

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

IVAN LORENCIN

**TEHNIČNO IN EKONOMSKO OPTIMIRANJE NALOŽB V
ENERGETIKI Z EVOLUCIJSKIMI ALGORITMI**

MAGISTRSKO DELO

Mentor: prof. dr. Miran Mihelčič

Somentor: prof. dr. Bogdan Filipič

Ljubljana, 2010

Št.: 105-MAG-ISO/2010
Datum: 08.01.2010



IVAN LORENCIN, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana

Fakulteta za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani izdaja naslednjo magistrsko nalogo

Naslov naloge: **Tehnično in ekonomsko optimiranje naložb v energetiki z evolucijskimi algoritmi**
Technical and economic optimization of energy investments with evolutionary algorithms

Tematika naloge:

Energetika je področje človekovih dejavnosti, ki sistemsko zaobjame pridobivanje, prenos, trgovanje, dobavo in porabo energije. V preteklosti je bilo pridobivanje električne energije naloga energetskih podjetij, ki so energijo pridobivala predvsem iz večjih hidroelektrarn, termoelektrarn, plinskih elektrarn itn. S tehnološkim napredkom se možnost lastne proizvodnje električne energije predvsem iz obnovljivih virov ponuja tudi odjemalcem, ki tako postajajo naložbeniki.

Odločanje o naložbah v energetiki je velikokrat pogojeno z zahtevo po istočasnem optimiranju glede na tehnična, ekonomska, okoljska in druga sodila. Ta sodila si pogosto nasprotujejo. Zato področje večkriterijskega optimiranja, kot del priprave informacij za potrebe odločanja o naložbah, pridobiva na pomenu. Evolucijski algoritmi so splošni preiskovalni algoritmi, ki se uspešno uporabljajo v večkriterijski optimizaciji. Uporaba evolucijskih algoritmov pri iskanju optimalnih rešitev visokorazsežnostnih, nelinearnih in kombinatoričnih problemov daje v mnogih primerih dobre učinke v zadovoljivem času.

V nalogi na kratko predstavite procese odločanja o naložbah v energetiki. Pojasnite, zakaj za optimiranje naložbenih odločitev potrebujemo večkriterijsko optimizacijo. Opišite delovanje evolucijskih algoritmov ter njihovo uporabo v večkriterijski optimizaciji. Na primeru odločanja o naložbi v samostojen sistem oskrbe z električno energijo preizkusite uporabnost evolucijskih algoritmov s pomočjo programskega paketa DEMO, ki je bil razvit na Institutu "Jožef Stefan". Pri tem zberite vse informacije, potrebne za to odločanje, in jih ustrezno uporabite.

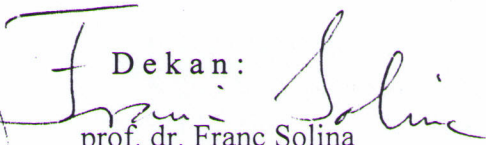
Mentor:

prof. dr. Miran Mihelčič

Somentor:

prof. dr. Bogdan Filipič



Dekan:

prof. dr. Franc Solina

Zahvala

Iskreno se zahvaljujem mentorju prof. dr. Miranu Mihelčiču za njegovo strokovno vodstvo, potrpežljivost in čas vložen v, ne samo pregledovanje in popravljanje te naloge, ampak tudi v predavanja in seminarske naloge na magistrskem študiju.

Posebej se zahvaljujem somentorju prof. dr. Bogdanu Filipiču za vse nasvete, strokovnost in čas, ki ga je vložil v nastanek te naloge in moje boljše razumevanje področja evolucijskih algoritmov.

Zahvaljujem se svoji ženi Sandri za vzpodbudo pri magistrskem študiju in izdelavi naloge. Brez tebe bi izdelava te naloge sigurno trajala še nekaj časa.

Kazalo

POVZETEK.....	1
ABSTRACT	2
1 UVOD.....	3
1.1 Obravnavana problematika	3
1.2 Namen, cilji in metode	4
1.3 Pregled vsebine	4
2 TEHNIČNE ODLOČITVE IN INFORMACIJSKA PODPORA.....	5
2.1 Uvod.....	5
2.2 Združba kot poslovni sistem	6
2.3 Tehnična funkcija.....	6
2.4 Delovna sredstva	8
2.4.1 Uvod	8
2.4.2 Načrtovanje	10
2.4.3 Naložbe v novo opremo	10
2.4.4 Staranje sredstev	11
2.4.5 Zanesljivost.....	11
2.4.6 Izraba sredstev.....	11
2.4.7 Vzdrževanje.....	11
2.4.8 Obvladovanje tveganj	12
2.5 Načrtovanje naložb.....	13
2.6 Ravnanje s sredstvi in odločanje	15
2.7 Kriteriji za odločanje.....	17
2.8 Proces odločanja	18
2.8.1 Stopnja preiskovanja	18
2.8.2 Stopnja oblikovanja	20
2.8.3 Stopnja izbire.....	22
2.9 Informacije in odločanje	23
2.9.1 Informacijske funkcije.....	23
2.9.2 Veriga vrednosti informacij.....	24
2.9.3 Pripravljanje informacij za odločanje.....	24
2.9.4 Splošna načela za postavitve informacijskega sistema za podporo odločanju.....	25
2.9.5 Vpliv kakovosti podatkov na odločitve v ravnanju s sredstvi.....	26
2.10 Sistemi za podporo odločanju	27
2.10.1 Uvod.....	27
2.10.2 Analiza učinkov poslovanja, obratovanja in vzdrževanja	29
2.10.3 Načrtovanje vlaganj in njihova utemeljitev	29
2.10.4 Optimalna porazdelitev naložbenih sredstev in razvrščanje projektov.....	31
2.10.5 Izvedba naložbenih projektov in vzdrževalnih del	31
2.11 Integracija informacijskega sistema za podporo ravnanju s sredstvi.....	32
3 VEČKRITERIJSKO ODLOČANJE V ENERGETIKI	34
3.1 Uvod.....	34
3.2 Načrtovanje naložb v energetiki	35
3.3 Elektroenergetski sistem – EES	36
3.4 Zagotavljanje zanesljivosti oskrbe države z energijo	37
3.5 Postopek odločanja o naložbah v elektrarne	39
3.5.1 Opredelitev različic možnih tehničnih rešitev elektrarne	39
3.5.2 Opredelitev cen električne energije in analiza možnih prihodkov.....	40
3.5.3 Opredelitev stroškov izgradnje, obratovanja in vzdrževanja elektrarne	40
3.5.4 Opredelitev najustreznejšega načina obratovanja elektrarne	41
3.5.5 Izračun tehničnih in ekonomskih kriterijev naložbe za posamezne različice.....	41
3.5.6 Izbira najustreznejše različice	42
3.6 Optimizacijski model za odločanje o naložbah v elektroenergetski sistem.....	42

4	VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA	45
4.1	Uvod.....	45
4.2	Optimizacija	45
4.3	Večkriterijska optimizacija.....	47
4.4	Relacija dominiranosti in Pareto optimalnost.....	49
5	EVOLUCIJSKI ALGORITMI IN VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA	52
5.1	Evolucijski algoritmi	52
5.2	Diferencialna evolucija in večkriterijska optimizacija	53
5.3	Uporaba evolucijskih algoritmov v energetiki	56
6	NAČRTOVANJE OPTIMALNEGA ALTERNATIVNEGA SISTEMA OSKRBE Z ENERGIJO ...	58
6.1	Alternativni sistem oskrbe z energijo	58
6.2	Odločanje o naložbi v alternativni sistem za oskrbo stavb z energijo	60
6.3	Predstavitve problema	60
6.4	Omejitve pri načrtovanju alternativnega sistema	62
6.5	Stroški in izdatki.....	62
6.5.1	<i>Stroški in naložbeni izdatki fotonapetostnega sistema.....</i>	<i>62</i>
6.5.2	<i>Stroški in naložbeni izdatki dizelskega agregata</i>	<i>63</i>
6.5.3	<i>Poraba in stroški goriva</i>	<i>64</i>
6.5.4	<i>Stroški in naložbeni izdatki baterij.....</i>	<i>64</i>
6.6	Obratovanje sistema	65
6.6.1	<i>Obratovanje alternativnega sistema oskrbe z energijo.....</i>	<i>65</i>
6.6.2	<i>Fotonapetostni sistem</i>	<i>67</i>
6.6.3	<i>Dizelski agregat</i>	<i>68</i>
6.6.4	<i>Akumulatorske baterije kot shranjevalniki energije.....</i>	<i>68</i>
7	SIMULACIJE IN IZRAČUNI	70
7.1	Funkcija vrednotenja rešitev.....	70
7.2	Tehnična izhodišča	71
7.3	Ekonomska izhodišča	71
7.4	Numerični poskusi.....	72
7.5	Izidi izračuna	73
7.6	Analiza občutljivosti.....	76
7.7	Izbira rešitve in komentar izidov	79
7.8	Komentar uporabnosti metode evolucijskih algoritmov.....	80
8	ZAKLJUČEK.....	82
9	LITERATURA	85

