rade u kompleksnom okruženju i na mnogo načina sa njim komuniciraju. Mogu biti projektovani u širokem spektru konteksta da bi služili različitim ciljevima, što je od izuzetnog značaja za sprovođenje I4.0.

Detaljni prikaz digitalnih blizanaca dat je u podpoglavlju 4.5.

2.3 Pametni proizvodi

Pametni proizvodi nastali su kao rezultat nekoliko faza evolucije kroz koje su prošli konvencionalni proizvodi (sl. 2.5). Osnovnu strukturu industrijskih proizvoda (BMS) čine mehaničke komponente. U daljem evolucionom razvoju ova struktura dopunjena je elektronskim komponentama i softverom, čime su nastali mehatronički proizvodi (MP). Kao rezultat razvoja minijaturnih mikroračunara i daljeg razvoja softvera došlo je do opremanja mehatroničkih proizvoda veštačkom inteligencijom pa su se pojavili inteligentni mehatronički proizvodi (IMP). U sledećem evolucionom koraku, proizvodi su poboljšani mogućnošću komuniciranja sa drugim proizvodima i internetom. Ti proizvodi nazivaju se "Cyber-Physical Systems" "cyber-fizički sistemi" (CPS) [2.13].



Sl. 2.5. Evolucione etape od mašinskog (BMS) do pametnog proizvoda (SP) [2.13]

Pametni proizvodi **su** "Cyber-Physical Systems" koji se nadopunjuju inteligentnim, internetskim uslugama, tzv. pametnim uslugama. S obzirom na stepen složenosti, pametni



proizvodi mogu biti pojedinačni proizvodi, mrežni sistemi proizvoda ili vrlo složeni, međusektorski sistemi proizvoda (celokupni sistemi mobilnosti), takozvani sistemi sistema (Systems of Systems).

Pametni proizvodi kombinuju materijalne i nematerijalne komponente i stoga se mogu shvatiti kao pametni sistemi usluga proizvoda (PSS). Najvažniji parametri pametnih proizvoda su visok stepen (delimične) autonomije, sposobnost umrežavanja, mogućnosti personalizacije kao i jednostavnost korišćenja [2.6].

Prema stepenu inteligencije pametni proizvodi se mogu klasifikovati u 4 nivoa veština [2.14]:

- Pametni proizvodi prvog nivoa koji preko instaliranih senzora i procesora mogu da prate stanje svoje radne ispravnosti (self-monitoring).
- Pametni proizvodi drugog nivoa mogu se, preko softvera koji je u njih ugrađen ili preko internet platforme daljinski kontrolisati i izvan punog samonadzora. Proizvodi ove grupe imaju visok stepen personalizacije.
- Kod pametnih proizvoda trećeg nivoa kombinacijom napred navedenih sposobnosti omogućeno je da kontinuirano poboljšavaju i optimizuju svoju radnu funkciju, uz mogućnost predviđanja mogućih otkaza.
- Kombinacija svih navedenih sposobnosti pametnih proizvoda prve tri grupe dovodi do četvrtog, najvišeg nivoa pametnih proizvoda. Pametni proizvodi u ovoj kategoriji su autonomni proizvodi odnosno sistemi koji imaju sposobnost da se sami dijagnosticiraju, poboljšavaju ili održavaju. Pametni proizvodi ove grupe imaju vrlo visok stepen personalizacije i mogu samostalno saradivati sa drugim pametnim proizvodima sličnog nivoa.

2.4 Model referentne arhitekture Industrije 4.0 (RAMI4.0)

2.4.1 Opis modela

Razlika između fizičkog i virtualnog sveta sve je manja. Veliki broj fizičkih objekata može da koristi pametnu senzorsku i aktuatorsku tehnologiju odnosno postaju umreženi u evolucionom razvoju Interneta stvari. Za sve umrežene fizičke objekte (proizvode) dostupne su relevantne informacije u stvarnom vremenu. Korišćenje tih podataka omogućuje uspostavljanje optimalnog toka vrednosti odnosno poslovne procese i nove poslovne modele, što je jedan od važnih zadataka industrije 4.0. Težište ovih aktivnosti je na optimizaciji osnovnih industrijskih procesa: istraživanje i razvoj, proizvodnja, logistika i usluga.

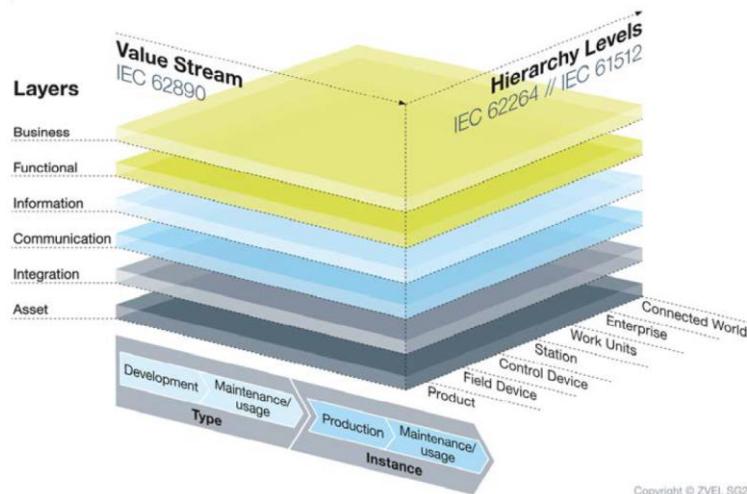
Za uspešnu implementaciju napred navedenih zadataka nekoliko nemačkih udruženja (VDI/VDE, GMA) definisalo je model referentne arhitekture za industriju 4.0 (Referenzarchitektur für Industrie 4.0) poznat pod nazivom RAMI4.0. Ovde će biti prezentiran RAMI4.0 model prema [2.15].

Za predstavljanje prostora I4.0. najprikladniji je trodimenzionalni model (sl. 2.6). Sadrži osnovne aspekte aspekte Industrije 4.0 i proširuje hijerarhijske nivoe IEC 62264 korelacijom proizvod – umreženi svet ("Product" - "Connected World"). Sastoji se od 6 slojeva (layers) koji definišu strukturu IT i predstavljaju komponente I4.0. Leva horizontalna osa predstavlja životni ciklus proizvoda, sa podelom na tip i primerak. Desna horizontalna osa obuhvata



funkcionalnost i odgovornost u fabrikama odnosno pogonima, dakle predstavlja funkcionalnu hijerarhiju.

Važna karakteristika modela RAMI40 je korelacija između životnog ciklusa i toka vrednosti sa hijerarhijski strukturisanim pristupom za definisane komponente I4.0. Na taj je omogućena je maksimalna fleksibilnost za opis I4.0 okruženja.



Copyright © ZVEI, SG2

Sl. 2.6. Model referentne arhitekture Industrije 4.0 (RAMI4.0) [2.15]

Kao ciljevi modela RAMI40 mogu se navesti:

- Ilustrativan i jednostavan model arhitekture kao referenca.
- Pozicioniranje postojećih normi i standarda.
- Utvrđivanje i uklanjanje praznina u normama i standardima.
- Identifikacija preklapanja i određivanje poželjnih rešenja.
- Smanjivanje broja korišćenih normi i standarda.
- Identifikacija normi ili standarda za brzu primenu delimičnog sadržaja za Industriju 4.0 ("I4.0-ready").
- Identifikacija sadržaja kod upotrebe.
- Identifikacija odnosa;
- Definicija pravila višeg nivoa.

2.4.2 Slojevi modela referentne arhitekture (Layers)

Poslovni sloj

- Osiguravanje integriteta funkcija u toku vrednosti.
- Mapiranje poslovnih modela i ukupnog procesa koji iz toga proizlazi.



- Uslovi pravnog i regulatornog okvira.
- Modeliranje pravila kojih se sistem mora pridržavati.
- Usaglašavanje usluga u funkcionalnom sloju.
- Veza između različitih poslovnih procesa.
- Primanje događaja za unapređenje poslovnih procesa.

Poslovni sloj ne odnosi se na konkretnе sistema, kao što je ERP (ERP – Enterprise Resource Planning – poslovni informacioni sistem sa naglaskom na proizvodnju i logistiku). ERP funkcije u kontekstu procesa obično se nalaze u funkcionalnom sloju.

Funkcionalni sloj (Functional Layer)

- Formalni opis funkcija.
- Platforma za horizontalnu integraciju različitih funkcija.
- Vreme izvođenja i modeliranje za usluge koje podržavaju poslovne procese.
- Vreme izvođenja za aplikacije i tehničku funkcionalnost.

U okviru funkcionalnog sloja prvenstveno se ostvaruje daljinski pristup i horizontalna integracija. Pored toga unutar funkcionalnog sloja ostvaruje se logika pravila i odluka, ali može da se ostvari i u informacionom sloju ili sloju integracije.

Informacioni sloj (Information Layer)

- Vreme izvođenja za (pred) obradu događaja.
- Izvršenje pravila u vezi sa događajima.
- Formalni opis pravila.
- Kontekst: prethodna obrada događaja (pravila se primenjuju na jedan ili više događaja kako bi se generisao jedan ili više daljih događaja, koji zatim započinju obradu u funkcionalnom sloju).
- Trajnost podataka koji predstavljaju modele.
- Osiguranje integriteta podataka.
- Dosledna integracija različitih podataka.
- Dobijanje novih, kvalitetnijih podataka (podaci, informacije, znanje).
- Pružanje struktuiranih podataka putem servisnih interfejsa.
- Prijem događaja i njihova transformacija kako bi se podudarali sa podacima koji su dostupni za funkcionalni sloj.



Komunikacioni sloj (Communication Layer)

- Standardizacija komunikacije, koristeći jedinstveni format podataka, u smeru Informacijskog sloja.
- Pružanje usluga za kontrolu integracionog sloja.

Integracioni sloj (Information Layer)

- Pružanje informacija o objektima (fizičke komponente/hardver/dokumenti /softver, itd.) u obliku koji se može obrađivati računarom.
- Računarski potpomognuta kontrola tehničkog procesa.
- Generisanje događaja iz objekata.
- Sadrži elemente povezane sa IT-om, kao što su RFID (Radio Frequency Identification) čitači, senzori, HMI (Human Machine Interface) itd.

Interakcija sa ljudima takođe se odvija na ovom novou, na primer putem HMI.

Sloj objekta (Asset Layer)

- Predstavlja stvarnost, na pr. fizičke komponente kao što su dijagrami, metalni delovi, dokumenti, šeme, ideje i arhive.
- Ljudska bića također su deo sloja objekata i povezani su sa virtualnim svetom preko integracionog sloja.
- Pasivno povezivanje sredstava sa višim integracionim slojem, vrši se na primer pomoću QR kodova.

2.4.3 Životni ciklus i lanac vrednosti (Life Cycle & Value Stream)

2.4.3.1 Životni ciklus (Life Cycle)

Industrija 4.0 pruža veliki potencijal za poboljšanja životnog ciklusa proizvoda, mašina, fabrika itd. Zbog toga druga osa modela referentne arhitekture predstavlja životni ciklus i povezane lance vrednosti. Nacrt IEC 62890 je dobra smernica za razmatranje životnog ciklusa.

Tip (Type)

U RAMI4.0 modelu "tip" označava aktivnosti vezane za definisanje projekta, razvoj i ispitivanje proizvoda zaključno sa proizvodnjom prvog uzorka. Dakla obuhvata kompletan process nastajanja proizvoda zaključno sa puštanjem u proizvodnju.

Primerak (Instance)

Proizvodi se izrađuju na osnovu referentnog uzorka (tipa). Svaki proizvedeni proizvod tada predstavlja primerak tog tipa proizvoda i dobija jedinstveni serijski broj. Primerci se prodaju i isporučuju kupcima, za koga oni predstavljaju samo odgovarajući tip proizvoda.



Kupci mogu da sugerisu proizvođaču odgovarajuća poboljšanja, što može dovesti do izmene dokumentacije odgovarajućih tipova proizvoda. Novostvoreni tip tada se može koristiti za proizvodnju novih primeraka. Slično tome, svaki pojedinačni primerak, kao i tip podložni su ažuriranju i poboljšanju.

2.4.3.2 Lanac vrednosti (Value Streams)

Digitalizacija i povezivanje lanaca vrednosti u Industrije 4.0 pruža veliki potencijal za poboljšanje. Vrlo značajnu ulogu pri tome imaju veze koje obuhvataju razne funkcije.

Logistički podaci mogu se koristiti u montaži dok se interna logistika organizuje na osnovu zaostataka u porudžbini. Prodaja ima uvid zalihe u stvarnom vremenu kao i mesto isporuke delova u određenom trenutku. Kupac vidi stepen realizacije naručenih proizvoda u proizvodnji itd. Povezivanje nabavke, planiranja porudžbina, montaže, logistike, održavanja, kupca i dobavljača, itd., pruža veliki potencijal za poboljšanje. Zbog toga treba životni ciklus razmatrati zajedno sa procesima stvaranja vrednosti, i to u mreži svih fabrika i svih uključenih strana, od inženjerstva do dobavljača komponenata za kupca.

2.4.4 Hjerarhijska ravan (Hierarchy Levels)

Treća osa modela referentne arhitekture opisuje funkcionalnu klasifikaciju unutar Industrije 4.0. Ovde se ne radi o implementaciji, već samo o funkcionalnim zadacima. Za klasifikaciju unutar fabrika, referentni model arhitekture za ovu osu bazira se na standardima IEC 62264 i IEC 61512.

Za jednoobrazno razmatranje što većeg broja sektora, od procesne industrije do automatizacije fabrike, korišćeni su pojmovi "Preduzeće", "Radna jedinica", "Stanica" i "Upravljački uređaj".

Za Industriju 4.0 nije bitan samo upravljački uređaj, već i razmatranja unutar mašina ili uređaja. Saglasno tome, dodat je ispod upravljačkog uređaja dodat je i "poljski uređaj" ("Field Device"). To predstavlja funkcionalni nivo inteligentnog uređaja, npr. pametni senzor.

Pored toga, za Industriju 4.0 nisu važni samo postrojenja i mašine za proizvodnju, već i sam proizvod. Zbog toga je na najnižem nivou dodat „proizvod“ kao najniži nivo. To omogućuje homogen pogled na proizvod koji se proizvodi kao i proizvodni sistem sa njihovim korelacijama u modelu referentne arhitekture.

Napravljen je i dodatak na gornjem kraju hjerarhijskih nivoa. Spomenuta dva IEC standarda predstavljaju samo nivoe u fabrici. Industrija 4.0 ide korak dalje i takođe opisuje fabričku mrežu, saradnju sa spoljašnjim inženjerskim uredima, dobavljačima i kupcima itd. Zbog toga je uveden i nivo "umreženi svet".

2.4.5 Kriterijumi za proizvode industrije 4.0

RAMI 4.0 je spoljašnji pogled na kompletan prostor rešenja industrije 4.0. Komponente Industrije 4.0 posmatraju se iz perspektive stvari koja sada treba biti integrisana u mrežu Industrije 4.0. Uz samu stvar, ovo takođe uključuje ilustracije u slojevima RAMI-a 4.0. Ovo digitalno mapiranje sažeto je u 5 slojeva kao "administrativna ljudska".

Nadalje će biti prikazani kriterijumi za komponente Industrije 4.0 (komponente I4.0) koje su definisale su radne grupe udruženja i preduzeća [2.16].



Identifikacija: Osnovni uslov za Industriju 4.0 je jasna identifikacija svih proizvoda. Za svaki proizvod potrebno je definisati identifikator. Ova jedinstvena identifikacija potrebna je tokom celog životnog ciklusa, od razvoja preko logistike i proizvodnje do prodaje, servisa, marketinga i integracije u mreže.

Komunikacija industrije 4.0: Industrija 4.0 prati uslužno orijentisanu arhitekturu u kojoj se obavljaju usluge i razmenjuju podaci. Komunikaciju u industriji 4.0 treba izvoditi preko postojećih standarda koji postoje ili se već razvijaju (TCP / UDP / IP komunikacija i OPC UA kao poželjni standardi u proizvodnji). Prenos podataka o proizvodu odvija se u standardizovanom obliku. Proizvodu se može pristupiti preko otvorenih interfejsa u mreži, a on isporučuje i prihvata podatke.

Semantika industrije 4.0: Da bi se komponente, mašine, postrojenja i IT sistemi međusobno razumeli među proizvođačima, potreban im je zajednički jezik. Semantika uključuje uobičajeni rečnik u obliku datuma i funkcija, kao i zajedničku sintaksu koja stvara pravi kontekst za podatke. Treba prvenstveno koristiti postojeće standarde.

Virtuelni opis: Virtuelni opis digitalno uključuje sve važne podatke u semantici Industrije 4.0. Te informacije čine digitalnu sliku proizvoda sa kojom mogu raditi korisnici.

Usluge industrije 4.0: Komponente, sistemi i mašine nalaze se unutar mreže industrije 4.0 i u početku dogovaraju način međusobne komunikacije. U tu svrhu, ove usluge 4.0 moraju biti opisane i implementirane među proizvođačima tako da su svima dostupne na standardizovan način.

Standardne funkcije: Standardizovane funkcije za sve komponente i sisteme automatizacije olakšavaju rad proizvođačima mašina i krajnjim kupcima (npr. funkcije PLC-a open, za programiranje kretanja). Standardne funkcije čine osnovu na kojoj svaki proizvođač može izgraditi sopstvena proširenja.

Sigurnost: Zaštita od neovlašćenog digitalnog pristupa komponentama Industrie 4.0 mora biti efikasna tokom celog životnog ciklusa na svim slojevima i hijerarhijskim nivoima. U tome će igrati ključnu ulogu IEC 62 443-3-3.

2.5 Literatura

- [2.1] Nick, Gábor András and Kovács, Ti and Kő, A and Kádár, Botond (2021) *Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment*. PROCEDIA MANUFACTURING, 54. pp. 39-44. ISSN 2351-9789
- [2.2] Mosterman, P.J., Zander, J., 2015. Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study, Vol.15. SpringerVerlag, pp. 17–29.
- [2.3] Guoping, L., Yun, H., Aizhi, W., Fourth industrial revolution: technological drivers, impacts and coping methods. Chin. Geogr. Sci. 27 (4), 626–637. 2017.
- [2.4] Bauernhansl, T., Hompel, M., and Vogel-Heuser, B. 2014. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg.
- [2.5] <https://mensch-maschine-fortschritt.de/reportage/arbeit-4-0-im-zentrum-steht-der-mensch/>
- [2.6] Abramovici, M.: *Engineering smarter Produkte und Services Plattform Industrie 4.0*. STUDIE. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. München, 2018.



Funded by the
European Union



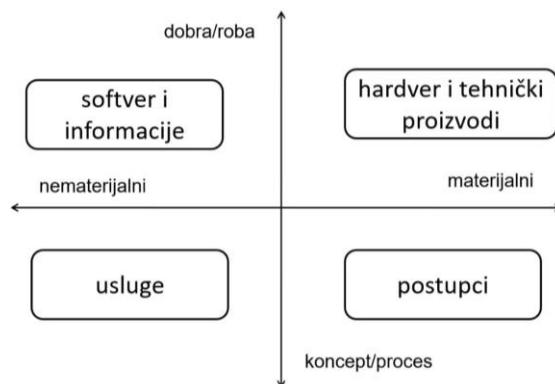
- [2.7] <https://www.imk.engineering/industrie-4.0.html>
- [2.8] Graessler, I., Hentze, J.: *Das Neue V-Modell der VDI 2206 und seine Validierung*, Automatisierungstechnik 2020; 68(5): 312–324.
- [2.9] Lee, E., A.: “Cyber Physical Systems: Design Challenges,” in *2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing*, Orlando, FL, USA, 2008, pp. 363–369.
- [2.10] Broy, M.: *Cyber-Physical Systems: Innovation Durch Software-Intensive Eingebettete Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [2.11] Acatech, *Cyber-Physical Systems: Innovationsmotoren für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. Dordrecht: Springer, 2011.
- [2.12] <https://www.cleverism.com/industry-4-0/>.
- [2.13] CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Int. Academy for Production Engineering, Laperrière, Luc, Reinhart, Gunther (Eds.) 2015.
- [2.14] Porter, M.E., Heppelmann, J.E.: *How Smart, Connected Products Are Transforming Competition*, 2014. URL: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
- [2.15] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. *Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)*, 2015.
- [2.16] <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/unterwegs-lernen-zu-laufen-a-702746/>



3. MODELI RAZVOJA PAMETNIH PROIZVODA

3.1 Definicija proizvoda

Pod proizvodom se podrazumeva svaki veštački sagrađeni objekat, koji služi određenom cilju. Tu se ubrajaju sve, od jednostavnih mašinskih elemenata, preko softvera, električnih uređaja i komponenata, do kompleksnih i visoko kompleksnih mašina i uređaja.



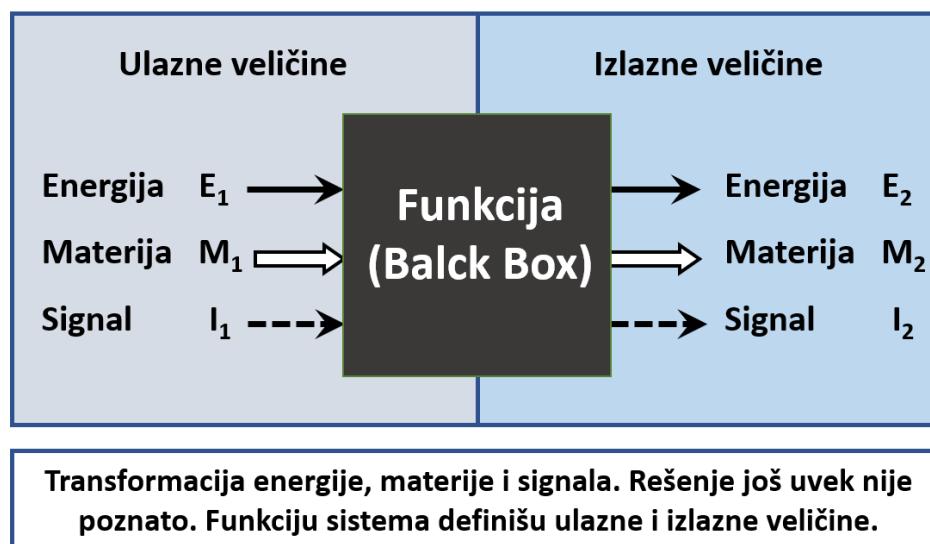
Sl. 3.1. Klasifikacija proizvoda

Od poznatih proizvoda mogu se nabrojati softveri, kompjuteri, kućni uređaji, automobili, avioni, alatne mašine, ispitni stolovi, štampači, elektrane, sportski uređaji, sateliti, vozovi, klima uređaji, itd.

Za kompletno sagledavanje pojma „proizvod“ može se poći od standarda ISO 9001 (tabela 3.1). Ovaj standard pravi razliku između hardvera, tehničkih proizvoda, softvera i usluga. Ovakav pristup omogućuje podelu svih proizvoda na materijalne i nematerijalne, odnosno na dobra (roba) i koncepte (procesi) – sl. 3.1.

Tabela 3.1. Kategorije proizvoda prema ISO 9001

Grupe prema ISO 9001	Objašnjenje
Hardver	Svi individualno identifikovani materijalni proizvodi
Tehnički proizvod	Svi kontinuirani proizvodi: čvrsti, tečni, gasoviti
Softver	Programi i organizaciona uputstva, informacije i znanje
Usluga	Personalne usluge, koncepti i nematerijalni proizvodi

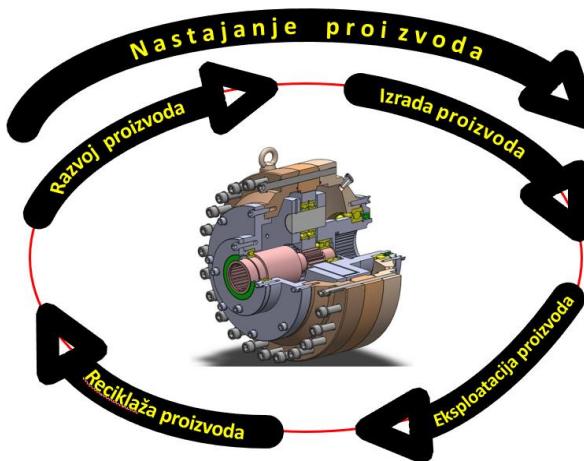


Sl. 3.2. BLACK BOX apstraktni prikaz sistema

3.2 Zadatak tehničkog proizvoda

Osnovni zadatak tehničkog proizvoda, odnosno tehničkog sistema je ispunjenje tačno definisane radne funkcije. To znači da između ulaznih i izlaznih veličina tehničkog sistema postoji jednoznačno određena zavisnost. U tom smislu sam sistem se apstraktno definiše kao crna kutija (black box) sa ulaznim i izlaznim veličinama (sl. 3.2). Ulazne veličine materija M₁, energija E₁ i signal, odnosno informacioni tokovi I₁ transformišu se u M₂, E₂ i I₂.

Rad razvojnog inženjera počinje sa listom zahteva na osnovu koje se definiše opšta (globalna) funkcija tehničkog proizvoda, koja se zatim deniveliše na parcijalne funkcije, a ove pak na elementarne funkcije. Počev od elementarne, preko parcijalne do opšte, funkcije su hijerarhijski i međusobno povezane, tako da čine strukturu funkcija. U sledećem koraku razmatraju se principska rešenja osnovnih i parcijalnih funkcija proizvoda. Pri tome se koriste fizički efekti koji ispunjavaju zahtevane funkcije.



Sl. 3.3. Osnovne faze životnog ciklusa proizvoda



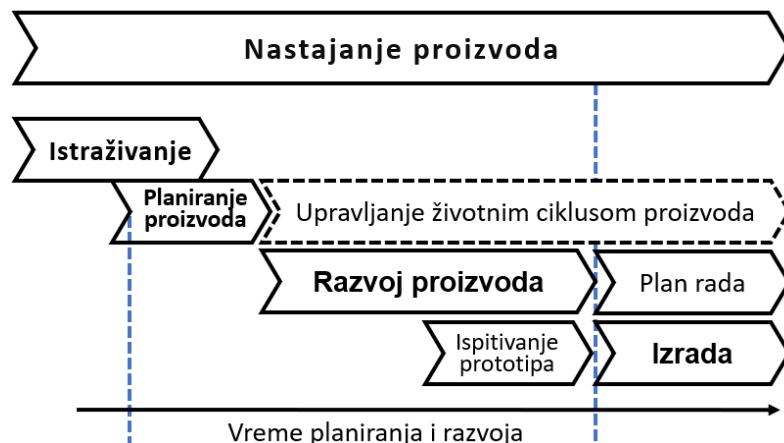
Zatim sledi preliminarno konstruisanje, gde se kvalitativno oblikuju izvršiocu elementarnih i parcijalnih funkcija tehničkog sistema. U fazi razrade konstrukcije vrši se kvantitativno oblikovanje konstrukcije sa svim neophodnim detaljima vezanim za karakteristike materijala, optimalni oblik delova i sklopova, tolerancije, kvalitet obrađene površine, način izrade, itd. Razvoj i konstruisanje tehničkih proizvoda završava se izradom i ispitivanjem prototipa i izradom kompletne tehničke dokumentacije.

Životni ciklus svakog proizvoda sadrži četiri osnovne faze (sl. 3.3): - razvoj proizvoda; - izrada proizvoda; - eksploatacija proizvoda; - recikliranje proizvoda.

Prve dve faze životnog ciklusa proizvoda predstavljaju nastajanje proizvoda. Proces nastajanja proizvoda zahteva izradu struktuiranog plana sa cenom, terminima i tehničkim zahtevima, postupke za obezbeđenje i ocenu kvaliteta, definisani profil proizvoda kao i operativni plan za realizaciju svih faza nastajanja proizvoda.

3.3 Faze procesa nastajanja proizvoda

Proizvodi se ne stvaraju u jednom, velikom koraku, već u većem broju malih koraka, čiji sadržaj mora biti precizno definisan. Dobijeni niz koraka se naziva "procesom", dok se skup svih koraka ovog procesa se naziva "proces nastajanja proizvoda" (PNP). Dakle, može se reći da je PNP ključni proces u preduzeću gde se identificuju ideje i inovacije na osnovu kojih se dolazi do kvalitetnih, inovativnih i tržišno konkurentnih proizvoda. Da bi se došlo od ideje do gotovog proizvoda potrebno je uspešno izvesti veći broj koraka. U tom smislu jako bitnu ulogu ima struktura PNP. Jedan od uslova za uspešnu realizaciju PNP je upravljanje projektom, naročito sa aspekta troškova, rokova, tehničkih zahteva i kvaliteta proizvoda.



Sl. 3.4. Faze procesa nastajanja proizvoda

U toku svog životnog ciklusa proizvod prolazi kroz različite faze (sl. 3.2). Na početku životnog ciklusa je proces nastajanja proizvoda. Osnovu nastajanja proizvoda čine metode i postupci, naučna istraživanja, inovacije kao i ideje i kreativnost razvojnih inženjera. Razvoj samog proizvoda mora se izvršiti sistematski i u jasno struktuiranom nizu procesa.

Proces nastajanja proizvoda odvija se u 3 faze (sl. 3.4):

- Planiranje proizvoda;
- Razvoj proizvoda;
- Izrada proizvoda.



U fazi planiranja proizvoda izvode se intenzivne analize trendova u razvoju tehnike i tehnologije, zahteva tržišta, zahteva kupaca, kao i mogućnosti plasmana proizvoda na tržištu. Ovo rezultira preciznim definisanjem profila proizvoda, odnosno zahtevima koji moraju biti ispunjeni u toku kreiranja proizvoda. Pre nego što se proizvodi puste na tržište, vrši se njihovo testiranje sa prototipovima. Na osnovu stečenog iskustva u proizvodnji i na tržištu, proizvodi se u toku životnog ciklusa stalno unapređuju, usavršavaju i inoviraju.

3.4 Planiranje proizvoda

Strateško planiranje u najvećoj meri određuje proizvode i procese za buduća tržišta. Može se definisati kao proces određivanja dugoročnih ciljeva preduzeća i identifikacija najboljeg načina za njihovo ostvarivanje. Na osnovu strategije kompanije, analiziraju se nove poslovne mogućnosti, identifikuju ideje za proizvode i procese, a koncepti proizvoda se razvijaju i procenjuju. Rezultat strateškog planiranja proizvoda i procesa su razvojni projekti i promene u proizvodnji.

Da bi se osigurala konkurentnost proizvoda, posebna pažnja mora da se obrati na inovacije proizvoda i usluga. Cilj je rano prepoznavanje potencijala za budući uspeh i njegov blagovremeni razvoj. Pomoću strateškog planiranja proizvoda i procesa, ovaj izazovni poslovni zadatak može se sistematski rešiti. Kroz kontinuirane inovacije u interakciji sa tržištem može se doći do novog prodajnog potencijala.

Ciklus strateškog planiranja deli se u sledeće faze:

- određivanje potencijala za uspeh (u ranoj fazi),
- identifikacija proizvoda i procesa (selekcija inovativnih ideja),
- dizajn proizvoda i procesa (konkretizacija koncepta),
- poslovno planiranje (evaluacija i izbor).

Zbog toga se ciklus ne može shvatiti samo kao niz pojedinačnih koraka, već se faze odvijaju iterativno.

3.4.1 Identifikacija potencijala za uspeh u ranoj fazi

Potencijal uspeha opisuje novi ili prethodno nerešeni problem, latentno ili buduće tržište odnosno potrebe kupaca, novo, ranije nepoznato tehničko rešenje, potencijalnu novu aplikaciju za poznato rešenje itd. U tu svrhu analiziraju se, na primer, trendovi u različitim oblastima (tržište, konkurenti, tehnologija itd.) kako bi se utvrdio uticaj na oblikovanje proizvoda. Nasuprot tome, analiziraju se interne kompetencije i na osnovu toga, formiraju se odgovarajuća polja za pretraživanje, a iz toga se generišu potencijali za uspeh. Rezultati ove faze su potencijali za uspeh, koji se opisuju po segmentima zahteva ili prema pozicioniranju proizvoda na tržištu.

3.4.2 Selekcija inovativnih ideja

Cilj "identifikacije proizvoda i procesa" je identifikacija potencijala za uspeh sa idejama za proizvod i proizvodnju na osnovu potreba. Na taj način, na osnovu zahteva, dobijaju se ideje za prvi proizvod i proizvodnju u zavisnosti od dominantnih pokretača inovacija. Ako je pokretač inovacija proizvod, onda se rešenja za ceo proizvod grade od identifikovanih potencijala za proizvod. Kada je pokretač inovacija proizvodnja, onda rešenja moraju biti razvijena za ceo proizvodni proces. Ideje za proizvode se zatim generišu iz proizvodnih ideja.



Kao rezultat toga, određivanje proizvoda i procesa s jedne strane verifikuje potencijal za uspeh, a sa druge strane otkriva alternativna principska rešenja za nove proizvode.

3.4.3 Konkretizacija koncepta

Koncipiranje proizvoda i procesa konkretizuje ideje za proizvod u predloge za razvoj i pretvara tehnološke koncepte u proizvodne koncepte. Zbog toga se generisana principska rešenja razrađuju do nivoa sklopova. Sa apektata tržišta preispituju se karakteristike i zahtevi pojedinačnih varijanti proizvoda i prevode u odgovarajuće koncepte sklopova i njihove varijante. Pored toga, važno je definisati potrebni proizvodni program. Dobijeni detaljniji zahtevi proizvodnje se koriste za definisanje proizvodnih struktura. Kao rezultat koncipiranja proizvoda i procesa dobijene su sve informacije o proizvodu i proizvodnji, koje služe kao osnova za donošenje odluka o pokretanju razvojnih projekata i investicionih programa.

3.4.4 Evaluacija i izbor

Poslovno planiranje završava ciklus strateškog planiranja proizvoda i procesa. Rezultat poslovnog planiranja su razvojni ugovori za koncepte proizvoda, odnosno zahtevi za njihovu implementaciju u proizvodnji (investicioni plan). Poslovno planiranje podržava izbor optimalnih koncepata proizvoda i proizvodnje s obzirom na troškove i prihode. Pored toga, moraju se utvrditi datumi razvoja i puštanja proizvoda na tržište i proceniti potrebni resursi. Ovo uključuje, ako je potrebno, planiranje i razmatranje nivoa spremnosti tehnologije. Zadatak poslovnog plana je takođe i razvijanje strategije za korporativne kompetencije. U zajedničkom projektu „Strateški proizvod i proces planiranja“ pojedine faze su međusobno metodski povezane. Sa ovim je sada moguće složeni proizvodni proces sistematski organizovati i kontrolisati.

3.5 Razvoj i konstruisanje proizvoda

3.5.1 Uloga i značaj razvoja proizvoda

Osnovni preduslov razvoja svake privrede je da zadrži postojeće tržište i eventualno ga proširi. Da bi se to postiglo, neophodno je odgovarati zahtevima tržišta u toku dužeg niza godina, pri čemu tržište postavlja stalno sve složenije zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta, dizajna i brzine osvajanja novih proizvoda.

Dakle, ključ uspeha jedne organizacije je razvoj proizvoda koji može, u najvećoj mogućoj meri, da zadovolji zahteve kupca. Marketing i realizacija proizvoda su podjednako važni i moraju međusobno biti usaglašeni. Do uspeha dovodi izvršena realizacija i marketing, koji se ogleda u formi profita i rasta vrednosti.

Razvoj je odlučujući faktor za transformaciju potencijala istraživanja i iskustva u uspeh preduzeća. Na taj način, postojeći potencijal i znanje, preko razvoja proizvoda, preduzeća prevode u konkurentne proizvode i profit.

Razvoj je kreativni zadatak gde se sistematski kreira novi proizvod, što omogućuje firmama da ponude kupcima atraktivne i tržišno konkurentne proizvode. Proces inovacije pruža po pravilu osnovu za osvajanje novih tržišta. Firme koje ne razvijaju i dalje ne usavršavaju svoje proizvode vrlo brzo gube svoje pozicije na tržištu.

Pod razvojem proizvoda podrazumeva se interdisciplinarni proces u preduzeću. Ovaj proces temelji se na planiranju proizvoda, počinje definisanjem profila proizvoda, unutar ovog



procesa kontinualno se izvodi dalji razvoj, i završava se proizvodno izvodljivim i radno sposobnim proizvodom.

Proces razvoja izvodi se u jezgru organizacione jedinice preduzeća „razvoj proizvoda“, ali i u raznim drugim organizacionim jedinicama kao što su konstrukcija, ispitivanje, proračun, izrada prototipa a uz podršku odeljenja za standardizaciju i odeljenja za patente.

Dakle organizacionu jedinicu Konstrukcija treba smatrati kao deo razvoja proizvoda. Sa druge strane pod pojmom konstrukcija se u preduzeću podrazumeva i proces. Ovaj iterativni proces počinje razjašnjenjem zadatka i završava se proizvodnom dokumentacijom.

U razvoju proizvoda nalaze se različite profesije (strukte), kao što su na primer konstruktori, CAD inženjeri, test inženjeri, inženjeri za standardizaciju i inženjeri za patente. Zavisno od struke, izvode se različite aktivnosti, orijentisane ka sintezi ili analizi. Razvoj proizvoda detaljno je obrađen u poglavlju 3.

3.5.2 Modeli procesa razvoja i konstruisanja

Prethodna istraživanja u oblasti RKP prvi put su prikazana u opšte važećem modelu procesa razvoja i konstruisanja u preporukama VDI 2222 - 1973 [3.1]. Kasnije su se pojavile i preporuke VDI 2221 (1993) i VDI 2206 (2004).

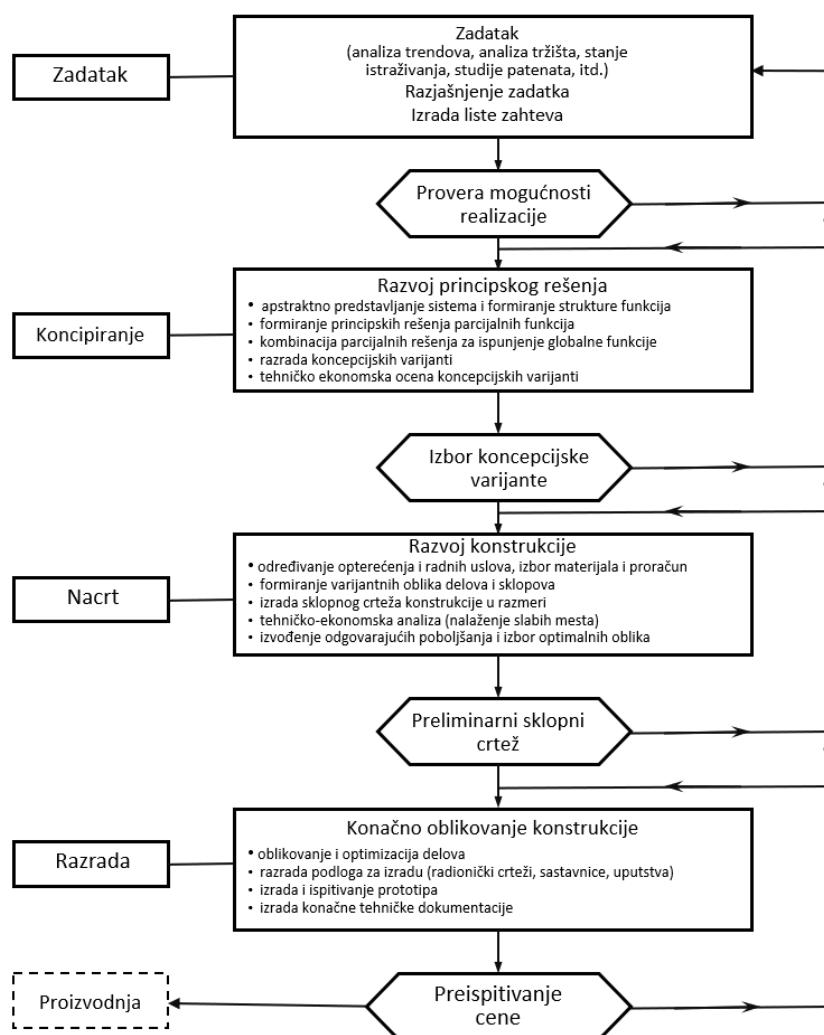
Postupak prema VDI 2222 (sl. 3.5), kao i postupak prema VDI 2221 (sl. 3.6) obično ne daje zadovoljavajuće rezultate u jednom prolazu. Često je potrebna njihova korekcija i poboljšanje. Iterativni postupak rada predstavlja neku vrstu kontrolnog procesa, gde se u kratkoj ili dugoj petlji vrši provera rezultata. Razvojem softvera krajem prošlog veka takav pristup postao je standard u rešavanju mnogih problema, pa je našao primenu i u mašinogradnji. On je i osnova postupka prema VDI 2206 (sl. 3.7), gde se pod „osiguranje karakteristika“ podrazumeva iterativni kontrolni proces rada.

3.5.2.1 Model VDI 2222

Preporuke VDI 2222 (VDI-Richtlinie 2222 – [3.1]) izdate su 1973 godine od strane VDI (Verein Deutscher Ingenieure). Prvenstveno su namenjene za razvoj tehničkih proizvoda kao i za obrazovanje u oblasti konstruisanja. Cilj je bio da se proces konstruisanja bazira na naučnoj osnovi i da se u različitim fazama procesa konstruisanja primene različite metode. Po završetku svake faze donosi se odgovarajuća odluka, a tek onda prelazi na sedeću fazu.

Model procesa razvoj proizvoda - prema VDI 2222 po fazama prikazan je na sl. 3.5. Može se podeliti u četiri faze **definisanje zadatka, koncipiranje, preliminarna konstrukcija-nacrt i razrada**.

Da bi se došlo do optimalnog rešenja, vrlo je važno da na samom početku procesa razvoja i konstruisanja bude razjašnjen i precizno postavljen konstrukcioni zadatak i po mogućnosti sveobuhvatno analiziran. Kao rezultat ove faze dobija se lista zahteva koje mašinski sistem treba da ispuni. Zahtevi mogu biti veoma različiti, te ih po prioritetu treba razvrstati na zahteve koji moraju biti obavezno ispunjeni, zahteve koji minimalno moraju biti ispunjeni i na željene zahteve. Detaljan postupak izrade liste zahteva dat je u tački 3.5.3.1. Tek posle provere mogućnosti realizacije, odnosno dobijanja radnog naloga (**prva ključna tačka**), sledi sam proces razvoja i konstruisanja.



Sl. 3.5. Ciklus postupaka kod razvoja proizvoda prema VDI 2222

Druga faza je koncipiranje idejnog rešenja. Formiranjem strukture funkcija, deniveliše se opšta (globalna) funkcija na parcijalne i elementarne funkcije. Ove funkcije uglavnom se svode na transformaciju energije (sile, momenti, kretanje), prenošenje energije, itd. Za definisanje izvršilaca elementarnih funkcija polazi se od matematičkog opisa navedene transformacije. Transformacija se može ostvariti na osnovu mehaničkog principa, hidrauličkog principa, pneumatskog, električnog, magnetnog, termičkog, hemijskog, itd. principa. Najčešće je u primeni mehanički princip koji se bazira na osnovnim fizičkim zakonima. Kombinacijom pojedinih principskih rešenja dobija se veći broj koncepcionih varijanti. Ocenom ovih varijanti sa tehno-ekonomskog aspekta bira se optimalna varijanta (**druga ključna tačka**). Detaljan opis radnih koraka u fazi koncipiranja dat je u tački 3.5.3.2.

Treća faza preliminarna konstrukcija - nacrt je faza razvoja konstrukcije u kojoj se definišu izvršioci principskih funkcija. Ona obuhvata proračun, gde se najpre definišu polazne dimenzije a zatim i oblik dela. Bira se materijal i postupak izrade i utvrđuju osnovne dimenzije dela. U ovoj fazi, pored kreativnosti, neophodno je izvršiti veći broj iteracionih koraka, čime se uvek ide ka višem nivou u pogledu definisanja konstrukcionog rešenja. Ovo je jako komplikovana faza jer zahteva kombinaciju proračuna i definisanje oblika i često više puta ponavljanje istih koraka uz odgovarajuće izmene. Kao rezultat ove faze dobija se

preliminarni sklopni crtež, što je **treća ključna tačka** procesa razvoja i konstruisanja mašinskog sistema. Detaljan opis radnih koraka u fazi nacrta dat je u tački 3.5.3.3.

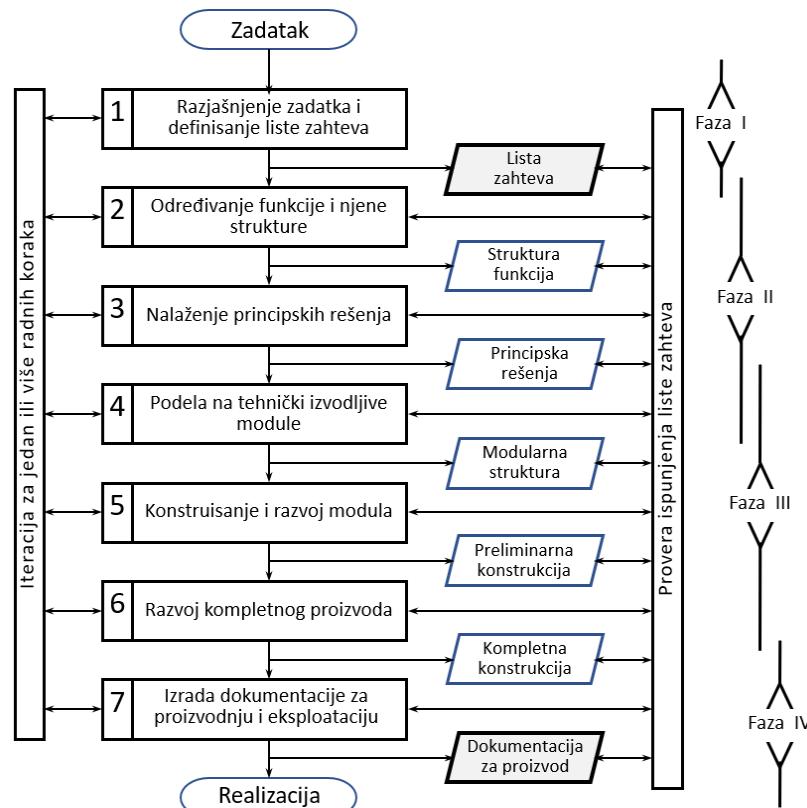
Četvrta faza je faza razrade odnosno konačnog oblikovanja konstrukcije. To znači ne samo izradu sklopног crtežа na osnovу поčetних nacrta, već i optimizaciju obлика delova, izradu sastavnice i uputstava, razradu podloga za izradu, kao i samu izradu prototipa. Izlaz iz ove faze je konačno određivanje i preispitivanje cene proizvoda, odnosno konstrukcije, što je četvrta ključna tačka procesa razvoja i konstruisanja. Iza toga se ide u proizvodnju ili u ponovno preispitivanje konstrukcije. Detaljan opis radnih koraka u fazi razrade dat je u tački 3.5.3.4.

Mašinski elementi kao izvršioci elementarnih funkcija razmatraju se u trećoj i četvrtoj fazi procesa razvoja proizvoda. Ugradnjom standardnih opštih mašinskih elemenata dobija se racionalnija i pouzdaniјa konstrukcija, a u isto vreme pojednostavljuje proces konstruisanja. Ukoliko se pak u konstrukciju ugrađuju izvršioci elementarnih funkcija, čiji razvoj sledi u samoj fazi konstruisanja, dobija se skupljа konstrukcija a sam proces konstruisanja je složeniji i duži.

3.5.2.2 Model VDI 2221

a) Osnovni pristup

Preporuke VDI 2222 su 1993 zamenjene preporukama VDI 2221 - Sistematski pristup razvoju i konstruisanju tehničkih sistema i proizvoda (VDI-Richtlinie 2221, „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [3.2]). Ove preporuke se najvećim delom baziraju na preporukama VDI 2222.



Sl. 3.6. Šema procesa razvoja i konstruisanja proizvoda prema VDI 2221



Osnovni cilj ovih preporuka je da se usvoji opšta metodologija za razvoj i konstruisanje tehničkih sistema i proizvoda uz metodski i sistematski pristup, kako bi se postigao efikasniji način rada. Preporuke predstavljaju opšti pristup i nezavisne su od oblasti primene. Uglavnom su bile namenjene mašinstvu, preciznoj mehanici i procesnoj tehnici. Preporuke se zasnovaju na sistemskom inženjeringu i načinu rešavanju problema. Jedan od glavnih aspekata je integralna obrada podataka i primena CAD -a. Preporuke VDI 2221 sadrže iteracije u toku rada tako da se tokom čitavog procesa vrši prilagođavanje zahtevima. Pitanja za proveru iz VDI 2222 promenjena su u zahteve dobrog rešenja problema.

Plan procesa razvoja i konstruisanja proizvoda prema VDI 2221 (sl. 3.6) sadrži sedam osnovnih radnih koraka. Svaki od ovi koraka završava se tačno definisanim rezultatom rada. Saglasno VDI 2222, ovi koraci se često razvrstavaju u 4 faze: razjašnjenje zadatka, koncipiranje, preliminarna konstrukcija – nacrt i detaljno konstruisanje – razrada. Težnja je da postupak prema VDI 2221 ima opšti pristup, odnosno široku primenu, tako da dozvoljava specifične varijante procesa saglasno potrebama kompanija. Pristup ovakve primene većeg broja iteracija kod ovog postupka omogućuje i promenu redosleda radnih koraka ili čak preskakanje pojedinih koraka. Pokazalo se da ovakva fleksibilnost odgovara i konstruktorima sa značajnim praktičnim iskustvom.

b) Prikaz radnih koraka

1. Razjašnjenje zadatka i definisanje liste zahteva

U prvom koraku, vrši se razjašnjenje i precizno definisanje zahteva koje treba ispuniti. Ovo uključuje proveru kompletnosti i merodavnosti zahteva kao i dopunjavanje drugim spoljnjim ili unutrašnjim zahtevima. Konačno, formulaciju zadatka obavlja sam konstruktor. Rezultat ovog koraka je lista zahteva, koja treba uvek biti ažurirana, jer pruža informacionu osnovu za sve dalje korake. Detaljnije o izradi liste zahteva vidi tačku 3.5.3.1.

2. Određivanje funkcije i njene strukture

U drugom koraku najpre se identificuje ukupna funkcija kao i bitne parcijalne funkcije. Zatim se formira struktura funkcija, gde se ukupna (globalna) funkcija deniveliše na parcijalne i elementarne funkcije. Kod složenijih proizvoda ova struktura sadrži i tokove energije, materije i signala. Rezultat ove faze je struktura funkcija koja služi kao osnova za pronalaženje rešenja odnosno definisanje izvršilaca osnovnih i parcijalnih funkcija za ceo proizvod ili ukupnu funkciju.

3. Nalaženje principskih rešenja

U okviru trećeg radnog koraka za napred definisane parcijalne funkcije traže se principska rešenja. Ona mogu da se baziraju na raznim fizičkim ili hemijskim efektima, koja se mogu oblikovati u realne strukture za odgovarajućom geometrijom, kretanjima i materijalom. Saglasno sa funkcionalnim strukturama, principska rešenja parcijalnih funkcija povezuju se međusobno aktivnim strukturama. Rezultat ovog koraka je konačno jedno ili više osnovnih rešenja koja definišu aktivnu strukturu za rešavanje pojedinačnih funkcija ili funkcionalne strukture. Dokumentacija osnovnih rešenja može se napraviti u obliku principskih skica, šematskih dijagrama ili opisa.

4. Podela na tehnički izvodljive module

U četvrtom koraku vrši se podela principskog rešenja u tehnički izvodljive parcijalne module, čija se konkretizacija izvodi u sledećem koraku. Rezultat rada je modularna struktura koja, za razliku od funkcionalne i aktivne strukture, već pokazuje podelu rešenja u stvarne



grupe i elemente, kao i njihove veze i spojeve. Prikazuje se u obliku skica, grafikona, logičkih dijagrama, itd. U okviru ovog radnog koraka, proces razvoja često prelazi u paralelne konstrukcione linije, u kojima se odvojeno razmatraju pojedini moduli.

5. Konstruisanje i razvoj modula

Ovaj korak služi za konstruisanje relevantnih modula. Međutim, ovo bi trebalo u početku da se uradi samo do nivoa detalja koji omogućuje izbor optimalnog konstrukcionog rešenja. Dakle, rezultat faze su preliminarne konstrukcije za module koji će biti dalje razrađeni. Predstavljaju se u obliku crteža u razmeri, dijagrama strujnog kola ili slično.

6. Oblikovanje kompletног proizvoda

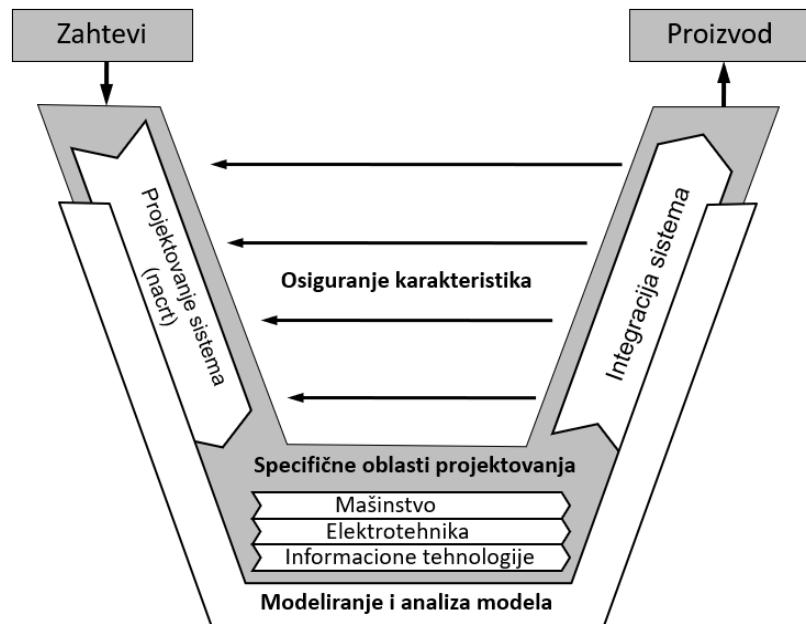
Grubo obrađeni moduli u prethodnom koraku, u ovoj fazi se detaljno razrađuju. Vrši se povezivanje svih delova i sklopova u jednu celinu. Rezultat ovog koraka je kompletna konstrukcija proizvoda koji sadrži podloge sa svim detaljima za realizaciju proizvoda. Najčešće se prikazuje sklopnim crtežima u razmeri sa odgovarajućom sastavnicom.

7. Izrada dokumentacije za proizvodnju i eksploraciju

U poslednjem koraku, priprema se dokumentacija o proizvodu u obliku elaborata, koji sadrži sve neophodne podatke za proizvodnju i eksploraciju. U ovoj fazi ima preklapanja sa prethodnim korakom, gde je urađena suštinska dokumentacija o proizvodu. Rezultat ovog koraka je proizvodna dokumentacija uključujući i informacije o korišćenju, u obliku radioničkih crteža, sastavnica, proizvodnih uputstava itd.

3.5.2.3 Model VDI 2206

Fokus ovog razvojnog modela je na postupcima, metodama i alatima za rane faze procesa razvoja proizvoda. Ovde se poseban akcenat stavlja na preliminarno projektovanje sistema (nacrt), što treba da bude sigurna osnova za budući proizvod.



Sl. 3.7. V-model prema VDI 2206



VDI preporuke 2206 [3.3] predstavljaju praktično orijentisani postupak za sistematski razvoj mehatroničkih sistema. Ove preporuke prvenstveno se baziraju na V-modelu za razvoj softvera (sl. 3.7), i prilagođene su primeni u mehatronici.

Kod ovog modela razlikuju se 3 faze:

1. Preliminarno projektovanje sistema (nacrt);
2. Projektovanje u specifičnim oblastima;
3. Integracija sistema.

1. Preliminarno projektovanje sistema (nacrt)

Za realizaciju ove faze potrebno je raspolagati listom zahteva, koja predstavlja i osnovu za ocenu budućeg proizvoda. Ova faza počinje tako što se apstrahuju (izdvajaju, sažimaju) ideje opisane u listi zahteva, a na osnovu toga definišu se funkcionalne, efikasne i realne strukture i vrši njihova evaluacija. Kao rezultat dobija se koncept multidisciplinarnog rešenja, koji se takođe naziva i principsko rešenje i predstavlja osnovni nacrt za razmatranu oblast.

2. Projektovanje u specifičnim oblastima

Na osnovu principskog rešenja, elementi koji se razvijaju distribuiraju se prema odgovarajućim disciplinama. Pri tome se koriste odgovarajuće metode i tehnike karakteristične za primenu u specifičnim oblastima. U cilju obezbeđenja ispunjenja radne funkcije proizvoda u ovoj fazi izvode se odgovarajući proračuni i dimenzionisanje elemenata i komponenti sistema.

3. Integracija sistema

U ovoj fazi vrši se spajanje (integracija) elemenata, koji su definisani u pojedinačnim disciplinama u cilju formiranja celine višeg nivoa (budući proizvod).

Integracija sistema može da se izvede na tri različita načina:

1. **Integracijom komponenti:** Komponente, kao što su senzori i aktuatori, međusobno se povezuju putem signala i tokova energije, pomoću komunikacionih sistema, a protok energije obezbeđen preko odgovarajućih spojeva i konektora.
2. **Integracijom modula:** Kompletan sistem sastoji se od modula koji imaju tačno definisanu funkciju i čije su dimenzijs standardizovane. Njihovo spajanje izvodi se preko unificiranih interfejsa, odnosno standardizovanih priključaka.
3. **Prostornom integracijom:** Sve komponente sistema su prostorno integrisane tako da čine kompleksnu funkcionalnu jedinicu, na primer integraciju svih elemenata pogonskog sistema (regulatora, prenosnika snage, motora, elementa prenosa, radnog elementa) u kućište.

Izradom odgovarajućih modela vrši se analiza i računarska simulacija ispunjenja parcijalnih funkcija, kao i globalne funkcije integrisanog sistema. U praktičnoj primeni koriste se fizički, matematički i numerički model.

Fizički model kreira se preko topološkog opisa. Definiše se preko sistema prilagođenih promenljivih kao što su npr. mase i dužine, u slučaju mehaničkih sistema, ili otpornost i



induktivnost, u slučaju električnih sistema. Dakle, fizički model opisuje karakteristike sistema u specifičnom obliku, saglasno oblasti primene.

Matematički model čini osnovu opisa ponašanja sistema. Ovde su fizičke osobine modela formulisane pomoću matematičkih izraza.

Numerički model je, u stvari, prerađeni matematički model, tako da se može algoritmički obrađivati, odnosno primeniti kod različitih kompjuterskih analiza, na primer simulaciji.

Jedan od bitnih faktora uspeha primene V-modela je **osiguranje karakteristika** sistema. Zbog toga je neophodno da se koncept specifičnih rešenja i ispunjenje predviđenih zahteva kontinualno proverava u toku procesa projektovanja. Na taj način treba obezbediti da karakteristike realnog sistema budu u najvećoj meri saglasne sa karakteristikama koje su definisane i listi zahteva.

VDI preporuke 2206 predstavljaju prvi pristup za razvoj mehatroničkih proizvoda (faze u razvoju pametnih proizvoda), gde su sistematski objedine specifične i do sada međusobno nezavisne oblasti iz mašinstva, elektrotehnike i informacionih tehnologija. Dakle pruža okvir u kome mogu da se ugrade specifične metode i postupci iz različitih oblasti.

3.5.3 Glavne faze procesa razvoja i konstruisanja

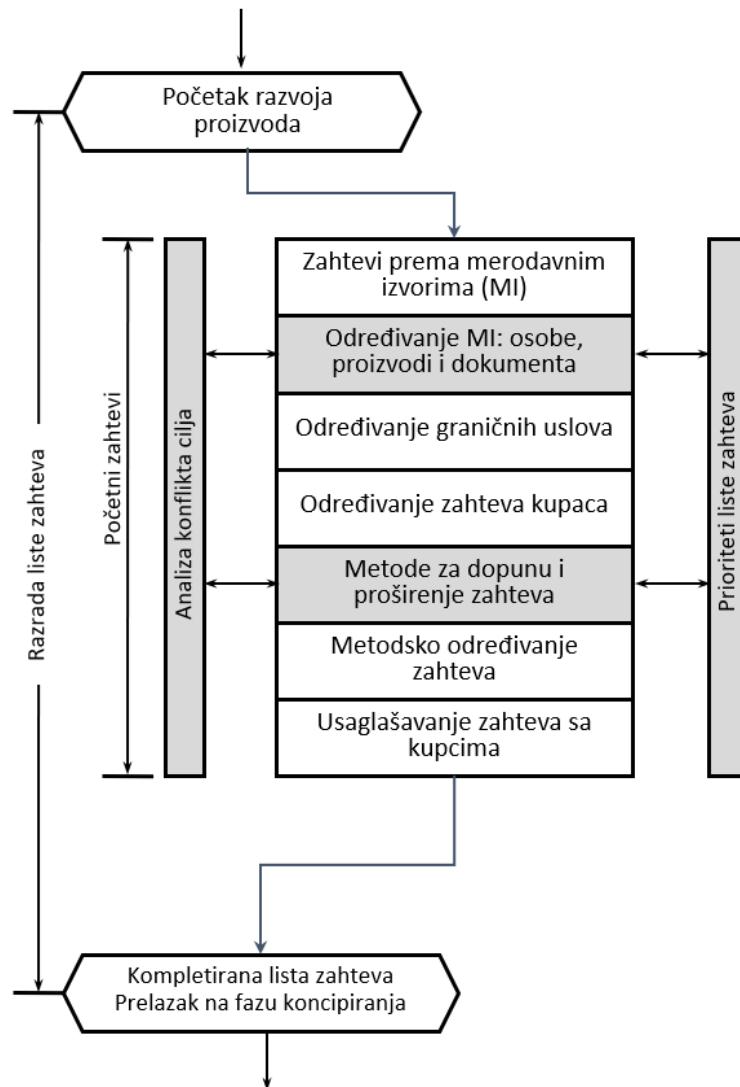
U svim napred navedenim modelima procesa razvoja i konstruisanja prisutne su sledeće faze za sistematsko vođenje procesa:

- Određivanje zahteva i definisanje liste zahteva;
- Koncipiranje konstrukcije;
- Preliminarna konstrukcija – nacrt;
- Detaljno konstruisanje – razrada.

3.5.3.1 *Određivanje zahteva i definisanje liste zahteva*

Lista zahteva je osnova svake konstrukcije u razvoju proizvoda. U njoj se nalaze svi relevantni podaci koji su precizno i pregledno razvrstani. Lista je dinamična, jer se stalno menja i dopunjuje. Treba voditi računa da se zahtevi razvrstaju po prioritetima i to na zahteve (koje neizostavno moraju biti ispunjeni) i želje (po mogućnosti da budu uspunjeni). Zahtevi moraju biti precizno formulisani i to neutralno u odnosu na rešenje. Moraju biti ispunjeni u svim okolnostima, pri čemu treba praviti razliku između između minimalnih zahteva, fiksnih zahteva i ciljnih zahteva. Po mogućству, u listi zahteva treba navesti i odgovornu osobu za ispunjenje pojedinih zahteva. Cilj liste zahteva je, dakle, precizno i pregledno sastavljanje svih kvalitativnih i kvantitativnih zahteva koje treba da ispuni konstrukcija u pisanim oblicima.

Postupak izrade liste zahteva prikazan je na sl. 3.8. Postupak se odvija u dve faze. U prvoj fazi određuju se mogući izvori zahteva i dokumentuju na ovaj način određeni zahtevi. Glavni fokus pri tome je identifikacija graničnih uslova, određivanje zahteva eksplicitno izraženih od strane kupaca ili zahteva koji proizilaze iz iskustva kompanije.



Sl. 3.8. Postupak izrade liste zahteva [3.4]

U drugoj fazi, koristeći adekvatne metode, vrši se dopuna i proširenje liste zahteva. Ovi zahtevi moraju biti usaglašeni sa potencijalnim kupcima. Sa razvojem proizvoda raste i broj zahteva, jer nije moguće na samom početku definisati sve potrebne zahteve. Između pojedinih zahteva i koncepta proizvoda postoji odgovarajuća međuzavisnost, što ponekad zahteva i izmenu nekih zahteva ili korekciju koncepta. Takvi zahtevi moraju biti blagovremeno uočeni, radi izbegavanja kasnijih dopunskih koraka iteracije. Oni se u startu označavaju kao inicijalni zahtevi, i kod njihovog određivanja primenjuju se adekvatne metode. Ukoliko se u toku razvoja proizvoda pojave dodatni zahtevi, takvi zahtevi označavaju se kao detaljni zahtevi.

Kod izrade liste zahteva može korisno da posluži VDI kontrolna lista – tabela 3.2.



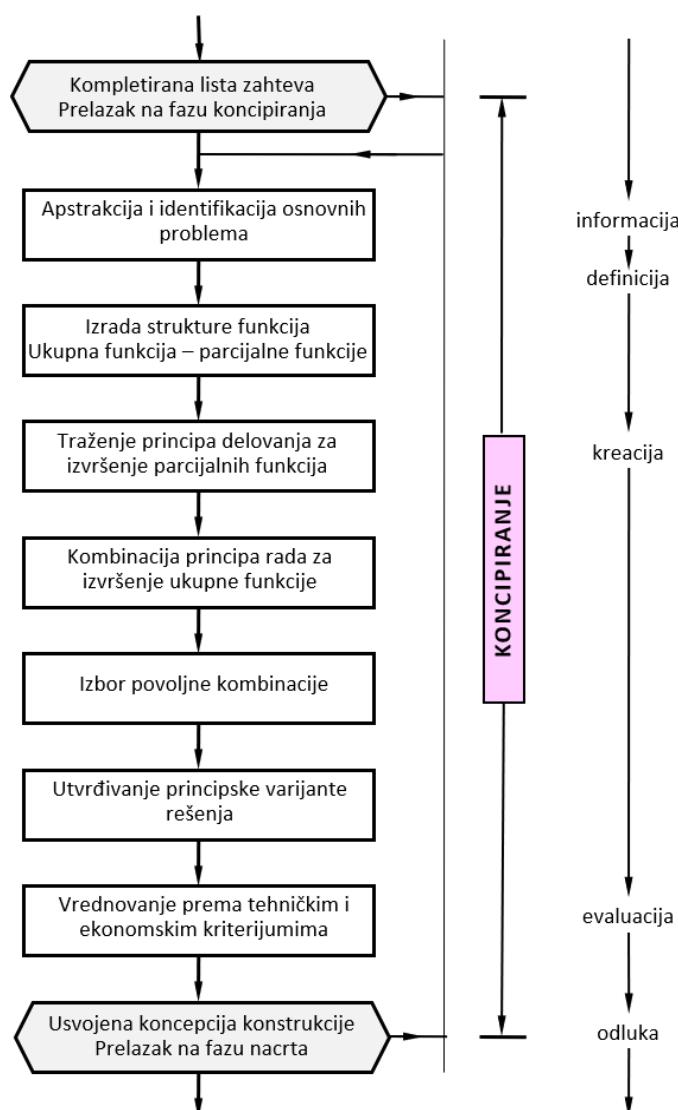
Tabela 3.2. Kontrolna lista za izradu specifikacija prema VDI - 2222

Osnovna karakteristika	Primer
Geometrija	Veličina, visina, širina, dužina, prečnik, prostor, broj, raspored
Kinematika	Način kretanja, pravac kretanja, brzina, ubrzanje...
Sile	Pravac delovanja, veličina, učestanost, težina, opterećenje...
Energija	Snaga, stepen iskorišćenja, trenje, pritisak, temperatura, zagrevanje, hlađenje, priključak energije...
Materijal	Tok materijala, transport materijala, pomoćni materijal, karakteristike ulaznih i izlaznih proizvoda...
Signal	Ulavne i izlavne merne veličine, oblik signala, pokazivanje...
Ergonomija	Odnos čovek - mašina, način opsluživanja, preglednost, radna sigurnost, zaštita okoline...
Izrada	Gabaritne mere izrade, zahtevi kvaliteta, predviđeni postupak izrade, alati potrebni za izradu...
Kontrola	Mogućnost merenja i ispitivanja, standardi...
Montaža transport	Temelji, posebna uputstva za montažu, mesto montaže, ograničenja kod kranova i dizalica, transportni put, pakovanje, uskladištenje...
Eksplatacija	Radni vek, radna sigurnost, dozvoljena buka, uticaj okoline, zaštita od eksplozije...
Održavanje	Uslovi održavanja, inspekcija, rasklapanje, čišćenje...
Cena	Dozvoljeni troškovi izrade, cena alata, investicije i amortizacija
Rokovi	Konačni rokovi razvoja, izrade, isporuke...
Ostala pitanja	Uslovi isporuke, plaćanja, patentno pravo, predviđena ispitivanja, penali, osiguranje transporta, obezbeđenje...

Lista zahteva praktično definiše i precizira i granične uslove. Postoji stav da je svaka konstrukcija onoliko dobra koliko to dozvoljavaju granični uslovi.

3.5.3.2 Koncipiranje konstrukcije

Koncipiranje (sl. 3.9) je deo PRK koja se odvija odmah posle razjašnjenja zadatka. Cilj ove faze je da se apstrakcijom, formiranjem strukture funkcija, nalaženjem odgovarajućih načelnih rešenja i njihovom kombinacijom dođe do opštег rešenja.



Sl. 3.9. Radni koraci faze koncipiranja

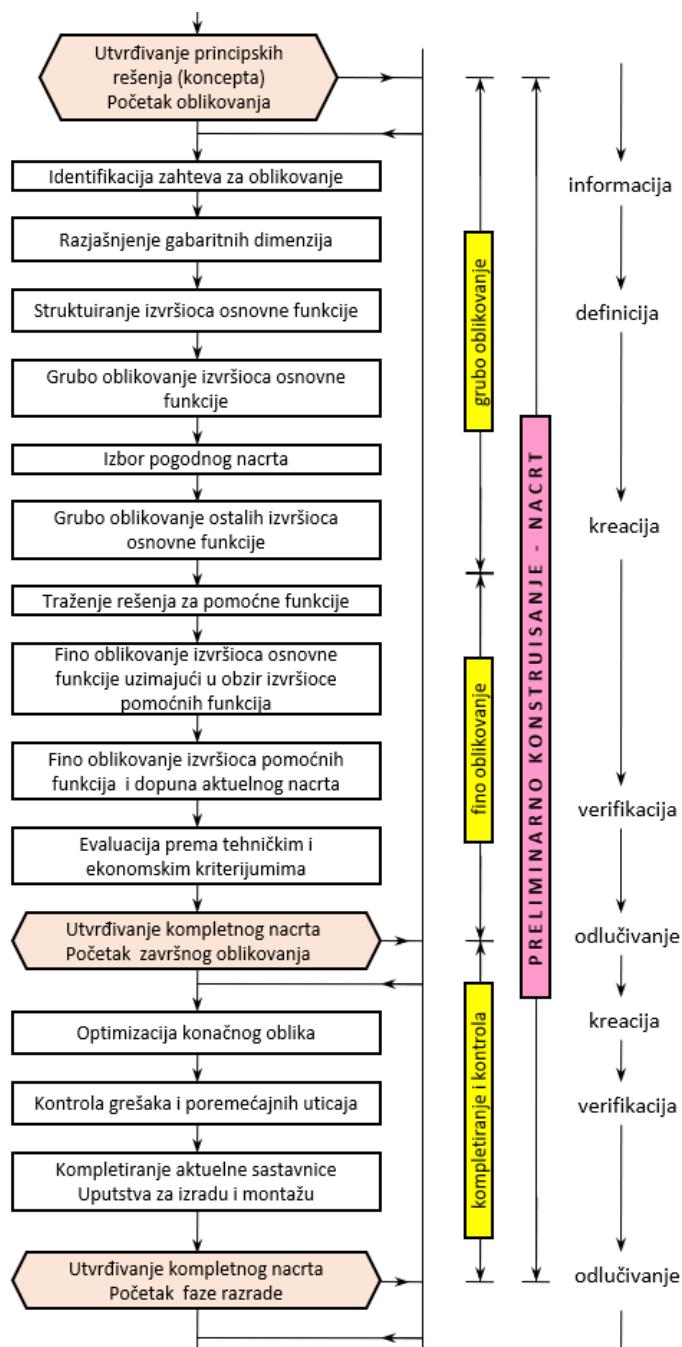
Prvi korak u ovoj fazi je definisanje proizvoda u apstraktnom obliku. Sistem se definiše apstraktnim strukturama funkcija koja mogu dovesti do novih rešenja, odnosno rešenja koja se razlikuju od postojećih. Apstrakcija dakle, služi za prepoznavanje suštinskih problema, izbegavanje fiksnih ideja i konvencionalnih rešenja, što treba da doprinese dobijanje novih i svrshishodnjih rešenja.

U drugom koraku deniveliše se opšta (globalna) funkcija na parcijalne i elementarne funkcije, odnosno formira se struktura funkcija. Opšta funkcija se pri tome definiše neutralno u odnosu na rešenje sa aspekta protoka energije, materije i signala na ulazu i izlazu i rešenim parcijalnim funkcijama. Zatim se traže principska rešenja koja ispunjavaju zahteve parcijalnih funkcija.



Tabela 3.3 Smernice za razmatranje glavnih parametara kod oblikovanja

Glavni parametar	Aktivnost kod razmatranja i verifikacije
Funkcija	Da li će predviđena osnovna funkcija biti ispunjena? Koje pomoćne funkcije su neophodne?
Princip delovanja	Da li će izabrani princip delovanja испунити жељени ефекат? Koje сметње се очекују код изабраног принципа?
Dimenzionisanje	Garantuje li izabrani oblik, dimenzijski i materijal delova za predviđeni radni vek i zadato opterećenje dovoljnu izdržljivost, dozvoljene deformacije, zadovoljavajuću stabilnost, potrebnu otpornost na koroziju i habanje?
Sigurnost	Da li su uzeti u obzir uticajni faktori vezani za sigurnost delova, sigurnost funkcionisanja i sigurnost okoline?
Ergonomija	Da li su razmatrani odnosi čovek-mašina? Da li su uzeti u obzir svi aspekti dizajna?
Izrada	Da li su postupci montaže jednostavni i jednoznačno određeni?
Montaža	Da li su postupci montaže једноставни и једнозначно одређeni?
Transport	Da li su uzeti u obzir uslovi transporta, i da li su razmatrani mogući rizici transporta?
Eksplotacija	Da li su precizno razmotreni uslovi eksplotacije, korišćenja i rukovanja proizvodom?
Održavanje	Da li su precizno definisani uslovi održavanja, inspekcije i servisa proizvoda?
Reciklaža	Da li je moguća ponovna upotreba, reciklaža i likvidacija proizvoda?
Cena	Da li je predviđena cena proizvoda održiva? Da li mogu da se pojave dodatni troškovi u eksplotaciji?
Termini i rokovi	Da li su predviđeni termini i rokovi održivi?



Sl. 3.10. Radni koraci faze nacrt



Izvršioci osnovne (glavne) funkcije: pojedini delovi i sklopovi koji ostvaruju osnovnu funkciju.

Izvršioci pomoćne funkcije: pojedini delovi i sklopovi koji ostvaruju pomoćnu funkciju.

Na osnovu strukture funkcija vrši se kombinacija ovih rešenja, tako da budu ispunjeni uslovi liste zahteva, uz dozvoljena odstupanja. Selekcija rešenja izvodi se sistematski, tačno definisanim postupkom.

Najpogodnije kombinacije se onda konkretizuju u varijante osnovnih rešenja. Ove varijante se moraju tako predstaviti da ih je moguće oceniti sa tehničkog i ekonomskog aspekta. Izlaz iz ove faze je usvojena optimalna koncepcija konstrukcije.

3.5.3.3 Preliminarna konstrukcija – nacrt

Pod nacrtom se podrazumeva deo konstruisanja, gde se za tehničke proizvode polazi od strukture delovanja, odnosno principskog rešenja strukture sistema, pa se prema tehničkim i ekonomskim zahtevima sistem dalje razrađuje. Realizacija faze nacrt zahteva, pored kreativnih i niz korektivnih radnih koraka, pri čemu se naizmenično smenjuju postupci analize i sinteze. Ovde je prisutan proces prelaza od kvalitativnih ka kvantitativnim parametrima, što se prvensteno ogleda kao prelaz od grubog ka finom oblikovanju.

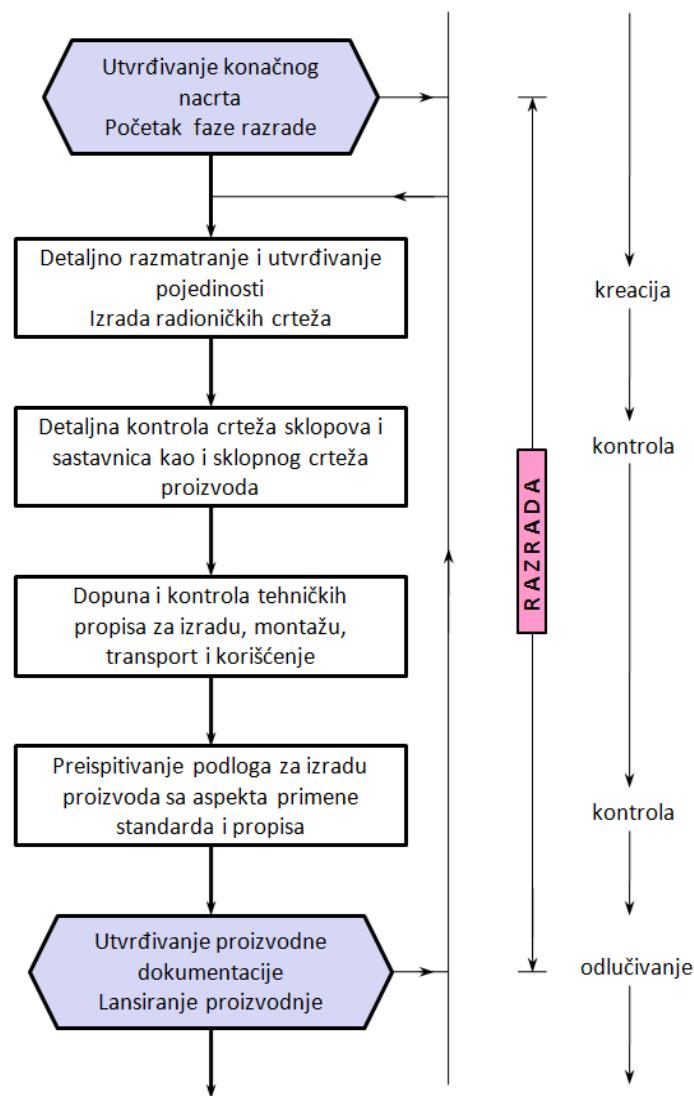
Zavisno od kompleksnosti koncepcijskih rešenja na sl. 3.10 prikazani su radni koraci realizacije faze nacrt-a.

Oblikovanje, koje se realizuje u ovoj fazi, označava se kao postupak razmatranja i preispitivanja (verifikacije) merodavnih parametara prema smernicama datim u tabeli 3.3. Svaki od navedenih parametara mora najpre da se razmotri, onda intenzivno razradi i na kraju preispita, odnosno verifikuje.

3.5.3.4 Detaljno konstruisanje – razrada

Pod razradom se podrazumeva deo konstruisanja, gde se raspored, oblik, dimenziije i završna obrada svih delova definisanih nacrtom tehničkog objekta dopunjavaju i usaglašavaju sa važećim propisima i standardima, preispituje cena i način izrade i konačno definiše kompletna tehnička dokumentacija.

Težište ove faze je na razradi podloga za izradu radioničkih crteža delova, kao i detaljna kontrola i dopuna sklopnih crteža i sastavnica. Pored toga, vrši se dopuna i kontrola tehničkih propisa za izradu, montažu i korišćenje. Ova faza završava se kontrolom adekvatne i kompletne primene internih i eksternih standarda (sl. 3.11). Kod primene CAD i 3D modela, nije neophodna klasična kontrola tehničkih crteža. Potrebni podaci za izradu smešteni su u datoteci 3D modela.



Sl. 3.11. Radni koraci faze razrade

Zavisno od oblasti rada i vrste proizvoda, uvek dolazi do većeg ili manjeg preklapanja faze nacrta i faze razrade.

3.6 Principi razvoja pametnih proizvoda

Saglasno komponentama I4.0 mogu se mogu se identifikovati sledeći principi razvoja pametnih proizvoda (sl. 3.12 [3.5]):

- Interoperabilnost;
- Virtuelizacija;
- Decentralizacija;
- Mogućnost u realnom vremenu;
- Orientacija ka uslugama;
- Modularnost.



Sl. 3.12. Principi razvoja pametnih proizvoda

3.6.1 Interoperabilnost

Interoperabilnost se odnosi na sposobnost objekata, mašina i ljudi u poslu da komuniciraju, razmenjuju podatke i koordiniraju aktivnosti. Ova sposobnost povezivanja svega u kompaniji, svuda i sa svima je od suštinskog značaja za iskorišćavanje prednosti uvida koje pružaju podaci za povećanje efikasnosti i poboljšanje procesa.

Implementacija i prihvatanje nove tehnologije ima samo ograničen kapacitet ako proizvod ili sistem ne mogu da razmenjuju kontekstualne informacije sa drugim proizvodima i sistemima. Slično tome, interakcija između mašina i ljudi ostaje ograničena na jednostavne i definisane slučajeve bez interoperabilnosti.

Interoperabilnost se ne može desiti bez povezivanja, tako da kao prvi korak, preduzeća moraju da digitalizuju svoje operacije korišćenjem računarstva u oblaku za softverske programe i skladištenje podataka. Sledeći korak je početak integracije platformi i softvera otvorenog koda u poslovne operacije.

Omogućavanje otvorene razmene informacija između sistema pomaže preduzećima da smanje troškove prikupljanja informacija i upravljanja, smanjuju nepotrebno dupliranje i koriste aplikacije trećih strana kada je to potrebno.

3.6.2 Virtuelizacija

Virtuelizacija se odnosi na dva različita scenarija:

Jedan virtuelni resurs se kreira od više fizičkih resursa.

Mnogi virtuelni resursi su kreirani od jednog ili više fizičkih resursa.

U prvom scenariju, hardversko okruženje preduzeća se simulira kreiranjem digitalnih „blizanaca“ fizičkih sredstava koristeći podatke sa senzora. U drugom scenariju, softver se koristi za podelu jednog fizičkog servera na više virtuelnih servera koji deluju kao jedinstveni fizički uređaji.

Digitalni blizanci ili 3D modeli se koriste za optimizaciju performansi mašine, omogućavajući pokretanje scenarija „šta ako“ i testiranje uticaja nove opreme. Oni takođe mogu delovati kao pratioci fizičkih objekata za operatere radi identifikacije statusa mašine u realnom vremenu, analiziraju performanse, testiraju rešenja i identifikuju potencijalne



probleme pre nego što se pojave. Ovo pruža mogućnost za produženje radnog veka mašina i uređaja, otkrivanja neefikasnosti u radu kao i smanjivanja troškova održavanja.

3.6.3 Decentralizacija

Decentralizacija je nešto što preduzeća prihvataju godinama, premeštajući sisteme na komponente umesto na centralni računar, kako bi se omogućila neograničena skalabilnost i fleksibilnost.

Čuvanje i prenos podataka u oblaku je oblik decentralizacije, kao i automatizacija ručnih zadataka koji se ponavljaju. I jedan i drugi redistribuiraju funkcije ili zadatke dalje od centralne lokacije.

Sa industrijom 4.0, međutim, sva tehnologija je decentralizovana, olakšavajući stvaranje decentralizovanih sistema u svim industrijama na globalnom nivou.

U naprednoj proizvodnji, 3D štampanje omogućava preduzećima da imaju male, decentralizovane fabrike na različitim lokacijama; u poljoprivredi, tehnologija decentralizovane knjige prati poreklo prehrambenih proizvoda kako bi se smanjile malverzacije; u nezi starijih, senzori pokreta, nosiva tehnologija i sistemi koji se aktiviraju glasom premeštaju negu izvan podešavanja pružaoca usluga u dom; a u obrazovanju, onlajn kursevi podržavaju samousmereno učenje.

Pošto je ovo makro trend, neizbežno će svako preduzeće koje prihvata novu tehnologiju izvrši decentralizaciju u okviru svojih operacija. Međutim, lideri mogu da podstaknu ovaj proces donošenjem odluka za uključivanje više operatera na terenu i prepustanje svakodnevnih operacija malim timovima.

3.6.4 Mogućnost u realnom vremenu

Sposobnost u realnom vremenu se odnosi na prikupljanje i analizu podataka u realnom vremenu, omogućavajući blagovremeno donošenje odluke u svakom trenutku.

Ovo daje mogućnost uvida stanja realizacije poslova, i poboljšanja produktivnosti. Takođe pruža mogućnost analize mikro trendova, brzu reakciju sprečavanja otkaza u proizvodnim linijama ili proaktivni pristup anomalijama ili neefikasnostima.

Zahvaljujući sve većem broju senzora i uređaja povezanih na internet, većina preduzeća već ima pristup velikim količinama podataka u realnom vremenu. Izazov leži u obradi i analizi podataka kako bi se poslovanje moglo kontinuirano optimizovati.

Digitalni alati omogućavaju malim i srednjim preduzećima (MSP) da izgrade jeftinu i integriranu platformu za izveštavanje i uvid u više izvora podataka. Računarstvo u oblaku znači da se ovim informacijama može upravljati u realnom vremenu bez potrebe da se čekaju izveštaji, uz mnoge usluge koje nude ugrađena analitika, koja se može videti bilo gde i u bilo koje vreme.

3.6.5 Orientacija ka uslugama

Mogućnost pristupa velikim podacima u realnom vremenu kao i slobodnom protoku informacija preko interoperabilnih sistema omogućava preduzećima da bolje zadovolje potrebe kupaca. Na taj način preduzećima mogu da se prilagode promenljivim potrebama i očekivanjima kupaca odnosno da pruže personalizovanu uslugu.

Kao rezultat toga, u svim industrijama dolazi do pomeranja fokusa na kupce, a ne na proizvode i prilagođene usluge ili na masovnu proizvodnju.



U naprednoj proizvodnji, tehnologije poput 3D štampanja omogućavaju fabrikama da proizvode male serije, prilagodljive proizvode brzo i jeftino. Težište ovih usluga je prikupljanje i analiza podataka, koji preduzećima pružaju mogućnost prediktivnog modeliranja i fokusiranje na kritične poslovne funkcije.

3.6.6 Modularnost

Slično orientaciji na usluge, modularnost se odnosi na sposobnost preduzeća da se fleksibilno prilagodi promenljivim zahtevima i potrebama industrije.

Postoje dva načina da uvođenja modularnosti:

Preduzeće koje je podeljeno na male, dobro definisane timove koji se fokusiraju na specifične elemente poslovanja.

Preduzeće koje implementira modularne sisteme, kao što su softverske platforme za računovodstvo, možete da kupite samo ono što vam je potrebno i da dodate još u budućnosti po potrebi. Ovo se razlikuje od spoljnih saradnika jer su modularni sistemi dizajnirani za interakciju i povezivanje sa ostatkom poslovanja.

Oba pristupa omogućavaju preduzećima da se fokusiraju na ono što dobro rade. Kao rezultat, osoblje se specijalizuje u osnovnim aktivnostima, nudeći usluge kupcima na više načina. Osnovne aktivnosti se zatim mogu proširiti sa uvećanjem poslova, povećavajući poslovnu fleksibilnost, kao i sposobnost kompanija da brže reaguju na promenljive tržišne uslove.

Identifikovanje osnovnih parametara poslovanja je najbolje mesto za početak u određivanju načina uvećanja modularne poslovne strukture. Poboljšanje efikasnosti može se postići premeštanjem pojedinih aktivnosti na softverske platforme, čime se dobija manje angažovanje osoblja.

3.7 Literatura

- [3.1] VDI-Richtlinie 2222, „*Konzipieren technischer Produkte*“ VDI-Verlag, Düsseldorf, 1973.
- [3.2] VDI-Richtlinie 2221, „*Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*“, VDI Verlag, Düsseldorf, 1993.
- [3.3] VDI-Richtlinie 2206, *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Beuth, Düsseldorf. 2006.
- [3.4] Pahl, G.; Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H.: *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8., vollständig überarbeitete Aufl. Berlin: Springer 2013.
- [3.5] Hermann, M, Pentek, T & Otto, B 2015, *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A literature review* (Working Paper No. 01), TU Dormund.



4. IT ALATI ZA RAZVOJ PAMETNIH PROIZVODA I USLUGA

4.1 Informacione tehnologije

Svet je ušao u epohu informacionog društva. Zbog toga distribucija, skladištenje i obrada informacija igraju ogromnu ulogu u društvu. Informacije postaju roba velike vrednosti, a informacione tehnologije sve značajniji faktor u poslovanju i svakodnevnom životu. Već su kreirani automatizovani sistemi za obuku, radne stanice za različite specijaliste, na primer distribuirani bankarski sistemi kao i drugi informacioni sistemi čije se poslovanje zasniva na punom spektru informatike. Ovaj sektor informacionih tehnologija se obično označava i kao *društvena informatika*.

Računarstvo kombinuje teorijski i praktični pristup. To znači da se, s jedne strane, stručnjaci-informatičari iz ove oblasti specijalizuju za dizajn kompjuterskih i informacionih sistema a, s druge strane, za teoriju računanja i teoriju informacija. Pritom, naučne teme iz oblasti teorije računarskih nauka koje su od posebnog značaja za dalji razvoj računarstva i koje zahtevaju dugoročna, fundamentalna istraživanja su, na primer, razvoj novih složenih algoritama, kompleksne strukture podataka, teorija kodiranja, kriptografija, distribuirano računarstvo, računarske mreže itd.

4.1.1 Evropska digitalna budućnost

Digitalno društvo i digitalne tehnologije donose sa sobom nove načine učenja, zabave, rada i istraživanja ali, takođe, donose i nove slobode i prava građanima EU. Međutim, i dalje postoje mnogi izazovi povezani sa digitalnom transformacijom kojima se treba pozabaviti tokom digitalne decenije (do 2030. godine)¹. U tom smislu, EU mora povećati svoju stratešku autonomiju u tehnologiji i razviti nova pravila i tehnologije kako bi se zaštitila od falsifikovanih proizvoda, sajber krađa i dezinformacija.

Svoje glavne planove u vezi sa tim Evropa je formulisala kroz poruku „*Digitalni kompas: Evropski put za digitalnu deceniju*“² kojom je jasno opredelila svoje digitalne ambicije za sledeću deceniju u obliku jasnih i konkretnih ciljeva:

1. digitalno kvalifikovana populacija i visoko kvalifikovani digitalni profesionalci,
2. bezbedne i održive digitalne infrastrukture,
3. digitalna transformacija preduzeća,
4. digitalizacija javnih usluga.

Posebno treba naglasiti da digitalni kompas treba, između ostalog, da podrži EU u ispunjavanju ciljeva iz Evropskog zelenog dogovora, pomažući Evropi da postigne svoj cilj smanjenja emisije gasova staklene bašte za najmanje 55% do 2030. godine.

Ključne oblasti politike koje osiguravaju ispunjenje ovih ciljeva uključuju računarstvo u oblaku, veštačku inteligenciju, digitalne identitete, podatke i povezanost.

¹ Europe's Digital Decade: digital targets for 2030 https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europe-digital-decade-digital-targets-2030_en

² “The 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade.” <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/targeted-consultation-2030-digital-compass-european-way-digital-decade>



Na onlajn Digitalnom danu 2021³ (19. marta 2021. godine), ministri koji predstavljaju države članice EU potpisali su tri deklaracije:

- za udruživanje napora i resursa za promovisanje međunarodnog povezivanja,
- podsticanje uvođenja čistih digitalnih tehnologija i
- poboljšanje regulatornog okruženja za novoosnovane i proširene kompanije.

Preuzete obaveze će pomoći ubrzaju zelene i digitalne transformacije Evrope⁴ i doprineće viziji i ciljevima Evropske digitalne decenije. Posebno je naglašena potreba da Evropa predvodi tranziciju ka zdravoj planeti i novom digitalnom svetu, pri čemu ovaj dvostruki izazov zelene i digitalne transformacije mora da ide ruku pod ruku. To zahteva, kao što je navedeno u Evropskom zelenom dogovoru, hitnu promenu pravca ka održivim rešenjima koja su resursno efikasna, kružna i klimatski neutralna. Evropa je na ovaj način iskazala jasno opredeljenje da kreće u oblikovanje svoje digitalne budućnosti, pri čemu digitalna tranzicija treba da funkcioniše za sve, bez izuzetka, stavljajući ljude na prvo mesto i otvarajući nove mogućnosti za poslovanje.

Digitalne tehnologije duboko menjaju naš svakodnevni život, naš način rada i poslovanja i način na koji ljudi putuju, komuniciraju i odnose se jedan prema drugome. Digitalna komunikacija, interakcija sa društvenim medijima, e-trgovina i digitalna preduzeća neprestano transformišu naš svet. Pri tome se generišu velike količine podataka, koji, ako se objedine i koriste na pravi način, mogu dovesti do potpuno novih sredstava i nivoa stvaranja vrednosti. To je fundamentalna transformacija, slična onoj izazvanoj industrijskom revolucijom.

Ova suštinska društvena transformacija zahteva duboku refleksiju na svim nivoima društva o tome kako Evropa može najbolje da odgovori i da nastavi da se suočava sa ovim rizicima i izazovima. To će zahtevati ogroman napor, ali Evropa nesumnjivo ima sredstva da ostvari ovu bolju digitalnu budućnost za sve.

Evropska komisija želi evropsko društvo zasnovano na digitalnim rešenjima koja su snažno ukorenjena u našim zajedničkim vrednostima i koja obogaćuju živote svih nas: ljudi moraju imati priliku da se lično razvijaju, da slobodno i bezbedno biraju, da se angažuju u društvu, bez obzira na njihov uzrast, pol ili profesionalno poreklo.

Evropski tehnološki suverenitet počinje od obezbeđivanja integriteta i otpornosti infrastrukture podataka, mreža i komunikacija. To zahteva stvaranje pravih uslova za Evropu da razvije i primeni sopstvene ključne kapacitete, smanjujući na taj način zavisnost od drugih delova sveta u pogledu najvažnijih tehnologija.

Neki od ključnih dokumenata su *EU digitalna strategija za period 2020-2025. godina*⁵, *Bela knjiga o veštačkoj inteligenciji*⁶ i *Evropska strategija podataka*⁷ koji su već predstavljeni, pokazuju da Evropa može da postavi globalne standarde u tehnološkom razvoju, stavljajući ljude na prvo mesto.

³ Digital Day 2021: EU countries commit to key digital initiatives for Europe's Digital Decade
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_1186

⁴ Green digital sector, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/green-digital>

⁵ Shaping Europe's digital future https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-shaping-europees-digital-future-feb2020_en_3.pdf

⁶ WHITE PAPER On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf

⁷ A European strategy for data https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf



Evropska komisija se fokusirala na tri ključna cilja kako bi osigurala da digitalna rešenja pomognu Evropi da nastavi svoj put ka digitalnoj transformaciji kroz poštovanje sistema vrednosti:

- *Tehnologija koja radi za ljudе:* razvoj i primena tehnologija koje poboljšavaju svakodnevni život ljudi. Snažna i konkurentna ekonomija koja vlada i oblikuje tehnologiju na način koji poštuje evropske vrednosti.
- *Pravedna i konkurentna digitalna ekonomija:* jedinstveno tržište, gde kompanije svih veličina i u bilo kom sektoru mogu da se takmiče pod jednakim uslovima i mogu da razvijaju, plasiraju i koriste digitalne tehnologije, proizvode i nude usluge u obimu koji povećava njihovu produktivnost i globalnu konkurentnost, a potrošači mogu biti sigurni da se njihova prava poštuju.
- *Otvoreno, demokratsko i održivo društvo:* pouzdano okruženje u kojem su građani osnaženi u načinu na koji deluju i komuniciraju. Evropski put ka digitalnoj transformaciji koji unapređuje naše demokratske vrednosti poštuje naša osnovna prava i doprinosi održivoj, klimatski neutralnoj ekonomiji sa efikasnom upotrebom resursa.

Posebna pažnja biće posvećena stvaranju uslova da se veštačka inteligencija razvija na način koji poštuje ljudska prava i zaslužuje njihovo poverenje, bolju zaštitu od sajber pretnji (hakovanje, ransomveri, krađa identiteta) i uvođenje ultra brzog širokopojasnog pristupa za sve subjekte, uključujući domove, škole i bolnice širom EU.

Ljudi imaju pravo na tehnologiju kojoj mogu verovati. Ono što je ilegalno van mreže mora biti ilegalno i na mreži. Iako ne možemo predvideti budućnost digitalnih tehnologija, evropske vrednosti i etička pravila i društvene i ekološke norme moraju da važe u digitalnom prostoru.

Poslednjih godina, Evropa je vodila put ka otvorenom, pravednom, inkluzivnom i usmerenom na ljude internetu sa svojom opštom uredbom o zaštiti podataka koja postavlja standarde i pravila za saradnju između digitalnih platformi i preduzeća. Kako bi zaštitila evropske demokratije i vrednosti koje ih podupiru, Evropska komisija će nastaviti da razvija i primenjuje inovativna i proporcionalna pravila za digitalno društvo od poverenja. Takvo digitalno društvo treba da bude potpuno inkluzivno, pravedno i dostupno svima.

Digitalna rešenja, a posebno podaci, takođe će omogućiti potpuno integriran pristup životnom ciklusu, od dizajna preko izvora energije, sirovina i drugih inputa do finalnih proizvoda i do faze kraja životnog veka. Na primer, praćenjem kada i gde je električna energija najpotrebnija, možemo povećati energetsku efikasnost i koristiti manje fosilnih goriva.

Moć podataka biće od suštinskog značaja i u zdravstvenom sektoru. Digitalizovani zdravstveni kartoni, prikupljeni u evropskom prostoru zdravstvenih podataka, mogu dovesti do boljeg lečenja velikih hroničnih stanja, uključujući rak i retke bolesti, ali i do jednakog pristupa visokokvalitetnim zdravstvenim uslugama za sve građane.

Na samom kraju ali ništa manje važna je inicijativa za postizanje klimatski neutralnih, visoko energetske efikasnih i održivih centara podataka najkasnije do 2030. godine i mere transparentnosti za mobilne operatere o njihovom uticaju na životnu sredinu.

U geopolitičkom smislu, EU bi trebalo da iskoristi svoju regulatornu moć, ojačane industrijske i tehnološke sposobnosti, diplomatske snage i spoljne finansijske instrumente kako bi unapredila evropski pristup i oblikovala globalne interakcije. Ovo uključuje rad



obavljen u okviru sporazuma o pridruživanju i trgovini, kao i sporazuma postignutih u međunarodnim telima kao što su, na primer, Ujedinjene nacije i OECD, uz podršku država članica EU.

Snažno digitalno prisustvo u politici proširenja, susedstva i razvoja EU omogućće rast i podstaći održivi razvoj, uključujući prihvatanje zelenih informaciono-komunikacionih tehnologija u partnerskim zemljama i regionima, u skladu sa evropskom posvećenošću *Agendi za održivi razvoj 2030*⁸. U tom smislu, mnoge zemlje su već uskladile svoje zakonodavstvo sa snažnim režimom zaštite podataka EU. Kao ogledalo ovog uspeha, EU bi trebalo da aktivno promoviše svoj model bezbednog i otvorenog globalnog interneta.

Što se tiče standarda, naši trgovinski partneri su se pridružili procesu predvođenom EU koji je uspešno postavio globalne standarde za 5G i Internet stvari. Evropa sada mora da predvodi u procesu usvajanja i standardizacije nove generacije informacionih tehnologije: blok lanca (eng. blockchain), superračunarstva, kvantnih tehnologija, algoritama i alata koji omogućavaju deljenje podataka i korišćenje podataka.

Digitalne tehnologije, koliko god napredne bile, samo su alat. One ne mogu da reše sve naše probleme ali omogućavaju stvari koje su bile nezamislive pre jedne generacije. Uspeh evropske digitalne strategije meriće se u tome koliko dobro smo u stanju da ove alate upotrebimo u pružanju javnih dobara evropskim građanima i ustanovama.

Evropa može da realizuje ovu digitalnu transformaciju i da postavi globalne standarde kada je u pitanju tehnološki razvoj. To je istinski dugogodišnji evropski projekat – digitalno društvo zasnovano na evropskim vrednostima i evropskim pravilima.

4.1.2 Računarski sistem

Računar je mašina koja obavlja procese, proračune i operacije na osnovu instrukcija koje joj daju softver ili hardverski program. Ima sposobnost da prihvati podatke (ulazni podaci), obradi ih, a zatim da generiše odgovarajuće izlaze. Računari su, po opštoj definiciji, dizajnirani da izvršavaju aplikacije i pružaju raznovrsna rešenja kombinovanjem integrisanih hardverskih i softverskih komponenti [4.1].

Može se reći, takođe, da je računarski sistem osnovna, kompletna i funkcionalna hardverska i softverska postavka, potrebna za implementaciju računarskih performansi. Obično se sastoji od računara i njegovih perifernih uređaja. Pri tome, periferni uređaji računara uključuju ulazne uređaje, izlazne uređaje i sekundarne memorije.

Arhitektura računara se odnosi na one attribute sistema vidljive programeru, tj. attribute koji imaju direktni uticaj na logičko izvršavanje programa.

Organizacija računara se odnosi na operativne jedinice i njihove međusobne veze koje ostvaruju specifikacije arhitekture sistema.

Mašinske instrukcije: Rad CPU (Centralna procesorska jedinica, eng. Central Processing Unit) je određen instrukcijama koje izvršava (sl. 4.1). Ova uputstva se zovu mašinska uputstva ili računarska uputstva.

⁸ A sustainable European future: The EU response to the 2030 Agenda for Sustainable Development
<https://www.consilium.europa.eu/media/23989/st10370-en17.pdf>



Sl. 4.1. Centralna procesorska jedinica

Kolekcija različitih instrukcija koje CPU može da izvrši naziva se skupom instrukcija CPU-a.

Pod *procedurom* se podrazumeva samostalni računarski program koji je ugrađen u veliki program. Ona nam omogućava da koristimo isti deo programskega koda više puta. Mehanizam postupka korišćenja procedure uključuje dve osnovne instrukcije:

1. *Poziv instrukcija* koja se grana od trenutne lokacije do procedure.
2. *Povratna instrukcija* koja se vraća iz procedure na mesto odakle je pozvana.

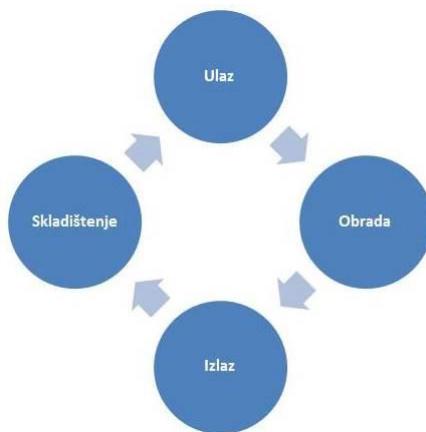
Proučavanje organizacije računara je ustvari proučavanje komponenti računara, njihovih funkcija, strukture i načina na koji su međusobno povezane.

U opštem slučaju računar se sastoji od CPU, memorije i skladišta i perifernih uređaja (uključujući neki oblik mrežne veze).

Opšti *ciklus obrade informacija*, u kontekstu računara i računarske obrade, ima četiri faze:

1. Ulaz
2. Obrada
3. Izlaz
4. Skladištenje

Ovo je tzv. *IPOS ciklus* (eng. Input-Processing-Output-Storage) koji opisuje najelementarnije kako koristimo računar. Na sl. 4.2 dat je šematski prikaz ovog ciklusa. Međutim, na nekim nivoima unutar računara, neki uređaji za obradu zapravo koriste samo tri od ovih koraka – *ulaz, obradu i izlaz* – bez potrebe za skladištenjem podataka. Svaka od ovih faza (3 ili 4) igra važnu ulogu u akcijama prikupljanja, analize i distribucije koje obavlja računarski sistem.



Sl. 4.2. Šematski prikaz IPOS ciklusa

Kao što smo već rekli, računar se sastoji od CPU, memorija i I/O periferija. Pri tome, CPU i memorija su povezane tzv. sistemskom magistralom, dok su sa I/O podsistemima povezani I/O magistralom (sl. 4.3).



Kada se želi pokretanje jednostavnog programa prva stvar koja se dešava je da operativni sistem učitava program sa mesta gde je uskladišten na čvrstom disku u slobodan deo memorije. Kada se učita, operativni sistem prenosi kontrolu na procesor (CPU) čime započinje pokretanje ovog programa.



Sl. 4.3. Struktura modernih računara

Objasnićemo detaljnije funkcionisanje CPU i memorija. CPU se sastoji od kontrolne jedinice, ALU (Aritmetička/Logička jedinica, eng. Arithmetic/Logic Unit) i registara. Jedan od tih registara se zove programski brojač ili PC (eng. Program Counter, ne treba ga mešati sa generičkim imenom kućnog računara). Računar dobija adresu prve programske instrukcije u memoriji. Drugi registar se naziva registar instrukcija (IR) koji čuva trenutnu instrukciju. Ostali registri su registri podataka—oni čuvaju podatke koje trenutno koristimo. Jeden poseban registar podataka, nazvan akumulator (eng. Accumulator), koristi se za čuvanje najnovije izračunate ili korišćene vrednosti. Kao što je prikazano na sl. 4.3, memorija može biti tipa SRAM (eng. Static RAM), DRAM (eng. Dynamic RAM) i ROM (eng. Read-Only Memory).

CPU pokreće program tako što CPU obavlja ono što je poznato kao ciklus *preuzimanja-izvršavanja*. Ideja iza ovog ciklusa je da CPU prvo preuzima instrukciju iz memorije, a zatim je izvršava. Tipičan ciklus preuzimanja i izvršavanja (ciklus se razlikuje u zavisnosti od procesora) će imati četiri ili pet, ili možda više, faza.

4.1.3 Nauka o algoritmima

Algoritam je fundamentalni pojam matematike i informatike koji je nastao mnogo pre pronalaska savremenih računara. Prvobitno se algoritam odnosio na proceduru aritmetičkih operacija nad decimalnim brojevima. Kasnije je ovaj termin evoluirao tako što je korišćen za označavanje bilo koje serije računarskih operacija koje vode ka rešenju problema. Značenje reči algoritam je slično značenju reči kao što su pravilo, metod, tehnika ili način.

U oblasti informatike, pod algoritmom se podrazumeva tačna i potpuna lista instrukcija koja određuje sadržaj i redosled prinudnih radnji koje izvršilac vrši nad određenim objektima (izvorni i između skupova podataka) po redu da bi se dobio očekivani rezultat (konačni skupovi podataka).

Bilo koji algoritam zavisi od izvršioca; opis algoritma se vrši pomoću komandi izvršioca; objekti na koje može da deluje izvršilac moraju pripadati njegovom okruženju tako da ulazni i izlazni podaci algoritma moraju pripadati okruženju određenog izvršioca.

Postoji fundamentalna razlika u formi algoritma koji se razvija i algoritma za izvršavanja. Da bi se razvio algoritam, mora se imati medijum za skladištenje na koji se sadržaj algoritma



može sačuvati. Da bi se izvršio algoritam, mora se imati izvršioc (mašina za izvršavanje), za koju je algoritam razvijen i sačuvan.

Postoji nekoliko indirektnih oblika predstavljanja istog algoritma:

- *U obliku teksta*, korišćenjem prirodnog jezika ili posebno određenog algoritamskog jezika;
- *U grafičkom obliku*, npr. korišćenjem dijagrama toka;
- *U analitičkom obliku* kao niz matematičkih formula;
- *U formi kompjuterskog programa*, na nekom od programskeh jezika.

Bez obzira na oblik predstavljanja, algoritmi se mogu prevesti u uobičajene strukture upravljanja računarskim operacijama i podacima koje strukture obezbeđuje većina programskeh jezika visokog nivoa. Ako se zahteva precizna analiza vremenskih i prostornih zahteva, obično se koriste različiti oblici prezentacije algoritama.

4.1.4 Elementi softvera

Programi za prve računare pisani su samo u mašinskom kodu, koji period je trajao do kraja 1940-ih godina. Programske jezike su veštački jezici koji koriste programeri i razumljiv je (ne nužno direktno) za računare. Za razliku od prirodnih ljudskih jezika, kompjuterski programske jezike moraju biti jasan, tako da se iz njegovih instrukcija može izvesti samo jedno značenje.

Programski jezik je posrednik u prenosu instrukcija od programera do računara koji može biti prevodilac (kompajler) ili interpretator/interpreter (program koji izvršava kod napisan u nekom programskom jeziku). Pre pokretanja programa, program se obično prevodi na mašinski jezik i tek onda ga izvršava računar.

Savremeni računari i dalje izvršavaju numeričke mašinske kodove, ali oni nastaju kompilacijom originalnih programa, koje su napisali programeri na jeziku visokog nivoa.

Direktno pisanje numeričkog mašinskog koda danas se ne radi, jer je to mukotrpan, radno intenzivan posao i sklon greškama. Pisanje mašinskog koda je olakšano asemblerским jezicima, koji su programerima prijatniji.

Računarski program: Skup detaljnih instrukcija korak po korak koji računaru govore kako da reši problem ili da izvrši dati zadatak. Koraci u programu su napisani na jeziku koji računar može da tumači ili „razume“.

Podaci: Reči, brojevi i grafike koje opisuju ljude, događaje, stvari i ideje. Podaci se mogu uključiti u softver, kao što su, na primer, podaci za rečnik u programu za obradu teksta, a mogu se kreirati i podaci koji se mogu prikazati grafički, dakle nezavisno od programa..

Softver: Skup uputstava i povezanih podataka, uskladištenih u elektronskom formatu, koji usmeravaju računar da izvrši dati zadatak. Prema ovoj definiciji, računarski softver može uključivati više od jednog računarskog programa, ako se ovi programi upare zajedno da bi izvršili složeni zadatak. Takođe, softver može uključivati podatke, ali podaci sami po sebi nisu softver. Na primer, softver za obradu teksta može da sadrži podatke za rečnik, ali podaci koji se kreiraju pomoću procesora teksta ne nazivaju se softverom.

Računar je, zasigurno, najuspešnija i najsvestranija mašina u istoriji, a njegova svestranost je moguća zbog softvera. Osnovni princip izvršavanja programa je da se korisničke komande



programa prevode u razumljive kodove mašinskog jezika koje može da izvrši centralna procesorska jedinica.

Postoje dve glavne kategorije softvera: *Sistemski softver* pomaže računaru da izvrši svoje osnovne operativne zadatke dok *Aplikacijski softver* pomaže korisniku da izvrši određeni zadatak.

Sistemski softver radi na najosnovnijem nivou naših računara i omogućava aplikacijskom softveru da komunicira sa računarom i pomaže računaru da upravlja svojim unutrašnjim i spoljnim resursima, kao i da upravlja hardverom. Drugim rečima, sistemski softver je interfejs između korisnika, aplikativnog softvera i hardvera računara.

Glavne kategorije sistemskog softvera su:

- *Operativni sistem (OS)*: Program koji, nakon što je inicijalno učitan u računar pomoću programa za pokretanje, upravlja svim ostalim aplikativnim programima na računaru. Aplikacioni programi koriste operativni sistem tako što upućuju zahteve za usluge preko definisanog interfejsa aplikacijskog programa (API interfejs, engl. Application Programming Interface). Bez operativnog sistema, svaka aplikacija bi morala da sadrži sopstveni korisnički interfejs, kao i sveobuhvatan kod potreban za rukovanje svim funkcijama niskog nivoa osnovnog računara, kao što su skladištenje na disku, mrežni interfejsi itd.
- *Uslužni softver*: Dizajniran je da poveća osnovne mogućnosti operativnog sistema računara i bolje korišćenje hardverskih resursa. Oni pomažu operativnom sistemu da upravlja, organizuje, održava i optimizuje funkcionisanje računarskog sistema. Neki uslužni programi koji su uključeni u operativni sistem odnose se na zadatke kao što su priprema diskova za čuvanje podataka, pružanje informacija o datotekama na disku i kopiranje podataka sa jednog diska na drugi.
- *Upravljački softver*: Pomaže računaru da kontroliše periferni uređaj. Drajver uređaja je deo softvera koji omogućava operativnom sistemu računara da komunicira sa hardverskim uređajem za koji je upravljački program napisan. Upravljački programi uređaja zavise od instrukcija operativnog sistema za pristup uređaju i obavljanje bilo koje određene radnje. Za skoro svaki uređaj povezan sa računarskim sistemom postoji odgovarajući upravljački program uređaja. Treba napomenuti da drajver komunicira sa uređajem preko računarske magistrale, koja povezuje uređaj sa računаром.
- *Programski softver*.

4.1.5 Programska jezik

Programski jezik je sistem komunikacije u softverskoj tehnologiji, odnosno računarski jezik koji koriste programeri za komunikaciju sa računarima. To je skup instrukcija napisanih na bilo kom specifičnom jeziku (C, C++, Java, Python) za obavljanje određenog zadatka. Ovi jezici su široko klasifikovani u tri nivoa:

- *Mašinski jezici*: jedini programska jezik koji CPU razume. To je vrsta programskega jezika niskog nivoa. Naziva se i mašinskim kodom ili objektnim kodom. Mašinski jezik se obično prikazuje u binarnom ili heksadecimalnom obliku (osnova 16). Nije potreban prevodilac da konvertuje programske naredbe - programski kod, jer računari direktno razumeju programe mašinskog jezika. Prednost mašinskog jezika je u tome što on pomaže programeru da izvršava programe brže od programske jezike visokog nivoa.



- **Asemblerски језици:** Jedan nivo iznad mašinskog jezika koji omogućava simboličko programiranje „višeg nivoa“. Umesto pisanja programa kao niza bitova, assemblerski jezik omogućava programerima da pišu programe korišćenjem simboličkih kodova operacija. Pošto CPU ne prepoznaje programe napisane na assembleru, mi koristimo assembler da prevedemo programe napisane na assemblerском jeziku u ekvivalentne mašinskog jezika. U poređenju sa pisanjem programa na mašinskom jeziku, pisanje programa na assemblerском jeziku je mnogo brže, ali nedovoljno ili teško izvodljivo za pisanje složenih programa.
- **Jezici visokog nivoa:** razvijeni da bi omogućili programerima da pišu programe brže nego kada koriste assemblerске jezike. Na primer, FORTRAN (FORmula TRANslator), programski jezik namenjen matematičkom izračunavanju, i COBOL (COMmon Business-Oriented Language), programski jezik namenjen aplikacijama za obradu poslovnih podataka. BASIC (Beginners All-purpose Symbolic Instructional Code) je posebno razvijen kao jednostavan jezik za učenike za učenje i upotrebu kao programske alat. Uzgred, BASIC je bio prvi jezik visokog nivoa dostupan za mikroračunare. Još jedan poznati jezik visokog nivoa je Pascal, koji je dizajniran kao akademski jezik. Pošto CPU ne prepoznaje programe napisane na jeziku visokog nivoa, moramo koristiti kompjajler da bismo ih preveli u ekvivalentne assembleriske jezike. Programske jezike C razvijen je ranih 1970-ih u AT&T Bell Labs. Programske jezike C++ je razvijen kao naslednik jezika C ranih 1980-ih da bi dodao podršku za objektno orijentisano programiranje. Treba istaći da je objektno orijentisano programiranje stil programiranja koji je danas sve više prihvaćen. Programske jezike Java, jedan od novijih objektno orijentisanih programskih jezika, razvijen u kompaniji Sun Microsystems u Kaliforniji je odmah dobio široku pažnju i industrije i akademske zajednice. Jezik je bio zasnovan na C i C++ i prvo je bio namenjen za pisanje programa koji kontrolisu potrošačke uređaje. Java se često opisuje kao *Web programski jezik* zbog svoje upotrebe u pisanju programa koji se nazivaju *apleti* koji se pokreću u okviru Web pretraživača. Apleti omogućavaju dinamičnije i fleksibilnije širenje informacija na Internetu, a sama ova karakteristika čini Javu privlačnim jezikom za učenje. Mogu se pisati, takođe, i Java aplikacije. Java aplikacija je kompletan samostalni program koji ne zahteva Web pretraživač. Ona je analogna programu koji pišemo na drugim programskim jezicima.

Aplicacijski softver su softveri razvijeni za specifičnu oblast primene od strane korisnika. Naziva se i program za krajnje korisnike (tzv. end-users) ili samo aplikacija. Nalazi se iznad sistemskog softvera. Može da se instalira ili da mu se pristupa na mreži. To može biti jedan program ili grupa malih programa koji se nazivaju *paket aplikacija*.

Aplicacijski softver nam pomaže da pravimo dokumenta, da izvodimo proračune, upravljamo finansijskim resursima, da kreiramo grafiku, da komponujemo muziku, da igramo igrice, da održavamo datoteke sa informacijama na računaru itd. Neki primeri aplicacijskog softvera su softver za obradu teksta, softver za tabele, softver za prezentacije, za izradu grafike, CAD/CAM softveri, za slanje elektronske pošte itd.

Aplicacijski softver čine četiri vrste softvera:

- **Softver za produktivnost** (eng. Productivity Software) pomaže da se radi efikasnije. Zbog namene korišćenja koriste se i alternativni nazivi *Softver za ličnu produktivnost* (eng. Personal productivity software) ili *Softver za kancelarijsku produktivnost* (eng. Office productivity software).



- *Softver za zabavu* (eng. Entertainment Software) dizajniran da zabavi. To je vrsta programa koji pruža bilo koju vrstu zabave ili mogućnosti za slobodne aktivnosti. To uključuje video igrice, obrazovne aplikacije za decu, virtualne studije za kreiranje medija, pa čak i prevodioce.
- *Poslovni softver* (eng. Business Software) se koristi za različite vrste poslovnih aplikacija.
- *Obrazovni i referentni softveri*: obrazovni softver (eng. Educational Software) je dizajniran da pomogne da se sazna više o određenoj temi, odnosno da olakša usvajanje znanja od strane učenika i studenata. Referentni softver, na primer elektronska enciklopedija, pomaže da se potraže činjenice o bilo kojoj temi koja je je od interesa.

Postoji i tzv. *Integrисани softver* - to je kolekcija softvera specijalno kreiranog za rad na blisko povezanim programima. Integrисani softver se često naziva *programski paket*. Vrlo često se radi o sličnim programima koji su grupisani zajedno u jednu aplikaciju u obliku paketa (npr. Microsoft Office ili Ofice 365). Softveri za industrijsko upravljanje i baze podataka spadaju takođe u kategoriju integrisanog softvera.

4.1.6 Internet

Internet je fizička mreža. Koristi se širom sveta, pa se može nazvati *međunarodnom mrežom* ili *mrežom mreža*. Internet sam po sebi, ne pruža usluge. Umesto toga, usluge su dostupne preko servera koji pokreću aplikacije i protokole razvijene tako da usluge mogu biti dostupne, bez obzira koji tip računara ili mreže koristite za komunikaciju sa tim serverima. Internet je mehanizam kojim se komunikacija prenosi sa jedne lokacije na drugu, odnosno od računara koji je tražio informaciju i generisao upit do servera i nazad od servera do računara. Dakle, Internet je razvijen nezavisno od usluga koje koristimo preko Interneta [4.2].

Internet je najpopularnija svetska računarska mreža. Počeo je kao akademski istraživački projekat 1969. godine, a postao je globalna komercijalna mreža 1990-ih. Danas ga koristi više od 2 milijarde ljudi širom sveta u više od 190 zemalja.