Kazalo slik

Slika 1: Temeljne poslovne funkcije združbe [Mihelčič, 2004; 28]	6
Slika 2: Prepletanje nalog treh ključnih vlog pri ravnanju s sredstvi: lastnik, skrbnik sredstev in izvajalec [Brown, 2004; 6]	8
Slika 3: Življenjski cikel sredstev [Victorian Government, 1995; 3]	9
Slika 4: Krivulje vrednosti sredstev v življenjski dobi [Endrenyi, 2006; 14]	12
Slika 5: Proces odločanja v ravnanju s sredstvi [prirejeno po Gyimothy, Dunaj, 2005; 20]	17
Slika 6: Proces odločanja [Turban, Aronson, 2001; 43]	19
Slika 7: Pristopi iskanja rešitev [Turban, Aronson, 2001; 43]	22
Slika 8: Informacijski sistem kot povezava med temeljnimi poslovnimi in organizacijskimi funkcijami [Mihelčič, 2004; 28]	23
Slika 9: Veriga vrednosti informacij [prirejeno po Gresham, Andrulius, 2002; 19]	24
Slika 10: Odvisnost potrebne kakovosti podatkov od izbrane strategije vzdrževanja [prirejeno po Nordström, 2006; 30]	27
Slika 11: Potrebe udeležencev procesov po informacijah [O'Brien, Marakas, 2006; 31]	28
Slika 12: Informacije in odločitve [O'Brien, Marakas, 2006; 31]	28
Slika 13: Stopnja preiskovanja [Turban, Aronson, 2001; 43]	29
Slika 14: Stopnja oblikovanja [Turban, Aronson, 2001; 43]	30
Slika 15: Proces načrtovanja vlaganj [Victorian Government, 1995; 3]	31
Slika 16: Stopnja izbire [Turban, Aronson, 2001; 43]	31
Slika 17: Delitev informacijskih sistemov [O'Brien, Marakas, 2006; 31]	32
Slika 18: Slovensko 400 in 220 kV omrežje in elektrarne na prenosnem omrežju [ELES, 2003; 12]	37
Slika 19: Primer izbire pri nakupu avtomobila [prirejeno po Deb, 2001; 11]	47
Slika 20: Idealen pristop k večkriterijskem optimiranju [Deb, 2001; 11]	48
Slika 21: Množica sedmih rešitev za primer izbire pri nakupu najustreznejšega avtomobila [prirejeno po Deb, 2001; 11]	49
Slika 22: Primera neustrezne priprave informacij za odločanje po idealnem pristopu [prirejeno po Robič, Filipič, 2005; 37]	51
Slika 23: Potek evolucijskega algoritma	52
Slika 24: Primer enomestnega križanja	53
Slika 25: Mutacija v prvi iteraciji diferencialne evolucije [Price, Storn, Lampien, 2005; 33]	55
Slika 26: Primer nedominiranega razvrščanja po treh frontah [prirejeno po Deb, 2001; 11]	55
Slika 27: Primer izračuna metrike nakopičenosti [Robič, Filipič, 2005; 37]	56
Slika 28: Shema alternativnega sistema oskrbe z energijo [prirejeno po Seeling-Hochmuth, 1998; 40]	59
Slika 29: Časovni potek stanja baterije [prirejeno po Seeling-Hochmuth, 1998; 40]	66
Slika 30: Načelna shema vezave baterij	68
Slika 31: Potek vrednotenja rešitev	70
Slika 32: Dnevni diagram porab električne energije po urah	71
Slika 33: Pet zagonov osnovne različice rešitve problema	72
Slika 34: Osnovna različica rešitve problema	73
Slika 35: Del rešitev osnovne različice rešitve problema	74
Slika 36: Vpliv spremembe omejitev na izračun	75
Slika 37: Vpliv spremembe stroškov na nedominirane rešitve	76
Slika 38: Vpliv spremembe obremenitve sistema na nedominirane rešitve	78

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Postopek načrtovanja in vrednotenja naložb.....	35
Preglednica 2: Primeri uporabe evolucijskih algoritmov na različnih področjih v energetiki	57
Preglednica 3: Najmanjša, največja vrednost in prirastek vrednosti spremenljivk.....	73
Preglednica 4: Značilne rešitve problema optimalnega alternativnega sistema.....	74
Preglednica 5: Nekaj značilnih rešitev analize občutljivosti stroškov	77
Preglednica 6: Primerjava različic, ki jih izračuna algoritem in ročno pridobljene različice.....	77
Preglednica 7: Značilne rešitve analize občutljivosti obremenitev	78

Seznam kratic in pojmov

CBM	vzdrževanje po stanju (angl. <i>Condition Based Maintenance</i>)
DE	diferencijalna evolucija
DEMO	diferencijalna evolucija za večkriterijsko optimiranje (angl. <i>Differential Evolution for Multiobjective Optimization</i>)
DSS	sistemi za podporo odločanja (angl. <i>Decision Support Systems</i>)
EES	elektroenergetski sistem
EIS	poslovodni informacijski sistem (angl. <i>Executive Information System</i>)
ELES	Elektro-Slovenija
EMS	Energy Management System
ENS	nedobavljena energija (angl. <i>Energy Not Supplied</i>)
EU	Evropska unija
EZ	Energetski zakon
GIS	geografski informacijski sistem
GSS	sistemi za podporo skupinskemu delu (angl. <i>Group Support System</i>)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IS	informacijski sistem
IT	informacijska tehnologija
LOLP	verjetnost izgube napajanja bremena (angl. <i>Loss of Load Probability</i>)
LOLE	pričakovana izguba napajanja bremena (angl. <i>Loss of Load Expectation</i>).
NSGA	genetski algoritmi z nedominiranim razvrščanjem (angl. <i>Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm</i>)
OLAP	sistemi za sprotno analitično obdelavo podatkov (angl. <i>Online analytical processing</i>)
RCBM	vzdrževanje po zanesljivosti in stanju (angl. <i>Reliability Condition Based Maintenance</i>)
ReNEP	Resolucija o nacionalnem energetskega programu
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
VOLL	vrednost izpadlega bremena (angl. <i>Value of Lost Load</i>).

Povzetek

Energetika je tisto področje človekovih dejavnosti, ki sistemsko zaobjame proizvodnjo, trgovanje, prenos, razdeljevanje, dobavo in rabo energije. Deregulacija in prestrukturiranje energetskega sektorja sta v panogo prinesla tektonske premike, zato področje priprave informacij za potrebe odločanja pridobiva na pomenu. V trenutnih razmerah postaja elektroenergetski sistem bolj kot kdajkoli prej odvisen od pravočasnih in kakovostnih odločitev. Takoj, ko postanejo prvine omejene oziroma je njihova zadostnost vprašljiva, pride v ospredje potreba po pravočasnih in kakovostnih informacijah za odločanje. Zato energetski sektor potrebuje sodobna informacijska orodja in sisteme, ki temeljijo na kakovostnih in čim bolj natančnih matematičnih modelih ter s tem omogočajo pravočasne in optimalne odločitve, da se zagotovi tako stabilnost energetskega sistema kot zanesljivost, zadostnost in stalnost oskrbe z električno energijo.

Zato smo v nalogi analizirali tehnično-ekonomske odločitve in informacijsko podporo, ki služi za pripravo informacij za odločanje o naložbah v energetiki. Pri tem smo analizirali lastnosti večkriterijskega odločanja v energetiki, kriterije, ki so značilni za energetiko, probleme in možne rešitve optimizacije naložb. Poleg splošnih ugotovitev o optimizaciji smo opisali relacijo dominiranosti in Pareto optimalnost, evolucijske algoritme, diferencialno evolucijo in večkriterijsko optimiranje ter uporabo evolucijskih algoritmov v energetiki.

S pomočjo izdelanega matematičnega modela smo preizkusili uporabnost tehnik večkriterijskega optimiranja z evolucijskimi algoritmi na primeru odločitve o naložbi v alternativni sistem oskrbe z električno energijo. Alternativni sistem oskrbe z energijo, ki temelji na povezavi fotonapetostnega sistema, dizelskega agregata, ki zagotavlja zanesljivejšo oskrbo, in akumulatorskih baterij, ki zagotavljajo največjo možno izrabo obeh energetskih virov, smo optimirali glede na dva kriterija: stroške naložbe, obratovanja in vzdrževanja sistema v celotni življenjski dobi ter zanesljivost oskrbe z električno energijo, ki jo merimo z odstotkom nedobavljene energije.

Ključne besede: odločanje o naložbah, alternativni sistem oskrbe z energijo, večkriterijska optimizacija, relacija dominiranosti, Pareto optimalnost, evolucijski algoritmi, priprava informacij

Abstract

Energy is an area of human activities that contains production, trading, transmission, distribution, supply and consumption of energy. Deregulation and restructuring of energy sector have brought tectonic movements. Therefore, the preparation of information for decision making is gaining the importance. In the current situation power systems is becoming more than ever depended on timely and quality decisions. As soon as resources become insufficient, the need for timely and quality information for decision-making comes to the forefront. Therefore, the energy sector needs modern IT tools and systems based on high-quality and highly accurate mathematical models, thereby enabling timely and optimal decisions to ensure stability of the energy system as well as reliability, adequacy and continuity of energy supply.

In the thesis we therefore analyze the techno-economical decision and information support that is used to generate information for decision making on investments in the energy sector. We also analyzed the characteristics of multiobjective decision-making in the energy sector, the criteria specific to energy, the problems and possible solutions to optimize the investments. In addition to general observations about optimization, we examined the dominance relation and Pareto optimality, evolutionary algorithms, differential evolution and multiobjective optimization using evolutionary algorithms in the energy sector.

Using a mathematical model, we tested the applicability of multiobjective optimization techniques with evolutionary algorithms in case of a decision to invest in an alternative system of power supply. An alternative energy supply system based on a combination of photovoltaic systems, diesel generator, which provides the security of supply, and battery pack to ensure the maximum use of both energy sources, was optimized according to two criteria, the cost of investment, operation and maintenance of the system in entire life-cycle, and reliability of electricity supply which is measured by the percentage of nonsupplied energy.

Key words: decision making on investments, alternative energy supply system, multiobjective optimization, dominance relation, Pareto optimality, evolutionary algorithms, information preparation

1 UVOD

1.1 Obravnavana problematika

Energetika je tisto področje človekovih dejavnosti, ki sistemsko zaobjame pridobivanje, trgovanje, prenos, dobavo in rabo energije. Deregulacija in prestrukturiranje energetskega sektorja sta v panogo prinesla tektonske premike. Porabniki niso več odjemalci, postali so kupci, kar vpliva predvsem na odnos do nakupnih odločitev. Odjemalci »samo« odjemajo energijo, medtem ko kupci pri nakupnih odločitvah v največji možni meri usklajujejo količino, kakovost in ceno poslovnega učinka. Cilj usklajevanja je minimizacija stroškov oziroma maksimizacija dobička glede na potrebne količine ter maksimiranje kakovosti in zanesljivosti oskrbe. Ob varčevanju kot prvem in osnovnem ukrepu, ki racionalizira rabo energije, se pojavlja možnost lastne proizvodnje. Razmerje med lastno proizvodnjo in kupljeno količino energije je prav tako potrebno uravnesiti s stroški, kakovostjo in zanesljivostjo oskrbe z energijo.