Internet se može definisati kao mreža *globalno povezanih računara* koja je *dizajnom decentralizovana*:

- Globalno povezani računari znači da možete biti povezani na Internet, bez obzira na vašu lokaciju.
- Decentralizovan dizajn znači da niko ne poseduje internet niti kontroliše ko može da se poveže na njega. Umesto toga, hiljade različitih organizacija upravljaju sopstvenim mrežama i pregovaraju o dobrotoljnim sporazumima o međusobnom povezivanju. Ne postoji centralizovano telo koje kontroliše način na koji Internet funkcioniše. Decentralizacija znači da mnogi kontrolišu Internet.

Internet i World Wide Web ostaju najveći decentralizovani komunikacioni sistemi koje je čovečanstvo ikada videlo. Ovo je u velikoj meri bio deo dizajna: pronalazači Weba su želeli da svi ljudi mogu da kreiraju i pristupaju informacijama. Pri tome se svaki računar koji je povezan na Internet naziva *host* ili *klijent*. Drugim rečima, bilo koju radnu stanicu (desktop workstation) koju koristi jedan korisnik smatramo *klijentskom radnom stanicom* ili samo *klijentom*. Ukoliko, međutim, jednoj istoj radnoj stanci pristupaju istovremeno više korisnika simultano, tu istu stanicu nazivamo *serverom*.



World Wide Web, koji je takođe poznat kao Web, je kolekcija web lokacija ili web stranica koje se čuvaju na web serverima i povezane su sa lokalnim računarima putem interneta.

Da biste pristupili Internetu, potrebni su:

- *Klijentski računar sa neophodnim hardverom i klijentskim softverom*
- *Povezivanje preko Internet provajdera, ISP (Internet Service Provider) za protok podataka*
- *Host računar* koji se takođe naziva veb server koji hostuje željene podatke. Host računar je računar povezan na računarsku mrežu.

World Wide Web – poznat kao WWW ili W3 ili jednostavno Web – je jedan od nekoliko alata za otkrivanje Internet resursa razvijenih da pomognu ljudima da objavljuju, organizuju i obezbeđuju pristup informacijama na Internetu. Web je prvi razvio Sir Tim Berners Lee 1989. dok je radio u CERN-u, u Evropskoj laboratoriji za fiziku čestica u Švajcarskoj. Od tada pa do danas WWW je postao najmoćniji i najpopularniji alat za otkrivanje resursa na Internetu. WWW se može definisati kao *hipertekstualni, multimedijalni, distribuirani informacioni sistem koji obezbeđuje veze sa hipertekstualnim dokumentima*.

Termini *Internet* i *World Wide Web* se često koriste u svakodnevnom govoru bez velike razlike. Međutim, nisu isto. *Internet je globalni sistem međusobno povezanih računarskih mreža*. Nasuprot tome, *Web je jedan od servisa koji rade na Internetu*. To je kolekcija tekstualnih dokumenata i drugih resursa, povezanih hipervezama i URL adresama, kojima obično pristupaju Web pregledači sa Web servera.

Razmotrićemo definicije nekih uobičajenih termina koji se koriste u ovoj oblasti [4.3]:

Hipertekst (eng. Hypertext): Tekst koji sadrži veze ka drugim tekstovima. Termin je skovao Ted Nelson oko 1965. godine.

Hipermedija (eng. Hypermedia): Termin koji se koristi za hipertekst koji nije ograničen da bude samo tekst jer može uključivati grafiku, video i zvuk.

Hipervezza (eng. Hyperlink): To je element u hipertekstualnom dokumentu koji nas vodi na drugo mesto u istom dokumentu ili na potpuno drugačiji hipertekstualni dokument.

URL (eng. Uniform Resource Locator) je globalna adresa ili veb adresa dokumenata i drugih resursa na World Wide Web-u.

Web ili WWW se uglavnom sastoji od

- *Standardnog protokola za prenos hiperteksta* (HTTP - eng. Hypertext transfer protocol),
- *Univerzalnog lokatora resursa* (URL) i
- *Jezika za označavanje hiperteksta* (tzv. HTML - eng. Hypertext Markup Language).
- *Bezbedne verzije protokola za prenos hiperteksta* (tzv. HTTPS - Hypertext transfer protocol).
- Za razliku od standardnog HTTP protokola, „S“ u HTTPS-u znači „bezbedno (od Secure)“. Nekada je bio rezervisan prvenstveno za lozinke i druge osetljive podatke, danas ceo veb postepeno ostavlja HTTP protokol iza sebe i prelazi na HTTPS protokol.



Problemi se javljaju zato što HTTP veze nisu šifrovane. Ali zato HTTPS veze jesu. Iako nije savršen, HTTPS je i dalje mnogo sigurniji od HTTP protokola.

- Postoji i HTTP/2 (HTTP ver. 2) kao nova verzija HTTP protokola koja je podržana u svim glavnim veb pretraživačima. Njene prednosti su da dodaje kompresiju i druge funkcije koje pomažu da se veb stranice brže učitavaju. Svi veći veb pregledači zahtevaju od sajtova da koriste HTTPS enkripciju ako žele ove korisne nove HTTP/2 funkcije.

Web 1.0 je termin koji se koristio za najraniju verziju Interneta i koji je postao, po prvi put, globalna mreža. Rani Internet se uglavnom sastojao od veb stranica povezanih hiperlinkovima, bez dodatnih vizuelnih prikaza, kontrola i formi koje vidimo kada se danas ulogujemo. Ne može se tačno reći gde se završava *Web 1.0* i počinje *Web 2.0* jer se ta promena postepeno dešavala tokom vremena kako je internet postao interaktivniji. Neki navode da je *Web 2.0* počeo oko 2004. godine. Ne samo da su sajтовi postali interaktivni, na primer u slučaju društvenih mreža, već su velike kompanije preuzele internet. Naravno, tzv. obični ljudi i dalje vode svoje veb lokacije, ali sada su oni u manjinu.

Ono što *Web 3.0* izdvaja od njegovih prethodnika je to što je decentralizovan, manje-više kao što je bio *Web 1.0*, ali je interaktivan slično kao i *Web 2.0*.

U osnovi tehnologije *Web 3.0* je blokčejn, ista tehnologija koja podržava i kriptovalute. Ideja je da se podaci čuvaju u decentralizovanom skladištu, tako da se mogu širiti preko interneta u celini, a ne u određenom broju tzv. grupa ili "farmi" servera kao što je to sada slučaj. Način na koji se ovi podaci premeštaju bi se registrovao u digitalnoj knjizi – tzv. lancu blokova – što bi tok podataka činilo veoma transparentnim, a istovremeno bi sprečavalo zloupotrebe.

Jedna velika mana *Web 3.0* tehnologije bio bi gubitak anonimnosti. U potpuno transparentnom sistemu, uvek možete biti identifikovani, na isti način na koji kriptovaluta poput Bitcoin-a nije anonimna.

Međutim, najveća zamerka *Webu 3.0* je što je, na neki način, više teoretski koncept nego stvarnost. Iako je ideja o decentralizovanom internetu bez kompanija Meta i Gugla odlična – čak i divna – ideja *Web 3.0* se veoma snažno oslanja na tehnologije koje još nisu razvijene.

Tako, na primer, blockchain je odličan, ali činjenica je da značajno usporava svaki proces čiji je deo. Takođe, vrsta mašinskog učenja koja je potrebna za kreiranje naprednih mreža još uvek nije potpuno definisana. Možemo slobodno reći da je vizija mnogo "slobodnjeg" interneta dovoljno privlačna za sve. Čak i ako *Web 3.0* ne bude ostvaren na ovaj način, biće zasigurno prisutan u nekom sličnom konceptu.

4.1.7 Mrežna komunikacija⁹

Računarske mreže su prvi put stvorene kasnih 1950-ih za upotrebu u vojsci i odbrani. Prvobitno su korišćene za prenos podataka preko telefonskih linija i imale su ograničenu komercijalnu i naučnu primenu. Sa pojavom internet tehnologija, računarska mreža je postala nezamenljiva za sve subjekte u društvu. U tom smislu, računarsko umrežavanje se odnosi na međusobno povezane računarske uređaje koji mogu da razmenjuju podatke i dele resurse jedni sa drugima. Ovi umreženi uređaji koriste sistem pravila, tzv. *komunikacione protokole*, za prenos informacija preko fizičkih ili bežičnih tehnologija.

⁹ Eng. Network Communication



Osim računara za uspešan rad mreže potrebni su mrežni uređaji. Njihov je zadatak upravljanje protokom podataka i njihovo usmerivanje na odgovarajuće mesto najefikasnijim putem. Mrežni uređaji imaju dve glavne svrhe: *povezuju više računara u lokalnu mrežu i omogućavaju delotvornu razmenu podataka između računara u mreži*. Oni su sastavni dio svake mreže i optimizuju njene performanse i omogućavaju maksimalno korišćenje njenih resursa. To su elektronski uređaji koji zauzimaju centralno mesto i bez kojih se ne može zamisliti rad bilo koje mreže.

Dakle, *Mrežni hardver*, takođe poznat kao *mrežna oprema* ili *računarski mrežni uređaji*, su uređaji koji su potrebni za komunikaciju i interakciju između uređaja na računarskoj mreži.

U mrežne uređaje spadaju svi elektronski uređaji koji prihvataju i distribuiraju promet unutar računarskih mreža (obično imaju memoriju i procesor). Uobičajeni mrežni uređaji su

- *Čvorišta* (eng. Hub) su najprimitivniji od mrežnih uređaja. Ono funkcioniše tako što prima poruku i prosleđuje je svim resursima na koje se povezuje. Čvorište se ponekad naziva *multiport repeitor*, jer je njegov posao da ponovi dolaznu poruku na svim svojim portovima. Ako više poruka stigne u isto vreme, čvorište takođe upravlja detekcijom kolizije tako što prosleđuje signal zastoja na sve povezane uređaje. Signal zastoja označava da je došlo do sudara poruke među uređajima koji su na njega povezani. Kada se to dogodi, svaki uređaj koji pokušava da komunicira čeka nasumično vreme pre nego što ponovo pokuša da ponovo pošalje svoju poruku. Čvorišta su danas uglavnom zastarela zbog superiornih uređaja kao što je, na primer, mrežni prekidač.
- *Prekidači* (eng. Network Switch) prosleđuju dolaznu poruku na jedan resurs. Prekidač koristi odredišnu adresu poruke da odredi uređaj na koji poruka treba da bude prosleđena. Ova adresa je poznata kao adresa niskog nivoa i naziva se *hardverskom adresom* ili *adresom kontrole pristupa medijima* (tzv. MAC - eng. Media Access Control Address). Prekidač je takođe poznat kao *MAC most*. Kada je uređaj povezan sa prekidačem, prekidač dobija MAC adresu tog uređaja i zadržava je u tabeli. Po priјemu poruke, ispituje se odredišna MAC adresa i prosleđuje poruka na odgovarajući port.
- *Ruteri* (eng. Router) koriste odredišnu mrežnu adresu poruke da je usmere na njen sledeći korak kroz mrežu. Ova mrežna adresa zavisi od tipa mrežnog protokola. Pod pretpostavkom protokola TCP/IP (eng. Transmission Control Protocol/Internet Protocol), mrežna adresa je adresa *Internet protokola verzije 4* (IPv4) ili *Internet protokola verzije 6* (IPv6). Sledeći korak ne mora da znači i odredišni uređaj. Ruteri usmeravaju poruke kroz mreže, tako da je prosleđuju na sledeću tačku u mreži koja prima poruku bliže njenom odredištu. Ovo može biti do odredišnog računara, mrežnog prekidača ili drugog rutera. Glavna razlika između mrežnog prekidača i ruter je u tome što ruter radi isključivo na mrežnim adresama, a ne na hardverskim adresama.
- *Mrežni prolazi* (eng. Gateway) su ruteri koji povezuje različite vrste mreža zajedno. Tačnije, mrežni prolaz ima mogućnost da prevede poruku iz jednog protokola u poruku za drugi protokol. Ovo je zadatok hardvera ili softvera koji mapira sadržaj poruke bez podataka iz protokola izvorne mreže u protokol odredišne mreže. Mrežni prolaz je poput ruter, samo što je pozicioniran na ivici mreže.

Zaštitni zid (eng. Firewall), iako nije nužno komponenta mreže, ključan je za sigurnost resursa unutar mreže. Zaštitni zid je tako postao resurs od suštinskog značaja u današnjem svetu sa našim oslanjanjem na Internet za e-trgovinu jer postoji sve veći broj ljudi koji



pokušavaju da napadnu mreže i njihove resurse bilo kao oblik sajber ratovanja, kriminalnog dela ili jednostavno da vide šta mogu da urade.

Zaštitni zid može biti *softverski* ili *hardverski*. Kao softver, to je program ili usluga operativnog sistema koji se pokreće na računaru; Kao hardver, to je često umreženi uređaj koji se nalazi blizu ili na ivici mreže.

Napomenimo da ruteri i mrežni prolazi mogu da služe i kao zaštitni zidovi ako su programirani da to rade. Većina hardverski orijentisanih zaštitnih zidova može obavljati i druge mrežne funkcije. Štaviše, u stvarnosti hardverski zaštitni zid je softver koji radi na uređaju koji nije povezan sa računarom.

4.1.8 Računarske mreže¹⁰

Računarska mreža je grupa računara koja deli informacije preko bežične ili žičane tehnologije. U opštem slučaju, računarske mreže povezuju računare u različite svrhe kao, na primer, radi deljenja informacija između uređaja kao što su štampači/skeneri i aplikacije, radi omogućavanja korisničke saradnje putem e-pošte, čakanja i video konferencija, radi igranje igrica, glasovnih poziva i dr. Računari su povezani preko mrežnih uređaja kao što su čvoriste, mrežni prekidač, ruteri, mrežna kartica i prenosnih medija kao što su žičane veze (koaksijalni kablovi, optička vlakna) i bežične veze (antena). Mreža je okosnica IT evolucije, a u digitalnom svetu igra važnu ulogu u povezivanju svega na zemlji poput opreme, mašina, uređaja, sprava i pokretnih objekata.

Jedan od ciljeva računarskih mreža je, takođe, deljenje resursa. Naime, umrežavanjem je moguće deliti programe, podatke i druge resurse između više korisnika na mreži pri čemu je deljenje resursa nezavisno od fizičke lokacije korisnika i resursa. Tako se datoteke na određenom računaru korisnika mogu deliti na mreži ili se mogu postaviti na server datoteka, koji na taj način obezbeđuje centralnu lokaciju za sve datoteke koje su potrebne korisnicima na mreži.

Vrlo važan cilj umrežavanja je i obezbeđanje visoke pouzdanosti korišćenjem alternativnih izvora snabdevanja. Na primer, sve datoteke mogu da se repliciraju na dve ili tri mašine, tako da ako jedna od njih nije dostupna, druge kopije mogu biti dostupne.

Cilj umrežavanja može biti i moguće smanjenje troškova. Deljenje resursa automatski smanjuje ukupne troškove. Na primer, za deset korisnika koji nisu umreženi potrebno je obezbediti deset štampača. Ako bi ovim korisnicima bilo dozvoljeno da rade u mreži, onda bi bio dovoljan samo jedan ili dva štampača.

Računarske mreže postaju moćan medijum za komunikaciju među ljudima koji se nalaze na istim ili različitim geografskim lokacijama. Tako, na primer, datoteku koja je ažurirana ili izmenjena na mreži, drugi korisnici na mreži mogu odmah da vide.

4.1.9 Topologije mreža¹¹

U opštem slučaju, pod topologijom mreže podrazumevamo način na koji su veze i čvorovi mreže raspoređeni tako da međusobno mogu da komuniciraju. Dakle, topologija mreže predstavlja ustvari raspored ili dizajn povezanih uređaja.

¹⁰ Eng. Computer Networks

¹¹ Eng. Network Topology



U opštem slučaju, mrežne topologije mogu biti *fizičke* ili *logičke*. Fizička topologija označava fizički dizajn mreže uključujući uređaje, lokaciju i kablovsku instalaciju. Logička topologija definiše način na koji sistemi komuniciraju preko fizičkih topologija.

Danas se za mreže koristi nekoliko osnovnih tipova fizičkih topologija. Pri tome se složenije mreže mogu izgraditi kao hibridi dve ili više osnovnih topologija.

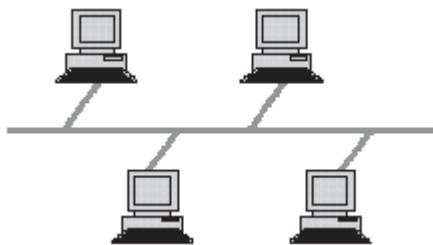
U literaturi o računarskim mrežama navodi se da postoji uglavnom 6 tipova fizičke topologije mreža:

1. Topologija magistrale
2. Topologija prstena
3. Topologija zvezda
4. Topologija mreže
5. Topologija stabla
6. Hibridna topologija

Postoji i klasifikacija 8 tipova fizičke topologije mreža. Naime, osim pomenutih šest pojavljuju se još dve:

7. *Topologija P2P* (eng. peer-to-peer ili point-to-point), odnosno topologija od uređaja do uređaja, koja se koristi kod, na primer, bežičnih (eng. wireless) računarskih mreža.
8. *Topologija lanca* (eng. Daisy Chain Topology). Ova mreža je jednostavna računarska mreža u kojoj je jedan računar povezan sa drugim bez ikakvih interventnih uređaja, tako da se poruka šalje sa jednog računara na drugi. Napomenimo da ova topologija može biti linearna ili prstenasta.

Mreža topologije magistrale (eng. Bus Topology) sastoji se od jednog dugačkog kabla na koji su povezani svi računari i drugi uređaji kao na sl. 4.4. Svaki čvor povezan sa magistralom može slati signale niz kabl do svih čvorova mreže. Kada više od jednog čvora počne da šalje podatke kroz magistralu, oni se mešaju jedan sa drugim, a poslati podaci postaju smeće. Ovo se zove tzv. *kolizija podataka*. Kada se otkrije kolizija (sudar), uređaj koji je posao poruku šalje signal zastoja kako bi upozorio sve druge uređaje da je došlo do sudara. Uređaji koji su izazvali koliziju, zajedno sa drugim uređajima na čekanju, čekaće nasumično vreme pre nego što pokušaju ponovo sa slanjem. Da bi se izbegla kolizija mora postojati neki dogovor između čvorova, tako da kada jedan računar počne da šalje podatke, drugi se uzdrže od slanja podataka.



Sl. 4.4. Topologija magistrale

Da bi se obezbedila ispravna komunikacija podataka u ovoj topologiji, oba kraja kabla se završavaju posebnim uređajem koji se zove *krajnji terminator*. Dakle, topologija linearne



magistrale se sastoji od glavne linije kabla sa terminatorom na svakom kraju. Svi čvorovi (file server, radne stanice i periferije) su povezani na linearni kabl.

Osnovne prednosti magistrale su:

- Dobra za manje mreže koje ne zahtevaju veću brzinu
- Jeftina u instalaciji
- Ne zahteva dodatne mrežne uređaje
- Laka za dodavanje novih sistema u mrežu
- Moguća proširenja postojeće mreže
- Više perifernih uređaja može biti podržano kroz topologiju magistrale

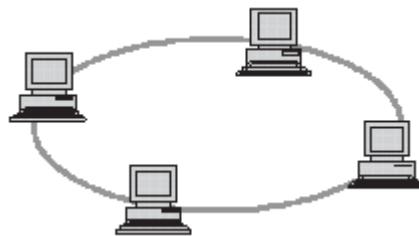
Osnovni nedostaci magistrale su:

- Zastarela tehnologija korišćena u ranim danima umrežavanja
- Kada se glavni kabl pokvari, cela mreža postaje praktično neupotrebljiva
- Upravljanje u velikoj mreži je otežano
- Sigurnosne opcije su ograničene topologijom magistrale
- Računari mogu da dele podatke, ali ne komuniciraju
- Po pravilu, problemi koji se pojave teško se otklanjaju.

Topologija magistrale je podložna zagušenju saobraćaja, posebno kada mreža postane dovoljno velika a resursi pokušavaju da istovremeno koriste mrežu.

U *topologiji prstena* (eng. Ring Topology), računari su međusobno povezani na takav način da formiraju blisku petlju (sl. 4.5). U praksi, kabl povezuje prvi računar sa drugim računarom, drugi kabl povezuje drugi računar sa trećim i tako sve dok se poslednji računar ne poveže sa prvim da bi se zatvorila petlja.

Treba napomenuti da topologija fizički možda neće izgledati kao pravilan prsten ili krug. Prsten ustvari znači da su računari međusobno povezani u tzv. "logički prsten". Naravno, kablovi za međusobno povezivanje mogu u praksi imati bilo koji oblik. Sve poruke putuju kroz prsten u istom smeru (bilo „u smeru kazaljke na satu“ ili „u suprotnom smeru“).



Sl. 4.5. Topologija prstena

Ova vrsta mreže može brzo da prenosi podatke, čak i ako je povezan veliki broj uređaja jer podaci teku samo u jednom smeru, tako da neće biti kolizije podataka.

Osnovna karakteristika prstenaste mreže je da se svaki čvor povezuje sa tačno dva druga čvora, formirajući jedan kontinuirani put za signale kroz svaki čvor, odnosno prsten. Podaci putuju od čvora do čvora, pri čemu svaki čvor na putu rukuje svakim paketom. Pri tome, računari koji komuniciraju moraju da poštuju neki dogovor između njih da bi izbegli koliziju.

Prednosti:

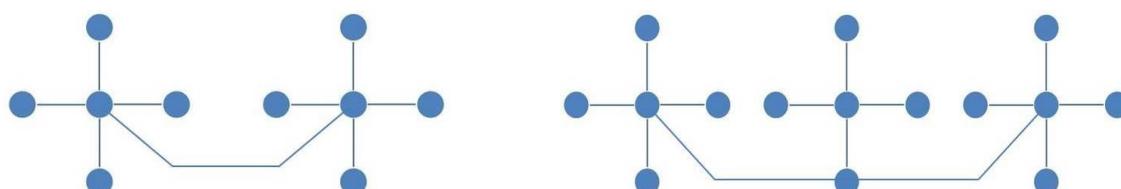
- Nema kolizije podataka jer podaci putuju samo u jednom pravcu.
- Lakše je pronaći grešku. Ako se bilo koja tačka pokvari, vrlo lako se otkriva mesto kvara.
- Terminator nije potreban.

Nedostaci:

- Zahteva više kablova nego topologije magistrale.
- Prekid u prstenu će oboriti celu mrežu.
- Dodavanje ili uklanjanje bilo kog čvora može uticati na karakteristike cele mreže.

U *topologiji zvezda* (eng. Star Topology) svi računari i mrežni uređaji se povezuju na centralni uređaj (kontroler) koji se naziva čvoriste. Ono je obično mrežni uređaj, međutim, to može biti i računar ili čak server. Centralno čvoriste ima ograničen broj veza (npr. 16), pa će i broj resursa koji čine mrežu biti ograničen. Ova vrsta topologije je daleko efikasnija od topologije prstena, jer sve poruke stignu na odredište za samo dva skoka (računar koji šalje poruku-čvoriste, čvoriste-odredišni računar). Zvezdasta mreža je takođe robustnija od prstenaste mreže jer kvar bilo kog čvora ne prekida vezu sa mrežom, osim ako nije centralni čvor, naravno. Međutim, cena topologije zvezda je to što sada morate da dodate resurs koji predstavlja centralnu tačku mreže.

Postoje varijante zvezdaste mreže kao što je proširena zvezda u kojoj su dva čvorista ili prekidača povezana. Slika 4.6 ilustruje neke od tih oblika topologije zvezda.

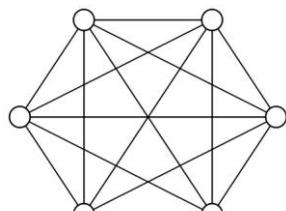


Sl. 4.6. Proširenja topologije zvezde

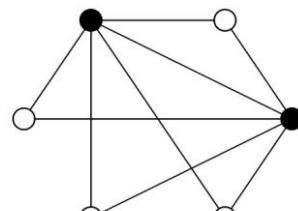
Mrežna topologija (eng. Mesh Topology) uključuje jedinstveni mrežni dizajn (tzv. "topologija najbližeg suseda") u kome se svaki računar na mreži povezuje sa svakim drugim, stvarajući vezu od tačke do tačke (point-to-point) između svakog uređaja na mreži. Mrežna topologija se koristi kada se postavlja uslov da ne sme biti apsolutno nikakvog prekida u komunikacijama, na primer kontrolni sistemi nuklearne elektrane. Važna osobina je da ova mreža obezbeđuje visok nivo redundancije što se ovim tipom mreže relativno lako ostvaruje. Naime, ako se mrežni kabl, računari ili druge komponente pokvare, podaci uvek imaju alternativni put do svog odredišta.

Potpuno povezana mreža (eng. Full-connected Mesh), prikazana na sl. 4.7(a) ima $n(n-1)/2$ kablova za povezivanje 'n' uređaja gde svaki uređaj na mreži mora imati 'n-1' ulazno/izlaznih (I/O) portova. Ova topologija se uglavnom koristi u okruženjima gde visoka dostupnost mreže opravdava troškove povezane sa ovom količinom međusobnog povezivanja. Ova mreža daje najveću količinu redundancije, tako da ako čvor otkaže, mrežni saobraćaj može biti usmeren na bilo koji drugi čvor. Puna mreža je obično rezervisana za *okosnicu mreže* (eng. backbone ili core network). Okosnica je glavni deo mreže preko koga se prenosi najveća količina saobraćaja.

U topologiji *Delimično povezane mreže* (eng. Partially-connected Mesh), koja je prikazana na sl. 4.7(b), najmanje dva računara u mreži imaju veze sa više drugih računara u toj mreži. To je jevtin način za implementaciju redundantnosti u mreži. Ako jedan od primarnih računara ili veza u mreži otkaže, ostatak mreže nastavlja da radi normalno. Napomenimo da su dva čvora obeležena crno upravo ta dva računara koji imaju više veza sa drugim računarima.



(a)



(b)

Sl. 4.7 Podvrste topologije mreže

Topologija stabla (eng. Tree Topology), koja se naziva i *hijerarhijska mreža* (s obzirom da svaki čvor može imati proizvoljan broj podređenih čvorova) ili *topologija zvezda-sabirnica*, kombinuje karakteristike topologije magistrala i topologije zvezda. Sastoji se od grupa zvezda konfigurisanih radnih stanica povezanih na glavni kabl linearne magistrale. Ovaj hibridni pristup magistrala/zvezda podržava buduću proširivost mreže mnogo bolje od magistrale (ograničeno u broju uređaja zbog emitovanog saobraćaja koji generiše) ili zvezde (ograničeno brojem tačaka veze čvorišta).

U topologiji zvezda, svaki čvor je povezan preko čvorišta. Topologija stabla je proširenje ove dve topologije, pa je stoga poznata i kao *topologija proširene zvezde*. Kada računar prenese bilo koji podatak, on će se emitovati u čvorištu, a zatim će čvorište preneti poruku određenom računaru.

Topologija mreže stabla se smatra najjednostavnijom topologijom s obzirom da ima samo jednu rutu između bilo koja dva čvora na mreži: Najviši čvor u topologiji stabla poznat je kao *korenski čvor*, a svi ostali čvorovi su *potomci korenskog čvora*. Obrazac povezivanja podseća na drvo u kome sve grane izviru iz jednog korena. Topologija stabla je jedna od najpopularnijih među pet mrežnih topologija. Pogodna je za velike mreže proširene na mnoge grane (na primer veliki univerzitetski kampusi, bolnice itd.).

Prednosti:

- Mrežu je lako proširiti samo dodavanjem još jedne grane, povezivanjem dodatnog čvorišta i kablova.
- Detekcija i izolacija kvara su relativno laki.
- Podrška za uređaje.

Nedostaci:

- Pouzdanost
- Slaba bezbednost.
- Teže instaliranje topologije stabla.
- Složeno održavanje.



Struktura *Lančane mreže* (eng. Daisy Chain Topology) se formira povezivanjem jednog ili više čvorova ili računara u linearном nizu. Dodavanje čvora u mrežu zasnovano na strukturi lanca naziva se olančavanje (eng. daisy-chaining). S obzirom da je jedan mrežni čvor povezan sa sledećim čvorom u mreži, ovaj tip se koristi za prenos poruke niz liniju za deo računarske mreže. Jednom kada se poruka prenese iz čvora, ona ide niz prolaz sve dok dotična poruka ne stigne do odredišnog čvora.

Postoje dve vrste lančanih mreža:

- *Linear lanac* (linearna struktura): ako prvi i poslednji čvor mreže nisu priključeni jedan sa drugim.
- *Prstenasti lanac* (prstenasta struktura): ako su prvi i poslednji čvor mreže povezani.

Za mrežnu strukturu čiji dizajn sadrži više od jedne topologije se kaže da je *Hibridna topologija* (eng. Hybrid Network). Ona predstavlja međusobno povezivanje dve ili više osnovnih mrežnih topologija od kojih svaka sadrži svoje čvorove. Rezultirajuća interkonekcija omogućava čvorovima u datoj osnovnoj topologiji da komuniciraju sa drugim čvorovima u istoj osnovnoj topologiji, kao i onima u drugim osnovnim topologijama u okviru hibridne topologije. Prednosti hibridne mreže uključuju povećanu fleksibilnost jer se nove osnovne topologije lako mogu dodati ali se isto tako lako mogu i ukloniti. Nažalost, Hibridna topologija nasleđuje prednosti i nedostatke svih inkorporiranih topologija.

4.1.10 Kategorije mreža

U telekomunikacijskom smislu, računarske mreže povezuju uređaje za obradu podataka i komunikacijske uređaje. To može biti na međudržavnom planu, unutar pojedinih zemalja, gradova, u industrijskim zonama i postrojenjima, univerzitetima, istraživačkim centrima, poslovnim zgradama ili kancelarijama. Potreba za umrežavanjem posledica je stalnog porasta razmene podataka na svim nivoima [4.4].

Kad god imamo set računara i mrežnih uređaja mi vršimo umrežavanje. Zavisno od udaljenosti koje prilikom umrežavanja treba premostiti, kao i različitih tehnologija umrežavanja i vrste medijuma za prenos podataka koji su nam na raspolaganju, računarske mreže se mogu klasifikovati u sledeće tri kategorije:

- *Lokalna mreža*, LAN (eng. Local Area Network)
- *Gradska mreža*, MAN (eng. Metropolitan Area Network)
- *Široka mreža*, WAN (eng. Wide Area Network)

LAN je mreža za prenos podataka velike brzine koja, po pravilu, pokriva relativno malo geografsko područje kao što su zgrada, laboratorija ili škola. Neki periferni uređaji kao što su, na primer, radne stanice, personalni računari, štampači, serveri i drugi uređaji takođe se povezuju na ovaj način. LAN mreža nudi korisnicima računara mnoge prednosti kao, na primer, zajednički pristup uređajima i aplikacijama, razmenu datoteka između povezanih korisnika, komunikaciju putem elektronske pošte itd.

U tipičnoj LAN konfiguraciji, jedan računar je određen kao server. U njemu se čuva sav softver koji kontroliše mrežu, kao i softver koji mogu da dele računari povezani na mrežu (radne stanice, eng. Workstations). Topologija LAN mreža su, najčešće, magistrala, prsten i zvezda. Prenosni medijum LAN mreža mogu biti upredeni par žica, koaksijalni kabl ili optički kabl.



Karakteristike LAN mreže su:

- Tipična mreža kojom se ostvaruje veza na kraćim rastojanjima.
- Velika brzina kod prenosa podataka (od 10 Mbps do 10 Gbps).
- Mali broj grešaka u prenosu, mnogo manji u poređenju sa većim mrežama, na primer, kod WAN.
- Jednostavno rutiranje.
- Vlasnik mreže je jedna organizacija (značajno se smanjuje cena administriranja i održavanja).
- Niža cena komuniciranja (niži procenat grešaka kod prenosa podataka).

LAN mreža je, zavisno od mesta primene, promenljive veličine. Tako se govori o *personalnoj mreži*, PAN (eng. Personal Area Network), koja se može naći u mnogim domaćinstvima. Ovaj tip mreže može da poveže nekoliko računara i štampač na centralni ruter koji je povezan na ISP (eng. Internet Service Provider). Ako je potreban širi spektar mrežnih rešenja u okviru PAN mreže, LAN se obično zamenjuje sa WLAN (eng. Wireless Local Area Network). Postoji i tzv. *mreža područja kampusa*, CAN (eng. Campus Area Network), koja povezuje više LAN mreža u okviru obrazovnog kampusa (univerziteti, fakulteti, škole) ili korporativnog kampusa.

Gradska mreža, MAN, je u osnovi veća verzija LAN-a i obično koristi sličnu tehnologiju. Po pravilu se primenjuje na geografski disperzovane LAN mreže koje treba povezati. Može da pokriva grupu korporativnih kancelarija ili grad i može biti privatna ili javna. Obično se instalira pomoću optičkih vlakana a prekidač pomoću mrežnog ruteru. Jedan veoma čest primer za MAN je mreža kablovske televizije.

Mreža širokog područja (WAN) je računarska mreža koja pokriva područja na većoj udaljenosti, a koja se mogu dalje širiti. Ova mreža često povezuje više manjih mreža, kao što su LAN ili MAN. Tipično, WAN mreža se sastoји od više međusobno povezanih komutacionih čvorova. Ovi čvorovi se ne bave sadržajem podataka već je njihova svrha da obezbede premeštanje podataka od čvora do čvora dok ne stignu na svoje odredište.

Internet je najpoznatiji primer WAN mreže kao sistem povezanih mreža širom sveta koji omogućavaju usluge prenosa podataka, prenos datoteka, e-poštu itd. Neki segmenti Interneta su takođe sami po sebi WAN mreže. Internet je u početku bio ograničen na vojne i akademske institucije, ali sada je potpuni kanal za sve oblike informacija i trgovine. Na taj način, Internet je postao "komunikacijski" autoput za milione korisnika.

Postoji još jedna klasifikacija mreža prema ulozi koju računari igraju u tim mrežama. Konkretno, mreže nazivamo ili *peer-to-peer* (P2P) ili *klijent-server* mrežama. Prvi tip su mreže u kojima je svaki računar otprilike jednak svakom drugom računaru (peer - ravnopravan). P2P umrežavanje je arhitektura distribuirane aplikacije koja deli zadatke (radna opterećenja) između ravnopravnih (jednakih). U takvoj mreži su računari podjednako privilegovani. Drugi tip mreže je po modelu klijent-server u kojem je *Klijent* računar koji traži informacije sa drugog računara dok je *Server* računar koji prima zahteve i odgovara na njih. Peer-to-peer mreže su jeftinije ali potreba za serverima nameće primenu modela klijent-server.



Vrste servera na osnovu vrste željene usluge su:

1. *Server datoteka* koji šalje datoteke preko mreže na zahtev klijenata. Tipičan server datoteka odgovara na zahteve preko LAN-a i obavlja samo računare na LAN-u. Ovi serveri se mogu koristuti i za podršku aplikativnog softvera i datoteka sa podacima. U takvoj mreži klijenti čuvaju samo svoje operativne sisteme dok softvere koje žele da pokrenu moraju učitati preko mreže na zahtev.
2. *Veb server* kao poseban tip servera datoteka koji čuva datoteke sa podacima (veb stranice) i programe (skripte). Veb server odgovara na zahteve klijenata sa bilo kog mesta na Internetu (a ne samo iz LAN-a), pri čemu su zahtevi tipa http. Odgovori mogu biti html datoteke, dokumenti uskladišteni na serveru datoteka ili veb stranice.
3. *Server baze podataka* odgovara na klijentske upite sa odgovorima preuzetim iz baze podataka ali može da generiše izveštaje iz podataka dobijenih iz sistema za upravljanje bazom podataka. Slično serveru datoteka, ovaj server obično odgovara samo lokalnim klijentima.
4. Postoje i *Serveri za štampanje* (ne vraćaju datoteku već nadgledaju zadatke štampanja i odgovaraju sa potvrdom da je zadatak štampanja završen ili porukom o grešci), *Mail serveri* (šalju klijentsku e-poštu drugom serveru e-pošte) i *ftp serveri* (slični veb serveru ili serveru datoteka po tome što su zahtevi za datoteke, a odgovori su same te datoteke).

Proxy server je posebna vrsta servera. U računarskim mrežama termin "proxy" (posrednički) se upotrebljava za označavanje servera koji može biti računarski sistem (hardversko rešenje) ili aplikativni program (softversko rešenje). Njegova uloga je da klijentske zahteve prosleđuje drugim serverima. Klijent se povezuje na proxy server i zahteva od njega neki servis (na primer, dokument, konekciju, veb stranicu itd.). Proxy server se povezuje na odgovarajući server i zahteva uslugu u ime klijenta. U zavisnosti od vrste zahteva klijenta, server može da modifikuje zahtev klijenta, da modifikuje odgovor drugog servera, ali i da odgovori na zahtev klijenta bez kontaktiranja drugog servera.

Treba napomenuti da je mrežni prolaz (gateway) u suštini jedna vrsta proxy servera koja prosleđuje zahteve klijenta drugom serveru ali bez mogućnosti modifikacije. Proxy server se može postaviti na više tačaka u mreži između korisnika i servera ali se najčešće nalazi na ivici mreže.

Microsoft ISA server je trenutno najkompletnije bezbednosno, softversko rešenje koje se može naći na tržištu. Ova tvrdnja je zasnovana na činjenici da od 2000-te godine, od kada se ovaj program pojavio pod imenom *Microsoft Proxy Server* ni jedna instanca ovog programa nije bila uspešno hakovana.

4.1.11 Mrežni protokoli¹²

Ethernet (eng. Ethernet) je kombinacija hardvera i protokola niskog nivoa ali se prvenstveno bavi hardverom. To je tehnologija koja datira iz 1980. godine i koja se koristi za dizajn i implementaciju LAN. Danas su skoro sve žičane LAN mreže zasnovane upravo na Ethernet tehnologiji. Vremenom je Ethernet model značajno unapređen korišćenjem novije tehnologije (na primer propusni opseg). Šta više, danas se Ethernet može naći i u nekim MAN-ovima.

Ethernet nije samo jedna tehnologija, već niz različitih tehnologija koje su se razvijale tokom godina. Sve su zasnovane na standardima koje je ustanovio *Institut inženjera*

¹² Eng. Network Protocols



elektrotehnike i elektronike, IEEE (the Institute of Electrical and Electronics Engineers), u okviru kategorije 802.3. Ovi standardi su specificirali očekivanu brzinu prenosa preko mrežnog kabla i dužinu pod kojom se očekuje da će kabl funkcionisati, ali su diktirali i prihvatljiva ograničenja za unakrsne razgovore (smetnje dve ili više komunikacija koje se prenose preko jednog komunikacionog kanala kao što je Ethernets kabl).

Ethernets uključuje upotrebu sva tri uobičajena oblika kablova: upredeni par, koaksijalni kabl i optički kabl. Najraniji oblik Etherneta je striktno koristio koaksijalni kabl kao zajednički medij što je Ethernet mreže činilo jeftinijim od mnogih konkurenata, ali je imao ograničen gornji propusni opseg od 3 megabita u sekundi. Kako je vreme odmicalo, Ethernet je uključio upredenu žicu u svoju standardizaciju, pružajući korisnicima Etherneta fleksibilnost u obezbeđivanju većeg propusnog opsega ili niže cene. Danas se koristi optički kabl, dok se koaksijalni ne koristi.

Originalni Ethernet kabl se naziva 10Base5 i imao je dodatni sloj pletene zaštite (10 označava maksimalnu brzinu prenosa, 10 megabita u sekundi, a 5 označava maksimalnu dužinu kabla, bez potrebe za repetitorom, odnosno 500 metara. Postojala je i jeftinija varijanta, tanji koaksijalni kabl, 10Base2 (ista maksimalna brzina prenosa ali maksimalna dužina segmenta od samo 200 metara).

Novi tipovi kablova obezbeđuju širi propusni opseg kabla: 10BASE-T, 100BASE-T i 1000BASE-T (za 10, 100 i 1000 megabita, odnosno 1 gigabit u sekundi, respektivno). Danas su takođe dostupni 10GBASE-T i 100GBASE-T.

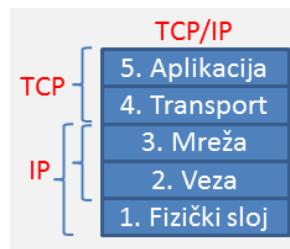
Pored kablovskih i računarskih resursa, Ethernet mreži su potrebni repetitori (eng. Ethernet extender) za upravljanje degradacijom signala (ponavljanje poruka da bi se pojačao signal kako bi mogao da nastavi da putuje kroz mrežu), s obzirom da je maksimalna dužina kabla koji se može koristiti bez repetitora oko 100 metara. Danas se smatra da je maksimalno rastojanje između Ethernet repetitora oko 2000 metara.

Komunikacioni protokol ili mrežni protokol je, po definiciji, uspostavljeni skup pravila koja određuju kako se podaci prenose između različitih uređaja u istoj mreži, adresiraju, rutiraju i tumače. Kao takav, protokol omogućava povezanim uređajima da međusobno komuniciraju u skladu sa unapred određenim pravilima ugrađenim u softver i hardver uređaja. Može se slobodno reći da bi funkcionisanje LAN i WAN mreža bilo nemoguće bez upotrebe mrežnih protokola.

Protokol za kontrolu prenosa/Internet protokol, TCP/IP (eng. Transmission Control Protocol/Internet Protocol) je referentni model koji se koristi na Internetu. Sastoji se od dva različita protokola, za kontrolu prenosa (TCP) i Internet protokola (IP), od kojih se svaki sastoji od nekoliko slojeva (sl. 4.8).

TCP/IP model čini četiri sloja: sloj veze, mrežni, transportni i aplikacioni. Mnogi dele IP sloj veze na dva odvojena sloja, sloj veze podataka i fizički sloj. Na svakom od slojeva postoje brojni protokoli koji se mogu primeniti. Svaki sloj ima ne jednu već mnogo različitih implementacija, u zavisnosti od potreba koje staje iza originalne poruke koja se šalje.

TCP/IP se samo sporadično bavi najnižim slojevima. Ova dva sloja se tretiraju kao "host-mreža" sloj. TCP/IP ne nameće neke posebne zahteve koji se tiču ovih slojeva, a naglasak stavlja na sloj mreže, transportni i aplikacioni sloj.



Sl. 4.8. Slojevi TCP/IP protokola

Jedan računar tipično ima jednu IP adresu, ali po potrebi može ih imati i više. Na primer, ako poseduje više mrežnih kartica ili mu je dodeljen veći broj virtualnih IP adresa, može se spoljnom svetu predstavljati kao više različitih mašina.

Sve mreže i uređaji su opisani preko mrežne adrese, pri čemu je najčešći oblik adresa Internet protokola verzije 4 (IPv4) ali se koristi i IPv6 adresa. IPv4 adrese su 32-bitne adrese, a IPv6 su 128-bitne adrese.

IPv4 adresa se sastoji od 32 bita podeljena u četiri okteta. Svaki oktet je 8-bitni broj ili decimalna vrednost od 0 do 255. Iako se IPv4 adrese u našim računarima čuvaju u binarnom obliku, mi ih posmatramo kao četiri decimalne vrednosti, sa tačkama koje odvajaju svaki oktet kao, na primer, 10.11.51.201. Ova notacija se često naziva *tačkasto-decimalna notacija*, DDN (eng. Dotted-Decimal Number).

Za rutiranje je veoma važna mogućnost razdvajanja (identifikacije) mreže od host računara. U tom smislu, IP adresa se sastoji iz dva dela: deo koji predstavlja adresu IP mreže (eng. Network ID), isti za sve računare na jednoj IP mreži i deo koji predstavlja adresu računara (eng. Host ID), jedinstven za svaki računar na istoj IP mreži. Uobičajeno je da se računari koji učestvuju u mreži koja koristi TCP/IP nazivaju i *IP hostovi*.

Po definiciji IP adrese mogu biti javne i privatne. Javne dodeljuje ISP (provajder internet usluga) klijentskom mrežnom ruteru i koriste se na Internetu. Privatne adrese su namenjene mrežama koje nisu direktno povezane na Internet i ne mogu se koristiti na Internetu.

Kapaciteti mrežnih adresa za pomenute protokole se značajno razlikuju:

- *IPv4* - S obzirom na 32 bita za čuvanje adrese, postoji 2^{32} mogućnosti (4,294,967,296 različitih kombinacija). Stalno rastući broj korisnika i uređaja na Internetu (personalni računari, superračunari, serveri, ruteri, mobilni uređaji, pametni televizori, konzole za igru) koji zahtevaju jedinstvenu IP adresu čini da 4 milijarde jedinstvenih adresa nije dovoljno, odnosno da su te IP adrese iscrpljene. Jedan od načina da se prevaziđe ovaj problem je korišćenje internet protokola IPv6.
- *IPv6* - Kako su ove adrese dugačke 128 bita one obezbeđuju dovoljno adresa za 2^{128} uređaja (3 praćeno sa 38 nula je približno 2^{128}). Očekuje se da će ovim protokolom biti dovoljno adresa za zadovoljenje potreba u narednjim decenijama ili vekovima.

Da bi se pojednostavila upotreba Interneta, uveden je *Sistem imena domena*, DNS (eng. Domain Name System) koji, na neki način, predstavlja "imenik Interneta". Zahvaljujući DNS možemo da zamenimo IPv4 ili IPv6 adresu za pseudonim koji je mnogo lakše zapamtiti. Tako, na primer, Google'ov veb server ima alias www.google.com, dok mu je IPv4 adresa koju pretraživač može da koristi 173.194.33.174.



Pošto računari i mrežna oprema (ruteri i prekidači) nisu podešeni da koriste imena, moramo imati mehanizam za prevođenje sa imena na adrese i obrnuto. Tu dolazi DNS koji se sastoji od baza podataka raširenih po Internetu sa informacijama koje se mapiraju (proces poznat kao “rezolucija imena”) sa IP alijsa na IP adresu ili obrnuto.

DNS je kritična komponenta Internet infrastrukture. Sastoји se od tri glavne komponente: *DNS klijenta*, *DNS servera* i *DNS baze podataka*. Njihovo korišćenje je tačno određeno: *DNS klijent* šalje *DNS serveru* zahtev za *DNS upit*. *DNS server* prevodi ime hosta iz zahteva u IP adresu uz pomoć *DNS baze podataka*. Dobijena IP adresa se vraća kao deo *DNS odgovora* namenjen *DNS klijentu*.

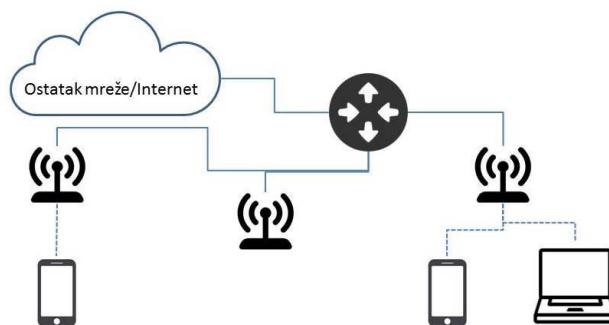
Masovnija upotreba bežičnih uređaja kao što su laptopovi, pametni telefoni i tableti, kao i značajno poboljšane performanse *bežičnih mrežnih kartica*, NIC (eng. Network Interface Card), zahtevaju razmatranje topologije, protokola, standarda i komponenti koje dozvoljavaju bežičnu komunikaciju.

U *bežičnoj LAN mreži*, bežični uređaji komuniciraju sa *bežičnom pristupnom tačkom*, WAP (eng. Wireless Access Point), koja se sama povezuje sa čvorištem, prekidačem ili ruterom. Uobičajeno je da bežičnu LAN komunikaciju nazivamo Wi-Fi (eng. Wireless Fidelity) koja se razlikuje od drugih oblika bežične komunikacije kao što je, na primer, Bluetooth.

WAP pruža pristup LAN-u tako što prima radio signale sa obližnjeg bežičnog uređaja i prosleđuje te signale ruteru. WAP i ruter su (najčešće) povezani nekom vrstom kabla. Kada je poruka namenjena bežičnom uređaju proces je obrnut: ruter prosleđuje poruku na odgovarajući WAP, koji zatim emituje poruku kao radio talase da bi uređaj mogao da ih primi.

Na sl. 4.9 je ilustrovana ideja o tri bežična uređaja kao dela bežične mreže. U ovom slučaju, postoji više WAP-ova povezanih na jedan ruter, koji se sam povezuje sa ostatom mrežom. Tri bežična uređaja komuniciraju sa mrežom preko najbližeg dostupnog WAP-a.

WAP ima ograničen zajednički propusni opseg pa veći broj uređaja koji dele jedan WAP smanjuje propusni opseg koji mogu da koriste. Zbog toga se njihove performanse mogu značajno smanjiti. Povećanje broja WAP-ova povećava troškove ali dovodi i do sopstvenog problema smetnji.



Sl. 4.9. Topologija bežične LAN mreže

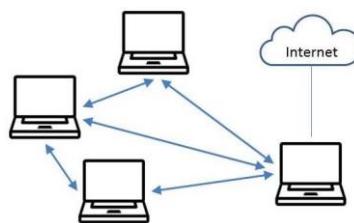
Broj WAP-ova i način na koji se koriste definišu topologiju WLAN. Postoje tri oblika:

- *Mala WLAN* (u kući ili maloj kancelariji) može imati jedan WAP i klasificuje se kao *Topologija osnovnog skupa usluga*, i BSS (eng. Basic Service Set) gde svi bežični



uredaji komuniciraju sa jednim WAP-om, dok je WAP povezan žičanom mrežom preko jednog ruteru.

- *Topologija proširenog skupa usluga*, ESS (eng. Extended Service Set) je mreža sa više od jednog WAP. Pri tome su opcije da se svaki WAP može povezati na sopstveni ruter ili se svi WAP mogu povezati na jedan ruter (kao na sl. 4.9). U prvom slučaju, pojedinačni ruteri se međusobno povezuju kako bi formirali žičani LAN. Ako nekoliko WAP-ova deli jedan ruter, oni mogu uspostaviti ovu vezu preko bilo koje od mrežnih topologija (npr. magistrala, prsten i zvezda). Više WAP i njihova povezanost u okviru istog ESS-a poznata je kao *distributivni sistem*.
- *Bežični ad hoc LAN* je WLAN topologija koja nema nijedan WAP (sl. 4.10). Umesto toga, uređaji komuniciraju direktno jedni sa drugima u P2P formatu (od uređaja-do-uređaja), tako da svi čvorovi dele i koriste resurse jednakim intenzitetom i na isti način. Ovaj oblik topologije se ponekad naziva *Nezavisni osnovni skup usluga*, IBSS (eng. Independent Basic Service Set).



Sl. 4.10. Bežična Ad Hoc LAN mreža

4.1.12 Računarstvo u oblaku¹³

Nacionalni institut za standarde i tehnologije, NIST (National Institute of Standards and Technology), koji je kreator standarda za vladu SAD, uveo je definiciju računarstva u oblaku na sledeći način:

Računarstvo u oblaku je model za omogućavanje pogodnog mrežnog pristupa na zahtev zajedničkom skupu konfigurabilnih računarskih resursa (npr. mreže, serveri, skladište, aplikacije i usluge) koji se mogu brzo obezbediti i oslobođiti uz minimalan upravljački napor ili interakciju pružaoca usluga.

Termin "oblak" dolazi od ikone oblaka koja se koristi u mrežnim dijagramima. Danas je oblak velika kolekcija hardvera koga pokreće raznovrsni softver dostupan na mreži, odnosno u oblaku i koji se nalazi u centru podataka za pružanje računarskih usluga.

Osnovu računarstva u oblaku čini tzv. *konvergentna infrastruktura* koju čine različite računarske tehnologije povezane u jednu logičku i funkcionalnu celinu, kao i deljenje resursa.

U modelu računarskog oblaka razlikujemo dva odvojena dela sistema: *eksterni* ili *prednji deo* (eng. front end), koji je korisnički deo i koji obuhvata sve delove infrastrukture koji su pod kontrolom korisnika kao i sam način pristupa korisnika usluzi, i *zadnji deo* (eng. back end) koji obuhvata infrastrukuru pružaoca usluga računarstva u oblaku. Zagovornici računarskog oblaka tvrde da ovaj model dozvoljava preduzećima da podignu i koriste aplikacije mnogo brže, sa boljom kontrolom i manje održavanja, čime omogućavaju IT sektoru preduzeća da brže i efikasnije ispunji promenljive i nepredvidive zahteve poslovanja.

¹³ Eng. Cloud Computing



Računarstvo u oblaku ima pet osnovnih karakteristika:

- *Pružanje usluge na zahtev korisnika* (eng. On demand self-service) omogućava korisnicima da jednostrano obezbede računarske mogućnosti bez ljudske interakcije sa dobavljačem usluga tako što će samostalno odabratи (vreme korišćenja i mrežni prostor za skladištenje podataka) i pokrenuti računarske resurse. Da bi stvorio uslove za pružanje takve vrste usluga provajder mora da obezbedi interfejs prilagođen korisniku kako bi mu olakšao dobijanje IT resursa po potrebi. Osnovna ideja ovog pristupa je da se stvori tzv. elastično okruženje koje će se povećavati i smanjivati u zavisnosti od ciljnih potreba korisnika i performansi koje očekuje od provajdera.
- *Široki pristup mreži* (eng. Broad network access) znači da su mogućnosti koje su na raspolaganju dostupne putem mreže (obično Interneta) ili im se može pristupiti putem klijentskih platformi. Interesantna je činjenica da je danas broj korisnika koji pristupaju oblaku preko mobilnih uređaja približan broju onih koji pristupaju preko desktop i laptop računara.
- *Objedinjavanje resursa* (eng. Resource pooling) čime će raspoloživi IT resursi (za izračunanje, skladištenje, mreže) biti spremni za servisiranje brojnih korisnika po modelu zakupljenih resursa. Osnovni princip je da svaki korisnik dobija resurse putem neke dinamičke alokacije čime provajder koji nudi usluge maksimizira njihovu upotrebu. Dakle, ako se potražnja korisnika za fizičkim (na primer, skladište) i virtuelnim resursima (na primer, virtualne mašine) povećava, dodeljuje im se više resursa, odnosno ako se ta potražnja smanjuje, resursi se uklanjaju iz korisničkih menija i vraćaju u raspoloživi skup kako bi se zadovoljile potrebe drugih ili novih korisnika. Sami korisnici-zakupci nemaju apsolutno nikakva saznanja o lokaciji obezbeđenih resursa, niti o tome koliko resursa je dostupno.
- *Izmerena usluga* (eng. Measured service) omogućava praćenje, kontrolu i izveštavanje o upotrebi zakupljenih računarskih resursa. Štaviše, sistemi automatski proveravaju i po potrebi optimizuju upotrebu raspoloživih resursa merenjem sposobnosti procesa koji su aktivni. Na ovaj način je omogućeno da se korisniku naplaćuju zakupljeni resursi na osnovu njihovog stvarnog korišćenja.

Računarstvo u oblaku nudi jasne prednosti u pogledu dostupnosti i skalabilnosti. Ono obezbeđuje visoku dostupnost kroz geografsku distribuciju centara podataka jer provajder (dobavljač) usluga u oblaku koristi više lokacija, pri čemu će potreban resurs uvek biti negde u blizini korisnika. Štaviše, zbog brojnih centara postoji veliki stepen redundantnosti. Računarstvo u oblaku takođe donosi agilnost svojim klijentima jer "oblak" može smanjiti vreme potrebno za obezbeđivanje i raspoređivanje računarskih resursa kako bi kompanija mogla brže da reaguje na tržište.

Činjenica je da sve više veb lokacija migrira na oblak, posebno zbog mogućnosti velikih fluktuacija u korišćenju računarskih resursa ali, jednakovo važno, i zbog mogućnosti automatskog skaliranja resursa. Tako, kada veb lokacija tokom perioda najveće upotrebe treba značajno da poveća broj veb servera, to se automatski rešava uz linearno povećanje troškova proporcionalno angažovanim resursima. Van vršne upotrebe, cena se smanjuje na nivo pre vršne upotrebe.

Pokretanje veb servera i skladištenje njihovih veb objekata u oblaku su od posebnog interesa za vlasnike malih preduzeća. Umesto da kupuju, instaliraju i upravljaju sopstvenim



sistemima, oni se mogu osloniti na provajdera u oblaku da to uradi umesto njih, pri čemu će plaćati samo računarske, skladišne i mrežne resurse koje zaista koriste.

Usluge u oblaku se mogu klasifikovati u tri kategorije:

- *Infrastruktura kao usluga*, IaaS (eng. Infrastructure-as-a-Service) pruža mogućnost klijentima da iznajme hardverske komponente kao što su CPU, skladište i mreža. Korisnicima je dozvoljeno da pokreću izabrani OS i aplikacije na hardverskim komponentama, pri čemu samo plaćaju za korišćenje hardverskih resursa i korišćenje mreže. To može biti i iznajmljivanje osnovne računarske platforme za razvoj sopstvenih softverskih i hardverskih rešenja. Vrlo često kompanije zamenjuju svoju opremu u korporativnom računskom centru ekvivalentnom opremom na oblaku. Svi ti resursi se iznajmljuju od provajdera oblaka po principu “na korisnikov zahtev”. Važno je istaći da klijent ne kontroliše niti upravlja infrastrukturnama u oblaku, ali zato ima potpunu kontrolu nad OS, skladištima podataka, implementiranim aplikacijama i, u pojedinim slučajevima, i određenim mrežnim komponentama, kao što su na primer zaštitni zidovi koji štite host računare.
- *Platforma kao usluga*, PaaS (Platform-as-a-Service) je obezbeđivanje platforme ili skupa alata od strane provajdera usluga. Prema ovom modelu za hardver i operativne sisteme (dakle platformu) odgovoran je isključivo i jedino provajder usluga. Po definiciji, platforma ima instalirane servise i alate, spremne za korišćenje od strane klijenta. Obično se pod tim podrazumevaju operativni sistem, programsko okruženje, baze podataka, aplikativni ili Web server. Ako provajder nije u stanju da klijentu pruži sve potrebne alate, klijent će u tom slučaju potrebne alate obezbediti iz drugih izvora. U instalaciji i konfiguraciji pomenutih aplikacija klijent je potpuno samostalan i nezavistan od provajdera usluga. On ima potpunu kontrolu nad implementiranim aplikacijama i, po potrebi, nad podešavanjima okruženja za optimalan rad aplikacija.
- *Softver kao usluga*, SaaS (Software-as-a-Service) je najefikasniji model jer klijent nema nikakve obaveze i/ili odgovornosti u upravljanju i održavanju infrastrukture u oblaku, s obzirom da je to u isključivoj nadležnosti provajdera usluga. U takvom okruženju kompanija koja je zakupila ovu uslugu je samo običan korisnik aplikacija koje su hostovane od strane provajdera usluga. To oslobađa klijenta od preuzimanja i instaliranja kupljenog softvera na svoju lokalnu mrežu ili na svakom računaru klijentske mreže. Štaviše, u SaaS modelu aplikacije kao što su, na primer, e-mail i kancelarijski softver, nude se kao usluga od strane dobavljača usluga u oblaku. Korisnik plaća pretplatu za korišćenje usluge.
- *Podaci kao usluga*¹⁴, DaaS (Data as a Service) predstavlja uslugu u oblaku kojom velike provajderske kompanije iznajmljuju svoju infrastrukturu za skladištenje podataka klijentima i kompanijama. Ovde se misli na korporativne aplikacije i servise poput Web servera ili na aplikacije za unos i obradu podataka. Prihvatanjem DaaS usluge kompanije mogu da poboljšaju agilnost radnog opterećenja podataka, da smanje vreme do uvida i povećaju pouzdanost i integritet svojih podataka. DaaS koncept tek počinje da dobija široku primenu, posebno zbog činjenice da generičke usluge računarstva u oblaku nisu prvobitno bile dizajnirane za rukovanje velikim opterećenjima podataka. Naime, obrada velikih skupova podataka putem mreže bila je teška u ranim danima računarstva u oblaku zato što je propusni opseg često bio ograničen. Skladište kao

¹⁴ Alternativno „Skladište kao usluga, SaaS (Storage as a Service)“



usluga je dobra i isplativa investicija za manja i srednja preduzeća kojima nedostaju finansijska sredstva za implementaciju i održavanje sopstvenog skladišta podataka.

Računarstvo u oblaku se može klasifikovati u četiri osnovna modela primene:

- *Javni oblak* (eng. Public Cloud)
- *Privatni oblak* (eng. Private Cloud)
- *Zajednički oblak* (eng. Community Cloud)
- *Hibridni oblak* (eng. Hybrid Cloud).

U modelu javnog oblaka, softverski i hardverski resursi su dostupni svima ali su u vlasništvu dobavljača usluga u oblaku, kao što je prikazano na sl. 4.11. Dobavljač omogućava pristup putem interneta (direktna komunikacija nije moguća) resursima kao što su aplikacije, skladišta za podatke i drugi resursi dostupni za javnost, nezavisno da li se radi o pojedincima ili organizacijama. Infrastruktura javnog oblaka podrazumeva deljene resurse za korisnike.

Delovi javnog oblaka mogu biti pod isključivom upotrebo samog korisnika, čineći tako privatni centar podataka. Usluge mogu biti besplatne ili se koristi jedan od modela: *model na zahtev* ili *model plaćanje odmah* (eng. pay-as-you-go, sistem u kojem osoba ili organizacija plaća troškove nečega kada se pojavi, a ne pre ili kasnije) ili *model plaćanje po korišćenju* (eng. pay-per-use).



Sl .4.11. Javni oblak



Sl. 4.12. Lokalni privatni oblak



Sl. 4.13. Privatni oblak sa spoljnijim domaćinom

U modelu privatnog oblaka infrastruktura oblaka je posvećena jednoj organizaciji i ne deli se sa drugim organizacijama. Postoje dva tipa privatnih oblaka:

- *Lokalni privatni oblak* (sl. 4.12), takođe poznat kao *interni oblak*, hostuje organizacija u okviru sopstvenog centra podataka ili centara. Ovaj model pruža najveći nivo sigurnosti. On će imati ograničen kapacitet resursa u poređenju sa oblacima koji se mogu deliti (npr. javni oblak).
- *Eksterno hostovani privatni oblak* (Privatni oblak sa spolnjim domaćinom, sl. 4.13) se hostuje eksterno za organizaciju, ali ga isključivo koristi organizacija. Na primer, provajder može dati u oblaku ekskluzivni pristup jednoj organizaciji. Troškovi



održavanja ili obezbeđenja IT infrastrukture padaju na provajdera oblaka. Pri tome, dobavljač oblaka mora da garantuje privatnost, poverljivost i ekskluzivnost za oblak koji se nudi. Ovaj model je jeftiniji od lokalnog privatnog oblaka.

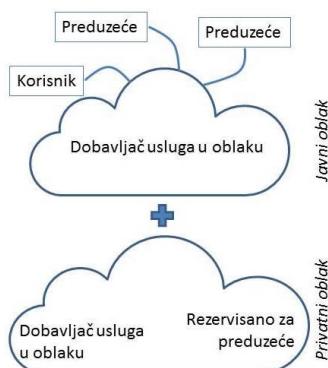
U modelu zajedničkog oblaka (ili Oblaku zajednice) infrastrukturu oblaka deli grupa od nekoliko zajednica sa sličnim interesima (potrebe, misije, zahteve sigurnosti i slično; na primer, različite agencije unutar državne vlade koje rade po sličnim smernicama) i zajedničkim računarskim problemima. Njima mogu upravljati iste organizacije ili neko drugi (na primer, provajder usluga). Ovde se troškovi dele između samo nekoliko klijenata tako da su mogućnosti uštede ograničene.

Ovaj model je jeftiniji od privatnog oblaka jer troškove dele korisnici zajednice ali nudi viši nivo privatnosti, bezbednosti i usklađenosti sa politikom. Slika 4.14 prikazuje primer provajdera usluga u oblaku koji nudi deljeni oblak između tri agencije.



Sl. 4.14. Zajednički oblak

Model hibridnog oblaka kombinuje prednosti javnog i privatnog oblaka tako što pruža mogućnost proširenja kapaciteta privatnog oblaka sa resursima javnog oblaka po potrebi. Dakle, strukturu oblaka čine dva ili više različitih oblaka (privatni, zajednički ili javni) koji ostaju jedinstveni entiteti ali su međusobno povezani standardizovanim ili prikladnim tehnologijama koje omogućavaju efikasan prenos podataka ili aplikacija. Mogućnost proširivanja privatnog oblaka sa resursima javnog oblaka može se koristiti za održavanje uslužnih nivoa kako bi se lakše izdržala velika opterećenja. Hibridni oblak se takođe može koristiti za upravljanje planiranim velikim opterećenjima. Problem sa kojim se susreće hibridni oblak je složenost određivanja kako raspodeliti aplikacije po javnom i privatnom oblaku: ako želimo da koristimo ovaj model za hostovanje veb lokacije za e-trgovinu, resursi privatnog oblaka se mogu koristiti za redovno korišćenje, a resursi javnog oblaka tokom špica.



Sl. 4.15. Hibridni oblak

Bezbednost u računarstvu u oblaku predstavlja osetljivu problematiku koja obuhvata različite polise, regulative, standarde i tehnologije koje kontrolišu prenos podataka i aplikacija



kao i njima dodeljene računarske infrastrukture računarskog oblaka. Složenost takvog okruženja značajno otežava procenu rizika pa korisnici obično angažuju neutralnu treću stranu za procenu rizika i odabir provajdera.

4.2 Veštačka inteligencija

4.2.1 Definicija veštačke inteligencije

Veštačka inteligencija (VI) označava sposobnost neke veštačke tvorevine za realizovanje funkcija karakterističnih za ljudsku inteligenciju prilikom rešavanja zadatog problema. Pritom se pod inteligencijom podrazumeva kompleksan skup mentalnih sposobnosti koje poseduju ljudska bića kao što su: zaključivanje, planiranje, rešavanje problema, apstraktno razmišljanje, razumevanje kompleksnih ideja, učenje iz iskustva, adaptiranje na nove situacije, kao i korišćenje stečenog znanja u interakciji sa okruženjem.

Za veštačku inteligenciju možemo naći mnoštvo definicija, a autori u [4.5] ih sve svrstavaju u 4 kategorije, zavisno od toga da li veštački sistemi (mašine) poseduju sposobnost misaonog procesa i rezonovanja (gornje dve kategorije) ili ponašanja (donje dve kategorije), tj. da li se njihov uspeh može meriti sličnošću sa ljudskim ponašanjem (dve kategorije na levoj strani) ili idealnim (racionalnim) ponašanjem (dve kategorije na desnoj strani).

	Ljudsko	Racionalno
Razmišljanje	1. Sistemi koji misle kao ljudi	3. Sistemi koji misle racionalno
Ponašanje	2. Sistemi koji se ponašaju kao ljudi	4. Sistemi koji se ponašaju racionalno

Sva četiri pristupa (pravca razvoja) VI su istorijski razvijala od strane različitih autora sa različitim metodama, pri čemu su se pristupi često i preklapali.

Definicija usvojena u EU dokumentima: Veštačka inteligencija podrazumeva sisteme koji u cilju rešavanja zadatih ciljeva demonstriraju intelligentno ponašanje na osnovu sposobnosti da sa određenim stepenom autonomije analiziraju svoje okruženje i preduzimaju akcije. Sistemi bazirani na veštačkoj inteligenciji mogu biti čisto softverski i delovati u virtuelnom svetu (prepoznavanje lica i glasa, algoritmi za internet pretraživanje, glasovni asistenti na telefonima) ili implementirani u hardverskim uređajima (napredni roboti, autonomna vozila, dronovi).

4.2.2 Istorija razvoja veštačke inteligencije

Počeci VI 1943-1956

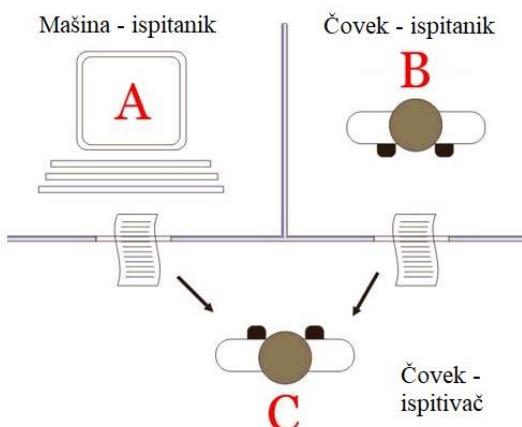
Tokom četrdesetih i pedesetih godina prošlog veka naučnici različitih oblasti (matematika, psihologija, tehnika, ekonomija) počinju da razmatraju mogućnost stvaranja veštačkog mozga po uzoru na ljudski.

1943. Warren McCulloch i Walter Pitts daju prvi matematički model veštačkog neurona [4.6]; taj događaj se smatra rođenjem VI.

1950. Alan Turing koji se smatra ocem računarstva i veštačke inteligencije – definiše tzv. **Tjuringov test** [4.7] – predlog načina testiranja mašinske sposobnosti da demonstrira inteligenciju identičnu ljudskoj. Ljudski sudija se upušta u konverzaciju sa jednim čovekom i



jednom mašinom, pri čemu oba sagovornika pokušavaju da se predstave kao ljudi. Ako sudija na kraju testa ne može da odredi ko je čovek, a ko mašina, onda je mašina prošla test i može se smatrati inteligentnom. U to vreme, predlog je bio da se testiranje obavlja tekstualnim porukama.



Sl. 4.16. Tjuringov test

Praktično, da bi mašina prošla Tjuringov test, mora da poseduje sledeće sposobnosti: **1. obrada prirodnih jezika** (da bi mogla uspešno da komunicira), **2. reprezentacija znanja** (da zapamti ono što je saznala), **3. automatsko zaključivanje** (rezonovanje) (da iskoristi uskladišteno znanje kako bi izvodila nove zaključke i odgovarala na pitanja) i **4. mašinsko učenje** (kako bi se adaptirala na nove situacije). Kasnije (Harnad 1991.) je predložen još strožiji test (“totalni Tjuringov test”) kod koga se od maštine traži da poseduje još dve dodatne osobine – sposobnost percipiranja okoline (**5. računarski vid**) kao i sposobnost kretanja i manipulacije predmetima iz okoline (**6. robotika**). Navedenih 6 disciplina i danas (70 godina kasnije) predstavljaju osnovne zadatke VI.

1956. Odigrava se dvomesečni seminar vodećih VI istraživača (Marvin Minsky, John McCarthy, Claude Shannon i Nathan Rochester) u Dartmudu (SAD). Tada i nastaje sam pojam “veštačka inteligencija”, a sastanak se smatra rođenjem veštačke inteligencije kao naučne discipline.

Doba velikog optimizma - Simbolička VI 1956-1974

U prvom periodu razvoja, istraživanja u oblasti veštačke inteligencije se većinom baziraju na **simboličkom** predstavljanju problema, logici i pretraživanju. Vlada uverenje da je neophodan uslov da bi neki sistem bio inteligentan da se njegov rad bazira na manipulaciji strukturama podataka sastavljenim od simbola. To je doba entuzijazma, velikih očekivanja, snažnog razvoja i jakog državnog finansiranja. Nastaju prvi programi za dokazivanje teorema, učenje prirodnih jezika. Vladalo je (pogrešno) uverenje da će prva potpuno inteligentna mašina nastati za manje od 20 godina.

1956. Allen Newell, Herbert Simon i Cliff Shaw kreiraju “Logički teoretičar” - prvi simbolički softver veštačke inteligencije. Uspeo je da dokaže prvih 38 od 52 teoreme iz čuvene knjige Principia Mathematica [4.8], kao i da za neke nađe elegantnija rešenja.

1958. Frank Rosenblatt – daje model perceptron - veštačkog neurona sposobnog za binarnu klasifikaciju kao i algoritam za njegovo treniranje (učenje) [4.9].



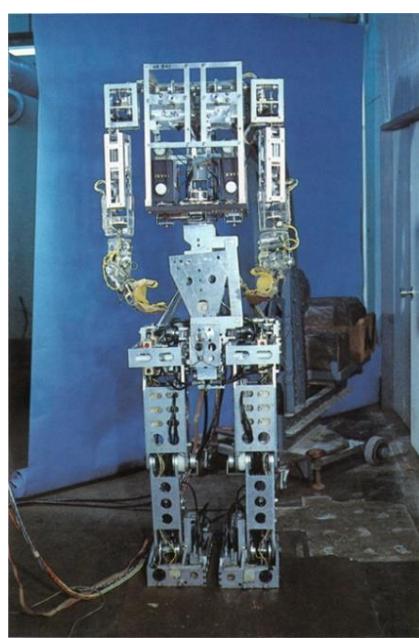
1958. John McCarthy (MIT) stvara programski jezik LISP koji postaje dominantan jezik za programiranje VI u sledećih tridesetak godina.

1965. Lotfi Zadeh objavljuje rad u kome daje osnove fazi skupova i fazi logike [4.10].

1965. Joseph Weizenbaum (MIT) razvija interaktivni program ELIZA sposoban da vodi dijalog na engleskom jeziku (istina, bez mnogo smisla). ELIZA se smatra prvim chatbot-om - softverskom aplikacijom čija je funkcija da obavlja on-line tekstualnu (a danas i glasovnu) konverzaciju sa ciljem da zameni ljudske agente (danас ih koriste banke, turističke agencije, on-line trgovine, postoji i jedan koji odgovara na pitanja o COVID-19).

1969. Nastanak interneta iz projekta ARPANET koji je finansirala DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) – agencija ministarstva odbrane SAD odgovorna za razvoj novih tehnologija za vojsku SAD koja je bila i glavni finansijer većine vodećih projekata vezanih za razvoj VI (iz njenih projekata su se potpuno ili delimično razvili i personalni računari, GPS, vremenski sateliti, stelt tehnologija, dronovi, modernina mRNA vakcina). Glavna osoba iza projekta je J. C. R. Licklider koji je u svom ranijem radu “Simbioza čovek-računar” iz 1960. godine postavio osnove računarske revolucije [4.11].

1972. Univerzitet Waseda (Japan) kompletira WABOT-1, prvi “inteligentni” humanoidni robot koji je mogao da hoda, pomera predmete, vizuelno meri razdaljinu do objekata i komunicira na japanskom jeziku (imao je veštačke oči i uši).



Sl. 4.17. Robot WABOT-1

Prva “zima” VI 1974-1980

Istraživači u oblasti veštačke inteligencije nisu uspeli da realizuju obećane rezultate, što je dovelo do obustave finansiranja i višegodišnje stagnacije. Najvažniji uzrok je ograničenost tadašnjih računara u pogledu memorije i procesorke brzine (npr. današnje aplikacije vezane za računarski vid obavljaju oko milion MIPS - *miliions instructions per second*, dok je prosečan desktop računar u to vreme imao manje od 1 MIPS). Sa druge strane, pokazalo se da postoji mnogo problema čija kompleksnost eksponencijalno raste u odnosu na broj ulaza i ograničenja (problem kombinatorne eksplozije).



Morovekov paradoks: Pokazalo se da su, nasuprot uvreženom mišljenju, za računare najteži oni problemi koji su za ljude najlakši (npr. prepoznavanje lica, hodanje bez saplitanja).

Hans Morovec: "Relativno je lako napraviti računar koji postiže sposobnosti odraslog čoveka u testovima inteligencije ili misaonim igrama, dok je, sa druge strane, veoma teško ili nemoguće dati im sposobnosti jednogodišnjeg deteta u pogledu percepcije i mobilnosti".

Steven Pinker: "Najvažnija lekcija mog tridesetogodišnjeg istraživanja u oblasti veštačke inteligencije je da su naizgled teški problemi u stvari laki, dok su laci problemi u stvari teški".

1969. (događaj je pre perioda, ali je jedan koji je doveo do "zime") Marvin Minsky i Seymour Papert objavljuju knjigu [4.12] u kojoj ukazuju na ograničenja feed-forward (nepovratnih) struktura dvoslojnih neuronskih mreža. Knjiga je imala poražavajući uticaj na istraživanja u oblasti neuronskih mreža, koja su gotovo potpuno zaustavljena u sledećih 10 godina.

1979. Hans Moravec dizajnira tzv. Stenfordska kolica – prvo računarski vođeno autonomno vozilo sposobno da se kreće i zaobilazi prepreke.



Sl. 4.18. Stenfordska kolica

1980. Filozof John Searle u svom radu [4.13] izlaže misaoni eksperiment nazvan **Kineska soba**. Njegov cilj je da pokaže da računar koji izvršava programe ne može imati "razum", "razumevanje" ili "svest" (Searle to definiše kao "**jaku VI**" strong AI), bez obzira koliko program bio dobro napisan i mogao da učini da se računar ponaša inteligentno ili nalik ljudima.

Bum VI – Ekspertni sistemi 1980-1987

Ponovo se budi optimizam u VI. Fokus istraživanja postaju tzv. "**ekspertni sistemi**" - VI sistemi bazirani na znanju i sposobni da imitiraju proces donošenja odluka ljudskih eksperata. Ekspertni sistemi mogu da rešavaju složene probleme putem zaključivanja iz elemenata znanja obično predstavljenih u formi "ako-onda" pravila (*if-then rules*). Svaki ekspertni sistem ima dva podsistema: bazu znanja koja predstavlja zapis činjenica i pravila vezanih za problem koji dati sistem rešava i mehanizam zaključivanja koji određuje kako se pravila primenjuju na poznate činjenice, kako bi se izvele nove.

1981. Japanska vlada pokreće projekat (koji će se na kraju pokazati neuspešnim) razvoja računara pete generacije, sposobnih za obavljanje funkcija VI (komunikacija, interpretacija slika, prevodenje jezika, razmišljanje i zaključivanje u ljudskom maniru). Ostale vlade vodećih zemalja prate Japan i ponovo počinje da se ulaže veliki novac u razvoj VI.



1982. John Hopfield pronalazi novu formu neuronskih mreža (danas se zovu "Hopfieldove mreže"). Istovremeno Geoffrey Hinton i David Rumelhart vrše popularizaciju "backpropagation" (propagacija unazad) metode za treniranje neuronskih mreža [4.14], koja je inače predložena od strane više istraživača desetak godina ranije. To dovodi do oživljavanja interesovanja za istraživanja u oblasti neuronskih mreža, pa čak i razvoja tzv. **konekcionizma** – pokreta koji se suprotstavlja simboličkoj VI i zastupa stav da se intelektualne osobine mogu objasniti i razviti jedino korišćenjem veštačkih neuronskih mreža.

1985. Harry Pople kreira CADUCEUS - ekspertni medicinski sistem koji je koristeći sistem zaključivanja mogao da dijagnostikuje preko 1000 različitih bolesti.

Druga "zima" VI 1987-1993

Do drugog većeg zastoja u razvoju VI dolazi usled stvaranja ekonomskog mehura vezanog za kompanije koje se bave VI, koji puca nakon nekoliko neuspešnih projekata koji dovode do novog pesimizma u VI. Bankrotira preko 300 većih kompanija koje se bave VI. Dolazi do propasti ideje specijalizovanih VI računara, koji gube smisao jer Apple i IBM desktop računari postaju moćniji i brži, a pritom jeftiniji.

Krajem osamdesetih, grupa naučnika odbacuje dotadašnji simbolički pristup VI i zalaže se za potpuno nov, zasnovan na robotici. Njihov stav je da da bi mašina imala stvarnu inteligenciju, ona mora najpre da poseduje telo, da može da opaža, da se pomera i bude sposobna za interakciju sa svetom oko sebe.

1989. Razvoj metal-oksid poluprovodnika (MOS) visokog stepena integracije (VLSI) omogućio je praktični razvoj veštačkih neuronskih mreža.

1991. DART (The Dynamic Analysis and Replanning Tool) – VI program iskorišćen od strane američke vojske u operaciji "Pustinjska oluja" za predviđanje, planiranje i optimizaciju transporta ljudstva, opreme i zaliha kao i rešavanje ostalih logističkih problema. Samo ta upotreba DART-a je SAD uštedela sredstava koliko je uloženo od strane američke administracije u celokupan VI razvoj tokom prethodnih 40 godina.

1991. Guido van Rossum kreira programski jezik Python

Doba kontinuiranog progresa – Inteligentni agenti 1993-2011

VI vraća reputaciju malim koracima, traže se specifična rešenja za specifične probleme. Sužavanje fokusa je omogućilo istraživačima da proizvode proverljive rezultate i sarađuju sa drugim naučnim oblastima (statistika, operaciona istraživanja, ekonomija, matematika, teorija upravljanja) od kojih usvajaju već razvijene metode i alate. Javlja se pojam "**inteligentni agent**" koji podrazumeva autonomni sistem koji ima određeni cilj, svestan je svog okruženja i preduzima akcije koje povećavaju šansu za uspešno izvršenje njegovog cilja. VI istraživanja počinju da se sve više shvataju kao izučavanje inteligentnih agenata. Naročito važno okruženje za razvoj inteligentnih agenata je postao Internet gde tzv. botovi - specijalne softverske aplikacije sa elementima VI (inteligentni softverski agenti) obavljaju veliki broj automatizovanih repetitivnih zadataka, kao što su prikupljanje podataka sa sajtova, automatska komunikacija u službi korisničke usluge (chatbots), a postoje i maliciozne primene kao što su spamovanje ili napadi na sajtove (botnets).

Sa druge strane, iako se VI elementi sve više javljaju kao delovi složenijih sistema u kojima rešavaju veoma kompleksne probleme kao što su: data mining, industrijska robotika, logistika, prepoznavanje govora, bankarski softver, medicinska dijagnostika, internet pretraživači..., istraživači koji su ih osmislili izbegavaju da ih direktno nazovu VI, što je



poznato kao "**VI efekat**" ("VI effect") - čim neka VI tehnologija uđe u mainstream upotrebu prestaje da se smatra inteligentnom. U izbegavanju da istraživači svoje VI softvere i algoritme nazovu pravim imenom veliku ulogu igra i strah prisutan nakon dve VI zime da će investitori na njih gledati kao na "sanjare" i da neće dobiti finansiranje za svoja istraživanja.

1994. Lotfi Zadeh (U.C. Berkeley) – u radu [4.15] definiše "**meko računarstvo**" ("soft computing") kao fuziju neuronskih mreža, fazi sistema, genetskih algoritama i haotičnih sistema. Ovakvi sistemi su tolerantni na nepreciznost, nesigurnost, delimičnu istinitost i aproksimacije, nasuprot "tvrdog računarstva" u kome se traže dokazano tačna i optimalna rešenja za probleme.

1997. The Deep Blue (IBM) šahovska mašina pobeđuje tadašnjeg svetskog šampiona u šahu Garija Kasparova. Mogla je da obrađuje 200 miliona poteza u sekundi i koristila je alfabetu algoritam pretraživanja. Deep Blue računar je bio 10 miliona puta brži od Ferranti Mark 1, prvog računara koji je 1951. zaigrao šah. Snaga računara se u međuvremenu povećavala po Murovom zakonu (Moore's Law) koji kaže da se brzina i memorija računara udvostručava svake dve godine kao rezultat dupliranja broja tranzistora u integriranim kolima. Jednostavno je bilo potrebno da protekne vreme da bi računarska snaga bila dovoljna da iznese zahteve VI istraživača.

2000. Kismet (MIT) – robotska glava sposobna da prepozna i simulira emocije.

2002. Roomba (iRobot) - usisivač koji autonomno čisti krećući se po patosu i izbegavajući prepreke.

2004. Spirit i Opportunity (NASA) istraživački roboti samostalno se kreću površinom Marsa.

2005. Tehnologija preporučivanja na bazi VI praćenja web aktivnosti ili korišćenja medija.

2010. Microsoft lansira tehnologiju Kinect za svoj Xbox 360, prvi igrački uređaj koji može da prati ljudske pokrete koristeći algoritme mašinskog učenja.

Moderno doba 2011-danas

Brzi i jeftini računari, napredni matematičko-statistički algoritmi, "računarstvo u oblaku" ("cloud computing") i pristup velikim količinama podataka ("big data") omogućili su snažan razvoj VI i različitih metoda mašinskog učenja. Mašinsko učenje je oblast veštačke inteligencije koja se bavi algoritmima koji se mogu automatski poboljšavati kroz iskustvo i korišćenje dostupnih podataka. Na primer, raniji sistemi VI koji su pokušavali da automatizuju neku oblast dijagnostike u medicini su bili ekspertskog tipa, tj. pokušavali su da zabeleže ekspertsко znanje lekara specijalista nagomilano iz škole, dodatnog usavršavanja, iskustva i intuicije u određenom polju u obliku ako-onda pravila. Danas se takvi sistemi VI baziraju na "hranjenju" algoritama mašinskog učenja elektronskim kartonima pacijenata iz kojih algoritmi automatski treniraju modele sposobne da obavljaju medicinsku dijagnostiku bolje nego najbolji specijalisti.

Među brojnim metodama mašinskog učenja danas najveću pažnju zavređuje tzv. "**duboko učenje**" ("deep learning") bazirano na višeslojnim neuronskim mrežama (naročito su uspešne duboke konvolucijske neuronske mreže i rekurentne neuronske mreže) sa brojnim primenama u obradi slike i video materijala, kao i analizi tekstova i prepoznavanju govora.

S druge strane, primetno je da se većina istraživanja i dalje odnosi na rešavanje konkretnih, ograničenih problema (statistička VI) i čini se da se skoro odustalo od prvočitnog sna o stvaranju sveobuhvatne potpuno intelligentne maštine sposobne da primeni inteligenciju na bilo



koji problem koji susretne tj. generalne veštačke inteligencije (Artificial General Intelligence - AGI) ili ono što je John Searle 1980. godine nazvao "jaka VI".

2011. Siri (Apple), 2012. Google Now (Google), 2014. Cortana (Microsoft) – smartfon aplikacije koje prirodnim jezikom odgovaraju na pitanja, prave preporuke i izvršavaju akcije.

2012. Duboke neuronske mreže u klasifikaciji slika, prepoznavanju objekata i lica.

2012. Robotska ruka koja se kontroliše umom paralizovanih pacijenata preko implantanta u mozgu.

2014. Robotski egzoskelet (Ekso Bionics) je omogućio potpuno paralizovanoj osobi da govori i da se pomera.

2014. Aleksa (Amazon) - prvi lični asistent koji može da obavlja veliki broj funkcija koristeći automatsko prepoznavanje govora, obradu prirodnih jezika i druge forme slabe VI.

2015. Hawking, Musk, Wozniak i 3,000 istraživača iz oblasti VI i robotike šalje otvoreno pismo u kome pozivaju na zabranu upotrebe autonomnog intelligentnog oružja.

2017. Facebook trenira VI za prevenciju samoubistava koji otkriva promene raspoloženja korisnika, negativne i suicidalne postove, a zatim šalje upozorenje porodici i prijateljima potencijalnog samoubice.

2018. Google Duplex – dodatak za Google asistenta koji imitirajući ljudski glas može automatski da pozove frizerski salon i zakaže termin ili rezerviše mesto u restoranu.

2019. AlphaStar (Google) pobeđuje na turniru profesionalne igrače StarCraft II video igre.

2019. Textron systems predstavlja autonomni (bez posade) borbeni tenk "Ripsaw M5" modularnog dizajna i maksimalne brzine od 100 km/h.

2019. Algoritam dubokog učenja pobeđuje najbolje doktore radiologe u dijagnostici raka pluća koristeći tomografske snimke za predviđanje rizika od bolesti, sa 94% posto tačnosti.

4.2.3 Zadaci i primene veštačke inteligencije

Današnja istraživanja u oblasti veštačke inteligencije su mahom fokusirana na sledeće zadatke:

- **Percepcija** – sposobnost računarskog sistema da interpretira informacije sa senzora (mikrofon, kamera, lidar) na način sličan onom kako ljudi koriste svoja čula kako bi stekli saznanja o svetu oko sebe. Primene: navigacija autonomnih vozila, prepoznavanje lica, prepoznavanje objekata (računarski vid), prepoznavanje govora (mašinski služ).
- **Reprezentacija znanja** – predstavljanje informacija o svetu oko sebe u obliku koju računar može kasnije da koristi za rešavanje kompleksnih problema. Primeri predstavljanja znanja su:

Logička reprezentacija – znanje se predstavlja u formi tačno definisanih logičkih iskaza koji imaju precizno definisanu sintaksu i semantiku što dovodi do jednostavnih primena logičkog zaključivanja. Logička reprezentacija može biti u formi logike iskaza ili logike predikata.

Semantičke mreže – znanje je predstavljeno u formi grafova čiji čvorovi predstavljaju objekte, a potezi semantičke relacije između njih.



Okviri – znanje se predstavlja struktrom zapisa koji opisuju objekte. Sastoje se od skupa osobina objekta i njihovih vrednosti.

Reprezentacije zasnovane na pravilima – znanje je uskladišteno u vidu skupa pravila napravljenih od strane eksperata, obično u formi “ako-onda” (“if-then”) pravila.

- **Rezonovanje i rešavanje problema** – generisanje logičnih zaključaka i predviđanja iz raspoloživog znanja koristeći tehnike logičnog zaključivanja (indukcija, dedukcija) kao i sposobnost da se reaguje na promene tako što će se postojeće znanje iskoristiti za rešavanje novih i nepoznatih problema. Rešavanje problema u smislu VI predstavlja sistematsko traženje u okviru dozvoljenih akcija da bi se ostvario zadati cilj. Primene: automatsko dokazivanje teorema, ekspertni sistemi, fazi logika.
- **Mašinsko učenje** – upotreba podataka i algoritama u cilju imitiranja načina na koji ljudi uče, uz postepeno automatsko povećanje tačnosti kroz iskustvo. Algoritmi mašinskog učenja grade matematičke modele na bazi ulaznih uzoraka (trening podataka) kako bi donosili predviđanja ili odluke iako nisu eksplicitno programirani za njih. Metode mašinskog učenja: Linearna Regresija (*Linear Regression*), Logistička Regresija (*Logistic Regression*), K najbližih suseda (*K-Nearest Neighbors*), Stablo Odlučivanja (*Decision Tree*), Slučajna Šuma (*Random Forest*), Neuronska Mreža (*Neural Network*), Metoda Potpornih Vektora (*Support Vector Machine*), Naivni Bajes (*Naive Bayes*).

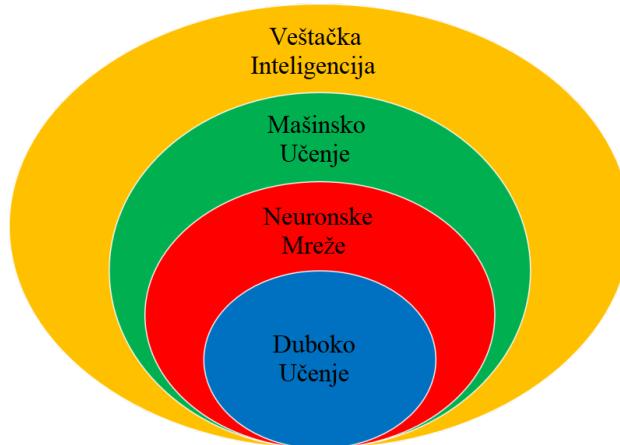
Mašinsko učenje može biti: Nadgledano (*supervised*) učenje – matematički model se formira na osnovu skupa podataka (trening podaci) koji sadrži i ulaze i željene izlaze (ulazno-izlazni parovi) pri čemu je cilj naći funkciju koja na najbolji način preslikava ulaze u izlaze da bi se ona kasnije koristila za predviđanje izlaza i za nove, do tada neviđene ulaze (koji nisu bili deo trening podataka) – da vrši generalizaciju. Nadgledano učenje može imati dva oblika: **klasifikacija** (izlazi su ograničeni na konačan skup vrednosti, pa algoritam određuje u koju kategoriju spada neki ulazni podatak) i **regresija** (izlazi mogu imati bilo koju numeričku vrednost iz određenog opsega).

Nenadgledano (*unsupervised*) učenje – algoritmi koriste podatke koji sadrže samo ulaze (podaci koji nisu obeleženi, klasifikovani) sa ciljem pronalaženja neke strukture (šablonu, zajedničkih osobina) u njima putem grupisanja (klasterizacije).

Pojačano (*reinforcement*) učenje – inteligentni agent se nagrađuje za dobre odgovore, a kažnjava za loše. Često se koristi u autonomnim vozilima ili u igrama protiv ljudskih protivnika.

Među algoritmima mašinskog učenja posebno se ističe tzv. **duboko učenje** (*deep learning*) bazirano na višeslojnim veštačkim neuronskim mrežama što omogućava izvlačenje osobina (paterna) višeg nivoa iz sirovih ulaznih podataka.

Primene mašinskog učenja: sistemi za pretraživanje i ciljano reklamiranje, filtriranje spam poruka, virtualni asistenti, medicinska dijagnostika, autonomna vozila, deepfakes, neural transfer style (računarska umetnost).



Sl. 4.19. Hiperarhijska struktura u okviru VI

- **Obrada prirodnog jezika** (*NLP - Natural Language Processing*) – sposobnost računara da razumeju, interpretiraju i manipulišu prirodnim ljudskim jezikom, kako u govornoj, tako i u tekstualnoj formi. U početku (sve do ranih devedesetih) su preovladavale simboličke metode, dok se danas najviše koriste statističke metode mašinskog učenja (frekvencija pojavljivanja reči u određenoj međusobnoj korelaciji, pretraživanje po ključnim rečima, traženje šablonu u tekstovima), a poslednjih godina naročito duboke neuronske mreže.

NLP rešava probleme kao što su: razumevanje govora, generisanje prirodnog govora, odgovaranje na pitanja postavljena na prirodnom jeziku, pronalaženja informacija u tekstovima kao i mašinsko prevođenje, sa tendencijom stvaranja sistema sposobnih da samostalno prikupljaju znanje iz pisanih izvora.

- **Kretanje i manipulacija predmetima** – VI je nezaobilazna u današnjoj robotici pri čemu je glavni cilj stvoriti inteligentnog robota, sposobnog za kretanje i manipulaciju objektima, koji može izvršavati zadatke na osnovu sopstvenog iskustva, bez da je prethodno programiran za to. Robotika se zasniva na teoriji upravljanja, gde se pokret objekta (robota) zasniva na informacijama dobijenim iz kreiranih povratnih sprega.

4.2.4 Sredstva za ostvarenje veštačke inteligencije

4.2.4.1 Pretraživanje i optimizacija

Mnogi problemi se u VI mogu rešiti inteligentnim pretraživanjem kroz mnoštvo mogućih rešenja. Na primer, logički dokaz se svodi na traženje putanje koja vodi od prepisa prema zaključku, a svaki korak je primena jednog pravila logičkog zaključivanja. Robotičarski algoritmi za kretanje ekstremiteta koriste lokalno pretraživanje u konfigurisanoj oblasti.

Metode pretraživanja grubom silom su retko primenjive na probleme iz realnog sveta jer se prostor pretraživanja naglo povećava do astronomskih brojeva, rezultujući u pretragama koje su ili prespore ili ih je nemoguće završiti. Rešenje je korišćenje "heuristike" koja daje prvenstvo izborima u pretrazi koji su verovatniji da dovedu do cilja i to u što manjem broju koraka, dok eliminišu one izbore koji imaju male šanse u tome. Heuristika doprinosi algoritmima pretraživanja tako što daje najbolje predviđanje puta na kome leži cilj i sužava polje pretraživanja rešenja.



Devedesetih godina se razvijaju drugačije metode pretraživanja koje se baziraju na matematičkoj teoriji optimizacije. Kod mnogih problema, moguće je započeti pretragu određenim predviđanjem potencijalnog rešenja, a zatim to predviđanje poboljšavati postepeno sve dok je takvo poboljšavanje moguće. Evolutivno računarstvo upravo koristi optimizaciono pretraživanje. Na primer, najpopularniji vid evolutivnog računarstva – genetski algoritam počinje sa populacijom jedinki (predviđanja rešenja), koje se potom rekombinuju i mutiraju, nakon čega se najbolje jedinke selektuju za preživljavanje u svakoj generaciji (poboljšanje predviđanja). Alternativno, distribuirani algoritmi pretraživanja se mogu koordinisati algoritima inteligentnih rojeva od kojih su kod problema pretraživanja najpopularniji metod roja čestica (inspirisan kretanjem ptica) i metod kolonije mrava (inspirisan putanjama mrava).

4.2.4.2 Logika

Različite forme logike se mogu koristiti za predstavljanje znanja i rešavanje problema u VI:

- Iskazni račun (*Propositional logic*) - predstavlja formalni sistem u kome se formule, odnosno logički iskazi, grade od logičkih promjenljivih i drugih logičkih iskaza, koristeći logičke operacije u skladu sa pravilima tih operacija.
- Predikatska logika prvog reda (*First-order predicate logic*) – dodaje kvantifikatore i predikate što omogućava formiranje iskaza o objektima, njihovim svojstvima i međusobnim relacijama.
- Fazi logika (*Fuzzy logic*) - predstavlja jednu varijantu više-vrednosne logike, koja za razliku od klasične logike, u kojoj iskazi mogu imati vrednosti ili netačno ili tačno (0 ili 1), može modelirati iskaze čija istinitosna vrednost pripada kontinualnom prelazu od netačnog ka tačnom (bilo koja vrednost između 0 i 1), tj. svakom iskazu dodeljuje određeni “stepen istinitosti”.

4.2.4.3 Metode verovatnoće za neizvesno odlučivanje

Mnogi problemi VI koji zahtevaju rad sa nekompletnim ili nesigurnim podacima mogu se rešiti primenom metoda iz teorije verovatnoće i ekonomije. Na primer, Bajesova mreža - usmereni, aciklični graf koji predstavlja odnose među promenljivama i daje njihove uslovne zavisnosti, veoma je korisna tehnika za efikasno predstavljanje nesigurnog znanja i zaključivanje na njemu. Bajesove mreže mogu se koristiti za rešavanje raznovrsnih problema VI kao što su rezonovanje, učenje, planiranje, percepcija.

4.2.4.4 Klasifikatori i statističke metode učenja

Statistički klasifikatori su funkcije koje imaju cilj da identifikuju kojoj kategoriji (podskupu) određena observacija (primer, instanca) pripada. To što se mogu podešavati prema primerima, čini ih veoma pogodnim za primenu u VI. Kod nadgledanog učenja, svaka observacija pripada određenoj, unapred definisanoj klasi i oni zajedno čine skup podataka koji služi za treniranje klasifikatora. Kada posle toga dođe nova observacija, ona se klasificuje na osnovu prethodnog iskustva. Klasifikator se može trenirati na različite načine – postoje mnoge metode statističkog i mašinskog učenja: Stablo odlučivanja, *K*-najbližih suseda, Metoda potpornih vektora, Naivni Bajes, Neuronske mreže. Performanse klasifikatora veoma zavise



od karakteristika podataka koje treba klasifikovati: veličina skupa podataka, distribucija observacija po klasama, broj dimenzija podataka, nivo šuma u podacima.

4.2.4.5 Veštačke neuronske mreže

Neuronske mreže su inspirisane arhitekturom neurona u ljudskom mozgu. Uloga neurona je da prihvati ulaze od ostalih neurona koji, ako se aktiviraju, šalju ponderisani glas (*weighted vote*) da li ciljni neuron treba da se aktivira ili ne. Učenje mreže podrazumeva podešavanje tih težina na osnovu trening podataka. Najčešća tehnika treniranja je backpropagation algoritam. Moderne neuronske mreže imaju sposobnost da modeluju kompleksne odnose između ulaza i izlaza i traže šablone u podacima.

Duboko učenje (*Deep learning*) koristi više slojeva neurona između ulaza i izlaza mreže. Višeslojna arhitektura omogućava izvlačenje osobina višeg nivoa iz sirovih ulaznih podataka. Na primer, kod obrade slike, prvi slojevi mogu identifikovati ivice, viši konture, a još viši oblike relevantne ljudske emocije, kao što su slova ili lica. Duboko učenje je drastično poboljšalo performanse mnogih primena VI uključujući računarski vid, prepoznavanje govora, klasifikaciju slika... Duboko učenje najčešće koristi konvolucijske i rekurentne neuronske mreže za svoje slojeve.

4.2.5 Budućnost i izazovi veštačke inteligencije

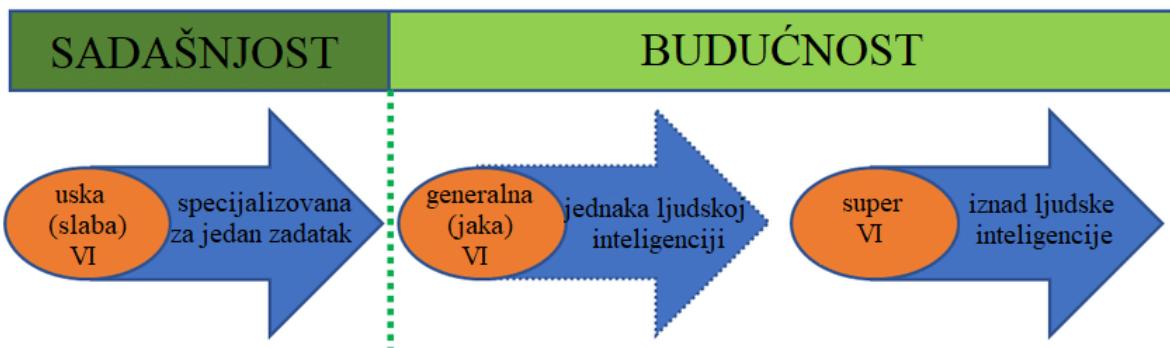
Kao ultimativni istraživački izazov u VI se postavlja humanoidni robot koji poseduje generalnu (jaku) inteligenciju (sposoban je da primeni svoju inteligenciju na bilo koji problem koji susretne), a kao njen deo i socijalnu inteligenciju – sposobnost da prepozna, interpretira, obradi i simulira ljudske emocije i raspoloženja. Najzanimljiviji pristup rešenju tog problema (još uvek u povoju) je stvaranje veštačkog mozga i simuliranje dečjeg odrastanja.

Ubrzani razvoj robotike rađa i brojna predviđanja da će u budućnosti ljudi i maštine biti sjedinjeni u tzv. kiborge koji će posedovati "najbolje iz oba sveta" – ideja transhumanizma. Danas se sve vise eksperimentiše sa raznovrsnim implantima, robotičkim udovima. Sa druge strane, čak i mobilne telefone danas možemo smatrati nekom vrstom nadogradnje čovekovog tela.

Rizici razvoja VI se prvenstveno odnose na:

- Zastarevanje brojnih zanimanja: korisničke službe, knjigovodstvo i unos podataka, recepcioneri, lektori, farmaceuti, maloprodaja, dostava, proizvodnja hrane, građevinari, bankarski službenici, doktori, vojnici, vozači (taksi, autobusi, teretni kamioni).
- Upotrebu VI od strane autoritarnih vlada za prizmotru svojih građana: pametan špijunski softver, monitoring telefonskih razgovora, mejlova i web pregleda, masovna upotreba kamera na javnim mestima sa softverom za prepoznavanje lica, ciljana propaganda; sve to naročito posle napada u SAD 11.09.2001.
- Upotrebu VI za ratne svrhe: tenkovi i avioni bez posade, rojevi dronova, roboti na bojnom polju (preko 50 država sveta ih trenutno istražuje).
- Razvoj "superinteligentne" VI bi mogao dovesti do kraja čovečanstva. Naime, ako bi istraživanja u domenu veštačke generalne inteligencije uspela u svom krajnjem cilju i dovela do stvaranja dovoljno intelligentnog softvera, on bi mogao da se reprogramira i poboljšava samog sebe (ili da mašina napravi drugu, još intelligentniju mašinu). Takav, poboljšani softver (ili mašina) bi bio još bolji u unapređivanju sebe, što bi dovelo do

rekurzivnog samousavršavanja, gde bi inteligencija rasla eksponencijalno (“eksplozija inteligencije” ili “tehnološki singularitet”) i mogla bi dramatično da pretekne onu koju ljudi poseduju. Posledice toga bi bile nesagledive i mogle bi da donesu uništenje ljudske rase.



Sl. 4.20. Razvoj VI

4.2.6 EU strategija i regulativa u oblasti veštačke inteligencije

„Like the steam engine or electricity in the past, AI is transforming our world, our society and our industry. Growth in computing power, availability of data and progress in algorithms have turned AI into one of the most strategic technologies of the 21st century. The stakes could not be higher. The way we approach AI will define the world we live in. Amid fierce global competition, a solid European framework is needed.“ European Commission – Internal Communication 2018. [4.16]

„Kao parna mašina ili elektricitet nekada, danas VI transformiše naš svet, naše društvo i našu industriju. Rast računarske snage, dostupnost podataka i napredak u algoritmima pretvorili su VI u jednu od strateški najvažnijih tehnologija 21. veka. Ulozi ne mogu biti veći. Način na koji pristupamo VI odrediće sudbinu sveta u kome živimo. Usred žestoke globalne konkurenkcije, potreban nam je jak evropski okvir.“ Evropska komisija – interna komunikacija 2018. [4.16]

Najnovija definicija (2019) VI od strane High Level Expert Group osnovane od strane Evropske Komisije: “Artificial intelligence (AI) systems are software (and possibly also hardware) systems designed by humans that, given a complex goal, act in the physical or digital dimension by perceiving their environment through data acquisition, interpreting the collected structured or unstructured data, reasoning on the knowledge, or processing the information, derived from this data and deciding the best action(s) to take to achieve the given goal. AI systems can either use symbolic rules or learn a numeric model, and they can also adapt their behaviour by analysing how the environment is affected by their previous actions.”

EU teži koordinisanom pristupu kako bi maksimalno iskoristila mogućnosti koje nudi VI kao i da bi se bavila izazovima koje ona donosi. Želja EU je da predvodi svet u razvoju i korišćenju VI dostupne svima, oslanjajući se pritom na svoje komparativne prednosti: najbolje svetske istraživače, naučnike, laboratorije, start up centre, vodeću svetsku industriju, naročito u oblasti robotike, jedinstveno digitalno tržište, bogatstvo istraživačkih, industrijskih i podataka iz javnog sektora koji se mogu iskoristiti za hranjenje VI.



EU strategy for AI



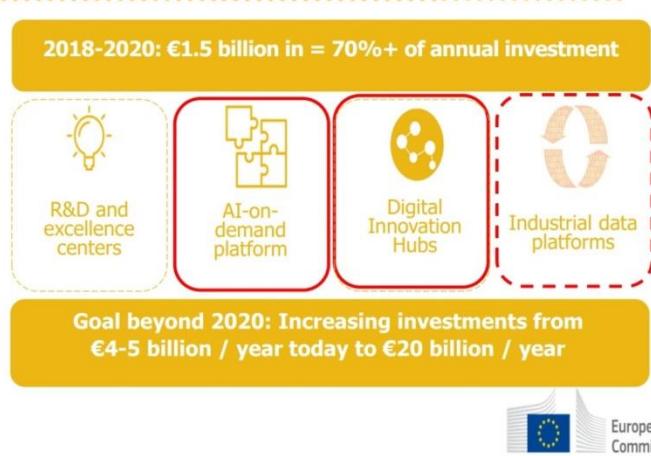
Sl. 4.21. EU strategija razvoja veštačke inteligencije [4.16]

Evropska komisija je postavila tri glavna cilja u razvoju VI:

1. Povećanje tehnoloških i industrijskih kapaciteta i široko usvajanje VI od strane privrede

Ključ je u povećanju ulaganja u istraživanja i inovacije i bolji pristup podacima. Bez toga, EU rizikuje da izgubi mogućnosti koje nudi VI, da se suoči sa odlivom mozgova i postane potrošač rešenja razvijenih na drugim mestima. Investicije u VI su zamišljene kroz sledeće pravce:

EU investments in AI



Sl. 4.22. EU investicije u oblasti veštačke inteligencije [4.16]

- Uspostavljanje istraživačkih centara i centara izvrsnosti fokusiranih na VI kao i podsticanje njihove saradnje i umrežavanja. Ti centri i mreže treba da se koncentrišu na sektore u kojima Evropa ima potencijal da bude globalni šampion, kao što su: industrija, zdravstvo, transport, finansije, poljoprivredno-prehrabeni lanac, zelena energija, šumarstvo, svemirske tehnologije.
- Uspostavljanje zajedničke VI platforme (*AI-on-demand platform*) kao centralne pristupne tačke za objedinjavanje postojećih VI alata i resursa kojima zainteresovani korisnici mogu da pristupaju da bi našli podršku i rešenje za svoje probleme i koje mogu da integrišu u svoje aplikacije, proizvode i servise. (www.Ai4eu.eu)



Funded by the
European Union



The screenshot shows the AI4EU website. At the top, there's a banner with a map of Europe at night, labeled 'The European AI on Demand Platform'. Below the banner, a sub-banner reads: 'AI4EU is a one-stop-shop for anyone looking for AI knowledge, technology, tools, services and experts.' The main content area has a heading 'Our Services' followed by a paragraph of text. Below this, there's a section titled 'Platform in development'.

Our Services

Here you find the latest news on cutting-edge AI applications, development trends, research, ethics and social impact. We inform you about upcoming events and invite you to join our community. Explore our catalog of AI assets, such as datasets, algorithms, tools and models. We provide access to the AI4EU Experiments platform where you can build AI solutions in an intuitive way.

Platform in development

Sl. 4.23. EU platforma za veštačku inteligenciju

- Uspostavljanje digitalnih inovacionih čvorišta (*Digital Innovation Hubs*) koja su zamišljena kao centri za pristup digitalnim tehnologijama i iskustvima u svakom regionu Evrope koji bi povezivali univerzitete, industriju, mala i srednja preduzeća, investitore, vladu i druge zainteresovane građane. Njihova glavna uloga je da pružaju podršku malim i srednjim preduzećima u razumevanju i usvajanju VI tehnologija. Pored regionalnih čvorišta, plan je da svaka država članica izgradi i jedno sa visokim nivoom specijalizacije u VI.
- Rad na poboljšanju pristupa velikim količinama podataka koji su ključni za razvoj VI, a trenutno nisu dovoljno upošljeni, naročito podaci iz industrije i javnog sektora u kojima EU prednjači.

2. Priprema za društveno-ekonomске promene koje donosi VI

Cilj je predvideti promene na tržištu rada koje će se desiti usled razvoja VI tehnologija (novi poslovi će se pojaviti, a mnogi stari će biti zamjenjeni VI) i preduprediti ih prekvalifikacijom radnika kao i prilagođavanjem sistema socijalne zaštite. Takođe je važno modernizovati sistem obrazovanja u smeru ovladavanja digitalnim kompetencijama, a u cilju bolje obuke, privlačenja i zadržavanja mladih ljudi talentovanih za razvoj i korišćenje VI.

3. Stvaranje odgovarajućeg etičkog i zakonskog okvira zasnovanog na vrednostima unije

Cilj je izgraditi okruženje poverenja i odgovornosti oko razvoja i upotrebe veštačke inteligencije koje će sačuvati slobode i prava građana kao i doprineti očuvanju čovekove okoline. Automatizovano donošenje odluka mora biti lišeno predrasuda i diskriminacije. Mora se pružiti podrška potrošačima u razumevanju VI proizvoda i aplikacija. Takođe je potrebno regulisati uticaj VI na autorska prava kao i zaštitu ličnih podataka.

Dokument [4.17] nabraja prioritetne pravce u razvoju i usvajanju AI od strane EU ekonomije i javne administracije:



- Rad sa državama članicama – predviđa se oko 70 zajedničkih programa i akcija do 2027. za čvršću i efikasniju saradnju između država članica i Komisije u ključnim oblastima vezanim za razvoj VI.
- Fokusiranje napora istraživačke i inovativne zajednice – teži se umrežavanju i koordinisanju rascepkih istraživačkih centara Evrope u cilju zajedničke borbe na globalnom tržištu.
- Fokus na veštine – akcioni plan za digitalno obrazovanje (*Digital Education Action Plan*) [4.18] podrazumeva transformaciju obrazovnog sistema prema pripremi radne snage za nadolazeću transformaciju društva pod uticajem VI kao i razvoju veština potrebnih za rad sa VI.
- Fokus na mala i srednja preduzeća – da bi se osigurala pomoć malim i srednjim preduzećima da uspešno usvoje i koriste VI kao i da se međusobno povezuju, razvijaju se regionalana digitalna inovaciona čvorista kao i globalna zajednička VI platforma.
- Partnerstvo sa privatnim sektorom – teži se uspostavljanju širokog javno-privatnog partnerstva u cilju potpunog uključivanja privatnog sektora u diktiranje istraživačkih i inovativnih prioriteta kao i obezbeđivanje njihovih kofinansiranja.
- Promocija usvajanja VI od strane javnog sektora – ohrabruje se i pomaže javna administracija, bolnice, komunalna i transportna preduzeća kao i druge službe od javnog interesa da što pre krenu da koriste proizvode i usluge bazirane na VI.
- Omogućavanje pristupa podacima i računarskoj infrastrukturi – teži se olakšavanju pristupa zainteresovanih strana neohodnim podacima kao i razvijenoj računarskoj infrastrukturi sposobnoj za VI istraživanja.
- Internacionali aspekti – podstiče se i saradnja sa drugim državama, organizacijama, globalnim igračima na polju VI zasnovana na EU pravilima i vrednostima: „Commission is convinced that international cooperation on AI matters must be based on an approach that promotes the respect of fundamental rights, including human dignity, pluralism, inclusion, non discrimination and protection of privacy and personal data and it will strive to export its values across the world.“ [4.17]

U istom dokumentu [4.17] se razmatraju i potencijalno negativne strane VI i identificuje se sedam ključnih zahteva za razvoj pouzdane VI u koju građani mogu imati poverenje: Ljudsko nadgledanje, Tehnička robustnost i sigurnost, Privatnost i upravljanje podacima, Transparentnost, Raznolikost, nediskriminacija i pravičnost, Društvena i ekološka dobrobit, i Odgovornost. Da bi se to ostvarilo, veliki broj zakona i podzakonskih akata u državama članicama treba prilagoditi, a potrebno je doneti i neke nove.

4.3 Veliki podaci i analitika podataka

Može se reći da je današnji problem sa podacima zapravo činjenica da ih ima previše. U prošlosti, ljudi su pokušavali da izbegavaju formate kao što su slike, video ili audio zapisi, jer prosti nisu mogli da urade previše sa tim informacijama. Postojali su samo dodatni troškovi skladištenja jer obično zauzimaju više memorijskog prostora nego što je to slučaj kod tekstualnih fajlova.

Uzmimo u razmatranje jedan primer iz svakodnevnog života i razmislimo samo o podacima koji se generišu uz pomoć video nadzora u nekoj lokalnoj zajednici. Oko 100



kamera radi 24/7, 365 dana u godini. To je ukupno 2400 sati video snimaka svakog dana ili 876 000 sati tokom jedne godine. Ako bi čovek trebao da pregleda ove podatke u potrazi za sumnjivim aktivnostima, bio bi potreban tim od najmanje 60 ljudi. To jednostavno nije vredno toga sa ekonomskom aspekta.

U ovakvim slučajevima, veštačka inteligencija koja je bila predmet razmatranja u prethodnom podoglavlju i veliki podaci (eng. *Big Data*) koji će biti pojašnjeni u ovom podoglavlju rade zajedno čineći razvoj jednog pametnog proizvoda ili usluge mogućim i olakšanim. Jedini način da se čovek efikasno nosi sa ovolikom količinom podataka je da upravljanje video snimcima iz prethodnog primera vrši pomoću skeniranja podataka i korišćenja softverskih algoritama veštačke inteligencije.

Odgovor na pitanje zašto veštačka inteligencija radi tako dobro sa velikim podacima leži u činjenici da se ove dve tehnologije međusobno nadopunjaju tj. da su komplementarne. Veštačka inteligencija daje sve bolje i bolje rezultate kako ima sve veću količinu podataka za treniranje i evaluaciju. S druge strane, veliki podaci su jednostavno beskorisni bez softvera za njihovu analizu. Ljudi to ne mogu efikasno da urade.

4.3.1 Evropska strategija za podatke

Podaci se u Evropskoj uniji odavno tretiraju kao nova nafta i do sada su donešene brojne legislative koje bliže uređuju rad sa podacima. Podaci su suštinski resurs za ekonomski rast, konkurentnost, inovacije, otvaranje radnih mesta i društveni napredak uopšte.

Kao prva od strategija može se pronaći Strategija za podatke (eng. *A European Strategy for data*) koja se fokusira na stavljanje ljudi na prvo mesto u razvoju tehnologije, kao i na odbranu i promociju evropskih vrednosti i prava u digitalnom svetu [4.19]. Celokupni dokument se može pronaći u okviru dokumenta [4.20]. Evropska Strategija za podatke ima za cilj stvaranje jedinstvenog tržišta podataka koje će osigurati globalnu konkurentnost Evrope i suverenitet podataka. Zajednički evropski prostori podataka će obezbediti da više podataka postane dostupno za korišćenje u privredi i društvu, dok će kompanije i pojedince koji generišu podatke držati pod kontrolom.

Došlo se do zaključka da aplikacije vođene podacima mogu da koriste građanima i preduzećima na mnogo načina. One mogu:

- poboljšati zdravstvenu zaštitu;
- stvoriti bezbednije i čistije transportne sisteme;
- generisati nove proizvode i usluge;
- smanjiti troškove javnih usluga;
- poboljšati održivost i energetsku efikasnost.

Pored ove strategije, Evropska Komisija je predložila i Uredbu o evropskom upravljanju podacima (eng. *Regulation on European data governance*) [4.21]. Ova nova Uredba treba da odigra vitalnu ulogu u obezbeđivanju liderstva EU u globalnoj ekonomiji podataka.

Takođe, Komisija je 23. februara 2022. godine predložila Uredbu o usklađenim pravilima o pravičnom pristupu i korišćenju podataka (Zakon o podacima - *The Data Act*) [4.22]. Zakon o podacima je ključni stub evropske strategije za podatke. Njegov glavni cilj je da Evropu učini liderom u ekonomiji podataka tako što će iskoristiti potencijal sve veće količine



industrijskih podataka, kako bi se povećao doprinos rastu evropske ekonomije i društvu u celini.

Da bi se dodatno osiguralo liderstvo EU u globalnoj ekonomiji podataka, evropska strategija za podatke namerava da:

- usvoji zakonodavne mere o upravljanju podacima, pristupu i ponovnoj upotrebi. Na primer, za razmenu podataka između preduzeća i vlade u javnom interesu;
- učini podatke dostupnim široj javnosti otvaranjem skupova javnih podataka visoke vrednosti širom EU i omogućavanjem njihove ponovne upotrebe besplatno;
- uloži 2 milijarde evra u evropski projekat visokog uticaja (eng. *European High Impact Project*) za razvoj infrastrukture za obradu podataka, alata za deljenje podataka, arhitekture i mehanizama upravljanja za uspešno deljenje podataka i ujedinjavanje energetski efikasnih i pouzdanih infrastruktura oblaka (cloud) i povezanih usluga;
- omogući pristup bezbednim, poštenim i konkurentnim uslugama u oblaku tako što će se olakšati postupci javnih nabavki za usluge obrade podataka i stvoriti potpuno jasna slika u vezi sa primenljivim regulatornim okvirom u oblasti cloud-a.

Kao krajnji rezultat strategije podatka, preduzeća će imati više dostupnih podataka za inovacije. Evropska komisija je već objavila izveštaj o razmeni podataka između preduzeća i vlade (eng. Report on Business-to-Government (B2G) Data Sharing) [4.23]. Izveštaj, koji dolazi od grupe eksperata na visokom nivou, sadrži skup preporuka o politici, zakonu i finansiranju koje će doprineti da deljenje B2G podataka u javnom interesu postane skalabilna, odgovorna i održiva praksa u EU.