Pri današnjih razmišljanjih o lastni proizvodnji energije je smiselno upoštevati predvsem t.i. energetske mešanice (angl. *energy mix*), ki omogoča razpršitev proizvodnje energije v namene izrabljanja vseh prostorskih, logističnih, infrastrukturnih in človeških prvin, s katerimi razpolaga določena združba ali posameznik, ter zagotavljanja najustreznejše ravni zanesljivosti oskrbe glede na stroške. Energetska mešanica naj vključuje optimalno kombinacijo proizvodnje energije iz različnih virov s pomočjo fotonapetostnih sistemov, soproizvodnjo električne in toplotne energije na zemeljski plin, proizvodnjo toplote s pomočjo solarnih sistemov in/ali toplotnih črpalk in proizvodnjo biodizla. Tako proizvedeno energijo je možno izrabiti za lastne potrebe, presežke pa po konkurenčnih cenah ponuditi kupcem na elektroenergetskem trgu.

Z lastno proizvodnjo se zmanjšajo tveganja, na katera podjetje nima neposrednega vpliva, kot so porast cen energentov ter kratkoročne in dolgoročne klimatske razmere. Spremembe državne zakonodaje, različni zavezujoči meddržavni dogovori, kot je na primer izvajanje kyotskega protokola, posledično zvišujejo stroške energije. Zaradi tega nadaljnja rast podjetij narekuje izrabo energetske možnosti ter razmislek o možnih naložbah.

Predvidevamo, da se bo v Evropi nadaljevalo zmanjševanje presežnih zmogljivosti za proizvodnjo električne energije. Rast porabe električne energije se ne ustavlja in je v zadnjih letih občutno preseгла rast v preteklosti. Nove naložbe v proizvodne zmogljivosti so v naslednjih letih načrtovane predvsem v segmentih trga, ki so upravičeni do državnih podpor. Trgovalna shema s pravicami do izpustov toplogrednih plinov (npr. CO₂) bo dodaten dejavnik, ki bo omejil proizvodnjo električne energije iz fosilnih virov ali vsaj povišal njene stroške in s tem ceno električne energije.

Zaradi trenutnega stanja na energetske trgu področje priprave informacij za potrebe odločanja pridobiva na pomenu. V trenutnih razmerah postaja elektroenergetski trg bolj kot kdajkoli prej odvisen od pravočasnih in kakovostnih odločitev. Takoj ko postanejo prvine omejene oziroma je njihova zadostnost vprašljiva, prihaja v ospredje potreba po pravočasnih in kakovostnih informacijah za odločanje. Glede na sedanje okoliščine na finančnih in energetskih (tudi plinskih) trgih je priprava informacij za odločanje toliko bolj v ospredju. Zato energetski sektor potrebuje sodobna informacijska orodja in sisteme, ki temeljijo na kakovostnih in čim bolj natančnih matematičnih modelih ter s tem omogočajo pravočasne in optimalne odločitve, da se zagotovi tako stabilnost energetskega sistema, kot tudi zanesljivost, zadostnost in stalnost oskrbe z električno energijo.

1.2 Namen, cilji in metode

Namen naloge je dokazati uporabnosti tehnik večkriterijskega optimiranja z evolucijskimi algoritmi v pripravi informacij za odločanje o naložbah v energetske sistem. Kakovost in natančnost matematičnih modelov za pripravo informacij za odločanje sta bistvenega pomena za podporo odločanju, ki zagotavlja stabilno obratovanje in dolgoročen razvoj energetskega sistema in s tem zanesljivost oskrbe z električno energijo.

Cilj naloge je, po preučitvi procesa odločanja v elektroenergetiki, analizirati možnost uporabe tehnik večkriterijskega optimiranja z evolucijskimi algoritmi ter izdelati matematični model za optimizacijo odločitev o naložbah v alternativni sistem oskrbe z električno energijo.

Glavni metodi sta analiza in preizkušanje. Na osnovi dostopne literature bomo najprej analizirali potrebe in procese odločanja v energetiki, informacije, potrebne za odločanje ter metode za optimiranje odločanja o naložbah v energetiko. Preučili bomo tudi tehniko večkriterijskega optimiranja z evolucijskimi algoritmi in njeno uporabnost v optimiranju naložbenih odločitev. Na koncu bomo to tehniko preizkusili na odločitvi o naložbi v alternativni sistem oskrbe z energijo. Alternativni sistem oskrbe z energijo temelji na povezavi fotonapetostnega sistema, dizelskega agregata, ki zagotavlja zanesljivejšo oskrbo, in akumulatorskih baterij, ki zagotavljajo največjo možno izrabo obeh energetske virov.

1.3 Pregled vsebine

Magistrska naloga je zastavljena tako, da vključuje tako teoretični vidik odločanja o naložbah v energetiki in večkriterijske optimizacije z uporabo večkriterijskih evolucijskih algoritmov, kot tudi preizkus teoretičnih ugotovitev na primeru ekonomsko-tehničnega optimiranja naložbe v alternativni sistem oskrbe z električno energijo.

Razdeljena je na štiri vsebinske sklope. V prvem vsebinskem sklopu, ki je predstavljen v drugem poglavju, analiziramo tehnične odločitve in informacijsko podporo, ki služi za pripravo informacij za odločanje. V tem poglavju se dotaknemo združbe kot poslovnega sistema, analiziramo umestitev tehnične funkcije ter kriterije, procese in informacije, potrebne za podporo odločanju. V drugem vsebinskem sklopu, ki obsega tretje poglavje, predstavimo procese odločanja o naložbah v energetiki. Pri tem opišemo lastnosti večkriterijskega odločanja v energetiki, kriterije, ki so značilni za energetiko, probleme in možne rešitve optimizacije naložb. Tretji vsebinski sklop je predstavljen v četrtem in petem poglavju in vsebuje teoretično zasnovo večkriterijske optimizacije in uporabe evolucijskih algoritmov za reševanje večkriterijskih optimizacijskih problemov. V teh dveh poglavjih smo, poleg splošnih ugotovitev o optimizaciji, opisali relacijo dominiranosti in Pareto optimalnost, evolucijske algoritme, diferencialno evolucijo in večkriterijsko optimiranje ter uporabo evolucijskih algoritmov v energetiki. V šestem in sedmem poglavju smo predstavili praktičen primer večkriterijskega optimiranja naložbe v energetiki z evolucijskim algoritmom. Pri tem smo optimirali naložbo v samostojni alternativni sistem oskrbe z električno energijo, ki je sestavljen iz fotonapetostnega sistema, dizelskega agregata in akumulatorskih baterij. Optimirali smo ga glede na dva kriterija in sicer stroške naložbe, obratovanja in vzdrževanja sistema v celotni življenjski dobi ter zanesljivost oskrbe z električno energijo, ki smo jo merili z odstotkom nedobavljene energije. Simulacije in izračune smo predstavili v sedmem poglavju.

2 TEHNIČNE ODLOČITVE IN INFORMACIJSKA PODPORA

2.1 *Uvod*

Tehnične odločitve so odločitve o naložbah v delovna oziroma osnovna sredstva. Naložba v osnovna sredstva obsega, poleg nakupa opreme, tudi namestitvev in pripravo opreme za obratovanje in izgradnjo objektov. Računovodsko gledano lahko kot naložbo poimenujemo nakup tistih delovnih sredstev, za katera obračunamo amortizacijo, ki jo uvrščamo med stroške [Turk in drugi, 2003; 42]. Poleg izdatkov za naložbo in posledično stroškov amortizacije, se ob naložbah običajno spremenijo, povečajo ali zmanjšajo druge prvine poslovnega procesa, kot so potrebna količina delovnih predmetov, število zaposlencev itn. Zaradi tega je pri tehničnih odločitvah potrebno upoštevati in pravilno vrednotiti tudi spremembo tovrstnih stroškov, da ne zaidemo v težave zaradi neusklajenosti prvin poslovnega procesa.

Naložbe lahko delimo na naložbe za nadomestitev, izpopolnitev, razširitev in preusmeritev [Turk in drugi, 2003; 42]. Naložbe za nadomestitev so tiste, pri katerih zamenjamo stara in izrabljena sredstva za istovrstna nova. Mednje ne štejejo tako imenovano naložbeno vzdrževanje, ki le z zamenjavo izrabljenih sestavnih delov ohranja prvotno usposobljenost osnovnih sredstev za uporabo. Naložbe za dopolnitev so tiste, pri katerih zamenjamo še neizrabljena sredstva za nova, ki pa omogočajo zmanjšanje stroškov ali vsaj preprečujejo njihovo povečevanje, ki bi bilo pri starih sredstvih zaradi spremenjenih okoliščin neogibno. Sem vključujemo tudi prenovitve in preureditve oz. rekonstrukcije. O naložbah za razširitev govorimo, kadar vlagamo v dodatna osnovna sredstva ali nadomeščanje obstoječih sredstev z novimi, ki omogočajo povečanje obsega dejavnosti. O naložbah za preusmeritev govorimo, kadar združba kupuje dodatna delovna sredstva ali nadomešča delovna sredstva z novimi, da bi npr. lahko začela proizvodnjo kake nove vrste proizvodov.

Tehnične odločitve so ene najpomembnejših odločitev, ker [Turk in drugi, 2003; 42]:

- za njihovo uresničitev pogosto potrebujemo veliko denarja – ta je vezan dolgoročno in ga ni mogoče uporabiti za drug namen,
- bistveno vplivajo na poslovanje združbe, saj ponavadi zahtevajo spremembo v obratnih sredstvih s povečanjem zalog in terjatev, in
- ima združba na voljo le omejen obseg denarja in če ga uporabi za manj dobičkonosno naložbo, ga ne more za bolj dobičkonosno.

Z naložbami imamo enkratne izdatke danes in več koristi v prihodnosti. Naložba je izdatek, katerega namen je povečevanje prihodnjega dobička in vedno pomeni žrtvovanje porabe sredstev danes za porabo v prihodnosti. Naložbeniki se morajo odločiti, kolikšen del denarnih sredstev porabiti danes in kolikšnega v prihodnosti. Pri tem se pojavljata čas in tveganje kot dve najpomembnejši dimenziji odločanja. Pri odločanju o naložbah in vzdrževanju je odpovedovanje porabi v sedanjosti določeno in gotovo, medtem ko so prihodnje koristi in njihova ocena negotovi. Zaradi tega mora biti celoten proces odločanja oblikovan tako, da je mogoče opravljati revidiranje naložb neprekinjeno in ugotavljati, ali je uresničeno v skladu z načrtovanim. Prav sprotno in neprekinjeno primerjanje načrtovanega z uresničenim je osnova za obvladovanje tveganj.

2.2 Združba kot poslovni sistem

Združbo kot poslovni sistem lahko razdelimo na tri podsisteme [Mihelčič, 2004; 28]:

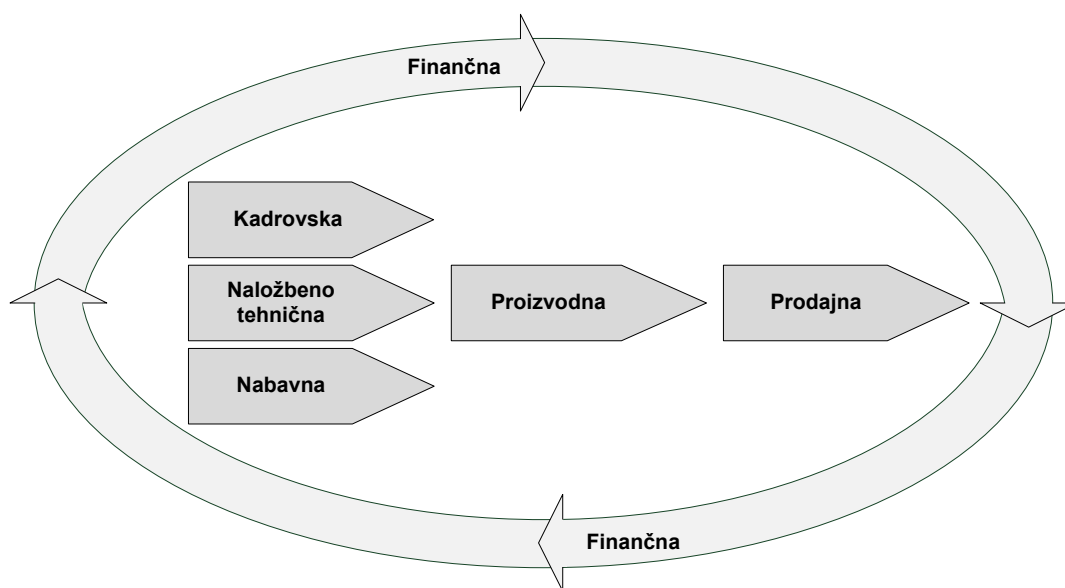
- poslovni ali izvajalni (znotraj njega izvajamo temeljne poslovne funkcije),
- organizacijski (organi upravljanja in ravnateljstva) in v njegovem okviru
- informacijski (povezuje poslovni in organizacijski podsistem).

Večino pomembnih odločitev sprejemamo v funkcijah upravljanja in ravnateljstva, informacije pa pretežno oblikujemo v temeljnih in drugih informacijskih funkcijah. Tu je vzpostavljen informacijski podsistem, ki ta dva podsistema povezuje.

Temeljne poslovne funkcije združbe so (slika 1):

- kadrovska funkcija,
- (naložbeno) tehnična funkcija,
- nabavna funkcija,
- funkcija ustvarjanja poslovnih učinkov (proizvodnja, storitve),
- prodajna funkcija in
- finančna funkcija.

Odločanje o naložbah je del naložbeno-tehnične funkcije.



Slika 1: Temeljne poslovne funkcije združbe [Mihelčič, 2004; 28]

2.3 Tehnična funkcija

Celovita vsebina tehnične funkcije pokriva priskrbo, pripravo, vzdrževanje in varstvo delovnih sredstev [Mihelčič, 2004; 28]. Celotna skrb za delovna sredstva je del tehnične funkcije in zajema vse stopnje od razmišljanja o naložbi v delovna sredstva do odpisov in prodaje sredstev. Tehnična funkcija je v svojem delovanju povezana zlasti z nabavno funkcijo, funkcijo ustvarjanja poslovnih učinkov in finančno funkcijo.

Celotni skrbi za delovna sredstva lahko rečemo tudi ravnanje s tehničnimi sredstvi. Ravnanje s sredstvi (angl. *asset management*) obsega sistematične in usklajene dejavnosti in prakse, z uporabo katerih združba optimalno ravna (angl. *manage*) s sredstvi (angl. *asset*), učinki njihovega delovanja (angl. *performance*), tveganji in stroški v njihovi celotni življenjski dobi z namenom doseganja ciljev strateških načrtov združbe [BSI, 2005; 5].

Cilj ravnanja s sredstvi je celovita obravnava stroškov, tveganj, učinkov in koristi dejavnosti, povezanih s sredstvi združbe. Združba želi uskladiti stroške, povezane s sredstvi, s poslovnimi cilji. Na ta način lahko ravnanje s sredstvi celovito zajame vprašanja, ki se zastavljajo energetske združbi, kot so zagotavljanje zanesljivosti obratovanja, izraba sredstev, načrtovanje naložb, vzdrževanje sredstev, izbira naložbenih projektov in obvladovanje tveganj, ter nanje usklajeno in učinkovito odgovori.

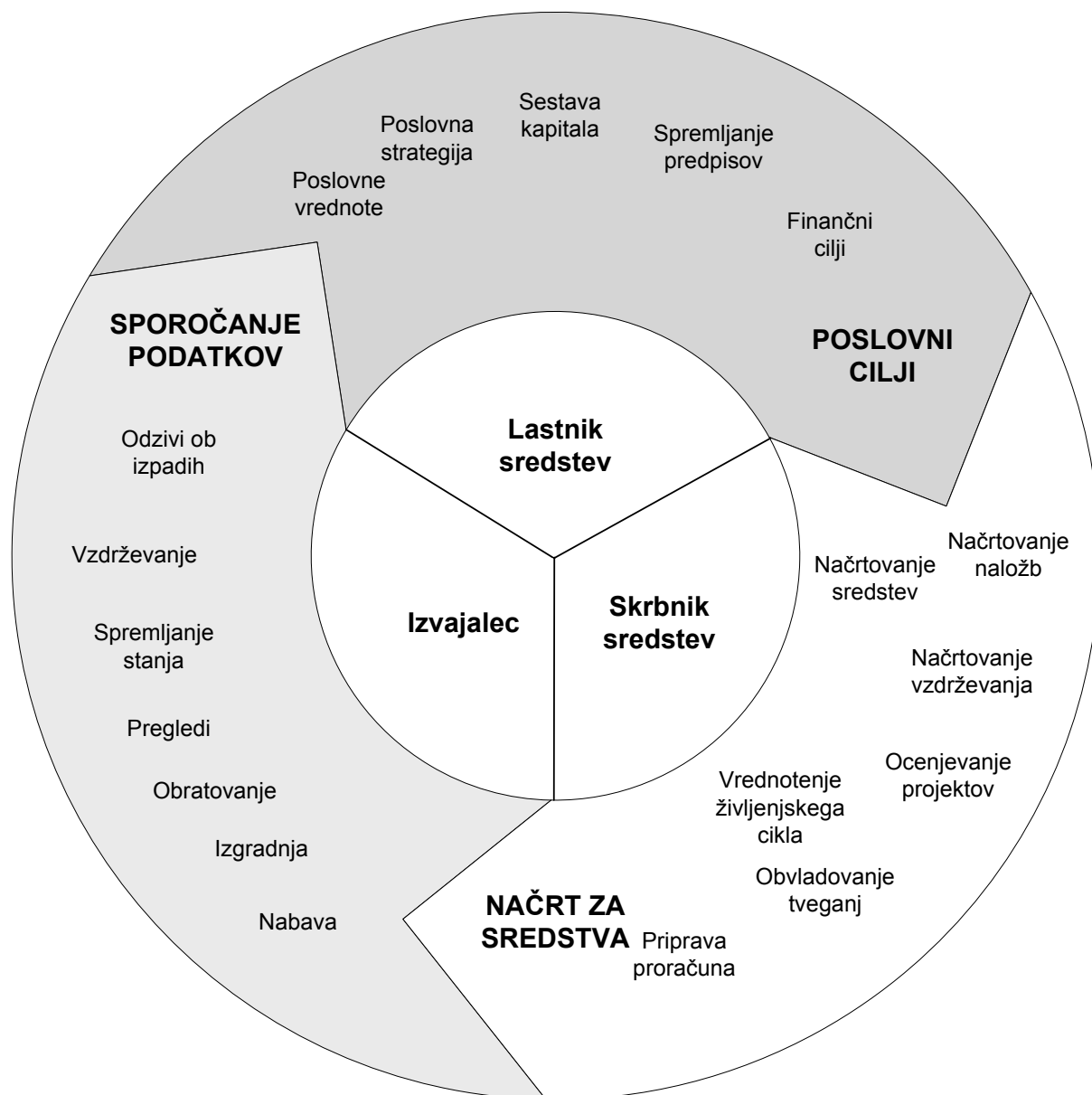
Izraz ravnanje s sredstvi se je prvotno nanašal na finančna sredstva, pri katerih je ključnega pomena razmerje med tveganji in dobičkom. Naložbeniki določijo sprejemljivo tveganje in nato sprejmejo ukrepe za doseganje maksimalnega dobička ob mejnem tveganju. Podobne metode so uporabne tudi pri ravnanju s sredstvi energetske infrastrukture, še posebej obravnava tveganj, povezanih z obratovanjem. Tu tveganje opredelimo kot negotovo raven doseganja predpisane zanesljivosti delovanja. Seveda so tovrstna sredstva težavnejša za ravnanje, saj morajo dosegati tudi cilje delovanja, ki se ne izražajo v denarnih vrednostih, so v svoji uporabi specifična in zelo težko najdejo alternativno področje za uporabo, zahtevajo vzdrževanje in so del zapletenega tehničnega sistema.