4.3.2 Podaci nekada i danas

Američki Apolo 11¹⁵ bio je prva misija sa ljudskom posadom koja je sletela na Mesec, 20. jula 1969. Međutim, zanimljivo je da svi mi pojedinačno danas koristimo daleko više podataka i računarske snage nego što je NASA imala na raspolaganju u svom pohodu „Misija na Mesec“. Prema današnjim standardima, informaciona tehnologija (IT) koju je NASA koristila u svom lunarnom programu Apolo sa ljudskom posadom bila je rudimentarna. Funkcije koje su bile prisutne nisu bile moćnije od današnjeg džepnog kalkulatora i ipak je odraćen posao vredan povrhale na putovanju astronauta od Zemlje do Meseca i njihovom bezbednom povratku u julu 1969. Metod rada je takođe bio na osnovnom nivou, npr. Apollo Guidance Computer (AGC) koristio je operativni sistem u realnom vremenu, koji je omogućio astronautima da unose veoma jednostavne komande upisivanjem parova imenica i glagola za kontrolu letelice (pokreni letelicu, smanji brzinu, itd.). NASA-ina tehnologija u misiji na Mesecu bila je bazičnija od elektronike u modernim tosterima koji imaju kompjuterski kontrolisane tastere za startovanje, zaustavljanje, podrevanje, odmrzavanje, itd. Ukupna raspoloživa memorija je bila oko 64 KB i radna frekvencija je bila na svega 0,043 MHz. Centar za svemirske letove Godard (Goddard Space Flight Center) koristio je IBM Sistem/360 model 75s za komunikaciju preko NASA-e i svemirske letelice. U to vreme, IBM je opisivao programe od 6 MB koje je razvio, za praćenje ekoloških podataka svemirskih letelica i biomedicinskih podataka astronauta, kao najkompleksniji softver ikada napisan.

Ali, gotovo je neverovatno kako su se stvari promenile u poslednjih pedeset godina. Čak i najjednostavniji softver danas bi daleko prevazišao tehnička ograničenja pod kojima je Apollo

¹⁵ www.nasa.gov/mission_pages/apollo/apollo11.html



tim radio. Da je jednostavna USB fleš memorija danas mnogo moćnija od računara koji su čoveka poslali po prvi put na Mesec svedoči o nemilosrdnom tempu tehnološkog razvoja koji je predviđen Murovim zakonom¹⁶. Murov zakon je zapažanje da se broj tranzistora u integriranom kolu udvostručuje otprilike svake dve godine. Opservacija je nazvana po Gordon Moore, suosnivaču Fairchild Semiconductor i Intel, čiji rad iz 1965. opisuje zapažanje da se broj tranzistora u integriranom kolu udvostručuje otprilike svake dve godine i predviđa da će se ova stopa rasta nastaviti još najmanje deceniju. Pokazalo se da je ova teorija itekako prisutna i u današnje vreme.

U poslednjih nekoliko decenija, način na koji ljudi dobijaju različite vrste informacija se drastično promenio. Brzina širenja informacija je porasla, ali su troškovi njihovog prijema eksponencijalno opali. Druga strana ove transformacije je da je laka dostupnost informacija u realnom vremenu uticala na raspon pažnje ljudi. U doba kada slava traje 15 sekundi i ljudi napreduju veoma brzo sa toliko različitih stimulansa koji se takmiče za njihovu pažnju, ljudima je vrlo teško održati pažnju i zainteresovanost. To znači da brendovi i ličnosti moraju kontinuirano da se razvijaju kako bi ostali relevantni za publiku, koja je izuzetno zahtevna i preplavljenja neprestanim bombardovanjem mnogobrojnih izbora. A kada ima toliko podataka, ova vežba „hvatanja“ ne može da se uradi ručno.

Kao koncept, Big Data, nema ništa novo. Vekovima je pristup informacijama i podacima bio ključan za razvoj i rast civilizacije, a istovremeno i za evoluciju čovečanstva. Međutim, u 21. veku je dostigao potpuno različite dimenzije jer prikupljanje, obrada i upotreba uvida razvijenih iz nevidenih količina podataka redefiniše sve konvencionalne definicije načina na koji živimo. Ova transformacija ne samo da menja društvene navike ljudi i utiče na stvaranje ekonomске vrednosti, već je donela i značajnu konkurenčku prednost za kompanije koje su na čelu ove inicijative i koje su mogle da imaju koristi od nje.

Brojna naučna dostignuća koja su tehnološkom razvoju dala veliki podsticaj u oblasti podataka su prisutna u novom milenijumu (vidi sl. 4.24). Postalo je lako i jeftino skladištitи sve veću količinu podataka. Računski resursi su postali dovoljno moćni (i dostupni svima) da omoguće lak pristup i analizu ovih podataka. Može se reći da je tokom poslednjih 20 godina, naša sposobnost da skladištimо, analiziramo i manipulišemo ogromnim količinama podataka porasla skokovima daleko. Ovo je odigralo ključnu ulogu u napretku velikih podataka i ova tehnologija je postala sveprisutna.



Sl. 4.24. Pokretači eksponencijalnog rasta u oblasti Big Data¹⁷

4.3.3 Karakteristike velikih podataka – 3Vs model

Oksfordski rečnik definiše velike podatke kao „izuzetno velike skupove podataka koji se moraju računarski analizirati da bi se otkrili obrasci, trendovi i asocijacije, posebno u vezi sa ljudskim ponašanjem i interakcijama“¹⁸. U većini poslovnih scenarija obim podataka je previelik, ili se kreće prebrzo, ili premašuje trenutni kapacitet obrade. Međutim, postoje

¹⁶ http://www.monolithic3d.com/uploads/6/0/5/5/6055488/gordon_moore_1965_article.pdf

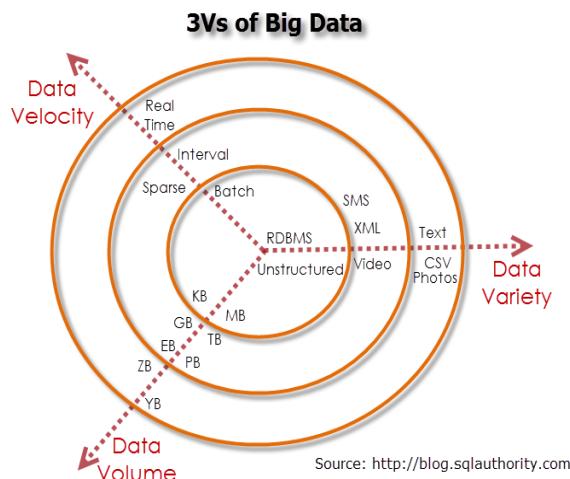
¹⁷ <https://ourworldindata.org/technological-progress>

¹⁸ https://www.lexico.com/definition/big_data

određene karakteristike velikih podataka koje će biti tu većinu vremena, a to su: veličina, nestrukturirana priroda i potreba za obradom da bi se to shvatilo.

Iako je tačno da se termin veliki podaci odnosi na ogromnu količinu podataka koja se stalno povećava, to ne znači da se veliki podaci odnose samo na obim podataka. Zaista, implementacija strategije velikih podataka uključuje skladištenje, analizu, obradu i praćenje podataka. Zbog toga se postavljaju brojni izazovi, kao što su rukovanje i vizuelizacija podataka, integrisanje podataka iz različitih izvora podataka, obezbeđenje podataka itd. Analizom trenutnog stanja, pokazano je da su visoka stopa rasta količine podataka, nedostatak alata za njihovu obradu i izazovi upravljanja podacima najčešći problemi velikih podataka. Ova raznolikost u problemima Big data povezana je sa prirodnom velikih podataka i njihovim višestrukim karakteristikama.

U svom izveštaju iz 2001. godine pod naslovom *3D data management: Controlling data volume, variety and velocity*, META Group (sada Gartner) je definisala izazove i mogućnosti rasta podataka kao trodimenzionalne, tj. povećanje obima - **Volume** (količine podataka), brzine - **Velocity** (brzine unosa i izlaza podataka) i raznovrsnosti - **Variety** (opseg tipova podataka i izvori). Većina industrije nastavlja da koristi ovaj obim, brzinu i raznovrsnost (ili 3Vs model) za opisivanje velikih podataka (sl. 4.25). To je iz razloga što je Gartner-ova definicija 3V u skladu sa konsenzualnom definicijom koja kaže da „Veliki podaci predstavljaju informaciona sredstva koja karakterišu tako veliki obim, brzinu i raznovrsnost da zahtevaju specifične tehnologije i analitičke metode za njihovu transformaciju u vrednost“. Danas, pored ovim triju karakteristika, postoji ukupno još stotinak definisanih karakteristika (V) ali se one ne koriste odjednom, već u zavisnosti od zahteva aplikacija.



Sl. 4.25. 3Vs model¹⁹

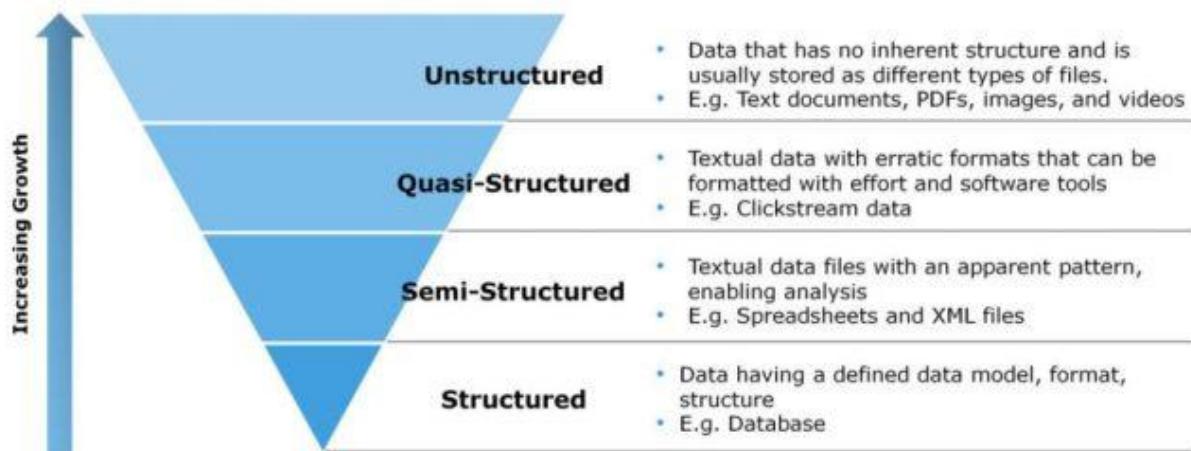
4.3.4 Struktura podataka

Veliki podaci mogu doći u više oblika, uključujući strukturirane i nestrukturirane podatke kao što su finansijski podaci, tekstualne datoteke, multimedijalne datoteke, itd. Za razliku od većine tradicionalnih analiza podataka koje obavljaju organizacije, većina velikih podataka je po prirodi nestrukturirana ili polustrukturirana, što zahteva potpuno drugačije tehnike i alate za obradu i analizu [4.24]. Slika 4.26 prikazuje četiri tipa struktura podataka, pri čemu treba uzeti u obzir činjenicu da 80-90% budućeg rasta podataka dolazi od nestrukturiranih tipova

¹⁹ <https://www.zdnet.com/article/volume-velocity-and-variety-understanding-the-three-vs-of-big-data/>



podataka. Iako različiti, ova četiri tipa se obično mešaju. Na primer, klasični sistem za upravljanje relacionim bazama podataka (eng. Relational Database Management System - RDBMS²⁰) može da skladišti evidenciju poziva (call logs) u okviru telefonoskog centra za softversku podršku. RDBMS može da skladišti detalje poziva kao tipične strukturirane podatke, sa atributima kao što su vremenske oznake, tip mašine, tip problema i operativni sistem. Pored toga, sistem će verovatno imati nestrukturisane, kvazi- ili polustrukturirane podatke, kao što su informacije o evidenciji poziva u slobodnoj formi preuzete iz elektronske pošte o prijavi problema, istorija čakanja korisnika sa operaterom ili transkript telefonskog poziva koji opisuje tehničke probleme i rešenje ili audio fajl telefonskog razgovora. Mnogi uvidi se mogu izvući iz ovih nestrukturiranih, kvazi- ili polustrukturiranih podataka u podacima ovog centra za podršku korisnicima.



Sl. 4.26. Tipovi velikih podataka²¹

Za analizu strukturiranih podataka postoje mnogobrojne i dobro poznate tehnike, ali da bi se odgovorilo na izazove analize polustrukturiranih podataka (prikazanih kao XML), kvazistrukturiranih (prikazanih kao tok klikova - clickstream) ili potpuno nestrukturiranih podataka potrebna je neka potpuno drugaćija i savremenija tehnika.

4.3.4.1 Strukturirani podaci

Strukturirani podaci su tipovi podataka koji su dobro organizovani i precizno formatirani. Ovi podaci se mogu naći u formatu relacionih baza podataka (RDBMS), što znači da se informacije čuvaju u tabelama sa redovima i kolonama koje su međusobno povezane na neki način. Na ovaj način strukturirani podaci su uređeni i uredno evidentirani, tako da se lako mogu pronaći i obraditi. Sve dok se podaci uklapaju u tradicionalnu strukturu RDBMS-a, možemo lako pretraživati određene informacije i izdvojiti odnose između njihovih delova. Takvi podaci se mogu koristiti samo za predviđenu svrhu. Povrh toga, strukturirani podaci obično ne zahtevaju mnogo prostora za skladištenje.

Primeri strukturiranih podataka: Strukturirani podaci su poznati većini nas. Google tabele i Microsoft Office Excel su prve stvari koje padaju na pamet u vezi sa primerima strukturiranih podataka. Ovi podaci mogu da sadrže i tekst i brojeve, kao što su imena zaposlenih, kontakti, poštanski brojevi, adrese, brojevi kreditnih kartica itd. Skoro svi su se bavili rezervisanjem karte preko nekog od sistema avio-kompanije za rezervaciju ili

²⁰ RDBMS je uobičajen tip baze podataka koja čuva podatke u tabelama.

²¹ <https://www.mycloudwiki.com/san/data-and-information-basics/>



podizanjem gotovine na bankomatu. Tokom ovih operacija, obično ne razmišljamo o tome sa kakvim aplikacijama se bavimo i koje vrste podataka obrađuju. Međutim, ovo su sistemi koji obično koriste strukturirane podatke i relacione baze podataka.

4.3.4.2 Nestrukturirani podaci

Nestrukturirani podaci su podaci koji nemaju inherentnu (udruženu) strukturu, što može uključivati različite tekstualne dokumente, emailove, postove na društvenim mrežama, PDF-ove, slike i video zapise, itd.

Ima smisla da ako definicija strukturiranih podataka implicira urednu organizaciju komponenti na unapred određen način, definicija nestrukturiranih podataka će biti suprotna. Komadi takvih podataka nisu strukturirani na unapred definisan način, što znači da se podaci čuvaju u izvornim formatima.

Problem sa nestrukturiranim podacima se ogleda u tome da se tradicionalne metode i alati ne mogu koristiti za njihovu analizu i obradu. Jedan od načina upravljanja nestrukturiranim podacima je da se koriste za nerelacione baze podataka, takođe poznate kao NoSQL²² (najpoznatije su MongoDB, CouchDB, CouchBase, Cassandra, HBase, Redis, Riak, Neo4J...).

Ako postoji potreba da se podaci čuvaju u njihovim sirovim izvornim formatima za dalju analizu, pravi način će biti skladišta koja se nazivaju data lakes. Data lake je skladište ili sistem za skladištenje velikih količina podataka u prirodnim/neobrađenim formatima.

Uzimajući u obzir čitav niz formata datoteka nestrukturiranih podataka, ne čudi što oni čine više od 80 posto svih podataka na svetu. Imajući to u vidu, kompanije koje ignoriraju nestrukturirane podatke ostaju daleko iza svojih mogućnosti a i konkurenata jer ne dobijaju dovoljno vrednih informacija.

Kao primer, možemo uzeti objave na društvenim mrežama turističke agencije ili sve postove po tom pitanju. Svaki post sadrži neke metrike kao što su deljenja ili hashtagovi koji se mogu kvantifikovati i strukturirati. Međutim, sami postovi spadaju u kategoriju nestrukturiranih podataka. Ono što ovde pokušavamo da kažemo je da će biti potrebno neko vreme, trud, znanje i specijalni softverski alati za analizu postova i prikupljanje korisnih uvida. Ako agencija objavljuje nova putovanja i želi da zna reakcije publike (komentare), moraće da ispita objavu u njenom izvornom formatu.

4.3.4.3 Polustrukturirani podaci

Jednostavna definicija polustrukturiranih podataka je da su to podaci koji se ne mogu organizovati u relacionim bazama podataka ili nemaju strogi strukturni okvir, ali ipak imaju neka struktura svojstva ili tzv. labav organizacioni okvir (npr. kao datoteke sa podacima Extensible Markup Language [XML] koje su samoopisne i definisane XML šemom). Polustrukturirani podaci su, u suštini, kombinacija strukturiranih i nestrukturiranih podataka. Polustrukturirani podaci obuhvataju tekst koji je organizovan prema predmetu ili temi ili se uklapa u hijerarhijski programski jezik, ali je tekst unutar njega otvorenog tipa i nema samu strukturu.

²² NoSQL baze podataka čuvaju podatke u jednom formatu, uključujući JSON dokument, umesto u tradicionalnoj strukturi tabela relacione baze podataka. Pošto ovoj nerelacionoj arhitekturi baze podataka nije potrebna struktura, ona može brzo da obrađuje masivne, često neorganizovane skupove podataka.



Emailovi su, na primer, strukturirani prema pošiljaocu, primaocu, predmetu, datumu, itd., ali je telo poruke bez ikakve strukture. Fotografije i video snimci, na primer, mogu da sadrže meta oznake koje se odnose na lokaciju, datum ili ko ih je snimio, ali informacije u njima nemaju strukturu. Platforme društvenih mreža, kao što je Facebook, su takođe primer ovog tipa podataka jer on može organizovati informacije prema korisniku, prijateljima, grupama, tržištu itd., ali komentari i tekst sadržani u ovim kategorijama su nestrukturirani.

Web stranice su dizajnirane tako da se korisnik može lako kretati pomoću tabova za Home, About Us, Blog, Contact, itd., ili linkova ka drugim stranicama unutar teksta, tako da korisnici mogu da pronađu put do informacija koje su im potrebne. Web stranice se kreiraju pomoću HTML-a (forma XML-a). Polustruktura HTML-a leži u procedurama koje se koriste za prikazivanje teksta i slike na ekranu računara, ali tekst i slike su sami po sebi nestrukturirani.

4.3.4.4 Kvazistrukturirani podaci

Kvazistrukturirani podaci su tekstualni podaci sa nedoslednim formatima podataka koji se mogu formatirati uz trud, alate i vreme (na primer, podaci o strimu klikova na webu koji mogu da sadrže nedoslednosti u vrednostima podataka i formatima).

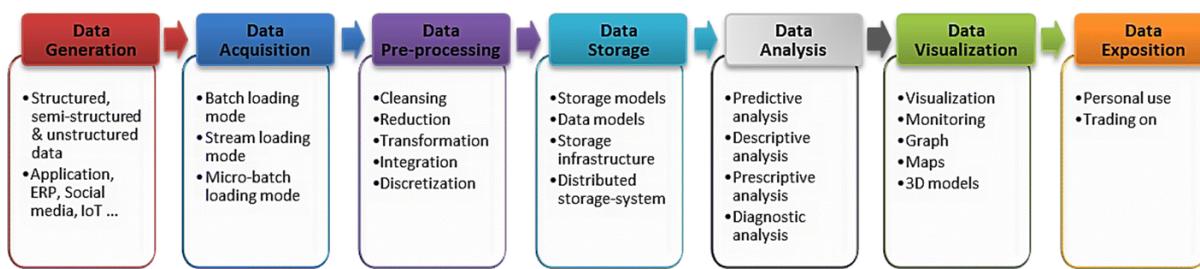
Kvazistrukturirani podaci su uobičajena pojava koja zahteva detaljnije ispitivanje. Klasičan primer ovih podataka je kada se vrši Google pretraga na neku temu. U zavisnosti od linkova koji izlaze kao odgovor na upit, i vaših narednih klikova, vi ćete otići u bezbroj smerova, ali se sve posete tim web lokacijama i radnje koje su pritom preduzete dodaju u datoteku evidencije koje prate korišćenje računara ili mreže korisnika. Zajedno, ovo obuhvata tok klikova koji naučnici podataka mogu raščlaniti kako bi otkrili obrasce korišćenja i odnose među klikovima i oblastima od interesa na web lokaciji ili grupi sajtova.

Četiri tipa podataka opisana u ovom poglavlju ponekad se generalizuju u samo dve grupe: strukturirani i nestrukturirani podaci. Kao što vidimo, veliki podaci mogu opisivati i nove vrste podataka sa kojima većina organizacija možda nije navikla da radi. Istorijски gledano, preduzeća su se fokusirala samo na izvlačenje i analizu informacija iz strukturiranih podataka. Međutim, sa porastom polustrukturiranih i nestrukturiranih podataka, preduzeća sada moraju da traže rešenje koje im može pomoći da analiziraju sve tri vrste podataka kako bi bili ispred konkurenčije i izvukli maksimum iz svojih informacija.

4.3.5 Lanac vrednosti velikih podataka

Lanac vrednosti podataka (eng. Data Value Chain) je proces koji opisuje tok podataka unutar neke organizacije i omogućava pribavljanje vrednosti tih podataka. Međutim, sa pojmom velikih podataka, lanac vrednosti podataka pokazao je ozbiljne slabosti u odnosu na sve veći obim, brzinu i raznolikost velikih podataka. Zbog toga je postao neprikladan za sisteme velikih podataka. Stoga je lanac vrednosti velikih podataka (eng. Big Data Value Chain - BDVC) uveden kao produžetak lanca vrednosti podataka koji odgovara zahtevima velikih podataka, i bavi se karakteristikama velikih podataka i omogućava transformaciju neobrađenih podataka u vredne uvide.

U nastavku su opisane različite faze najiscrpnjeg i najnovijeg BDVC-a dostupnog u literaturi koju su predložili autori rada „Big data monetization throughout Big Data Value Chain: a comprehensive review“[4.25]. Kao što se može videti na sl. 4.27, BDVC se može podeliti u sedam koraka.



Sl. 4.27. Lanac vrednosti velikih podataka [4.25]

4.3.5.1 Generisanje podataka

Ovaj prvi korak se odnosi na proces proizvodnje podataka. Stvarni izvor tih podataka može biti interni ili eksterni. Osim toga, ove podatke mogu pasivno ili aktivno kreirati ljudi, sistemi ili senzori, i mogu pratiti heterogene formate kao što su strukturirani, polustrukturirani ili nestrukturirani. Kada se podaci generišu, oni će na kraju pokretati druge sisteme kroz procese akvizicije.

4.3.5.2 Prikupljanje podataka

Ovaj korak se sastoji od prikupljanja podataka iz različitih izvora i njihovog skladištenja pre unošenja bilo kakvih promena u originalne podatke. Kako prikupljeni podaci mogu biti iz više izvora i tipova, neophodno je identifikovati integritet i raznolikost izvora podataka pošto se svaki tip podataka obrađuje drugačije. U ovoj fazi mora se uzeti u obzir tačnost izvora podataka i moraju se identifikovati bezbednosna ograničenja. Pored toga, mora se uzeti u obzir svežina prikupljenih podataka, posebno ako je izvor podataka interaktivan i dinamičan, kao što su podaci društvenih medija.

Podaci se mogu prikupiti uglavnom na tri načina: batch, stream ili mikro-batch režim.

Batch režim je efikasan mehanizam za obradu ogromnih podataka tokom određenog vremenskog perioda. Ovaj režim se preporučuje kada su podaci već uskladišteni u drugom tradicionalnom sistemu, kada aplikacija ne zahteva obradu u realnom vremenu ili kada vreme obrade nema uticaja na rezultat.

Stream režim je drugi metod koji se koristi za napajanje sistema za skladištenje. Omogućava prikupljanje i agregiranje podataka iz različitih izvora u realnom vremenu.

Mikro-batch režim je presek batch i stream režima. On deli stream-ove u mikro-batch. Shodno tome, podaci se dobijaju u skoro realnom vremenu.

U fazi akvizicije podaci se moraju preneti sa svoje tačke hvatanja u infrastrukturu za skladištenje koristeći pouzdanu mrežnu infrastrukturu kao što je npr. Content Distributed Network²³. Međutim, pre skladištenja tih neobrađenih podataka, neophodna je faza prethodne obrade.

²³ CDN je mreža servera koja distribuira sadržaj sa „originalnog“ servera širom sveta tako što kešuje sadržaj blizu mesta gde svaki krajnji korisnik pristupa internetu preko uređaja na kome je omogućen web. Sadržaj koji traže prvo se čuva na izvornom serveru, a zatim se replicira i skladišti na drugom mestu po potrebi.



4.3.5.3 Prethodna obrada podataka

Faza prethodne obrade je ključni korak u BDVC-u. Omogućava čišćenje podataka prikupljenih u prethodnoj fazi od nedoslednosti i netačnih vrednosti, čime se podaci pretvaraju u jedan vredan i praktičan format. Jedan od najčešćih problema u ovoj fazi su nepotpuni podaci i podaci sa šumom (pod šumom se ovde podrazumevaju različite smetnje na podacima u vidu netačnih, nebitnih informacija itd.). Ovo bi se moglo rešiti korišćenjem algoritama za grupisanje i nekih tehnika filtriranja podataka. U ovoj fazi, kvalitet podataka je veoma poboljšan zbog višestrukih podfaza koje ova faza uključuje, a to su:

- Čišćenje podataka: Proces kojim se osigurava da su podaci tačni i bez anomalija uklanjanjem oštećenih i dupliranih vrednosti.
- Smanjenje podataka: Ovaj proces identificuje model koji predstavlja originalne podatke u najjednostavnijem mogućem obliku kako bi se smanjio potreban kapacitet skladištenja. Ovaj proces uključuje više tehnika, kao što su smanjenje šuma podataka (data noise reduction), kompresija podataka i druge tehnike smanjenja dimenzionalnosti. U ovoj fazi moraju se uzeti u obzir mnoge dimenzije kvaliteta, kao što su potpunost, doslednost, jedinstvenost i validnost (eng. completeness, consistency, uniqueness, and validity).
- Transformacija podataka: Odnosi se na proces pretvaranja strukture podataka u prikladniji format kako bi bili vredniji.
- Integracija podataka: Sastoje se od kombinovanja različitih tipova podataka iz više izvora podataka u objedinjeni skup podataka, kojem je lako pristupiti.
- Diskretizacija: Sastoje se od podele opsega mogućih vrednosti na podintervale.

Nakon prethodne obrade neobrađenih podataka, podaci će biti poslati u infrastrukturu za skladištenje, koja je obično ili Datalake (repozitorijum za skladištenje velike količine podataka u izvornom obliku sve dok ne budu potrebni za određenu analizu ili običan centar podataka²⁴.

4.3.5.4 Skladištenje podataka

Nakon faze prethodne obrade, podaci se skladište kako bi se sačuvala čista kopija podataka za dalju upotrebu. Važno je napomenuti da sistem za skladištenje veoma utiče na skalabilnost i performanse BDVC-a. Stoga, ovaj korak mora da obezbedi pouzdan prostor za skladištenje i omogući moćan pristup za analizu podataka. Generalno, sistemi koji obezbeđuju skladištenje velikih podataka rade oko sledeća četiri stuba:

Modeli skladištenja: Predstavlja oslonac svakog sistema koji se bazira na velike podatke. Kako bilo koji sistem za skladištenje može da podrži tri moguća režima skladištenja, zasnovan na bloku, fajlu ili objektu (eng. Block-based, File-Based or Object-based), arhitektura velikih podataka se oslanja na režim zasnovan na blokovima koji se zove HDFS. Više o ovom sistemu biće rečeno u nastavku kursa.

Modeli podataka: Kao što je gore pomenuto, tradicionalne baze podataka ne mogu da odgovore na izazove velikih podataka (čuvanje i obrada ogromnih količina nestrukturiranih

²⁴ Baza podataka čuva trenutne podatke potrebne za pokretanje aplikacije. Jezero podataka (Data Lake) čuva trenutne i istorijske podatke za jedan ili više sistema u sirovom obliku u svrhu analize podataka.



podataka). Za ovo se često usvajaju distribuirano skladište i NoSQL baze podataka za manipulaciju heterogenim bazama podataka. Distribuirane NoSQL baze podataka su grupisane u četiri porodice: baze podataka ključ-vrednost, orijentisane na kolone, graf i dokumente (Key-value, Column-oriented, Graph-oriented and Document-oriented databases).

Infrastruktura za skladištenje: Hardverska infrastruktura za skladištenje podataka za sisteme velikih podataka može se videti sa različitim aspekata kao što su uređaji za skladištenje, mrežna infrastruktura za skladištenje i virtuelizacija skladištenja (storage devices, storage network infrastructure and storage virtualization).

Infrastruktura za distribuiranu obradu: U računarstvu, distribuirani sistemi se sastoje od deljenja podataka i zadataka (proračun i obrada) preko nekoliko međusobno povezanih čvorova. Dok, korisnik sistem doživljava kao jednu celinu.

Vredi napomenuti da svi gore navedeni aspekti omogućavaju olakšavanje kvaliteta podataka i upita podataka u korist faze analize.

4.3.5.5 Analiza podataka

Obrada podataka je najkritičnija faza celog procesa. Sastoje se od analize i manipulacije podacima (prethodno očišćenih) da bi se identifikovale nepoznate korelacije i obrasci i transformisali podaci u odgovarajuće znanje. U ovoj fazi mogu se koristiti različite tehnike analize velikih podataka, kao što su mašinsko učenje, duboko učenje i rudarenje podataka. Jedan od najčešćih izazova u ovoj fazi je da obezbeđivanje pouzdanosti dobijenih rezultata i poboljšanje tačnosti predviđanja. Ovaj problem bi se mogao rešiti korišćenjem preciznijih algoritama i modela kao što su Bajesovi klasifikatori, rudarenje asocijacijskih pravila i stabla odlučivanja (Bayesian classifiers, association rule mining, and decision trees).

Postoje uglavnom četiri kategorije kroz koje bi se mogla osmislit i sprovesti analiza velikih podataka: preskriptivna, prediktivna, dijagnostička i deskriptivna (eng. prescriptive, predictive, diagnostic and descriptive). U nastavku ćemo opisati svaku od ovih kategorija:

Preskriptivna analiza: Ova vrsta analize otkriva koje odluke treba uzeti u obzir. Ovo je najvrednija vrsta analize i obično rezultira pravilima i preporukama za naredne korake.

Prediktivna analiza: Ima za cilj analizu scenarija onoga što bi se moglo dogoditi. Izvučeni uvid je predviđanje. Prediktivna analitika objedinjuje mnoge tehnologije analize podataka i druge statističke tehnike. U ovoj oblasti se široko koristi regresiona analiza. Predviđa srodne vrednosti višestrukih varijabli na osnovu potvrde ili poricanja određene izjave. Stoga, prediktivna analitika ima za cilj da prepozna obrasce u podacima za verovatnoću projekta.

Dijagnostička analiza: Omogućava da se identifikuju uzroci koji dovode do postizanja učinka gledanjem u prošlost.

Deskriptivna analiza: Pruža uvid u prošlost i identificuje šta se dogodilo.

Nakon ovog koraka, podaci su spremni za vizuelizaciju ili deljenje u svom obrađenom obliku.



4.3.5.6 Vizuelizacija podataka

Rezultati analize su u ovoj fazi vizuelizovani u čitljivom obliku, lakšim za razumevanje, koristeći vizuelne elemente kao što su 3D modeli, grafikoni, karte i kontrolne table (eng. dashboards²⁵). Ovo bi pomoglo menadžerima da efikasnije istražuju podatke i podrže ih u donošenju odluka. Ova faza je dobila manje pažnje u literaturi nego druge faze BDVC-a, i često se zanemaruje njen uticaj što je skroz pogrešno. Aspekti kvaliteta ove faze su holistički i povezani su sa zadovoljstvom korisnika i kvalitetom predstavljanja podataka. Dimenzije koje su bitne za procenu kvaliteta ovog procesa, mogu se ogledati kroz složenost, jasnoću i selektivnost.

4.3.5.7 Izlaganje podataka

To je poslednja faza u BDVC-u. Sastoji se od deljenja i izlaganja podataka, uvida i znanja stvorenih tokom svake faze. Deli se interno ili sa partnerima, a ponekad i sa svima kao otvoreni podaci. Izlaganje podataka je često deo strategije podataka sa dva moguća scenarija korišćenja:

Lična upotreba: Organizacija zapravo ne deli uvide, već ih koristi da unapredi i unapredi sopstvene aktivnosti;

Trgovanje: Organizacija koristi generisane uvide za prodaju specifičnih usluga, kao što je ciljano oglašavanje.

Na kraju svega, treba napomenuti da svaka faza u BDVC-u koristi specifične alate za analizu velikih podataka koji su dobro usklađeni sa tom fazom, bilo za skladištenje, prethodnu obradu, analizu ili čak izlaganje. Pošto se u svakoj fazi primenjuju neke promene na podacima, od suštinskog značaja je da se vrši kontinuirana procena kvaliteta podataka i da se prati BDVC kako bi se osiguralo da ove promene nisu uticale na njih. Takođe je važno napomenuti da priroda i kontekst projekta pokazuju neke jedinstvene karakteristike i stoga zahtevaju određene adaptacije u BDVC-u. To jest, redosled i broj BDVC faza mogu se razlikovati u zavisnosti od slučaja upotrebe.

4.3.6 Korelacija između količine podataka i analitike

Više informacija = više podataka, više podataka = više analitike

Kao što smo već videli, više informacija takođe zahteva proaktivniji napor za skladištenje, analizu i razumevanje dostupnih podataka. Velika količina podataka ili „veliki podaci“ sada je stigla do skoro svakog sektora u društvu i privredi. U slučaju ekonomije, ona se takmiči sa drugim suštinskim faktorima proizvodnje, kao što su kapital i rad, a u kontekstu društva postala je „agens promene“ za način na koji mi međusobno komuniciramo u stvarnom i u virtualnom svetu. Ipak, upravo smo zagrebalici po površini mogućnosti koje se mogu otvoriti zbog velikih podataka. Sve veći broj preduzeća sada nastoji da iskoristi podatke kao kritičnu stratešku imovinu, pomažući da se otkriju novi izvori poslovne vrednosti - a veliki podaci

²⁵ Kontrolna tabla sa podacima (data dashboard) je alat koji predužeća koriste za praćenje, analizu i prikaz podataka, obično da bi stekli dublji uvidi u celokupnu dobrobit organizacije, odeljenja ili čak određenog procesa.



igraju ključnu ulogu u poslovnoj strategiji. Međutim, upotreba velikih podataka i analitike prevazilazi sektore i može pomoći u: (a) stvaranju veće transparentnosti tako što će informacije biti lakše dostupne, (b) razumevanju načina i sredstava za poboljšanje efikasnosti i efektivnosti politika i (c) segmentiranje specifičnih populacija radi prilagođavanja akcija kako bi se zadovoljile njihove precizne potrebe.

Vlasništvo nad velikim podacima i sposobnost da se oni dobro analiziraju postaju glavna konkurentska prednost za korporacije. Upravo su ove dve činjenice bile stub uspeha Facebook-a. Zbog svoje veličine i zavisnosti korisnika, nijedna druga platforma nema toliko ličnih podataka o svojim korisnicima kao Facebook. Možda mnogo više nego što korisnici vole da dele sa platformom društvenih medija. Facebook je najpopularnija svetska mreža društvenih medija i ima više od dve milijarde aktivnih korisnika mesečno širom sveta. Zbog svog širokog dometa, što se ogleda u broju korisnika koje ima, Facebook čuva ogromne količine korisničkih podataka. Facebook je jedno od najvrednijih javnih preduzeća na svetu, sa tržišnom vrednošću u stotinama milijardi dolara, ne zato što je tako profitabilan, već zato što ima toliko podataka. Facebook zna ko su naši prijatelji, kako izgledamo, gde smo, šta radimo, šta nam se sviđa, ne sviđa nam se i još mnogo toga. Što više korisnika koristi Facebook, to više informacija prikuplja. Facebook prikuplja, čuva i analizira ove podatke kako bi odredio ponašanje korisnika. Facebook prati svoje korisnike širom weba koristeći kolaciće za praćenje. Ako je korisnik prijavljen na Facebook i istovremeno pretražuje druge web lokacije, Facebook može da prati sajtove koje posećuje. Moguće je precizno predvideti podatke o nizu ličnih atributa koji su veoma osetljivi samo analizom „lajkova“ korisnika Fejsbuka. Obrasci Facebook lajkova mogu vrlo precizno predvideti vašu seksualnu orijentaciju, zadovoljstvo životom, inteligenciju, emocionalnu stabilnost, religiju, upotrebu alkohola, upotrebu droga, status veze, godine, pol, rasu i političke stavove. Deo političkih stavova je veoma kontroverzan. Zbog ovog ogromnog rudnika podataka, Facebook može da unovči podatke i svoju analitiku preko oglašivača i nije iznenađenje da je Facebook najpopularnija društvena platforma za trgovce.

Pored sektora društvenih medija, i u ostalim sektorima, lideri u prikupljanju i analizi velikih podataka postaju sve veći i profitabilniji. Prednost vodeće pozicije u velikim podacima pomoći će u stvaranju novih prilika za rast i novih dobitnika i gubitnika. Oni koji su prvi krenuli verovatno će imati najviše koristi jer će doći do značajnog povećanja efikasnosti i produktivnosti. Takođe postoji veza između analitike velikih podataka i inovacija, jer je upotreba analitike velikih podataka povezana sa većom sklonosću ka inovacijama, kao i većim intenzitetom inovacija. Istraživanja su već dokazala da ulaganja u aktivnosti kao što su bezbednost podataka i standardizacija stvaraju veću vrednost u kontekstu firme koja je rano investirala u prikupljanje podataka. Ovo zapažanje sugerira da menadžeri treba da prepoznaju i uzmu u obzir vrednost ove imovine, čak i ako ona ne proizvode kratkoročne dobitke u učinku. Iz strateške perspektive, ovi nalazi imaju važne menadžerske implikacije jer su baze podataka često skupe za proizvodnju i održavanje. Prema tome, rezultati sugerisu da značajna sredstva podataka (eng. data assets) koja su razvile mnoge firme predstavljaju značajan izvor konkurentske prednosti za ove firme.

4.3.7 Put od nestrukturiranih podataka do praktičnih uvida

Jedno od važnijih problema sa velikim podacima je to što su podaci toliko ogromni da je traženje smislenih i praktičnih referentnih tačaka poput traženja igle u plastu sena. Štaviše, podaci su uglavnom u nestruktuiranom formatu, što znači da je teško videti bilo kakve



obrasce u njima osim ako ne postanu sortirani i strukturirani. Tipičan proces za analitiku podataka je sledeći:

Nestrukturirani podaci -> Snimanje podataka -> Sortiranje podataka -> Strukturirani podaci -> Analiza podataka -> Uvid koji se može preuzeti -> Prediktivni modeli -> Predviđanje budućnosti -> Evaluacija rezultata -> Modifikacije procesa

Ovo je glomazan proces i vreme je od suštinske važnosti, jer analiza mora da se radi u što kraćem vremenskom periodu od nastanka podataka, a na preporuke se mora brzo reagovati. Nakon toga, čak i ako imamo uvide, možda nam to neće biti dovoljno da promenimo poslovnu strategiju na način koji dodaje vrednost.

Podaci su tu samo da pomognu u donošenju poslovnih odluka, ali menadžeri su ti koji će prihvati ove preporuke koje u velikoj meri zavise od interpretacije ovih podataka. Analiza troškova i koristi, kao i izvodljivost odluka biće važni kriterijumi pre nego što se može doneti konačan zaključak. Postoji još jedan izazov za menadžere i donosioce odluka. Svaka odluka ima posledice i svaka posledica ima nekoliko neželjenih efekata. Ovi neželjeni efekti se nazivaju efekti drugog reda. Svaka odluka će imati ove efekte drugog reda i menadžeri moraju da budu oprezni jer njihove odluke mogu imati suprotan efekat od onoga šta oni zapravo žele. Analitika velikih podataka neće moći da baci mnogo svetla na mnoge od ovih efekata drugog reda i odgovornost je donosilaca odluka da razmotre sve aspekte pre nego što krenu napred sa odlukom. Ovo jasno implicira da se ni velikim podacima ni analitici ne može slepo verovati.

4.3.8 Metode zaključivanja

Postoje dve široke metode zaključivanja, a to su deduktivni i induktivni pristup. Ove dve metode zaključivanja su karakteristično različite. Induktivno zaključivanje je otvoreno i istraživačko i vodi do do sada neistraženih mogućnosti. Dok je s druge strane deduktivno zaključivanje usko i bavi se samo testiranjem i potvrđivanjem ili opovrgavanjem hipoteza. Analitika velikih podataka nije precizna nauka jer nije zasnovana na deduktivnom zaključivanju i radi uglavnom na principu induktivnog zaključivanja. Ovo čini velike podatke sklonim greškama u smislu zaključaka koji se iz njih izvlače, tako da će uvidi koji se mogu primeniti takođe biti različiti.

Postoje neki poznati primeri u kojima prikupljeni podaci nisu bili zaista reprezentativni za analizu problema koji je u toku i iako nije bilo ništa loše u prikupljanju podataka i korišćenim algoritmima, konačni rezultat je bio katastrofa. Da bi uvidi bili zaista korisni, postoji potreba da se ozbiljno razmisli pre nego što menadžeri i donosioci odluka odluče koji će se podaci prikupljati, kako će se prikupljati, koliko dugo će se prikupljati i kako će biti obrađeni. „Više podataka“ neće uvek značiti „bolje podatke“ ili „korisnije podatke“ i donosioci odluka moraju da budu oprezni u pogledu ovih zamki.

Analitika velikih podataka radi tako što posmatra veliki skup podataka u cilju prepoznavanja određenih obrazaca, a zatim nudi uvide i daje preporuke. Ovaj proces koristi induktivno zaključivanje, tako da veliki podaci još uvek nisu u fazi u kojoj mogu da isporuče 100% sigurno rešenje. Čak i ako ste zainteresovani da koristite Big Data usluge, nije uvek sigurno da će oni funkcionisati na željeni i očekivani način. Uglavnom alati analitike velikih podataka posmatraju situaciju na teoretski način koristeći čisto matematički pristup i stoga se preporuke koje proizlaze iz toga mogu pokazati nepraktičnim u realnim situacijama.



4.3.8.1 Deduktivno zaključivanje

Deduktivno zaključivanje, ili jednostavno dedukcija, počinje izjavom ili hipotezom a krajnji ishhod je određeni zaključak.

Teorija > Hipoteza > Opservacija > Potvrda (da ili ne)

U deduktivnom zaključivanju držimo se teorije i na osnovu nje pravimo predviđanje njenih posledica. To jest, predviđamo kakva bi zapažanja trebalo da budu da je teorija tačna. Idemo od opšteg - teorije - do konkretnih - zapažanja, rekla je dr Sylvia Wassertheil-Smoller, istraživač i profesor emeritus na Albert Einstein College of Medicine.

Deduktivno zaključivanje obično prati korake. Prvo postoji premlisa, zatim druga premlisa i na kraju zaključak. Uobičajeni oblik deduktivnog zaključivanja je silogizam²⁶, u kojem dve tvrdnje - glavna premlisa i sporedna premlisa - postižu logičan zaključak. Na primer, premlisu „Svi kompjuterski naučnici su vredni“, mogla bi da prati druga premlisa, „Tim je kompjuterski naučnik“. Te izjave bi dovele do zaključka: „Tim je vredan.“

Da bi deduktivno zaključivanje bilo ispravno, hipoteza mora biti tačna. Prepostavlja se da su tačne premlise „Svi kompjuterski naučnici su vredni“ i „Tim je kompjuterski naučnik“. Dakle, onda i zaključak mora biti tačan. U deduktivnom zaključivanju, ako je nešto tačno za klasu stvari, to važi i za sve članove te klase. U ovom slučaju, ono što se odnosi na Timu zato što je on kompjuterski naučnik će se primeniti na sve kompjuterske naučnike, bez obzira na druge parametre povezane sa tim kompjuterskim naučnikom.

4.3.8.2 Induktivno zaključivanje

Induktivno zaključivanje je suprotno od deduktivnog i pravi široke generalizacije na osnovu konkretnih zapažanja, a zaključci se izvlače iz prikupljenih i dostupnih podataka. U dolasku do induktivnog zaključka, mi pravimo mnoga zapažanja, uviđamo obrazac, pravimo generalizaciju i predlažemo teoriju.

Posmatranje > Obrazac > Probna hipoteza > Teorija

Primer induktivne logike je: „Labudovi u Evropi su beli. Labudovi u Americi su beli. Labudovi u Aziji su beli. Dakle, svi labudovi na svetu su beli.“ Većina čitalaca koji su pročitali knjigu *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*, autora Nassim Nicholas Taleb-a neće propustiti sličnost između ovog primera i „teorije crnog labuda“²⁷ koju je on predložio. Teorija crnog labuda ili teorija događaja crnog labuda je metafora koja opisuje događaj koji dolazi kao iznenadenje i ima dalekosežne posledice. Termin je zasnovan na drevnoj izreci po kojoj se prepostavljalno da crni labudovi nisu postojali sve do prvog susreta Evrope s njima. Što nas dovodi do toga da u induktivnom zaključivanju **zaključak ne sledi logički iz iskaza**.

²⁶ Silogizam (lat. syllogismus: logički zaključak) je trojstvo iz sudova od kojih treći (konkluzija) sledi iz priznate ispravnosti drugih dvaju sudova (premlise „maior“ i „minor“).

²⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Black_swan_theory



4.3.9 Vrste analitike podataka

Danas većina organizacija naglašava podatke za donošenje poslovnih odluka, i to s pravom. Ali samo podaci nisu cilj. Činjenice i brojke su besmislene ako ne možete da steknete vredne uvide koji vode ka akcijama sa više informacija. U suštini, analiza podataka se odnosi na odgovaranje na pitanja i donošenje odluka. I baš kao što postoje različite vrste pitanja, postoje i različite vrste analitike podataka u zavisnosti od toga šta se nadate da ćete postići. Četiri primarne vrste analitike podataka su:

- **Deskriptivna analitika**, govori šta se dogodilo u prošlosti.
- **Dijagnostička analitika**, pomaže da razumete zašto se nešto dogodilo u prošlosti.
- **Prediktivna analitika**, predviđa šta će se najverovatnije dogoditi u budućnosti.
- **Preskriptivna analitika**, preporučuje radnje koje možete preuzeti da biste uticali na te ishode.

4.3.9.1 Deskriptivna analitika

Deskriptivna analitika žonglira sirovim podacima iz više izvora podataka kako bi pružila vredan uvid u prošlost. Obično su rezultati istraživanja u obliku vizuelizacije podataka kao što su grafikoni, izveštaji i dashboard-ovi. Međutim, ovi nalazi jednostavno signaliziraju da nešto nije u redu ili ispravno, bez objašnjenja zašto.

Na primer, analitičari podataka rade sa marketinškim timom za e-trgovinu kako bi pregledali podatke o prošlogodišnjoj prodaji kako bi identifikovali trendove i obrasce prodaje. Kroz izveštaje oni mogu uočiti povećanje ili smanjenje prodaje, u kom regionu i za koji procenat, ali neće ispitivati razloge za takvo stanje. U zdravstvenim ustanovama, na primer, može se primetiti neuobičajeno veliki broj ljudi primljen u hitnu pomoć u kratkom vremenskom periodu. Deskriptivna analitika vam govori da se to dešava i pruža podatke u realnom vremenu sa svim odgovarajućim statističkim podacima (datum nastanka, obim, detalji o pacijentu, itd.).

4.3.9.2 Dijagnostička analitika

Kao i deskriptivna analitika, dijagnostička analitika se takođe fokusira na prošlost. Međutim, ove vrste analiza traže uzrok i posledicu da bi se ilustrovalo zašto se nešto dogodilo. Cilj je da se uporede događaji iz prošlosti da bi se utvrdili uzroci. Naravno, ovo je retko crno-beli odgovor, već se daje u kontekstu verovatnoće. Ovo uključuje korišćenje procesa kao što su otkrivanje podataka i rudarenje podataka.

Da se vratimo na naš marketinški primer, sada kada ste svesni da postoji pad prodaje, možete identifikovati razlog zašto dolazi do naglog pada prodaje? Ovo će možda trebati dodatno ispitivanje jer će možda morati da se pogledaju dodatni podaci kao što su saobraćaj na web lokaciji, marketinški budžeti, dostupnost inventara proizvoda i da se napravi korelacija da bi se otkrili odnosi. Koristeći složeniju analitiku, analitičari mogu koristiti teoriju verovatnoće ili regresionu analizu da izoluju uzročno-posledične veze.

U prethodno pomenutom primeru zdravstvene zaštite, dijagnostička analitika bi istražila podatke i napravila korelacije. Na primer, može vam pomoći da utvrdite da svi simptomi pacijenata - visoka temperatura, suv kašalj i umor - ukazuju na isti zarazni virus kao što je to



bio slučaj sa korona virusom u prethodne dve godine. Sada imate objašnjenje za iznenadni porast obima u Hitnoj pomoći.

4.3.9.3 Prediktivna analitika

Prediktivna analitika koristi nalaze deskriptivne i dijagnostičke analitike za otkrivanje klastera i izuzetaka i predviđanje budućih trendova, što ga čini vrednim alatom. Donosi mnoge prednosti kao što su sofisticirana analiza zasnovana na mašinskom učenju ili dubokom učenju i proaktivni pristup koji predviđanja omogućavaju. Model se zatim primenjuje na trenutne podatke da bi se predvidelo šta će se sledeće desiti.

Važno je, međutim, imati na umu da nikakva analitika neće moći da vam kaže šta će se tačno dogoditi u budućnosti. Prediktivna analitika stavlja u perspektivu šta se MOŽE dogoditi, obezbeđujući odgovarajuće verovatnoće s obzirom na promenljive koje se posmatraju.

Sada kada znamo razlog pada prodaje. Prediktivna analitika pomaže da se pronađe šta bi bila očekivana prodaja u sledećem mesecu, kvartalu ili godini, itd. Cilj je da se utvrdi trend, korelacija, uzročnost ili verovatnoća za sledeću kupovinu.

U našem primeru iz bolnice, prediktivna analitika može predvideti porast broja pacijenata primljenih u hitnu u narednih nekoliko nedelja. Na osnovu obrazaca u podacima, zarazna bolest se širi velikom brzinom.

4.3.9.4 Preskriptivna analitika

Svrha preskriptivne analitike je da bukvalno propiše šta treba preuzeti da bi se eliminisao budući problem ili u potpunosti iskoristio obećavajući trend. Koristi napredne alate i tehnologije, kao što je mašinsko učenje, što ga čini sofisticiranim za implementaciju i upravljanje. Osim toga, ova najsavremenija vrsta analitike podataka zahteva ne samo istorijske interne podatke već i eksterne informacije zbog prirode algoritama na kojima se zasniva.

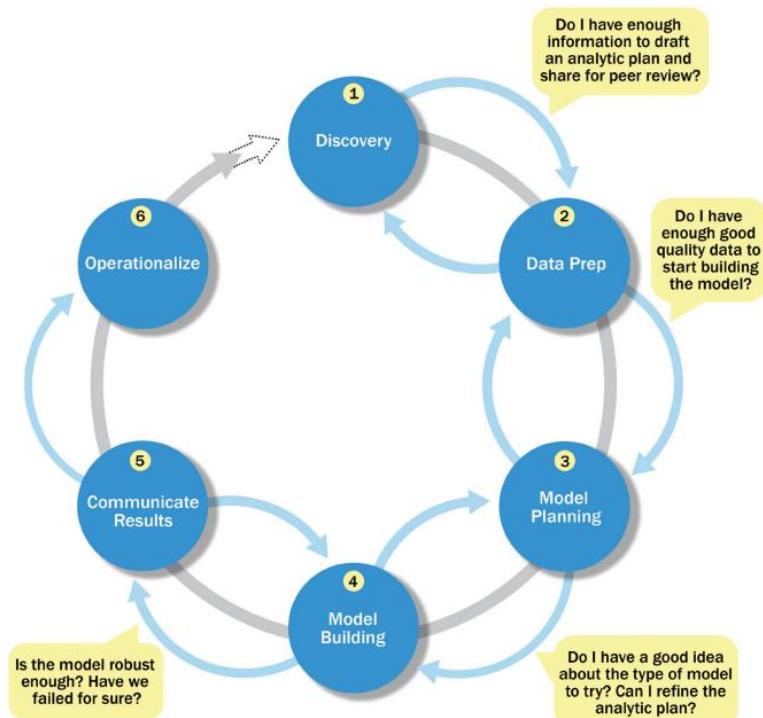
Kao deo preskriptivne analitike, ako prodaja pada, možete doneti pravovremene odluke kao što su smanjenje cena, više tržišta ili ukidanje proizvoda. Ili u slučaju bolničkog primera: sada kada znate da se bolest širi, analitika može recimo predložiti da povećate broj osoblja kako biste adekvatno lečili priliv pacijenata.

Ukratko rečeno, deskriptivna analitika i dijagnostička analitika gledaju u prošlost kako bi objasnile šta se dogodilo i zašto se dogodilo. Prediktivna i preskriptivna analitika koriste istorijske podatke da predvide šta će se dogoditi u budućnosti i koje radnje možete preuzeti da biste uticali na te ishode. Organizacije koje razmišljaju unapred koriste različite analitike zajedno da onesu pametne odluke koje pomažu poslovanju.

4.3.10 Životni ciklus analitike podataka

Životni ciklus analitike podataka definiše kompletan proces analitike od pokretanja određenog projekta pa sve do njegovog završetka. Na sl. 4.28 je prikazan životni ciklus analitike podataka koji uključuje šest faza. Timovi obično uče nove stvari u trenutnoj fazi što ih dovodi do toga da se vrate i usavrše posao obavljen u prethodnim fazama na osnovu novih uvida i informacija koje su otkrivene. Iz tog razloga, slika je prikazana kao ciklus.

Kružne strelice prenose iterativno kretanje između faza sve dok članovi tima ne budu imali dovoljno informacija da pređu na sledeću fazu. Oblaćici uključuju uzorke pitanja koja treba da se postave kako bi se utvrdilo da li svaki od članova tima ima dovoljno informacija i da li je dovoljno napredovao da pređe na sledeću fazu procesa. Imajte na umu da ove faze ne predstavljaju formalne kapije, već služe kao kriterijumi koji pomažu u testiranju da li ima smisla ostati u trenutnoj fazi ili preći na sledeću.



Sl. 4.28. Životni ciklus analitike podataka [4.26]

Evo kratkog pregleda glavnih faza životnog ciklusa analitike podataka:

- Faza 1 – Otkrivanje (Pokretanje):** U ovoj fazi, tim uči o poslovnom domenu, uključujući relevantnu istoriju, kao što je da li je organizacija ili poslovna jedinica u prošlosti pokušala sa sličnim projektima iz kojih mogu da uče. Tim procenjuje raspoložive resurse za podršku projektu u smislu ljudi, tehnologije, vremena i podataka. Važne aktivnosti u ovoj fazi uključuju uokvirivanje poslovnog problema kao analitičkog izazova koji se može rešiti u narednim fazama i formulisanje početnih hipoteza za testiranje i početak učenja podataka.
- Faza 2 - Priprema podataka:** U ovoj fazi, tim treba da stvori robusno okruženje u kojem može da istražuje podatke koji su odvojeni od proizvodnog okruženja. Obično se to radi pripremanjem analitičkog okruženja (eng. analytics sandbox²⁸). Tim treba da izvrši izdvajanje, učitavanje i transformisanje (extract, load, and transform - ELT) ili izdvajanje, transformisanje i učitavanje (extract, transform and load - ETL) da bi podatke prebacili u analitičko okruženje. ELT i ETL su ponekad u obliku ETLT. Podaci treba da se transformišu u ETLT procesu kako ih doveo do formata koji će olakšati naknadnu analizu. U zavisnosti od veličine i broja izvora podataka, tim će možda morati da razmotri kako da paralelizuje kretanje skupova podataka u okruženju. Kretanje

²⁸ Analitičko okruženje je okruženje za testiranje u računarskom sistemu u kojem se novi ili neprovereni softver može bezbedno pokrenuti.



podataka može biti paralelizovano tehnologijama kao što su Hadoop ili MapReduce, o kojima će biti više reči do kraja ovog poglavlja. U ovom trenutku, imajte na umu da se ove tehnologije mogu koristiti za obavljanje paralelnog unosa podataka i uvođenje ogromnog broja datoteka ili skupova podataka paralelno u veoma kratkom vremenskom periodu. Hadoop može biti koristan za učitavanje podataka, kao i za analizu podataka u narednim fazama.

- **Faza 3 - Planiranje modela:** Faza 3 je planiranje modela, gde tim identificuje kandidate modela za primenu na podatke u cilju grupisanja, klasifikacije ili pronalaženja odnosa u podacima u zavisnosti od cilja projekta. Tokom ove faze tim se poziva na početne hipoteze razvijene u prvoj fazi, kada su se prvi put upoznali sa podacima i razumeli poslovne probleme ili oblast domena. Ove hipoteze pomažu timu da uokviri analitiku za izvršenje u sledećoj fazi i odabere prave metode za postizanje svojih ciljeva. Uobičajeni alati za fazu planiranja modela su R, SQL Analysis services, SAS/ACCESS, itd.
- **Faza 4 - Izgradnja modela:** U ovoj fazi tim razvija skupove podataka za potrebe testiranja, obuke i proizvodnje. Ovi skupovi podataka omogućavaju naučnicima podataka da razviju analitički model i obuče ga („podaci o obuci“ training data), dok neke podatke („podaci na čekanju“ - hold-out data, ili „podaci o testiranju“ - test data) drže po strani za testiranje modela. Tim takođe razmatra da li će njegovi postojeći alati biti dovoljni za pokretanje modela ili će mu trebati robusnije okruženje za izvršavanje modela (na primer, brz hardver i paralelna obrada). Postoji mnogo dostupnih alata koji pomažu u ovoj fazi, fokusirani prvenstveno na statističku analizu ili softver za rudarenje podataka. Uobičajeni alati u ovom prostoru uključuju, ali nisu ograničeni na, SAS Enterprise Miner, SPSS Modeler, Matlab, Alpine Miner, Mathematica, R i PL/R, VEKA, itd.
- **Faza 5 - Saopštavanje rezultata:** Nakon izvršenja modela, tim treba da uporedi rezultate modeliranja sa kriterijumima koji su utvrđeni za uspeh i neuspeh. U ovoj fazi, tim razmatra kako najbolje artikulisati nalaze i rezultate različitim članovima tima i zainteresovanim stranama, uzimajući u obzir upozorenja, prepostavke i sva ograničenja rezultata. Pošto se prezentacija često širi unutar organizacije, od ključne je važnosti pravilno artikulisati rezultate i pozicionirati nalaze na način koji je prikidan za publiku.
- **Faza 6 - Operacionalizacija:** U završnoj fazi, tim šire komunicira o prednostima projekta i postavlja pilot projekt za implementaciju posla na kontrolisan način pre nego što proširi posao na celo preduzeće ili ekosistem korisnika. Ovaj pristup omogućava timu da nauči o performansama i srodnim ograničenjima modela u proizvodnom okruženju u malom obimu i izvrši prilagođavanja pre potpunog postavljanja. Tokom pilot projekta, tim će možda morati da razmotri izvršavanje algoritma u bazi podataka umesto pomoću alata u memoriji kao što je R jer je vreme rada znatno brže i efikasnije od pokretanja u memoriji, posebno na većim skupovima podataka.
- Kada članovi tima pokrenu modele i proizvedu nalaze, ključno je da se ovi rezultati uokvire na način koji je prilagođen publici koja je angažovala tim. Štaviše, od ključne je važnosti da se rezultati rada uokvire na način koji pokazuje jasnu vrednost. Ako tim izvrši tehnički tačnu analizu, ali ne uspe da prevede rezultate na jezik koji odjekuje kod publike, ljudi neće videti vrednost, a veliki deo vremena i truda na projektu će biti izgubljen.