Ravnanje s sredstvi na enem mestu in celovito obravnava vse odločitve, povezane z naložbami in vzdrževanjem sredstev. Naložbe in vzdrževalne posege je potrebno razvrstiti po učinkovitosti glede na enoten nabor meril tako, da omogočajo največje koristi, pri čemer se usklajujejo cilji podjetja, njegove poslovne in tehnične odločitve. Ravnanje s sredstvi zahteva poslovne procese in informacijske sisteme, ki omogočajo kakovostno načrtovanje in odločanje, izvajanje naložbenih in vzdrževalskih odločitev, ki temeljijo na podatkih o opremi, ter računovodsko nadziranje porabe finančnih sredstev. Izid ravnanja s sredstvi je uresničenje srednje- in dolgoročnih naložbenih načrtov, ki prinaša največjo poslovno vrednost ob upoštevanju obratovalnih zahtev ter omejitev glede ciljnih stroškov in tveganj. Načrt omogoča učinkovito obvladovanje tveganj, manjše izdatke in izvajanje poslovne strategije v celotnem podjetju.

Tri ključne vloge pri ravnanju s sredstvi so [Brown, 2004; 6]:

- Lastnik sredstev (lastnik združbe, predstavnik lastnika) določa ekonomske in tehnične kriterije (sodila) in omejitve ter sprejemljivo raven tveganj in jih opredeli kot del poslovne strategije podjetja.
- Skrbnik sredstev (npr. ravnatelj oddelka naložb in vzdrževanja), čigar naloga je »prevod« kriterijev v načrt naložb in vzdrževanja sredstev. Njegova poglavitna naloga je načrtovanje in priprava proračuna za naložbe in vzdrževanje. Določi najboljši način za doseganje ciljev in ga zabeleži v večletni načrt ravnanja s sredstvi.
- Izvajalec (izvajalec izgradnje sistema, vzdrževalec), ki načrt ravnanja s sredstvi izvaja. Pri tem stremi k čim boljšemu obratovanju sistema, obenem pa skrbi za zajem podatkov in poročanje o dejanskih stroških in učinkih ukrepov.

Ravnanje s sredstvi predstavlja proces, ki združuje vse tri vloge. V njem nosilci sprejemajo odločitve v skladu s poslovnimi cilji na enovitem naboru podatkov (slika 2).



Slika 2: Prepletanje nalog treh ključnih vlog pri ravnanju s sredstvi: lastnik, skrbnik sredstev in izvajalec [Brown, 2004; 6]

2.4 Delovna sredstva

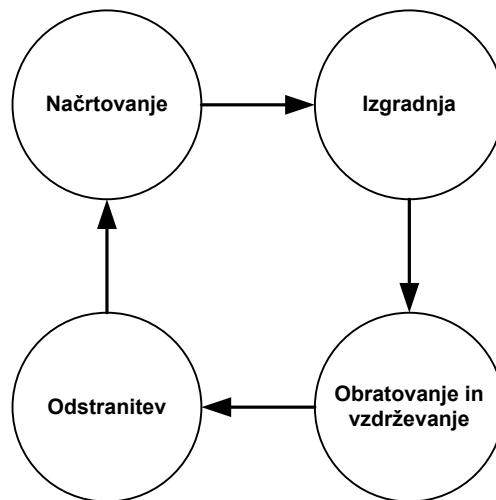
2.4.1 Uvod

Da bi zaposleni lahko učinkovito opravljali svoje delo, potrebujejo delovna sredstva. Delovna sredstva v elektroenergetiki zajemajo objekte, naprave in omrežja za proizvodnjo, prenos in razdeljevanje električne energije. Objekte za proizvodnjo električne energije sestavljajo elektrarne in naprave za sproizvodnjo električne energije in toplote ter njihovi sestavni deli. Prenosni sistem električne energije je sestavljen iz daljnovodov in drugih kablovodov nad 110 kV napetosti, razdelilnih transformatorskih postaj, razdelilnih postaj, dispečerskega centra, omrežja ter drugih objektov in naprav, ki so potrebni za izvajanje gospodarskih javnih služb na področju prenosa električne energije. Distribucijski sistem za razdeljevanje električne energije je sestavljen iz daljnovodov in drugih kablovodov pod 110

kV napetosti, transformatorskih postaj, energetskih transformatorjev, distribucijskega centra vodenja ter drugih objektov, naprav in omrežja.

Posamezno tehnično sredstvo gre skozi naslednje stopnje življenjskega cikla (slika 3) [Victorian Government, 1995; 1]:

- zaznavanje in opredelitev potreb, kjer se načrtujejo in uvajajo zahteve za nova sredstva,
- stopnja pridobivanja, kjer sredstva kupujejo, gradijo ali kako drugače ustvarjajo,
- stopnja obratovanja in vzdrževanja, kjer sredstva uporabljajo, ter izvajajo preнове in naložbeno vzdrževanje,
- stopnja odstranitve po izteku, ko se izteče ekonomska življenjska doba sredstva ali ko sredstva več ne potrebujemo.



Slika 3: Življenjski cikel sredstev [Victorian Government, 1995; 3]

Odločitve o sredstvih v neki stopnji lahko vplivajo na njihovo učinkovitost v neki drugi stopnji. Na primer, odločitev o izbiri sredstva z minimalnimi nabavnimi stroški v stopnji pridobivanja lahko negativno vpliva na dolgoročne stroške obratovanja in vzdrževanja. Nezadostno vzdrževanje lahko povzroči potrebo po večjih popravilih ali pa skrajša dobo koristnosti sredstva. Lahko tudi vpliva na maksimalno korist pri »upokojitvi« sredstva.

Po drugi strani dobro ravnanje s sredstvi lahko podaljša njihovo življenjsko dobo in odloži potrebo po zamenjavi. Zasnutek "življenjskega cikla sredstva" je usmerjen k razumevanju teh vplivov in ravnateljem pomaga sprejemati odločitve v zvezi s sredstvi v celotni življenjski dobi. Pri ocenjevanju dolgoročnih učinkov posameznih odločitev o sredstvih so pogosto uporabne tehnike ekonomskega vrednotenja, kot je npr. ugotavljanje diskontiranega denarnega toka. Omejevanje odgovornosti skrbnikov sredstev na eno samo stopnjo celotnega življenjskega cikla (kot je pridobivanje ali obratovanje in vzdrževanje) privede do manj kakovostnih oziroma manj celovitih odločitev o sredstvih. Skrbnik sredstev naj bi bil odgovoren za vse dolgoročne in kratkoročne odločitve, ki se nanašajo na posamezno sredstvo v celotnem življenjskem ciklu.

Osnovna naloga skrbnika sredstev je omogočiti kakovostno uporabo in obratovanje tehničnih sredstev ter opravljanje storitev. Naloge vključujejo pridobivanje, uporabo in odstranitev

sredstev ter obvladovanje tveganj in stroškov v vseh stopnjah življenjskega cikla sredstev. Ravnanje s sredstvi naj bi potekalo:

- po načelih življenjskega cikla,
- glede na potrebe uporabnikov,
- glede na zakonodajo in
- v skladu s cilji podjetja.

2.4.2 Načrtovanje

Pravilno načrtovanje zagotavlja, da bo imel danes naloženi denar trajnejšo vrednost. Celovito načrtovanje obravnava naložbene projekte skupaj z obratovanjem elementov ter projekti in programi vzdrževanja in jih izbira tako, da dosega ciljno kakovost delovanja in raven tveganja ob najmanjših stroških življenjskega cikla sredstev. Pri načrtovanju naj bi se upoštevali vsi vplivi na delovanje elementov in tveganje. Načrtovanje sredstev obsega hkratno načrtovanje naložbenih izdatkov ter stroškov obratovanja in vzdrževanja. Ob upoštevanju poslovnih ciljev podjetja z načrtovanjem celovito obravnavamo vse stroške v celotni življenjski dobi sredstev.

2.4.3 Naložbe v novo opremo

Naložbe v novo opremo najpogosteje sestavljata dve nalogi – zamenjava obstoječe opreme in nadgrajevanje oziroma širjenje opreme obstoječega elektroenergetskega sistema. Obstaja več razlogov za zamenjavo opreme:

- Oprema je bodisi odpovedala bodisi obstaja velika verjetnost za to. Za ugotavljanje tveganja odpovedi lahko uporabimo ugotavljanje stanja ali statistične analize na populaciji tipa opreme.
- Oprema ne more opravljati svojih nalog zaradi premajhne zmogljivosti ali pogostih okvar.
- Oprema je zastarela. Dejavniki, ki to določajo, so nezmožnost nakupa rezervnih delov, zapletenost vzdrževanja ali pa premalo tehničnega znanja za vzdrževanje.
- Oprema je presegla svojo življenjsko dobo po kriterijih, kot so starost, ekonomska življenjska doba, cena tveganja in predpisi. Določitev ekonomske življenjske dobe je odvisna od metode razvrednotenja sredstev ali pa načina določanja preostale vrednosti (npr. na podlagi amortizirane vrednosti sredstev) [Crisp, 2005; 8].

Stopnje zamenjave opreme zaradi okvar določa pogostost okvar. Vzroki tako slabega stanja opreme, da potrebuje zamenjavo, so enaki tistim, ki povzročijo okvaro v stopnji obrabe. Ob uporabi načrtnega vzdrževanja se okvari lahko izognemo, saj opravimo zamenjavo, preden tehnično sredstvo odpove. Pripravljenost na obratovanje je povezana z naraščanjem obremenitve, vendar se to običajno obravnava kot nadgrajevanje sistema in ne kot zamenjava enot. Opremo le redko zamenjamo zaradi zastarelosti, zato ni verjetno, da bo zamenjana oprema imela velik vpliv na skupno stopnjo zamenjav opreme. Na odločitev o koncu življenjske dobe posameznega elementa vplivajo kriteriji, ki jih uporabljamo za določitev zamenjave. Če je starost uvrščena med te kriterije, bo del stare opreme vplival na skupno stopnjo zamenjav opreme. Obravnavanje zamenjave kot naložbo ali kot vzdrževanje lahko vpliva tudi na ekonomsko življenjsko dobo. V podjetjih, ki so v lasti vlagateljev, bodo delničarji naložbe ponavadi obravnavali kot nekaj pozitivnega, povečano vzdrževanje pa kot

nekaj negativnega [Crisp, 2005; 8]. Če koristi zamenjave sredstev niso zadovoljive, bo zamenjava sredstev iz razlogov drugačnih, kot je odpoved, najverjetneje zelo majhna.