4.3.11 Budućnost velikih podataka u razvoju pametnih proizvoda i usluga

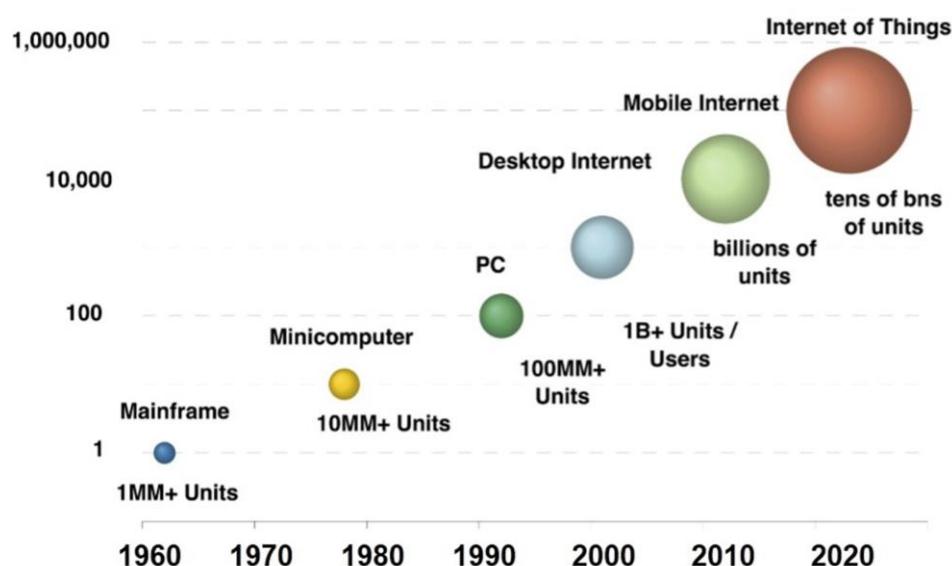
Očigledno je da će veliki podaci nastaviti da postaju moćniji i brzina kojom će se generisati, obrađivati i analizirati kako bi se proizveli smisleni zaključci samo će se povećavati. Pošto su podaci u osnovi većine stvari koje čujete ili o kojima pričate u oblasti novih tehnologija, oni će nastaviti da postaju vredniji i važniji. Pogledajte skoro sve oko sebe što radi na podacima. U većini slučajeva, ove aplikacije postaju sve bolje uprkos stalnom porastu broja korisnika. Usluge su sve brže i personalizovanije. U tom kontekstu, Google mape su, na primer, zanimljiv primer u pogledu pokrivenosti, mapiranih oblasti, nivoa detalja i algoritama na kojima se zasnivaju njegove prognoze. Druga dimenzija ovoga je kako sve više i više organizacija postaje osetljivo na važnost podataka i vrstu uticaja koji oni mogu da ostvare. Investicije se povećavaju, angažuje se sve veći eksperti i kao rezultat toga, krajnjim korisnicima i kupcima je sve više dostupnih opcija za izbor. Ovo će samo rasti brže i jače. Biće sve više aplikacija i usluga koje će imati koristi od velikih podataka dostupnih običnim ljudima kako budu prelazili iz istraživačkih laboratorija u komercijalne aplikacije. Ovo će biti glavna pokretačka snaga za pravac u kojem će globalna ekonomija krenuti.

4.4 Internet i senzorske tehnologije

4.4.1 Zašto je IoT važan?

U ovom poglavljiju biće dat kratak pregled osnovni pojmove i gradivnih elemenata Internet of Things (IoT) tehnologije. Internet stvari postoji da transformiše fizički svet u složen dinamički sistem povezanih elektronskih uređaja. IoT nije samo tehnologija koja obezbeđuje implementaciju Industrije 4.0. Naprotiv, ona efikasno omogućava i poboljšanje svakodnevnog života pojedinca i uzima u obzir ljudske faktore, potrebe i emocije kako bi na pravi način poboljšala kvalitet života i olakšala svakodnevne aktivnosti.

IoT i u ovom trenutku ima veliki uticaj na svakodnevnicu ljudi i na funkcionalisanje koncepta Industrija 4.0. Ipak, smatra se da će u budućnosti u potpunosti promeniti način na koji ljudi funkcionišu i izvršavaju različite aktivnosti. IoT tehnologija će uči u bukvalno sve svere života ljudi i biće uključena u svemu što oni rade. Kako bi Internet stvari zaista trebalo da izgleda u budućnosti? Trenutno IoT još nije dostigao zenit svoga razvoja ali po sl. 4.29 može se uočiti razvoj računarske tehnike kroz decenije. Danas se može već pričati o neizbrojivim elektronskim uređajima koji poseduju računare, a u budućnosti će taj broj eksponencijalno rasti i obezbediti preko trillion umreženih senzora na planeti.



Sl. 4.29. Broj elektronskih uređaja kroz vreme (u milionima)

Srž IoT tehnologije su senzori i metode prenosa podataka preko Interneta do aplikacija koje omogućavaju da radimo stvari koje ljudi ranije nisu mogli da izvršavaju. IoT daje mogućnost umrežavanje bliskih ljudi, komunikaciju i obaveštenja o njihovim zdravstvenim statusima, obavljenim dnevnim zadacima, ponašanju i aktivnostima, itd. Više o praktičnim primenama IoT tehnologije u narednom poglavlju.

4.4.2 Praktične aplikacije IoT sistema

Cilj IoT tehnologije za potrebe čoveka i njegovog okruženja je obezbeđivanje održivog razvoja. Na primer, dugoročni ciljevi su razvoj autonomnih automobila i efikasan transport ljudi i dobara. Zadatak je ostvarenje bolje i pristupačnije zdravstvene zaštite. Potrebna je takođe i pomoć pametnih tehnologija u poljoprivredi i skladištenju hrane – oblastima gde IoT takođe ima veliku perspektivu. Internet stvari je brza i adaptivna tehnologija koja može omogućiti sve to i mnogo više od toga.

Na sl. 4.30 je prikazano jedno IoT rešenje koje obezbeđuje bolju održivost u domenu skladištenja otpada. U pitanju je aerodrom u Dablinu gde su realizovane pametne kante za smeće koje su doprineli smanjenju broja njihovih pražnenja tokom dana. Manji broj pražnenja sa sobom nosi smanjenje utroška goriva za vozila prilikom dolaska do kontejnera i manju angažovanost ljudi za repetitivni rad tokom dana. Ušteda vremena zaposlenih tokom radnog dana se može iskoristiti za njihovo preusmeravanje na neke kreativnije poslove.

Naredni veliki problem u mnogim svetskim gradovima je neefikasnost i velika potrošnja koju iziskuje ulična rasveta. Generalni zaključak je da nije potrebno da ulična rasveta bude stalno upaljena, pogotovo ako na ulicama nema pešaka ili vozila u pokretu. Ako su poznate pozicije automobila i pešaka, kao i vremenskih uslova, moguće je realizovati pametno ulično osvetljene i omogućiti veliku uštedu energije (sl. 4.31). Da bi se to realizovalo, potrebni su senzori i primena osnovnih postulata IoT tehnologije za detekciju saobraćaja na ulicama.



Sl. 4.30. Pametne kante za otpatke



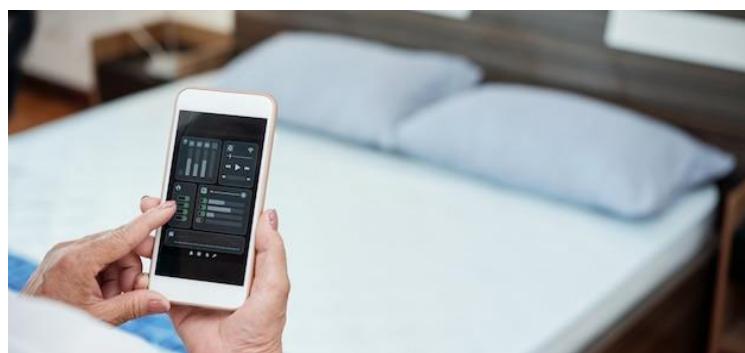
Sl. 4.31 Inteligentna ulična rasveta

Ulično parkiranje je još jedna aktivnost za koju svi koji žive u gradu znaju koliko može biti frustrirajuća. Ukoliko vozači imaju aplikaciju za pametni telefon koja ih može navigirati do najbližih slobodnih parking mesta (Sl. 4.32), to bi bila neverovatna ušteda kako vremena vozača tako i goriva. Sa strane IoT konstrukcije, svako parking mesto bi posedovalo senzor za detekciju da li je vozilo tu parkirano ili nije. Na osnovu rezultata sa senzora vrši se mapiranje parking reona i pruža informacija vozačima.



Sl. 4.32 Pametno parkiranje

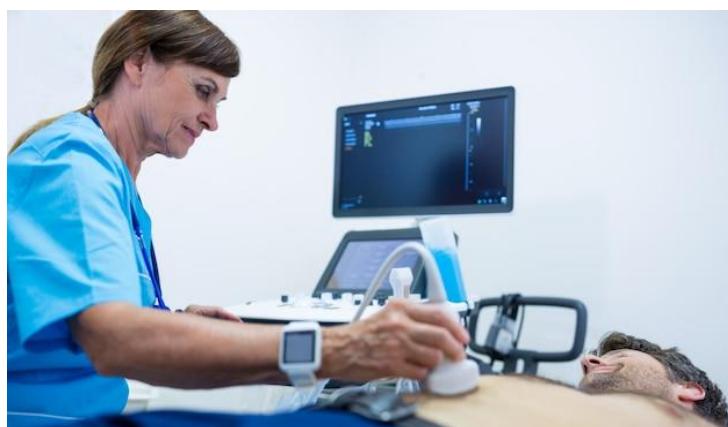
Zdravstvena zaštita je neophodni deo svakog društva, i cilj je upotrebiti IoT za dobijanje efikasnije, jeftinije i pristupačnije zdravstvene zaštite. Svakako, najjeftinija vrsta zdravstvene zaštite pojedinca je prevencija bolesti i vođenje zdravog života. Danas su u upotrebi mnogi nosivi uređaji koji se baziraju na IoT tehnologijama (npr. pametni satovi) koji motivišu svoje korisnike da vode zdrave živote (obaveštenja o nedovoljnom kretanju, terminima za vežbanje, merenje pulsa, praćenje kvaliteta sna). Zasebni uređaji za praćenje kvaliteta sna koji su u upotrebi prikazani su na sl. 4.33.



Sl. 4.33 Aplikacija za merenje kvaliteta sna



Kada se govori o IoT i invazivnijim tehnikama za proveru zdravlja, u upotrebi su senzori koji se mogu progutati i koji menjaju tradicionalnu dijagnostiku putem ultrazvuka (sl. 4.34). Nakon što se adekvatni sensor nađe u stomaku, vrlo jednostavno se mogu registrovati različiti parametri, dijagnostifikovati bolesti i utvrditi promene u organizmu ili stepen efikasnosti terapije. IoT u zdravstvu je jako obećevajuća ali jako kompleksna oblast. Jedna od stvari koja je veoma složena je da su zdravstveni kartoni i generisani podaci pacijenata strogo poverljivi i moraju se primeniti posebne mere njihove zaštite. Drugi problem je umrežavanje takvih senzora u jedan pouzdan sistem i mrežu uređaja. Naredni izazov je pitanje da li će ljudi ukoliko budu u poziciji da prate konstantno svoje zdravlje dobiti gomilu lažnih pozitivnih rezultata koji će ih uznemiriti i konakirati bolnice bez razloga. Ordinacije mogu biti pune zdravih ljudi koji će bez potrebnog znanja laički komentarisati rezultate i utvrđivati dijagnoze i potencijalne bolesti. Na taj način će biti usporeno lečenje kod zaista bolesnih pacijenata.



Sl. 4.34. Tradicionalna dijagnostika želuca

Sledeća upotreбna vrednost IOT tehnologije je vezana za zdravstvenu zaštitu, ali sa stanovišta praćenja i zaštite starijih i iznemogli lica. Neke statistike kažu da u većini staračkih domova između 40% i 60% štićenika pati od urinarnih infekcija. Pametne pelene bi omogućile negovateljima da na daljinu otkriju događaje inkontinencije i to bi poboljšalo kvalitet nege i zaštitilo dostojanstvo štićenih lica koja neće biti uznemiravana i proveravana i detekciju pada. Statistike upozoravaju da svake godine padne četvrtina ljudi od 65 i više godina. I svakih 11 sekundi jedna osoba zove hitnu pomoć zbog pada. Takođe, svakih 19 minuta starija osoba premine usled pada, a padovi su vodeći uzrok fatalnih povreda i najčešći uzrok prijema u bolnicama među starijim odraslim osobama. Ukupni trošak povreda od pada bio je 34 milijarde u 2013 samo u Americi. I očekuje se da će dostići iznad 70 milijardi do 2023. Ukoliko se uzme u obzir zdravstveni budžet Amerike od oko 600 milijardi lako je zaključiti da samo na tretmane od pada se potroši skoro 10% ukupnog budžeta. To samo po sebi govori koliko je ovaj problem veliki i koliki je značaj IoT tehnologije važan za njegovo rešavanje. U kratkim crtama, rad ovakvog IoT sistema je zasnovan na slanju informacija sa senzora pokreta na server preko ćelijskih modema niske brzine prenosa podataka (sl. 4.35). Dalje, server analizira podatke i utvrđuje da li postoji pad; ako je tako, upozorenje će biti poslatо negovatelju u realnom vremenu.



Sl. 4.35. Koncept IoT rešenja za nadgledanje starih lica

Naredni globalni zadatak IoT tehnologije je unaprediti procese u poljoprivredi, poboljšati doprinose useva i kvalitet hrane (sl. 4.36). Cilj u okviru svakog poljoprivrednog gazdinstva biće ostvariti bolju povezanost različitih proizvodnih ciklusa i upravljanja, napraviti integrisani sistem senzora i centralizovati analizu podataka. Takođe, napredna metodologija treba da obezbedi sigurnost pri radu, minimizaciju mogućnosti povrede na terenu, bezbedno čuvanje i skladištenje hrane. U najboljem slučaju, senzorska oprema i implementacija aktuatora omogućuje da hrana ne propada i ne kvari se. To dovodi do realizacije pametnih skladišta za čuvanje velikih tovara hrane, pametnih frižidera i ostava za domaćinstva.



Sl. 4.36. Uticaj IoT na poljoprivrednu

I na kraju, pametna proizvodnja. Internet stvari omogućava ostvarenje koncepta Industrija 4.0, fleksibilne i pametne tehnologije koja automatizaciju procesa dodatno usavršava i donošenje odluka u proizvodnom procesu čini lakšim i optimalnim (sl. 4.37).

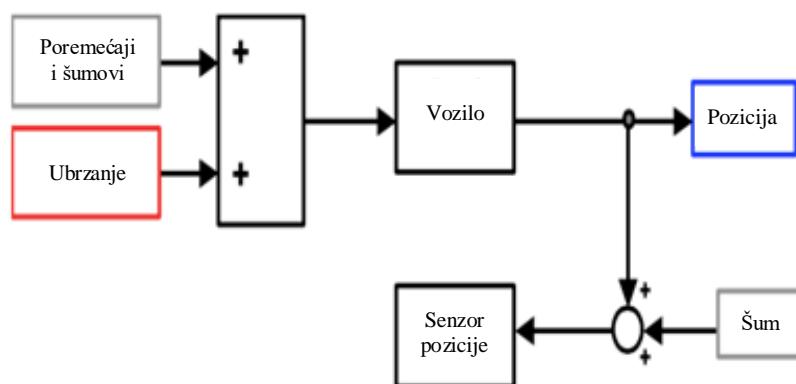


Sl. 4.37. Industrija 4.0



• Senzori

Senzori su neizostavni deo svakog IoT sistema. Njihova važnost biće predstavljena na primeru automobila koji se zaustavlja kod znaka za zaustavljanje. Blok dijagram upravljačke logike je dat na sl. 4.38. Glavni ulaz blok diajgrama je ubrzanje. Pored ubrzanja čija se vrednost zapravo meri, treba računati na poremećaje i šumove koji su neželjeni signali ali ih je svakako potrebno očekivati kao ulaze u sistem u realnom okruženju. Mereno i registrovani poremećaji deluju na automobil, što dovodi do promene njegovog položaja i vrednost pozicije koja je predstavljena kao izlaz dijagrama. Pored poremećaja koje treba očekivati na ubrzanje sistema, očekivano je da pri merenju pozicije vozila takođe postoje šumovi koji utiču na preciznost merenja pozicije. Zbog tога će senzor pozicije pored signala pozicije koji se meri biti opterećen i poremećajem. Kako uvedeni poremećaji u sistem ne bi dali loše rezultate merenja, potrebno je da izmereni signali (ubrzanja i pozicije u ovom slučaju) budu kvantitativno veći u značajnijoj meri od vrednosti poremećaja. Zato je od izuzetne važnosti da odabrani senzori imaju dobru osjetljivost.



Sl. 4.38. Blok dijagram upravljačke logike ubrzanja automobila

Kao što je već navedeno, senzori čine srž i osnovni gradivni element Interneta stvari. Pored kapacitivnih senzora, senzori mogu biti zasnovani i na merenju otpornosti ili induktivnosti (sl. 4.39). Zadatak u svakom od tih slučajeva je merenje realnih vrednosti i prenos izmerenih numeričkih vrednosti do centralne jedinice IoT sistema. Kako bi se veliki broj senzora ugradio u okviru pojedinih minijaturnih IoT uređaja (pametni satovi, ugradni zdravstveni uređaji), tendencija modernog razvoja je da se proizvode po veličini minimalni senzori uz zadržanu preciznost. Minimalistički dizajn je doprineo razvoju IoT i nesagleđive mogućnosti koje će tek u budućnosti biti realizovane.

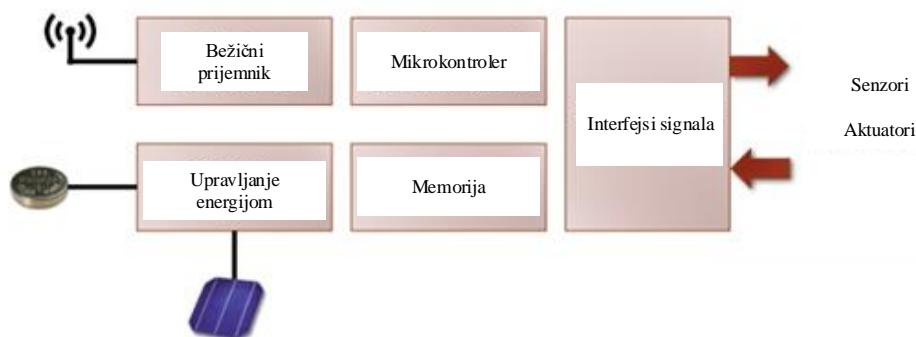
	Otpornik	Kondenzator	Kalem
Simbol			
I-V	$V = R \cdot I$	$I = C \cdot dV/dt$	$V = L \cdot dI/dt$
Jedinica	Ohm: $\left(\frac{V}{A} \frac{m}{m^2} = \frac{V}{A} = \Omega \right)$	Farad: $F = \left(\frac{C}{V} \right)$	Henry: $\left(H = \frac{V \cdot s^2}{C} \right)$

Sl. 4.39. Prikaz osobina otpornika, kondenzatora i kalema



• Električna kola

Električna kola čine bazu izgradnje IoT uređaja. Na sl. 4.40 je prikazan uopšteni blok dijagram gradivnih elemenata jednog IoT sistema i način povezivanja komponenti od napajanja do senzora i aktuatora. Signali sa senzora (digitalni i analogni) se dovode preko interfejsa na sistem i odgovarajuće procesne jedinice u vidu mikrokontrolera i na memoriju sistema kako bi se podaci čuvali. IoT sistem dalje poseduje lokalnu jedinicu za upravljanje energijom sistema, i bežični prenosnik kojim se omogućuje komunikacija sa ostalim uređajima, korisničkim portalom, td.



Sl. 4.40. Generički blok dijagram IoT uređaja

Naredni veoma važan činilac za autonomni rad sistema su napajanja koje često dolaze u vidu baterija sa ili bez opcije za autonomno punjenje. Autonomni izvori napajanja poput solarnih panela omogućuju nesmetani rad uređaja i smanjenu potrebu za održavanjem i zamenom baterija. U svakom slučaju, goruci problem razvoja modernih IoT sistema je u razvoju upravljačkih jedinica koje će za radne zadatke trošiti što je moguće manje energije. Tako da je glavni izazov unaprediti procese, smanjiti broj kalkulacija po jednom zadatku i povećati radni vek napajanja. Samo takav sistem ima dobru perspektivu i može se zadržati na tržištu. Na sl. 4.41 je dat prikaz potrošnje četiri različita komunikaciona protokola pri razmeni odgovarajućeg broja bitova u sekundi.

	Bluetooth LE	Nike+	ZigBee	WIFI	Radio uređaj veličine mrava
Power (mW)	0.147	0.675	35.7	210	
Bits/sec	960	272	192	40M	
Energy/bit (nJ)	153	2480	186,000	5.25	

Sl. 4.41. Potrošnja energije bežičnih prenosnika signala

Ako se pogledaju energije po bitu, za svaki od četiri prenosnika, može se zaključiti da ZigBee, Nike+ i Bluetooth zahtevaju više od 100 nanodžula po prenetom bitu što je mnogo. Poređenjem sa WiFi uređajem može se zaključiti da sva tri uređaja troše na desetine ili stotine puta više energije od njega. Razlog zbog koga WiFi troši tako malo energije je velika količina podataka u jedinici vremena. Ipak, WiFi nije dobro rešenje ukoliko je potrebno da IoT šalje recimo nekoliko bitova u sekundi. Tada ima smila govoriti i o drugim rešenjima. Na sl. 4.41, desno prikazan je IoT primopredajnik veličine mrava. To je veoma minijaturni uređaj koji ima manji domet čak i od Bluetooth-a, ali troši i značajno manje energije po bitu.



• Embedded sistemi

Jedan od centralnih koncepata u Internetu stvari je koncept ugrađenih sistema (sl. 4.42). Središte ugradnih sistema je računar specijalizovane namene, napravljen posebno za svrhu i usko profilisane ciljeve za koje će se sistem koristiti. To u suštini znači da ukoliko se realizuje na primer novi model pametnog sata, on će sadržati usko profilisani tip procesora i računarskih komponenti koji će mu omogućiti realizaciju svih procesa koje taj sat može da ima. I ništa više od toga. Dakle, za razliku od ličnih PC računara koji se može efikasno koristiti u različite namete i za različita softverska okruženja, ugradni računar će imati usku unapred definisanu primenljivost. Upravo ta profilisanost omogućuje realizaciju minimalističkog hardverskog koncepta i minimalne potrošnje energije – što su zapravo i ciljevi razvoja IoT sistema.



Sl. 4.42. Ugradni embedded sistemi i komponente

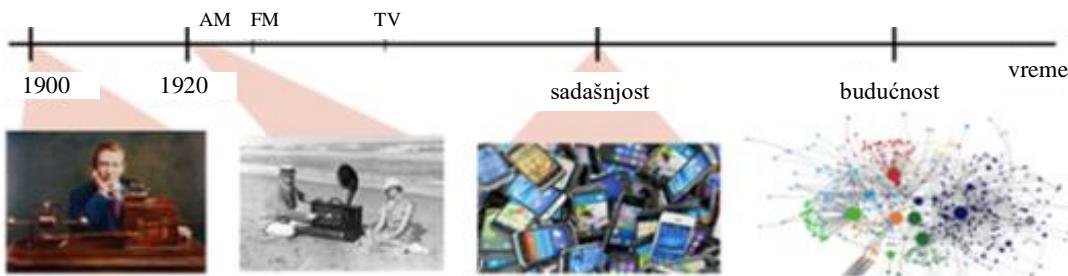
I kod ugradnih sistema je potrošnja energija od presudne važnosti. S obzirom da razvoj novih tipova baterija i povećanja njihovih kapacitivnosti je veoma spor, proizvođači se uglavnom oslanjaju na razvoj novih tehnologija prenosa podataka, razvoja procesora i minimizacije potrošnje ugradnih sistema. Samo na taj način se može omogućiti efikasniji rad sistema. Proizvođači koji svoje uređaje naprave i 1% efikasnijim uz manju potrošnju će ostajati na tržištu. Oni drugi, koji i uz odlične ideje i razvojne aplikacije ne mogu da se izbore sa velikom potrošnjim energije njihovih uređaja – neće opstati na tržištu IoT sistema. Dakle, energija i cena su dve komponente koje pokreću razvoj ugrađenih sistema. Takođe, pored akcenta na potrošnji energije, potrebno je razmotriti i IoT arhitekturu zasnovanu na ugrađenim sistemima i komunikaciju sa cloud platformama i internetom, gde će se potencijalno signali sa senzora obrađivati i koristiti za donošenje odluka.

4.4.3 Umrežavanje i internet povezivanje uređaja

Poslednji gradivni element IoT sistema čine komponente za prenošenje informacija sa senzora i ugrađenih sistema na internet, i njihovu međusobnu komunikaciju. Prenos informacija čini osnovu modernih sistema interneta stvari, i brzina komunikacije između uređaja u velikoj meri i određuje performanse i odziv sistema. Ova tema je sa istraživačke strane postala popularna od 1900. godine i prvih pokušaja da se radio informacije prenesu sa jedne bazne stanice na drugu (sl. 4.43). Nakon 1920. godine su usledi prvi pokušaji da se radio signal prenese sa jedne radio stanice do mnogobrojnih radio prijemnika korisnika u njihovim domovima. Nakon toga je usledio i prenos televizijskog signala do domova, da bi danas bilo omogućena komunikacija između ljudi pomoću računara, telefona, pametnih satova i mnoštva drugih uređaja. Ono što se očekuje u budućnosti je umrežavanje svih elektronskih uređaja koji imaju sposobnost komunikacije, što bi omogućilo krajnjim



korisnicima njihovo upravljanje na daljinu i praćenje parametara i obaveštenja putem pametnih uređaja.



Sl. 4.43. Istorija bežičnog prenosa podataka

Dakle, IoT mreže budućnosti povezuju neizbrojivu količinu uređaja. Takav koncept će ipak zahtevati veoma brzu komunikaciju i dostizanje potrebe za slanjem malog broja bitova za obavljanje zadataka. Kako bi se ti planovi realizovali potrebno je da kompleksnost celokupnog sistema bude uprošćena što je više moguće. Plan za to je lokalni proračuni na personalnim računarima, i da se rezultati proračuna šalju putem mreže. Na taj način se smanjuje potreba za slanjem podataka, i čini mrežu manje opterećenom uz potrebu za manjom komunikacijom.

4.4.4 Uloga IoT u razvoju pametnih proizvoda

Pametni proizvodi omogućavaju automatski prikupljanje i analiziranje podataka kako bi doneli bolje informisane odluke i optimizovali proizvodnju. Podaci sa senzora i mašina se prenose u oblak pomoću rešenja za povezivanje IoT-a koja su primenjena na nivou fabrike.

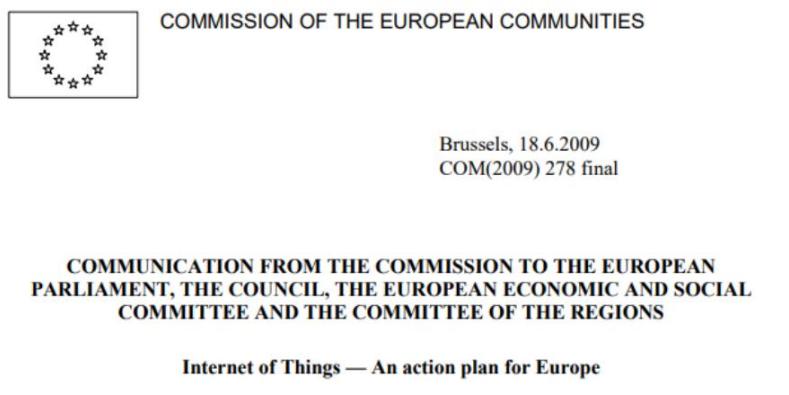
Ovi podaci se analiziraju i kombinuju sa kontekstualnim informacijama, a zatim se dele sa ovlašćenim zainteresovanim stranama. IoT tehnologija, koja koristi i žičanu i bežičnu povezanost, omogućava ovaj tok podataka i pruža mogućnost daljinskog nadzora i upravljanja procesima i brze promene planova proizvodnje, u realnom vremenu kada je to potrebno. To dramatično poboljšava proizvodne rezultate, smanjuje otpad, ubrzava proizvodnju i poboljšava prinos i kvalitet proizvedene robe. Drugim rečima, zamena hijerarhijske strukture (koja je istorijski definisala „prodavnici“) otvorenim, ravnijim, potpuno međusobno povezanim modelom koji povezuje procese istraživanja i razvoja sa upravljanjem lancem snabdevanja ima mnoge prednosti. Oni uključuju optimizaciju globalnih proizvodnih procesa u vezi sa performansama, kvalitetom, troškovima i upravljanjem resursima. Takođe omogućava da sami proizvedeni proizvodi igraju vitalnu ulogu u razvoju i dizajnu proizvodnog procesa. Povezani pametni proizvodi mogu povratiti informacije u fabriku tako da se problemi sa kvalitetom mogu otkriti i popraviti tokom faze proizvodnje prilagođavanjem dizajna proizvoda ili proizvodnih procesa. Takođe je odličan za prikupljanje povratnih informacija od potrošača. Pametni proizvodi takođe mogu pružiti uvid u to kako ih potrošači koriste. To je odlična prilika za prilagođavanje funkcija kako bi se bolje zadovoljile stvarne potrebe tržišta.



Sl. 4.44. Pametni proizvodi i usluge

4.4.5 Evropska praksa IoT tehnologija

Evropska strategija za podatke doprinosi stvaranju jedinstvenog evropskog tržišta za IoT. Ova strategija predlaže politička i zakonska rešenja koja se tiču slobodnog protoka podataka preko nacionalnih granica unutar EU. Takođe pokriva odgovornost u složenim okruženjima kao što je IoT, što je ključno za povećanje pravne sigurnosti oko IoT proizvoda i usluga. Da bi pružila prvo mapiranje izazova odgovornosti koji se javljaju u kontekstu digitalnih tehnologija u nastajanju, uključujući IoT, Evropska Komisija je objavila radni dokument osoblja o odgovornosti za nove digitalne tehnologije (sl. 4.45).



Sl. 4.45. Akcioni plan EU za razvoj IoT tehnologija

Generalno, za period 2021-2027 u okviru programa Horizont Evropa, EU će uložiti oko 95,5 miliona evra u istraživanje, inovacije i primenu novih tehnologija doprinoseći zelenoj i digitalnoj tranziciji Evrope. Kroz fokusnu oblast digitalizacije evropske industrije (DEI), EU daje prioritet izgradnji ekosistema, interoperabilnosti platforme, integraciji tehnologije, standardizaciji i validaciji kroz velike pilote i eksperimentalne objekte. EU projekti se fokusiraju na razvoj IoT-a i ivičnih tehnologija i demonstriranje njihove upotrebe u više sektora, jačanje industrijske saradnje kroz otvorene platforme i standarde i postizanje evropskog liderstva u čitavom ivičnom ekosistemu. Komisija promoviše više inicijativa za podršku digitalizaciji evropske industrije kroz Instrument za povezivanje Evrope i Program Digitalne Evrope, kao što je uvođenje zajedničkih evropskih prostora podataka u vertikalnim sektorima kao što su poljoprivreda, energija i mobilnost.

Iz perspektive primene, IoT i digitalne tehnologije su ključni pokretači digitalne transformacije u različitim sektorima. Budući IoT će revolucionisati način na koji su



proizvodnja i procesi organizovani i nadgledani u strateškim lancima vrednosti, dajući evropskoj industriji zelenu i digitalnu tranziciju koja joj je potrebna.

4.5 Simulacija i digitalni blizanci²⁹

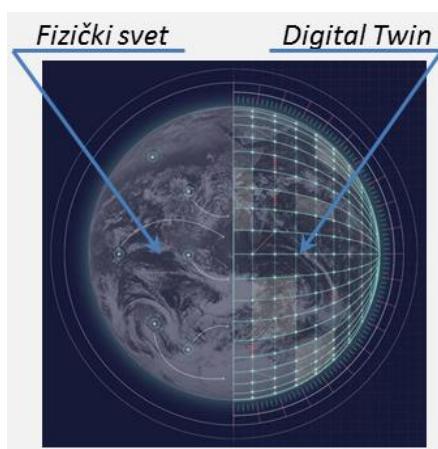
Uместo uvoda u ovo poglavlje govorićemo o velikom i značajnom projektu izgradnje digitalnog blizanca Zemlje pod imenom *Odredište Zemlja*, DestinE (eng. Destination Earth³⁰). Cilj ovog projekta je jedinstveno digitalno modeliranje Zemlje dizajnirano da podigne sposobnost Evrope da simulira promene životne sredine, da predviđa ekstremne događaje ali i da predviđa i prilagođava akcije i politike EU izazovima u vezi sa klimom, uključujući i klimatske promene. U tom smislu, u okviru projektnih aktivnosti biće razvijena veoma tačna replika Zemlje koristeći virtualni model digitalnog blizanca.

Posebno treba istaći da se ovaj projekat nadovezuje na ulaganje EU u računarstvo visokih performansi, na ogromne geoprostorne i socio-ekonomске izvore podataka koji su nam na raspolaganju, ali i na evropsku izvrsnost u oblasti podataka³¹ i veštačke inteligencije³².

Cilj je, dakle, da se razvije veoma precizan digitalni model Zemlje za praćenje i predviđanje promena životne sredine i uticaja ljudi kako bi se podržao održivi razvoj. Da bi postigla ovaj ambiciozni cilj, Evropska Komisija je udružila snage sa evropskom naučnom i industrijskom izvrsnošću kako bi pokazala kako savremene digitalne tehnologije mogu efikasno doprineti održivoj i digitalnoj budućnosti.

Da bi podržao rešavanje složenih ekoloških izazova, DestinE će pomoći kreatorima politike da:

- prate i simuliraju razvoj sistema na Zemlji (kopno, more, atmosfera, biosfera) i ljudske intervencije;
- predviđaju ekološke katastrofe i rezultirajuće društveno-ekonomске krize da bi se spasili životi i izbegli veliki ekonomski padovi;
- omoguće razvoj i testiranje mogućih scenarija za održivi razvoj.



Sl. 4.46. Digitalni model Zemlje

²⁹ Eng. Digital Twins

³⁰ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth>

³¹ A European Strategy for data, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/strategy-data>

³² Artificial Intelligence, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/artificial-intelligence>



Odredište Zemlja će isporučiti početne usluge do 2024. Osnovna platforma za digitalno modeliranje i prva dva digitalna blizanca o ekstremnim prirodnim katastrofama i klimatskoj adaptaciji biće finansirani iz programa *Digitalna Evropa*³³, sa oko 150 miliona evra za prvi period implementacije 2021-2023. Horizon Europe će obezbiti dodatna istraživanja i inovacije za jačanje tehnologija i ciljeva projekta DestineE, kao i za pripremu za nove blizance. Imamo razloga da verujemo da DestinE ima potencijal da postane veliki doprinos misijama Horizon Europe, na primer o klimi i okeanima.

Osnovno pitanje koje se postavlja - da li i kako nam digitalna replika Zemlje može pomoći da razumemo prošlost, sadašnjost i budućnost naše planete? U tom smislu je grupa evropskih naučnika sprovedla opsežna istraživanja na osnovu kojih je iznela ideje o praktičnoj primeni digitalnih blizanaca i potencijalnim oblastima njihove primene u stvarnom svetu. Na osnovu toga je, a imajući u vidu dugoročne planove Evropske komisije³⁴, zaključeno da se može očekivati da će u narednim decenijama porast stanovništva i ljudske aktivnosti pojačati trenutne pritiske na kritične resurse kao što su slatka voda i hrana, da će se pojačati pritisak na kopnene i morske ekosisteme, kao i da će se povećati zagađenje životne sredine i njegov uticaj na zdravlje i biodiverzitet. Zaključeno je, takođe, da će ove pretnje koje posebno obuhvataju porast nivoa mora, povećanje kiselosti okeana i intenzivnije ekstremne događaje kao što su poplave i toplotni talasi morati pažljivije da se prate. Upravo kao odgovor na ove izazove, došlo se na ideju stvaranja digitalnog blizanca Zemlje – kao dinamičke, digitalne replike naše planete koja će moći da tačno imitira Zemljino ponašanje. Hranjen podacima posmatranja Zemlje, a u kombinaciji sa svakodnevnim merenjima i veštačkom inteligencijom, takav digitalni blizanac Zemlje će omogućiti vizuelizaciju i predviđanje prirodnih i ljudskih aktivnosti na našoj planeti.

U septembru 2020. godine, pokrenuto je nekoliko aktivnosti kako bi se istražili neki od glavnih naučnih i tehničkih izazova u izgradnji digitalnog blizanca Zemlje. Ove aktivnosti su uključivale: šume, hidrologiju, Antarktik, sisteme ishrane, okean i klimatske vruće tačke.

Ova inicijativa će pomoći u praćenju, modeliranju i predviđanju prirodnih i ljudskih aktivnosti, kao i u razvoju i testiranju scenarija za održiviji razvoj. Planirano je da visokokvalitetne informacije, digitalne usluge, modeli, scenariji, prognoze i vizuelizacije budu prvo obezbeđeni korisnicima javnog sektora, a zatim postepeno i naučnim zajednicama, privatnom sektoru i široj javnosti.

Dogovoreno je da osnovnom platformom za usluge upravlja *Evropska svemirska agencija*, ESA (the European Space Agency). Ona će obezbiti alate za donošenje odluka, aplikacije i usluge, koje će biti bazirane na otvorenom, fleksibilnom i bezbednom računarskom sistemu zasnovanom na oblaku.

U okviru projekta sprovedena su opsežna naučna, tehnička i operativna istraživanja u vezi sa tzv. *sektorskim modelima digitalnog blizanca Zemlje*. Na osnovu toga je za neke od njih zaključeno sledeće:

- Antarktik kao glavni rezervoar slatke vode u svetu, sa ogromnim potencijalom da doprinese podizanju nivoa mora u budućnosti, zahteva definisanje novog modela, *digitalnog blizanca Antarktika*. Na osnovu satelitskih podataka, numeričkih simulacija i primenom veštačke inteligencije biće izgrađen model digitalnog blizanca antarktičkog ledenog sistema, njegove hidrologije, okolnog okeana, atmosfere i biosfere.

³³ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en

³⁴ Green Deal, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en



- *Hidrološki digitalni blizanac* podrazumeva razvijanje modela za rekonstrukciju dinamičke hidrologije u velikoj rezoluciji kroz integraciju posmatranja Zemlje i naprednog sistema modeliranja. Takav model biće korišćen za upravljanje vodnim resursima, kao i za identifikaciju lokacija i vremena rizika od klizišta i poplava u slivovima reka.
- *Digitalni blizanac uticaja na klimu* omogućiće donosiocima odluka generalizaciju i vizualizaciju u realnom vremenu svih informacija koje mogu biti relevantne za donošenje odluka koje se odnose na uticaje klimatskih promena po različitim regionima. Interesatno je napomenuti da će ovaj digitalni blizanac koristiti rezultate posmatranja Zemlje, modeliranja životne sredine i mašinskog učenja.
- *Digitalni blizanac šumskih resursa* obezbediće podatke i uslove za rekonstrukciju šumskog sistema na nivoima detalja koji nisu mogući sa generičkim modelima površine zemlje. Uparivanje sa podacima satelitskog posmatranja Zemlje omogućiće jedinstveno i ujednačeno mapiranje za sve šume na svetu.
- *Digitalni blizanac okeana* će se fokusirati na primenu potencijala veštačke inteligencije da uči direktno iz podataka ponašanja Zemljinog sistema (na primer, o topotnim talasima u Sredozemnom moru i o dinamici morskog leda kako bi se procenio uticaj Arktika) za predviđanje događaja na okeanima i u okeanima.

Ovi i drugi modeli biće zasnovani na oblaku i koristiće se za izgradnju prototipova na osnovu kojih će se stvarati odgovarajući ekspertske sistemi. Pri tome će biti primenjena dva pristupa:

1. *Pristup vođen podacima.* Podaci upareni sa podacima numeričkih operativnih modela biće korišćeni za vizuelizaciju i analizu ponavljanja dinamičkih sistema okeana i atmosfere.
2. *Pristup vođen modelom.* Numeričke simulacije biće korišćene za procenu velikih razmara i dugoročnih posledica malih razmara.

Impresionira lista aktivnosti koje je EU do sada sprovedla³⁵. Prva radionica za zainteresovane strane o projektu DestinE organizovana je u novembru 2019. godine. Na njoj je najavljeno pokretanje spomenute inicijative ali su i prikupljene povratne informacije od potencijalno zainteresovanih strana. Paralelno sa tim, izrađena je *Studija o analizi slučajeva korišćenja DestinE*³⁶ i sprovedena Anketa o inicijativama digitalnih blizanaca u zemljama EU³⁷.

Tokom 2020. godine organizovane su radionice o korisničkim specifikacijama za prva dva digitalna blizanca (sa posebnim akcentom na ekstremne uslove životne sredine i prilagođavanje klimatskim promenama) i o dizajnu arhitekture sistema DestinE.

30. marta 2022. godine Evropska komisija je organizovala javni onlajn događaj³⁸ za pokretanje inicijative *Odredište Zemlja* zajedno sa entitetima za implementaciju. Organizovane su tri panel sesije:

Sesija 1: Destinacija Zemlja – Pokretanje vizije.

³⁵ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth#ecl-inpage-11d9ij0y>

³⁶ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC124802>

³⁷ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122457>

³⁸ Destination Earth launch event, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/events/destination-earth-launch-event>



Sesija 2: Destinacija Zemlja – Šta je u njoj za korisnike?

Sesija 3: Destinacija Zemlja – Pokretanje inicijative.

Odlučnost u realizaciji ovih aktivnosti vidi se i iz činjenice da je odlučeno da tri poverena subjekta objave tendere za nabavku različitih komponenti koje će biti integrisane u sistem Odredište Zemlja.

Ključne prekretnice u razvoju i realizaciji ovog projekta biće sledeće:

- Do 2024: Razvoj osnovne platforme usluga, jezera podataka i prva dva digitalna blizanca o ekstremnim prirodnim događajima i prilagođavanju klimatskim promenama.
- Do 2027: Unapređenje DestinE sistema i integracija dodatnih digitalnih blizanaca i srodnih usluga.
- Do 2030: Završetak implementacije digitalnog blazanca Zemlje kroz konvergenciju digitalnih blizanaca dostupnih preko platforme.

Pod *Jezerom podataka*³⁹ (eng. Data Lake) podrazumeva se spremište podataka uskladištenih u prirodnom/neobrađenom formatu, obično u formi datoteka. Ono će biti rezultat konsolidacije već postojećih evropskih baza podataka (Copernicus), baza podataka tri entiteta za implementaciju digitalnog blazanca Zemlje (ESA, EUMETSAT⁴⁰ i ECMWF⁴¹) i drugih izvora, poput *Interneta stvari*, IoT (eng. Internet of Things) i društveno-ekonomskih podataka. Takođe integriraće nove podatke koji će poticati od Digitalnih blizanaca, stvarajući koherentan i samostalan DestinE prostor podataka. Omogućiće pristup podacima potrebnim za operacije digitalnih blizanaca i osnovne servisne platforme i hostovaće korisničke podatke koji će se deliti sa zajednicom korisnika DestinE, istovremeno podržavajući obradu podataka koja je bliska kako bi se maksimizirale performanse i skalabilnost usluge. Jezerom podataka će upravljati EUMETSAT.

Ne treba posebno isticati značaj ovog projekta, s obzirom da će pomoći naučnicima da shvate složene interakcije koje će okruženje i ljudi u njemu igrati u oblikovanju budućnosti Zemlje. DestinE će, takođe, predstavljati neprocenjivu podršku zelenoj tranziciji. Zahvaljujući ovom projektu EU će biti na dobrom putu da postigne svoj cilj - da postane ugljenično neutralna do 2050. godine⁴².

U narednim poglavljima detaljno će biti razmatran teorijski aspekt modela digitalnih blizanaca.

4.5.1 Koreni digitalnog blizanca

Interesantno da su digitalni blizanci spomenuti još 1991. godine u knjizi Mirror Worlds⁴³ Dejvida Gelerntera (David Gelernter). Majkl Grivs (Michael Grieves) koji je prvi primenio koncept digitalnog blizanca u proizvodnji u početku je koristio englesko/nemački termin *Doubleganger* (nemački doppelgänger, sablasni dvojnik ili pandan žive osobe).

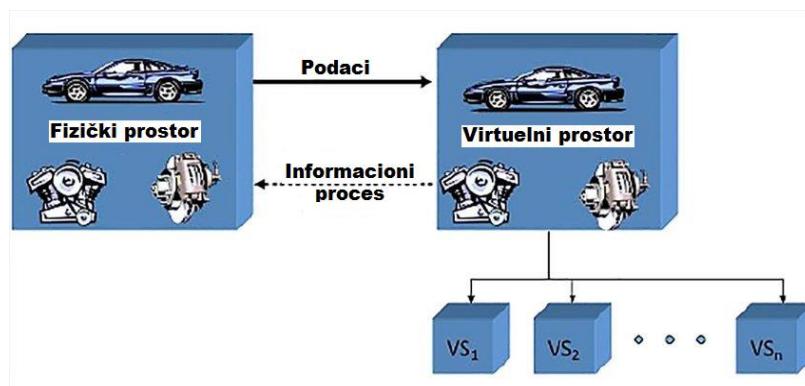
³⁹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth>

⁴⁰ Evropska organizacija za eksploraciju meteoroloških satelita (The European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites)

⁴¹ Evropski centar za srednjoročne vremenske prognoze (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)

⁴² Destination Earth – novi digitalni blizanci Zemlje koji će pomoći u borbi protiv klimatskih promena i zaštiti prirode, <https://www.youtube.com/watch?v=FKVHZIGqEyw>

⁴³ Mirror Worlds: Or: The Day Software Puts the Universe in a Shoebox...How It Will Happen and What It Will Mean by David Gelernter | Nov 14, 1991.



Sl. 4.47. Model upravljanja životnim ciklusom proizvoda (PLM)

Grivs je počeo da razmišlja o ideji digitalnog blizanca kasnih 1990-ih tokom svog doktorskog programa za izvršni menadžment na Univerzitetu Case Vestern Reserve u Klivlendu, Ohajo. Nekoliko godina kasnije, 2002. godine, uveo je koncept kao deo svog istraživanja *upravljanja životnim ciklusom proizvoda*, PLM (Product Lifecycle Management) na Univerzitetu Mičigen, En Arbor. U tom trenutku je već odbacio englesko-nemački deskriptor „Doubleganger“. Model na sl. 4.47 koji je sadržao revolucionarnu ideju pokazao je jednostavnu grafiku sa trezvenim naslovom „*Konceptualni ideal za PLM*“. Interesantno da je ovaj model tada nazvan *Model prostora ogledala* (eng. Mirrored Spaces Model). Kasnije, 2006. godine, korišćen je naziv *Model preslikavanja informacija* (eng. Information Mirroring Model).

Iako se termin menjao iznova i iznova u godinama koje slede, ovaj model (PLM) je već imao u sebi sve što čini digitalnog blizanca – virtuelnu sliku koja sadrži sve informacije fizičkog proizvoda i odražava ih tokom celog životnog ciklusa proizvoda – ideja toliko vizacionarska da se dugi niz godina nije mogla ostvariti. U to vreme, nažalost, još nije bilo moguće implementirati sveobuhvatan digitalni blizanac. Svejedno, Grivs je bio čvrsto uveren da će računari jednog dana biti dovoljno moćni da ožive njegove ideje.

Otkako je razvio digitalnog blizanca, Grieves je jasno video tehnološki napredak koji je njegov koncept učinio stvarnošću. Danas već imamo mogućnost da obradimo ogromne količine podataka. Ne samo da možemo da mapiramo podatke, već i da ih analiziramo i koristimo za simulacije i tako razumemo kako fizički dvojnik-pandan zaista funkcioniše.

Digitalni blizanac smanjuje troškove i povećava efikasnost i, najvažnije, uvek postoji pre fizičkog proizvoda. Kako je Grieves jednom izjavio „*Želeo bih da razvijem proizvod virtuelno, da ga testiram virtuelno, da ga kreiram virtuelno i da ga podržim virtuelno. I samo ako virtuelni proizvod bude uspešan na ove načine, napraviću fizički proizvod i staviti ga u funkciju.*“ Štaviše, ne samo da se proizvodi mogu stalno poboljšavati (kroz fino podešavanje specifikacije proizvoda), već se mogu i kontinuirano prilagođavati zahtevima kupaca. To predstavlja ustvari tzv. *serijsku proizvodnju po meri* i ona je danas moguća.

Digitalni blizanac na radnom mestu se često smatra delom *robotske automatizacije procesa*, RPA (eng. Robotic Process Automation) i, prema analitičarskoj firmi Gartner (američka industrijsko-analitičarska firma), deo je šire kategorije hiperautomatizacije (eng. hyperautomation).

Koncept digitalnog blizanca sastoji se od tri različita dela:

1. fizičkog proizvoda,



2. digitalnog/virtuelnog proizvoda i
3. veze između dva proizvoda.

Veze između fizičkog proizvoda i digitalnog/virtuelnog proizvoda su podaci koji teku od fizičkog proizvoda do digitalnog/virtuelnog proizvoda i informacije koje su dostupne od digitalnog/virtuelnog proizvoda u fizičko okruženje (sl. 4.47).

Kroz komplementarnost koju stvaraju prateće tehnologije, digitalni blizanac je u stanju da primi kontinuirani tok tačnih podataka čak i o najsloženijim elementima. Međusobna povezanost senzora Interneta stvari, IoT, kapaciteta ekstrakcije i obrade ogromnih količina podataka, daju digitalnom blizancu sve detaljnije informacije o mnogim aspektima i mogućim varijablama, što je odlično sredstvo za sticanje znanja od strane IT profesionalaca i naučnika koji koriste te podatke.

Razvoj pametnog digitalnog blizanca je priča koja traje, s obzirom da zajedno sa veštačkom inteligencijom može predvideti šta će se dogoditi u budućoj proizvodnji ali se, isto tako, može koristiti i za ispravljanje grešaka pre nego što se uopšte pojave. Ovo poslednje bi, međutim, zahtevalo više informacija o fizičkoj strani i više aplikacija za implementaciju.

Iako digitalni blizanac još nije uspostavljen na širokom frontu, može se reći da ne postoji industrija koja bar ne govori o konceptu digitalnog blizanca. To nije čudno, s obzirom da postoji širok spektar informacija koje mogu da se prikupe i obrade sa digitalnim blizancem. Oni se mogu koristiti u vrlo specifičnim ali i u vrlo ograničenim scenarijima.

U tom smislu, Grivs smatra da je budućnost bez digitalnog blizanca ne samo malo verovatna već i neodgovorna u oblasti Industrije 4.0. Blizanac će u budućnosti biti blisko povezan sa umreženom proizvodnjom. Bez njega u Industriji 4.0 izgubićemo kontrolu i vidljivost, kako u pogledu efikasnosti tako i u pogledu sigurnosti.

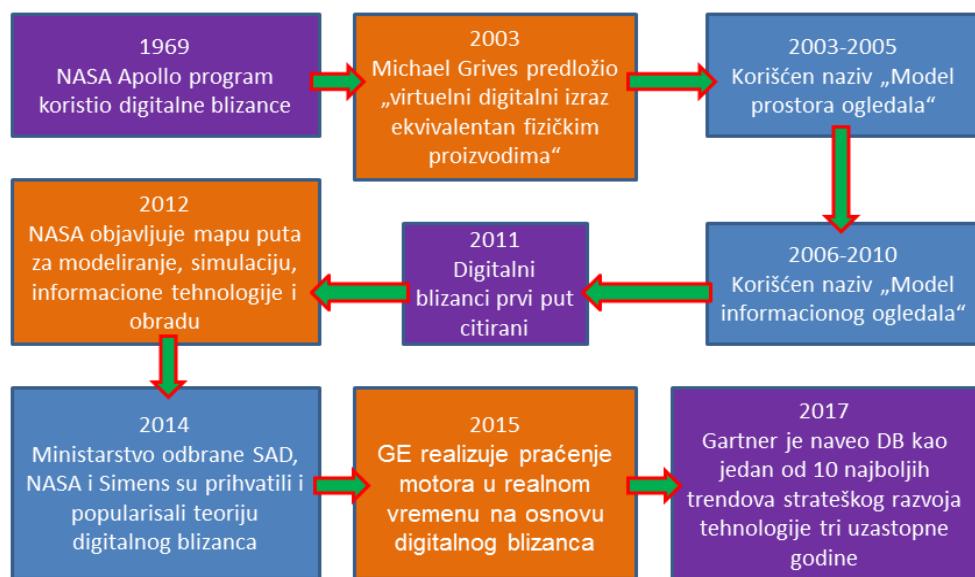
Iako smo prof. Grivsa označili kao tvorca digitalnog blizanca, činjenica je da su oni korišćeni još 1969. godine od strane NASA⁴⁴ (sl. 4.48). Štaviše, NASA ima nešto drugačiju definiciju digitalnog blizanca⁴⁵:

Digitalni blizanac se odnosi na korišćenje podataka, kao što su fizički modeli, status u realnom vremenu i razvojna istorija, a koristi se za reprodukciju, mapiranje i sinhronizaciju oblika, atributa, ponašanja i pravila iz fizičkog sveta u virtuelnom svetu kroz simulaciju. Simulacija se zasniva na utvrđenom iskustvu i znanju, tako da odražava ceo proces životnog ciklusa fizičkog sveta.

Iako je Majkl Grivs bio pionir, NASA je prijavila prvi praktični primer digitalnog blizanca nakon pokušaja 2010. godine da izvrši simulaciono testiranje na svojim vozilima svemirskih letelica. Prvi primer digitalnog blizanca predstavila je NASA u modelima svemirskih kapsula koje su trebale da simuliraju moguće scenarije u orbiti, a njegov značaj i primenljivost dokazana je na praktičan način nakon neuspela u misiji Apolo 13 u kojoj su korišćenjem potpuno digitalnog modela, timovi NASA-e uspeli da identifikuju postojeće nedostatke i daljinski ih isprave.

⁴⁴ The National Aeronautics and Space Administration

⁴⁵ <https://www.huawei.com/en/technology-insights/publications/huawei-tech/91/physical-intelligent-digital-twins>



Sl. 4.48. Faze razvoja digitalnog blizanca [4.27]

Prema firmi Gartner procenjeno je da je do 2020. godine bilo povezano više od 20 milijardi senzora i terminala, a da je digitalni blizanac povezivao milijarde fizičkih uređaja. Ovaj trend se nastavlja tako da se smatra da će u ovoj tehnologiji iz godine u godinu biti korišćeno sve više senzora i terminalne opreme.

4.5.2 Suštinski koncept digitalnog blizanca

Prikupljanje podataka, modeliranje podataka i primena podataka su tri glavna aspekta digitalnih blizanaca. Prikupljanje podataka se odnosi na potpunu upotrebu satelitske daljinske detekcije i aerofotogrametrije (snimanje kamerom koja je postavljena na letilici). Razlika u odnosu na običnu fotografiju je da postoji kalibracija kamere (tzv. unutrašnja orijentacija) i poznat je položaj snimljenih (orientacionih) tačaka pomoću GPS⁴⁶ za dobijanje trodimenzionalnih podataka iz kompletne scene fizičkog prostora.

Od posebnog značaja je funkcija senzora koji služe da se dobiju različite vrste podataka o stvarnom svetu. Tehnička poteškoća i ključ prikupljanja podataka je visoka preciznost i efikasnost prikupljanja podataka, što određuje kvalitet, efikasnost i cenu prikupljanja podataka. Nakon dobijanja velike količine originalnih podataka o fizičkom svetu, potrebno je sprovesti modeliranje podataka korišćenjem alata za automatsko modeliranje da bi se generisao trodimenzionalni model stvarnog modela fizičkog sveta. Pored visoko precizne virtuelne rekonstrukcije okruženja, digitalni blizanci su efikasni i u podršci različitim operativnim procesima. Po pravilu, modeliranje podataka se može podeliti na dva dela: *vizuelno 3D modeliranje i semantičko modeliranje*; prvo predstavlja 3D reprodukciju fizičkog sveta, dok drugo uključuje „strukturiranje“ prikupljenih podataka i identifikaciju objekata kao što su, na primer, vozila, putevi, ljudi i unutrašnji objekti.

Najvažnija inspiracija za digitalne blizance potiče od potrebe za povratnom spregom između stvarnih fizičkih sistema i modela digitalnog sajber prostora, odnosno modela virtualnog prostora. Ljudi pokušavaju da ono što se dešava u materijalnom svetu verno prenesu u digitalni prostor. Samo na taj način digitalna konzistentnost sa materijalnim svetom može biti zaista osigurana tokom životnog ciklusa. Takav zadatak mogu osigurati različite

⁴⁶ engl. Global Positioning System



simulacije, analize, akumulacija podataka, rudarenje, pa čak i aplikacije veštačke inteligencije zasnovane na digitalnim modelima. Pri tome se za primenu digitalnog blizanca inteligentni proizvodni sistem mora posmatrati, modelovati, proceniti i obrazložiti.

Aplikacije veštačke inteligencije zasnovane na mašinskom učenju se obično smatraju tehnologijom koja obećava u proizvodnoj industriji. Jedini problem je što metod mašinskog učenja zahteva ogroman broj visokokvalitetnih skupova podataka za obuku. Srećna je okolnost da su najnovija dostignuća u računarskim naukama, veštačkoj inteligenciji, kibernetici velikih podataka, obradi podataka i alatima za upravljanje približili izglede za uspešnu primenu digitalnih blizanaca.

Digitalne blizance karakteriše značajan trend porasta u širokom spektru aplikacija. Oni su takođe poznati i kao računarski džinovski modeli, senke uređaja, sistemi za preslikavanje, sinhronizovani virtuelni prototipovi itd. Mora se priznati da kao takvi, digitalni blizanci igraju transformacionu ulogu ne samo u tome kako gradimo i upravljamo sajber-fizičkim intelligentnim sistemima, već i u tome kako promovišemo modularizaciju multidisciplinarnih sistema da bismo rešili osnovne prepreke.

4.5.3 Razumevanje tehnologije digitalnih blizanaca

Digitalni blizanac je skup virtuelnih informacionih konstrukcija koje u potpunosti opisuju potencijalni ili stvarni fizički proizvod od mikro-atomskog do makro geometrijskog nivoa. U optimalnom slučaju, sve informacije koje se mogu dobiti pregledom fizički proizvedenog proizvoda mogu se dobiti od njegovog digitalnog bliznaka.

Glavna karakteristika tehnologije digitalnog blizanca je vezana za njegovu povezanost. Postoje 3 sfere koje primaju neprekidne tokove podataka između sebe i međusobno deluju. To su

- fizički deo,
- digitalni deo i
- fizički/digitalni spoj.

Kasnije je koncept digitalnog blizanca podeljen na 3 tipa [4.28]:

- *Prototip digitalnog blizanaca*, DTP (eng. Digital Twin Prototype) se odnosi na fazu dizajna, imajući u vidu analizu i procese za razmišljanje, modeliranje i razumevanje najboljih oblika proizvoda. DTP može postojati bez nužnog fizičkog proizvoda. Ovaj tip digitalnog blizanca opisuje prototip fizičkog sredstva. Sadrži informativne skupove neophodne za opisivanje i proizvodnju fizičke verzije koja duplira ili zbližava virtuelnu verziju.
- *Instanca digitalnog blizanca*, DTI (eng. Digital Twin Instance) je digitalni blizanac koji agregira informacije iz svake pojedinačne instance proizvoda koji je već proizведен. Ovaj tip digitalnog blizanca opisuje određeni fizički proizvod sa kojim pojedinačni digitalni blizanac ostaje povezan tokom životnog veka tog fizičkog proizvoda.
- *Agregat digitalnog blizanca*, DTA (eng. Digital Twin Aggregate) je rezultat skupa DTI-a koje se koriste u svrhu učenja i predviđanja uslova na fizičkim objektima. Ovaj tip digitalnog blizanca je agregacija svih DTI. Za razliku od DTI, DTA nije uvek nezavisna struktura podataka.

Kada su fizički prototipovi bili jedino sredstvo testiranja, destruktivni test je značio kraj tog skupog prototipa i potencijalno njegovog okruženja. Danas, kao što je prikazano na sl. 4.47., s obzirom na mogućnost da ima više virtualnih prostora, označenih blokovima VS1...VSn, sistem se može jeftino podvrgnuti višestrukim destruktivnim testovima. Tako, na primer, fizička raketka koja eksplodira na lansirnoj rampi uništava raketu i lansirnu rampu, čija je cena ogromna. S druge strane, virtualna raketka samo virtualno diže u vazduh raketu, odnosno virtualnu lansirnu rampu, ali se može ponovo kreirati u novom virtualnom prostoru uz skoro nultu cenu.

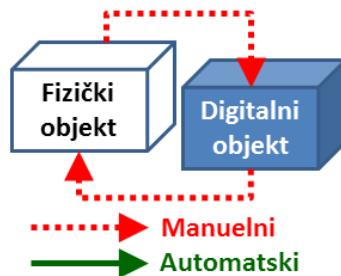
4.5.4 Nivoi integracije digitalnog blizanca

Na osnovu stepena razmene informacija i podataka između realnih i digitalnih delova postoje nivoi integracije i povezanost između različitih tipova digitalnih blizanaca:

1. *Digitalni model*: Ne automatizuje razmenu podataka sa fizičkog na digitalni model. Sva razmena podataka se vrši ručno, štaviše, nikakva promena stanja fizičkog ili digitalnog modela nema direktnе posledice na oba od njih.
2. *Digitalna senka*: Za razliku od digitalnog modela, digitalna senka ima automatski tok podataka od fizičke do digitalne senke. Zbog toga promena u fizičkom objektu može da ometi digitalni deo.
3. *Digitalni blizanac*: Postoji tok podataka između fizičkog sredstva i digitalnog dela i obrnuto. Kao i kod digitalne senke, fizički deo može da kontroliše digitalni deo, ali ovde i promene u digitalnom delu mogu da ometaju fizički deo. Ovaj potpuno integriran konstantni protokol u oba smera je upravo ono što čini digitalnog blizanca.

Vredi pogledati poreklo i razliku između digitalnih modela, digitalnih senki i digitalnih blizanaca, s obzirom da se na taj način može, između ostalog, otkriti kako je proces inkrementalnog stvaranja digitalnih blizanaca olakšan softverom za 3D dizajn i platformama za digitalne blizance.

Digitalni modeli stvarnih objekata počeli su da se pojavljuju sa napretkom u IT virtuelizaciji. Zbog rasprostranjenosti CAD programa, 3D modeli su postali sastavni deo savremenog procesa projektovanja i razvoja. CAD se tradicionalno koristi za kreiranje digitalnog modela za predstavljanje konceptne ideje, detaljnog dizajna objekta u digitalnom okruženju, ali i za izradu proizvodne i upotreбne dokumentacije. To je način procene opcija dizajna i razmatranja različitih mogućnosti, bez potrebe da se to radi sa fizičkim objektima. Naime, oprema, objekti i sistemi se mogu modelovati, a 3D rasporedom se može proveriti spremnost njihove montaže i faze izgradnje uz procenu troškova pre početka rada u radionicama, odnosno na gradilištima. Šta više, kada se kombinuju sa matematički simuliranim okruženjima moguće su procene specifikacija i opcija dizajna novog proizvoda. Pri tome se ne zahteva fizički prototip.



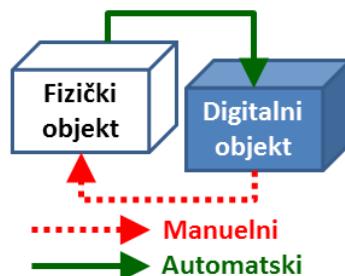
Sl. 4.49. Digitalni model



Kao što je prikazano na sl. 4.49, u ovom procesu informacije manuelnim putem (isprekidana linija na slici) teku samo u jednom pravcu: od fizičkog objekta do digitalnog objekta i od digitalnog objekta do fizičkog objekta. Ovaj pristup je evoluirao i rezultirao idejom digitalnog modela: kada su parametri modela i realnog objekta usaglašeni tako da manipulacije parametrima virtuelnog objekta daju isti rezultat kao da su napravljene sa stvarnim objektom, tada je proces kreiranja digitalnog modela završen. Pošto nije bilo direktnе veze između digitalnog i fizičkog objekta, validacija digitalnog modela tokom usaglašavanja zahtevala je bezbroj ručnih operacija: merenje parametara, prenos podataka i sinhronizaciju parametara.

Tipičan primer za to je dizajn aviona: dizajnirate digitalni model aviona, napravite njegov fizički prototip, testirate ga pa zatim ažurirate digitalni model. Taj proces se ponavlja sve dok ne dobijete željeni rezultat, odnosno potpuno slaganje fizičkog i digitalnog modela aviona.

Uz rastuću dostupnost i pristupačnost različitih tipova senzora, rešenja koja su nekada imala ograničenu upotrebu sada se pojavljuju u brojnim objektima svakodnevnog života. Ti senzori su u mogućnosti da automatski priupe i prijave različite podatke povezane digitalnom modelu. Model bi se zauzvrat mogao programirati da reaguje na primljene podatke i prilagođava parametre u skladu sa promenama u stvarnom objektu. Ovaj proces, koji se naziva *digitalna senka*, predstavlja jednosmerni automatski tok podataka od stvarnog objekta do digitalnog modela (ali ne i obrnuto!). To nam omogućuje da priupimo podatke i da u simulacionom okruženju predvidimo buduće ponašanje povezanog objekta iz fizičkog sveta. Tačnost prognoze zavisi od kvaliteta modela i količine prikupljenih podataka. Digitalna instanca ne može da komunicira u realnom vremenu sa stvarnim objektom zbog tehnoloških ograničenja (isprekidana linija).

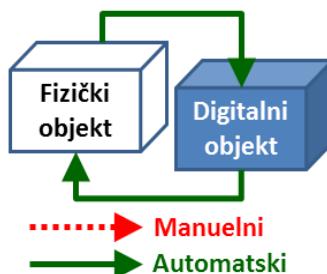


Sl. 4.50. Digitalna senka

I tako logičkom evolucijom modela dolazimo do *modela digitalnog blizanca* (sl. 4.51). Može se slobodno reći da digitalni blizanci počinju sa digitalnim modelom ili digitalnom senkom “kako bi ga uhvatili ili pokrenuli”. Jednostavan scenario je kada se digitalni model postepeno kreira od osnovne faze projektovanja, pa se dalje razvija u detaljnem dizajnu i koristi za pružanje potrebnih informacija i simulaciju promena u procesu izgradnje. Kada se projekat izgradi i završi, digitalni model bi mogao biti odbačen ili bi se mogao dalje koristiti za upravljanje sredstvom kao digitalni blizanac.

Digitalni blizanac naglašava dvosmerni pristup. Tok informacija ide ne samo iz digitalnih sredstava u fizički svet, već se i vraća nazad (označeno na slici punim strelicama!). Jasno je da se informacije iz faza izgradnje i upravljanja fizičkim sredstvima spajaju sa digitalnim modelom. Ovo je najsloženija i najizazovnija situacija i zahteva jasnu definiciju potreba i uloga zainteresovanih strana.

Kao što se vidi sa slike nova paradigma - digitalni blizanac ima potpuno automatizovan protok podataka između digitalnih i fizičkih objekata. Ovaj pristup znači da promene stanja fizičkog objekta dovode do promena u digitalnom objektu i obrnuto.



Sl. 4.51. Digitalni blizanac

Tipičan primer su Tesla automobili, koji su opremljeni brojnim senzorima i kompjuterom na fizičkoj strani koji se povezuje sa pozadinom oblaka koji stalno prati stanje motora, baterija, ažurira firmver i ako je potrebno može da kontroliše automatizovane funkcije automobila (kao što je usporavanje, ubrzanje i upravljanje).

Treba napomenuti da je česta pojava u industrijskom sektoru da se pogrešno izjednačavaju digitalna senka i digitalni blizanac. Zaista, oba koriste podatke fizičkih objekata za izgradnju digitalnih reprezentacija i oba mogu kreirati reprezentacije objekata i procesa. Nažalost, tu se sličnost među njima završava.

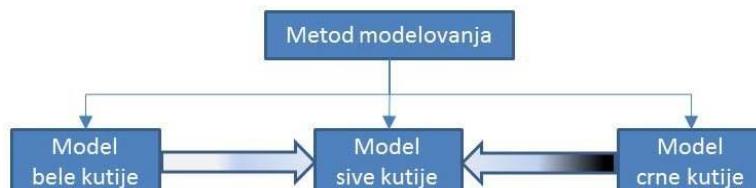
4.5.5 Klasifikacija na bazi modelovanja

Prilikom kreiranja digitalnog blizanca, potrebno je razviti odgovarajući matematički model koji se može koristiti za simulaciju ponašanja i performansi fizičkog sistema. Ovi matematički modeli mogu se svrstati u tri kategorije kao što je to prikazano na sl. 4.52 [4.29]:

1. *model bele kutije,*
2. *model crne kutije i*
3. *model sive kutije.*

Razlika između ovih kategorija se uglavnom može razumeti na osnovu njihovog oslanjanja na podatke. U tom smislu:

- modeli bele kutije se uopšte ne oslanjaju na podatke,
- modeli crne kutije se oslanjaju samo na podatke, a
- modeli sive kutije su negde između prva dva modela.



Sl. 4.52. Kategorije matematičkih modela

Razmotrićemo detaljnije svaki od spomenutih modela.

Modeli bele kutije su zasnovani na osnovnoj fizici sredstva. Oni su obično izvedeni iz dostupnog naučnog ili inženjerskog materijala. Tako se, na primer, formule za procenu



hidrodinamičkog otpora broda mogu koristiti za procenu stvarnog otpora na koji se nailazi kada je brod izgrađen. Ovi modeli imaju prednost u tome što su u mogućnosti da rade sa vrlo malo ili bez ikakvih podataka, obezbeđujući robustan model koji može biti spreman pre nego što se prikupe bilo kakvi podaci – ili čak i pre nego što je sredstvo izgrađeno.

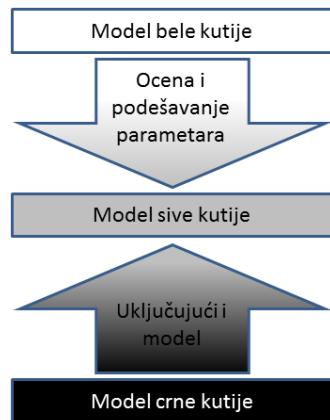
Prednost modela bele kutije je njihova tačnost (dobro predviđanje izlaza) kada su svi ulazi dobro određeni. Nažalost, gotovo je nemoguće u stvarnom životu dovoljno precizno odrediti sve potrebne unose.

Modeli crne kutije koriste pristup u kome nije potrebno prethodno poznavanje fizike ili unutrašnjeg funkcionisanja sredstva; umesto toga, podaci prikupljeni od sredstva se koriste za izgradnju modela. Metode veštačke inteligencije kao što su neuronske mreže i duboko učenje su primeri modela crne kutije. Ako su podaci dovoljno visokog kvaliteta, model uči da veoma precizno modelira podatke. Nažalost, veoma retko su dostupni adekvatni podaci za generisanje pouzdanog modela crne kutije. Štaviše, model često daje pogrešna predviđanja, posebno ako najde na nepoznate uslove rada.

Glavna prednost modela crne kutije je u tome što su isključivo zasnovani na podacima i ne zahtevaju nikakav model. Oni nude moćan način da se klasifikuju velike grupe podataka i da se analiziraju korelacije i obrasci. Oni su takođe prilično uspešni u predviđanju obrazaca korišćenja energije.

Modeli sive kutije kombinuju najbolje aspekte prethodna dva pristupa. Oni koriste fiziku za izgradnju modela zasnovanog na čvrstom prethodnom znanju o predmetu/objektu, a zatim omogućavaju podacima da fino podešavaju model tokom vremena kako bi još preciznije okarakterisali konkretno sredstvo koje se razmatra. Neke napredne metodologije za modeliranja sivih kutija koriste Bajesove statističke modele koji uče da se više oslanjaju na podatke kada su dobri podaci dostupni, a vraćaju se na pristup zasnovan na fizici kada su podaci nepouzdani. Ovo obezbeđuje dobru kombinaciju robusnosti i tačnosti.

Nedostaci modela crne i bele kutije se prevazilaze korišćenjem modela sivih kutija koji predstavljaju kombinaciju modela crne kutije i bele kutije. Međutim, ova definicija je dvostrukog značenja u razlikovanju kada modeli bele kutije i crne kutije postaju sivi. Slika 4.53 pokazuje kako doći do modela sive kutije iz modela crne, odnosno bele kutije.



Sl. 4.53. Model sive kutije kao srednje rešenje

Model bele kutije postaje model sive kutije kada se simulacioni model bele kutije kalibriše pomoću praćenih podataka u realnom vremenu da bi se dobili rezultati bliski stvarnim performansama fizičkog sredstva. Ovi modeli kalibracije su posebno korisni za generisanje



probabilističkih predviđanja performansi naknadnog opremanja kako bi se podržalo donošenje odluka. Proces kalibracije je zasnovan na praćenim ulaznim i izlaznim podacima koji se unose u model radi procene parametara koji su inače nepoznati.

Model crne kutije postaje model sive kutije kada su modeli crne kutije vođeni podacima podržanim eksplizitnim modelima (jednačinama) sa fizičkim značenjem ili genetskim algoritmima ili regresionim modelima u kojima se variable biraju na osnovu prethodnog znanja.

U kreiranju ovih modela potrebni su programeri sa sofisticiranim kompetencijama iz matematike na postdiplomskom nivou. Pored toga, matematičari takođe moraju da sarađuju sa stručnjacima iz oblasti kako bi ugradili osnovnu fiziku sredstava.

4.5.6 Sastavni elementi digitalnog blizanca

Digitalni blizanac predstavlja ustvari spoj fizičkog i digitalnog ili virtuelnog dela. Njegovo funkcionisanje zavisi od pet komponenti – senzori i aktuatori iz fizičkog sveta, integracija, podaci i analitika, kao i od kontinuiranog ažuriranja aplikacija digitalnog blizanca. Koje su uloge pomenutih komponenti [4.30]:

- *Senzori* - Raspoređeni kroz proizvodni proces stvaraju signale koji omogućavaju blizancu da uhvati operativne podatke, kao i podatke o životnoj sredini koji se odnose na fizički proces u stvarnom svetu.
- *Podaci* - Operativni i ekološki podaci iz stvarnog sveta sa senzora su agregirani i kombinovani sa podacima iz preduzeća, iz sistema preduzeća i specifikacije dizajna. Podaci mogu da sadrže i druge stavke kao što su inženjerski crteži, veze sa eksternim izvorima podataka i evidencije žalbi korisnika.
- *Integracija* - Senzori prenose podatke u digitalni svet putem tehnologije integracije (koja uključuje komunikacione interfejse i bezbednost) između fizičkog sveta i digitalnog sveta, i obrnuto.
- *Analitika* - Tehnike analitike se koriste za analizu podataka putem algoritamskih simulacija i rutina vizuelizacije koje digitalni blizanac koristi za stvaranje uvida.
- *Digitalni blizanac* - „Digitalna“ strana slike je sam digitalni blizanac - aplikacija koja kombinuje gore navedene komponente u digitalni model fizičkog sveta i procesa skoro u realnom vremenu. Cilj digitalnog blizanca je da identificuje neprihvatljiva odstupanja od optimalnih uslova duž bilo koje od različitih dimenzija. Takvo odstupanje je slučaj za optimizaciju rada blizanca - ili blizanac ima grešku u logici ili je identifikovana prilika za uštedu troškova, poboljšanje kvaliteta ili postizanje veće efikasnosti. Često ova situacija može rezultirati akcijom nazad u fizički svet.
- *Aktuatori* - Ukoliko je akcija opravdana u stvarnom svetu, digitalni blizanac proizvodi akciju putem aktuatora, koji su podložni ljudskoj intervenciji, a koji pokreću fizički proces.

Jasno je da su svet fizičkog procesa (ili objekta) i njegovog analognog digitalnog blizanca znatno složeniji nego što jedan model ili okvir može da prikaže. Naravno da je model samo jedna digitalna konfiguracija blizanaca koja se fokusira na proizvodni deo životnog ciklusa proizvoda. Glavni cilj modela je da pokaže integrисани, holistički i iterativni kvalitet fizičkog i digitalnog uparivanje. Kroz tu prizmu se može započeti stvarni proces koji služi za stvaranje digitalnog blizanca.



4.5.7 Modeli podataka digitalnog blizanca

U kontekstu proizvodnih sistema, a prema konceptu Industrije 4.0, svaka mehatronička komponenta ili sistem (npr. aktuatori/senzori kao i cela postrojenja) može se predstaviti kao sredstvo. Digitalni blizanac sistema se sastoji od podataka i informacija o svakom sredstvu u stvarnom svetu, kao i različitih modela i podataka. Pored toga, digitalni blizanac obezbeđuje i interfejs za te modele i dosledno ih održava. Na ovaj način, digitalni blizanac evoluira zajedno sa stvarnim sistemom tokom celog životnog ciklusa i integriše trenutno dostupno znanje o njemu.

Po definiciji, modeli podataka digitalnog blizanca mogu se kategorisati u dva glavna modela podataka (kao na sl. 4.54) [4.31]:

- *Inženjerski modeli*
- *Modeli vođeni podacima.*

Inženjerski proces uključuje intelektualni rad potreban za idejni dizajn, fizičku instalaciju i puštanje u rad i predstavlja izazov između mehanike, elektronike i softvera.

Shodno tome, inženjerski modeli predstavljaju modele podataka koje su konstruisali različiti inženjeri specifičnih domena sa različitim alatima tokom procesa inženjeringu do puštanja u rad. Oni predstavljaju sredstvo.



Sl. 4.54. Modeli podataka

Takvi su, na primer, MCAD/ECAD modeli, softverski modeli, simulacioni modeli itd.

Softver za mašinsko projektovanje pomoći računara, MCAD (eng. Mechanical Computer Aided Design) se koristi za kreiranje i modifikovanje 2D i 3D geometrije, a u cilju projektovanja, procene i dokumentovanja mehaničkih komponenti, sklopova i proizvoda. Ove komponente uključuju kalupe i druge alate.

Softver za elektronsko projektovanje pomoći računara, ECAD (eng. Electrical Computer Aided Design) se koristi za kreiranje i modifikovanje dijagrama i rasporeda (uključujući i 2D i 3D), u cilju projektovanja, procene i dokumentovanja elektronskih štampanih ploča.

Modeli vođeni podacima su modeli izvedeni iz podataka procesa (npr. podataka senzora/aktuatora sa terena) koji predstavljaju trenutno stanje sistema i podataka koji pripadaju sistemu (npr. serijski broj, datumi proizvodnje itd.).

Konzistentnost povezanih podataka u inženjerskim modelima sredstava u različitim specifičnim domenima tokom različitih faza životnog ciklusa je veoma važna. Treba imati u



vidu da se proizvodni sistem u stvarnom svetu menja tokom svog životnog ciklusa. Ovde je glavni izazov kako se promene u stvarnom svetu mogu detektovati i sinhronizovati tako da model podataka digitalnog blizanca ostane dosledan.

Poznato je da su hijerarhijske strukture podataka specifičnih domena u inženjeriskim modelima semantički (odnosno po značenju) različite. Štaviše, komponenta ili odnosi između komponenti u jednom domenu (npr. domenu mehanike) mogu biti predstavljeni sa nekoliko komponenti i odnosa u drugom domenu (npr. domen softvera). Dakle, da bi se sinhronizovali inženjerski modeli mehatroničke komponente, prvo se moraju identifikovati različiti specifični inženjerski modeli komponente, a onda i odnosi i zavisnosti između specifičnih domena.

4.5.8 Kako funkcioniše tehnologija digitalnog blizanca

Tehnologija digitalnih blizanaca funkcioniše tako što integriše veštačku inteligenciju, internet stvari (IoT) i softversku analitiku sa fizičkim sredstvima ili procesima.

- Digitalni model blizanca proizvodnog procesa je verovatno najbolji primer kako digitalna tehnologija funkcioniše. U ovom slučaju, digitalni blizanac pruža virtuelni prikaz onoga što se dešava u realnom vremenu.
- Fizički proizvodi, uređaji, procesi ili oprema imaju ugrađene senzorije za prikupljanje podataka. Za slanje ovih podataka u digitalni svet koristi se sistem zasnovan na oblaku.
- Za analizu prikupljenih podataka koriste se algoritmi mašinskog učenja na osnovu kojih je digitalni blizanac u stanju da izvrši predviđanja scenarija na osnovu identifikovanih obrazaca i proračuna koje izvodi algoritam. Upotreba tehnika veštačke inteligencije uskladenih sa digitalnim blizancima je izuzetno važna za ovu tehnologiju u procesu generisanja znanja visoke vrednosti kroz ekstrakciju i obradu podataka.
- Štaviše, ova analiza generiše korisne informacije koje stvaraju digitalnu kopiju fizičkog sveta koga čine fizička sredstva, proizvodi ili procesi.
- Kontinuirana analiza podataka u realnom vremenu osigurava da digitalni blizanac bude u toku sa trenutnim stanjem fizičkog sveta.
- Na taj način digitalni blizanac generiše uvide kako bi označio oblasti kojima je potrebna promena u fizičkom procesu ili proizvodu.

4.5.9 Uloga softvera za digitalnog blizanca

Ako digitalni blizanac upravlja tzv. "plimom i osekom" podataka, ko upravlja digitalnim blizancem? Taj zadatak pada na menadžere objekata i druge profesionalce fokusirane na objekte. Da bi se uhvatile u koštac sa digitalnim blizancima i njihovim eksponencijalnim mogućnostima, kompanije moraju da investiraju u visokokvalitetni softver za digitalne blizance i obuku koja omogućava njegovo korišćenje.

Softver za digitalnog bliznaka olakšava pristup i integraciju sistema sa blizancem. Na strani prikupljanja podataka on uspostavlja protokol za prihvatanje IoT senzorskih podataka i kontekstualizuje ih. Na strani pristupa podacima on čini podatke slobodno dostupnim za protok u povezane aplikacije, programe i procese. U sredini, kada je reč o samim odvojenim podacima, softver za digitalnog blizanca treba da obezbedi osoblju za modeliranje informacija tzv. opšte informacije bez detalja o objektima i sve što se u njima dešava – ako je moguće u realnom vremenu.



Nedvosmislena uloga softvera digitalnog blizanca je da premosti jaz između forme i funkcije, namere i izvršenja. Softver prikuplja podatke sa radnog mesta i čini ih dostupnim za donošenje odluka zasnovanih na podacima u čitavom spektru upravljanja objektima.

Kako je IoT sve veći i složeniji za preduzeća, tako digitalni blizanci postaju još važniji. Oni su spremište za odvojene podatke. Oni su okosnica sistema upravljanja radnim mestom. Bez digitalnih blizanaca IoT bi uključivao mnogo više umrežavanja između tačaka porekla podataka i tačaka korišćenja podataka.

Upravljanje radnim mestom i zgradama je jedan od najbrže rastućih segmenata softvera za digitalnog blizanca. Kompanije su otkrile prednosti digitalnog predstavljanja radnog mesta i nastavljaju da shvataju mogućnosti koje digitalni blizanci nude. Uz to, postoji strma kriva učenja kada je u pitanju modeliranje informacija, a ista stvar je i sa softverom za digitalne blizance.

Da bi preduzeća na najbolji način iskoristila svoja ulaganja u digitalne blizance, potrebno im je čvrsto razumevanje softvera: kako da ga koristite ali i kako da ga integrišu u sve, od procesa do drugih aplikacija. Softver za digitalnog blizanca je most između podataka sa mnogih povezanih IoT uređaja i softvera, odnosno procesa koji ih koriste. Pri tome, softver koji se koristi za upravljanje kontekstualizuje sve ove podatke u uvide specifične za objekat.

Softver za digitalne blizance je dizajniran da omogući pametno delovanje i nadzor kroz aktivnosti:

- *Optimizacija*: koji proces ili sistem se mogu poboljšati da bi se pojednostavilo radno mesto?
- *Poboljšanje*: koja pozitivna promena se može učiniti u nečemu što je nedovoljno?
- *Održavanje*: koje vrste aktivnosti su potrebne za održavanje efikasnih objekata?
- *Inovacije*: koje nove mogućnosti se mogu istražiti da bi se poboljšalo radno mesto?
- *Proširenje*: kako se mogu povećati i proširiti postojeći objekti i njihove mogućnosti?

Svaki zadatak optimizacije, poboljšanja, održavanja i nadzora nad izgradnjom koji se odvija kroz digitalni blizanac dolazi podržan podacima i uvidima koji ga čine pametnim. Umesto da se oslanjaju na statične podatke, digitalni blizanci omogućavaju donošenje odluka i upravljanje objektima u realnom vremenu kao i sami objekti.

Jasno je da softver za digitalne blizance nije unapred upakovano softversko rešenje, s obzirom da se digitalni blizanci razlikuju u zavisnosti od kompanije, od stepena integracije, ali i od interneta stvari.

Najbolje verzije softvera digitalnog blizanca su one koje odgovaraju složenosti objekata koji se automatizuju. Pri tome, kompanije bez IoT senzora mogu jednostavno koristiti digitalne blizance za upravljanje sredstvima, koristeći ručne podatke. Kompanije sa izuzetno inteligentnim zgradama će, međutim, programirati stotine (ili hiljade) automatizacija sistema kako bi kontrolisale i iskoristile podatke koji slobodno fluktuišu kroz sistem.

4.5.10 Arhitektura digitalnog blizanca

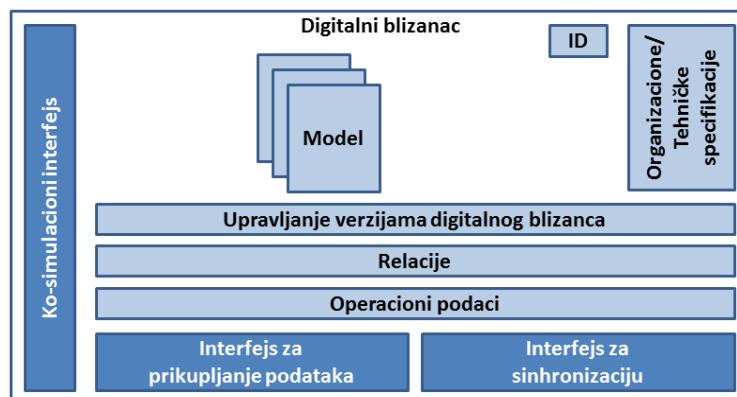
Arhitektura digitalnog blizanca sastoји se od jedinstvenog ID-a u sajber svetu, modela i povezanih interfejsa za alate, upravljanja verzijama modela, operativnih podataka fizičkog sredstva, organizacije i tehničkih podataka sredstva, informacija o njegovim odnosima sa



drugim digitalnim blizancima, interfejsa za komunikaciju sa drugim blizancima, kao i interfejsa za komunikaciju sa stvarnim svetom [4.32].

Razmotrićemo svaki aspekt posebno.

ID svojstvo definiše jedinstveni digitalni blizanac sa jedinstvenim ID-om fizičkog sredstva. Uz pomoć ovog jedinstvenog svojstva, podaci i modeli digitalnog blizanca se čuvaju kao modul u bazi podataka koja sadrži sve podatke i informacije i mogu biti pozvani u bilo kom trenutku tokom inženjeringu ili rekonfiguracije. Ovo očigledno podržava modularnost u kontekstu modularnog sistemskog inženjeringu.



Sl. 4.55. Arhitektura digitalnog blizanca

Modeli i odgovarajući interfejsi za alate. Digitalni blizanac obuhvata interdisciplinarnе modele sredstva, na primer, CAD modele, električne šematske modele, softverske modele, funkcionalne modele, kao i simulacione modele. Svaki od ovih modela je kreiran posebnim alatom tokom procesa inženjeringu digitalnog blizanca. Ovde je važna karakteristika interfejsa između alata i njihovih modela, pri čemu se interfejsi alata koriste da obezbede interakciju između modela. Tako, na primer, modeli se mogu ažurirati ili vraćati tokom celog životnog ciklusa ili simulirati specifično za domen uz pomoć različitih ulaza.

Upravljanje verzijama digitalnog blizanca. Digitalni blizanac fizičkog sredstva ne treba da sadrži samo trenutne modele, već i sve generisane modele tokom celog životnog ciklusa. Ovo podržava efikasan inženjeringu tokom rekonfiguracije i proširivost tokom životnog ciklusa. Ova strukturalna komponenta (blok) pristupa svim sačuvanim verzijama modela i njihovim odnosima. To omogućava da se stara verzija pozove u bilo kom trenutku na zahtev inženjera, uzimajući u obzir okolnosti tokom inženjeringu ili rekonfiguracije, i da se prebaci na trenutnu verziju.

Operacioni podaci (Podaci o radu). Da bi tačno odslikao ponašanje i trenutno stanje sredstva, digitalni blizanac mora da sadrži podatke o trenutnom radu sredstva. To mogu biti podaci senzora koji se kontinuirano strimuju i snimaju, kao i kontrolni podaci koji određuju trenutni status stvarne komponente, takođe snimljeni tokom celog životnog ciklusa. Ovde se mogu čuvati nove narudžbine i drugi poslovni podaci. Ovo se ostvaruje korišćenjem interfejsa za akviziciju podataka, koji je strukturalna komponenta u okviru digitalnih blizanaca. Termin operacioni podaci na sl. 4.55 predstavlja bazu podataka koja čuva i obrađuje ovu vrstu podataka. Algoritmi bi mogli da rade sa ovim podacima i na mreži i van mreže kako bi poboljšali razumevanje sredstva i dodatno usavršili odgovarajuće modele.

Organizacioni / tehnički podaci. Ovi podaci sadrže informacije o fizičkom sredstvu, kao što su kada je proizvedeno, ko ga je proizveo, dizajnirao, razvio, sa kojom opremom je



proizведен, kada i ko ga je naručio itd. Pored toga, sva dokumentacija stvorena tokom životnog ciklusa fizičkog sredstva takođe se čuva. Ovo uključuje dokumente kreirane tokom faze razvoja, kao što su specifikacije zahteva, dizajn izgleda itd., kao i dokumentaciju tokom rada, kao što su izveštaji o održavanju.

Odnosi (sa drugim digitalnim blizancima, eng. Relations). U digitalnom blizancu se čuvaju trenutni interdisciplinarni modeli koji su povezani sa drugim modelima digitalnog blizanaca. Na primer: odnosi instanca-instancia, nasleđe, odnosi roditelj-dete i tako dalje. Da bi ceo sistem ostao dosledan ovi odnosi moraju biti uskladišteni u arhitekturi digitalnog blizanca, inače ceo sistem koji sadrži mnogo digitalnih blizanaca postaje nedosledan.

Ko-simulacioni interfejs. Interfejs za komunikaciju sa drugim digitalnim blizanicima je potreban da bi se dobila više od čiste slike stvarnosti i da bi se omogućila ručna simulacija "šta-ako" za korisnika sistema. Na primer, razmena podataka može omogućiti multidisciplinarnu ko-simulaciju u sajber sloju. Ovo se može koristiti za simulaciju toka procesa celog proizvodnog sistema u stvarnom svetu.

Interfejs za sinhronizaciju modela i relacija. Fizičko sredstvo i njegovi fizički odnosi sa drugim sredstvima (kao što su ožičenje, položaj fizičke fiksacije itd.) mogu se vrlo često menjati tokom njegovog životnog ciklusa. Ovde je interfejs neophodan za sinhronizaciju interdisciplinarnih modela i njihovih odnosa u digitalnom blizancu.

Interfejs za prikupljanje podataka. Preko ove operacije interfejsa, digitalni blizanac može da prenosi i snima podatke. U digitalnom blizancu važno je da simulacija radi dinamički paralelno sa stvarnim svetom, tj. trenutni podaci koje prikupljaju senzori u stvarnom svetu moraju izgraditi stvarno dinamičko ponašanje sredstva u simulacionom okruženju.

Digitalni blizanac, ovako kako je definisan, nema sopstvenu inteligenciju za analizu odnosa između stavki niti za reagovanje na promene okruženja i učenje iz inputa. Viši nivo digitalnog blizanca je *Inteligentni digitalni blizanac* koji ima karakteristike koje povećavaju kvalitet i funkcionalnost digitalnog blizanca.

4.5.11 Opšta šema Inteligentnog digitalnog blizanca

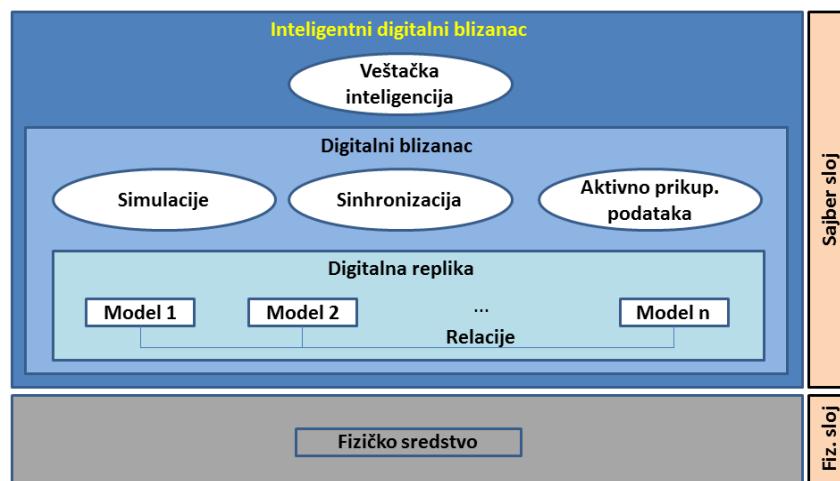
Drugi slučajevi upotrebe digitalnog blizanca mogu biti prediktivno održavanje, optimizacija, fleksibilna proizvodnja, provera konzistentnosti itd. Ovi slučajevi upotrebe pokazuju da digitalni blizanac ima aplikacijske prednosti tokom faze rada, a ne samo tokom procesa inženjeringu. Da bi se ovo omogućilo, potrebno je da digitalni blizanac može biti dostupan tokom celog životnog ciklusa proizvoda ili proizvodnog sistema kroz njegovo zadržavanje u sajber sloju, kao što je prikazano na slici na sl. 4.56.

Ovde se fizičko sredstvo nalazi u fizičkom sloju. Slika prikazuje *digitalnu repliku, digitalnog blizanca i intelligentnog digitalnog blizanca* fizičkog entiteta u sajber-fizičkom proizvodnom sistemu (sajber sloj). Oni su zasnovani na istraživanju literature u vezi sa definicijom i arhitekturom digitalnog blizanca [4.32].

U sajber sloju, svako fizičko sredstvo se sastoji od svojih modela i podataka. Ovi modeli i podaci zajedno čine *digitalnu repliku sredstva*. Ako je ova digitalna replika opremljena sa tri karakteristike: *sinhronizacijom sa fizičkim sredstvom, aktivnim prikupljanjem podataka i mogućnošću simulacije*, definicija digitalne replike se transformiše u definiciju digitalnog blizanca. Tada se *intelligentni digitalni blizanac* sastoji od svih karakteristika digitalnog blizanca ali i *veštačke inteligencije* za realizaciju autonomnog sistema. Intelligentni digitalni blizanac stoga može da implementira algoritme za mašinsko učenje na dostupnim modelima i



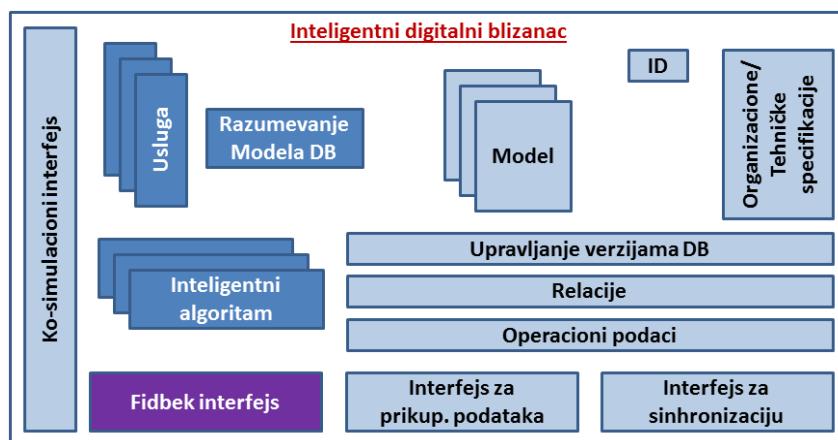
podacima digitalnog blizanca. Sa njima može da optimizuje rad, kao i da kontinuirano testira „šta-ako-scenarije“, utirući put za predviđanje održavanja i sveukupnu fleksibilniju i efikasniju proizvodnju putem priključenih i proizvedenih scenarija. Štaviše, posedovanje inteligentnog sajber sloja proširuje digitalni blizanac sa mogućnostima kao što su samoučenje ili samoizlečenje, olakšavajući njegovo unutrašnje upravljanje podacima, kao i njegovu autonomnu komunikaciju sa drugim digitalnim blizancima.



Sl. 4.56. Opšta šema inteligentnog digitalnog blizanca

4.5.12 Arhitektura inteligentnog digitalnog blizanca

Kao što je već pomenuto, inteligentni digitalni blizanac je u sajber-fizičkom proizvodnom sistemu za jedan nivo viši od digitalnog blizanca. Inteligentni digitalni blizanac, koji koristi stvarni digitalni blizanac celog sistema, omogućava usluge kao što su optimizacija toka procesa, automatsko generisanje kontrolnog koda za novododate mašine u kontekstu uključivanja, kao i proizvodnje i prediktivnog održavanja koristeći uskladištene podatke o radu u digitalnom blizancu tokom celog životnog ciklusa. Da bi se ovo realizovalo, potrebne su dodatne komponente da bi arhitekturu digitalnog blizanca opremili inteligencijom. Kao što je prikazano na sl. 4.57, nove komponente su *razumevanje modela digitalnog blizanca*, *inteligentni algoritmi*, *usluge* i *dodatajni interfejs za komunikaciju sa fizičkim sredstvom*. One se moraju dodati arhitekturi digitalnog blizanca da bi bio inteligentni digitalni blizanac.



Sl. 4.57. Arhitektura inteligentnog digitalnog blizanca



Razumevanje modela digitalnog blizanca. Da bi se digitalni blizanac dinamički sinhronizovao sa fizičkim sredstvom tokom celog životnog ciklusa, potreban je element za razumevanje i upravljanje svim modelima i podacima. Shodno tome, razumevanje modela digitalnog blizanca u arhitekturi ispunjava ovu svrhu tako što čuva informacije o interdisciplinarnim modelima unutar blizanca i njihovim odnosima sa drugim blizancima. Razumevanje modela digitalnog blizanca realizuje standardizovani semantički opis modela, podataka i usluga za jednoobrazno razumevanje unutar i između digitalnih blizanaca.

Algoritmi za inteligentni digitalni blizanac. Inteligentni digitalni blizanac ima dve glavne mogućnosti u vezi sa obradom dobijenih operativnih podataka. Prvo, u stanju je da primeni odgovarajuće algoritme na podatke za sprovođenje analize podataka. Algoritmi izvlače novo znanje iz podataka koji se mogu koristiti za preciziranje modela blizanaca, npr. modeli ponašanja. Dakle, inteligentni digitalni blizanac je sposoban da pruži pomoć radniku u fabrici da optimizuje proizvodnju u različitim pitanjima. Drugo, inteligentni digitalni blizanac je u stanju da postepeno poboljšava svoje ponašanje i karakteristike i tako stalno optimizuje prethodno pomenuto pomoć radniku. Ovo je zasnovano na prvoj mogućnosti i usko povezano sa njom zbog činjenice da su rezultati analize podataka direktno ugrađeni u sistem i posebno u modele. Dakle, inteligentni digitalni blizanac može pružiti pomoć u različitim slučajevima upotrebe kao što su tok procesa, potrošnja energije itd.

Postoje dva slučaja upotrebe *Ko-simulacije* u inteligentnom digitalnom blizancu. Prvo, optimizovana kombinacija i procesni lanac između blizanaca može se realizovati parametrizovanjem postojećih modela u odnosu na druge blizance u okruženju ko-simulacije. Na osnovu rezultata ovog simulacionog okruženja, inteligentni digitalni blizanac može pokrenuti parametrizaciju fizičkih sredstava. Drugi slučaj upotrebe je obrada mogućnosti digitalnog blizanca za optimizaciju pojedinačnih proizvoda. Na primer, da se odrede optimalni sistemski parametri i da se predviđe odgovarajući kvalitet proizvoda (tzv. „prediktivni kvalitet“). Kao posledica toga, broj degradiranih proizvoda može se minimizirati što dovodi do povećanja kvaliteta proizvodnog procesa. Ova dva slučaja upotrebe su primeri scenarija za „šta-ako simulaciju“ u inteligentnim sajber slojevima.

Drugi algoritmi se bave automatizovanim generisanjem koda, na primer kroz pristupe arhitekture orijentisane na usluge za stvarne maštine zasnovane na novim zahtevima. Ovo omogućava da se realizuju pristupi kao što su fleksibilni proizvodni kapaciteti. Drugi algoritmi mogu da pruže uslugu dijagnostike i predviđanja zasnovane na simulaciji kroz analizu podataka i sticanje znanja, sa naglaskom na prediktivnom održavanju.

Primeri inteligentnih algoritama su:

- „algoritam za analizu i predviđanje otkaza proizvoda“,
- „algoritam za optimizaciju i ažuriranje toka procesa“,
- „algoritmi za generisanje novog upravljačkog programa za sistem na osnovu novih zahteva“,
- „algoritam za analizu i prognozu potrošnje energije“,
- „usluga korisničkog vodiča za rad“ itd.

Usluge. Inteligentni digitalni blizanac sredstva treba da uključuje sve funkcionalnosti koje sredstvo može da obavlja u stvarnom svetu na različitim zadacima. Ove funkcionalnosti se čuvaju u inteligentnom blizancu kao različite usluge. Primer takve usluge je robot u proizvodnoj liniji koji može da seče, buši, lepi itd. Ove funkcionalnosti zatim mogu da koriste



drugi inteligentni digitalni blizanci u različite svrhe. Na primer, usluge intelligentnog digitalnog blizanca mogu se koristiti u okviru “šta-ako” simulacije u komunikaciji sa drugim digitalnim blizancima kako bi se donela najbolja odluka za rekonfiguraciju sistema na osnovu novih zahteva i raspoloživih resursa. Isto tako, inteligentni digitalni blizanac proizvoda može upravljati proizvodnjom stvarnog sredstva traženjem i pronalaženjem odgovarajućih usluga proizvodnih sistema. Međutim, važna stvar sa intelligentnim digitalnim blizancem je da se ove usluge mogu kontinuirano proširivati kako se stvarna imovina menja.

Ovde izazov predstavlja semantički opis tih usluga, jer je potrebna standardizacija, tako da svi intelligentni digitalni blizanci mogu da razumeju i koriste usluge drugih intelligentnih digitalnih blizanaca. Jedna od mogućnosti da se realizuje ovakva standardizacija je korišćenje Industrije 4.0.

Interfejs za povratne informacije (eng. Feedback Interface). U intelligentnom digitalnom blizancu potreban je interfejs koji mu omogućava automatski i dinamički pristup stvarnom sredstvu. Ovaj interfejs za povratne informacije mora da omogući prenos podataka na fizička sredstva koja se mogu razumeti iz stvarnih sredstava korišćenjem semantičkih tehnologija. Dakle, ovaj interfejs može biti predstavljen kao komunikacioni kanal ili povratni kanal između blizanaca i sredstva za dinamičku parametrizaciju i kontrolu fizičkog sredstva. Uz pomoć ovog kanala, može se omogućiti autonomija u sistemu sajber-fizičke proizvodnje tako da intelligentni digitalni blizanac može kontrolisati stvarnu imovinu.

4.5.13 Početak rada sa digitalnim blizancem

Veliki izazov može biti određivanje optimalnog nivoa detalja u kreiranju modela digitalnog blizanca. Iako previše pojednostavljen model možda neće doneti vrednost koju digitalni blizanac obećava, prebrz i širok pristup može da uzrokuje neprimenljivost zbog složenosti miliona senzora, stotine miliona signala koje senzori proizvode i ogromne količine tehnologije. Prema tome, pristup koji je ili previše pojednostavljen ili previše složen mogao bi da bude kontraproduktivan.

Mogući pristup u 6 koraka bio bi [4.30]:

1. *Zamisliti i proceniti mogućnosti.* Zamisliti i započeti uži izbor niza scenarija koji bi mogli imati koristi od digitalnog blizanca. On će verovatno imati sledeće dve ključne karakteristike:
 - Proizvod ili proizvodni proces koji se razmatra je dovoljno vredan da preduzeće može da investira u izgradnju digitalnog blizanca.
 - Postoje nerešeni, neobjasnjeni problemi u vezi sa procesom ili proizvodom koji bi potencijalno mogli biti od interesa za kupce ili za preduzeće.

Nakon što se napravi uži izbor scenarija, svaki scenario treba proceniti da bi se identifikovali delovi procesa koji mogu da obezbede napredak korišćenjem digitalnog blizanca.

2. *Identifikovanje procesa.* Identifikovati pilot konfiguraciju digitalnog blizanca koja ima najveću moguću vrednost i najbolje šanse da bude uspešna. Posebno je važno usredsrediti se na oblasti koje imaju potencijal za proširenje na opremu, na lokacije ili na tehnologije.
3. *Pilot program.* Preći na pilot program koristeći iterativne i agilne cikluse da bi se ubrzalo učenje, proaktivno upravljanje rizikom i maksimiziralo vraćanje početnih



ulaganja. Tokom kretanja kroz pilot, tim za implementaciju treba da podrži prilagodljivost i otvoren način razmišljanja—u bilo kom trenutku “putovanja” održavati otvoren ekosistem koji bi omogućio prilagodljivost i integraciju sa novim podacima (jednako strukturiranim i nestrukturiranim) i iskoristiti nove tehnologije ili partnere. Iako bi trebalo da se bude podozriv prema bilo kojoj vrsti izvora podataka (na primer, novi senzori i eksterni izvori podataka), biće potrebno i rešenje koje može da podrži proširenje od kraja do kraja (od ranog razvoja do nakon prodaje). Čim se ostvari početna vrednost, treba razmisliti o tome da se nadogradnjom iskoristi ovaj početni zamah kako bi se nastavilo sa radom ka boljim rezultatima.

4. *Industrijalizovati proces.* Kada se pokaže uspeh na terenu, može se pristupiti industrijalizaciji procesa razvoja i implementaciji digitalnog blizanca korišćenjem uspostavljenih alata, tehnika i priručnika.
5. *Skaliranje blizanca.* Ako su svi prethodni koraci bili uspešni, može biti važno identifikovati mogućnosti za povećanje digitalnog blizanca, posebno imajući u vidu susedne procese ili procese koji su povezani sa pilotom. Paralelno sa skaliranjem nastaviti sa prenošenjem vrednosti ostvarene usvajanjem digitalnog blizanca celom preduzeću i akcionarima.
6. *Praćenje i merenje.* Postignuta rešenja treba pratiti kako bi se objektivno izmerila vrednost koja se isporučuje preko digitalnog blizanca. Potrebno je identifikovati da li je bilo opipljivih koristi u vremenu ciklusa, propusnosti prinosa, u kvalitetu, u korišćenju, u incidentima i ceni po artiklu. Treba iterativno sprovesti izmene u procesima digitalnog blizanaca i posmatrati rezultate da bi identifikovali najbolju moguću konfiguraciju.

Što je najvažnije, ovo nije postupak koji bi trebalo završiti kada se identifikuju koristi, kada se blizanac implementira ili kada se izmeri korist i dobit. Da bi se kontinuirano menjale i bile prepoznate na tržištu, kompanije treba da planiraju da se ponovo kreću kroz pomenuti ciklus u novim oblastima poslovanja.

4.5.14 Digitalni blizanac za predviđanje budućnosti

Od astroloških predviđanja do naučnih, predviđanje budućnosti je oduvek bilo jedan od ljudskih ciljeva. Ovde ćemo pod predviđanjem podrazumevati metodologije i mehanizme kojima bi smo mogli da vršimo procenu. Na primer, koliko će vremena računarska oprema raditi bez potrebe održavanja, koliki je očekivani životni vek pojedinih uređaja itd. Za to nam je potrebna i dovoljna tehnologija koja kombinuje procene i simulacije. Tehnologija digitalnog blizanca je najbliža takvom zahtevu i može se koristiti za predviđanje budućnosti [4.33]. Mnogi industrijski lideri su to već priznali i primenjuju ovu vrstu tehnologije za rešavanje svojih tehnoloških problema.

Osobina digitalnog blizanca da “može da predviđa” može biti od posebnog značaja u onome što zovemo „pametni gradovi“. Naime, smatra se da su pametni gradovi zapravo gradovi budućnosti. Zbog toga mnoge svetske metropole ubrzano rade na implementaciji koncepta pametnih gradova. Ovaj koncept omogućava da gradovi funkcionišu bolje, efikasnije, racionalnije i da uz pomoć naprednih tehnologija integrisanih u osnovne gradske usluge poboljšaju kvalitet života ljudi.

Postoji mnogo nivoa tehnologije digitalnih blizanaca kao što su već spomenuti digitalni modeli i digitalne senke. Ako je reč o autentičnom digitalnom blizancu – njega karakteriše stalni tok podataka od fizičkog modela ka digitalnom i obrnuto. Pri tome su u platformi



digitalnih blizanaca obično ugrađene moćne tehnologije koje su poboljšane, na primer, kombinovanjem sa veštačkom inteligencijom i IoT senzorima.

Ovi skupovi se, po pravilu, sastoje od simulacija, analitike, operativnog konteksta, podataka i 3D modela ali i informacija iz faze projektovanja i inženjeringu, kao što su dokumentacija, tehnički crteži i 3D modeli. Sada možemo razmotriti tzv. *proces rada u 4 koraka*:

1. *Kontekstualizacija podataka*: svi prikupljeni podaci, 3D modeli, atributi iz industrijskog postrojenja, proračunske tabele, tehnički crteži i dokumentacija se postavljaju i tretiraju u digitalnom blizancu. U ovoj fazi svi dokumenti su centralizovani i raspoređeni tako da se može videti koji su podaci potrebni, za koju operaciju su potrebni i gde mogu biti korisni.
2. *Ulazni podaci*: potrebno je steći uvid u tok rada upravljanja sredstvima. To su informacije sa inspekcije na terenu dobijene putem mobilnog telefona, senzora koji su već korišćeni u radu, možda integracije sa drugim sistemima itd.
3. *Faza predviđanja*: digitalni blizanac obrađuje podatke pomoću tehnologija industrije 4.0, kao što su veštačka inteligencija, mašinsko učenje ili drugi algoritmi i simulacije.
4. *Analitika*: svi obrađeni podaci biće analizirani veštačkom inteligencijom, nakon čega će biti potrebno integrisati bazu podataka u sisteme, što će biti ključ za optimizaciju industrijskog procesa.

Na taj način će operateru platforme biti dostupni svi podaci iz industrijskog pogona. Integracija sa drugim sistemima i centralizacija podataka na autentičnoj platformi digitalnog blizanca sa veštačkom inteligencijom pružiće uvid u to. Tako se dolazi do predviđanja budućih stanja koja nam, između ostalog, propisuju najbolje vrste održavanja za svaki komad opreme.

4.5.15 Digitalni blizanci i simulacije

Svedoci smo da se industrija menja brže nego ikada ranije upravo zbog primene naprednih tehnologija, kao što su veštačka inteligencija i mašinsko učenje. Pri tome, cilj većine naprednih modela veštačke inteligencije je povećanje produktivnosti i efikasnosti kroz automatizaciju uz smanjenje operativnih troškova. Činjenica je, takođe, da pokretanje simulacija i korišćenje podataka iz stvarnog sveta za kreiranje digitalnih blizanaca čitavog proizvodnog procesa redefiniše poslovnu praksu.

Uvođenje procesa digitalizacije poslovanja donosi mnoge prednosti. Jedna od njih je mogućnost pokretanja simulacija korišćenjem digitalnih (simulacionih) modela za imitiranje stvarnih operacija i performansi. Tako, na primer, kompanije mogu pokrenuti simulacije da analiziraju performanse proizvoda i testiraju nove ideje. Praksa je pokazala da su takve simulacije posebno korisne za inženjere i tehničare koji žele da testiraju nove proizvode i sisteme bez stvaranja prototipa.

Većina industrija koristi za simulaciju softverske aplikacije za dizajn. Međutim, da bi se dobili što precizniji i kvalitetniji rezultati, inženjeri bi trebalo da koriste poseban softver za simulaciju koji može uključiti mnogo više varijabli. Tako, na primer, arhitekte i dizajneri građevinskih objekata koriste softver za simulaciju da testiraju svoje modele na analizu stresa. Ovaj softver može da simulira efekte pritiska na više materijala, omogućavajući dizajnerima da poboljšaju svoje nacrte pre nego što se krene u realizaciju izgradnje objekata. Osim simulacija testiranja dizajna, inženjeri koriste simulacione softvere i za simulacije diskretnih



događaja, za tzv. determinističke simulacije i stohastičke simulacije. Ne treba posebno isticati da su pomenute simulacije moguće samo ako je kompanija digitalizovala neke od svojih procesa.

Tehnologija digitalnih blizanaca je slična simulacijama ali je, mora se priznati, daleko preciznija. Za razliku od simulacija gde inženjeri moraju ručno da podese sve parametre, tehnologija digitalnog blizanaca koristi stvarne podatke za kopiranje procesa u digitalnom okruženju. Blizanac integriše sve relevantne podatke u digitalni sistem, efektivno odražavajući celinu proizvoda, usluga ili procesa. Štaviše, digitalni blizanac je u stanju da "simulira" uslove u stvarnom svetu do poslednjeg detalja, uključujući prenos podataka iz stvarnog sveta. Tehnologija digitalnog blizanca koristi IoT senzore, ivični hardver i druge ugrađene uređaje za kreiranje procesa u digitalnom okruženju. Pri tome, ova tehnologija sva fizička sredstva pretvara u digitalna sredstva čije ponašanje je identično originalnim fizičkim sredstvima.

To omogućava inženjerima da pokreću simulacije u realnom vremenu kako god i kada god budu žeeli. Takav pristup se pokazao korisnim za procese kao što su, na primer, planiranje, obuka, upravljanje, testiranje novih ideja itd. Pri tome svaki digitalni blizanac uključuje 2D ili 3D sredstva koja koriste podatke iz stvarnog sveta.

Iako ove dve tehnologije mogu da repliciraju procese i proizvode u digitalnom okruženju, digitalni blizanac nudi više fleksibilnosti i mogućnosti. Dok simulacije mogu samo da repliciraju postojeće procese, digitalni blizanac može pokrenuti više simulacija na istom sistemu. Štaviše, sve simulacije digitalnog blizanca koriste podatke u realnom vremenu i vrše stalnu razmenu informacija između senzora iz stvarnog sveta i digitalnog okruženja. To ih čini idealnom tehnologijom za pravljenje tačnih predviđanja performansi i mnogo su lakši za praćenje i upravljanje.

Poznato je da simulacije zavise od tačnih parametara i elemenata dizajna. Kada se digitalni model kreira, parametri se neće promeniti sve dok dizajner ne unese nove parametre. Otuda statički model može pružiti samo informacije o tom specifičnom dizajnu. Novi dizajn zahteva od inženjera da naprave sasvim novu simulaciju.

Tehnologija digitalnih blizanaca, s druge strane, počinje na isti način kao i simulacija. Međutim, pošto koristi podatke u realnom vremenu, automatski će se menjati i parametri simulacije. Digitalni blizanac će nastaviti da traži načine da poboljša proizvod kroz aktivnu simulaciju. Štaviše, blizanac može da simulira ceo životni ciklus proizvoda u realnom okruženju, dok simulacija može da radi isto to ali za zadate vrednosti parametara modela.

Može se zaključiti da simulacija daje odgovor "*šta bi se dogodilo sa proizvodom tokom njegovog životnog ciklusa*", s obzirom da ishod zavisi samo od vrednosti simulacionih parametara. Dodajmo da simulacije zavise od sposobnosti dizajnera da unese tačne parametre kako bi se dobio valjni ishod.

S druge strane, digitalni blizanac daje odgovor "*šta se događa sa proizvodom tokom njegovog životnog ciklusa*", s obzirom da ishod zavisi od stvarnih-tačnih vrednosti parametara koje dobija od senzora.

Suštinska razlika je, dakle, da su simulacije isključivo teoretske, dok su predviđanja digitalnog blizanca stvarna i tačna. Digitalne simulacije blizanaca su svestranije i nude dublje razumevanje procesa u poređenju sa simulacijama.



Mora se priznati, međutim, da je tehnologija digitalnih blizanaca mnogo skuplja od simulacija, kao i da je potrebno mnogo više vremena za podešavanje i integraciju sa postojećim softverom za analizu podataka.

4.5.16 Simulacioni digitalni blizanac

Za mnoge ljude reč digitalni blizanac još uvek dočarava samo sliku 3D modela fizičkog objekta. Treba, međutim, naglasiti da dok su tradicionalni digitalni blizanci replike pojedinačnih mašina, najnovija klasa digitalnih blizanaca može modelirati čitave organizacije i složene sisteme zasnovane na dinamici svakodnevnog poslovanja u razvoju.

Simulacioni digitalni blizanci repliciraju dinamičko funkcionisanje kompletнog operativnog sistema organizacije, uključujući fizička lica, finansijska sredstva, ljudske resurse, procese, tokove posla i ograničenja. Za menadžere proizvodnje, simulacioni blizanci nude jedinstvenu mogućnost repliciranja svih aktivnosti i interakcija u celom proizvodnom lancu, bez obzira na broj i lokaciju fizičkih sredstava, proizvodnih lokacija, dobavljača i ostalih objekata i subjekata u proizvodnom lancu.

Koristeći tehnologiju novih digitalnih blizanaca, menadžeri proizvodnje mogu kreirati neograničene prediktivne simulacije tipa „šta-ako“ koje pokazuju uticaj različitih odluka na operativnu efikasnost. Menadžeri u proizvodnji mogu da procene snagu svojih akcionih planova testirajući njihovu robušnost u suočavanju sa neočekivanim događajima i dobijajući dragocen uvid u to kako da implementiraju svoje planove na svim proizvodnim lokacijama.

Ovi blizanci dalje pružaju propisane optimizacije tipa „kako-da“ koje pomažu menadžerima proizvodnje da otkriju pravac delovanja koji najbolje odgovara njihovim potrebama. Korisnici mogu da biraju između niza (npr. efikasnost, cena, ekološke potrebe), a zatim da koriste simulacioni digitalni blizanac da otkriju optimalni akcioni plan i strategiju implementacije za svoje poslovanje.