2.4.4 Staranje sredstev

V večini energetskih podjetij po svetu je povprečna starost opreme preko 30 let. Odločiti se je torej treba, ali zamenjati delujočo opremo le zaradi starosti ali sprejeti tveganje hkratne odpovedi večjega števila elementov. Slednja možnost lahko močno zmanjša zanesljivost delovanja opreme, za seboj pa potegne veliko trenutno finančno breme, saj je treba okvarjene elemente takoj popraviti ali zamenjati.

Izraz staranje se v splošnem nanaša na notranji proces poslabševanja lastnosti komponent opreme ali konstrukcij. Vsako poslabšanje pa poveča možnost okvare. Možnost okvare se dodatno poveča, če se povečuje obremenitev, ki ji je izpostavljena oprema. Ko obremenitev preseže raven izrabe zmogljivosti, ki jo naprava še prenese, postane naprava poddimenzionirana ali zastarela.

2.4.5 Zanesljivost

V luči vse pogostejših razpadov elektroenergetskih sistemov na območju Evropske zveze oblikujejo nove strategije za zagotavljanje zanesljivosti dobave električne energije. Zanesljivost dobave je nedvomno eden najpomembnejših kazalnikov uspešnosti poslovanja energetskega podjetja. Podjetje mora dosegati predpisano raven zanesljivosti, obenem pa obvladovati tveganje neizpolnjevanja zahtev. Pri ravnanju s sredstvi zanesljivost obravnavajo neposredno, glede na podatke o preteklem delovanju, izvedenih posegih in stroških opreme. Celovito obravnavajo odločitve o izgradnji, zamenjavi, obratovanju, nadzoru in vzdrževanju posameznega elementa. Zanesljivost, kot del ravnanja s sredstvi, je ključna pri obravnavi obratovalne učinkovitosti, stroškov in tveganj.

2.4.6 Izraba sredstev

Energetska podjetja se pogosto srečujejo s problemom preobremenjene opreme, s čimer se ji skrajšuje življenjska doba. Povečana obremenitev, in s tem izraba opreme, bi podjetju omogočila, da zmanjša naložbene izdatke in poveča donos na naložbeni kapital. S tem se zmanjšujejo stroški in povečuje tveganje odpovedi, vendar na nepregleden način. Po drugi strani so nekateri elementi podobremenjeni, kar bi lahko označili bodisi kot načrtovan presežek (redundanco) bodisi kot slabo načrtovanje.

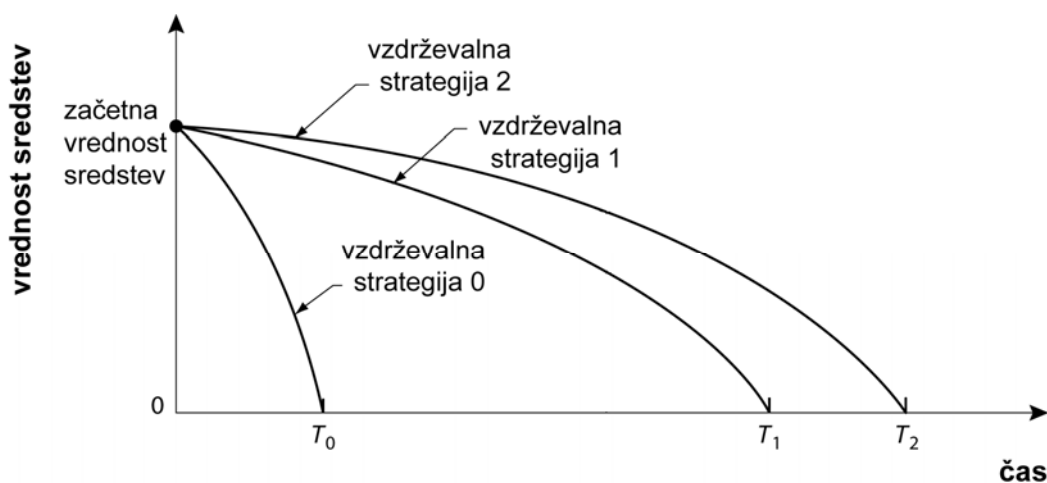
Pri ravnanju s sredstvi je potrebno ovrednotiti vpliv povečanja obremenitve sredstev oziroma energetskega sistema na zanesljivost delovanja, tveganja in stroške ter zagotoviti, da ostanejo znotraj predpisanih meja.

2.4.7 Vzdrževanje

Vzdrževanje sredstev lahko opredelijo kot dejavnost, pri kateri ima neokvarjena oprema od časa do časa ustavljeno, zmanjšano ali odpravljen slabšanje. Če se slabšanje povečuje, se vrednost sredstev manjša [Endrenyi, 2006; 14], [IEEE, 2001; 22]. Odnos med vrednostjo sredstev in časom, vzdrževanjem ter zanesljivostjo prikazujejo krivulje vrednosti sredstev v življenjski dobi na sliki 4 [Endrenyi, 2006; 14].

Ker vrednosti sredstev v življenjski dobi temeljijo na verjetnostnih metodah, časi na sliki pomenijo povprečne čase. Slika prikazuje tri strategije vzdrževanja, kjer pri strategiji 0 ni vzdrževanja opreme, medtem ko strategiji 1 in 2 predstavljata dva različna načina vzdrževanja. Če opredelijo okvaro kot stanje opreme, kjer je ustvarjalna vrednost opreme nič, in življenjsko dobo kot srednji čas do okvare, vidimo, da je zanesljivost delovanja opreme povezana z življenjsko dobo.

Opazimo lahko podaljšanje življenjske dobe s T_0 na T_1 pri strategiji 1 in s T_0 na T_2 pri strategiji 2. Če zamenjamo strategijo 1 s strategijo 2 vidimo, da se življenjska doba podaljša s T_1 na T_2 . Kar se tiče zanesljivosti, je strategija 2 boljša od strategije 1. Očitno je, da vzdrževanje vpliva na opremo in razpoložljivost sistema. Različno vzdrževanje ima različno ceno, zato morajo biti povečani stroški pri pogostejšem vzdrževanju upravičeni s povečano koristjo izboljšane vzdrževanja. Pri upoštevanju stroškov vzdrževanja pa se lahko izkaže, da je strategija 2 predraga in je zato strategija 1 optimalna.



Slika 4: Krivulje vrednosti sredstev v življenjski dobi [Endrenyi, 2006; 14]

2.4.8 Obvladovanje tveganj

Izraz tveganje se pogosto povezuje le s finančnimi tveganji, obratovalna in druga fizična tveganja pa se pomotoma izloča iz celovite obravnave tveganj. Namesto da bi tveganja obravnavali ločeno pri vsakem predlaganem projektu, jih je treba obravnavati celovito kot tveganje, da podjetje ne doseže ciljne uspešnosti (npr. zanesljivosti, okoljskega vpliva in kakovosti). Cilji morajo vsebovati tudi sprejemljivo tveganje (npr. zanesljivost višja od X z 90% verjetnostjo). Na ta način lahko podjetje zagotovi, da je posamezen izpad napajanja porabnikov električne energije le osamljen primer v 10 letih in da sistem obratuje po načrtih. Zato pa je treba poznati stanje opreme, vpliv obratovanja in vzdrževanja nanjo ter vpliv stanja opreme na verjetnost izpada.

Pri ravnanju s sredstvi je potrebno vzpostaviti take informacijske sisteme in poslovne procese, ki omogočajo obvladovanje tehničnih tveganj v sklopu obratovanja, nadzora, vzdrževanja, zamenjav in nadgradnje energetskega sistema. Načrt obvladovanja tehničnega tveganja je del celovitega poslovnega načrta obvladovanja tveganj in mora zajemati tudi varovanje tveganj, stvarne možnosti, scenarijsko analizo, ceno denarja, zakonodajo in razmerja z javnostmi. Obvladovanje tveganj je neposreden cilj ravnanja s sredstvi in mora zato postati ključno znanje energetskega podjetja.

2.5 Načrtovanje naložb

Večina infrastrukture, ki omogoča oskrbo z energijo, oskrbo z vodo, zdravstvene storitve, prevoz in drugo, danes zahteva obsežne in pomembne naložbe. Danes, bolj kot kdajkoli prej, so starajoča se sredstva, povezana z omejitvami pri naložbah in izgradnji, pripeljala do tega, da je načrtovanje in ravnanje s sredstvi postala kritična dejavnost. Poleg tega so elektroenergetska podjetja pogosto omejena z okoljskimi in varnostnimi standardi, kar povečuje pomembnost vrednotenja neekonomskih vidikov naložb. Tako morajo odločitve o naložbah zadovoljiti veliko zahtev deležnikov, kar pomembno vpliva na povečanje celotnega učinka. Učinkovito načrtovanje naložb potrebuje pristop, ki povezuje načrtovalne informacije s stanjem, zmogljivostjo in zanesljivostjo delovanja sredstev. Poleg tega je pomembno povezati zahteve vzdrževanja z ekonomskimi informacijami kot so vrednost sredstev, obveznosti itn.

Učinkovito povezovanje tehničnega in finančnega načrtovanja je bistveno za optimizacijo razporeditve finančnih sredstev in dolgoročno učinkovitost naložb. Vključevanje učinkovitega načrtovanja naložb in vzdrževanja sredstev v procese načrtovanja poslovanja povečuje natančnost napovedi in pomaga k optimalni razporeditvi porabe prvin, tako da povečamo vrednost in obvladujemo tveganja. Učinkovito načrtovanje naložb v sredstva zahteva povezavo naložbenih načrtov s strateškimi načrti podjetja. S primernimi procesi, informacijami in namensko razvitimi matematičnimi modeli lahko podjetja izdelajo naložbene načrte, ki uravnovesijo dobičkonosnost, učinkovitost in tveganja tako, da lahko dolgoročno povečajo osnovno vrednost baze sredstev.