Simulacioni digitalni blizanci stavljam celokupni operativni model organizacije na dohvrat ruke menadžera proizvodnje, pomažući im da otključaju skrivene vrednost u celom lancu vrednosti. Neke od tih aktivnosti su:

- *Virtuelno testiranje strateških akcionih planova sa neograničenim simulacijama tipa „šta-ako“*

Osim pružanja potpune replike operativnog modela organizacije, simulacioni digitalni blizanci nude neograničene scenarije tipa šta-ako tako što omogućavaju korisnicima da simuliraju kako će njihove odluke uticati na svaki aspekt njihovog poslovanja. Ovi prediktivni scenariji su veoma precizni i korisnik ih može prilagoditi. Posebno je važno da pružaju jasniju sliku o prednostima i slabostima njihovih operativnih planova u kratkoročnom i dugoročnom periodu.

- *Poboljšanje poslovnih rezultata pomoću optimizacije uputstava*

Jedinstveni među digitalnim blizancima, simulacioni digitalni blizanci nude propisane optimizacije kako da se identifikuju konflikti ili prepreke u sistemu organizacije i dobiju optimalna rešenja za operativne izazove. Savladavanjem tzv. „kaskadnih efekata“ u lancu događaja koji se javljaju prirodno ili kao odgovor na odluke korisnika, ovi blizanci mogu otkriti operativnu neefikasnost širom organizacije.



Simulacije tipa „šta-ako“ ili optimizacije tipa „kako-da“ omogućavaju menadžerima da optimizuju svoje akcione planove korišćenjem predviđanja zasnovanih na činjenicama i pregledom svih mogućih pokretača optimizacije za postizanje unapred određenih ciljeva.

Nove mogućnosti zahtevaju i nove uslove. Proizvodni pogoni moraju biti pripremljeni za niz mogućnosti, a menadžerima su potrebni spremni odgovori na brojne scenarije tipa “šta-ako”:

- Šta-ako oprema ne radi?
- Šta-ako je lanac snabdevanja poremećen?
- Šta-ako održavanje traje duže od očekivanog?

Pristup „šta-ako“ je ključan za menadžere proizvodnje koji žele da upravljaju složenim proizvodnim sistemima. Da bi upravljali operacijama u okruženju koje se brzo razvija, proizvođači treba da odrede ključne planove i to:

- za vanredne situacije za isključenja,
- za održavanje i neočekivane događaje, kao i
- za jačanje otpornosti proizvodnje.

Ključno pitanje za proizvođače je kako da simuliraju efekte potencijalnih promena na budućnost njihovog poslovanja. Tehnologije zasnovane samo na veštačkoj inteligenciji koriste za predviđanje podatke iz prošlosti, određujući buduće stanje sistema upoređivanjem njegovih prošlih i sadašnjih stanja. Tako se tradicionalni digitalni blizanci oslanjaju isključivo na podatke iz prošlosti da bi napravili predviđanja. Ta predviđanja ne uzimaju u obzir trenutne i buduće scenarije koji se nažalost stalno menjaju. Ovo dovodi do dva problema:

- Tradicionalni digitalni blizanci ne mogu predvideti scenarije koji se već nisu dogodili.
- Predviđanja postaju manje pouzdana što se vremenska linija dalje produžava u budućnost.

Simulacioni digitalni blizanac pravi predviđanja i obezbeđuje scenarije optimizacije zasnovane na modelu dinamičke evolucije industrijskog sistema. Identifikujući sve kritične varijable sistema, interakcije i međuzavisne zadatke, mogu se razviti simulacije za neograničene kombinacije promena radnih operacija fabrike.

4.5.17 Prednosti korišćenja tehnologije digitalnih blizanaca

Tehnologija digitalnih blizanaca pruža nekoliko značajnih poslovnih prednosti koje mogu pomoći da se korišćenjem digitalnog okruženja uštedi vreme i novac na razvoju i testiranju proizvoda (na primer, testiranje proizvodnih linija na zamor, efikasnost i pronalaženje rešenja).

Ova tehnologija ima primenu u mnogim različitim industrijama. Mogućnosti su beskrajne, sve dok su podaci tačni. Ako se ima dovoljno pouzdanih i kvalitetnih podataka, nema razloga zašto ne biste mogli da ponovo napravite ceo grad u virtuelnom okruženju i koristite ga za poboljšanje transporta, za upravljanja lancem snabdevanja ili bilo kog drugog problema iz stvarnog sveta.

Kada je reč o proizvođačima, tehnologija digitalnih blizanaca im pomaže da poboljšaju kvalitet proizvoda i proizvodnju.



Zdravstveni sektor takođe može imati koristi od tehnologije digitalnih blizanaca u kombinaciji sa IoT senzorima. Na taj način mogu da koriste digitalno okruženje za, na primer, daljinsko praćenje pacijenata. Ovo je samo jedna od mogućnosti koje tehnologija digitalnog blizanaca može da ponudi. Međutim, u kombinaciji sa veštačkom inteligencijom, mašinskim učenjem i IoT-om, ne postoje granice u mogućim realizacijama.

Lista glavnih prednosti koje se dobijaju kada se koristi tehnologija digitalnog blizanca su:

- Poboljšana pouzdanost proizvodne opreme
- Smanjeno vreme zastoja i povećanje performansi
- Značajno povećana produktivnost
- Značajno smanjen rizik dostupnosti proizvoda
- Smanjeni troškovi održavanja zahvaljujući prediktivnom održavanju
- Brže vreme proizvodnje i izlazak proizvoda na tržište
- Mnogo bolje korisničko iskustvo
- Značajno poboljšanje kvaliteta i performansi proizvoda
- Sigurna optimizacija lanca snabdevanja.

Zahvaljujući digitalnim blizancima dizajneri mogu virtuelno da testiraju ideje i pronađu najbolji pristup razvoju proizvoda pre nego što proizvodnja uopšte i počne. Trebalo bi zapamtiti da uspeh digitalne tehnologije blizanaca zavisi od podataka koje joj dajete. 100% tačni podaci će ponuditi realistične simulacije koje će vam omogućiti bolju kontrolu proizvodnog procesa. I ne samo to, omogućiće da proverite, na primer, kako će raditi mašine da biste predvideli potencijalne kvarove. Poznavanje ovakvih detalja može pomoći da se predvide problemi, da se eliminiše zastoj u proizvodnji i da se podignu ukupne performanse procesa.

4.5.18 Pregled primene tehnologije digitalnih blizanaca

Tehnologija digitalnog blizanaca primenjuje se u različitim industrijama:

- *Industrijska proizvodnja.* Digitalni blizanci se koriste za repliciranje fizičkih procesa u proizvodnim kompanijama, s obzirom da digitalna tehnologija poboljšava interakciju virtualnih objekata i fizičkih objekata. U takvim kompanijama problemi u stvarnim fizičkim procesima se rešavaju primenom digitalnih blizanaca kojima se prati i procenjuje poreklo i priroda problema. Digitalni blizanci u proizvodnji takođe se mogu koristiti i za poboljšanje procesa.
- *Zdravstvena zaštita.* Kroz tehnologiju digitalnih blizanaca zdravstveni radnici mogu kreirati personalizovane modele za poboljšanje medicinske nege. Ovi profesionalci mogu da koriste digitalni blizanac kao digitalnu repliku pojedinačnih organa ili pacijenata za praktikovanje zdravstvenih procedura.
- *Urbanističko planiranje.* Tehnologija digitalnih blizanaca je posebno primenljiva u planiranju pametnih urbanih gradova. Digitalni blizanci se vrlo uspešno koriste za modeliranje urbanih gradova i njihovih podataka. Ova tehnologija se takođe može koristiti za poboljšanje digitalizacije srodnih aktivnosti kao što su izgradnja, održavanje



i rad urbanih projekata. Integracija izgrađenih objekata sa njihovom digitalnom replikom može se koristiti za poboljšanje optimalnih performansi objekata.

- *Automobilska industrija.* Automobilske kompanije uveliko koriste tehnologiju digitalnih blizanaca za kreiranje digitalnih replika svojih automobila. Osim za projektovanje novih modela, tehnologija digitalnih blizanaca se koristi za testiranje karakteristika i funkcionalnosti novih modela pre nego što odu u proizvodnju. U slučaju da su potrebna poboljšanja novih modela, digitalni blizanci će biti korišćeni za poboljšanje njihovih performansi.
- *Logistika/lanac snabdevanja.* Logističke kompanije takođe mogu da koriste ovu vrstu tehnologije za procenu materijalne izvodljivosti, dizajniranje efektivnih rasporeda skladišta i stvaranje izvodljivih logističkih mreža. Tehnologija digitalnih blizanaca omogućava kompanijama da virtuelizuju deo proizvodnog procesa koji podrazumeva skladištenje, odnosno pakovanje i iznošenje na tržiste. Ovo značajno pomaže u smanjenju grešaka u skladištenju, pakovanju i isporuci.

4.5.19 Primeri pametnih gradova

Dok su mnogi gradovi širom sveta počeli da primenjuju pametne tehnologije, neki od njih su otišli daleko u razvoju. Takvi su *Kansas Siti* (Misuri), *San Dijego* (Kalifornija), *Kolumbus* (Ohio), *Njujork* (Njujork), *Toronto* (Kanada), *Singapur*, *Beč* (Austrija), *Barcelona* (Španija), *Tokio* (Japan), *Rejkjavik* (Island), *London* (Engleska), *Melburn* (Australija), *Dubai* (Ujedinjeni Arapski Emirati), *Hong Kong* (Kina).

Većina novih projekata pametnih gradova koncentrisana je na Bliskom istoku i u Kini, ali su 2018. Rejkjavik i Toronto navedeni uz Tokio i Singapur kao neki od najpametnijih gradova na svetu.

Često se grad-država *Singapur* smatra zlatnim standardom pametnih gradova. On koristi senzore i kamere sa IoT-om za praćenje čistoće javnih prostora, gustine gužve i kretanja lokalno registrovanih vozila. Njegove pametne tehnologije pomažu kompanijama i stanovnicima da prate upotrebu energije, proizvodnju otpada i upotrebu vode u realnom vremenu. Singapur takođe testira autonomna vozila, uključujući robotske autobuse pune veličine, kao i sistem za praćenje starijih.

Inicijativa pametnog grada u *Kansas Sitiju* uključuje pametna ulična svetla, interaktivne kioske i više od 50 blokova besplatnog javnog Wi-Fi-ja duž gradske tramvajske rute od dve milje. Dostupna parking mesta, protok saobraćaja i pešačke tačke su javno dostupni preko gradske aplikacije za vizuelizaciju podataka.

San Dijego je početkom 2017. godine instalirao 3200 pametnih senzora kako bi optimizovao saobraćaj i parkiranje i poboljšao javnu bezbednost, ekološku svest i ukupnu udobnost za svoje stanovnike. Dostupne su stanice za punjenje od solarne do električne energije da bi se omogućilo korišćenje električnih vozila, a povezane kamere pomažu u praćenju saobraćaja i otkrivanju kriminala.

U *Dubaju* tehnologija pametnog grada se koristi za usmeravanje saobraćaja, parkiranje, planiranje infrastrukture i transport. Grad takođe koristi telemedicinu i pametno zdravstvo, kao i pametne zgrade, pametna komunalna preduzeća, pametno obrazovanje i pametni turizam.

U *Barseloni* su pametni transportni sistemi i pametni autobuski sistemi dopunjeni pametnim autobuskim stanicama koje pružaju besplatan Wi-Fi i USB stanice za punjenje. Dostupni su i



program za deljenje bicikala i aplikacija za pametno parkiranje koja uključuje opcije onlajn plaćanja. Grad takođe koristi senzore za praćenje temperature, zagađenja i buke, kao i za praćenje vlažnosti i nivoa kiše.

Koncept pametnog grada može se pratiti još od 1960-ih i 1970-ih, kada je *Biro za analizu zajednice* (eng. the Community Analysis Bureau) iz Los Andelesa počeo da koristi kompjuterske baze podataka, klaster analizu i infracrvenu aerofotografiju za prikupljanje podataka, za izdavanje izveštaja i za usmeravanje resursa u oblastima u kojima su oni najpotrebniji. Bio je to pokušaj da se stvori tzv. „*Urbani informacioni sistem*“ koji bi se mogao primeniti za rešavanje problema grada. Od tada su se pojavile tri različite generacije pametnih gradova:

- *Smart City 1.0* su vodili dobavljači tehnologije. Ova generacija se fokusirala na implementaciju tehnologije u gradovima uprkos nemogućnosti opština da u potpunosti razumeju moguće implikacije tehnologije ili efekata koje ta tehnologija može imati na svakodnevni život.
- *Smart Citi 2.0* su predvodili gradovi. U ovoj drugoj generaciji, gradovi su inicirali implementacije pametnih tehnologija i drugih inovacija primene da bi se stvorila nova budućnost gradova.
- *Smart Citi 3.0* - prihvaćen je model pametnog grada kao rezultat zajedničkog rada građana. Ova najnovija adaptacija inspirisana je pitanjima pravičnosti i željom da se stvori pametna zajednica sa društvenom uključenošću.

Beč je jedan od prvih gradova koji je usvojio ovaj model treće generacije. U Beču je uspostavljeno partnerstvo sa lokalnom energetskom kompanijom Wien Energy. U okviru ovog partnerstva, Beč je uključio građane kao investitore u lokalne solarne elektrane. Beč je takođe istakao angažovanje građana u rešavanju pitanja kao što su rodna ravnopravnost i pristupačno stanovanje.

Vankuver je takođe usvojio model Smart City 3.0 uključivši 30.000 svojih građana u zajedničko kreiranje akcionog plana Vankuvera za najzeleniji grad 2020.

4.5.20 Budućnost tehnologije digitalnih blizanaca

Činjenica je da tehnologija digitalnog blizanaca pokreće optimalne performanse i inovacije u različitim industrijama. Zbog toga će u narednim godinama biti sve više digitalnih blizanaca koji će predstavljati različite fizičke realnosti kao što su ljudi, procesi, mesta i objekti. Ovo može zahtevati veću saradnju između stručnjaka koji rukuju fizičkim proizvodima i naučnika koji rukuju virtuelnim i/ili stvarnim procesnim podacima. Otuda će u budućnosti tehnologija digitalnih blizanaca imati veliki uticaj na kupce i vrednost poslovanja. Kompanije koje će koristiti ovu tehnologiju u svojim procesima doživeće značajna poboljšanja u svom proizvodnom iskustvu. One će podsticati poslovnu vrednost kroz mnogobrojna poboljšanja u postojećim procesima, proizvodima i operacijama. A ulaganje u tehnologiju digitalnih blizanaca biće važan izvor konkurentske prednosti za visokotehnološke kompanije.

Mora se istaći da je digitalna transformacija bila ključna za naglu primenu digitalnih blizanaca. Mogućnosti koje pruža upotreba ove nove tehnologije u potpunosti su povezane sa poremećajem koji je izazvala pojava i primena digitalne transformacije. Štaviše, može se slobodno reći da ona postaje imperativ na putu kroz novo digitalno doba.

Iako je to još uvek nova tehnologija, mnoge industrije (posebno u EU) su shvatile značaj dobre digitalne strategije pa su primenile digitalnog blizanca u svojim operacijama. O tome



govori i podatak da je u 2018. godini digitalni blizanac svrstan u Top 10 strateških tehnoloških trendova. Očekuje se da će u periodu između 3 do 5 godina milijarde stvari biti predstavljene kroz digitalni blizanac.

Još jedan podatak koji ide u prilog tome. Naime, polovina kompanija sa profitom iznad 5 milijardi američkih dolara imale su najmanje jedan projekat digitalnog blizanca do 2020. godine za svoje proizvode ili sredstva. Predviđa se da će do 2023. godine, tržište digitalnih blizanaca imati rast od 37,87% BDP-a, što je iznos profita od približno 15,66 milijardi američkih dolara.

Mogućnosti koje stvaraju ove tehnologije mogu se najbolje razumeti kada pogledamo koje su prednosti koje se nude. Navećemo 3 prednosti koje su revolucionisale procese i operacije primenom digitalnog blizanca:

Analiza različitih faza PLM-a (Upravljanja životnim ciklusom projekta). Kao što smo ranije spomenuli, digitalni blizanac ima mogućnost prikupljanja podataka kroz različite faze životnog ciklusa proizvoda, sredstva ili operacija. Analiza ovih podataka u različitim fazama može se koristiti

- za povezivanje različitih PLM faza industrijskog procesa,
- za prikupljanje podataka iz početnih faza inženjeringu i projektovanja i
- za njihovo kombinovanje sa digitalnom tehnologijom za poboljšanje procesa rada industrijskog postrojenja kroz olakšavanje pristupa operateru inženjerskim modelima i podacima.

Uz kontinuirani protok podataka, razvoj proizvoda i usluga kroz različite faze PLM-a može se optimizovati. Time se smanjuje broj opoziva i produžava vek trajanja proizvoda.

Efikasnost proizvoda i smanjeno vreme do prodaje. Sa digitalnim blizancem simulacija scenarija se radi digitalno pa se uslovi potrebni za proizvod, uslugu ili opremu mogu takođe simulirati, testirati i optimizovati. Često mnogo pre nego što se proizvod proizvode. Ova komunikacija između stvarnih i digitalnih sredstava omogućava da konačni proizvod bude verzija koja dolazi iz procesa koji je u stalnoj optimizaciji.

Milioni dolara uštede troškova održavanja. Već znamo kako digitalni blizanci mogu da optimizuju proizvodnju povezujući početne faze PLM-a sa radom industrijskog postrojenja. Na ovaj način se optimizuju rad i proizvodnja putem ulaza i izlaza podataka, obezbeđujući kontinuirani tok podataka između stvarnog objekta i virtualnog modela. Ali tu nije kraj. Tehnologija digitalnog blizanca postaje još interesantnija kada se povezuje sa industrijama koje se smatraju složenim i čiji rad uključuje velike troškove održavanja.

Iako postoje kvarovi koje je teško predvideti, postoji i veliki broj kvarova koji se mogu izbeći kroz rutine prediktivnog održavanja. Sa algoritmima mašinskog učenja, IoT senzorima i sve bogatijim bazama podataka, digitalni blizanac još jednom pokazuje kako njegova primenljivost može da generiše milione dolara uštede za industrije. Štaviše, kroz primenu digitalnog blizanca moguće je lakše razumeti i sprečiti uzroke i mehanizme kvarova, gubitak performansi sredstava rada, uobičajeno habanje delova uređaja i sredstava.



4.6 Literatura

- [4.1] Richard Fox, Information Technology - An Introduction for Today's Digital World, CRC Press. 2013.
- [4.2] Richard Fox, Wei Hao, Internet Infrastructure: Networking, Web Services, and Cloud Computing, CRC Press, 2018.
- [4.3] Brian K. Williams, Stacey C. Sawyer, Using Information Technology: A Practical Introduction to Computers and Communications, McGraw-Hill Education, 2007.
- [4.4] Andrzej Yatsko, Walery Susłow, Insight into Theoretical and Applied Informatics - Introduction to Information Technologies and Computer Science, 2015.
- [4.5] Stuart Russell, Peter Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th edition, Pearson, 2020
- [4.6] McCulloch, W.S., Pitts, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, 115–133 (1943).
<https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- [4.7] A. M. Turing, Computing Machinery and Intelligence, *Mind*, Vol. LIX, No. 236, 1950, pp. 433–460, <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- [4.8] Whitehead, A. N. & Russell, B. (1925--1927), *Principia Mathematica*, Cambridge University Press
- [4.9] Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
<https://doi.org/10.1037/h0042519>
- [4.10] L.A. Zadeh, Fuzzy sets, *Information and Control*, Volume 8, Issue 3, 1965, Pages 338-353, [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [4.11] J. C. R. Licklider, "Man-Computer Symbiosis," in *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, vol. HFE-1, no. 1, pp. 4-11, March 1960, doi: 10.1109/THFE2.1960.4503259.
- [4.12] Minsky, M. & Papert, S. (1969), Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry, MIT Press , Cambridge, MA, USA
- [4.13] Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 417–424. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00005756>
- [4.14] Rumelhart, D., Hinton, G. & Williams, R. Learning representations by back-propagating errors. *Nature* 323, 533–536 (1986). <https://doi.org/10.1038/323533a0>
- [4.15] Zadeh, L.A. (1993). Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing. In: Safety Evaluation Based on Identification Approaches Related to Time-Variant and Nonlinear Structures. Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-89467-0_19
- [4.16] European Commission, 2018. Artificial Intelligence for Europe.
- [4.17] European Commission, 2020. On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust
- [4.18] European Commission, 2020. Digital Education Action Plan (2021-2027) - Resetting education and training for the digital age



- [4.19] <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/strategy-data>
- [4.20] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1593073685620&uri=CELEX:52020DC0066>
- [4.21] <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-european-data-governance-data-governance-act>
- [4.22] <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-act>
- [4.23] <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/experts-say-privately-held-data-available-european-union-should-be-used-better-and-more>
- [4.24] Alani, Mohammed M., Alani, and Wheeler. *Applications of Big Data Analytics*. Vol. 219. Springer, 2018.
- [4.25] Faroukhi, Abou Zakaria, et al. "Big data monetization throughout Big Data Value Chain: a comprehensive review." *Journal of Big Data* 7.1 (2020): 1-22.
- [4.26] Dietrich, D., B. Heller, and B. Yang. "Data Science & Big Data Analytics Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data pp. 420." (2015).
- [4.27] Zhihan Lv, Shuxuan Xie, Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics, Digital Twin 2021, 1:12 (<https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17524.1>).
- [4.28] Michael Grieves, Origins of the Digital Twin Concept, Digital Twin Institute, August 2016 (<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609>)
- [4.29] A.I. Joseph Thaddeus, P.I. van den Brom, L.C.M. Itard, INTRODUCTION TO DIGITAL TWINS, MODELS AND PARAMETER ESTIMATION, Delft University of Technology, 2021 <https://btic.nu/wp-content/uploads/2021/11/Report-IEBB-Thema-2-activity-1.3-final.pdf>
- [4.30] Aaron Parrott and Lane Warshaw, Industry 4.0 and the digital twin - Manufacturing meets its match, Deloitte University Press, 2017, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>
- [4.31] Behrang Ashtari Talkhestania, Nasser Jazdi, Wolfgang Schlägl, Michael Weyrich, A concept in synchronization of virtual production system with real factory based on anchor-point method, Procedia CIRP 67 (2018) 13–17.
- [4.32] Behrang Ashtari Talkhestani, Tobias Jung, Benjamin Lindemann, Nada Sahlab, Nasser Jazdi, Wolfgang Schloegl and Michael Weyrich, An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System, Automatisierungstechnik 2019; 67(9): 762–782, (<https://doi.org/10.1515/auto-2019-0039>).
- [4.33] Otavio Carneiro Corrêa, How Digital Twin technology predicts the future in just 4 steps, 2021, <https://www.linkedin.com/pulse/how-digital-twin-technology-predicts-future-just-4-carneiro-corr%C3%AAa/>

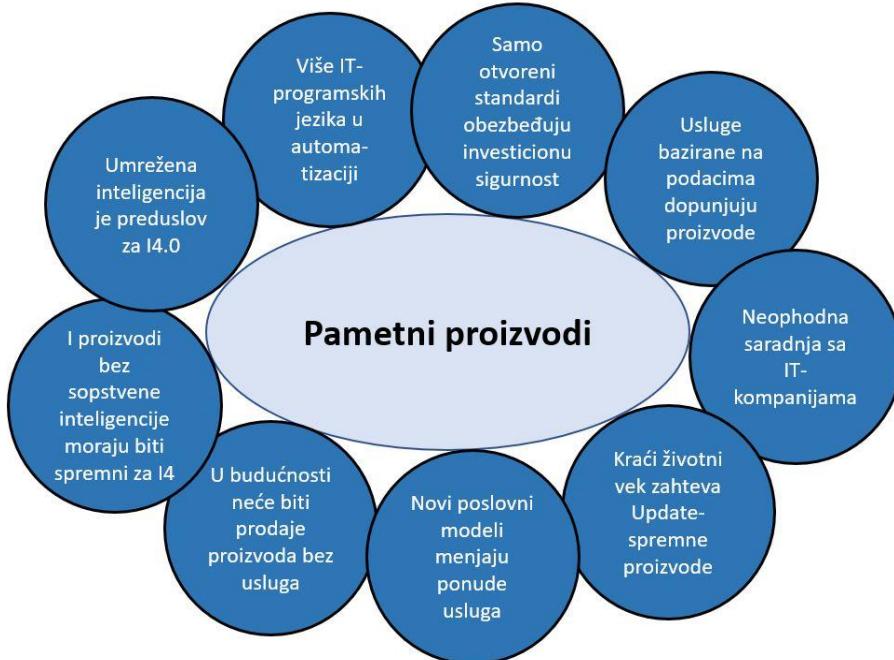
5. DEFINISANJE EFIKASNOG POSTUPKA RAZVOJA NOVE GENERACIJE PAMETNIH PROIZVODA I USLUGA

5.1 Holistički pristup

Za uspešan razvoj pametnih proizvoda, saglasno zahtevima Industrije 4.0, potrebno je ispuniti brojne zahteve (sl. 5.1). Životni ciklus mnogih proizvoda u budućnosti često će se meriti samo u mesecima. Konstruktori pametnih proizvoda moraju stoga brzo i fleksibilno integrisati nove trendove i standarde u svoja rešenja. Oni mogu samo ograničeno koristiti svoja iskustva iz prošlosti, dakle moraju istovremeno i učiti i nalaziti konstrukciona rešenja. Osnovni preduslov da pri tome budu uspešni jeste korišćenje i primena novih razvojnih metoda koje ih usmeravaju prema kreativnim rešenjima. Dakle neophodna je primena savremenog inženjeringu pametnih proizvoda.

Pojam inženjering može se definisati je kao kreativna primena naučnih saznanja i matematičkih metoda za razvoj i proizvodnju tehničkih proizvoda. Inženjering se često koristi kao sinonim za pojам razvoj proizvoda ili uzima u obzir samo procese razvoja proizvoda.

Svršisihodno je razmatrati holistički pristup u inženjeringu, gde se pored razvoja proizvoda i usluga, uzima u obzir i njihov kompletan životni ciklus. Komponente holističkog inženjeringu su metode koje se koriste u procesu razvoja, IT alati, informacioni modeli i organizacione strukture. Sve to objedinjuju ljudski resursi sa odgovarajućim kompetencijama (sl. 5.2).

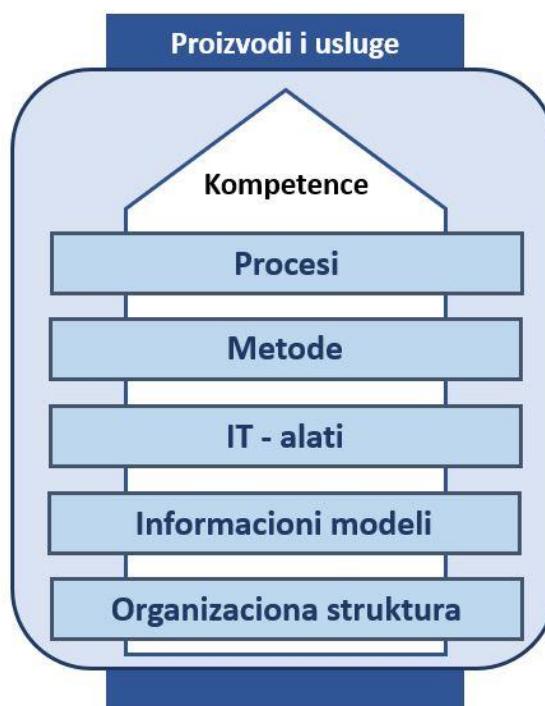


Sl. 5.1. Zahtevi kod pametnih proizvoda [5.1]

Prema DIN IEC 60050-351 pod **procesima** u tehnici se nazivaju niz koraka koji se odvijaju u jednom sistemu pri čemu dolazi do transformacije materije, energije i informacija (sl. 3.2).



Inženjerski procesi su pre svega informacioni procesi koji, pored razvoja proizvoda, prate i ostale faze fizičkog životnog ciklusa proizvoda, proizvodnju, nabavku, logistiku, upotrebu proizvoda i kraj radnog veka - likvidaciju. Obuhvataju i tehnički orijentisane zadatke planiranja, koncepcije, dokumentacije i simulacije proizvoda. U današnjim uslovima inženjerski procesi prošireni su i na usluge povezane sa proizvodima. Inženjerski procesi su takođe usko povezani sa procesima protoka materijala odnosno fizičkim procesima. Zbog sve većeg protoka informacija od fizičkih proizvoda, integracija između ta dva procesa u industriji 4.0 postaje sve važnija. Inženjerski procesi su usko povezani sa pratećim komercijalnim procesima. Odnos između različitih procesa u inženjerskom okruženju dat je na sl. 5.3.



Sl. 5.2. Komponente holističkog inženjeringu [5.2]

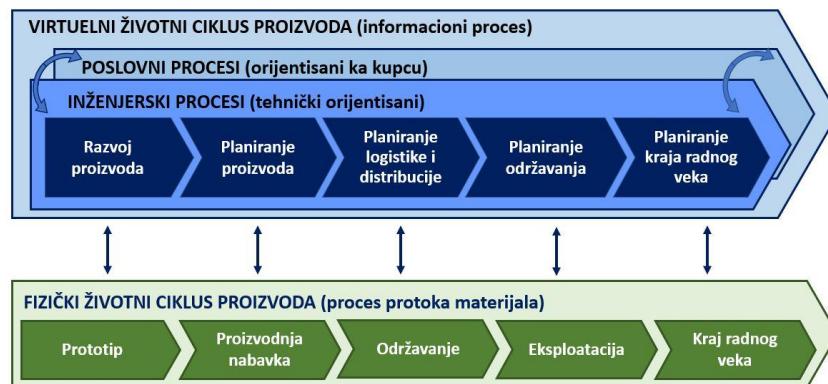
Najvažnija faza unutar inženjerskih procesa je **razvoj proizvoda** u kojoj se kreiraju novi inovativni proizvodi. Postoje različiti detaljni modeli procesa za razvoj proizvoda (vidi poglavljje 1).

Pojedine faze inženjerskih procesa podržane su metodama ili IT-alatima koji se temelje na kompjuterskim **informacionim modelima**.

Pojedini koraci inženjersko-razvojnih procesa izvode se primenom metoda, IT alata i informacionih modela. U tu svrhu treba raspolagati **organizacionom strukturom** ljudskih resursa sa adekvatnim **kompetencijama**.

Pod **metodama** se podrazumevaju sistematski postupci dobijanja (naučnih) znanja ili veština za rešavanje praktičnih problema.

IT alati su softverski sistemi koji automatski obavljaju korisničke zadatke ili podržavaju korisnika u obradi zadataka. Svi IT alati i interfejsi za rešavanje zadatka unutar organizacije čine IT infrastrukturu.



Sl. 5.3. Korelacija različitih procesa u inženjerskom okruženju [5.2]

Informacioni modeli su semantički obogaćeni matematički prikazi stvarnog objekta, na primer pametnog proizvoda ili procesa, koji ga prikazuju sa dovoljnom tačnošću.

Organizacione strukture opisuju temeljnu unutrašnju strukturu koja je potrebna za izvršavanje zadatka. Organizacione strukture mogu se odrediti na različitim nivoima detalja.

Kompetencije opisuju sposobnost ljudi da rešavaju probleme koji zahtevaju posebna znanja.

5.2 Sistemski inženjering

Razvoj CPS odnosno pametnih proizvoda je paradigma primene interdisciplinarnih postupaka. Za razvoj ovih proizvoda neophodno je korišćenje brojnih različitih disciplina kao što su mašinstvo, elektrotehnika/elektronika, softvera i niza drugih disciplina. U tom smislu svršisihodna je primena sistemskog inženjeringu, jer pruža generičke pristupe i preporuke za razvoj interdisciplinarnih proizvoda.

Sistemski inženjering je struktuirani, multidisciplinarni inženjerski pristup tehničkim sistemima usmeren ka dobijanju interdisciplinarnog optimuma u određenom vremenskom okviru i budžetu. Osnovni aspekti System Engineeringa su sigurnost i pouzdanost, složenost upravljanja, korisničko iskustvo, smanjenje vremena i uštede troškova. Nadalje će biti izložene osnove sistemskog inženjeriga prema [5.3].

NASA [5.3] definiše "sistemske inženjeringu" ("Systems Engineering"- SE) kao metodološki, multidisciplinarni pristup projektovanju, izradi, tehničkom upravljanju, eksploraciji i likvidaciji sistema. Elemente sistema čine hardver, softver, oprema, objekti, osoblje, procesi i postupci potrebeni za realizaciju projekta. Dakle obuhvataju sve potrebne resurse za realizaciju projekta tako da bude uspešno izvršena radna funkcija na nivou sistema. Sistem mora da ima optimalnu strukturu sa aspekta raspoloživog resursa, troškova, performansi, okruženja i drugih zahteva.

Operativnost sistemskog inženjeringu ogleda se u njegovoj sposobnosti da rešava veoma kompleksne zadatke vezane za zahteve sa često suprotstavljenim ograničenjima. Pri tome se koristi holistički, struktuirani, multidisciplinarni inženjerski pristup uz učešće kvalifikovanog osoblja različitih disciplina (građevinarstvo, mašinstvo, elektrotehnika, elektronika, softveri, ICT, optika, hidraulika, pneumatika, kompetence ljudskih resursa, itd.). Cilj je da se usaglase stavovi ovako različitih struka, bez dominacije pojedinih disciplina uz traženje i nalaženje



optimalnih rešenja. U tom smislu obrazuju se „sistemske inženjeri“ koji raspolažu znanjem i veština za blagovremeno prepoznavanje i procenu optimalnog toka realizacije projekta, nadzor i usaglašavanje oprečnih stavova i sigurno vođenje projekta ka uspešnoj realizaciji postavljenog cilja. Takve osobe zauzimaju mesta vodeći inženjer, tehnički rukovodilac, glavni inženjer itd.

Uloga i odgovornost sistemskih inženjera često se menja od projekta do projekta, zavisno o veličini i složenosti projekta kao i faze životnog ciklusa sistema. Kod velikih projekata istovremeno rade i više sistemskih inženjera, od koji jedan ima ulogu vodećeg sistemskog inženjera. Njegov zadatak je da obezbedi potrebne resurse za realizaciju projekta, vrši nadzor za uspešnu realizaciju projekta i ispunjenja postavljenih ciljeva, nadgleda projektne inženjerske aktivnosti koje izvode tehnički timovi, usmjerava, komunicira, nadzire i koordinira zadatke. Kompletan tehnički tim uključen je u proces sistemskog inženjeringu.

Vodeći sistemski inženjer igra ključnu ulogu u vođenju razvoja koncepta operacija (ConOps) i rezultirajuće arhitekture sistema, definisanju ograničenja, definisanju i klasifikaciji zahteva, oceni projektnih kompromisa, uravnoteženju tehničkog rizika između podistema, definisanju i proceni interfejsa kao i mnogi drugi zadaci. On snosi glavnu odgovornost za dokumentovanje mnogih tehničkih planova, zahteva i dokumenata specifikacija, dokumenata za verifikaciju i validaciju, paketa za sertifikaciju kao i druge tehničke dokumentacije.

Vodeći sistemski inženjer i njegov tim su od vitalnog značaja za podršku programskom i projektnom planiranju i kontroli (PP&C) sa tačnim i pravovremenim podacima o troškovima i rasporedu tehničkih aktivnosti.

Sistemski inženjerering igra ključnu ulogu u organizaciji projekta. Upravljanje projektom ima tri glavna cilja:

- upravljanje tehničkim aspektima projekta,
- upravljanje projektnim timom,
- upravljanje troškovima i rasporedom.

Ova 3 cilja su međusobno povezana (sl. 5.4). Sistemski inženjerering usmeren je na tehničke karakteristike odluka, vezane za tehničke aktivnosti, troškove i raspored rada. Funkcija planiranja i kontrole projekta (PP&C) odgovorna je za identifikaciju i kontrolu troškova i rasporeda aktivnosti na realizaciji projekta. Rukovodilac projekta snosi kompletну odgovornost za upravljanje projektnim timom i osigurava da realizacija i kvalitet projekat odgovara uloženim troškovima. Postoje područja u kojima se dva ključna elementa upravljanja projektima, SE i PP&C preklapaju. U tim područjima SE obezbeđuje tehničke aspekte, dok PP&C obezbeđuje troškove i raspored.

Postoje tri skupa uobičajenih tehničkih procesa u programu NPR 7123.1, NASA Systems Engineering:

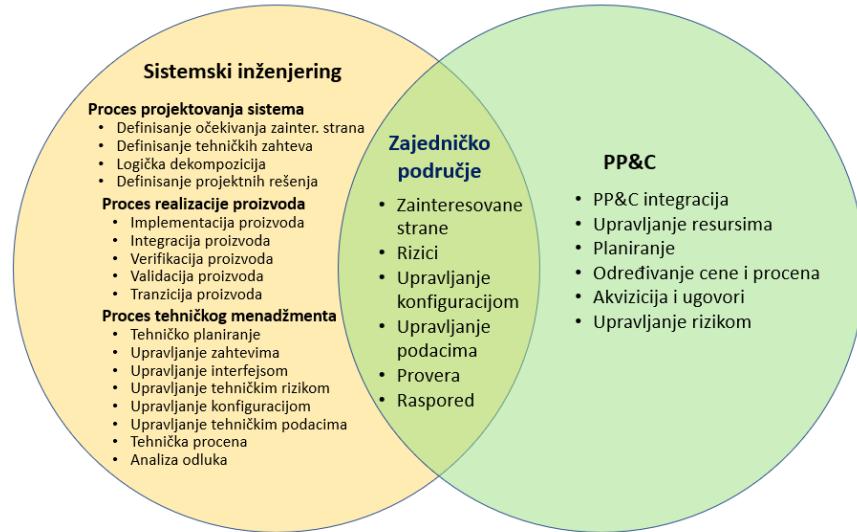
- Projektovanje Sistema;
- Realizacija proizvoda;
- Tehnički menadžment.

Procesi u svakom od ovih skupova, njihove interakcije i protoci predstavljaju "motor" NASA sistemskog inženjeringu (sl. 5.5).

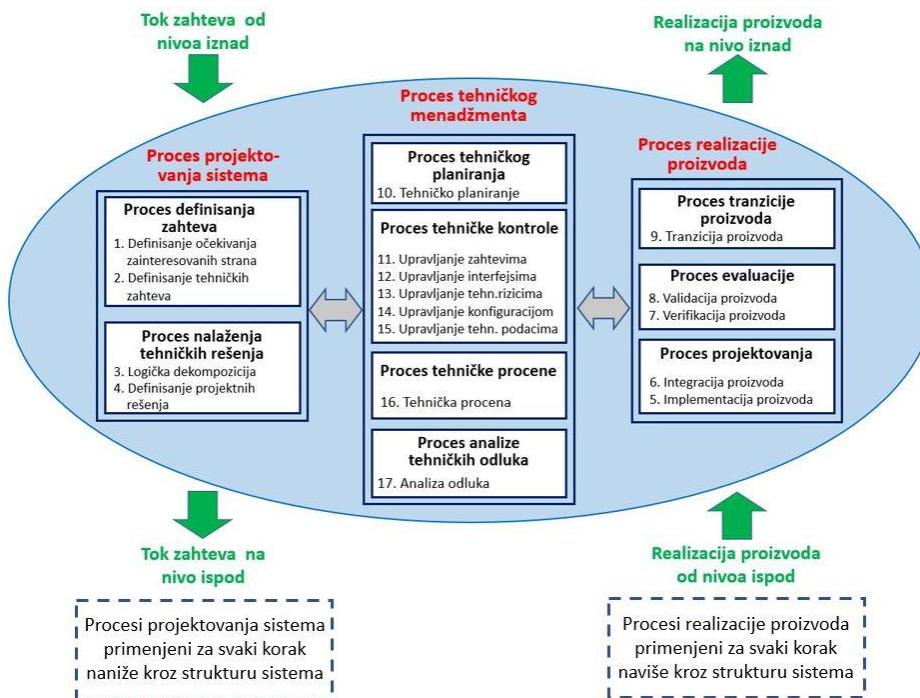


Aktivnosti menadžmenta projekta

- Sastavljanje projektnog tima
- Programi zainteresovanih strana
- Programsко planiranje
- Identifikacija programskih zahteva
- Identifikacija prgramskih rizika
- Transfer tehnologije i komercijalizacija
- Integracija tehničkih i netehničkih aktivnosti
- Kompletna saglasnost/odлука



Sl. 5.4. SE u kontekstu kompletног upravljanja projektom



Sl. 5.5. Motor sistemskog inženjeringu prema [5.3]

- **Procesi projektovanja sistema:** Četiri procesa projektovanja sistema prikazana na slici Se2 koriste se za definisanje i početno postavljanje očekivanja zainteresovanih strana (stakeholder-a), generisanje osnovnih tehničkih zahteva, dekompoziciju zahteva na logičke i modele ponašanja i pretvaranje tehničkih zahteva u projektno rešenje koje će



udovoljiti osnovnim očekivanjima zainteresovanih strana. Ovi procesi primenjuju se na svaki proizvod strukture sistema od vrha strukture do dna sve dok najniži proizvodi u bilo kojoj grani strukture sistema nisu definisani do mesta ugradnje, načina nabavke ili ponovne upotrebe. Svi ostali proizvodi u strukturi sistema realizovani su implementacijom ili integracijom.

- **Procesi realizacije proizvoda:** Procesi realizacije proizvoda primenjuju se na svaku funkciju (misiju) proizvoda u strukturi sistema počevši od funkcije najnižeg nivoa pa preko integrisane funkcije višeg nivoa. Ovi procesi koriste se za stvaranje projektnog rešenja za svaki podsistem (kupovinom, kodiranjem, izgradnjom ili ponovnom upotrebom) kao i za proveru, potvrđivanje i prelazak na sledeći hijerarhijski nivo onih komponenti koji zadovoljavaju projektna rešenja i očekivanja zainteresovanih strana.
- **Procesi tehničkog menadžmenta:** Procesi tehničkog menadžmenta koriste se za uspostavljanje i razvoj tehničkih planova za projekat, za upravljanje komunikacije preko interfejsa, za procenu napretka u odnosu na planove i zahteve za proizvodima ili uslugama, za kontrolu tehničke realizacije projekta sve do završetka kao i za pomoć u procesu donošenja odluka.

5.3 Prikaz novog V-modela za inženjering pametnih sistema

5.3.1 Uvod

Za razvoj inovativnih pametnih proizvoda izuzetan značaj imaju adekvatni referentni modeli i prateća tehnička infrastruktura. Polazna osnova ovakvog pristupa je V-model koji opisuje mehatronski inženjering (VDI 2206 2004 poglavље 3 tačka 3.5.2.3), kao i osnove date u [P31]. Da bi se odgovorilo na izazove Syber fizičkih sistema, sistemskog inženjerstva i digitalnih poslovnih modela, V-model je u međuvremenu morao biti poboljšan. Zbog ove potrebe za revizijom, ažuriranjem i proširivanjem V-modela za mehatroničke i cyber fizičke sisteme, VDI je u martu 2016. osnovao Tehnički odbor (TC) VDI GMA 4.10 „Interdisciplinarno nastajanje proizvoda“ (VDI GMA 4.10 (TC) „Interdisziplinäre Produkterstellung“) [5.5]. Cilj je bio identifikovati potrebne izmene, ažuriranja i revizije postojećih VDI 2206: 2004 preporuka odnosno stvoriti i verifikovati novi poboljšani V-model.

Savremene inženjerske aktivnosti karakterišu visoka interdisciplinarnost, umreženost, složenost i heterogenost. Mreža pametnih sistema međusobno povezanih preko Interneta stvari i usluga (IoT) fleksibilno prilagođava ponašanje sistema promenjivim graničnim uslovima, radnim situacijama i zahtevima korisnika. Nameće se i zahtev za nazavisno otkrivanje i ispravljanje mogućih pogrešnih poteza. Da bi to bilo ispunjeno potrebno je definisati interdisciplinarnu arhitekturu sistema i inženjerski pristup zasnovan na odgovarajućem modelu. (Graessler 2017). Tehnološke promene vezane za digitalizaciju i umrežavanja omogućavaju nove digitalne poslovne modele.

5.3.2 Struktura

Kod V-modela (VDI 2206) simbol „V“ predstavlja dekompoziciju sistema na njegove elemente na levom kraku i postupnu integraciju elemenata i podistema u kompletan tehnički sistem na desnom kraku. Uz ova dva kraka „V“, svojstva proizvoda u razvoju se kontinualno proveravaju i verifikuju. Dakle, osigurava se da je „ispravni“ sistem (validacija) razvijen na „pravi“ način (verifikacija).



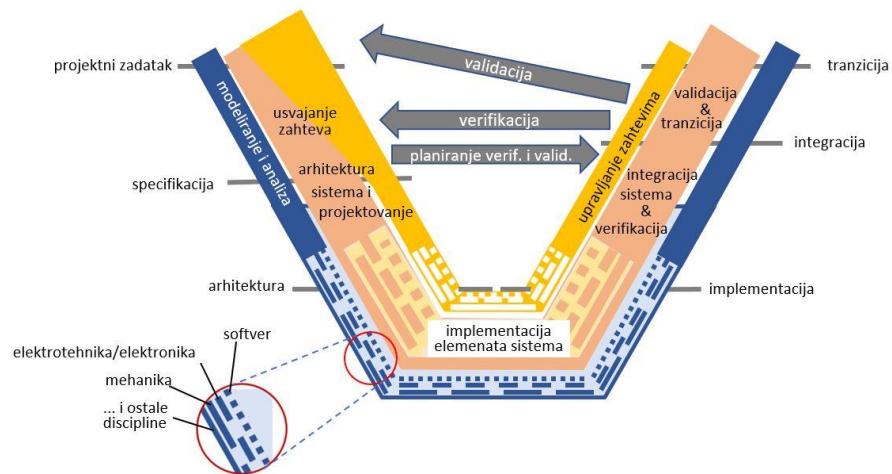
Predloženi novi V-model sastoji se u osnovi od tri trake (sl. 5.6). Središnja traka (narančaste boje) opisuje osnovne aktivnosti i zadatke. Unutrašnja (žuta) traka obuhvata postupak upravljanja zahtevima. Spoljašnja (plava) traka predstavlja aktivnosti vezane za modeliranje i analizu. U sve tri trake grafički su prikazane linije sa disciplinama na dnu V-modela. Cilj ovakvog grafičkog prikaza je da ukaže na činjenicu da se definisanje elemenata sistema oslanja na duboke i isprepletene detalje unutar i između uključenih disciplina. Presudni faktor uspeha pri tome su razmena i koordinacija između navedenih disciplina. Mogu biti uključene različite discipline kao što su mašinstvo, elektronika/elektrotehnika, softvera, kao i pneumatika, hidraulika, optika, humanistička nauke, itd. Navedene discipline uključene su u glavnom području - osnovne aktivnosti i zadaci, kao i u dopunskim područjima modeliranju i analiziranju, ali i u inženjerstvu zahteva.

5.3.3 Osnovne aktivnosti i zadaci

5.3.3.1 Ispunjeno zahteva

Osnovni preduslov za uspešan proces razvoja proizvoda je strukturiranje, analiza i ispunjenje postavljenih zahteva. Način definisanja specifikacije zahteva prikazan je u tački 1.6.5.1.

U cilju dobijanja što potpunije specifikacije, nove preporuke nude pomoćni instrument: glavni popis parametara za mehatroničke i cyber-fizičke sisteme. Ovaj popis glavnih parametara podržava korisnika i preporuka je u cilju postizanja kompletnosti i kvaliteta specifikacije [5.6]. Parametri kvaliteta za specifikaciju proizvoda su celovitost, jasnoća, doslednost i ispunjenje radne funkcije. Zahtevi se u toku razvoja proizvoda sukcesivno dopunjaju, a mogu se i promeniti saglasno povratnim informacijama ili ažuriranjem želja kupaca.



Sl. 5.6: Novi V-Model [5.5]

5.3.3.2 Arhitektura sistema i projektovanje

Najvažniji interdisciplinarni inženjering proizvoda odvija se u fazi arhitekture i projektovanja sistema. Razvoj kompletne interdisciplinarne strukture sistema odvija se u sekciji "arhitektura sistema". Saglasno funkcionalnoj strukturi i osnovnih načela izvršenja



radne funkcije, arhitektura sistema obuhvata osnovnu mehaničku strukturu, strukturu protoka signala i dijagrame elektronskih kola, kao i strukturiranje softverskog programa u njegove module i komponente, uključujući i odgovarajuće interfejse.

Na taj način arhitektura sistema definiše elemente, odnose i potrebna načela za projektovanje i dalji razvoj sistema [5.6]. Strukturne alternative uspoređuju se na osnovu razumljivih kriterijuma, poput realizacije međuzavisnosti, funkcionalnih analiza i razmatranja kriterijuma isključenosti. U idealnom slučaju ova aktivnost se izvodi u koordinaciji sa budućim korisnikom. Najbolja raspodela pojedinih funkcija određenim disciplinama određuje se u iterativnom postupku na osnovu podele sistema. Svrishodna je dekompozicija sistema na samostalne funkcionalne jedinice. Dekompozicija sistema na komponente se izvodi korak po korak saglasno ispunjenju radne funkcije, pouzdanosti, jednostavnosti, predvidivosti i adaptivnosti.

5.3.3.3 Implementacija elemenata sistema

Kod implementacije elemenata sistema vrši se njihovo dimenzionisanje, projektovanje i detaljni prikaz. Mehaničke komponente dimenzionišu se i projektuju preko adekvatnih CAD programa uz primenu metoda konačnih elemenata (FEM), raznih metoda proračuna i simulacija. U primeni su savremene metode proračuna po kriterijumu raspoloživog resursa odnosno predviđeni radni vek. Nalaze se optimalna konstrukcionalna rešenja sa aspekta nosivosti, pouzdanosti, dinamičke i termičke stabilnosti. Za sve delove, sklopove i podsklopove radi se odgovarajuća konstrukciono-tehnološka dokumentacija. Za električne i elektronske komponente projektuju se štampane pločice (FSB), vrši se izbor i definisanje elektronskih komponenti, integrisanih kola specifične namene (ASIC) ili gejtovska polja koja se programiraju "na terenu", tj. od strane krajnjeg korisnika (FPGA). Za mehaničko pričvršćivanje i električno spajanje komponenata primenjuju se klasične štampane pločice (PCB). Kod projektovanja elektronske opreme koriste se savremeni programski sistemi (ECAD, FEM, FDTD, FIT). U ovoj fazi vrši se razvoj i izbor senzora i aktuatora kao i kompletan električna infrastruktura. Kod implementacije softverskih elemenata, implementacija vrši se izrada algoritama i softvera i njihova transformacija u odgovarajuće kompjuterske programe. Na osnovu softverske arhitekture, funkcije se implementiraju pomoću algoritama i generiše se odgovarajući kod. Modeli baza podataka implementiraju se odgovarajućim modeliranjem prema konkretnim šemama. Zatim se projektuju korisnički ili sistemski interfejsi. Tokom detaljne razrade uzimaju se u obzir odgovarajući mehanički, elektronski i softverski interfejsi. Naravno u ovoj fazi moraju se rešiti brojni problemi nastali tokom integracije sistema.

5.3.3.4 Integracija i verifikacija sistema

U ovoj fazi vrši se intergracija implementiranih elemenata sistema u sledeći viši nivo hijerarhije proizvoda sa ciljem da kompletan system u potpunosti ispuni predviđene zahteve. Vrši se sistemska integracija mehaničkih elemenata, harvera, softvera kao i predviđenih usluga radi dobijanja sistema višeg nivoa. Preko odgovarajućih simulacija virtualnog puštanja u rad, vrši se sveobuhvatno ispitivanje funkcionisanja i međusobna interakcija komponenata ili elemenata sistema.

Tokom razvoja teži se da se osiguraju tražene perfprmanse proizvoda. Karakteristike proizvoda predviđaju se u ranoj fazi razvoja proizvoda najčešće na osnovu modela. Provera radnih karakteristika proizvoda vrši se kontinuirano preko ispitivanja na virtuelnim



(kompjuterska simulacija), fizičkim prototipovima (hardverski eksperiment) ili njihovom kombinacijom. Dakle potrebne radne karakteristike proizvoda stalno se proveravaju u virtualnom i/ili fizičkom okruženju. Verifikacija se preporučuje u ranoj fazi razvoja proizvoda. Rezultati verifikacije moraju biti sveobuhvatni i kvantitativni.

Verifikacija se mora unapred definisati po tačno definisanim fazama i obimu. Razlikuju se sledeće metode verifikacije proizvoda:

- **Teorijska analiza:** proračun, modeliranje i simulacija.
- **Inspekcija:** za lako vidljive, merljive i prepoznatljive parametre proizvoda.
- **Demonstracija:** kvalitativni dokaz funkcionalnosti, obično uz minimalnu primenu merne opreme.
- **Ispitivanje:** kvantitativni dokaz, obično u tačno definisanom ispitnom okruženju.

Integrisanje u sledeći viši nivo proizvoda ne sme započeti dok verifikacija početnog nivoa nije završena.

5.3.3.5 Validacija i tranzicija

U ovoj fazi treba izvršiti validaciju pojedinih elemenata i podsistema proizvoda. Potrebna je provera kompletног integrisanog sistema. Validacija se izvodi uz prisustvo korisnika (kupac ili dalji korisnik ukoliko se proizvod ugrađuje u složeniji sistem). Ova validacija mora da dokaže odgovarajući kvalitet proizvoda po svim zahtevima. Svi radni parametri moraju biti provereni i verifikovani. Najčešće se izvodi na prototipu uz odgovarajuću simulaciju ili realnim eksploatacionim uslovima. Svi potreбni modeli i dokumenta za sledeće faze u životnom ciklusu proizvoda čuvaju se i strukturiraju pomoću Product Data Management – PDM (upravljanje podacima o proizvodu), što predstavlja deo procesa razvoja proizvoda. Na ovaj način kompletira se konačna dokumentacija proizvoda. Osnovni modeli nastali u ovoj fazi omogućuju simulaciju ponašanja sistema i preduslov su izrade digitalnog blizanca (Digital Twin).

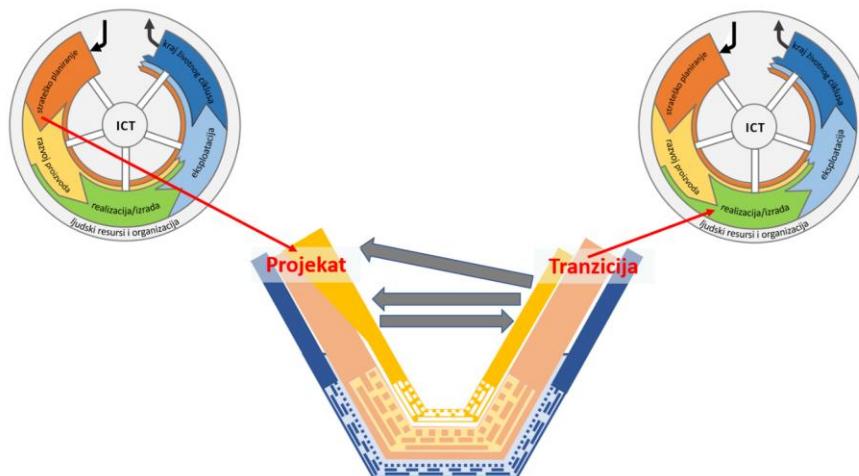
5.4 Aspekti holističkog pristupa

Kako bi identifikovali nove predloge vrednosti, inženjeri moraju usko sarađivati sa prodavcima i marketinškim osobama, jer su inženjeri ti koji čuvaju znanje o novonastalim proizvodima i proizvodnim tehnologijama. Osim toga, inženjeri moraju razumeti način na koji korisnik primenjuje proizvod da bi dobili impulse za inovacije proizvoda. Iz tog razloga, zadaci uzvodno i nizvodno moraju se uzeti u obzir pri primeni V-modela. Zato je novi V-model spojen sa holističkim modelom životnog ciklusa proizvoda (Holistic Product Life Cycle - HPLC), koji je razvio VDI TC 702 „VDI Systemhaus“ (sl. 5.7). Unutar HPLC modela, osim organizacionih pristupa, informacione i komunikacione tehnologije (ICT) predstavljeni su i ljudski resursi. Tačke prenosa oblikuju kontrolna tačka „projekat“ u smeru uzvodno i kontrolna točka „tranzicija“ na nizvodno realizovanje / proizvodnju, upotrebu proizvoda i kraj proizvoda. Dakle, inženjerima je jasna orientacija i omogućeno im je da deluju kao pokretači u dizajnu digitalnih poslovnih modela.

U verziji V-Model iz 2004. (VDI 2206 2004) discipline su ograničene na mehaniku, elektroniku i informatičku tehnologiju. Kako bi se pokazalo da se novi pristup odnosi na



interdisciplinarno stvaranje proizvoda, spominje se mogućnost dalnjih disciplina, poput hidraulike, pneumatičke ili čak proizvodnog inženjerstva.



Sl. 5.7. Veza novog V-modela sa holistikim modelom životnog ciklusa proizvoda [5.6]

Pristup interdisciplinarnoj arhitekturi sistema predstavljen je na levom kraku „V“. Ovde je razvijena među-disciplinska celovita struktura rešenja. Izraz "arhitektura sistema" odnosi se na interdisciplinarnu celokupnu strukturu rešenja i ponašanje proizvoda. Na osnovu funkcionalne strukture i osnovnih načela rada, arhitektura sistema u mehaničkom smislu uključuje građevinsku strukturu. U elektroničkom razumevanju, arhitektura sistema sadrži strukture protoka signala. Iz perspektive softvera, arhitektura sistema strukturira program u njegove module i komponente, uključujući odgovarajuće uslove povezivanja. Arhitektura sistema na taj način oblikuje elemente, odnose, potrebna načela i ponašanje sistema za dizajn i razvoj proizvoda [5.7].

5.5 Aplikativni značaj

Predloženi V-model u potpunosti je uokviren trakom „modeliranje i analiza“. Na taj način omogućeno je inženjerima da primene modelski pristup kod rešavanja svih inženjerskih zadataka i budu pokretači i projektanti digitalnih poslovnih modela.

Bitan preduslov za uspešan razvoj ametnih proizvoda i usluga je ispunjenje zahteva, koje prozvod treba da ispuni. Međutim, u inženjerskoj praksi tokom procesa razvoja proizvoda zahtevi se menjaju i kvalitativno i kvantitativno. Zbog toga je u V modelu duž komplernog procesa razvoja proizvoda ubaćena traka "upravljanje zahtevima".

Ključni element procesa razvoja proizvoda su verifikacija i validacija i njihovo blagovremeno planiranje. U predloženom V-modelu to je prikazano preko skupa od tri strelice, što predstavlja kontinualno planiranje, verifikaciju i validaciju. Verifikacija je prikazana horizontalnom strelicom, jer provera izvodi na istom nivou razvoja sistema. Strelica validacije ide koso naviše, jer se izvodi na sledećem višem nivou razvoja sistema.

Predloženi V model je tako koncipiran da predstavlja logički redosled zadataka ali ne zavisi od oblika organizacije projekta. Na taj način može se primeniti u klasičnom pristupu upravljanju projektima, ali i u inženjerskim projektima vođenim po agilnim principima.



Funded by the
European Union



5.6 Literatura

- [5.1] <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/unterwegs-lernen-zu-laufen-a-702746/>
- [5.2] Abramovici, M.: *Engineering smarter Produkte und Services Plattform Industrie 4.0 STUDIE*. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. München, 2018.
- [5.3] <https://www.nasa.gov/seh/2-fundamentals>
- [5.4] Pahl, G.; Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H.: *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8., vollständig überarbeitete Aufl. Berlin: Springer 2013.
- [5.5] Graessler, I., Hentze, J.: *Das Neue V-Modell der VDI 2206 und seine Validierung*, Automatisierungstechnik 2020; 68(5): 312–324
- [5.6] Gräßler, I., Dattner, M., Bothen, M.: “*Main Feature List as core success criteria of organizing Requirements Elicitation*,” Milan, 2018. DOI:10.17619/UNIPB/1-679.
- [5.7] Walden, D., Roedler, G., Forsberg, K., Hamelin R., Shortell T., *Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities*, 4th ed. Wiley, 2015.