Zato je pri tehničnih odločitvah potrebno:

- uporabljati kakovostne podatke za prepoznavo večletnih naložbenih potreb,
- izbirati (angl. *trade-off*) med novimi naložbami in povečanim obsegom vzdrževanja,
- optimirati večletne izdatke, ki vplivajo na več kazalnikov obratovanja in poslovanja,
- modelirati dolgoročen vpliv naložb in vzdrževanja na zanesljivost in ekonomsko učinkovitost obratovanja in vzdrževanja,
- razvijati in analizirati finančna poročila, ki izhajajo iz uporabe sredstev,
- izvajati analize stroškov in prihodkov v celotnem življenjskem ciklu,
- uporabljati tehnike vrednotenja, ki temeljijo na diskontiranem denarnem toku,
- analizirati, vrednotiti in obvladovati tveganja ter
- izboljševati preglednost odločanja in komuniciranja.

Dolgoročno načrtovanje v podjetju je ponavadi usmerjeno v možnosti pridobivanja novih zmogljivosti za proizvodnjo, prenos in razdeljevanje energije, s katerimi lahko zadovoljimo dolgoročno rast porabe ter dolgoročno optimiramo stroške in koristi.

Kritični dejavnik pri maksimiranju vrednosti sredstev je razumevanje zmogljivosti in »zdravja«
obstojećih sredstev glede na cilje poslovanja, elektroenergetske potrebe in namen sredstev. Poznavanje teh razsežnosti omogoča sistematizacijo zahtev odjemalcev glede na zmogljivosti obstojećih sredstev. Poznavanje stanja sredstev nam pomaga razumeti njihovo celotno vrednost in izboljšuje kakovost načrtovanja.

Učinkovito načrtovanje naložb v sredstva uravnava izgradnjo, uporabo, vzdrževanje in razgradnjo sredstev s cilji podjetja in poslovnim okoljem. To od podjetja zahteva zmožnost sistemiziranja namena in vrednosti sredstev znotraj okvira skupnih strateških usmeritev

podjetja. Večina podjetij zelo dobro določa cilje. Prav tako je veliko podjetij uspešnih pri določanju omejitev, kot sta npr. omejitev zneskov v letnem proračunu obratovanja in vzdrževanja. Malo pa je podjetij, ki so sposobna analizirati vpliv teh omejitev na poslovanje podjetja, zanesljivost oskrbe z energijo ter tveganja.

Učinkovito načrtovanje naložb zahteva, da načrtovalci in odločevalci vidijo potrebe celotnega življenjskega cikla sredstev (in ne samo posameznih delov) na osnovi vrednosti vseh sredstev. Večina naložbeno intenzivnih podjetij izdeluje letne načrte kot seznam posameznih projektov in ponavljajočih se vzdrževalnih del. Posamezni projekti so lahko tudi projekti, pri katerih poteka zamenjava samo enega kosa opreme. Primer tega je zamenjava stikala v razdelilni transformatorski postaji. Korist take naložbe je pogojena s koristjo celotnega daljnovoda, ki se napaja preko tega stikala. Odločanje o posameznih naložbah lahko pripelje do lokalnega optimuma pri razporejanju prvin skozi celotno življenjsko dobo sredstev in povečuje tveganje nasedle naložbe. Razumevanje vrednosti celotne baze sredstev (angl. *asset base*) zmanjšuje tveganje nastopa nasedlih naložb, izboljša optimiranje porazdelitve prvin in poveča verjetnost doseganja skupnih ciljev.

Ob opredeljenih ciljnih podjetja je potrebno izdelati večletni seznam naložb tako, da so koristi največje znotraj zahtevanih omejitev. Končno razvrstitev naložb dosežemo po večjem številu iteracij, ki obsegajo ocenjevanje in razporejanje, matematično optimizacijo in vrednotenje večletnih ekonomskih vplivov, da ugotovijo vrednost ekonomskim in neekonomskim kazalnikom. Ekonomski kazalci, kot so prihodki, izdatki, denarni tok in finančna tveganja, omogočajo izbiro med stroški obratovanja in vzdrževanja ter naložbenimi izdatki. Neekonomski kazalci omogočajo izbiro najučinkovitejših naložb glede na neekonomske kriterije. Učinke naložb se meri v »naravnih« enotah. Te so npr. izpad dobavljene energije kot kriterij zanesljivosti, število poškodb kot kriterij varnosti na delu, količina izpustov toplogrednih plinov kot kriterij okoljevarstvenih zahtev in stroški vzdrževanja kot ekonomski kriterij.

Za vsak projekt oz. naložbo je potrebno določiti njen učinek na izbrane kazalnike poslovanja. Tako opredeljeno množico projektov imenujemo portfelj projektov. Iz tega portfelja je potrebno izbrati projekte, ki zadovoljujejo vse opredeljene cilje ob izbranih kriterijih. V primeru, da nimamo na voljo dovolj finančnih sredstev za vse potrebne naložbe, je potrebno sprejeti kompromis glede zniževanja vrednosti kriterijev.

Dolga življenjska doba naložb in potreba po oceni prihodnje vrednosti denarja zahtevata izdelavo večletnih proračunov. Ti nam pomagajo, da v nekaj letih dosežemo določene poslovne cilje. S finančnimi sredstvi, ki so na voljo v enem letu, običajno ni možno doseči vseh poslovnih ciljev, kot je npr. željena raven zanesljivosti obratovanja. To raven lahko dosežemo v nekaj letih tako, da jo letno izboljšujemo.

Razvijanje natančnega in discipliniranega procesa razvrščanja naložb, katerega učinek je razvrstitev pomembnosti posameznih naložb in s tem lestvica projektov po pomembnosti, izboljša komuniciranje znotraj združbe in razumevanje, zakaj so določene odločitve sprejete, poveča možnost sprejema odločitev za naložbe in izboljša verjetnost potrditve uspešnih naložb.

Poleg učinkovitega večletnega načrtovanja ter natančnega in discipliniranega procesa razvrščanja naložb je za pridobivanje podpore vseh deležnikov, kot so odjemalci, državne agencije in regulatorji, pomembno pregledno odločanje. Tudi vpliv zakonodaje na načrtovanje, povezano z naložbami v javnem sektorju povečuje potrebo po preglednosti načrtovanja.

Učinkovito načrtovanje naložb izboljša tudi obvladovanje tveganj. Celovito ogrodje za načrtovanje naložb in obvladovanje tveganj zagotavlja skladnost analiz. Celovit pristop k načrtovanju omogoča, da so priložnosti in tveganja jasno opredeljena, kar je nujno potreben prvi korak pri vzpostavitvi odprtega in preglednega procesa odločanja. Končno pa to pripelje do izboljšanega zaupanja deležnikov.

Pri strateškem ravnanju s sredstvi se srečujemo z dvema osnovnima vrstama tveganj, in sicer z ekonomskimi tveganji in obratovalnimi oz. operativnimi tveganji. Ekonomska tveganja so povezana predvsem z načrtovano ekonomsko upravičenostjo naložb. Lahko se zgodi, da prihodnje koristi in/ali stroški ne dosegajo načrtovanih vrednosti. Ekonomska tveganja ocenjujemo predvsem s pravilno izbiro diskontne stopnje in občutljivostnimi analizami.

Ocena tveganja učinkov naložb oz. obratovanja in poslovanja so bolj problematična. Na začetku je potrebno določiti raven tveganja izidov poslovanja »brez naložbe«. Za vsako različico naložbe se določi dovoljena raven tveganja doseganja učinkov poslovanja. Tveganja vključujejo tudi verjetnost nedoseganja učinkov poslovanja. Na začetku opredelimo raven zaupanja. Če kot cilj določimo npr. 95% razpoložljivost agregatov, smo določili cilj učinkov obratovanja in poslovanja. Če pa določimo tudi 10% raven zaupanja, smo določili tudi tveganje doseganja učinka. Nato je možno uporabiti različne metode in verjetnostno obravnavati tveganja. S tem dosežemo, da naložena sredstva ne izboljšujejo samo učinkov poslovanja, ampak povečamo tudi napovedljivost učinkov.

Uspešno načrtovanje naložb zahteva učinkovito komuniciranje med posameznimi enotami znotraj podjetja. Čeprav »tehnik« vedo, da je razumevanje stanja sredstev in njihovih zmogljivosti prvi pogoj za uspešno načrtovanje, se še vedno pogosto dogaja, da je to znanje težko predočiti »ekonomistom«. Kar je za inženirje »zdravo razumsko«, je lahko popolnoma nerazumljivo »ekonomskim« odločevalcem. Uporaba celovitih tehnično-ekonomskih analiz lahko premosti to vrzel in izboljša zaupanje v odločitve skrbnika sredstev. Naložbeni načrti morajo podati odgovor na vprašanje, zakaj je predlagani portfelj naložb in z njim povezani izdatki, najprimernejši.

2.6 Ravnanje s sredstvi in odločanje

V procesu ravnanja s sredstvi se je potrebno venomer odločati o poslovnih dogodkih, ki povzročajo spremembe na tehničnih sredstvih ter stroških oziroma odhodkih in prihodkih. Poslovni dogodek je kakovostno, količinsko, prostorsko, vrednostno in časovno opredeljena enota poslovnega procesa oziroma najmanjši pripetljaj pri poslovnem procesu, ki povzroča spremembe na sredstvih, obveznostih do virov sredstev, prihodkih in odhodkih. V procesu odločanja o poslovnem procesu in posameznih poslovnih dogodkih kaže razlikovati več skupin odločitev glede na njihovo izvornost in izvedbo, in sicer [Turk in drugi, 2003; 42]:

- strateške: odločitve o smotru poslovanja in smernicah poslovne politike,
- taktične: odločitve o podrobnejši določitvi poslovne politike s kratkoročnimi cilji,
- bolj izvajalne: odločitve o podrobnejši določitvi pogojev za uresničevanje ciljev in
- izključno izvajalne: odločitve o sprotnem izvajanju poslovanja.

Glede na raven tveganja lahko odločitve členimo na tiste [Turk in drugi, 2003; 42]:

- z gotovostjo – vsak ukrep vodi k vnaprej natanko znanemu procesu ali stanju, pri čemer so znane posledice,
- s tveganjem – vsak ukrep vodi k več možnim procesom ali stanjem, pri čemer je znana verjetnost za nastop vsakega izmed njih in

- z negotovostjo – vrsta možnih procesov ali stanj, pri čemer niso znane verjetnosti nastopa vsakega izmed njih [Turk in drugi, 2003; 42].

Strateške odločitve so večinoma odločitve z negotovostjo, predvsem zaradi daljšega časovnega obdobja (30 in več let), medtem ko so izključno izvajalne odločitve z gotovostjo. Vmes med tema dvema skupinama se nahajajo taktične oziroma bolj izvajalne odločitve, za katere lahko rečemo, da zaradi krajšega časovnega obdobja lahko verjetnost nastopa tveganj ocenimo.

Ravnanje s tehničnimi sredstvi obsega:

- pridobivanje informacij o stanju naprav in opreme (vizualni pregledi, diagnostika, obratovalni podatki),
- analizo podatkov (razlaga in analiza pridobljenih informacij),
- opredelitev potreb in priložnosti,
- izdelavo predloga naložbenih projektov in vzdrževalnih del – različice rešitev,
- analizo učinkov, stroškov in koristi predlaganih projektov in vzdrževalnih del,
- oceno in obvladovanje tveganj,
- optimalno porazdelitev naložbenih izdatkov, stroškov obratovanja in vzdrževanja ter razvrščanje projektov,
- izdelavo naložbenega načrta,
- odločanje in potrjevanje načrta,
- izvedbo naložbenih projektov in vzdrževalnih del,
- poročanje in izmenjavo podatkov o obratovanju in vzdrževanju,
- primerjavo načrtovanih učinkov, stroškov in koristi z dejanskimi.

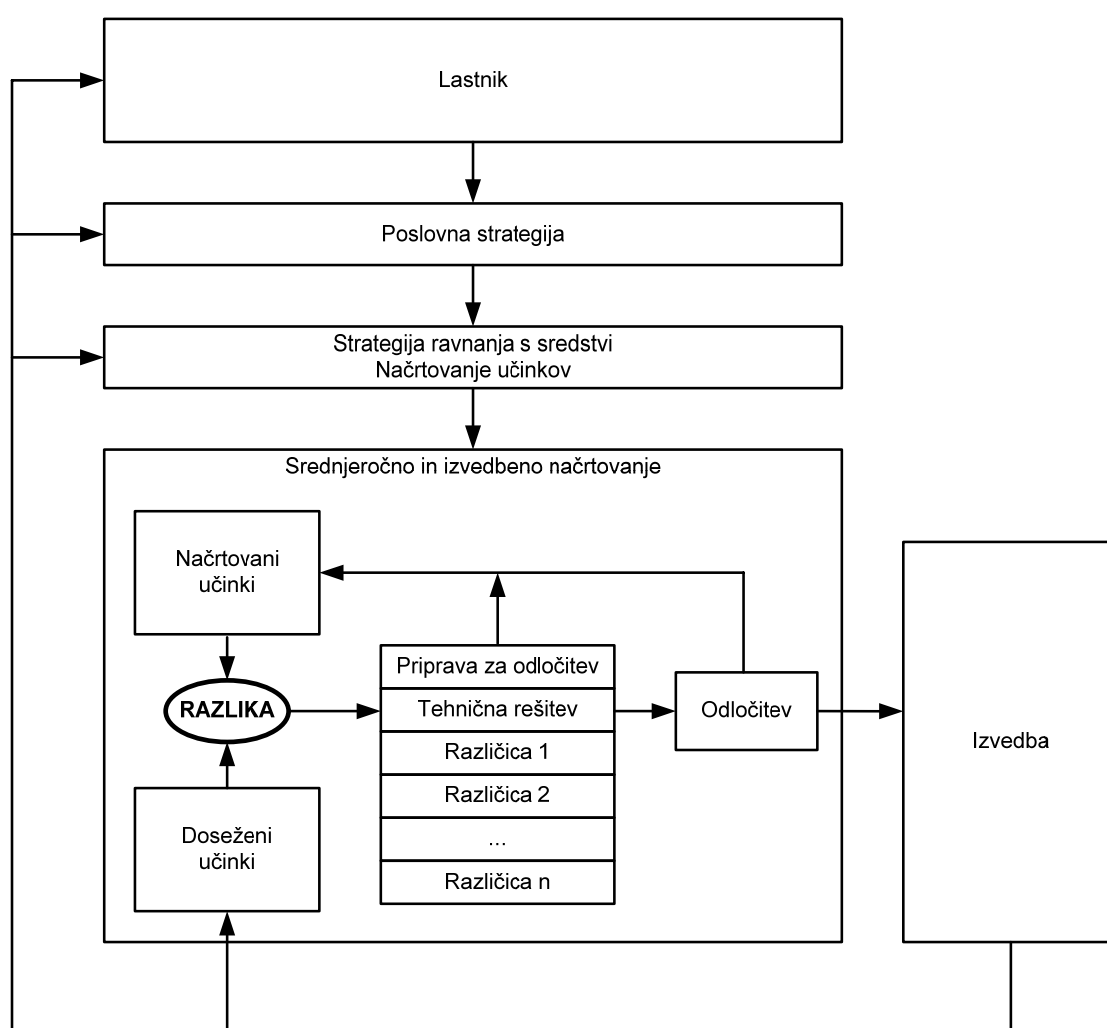
Tako vidimo, da je načrtovanje in z njim povezano odločanje bistvo ravnanja s sredstvi (slika 5). Osnova za načrtovanje oziroma odločanje je ugotavljanje trenutno doseženih tehničnih in ekonomskih učinkov obratovanja ter primerjava z načrtovanimi. Načrtovane vrednosti učinkov so opredeljene v strategiji ravnanja s sredstvi, ki izhaja iz poslovne strategije, opredeljene od lastnika oziroma ravnatelja družbe. Na osnovi primerjave med doseženimi in načrtovanimi učinki poslovanja se oblikujejo različice naložb ter programi vzdrževanja sredstev. Različice vrednotimo glede na stroške in koristi. Pri tem so stroški vedno del ekonomskih kriterijev, medtem ko se koristi lahko izrazijo s pomočjo denarnih in nedenarnih izrazov. Iz množice rešitev in njihovih različic izberemo najprimernejše oziroma optimalne.

Z ravnanjem s sredstvi elektroenergetskega sistema so povezane odločitve o:

- začetku iskanja rešitve zaradi razlike med zahtevanimi in doseženimi učinki obratovanja elektroenergetskega sistema,
- uvrstitvi različic določene rešitve v množico (portfelj) možnih naložb,
- (ne)izbiri različic naložbe,
- časovnih rokov za izvedbo naložbe,
- izdaji soglasja lastnika k načrtu ravnanja s sredstvi,
- odobrenih finančnih sredstvih za potrebe naložb in vzdrževanja,
- časovnem načrtu izvedbe naložb,

- dejanski tehnični rešitvi naložbe,
- koncu izvedbe naložbe in začetku obratovanja,
- načinu obratovanja sredstev (preobremenitve, nazivno obratovalno stanje itn.),
- vzdrževanju sredstev (pregledi, obdobjno vzdrževanje, vzdrževanje ob okvarah, naložbeno vzdrževanje),
- (pre)vrednotenju sredstev,
- načinu amortiziranja sredstev,
- zamenjavi oziroma »upokojitvi« sredstev,
- odprodaji sredstev itn.

Zato lahko rečemo, da je odločanje ena najpomembnejših dejavnosti, povezanih z ravnanjem s sredstvi.



Slika 5: Proces odločanja v ravnanju s sredstvi [prirejeno po Gyimothy, Dunaj, 2005; 20]

2.7 Kriteriji za odločanje

Namesto odločanja po navdihu in »zdravi pameti«, ki je kasneje le formalno dopolnjeno z ustreznimi pojasnjevalnimi podatki, naj bi čim bolj prevladalo odločanje na podlagi

objektivno zasnovanih kriterijev. Kriterije za odločanje lahko razdelimo na kriterije za odločanje o:

- naložbah za nadomestitev in dopolnitev in
- naložbah za razširitev in preusmeritev.

V prvem primeru se odločamo o tem, ali obdržati staro delovno sredstvo, ki ga je morda potrebno popraviti ali nadomestiti z novim. Odločamo se med starim sredstvom in več različicami nakupa novega sredstva, namenjenega istemu poslovanju.

V drugem primeru pa se odločamo o tem, ali sploh kupiti kako delovno sredstvo oz. napravo in za katero od različic se odločiti. Odločamo se torej med starim in novim mogočim načinom poslovanja ter razmišljamo o različicah delovnih sredstev pri novem načinu poslovanja.

Za izbiro posamezne naložbe potrebujemo kriterije, ki:

- omogočajo, da med različicami naložb lahko izberemo tisto, ki je najdonosnejša. Ta kriterij je pomemben zlasti tedaj, kadar imamo na voljo omejen obseg denarja. Način odločanja mora omogočati razvrščanje različic, tako da lahko izberemo najboljšo;
- zagotavljajo, kolikor je mogoče, da ne bo sprejeta različica naložbe z manjšo donosnostjo, kot so oportunitetni stroški. Ta kriterij lahko uporabimo samo pri čistih ekonomskih naložbah, ne pa tudi pri naložbah splošnega pomena, kjer poleg ekonomskih meril upoštevamo tudi tehnična, varnostna in ostale kriterije.

V uporabi so različna tako tehnični kot ekonomski kriteriji. Ekonomske kriterije ločimo na:

- gospodarske kriterije, katerih podlaga so računovodski podatki o dobičku in vloženi sredstvih ter
- finančne kriterije, ki temeljijo na računovodskih podatkih o denarnih tokovih.

Poleg kriterijev, izraženih v denarju, v energetiki poznamo tudi druge kriterije, kot so izpad dobavljene energije kot kriterij zanesljivosti, število poškodb kot kriterij varnosti na delu, količina izpustov toplogrednih plinov kot kriterij okoljevarstvenih zahtev itn.

2.8 Proces odločanja

2.8.1 Stopnja preiskovanja

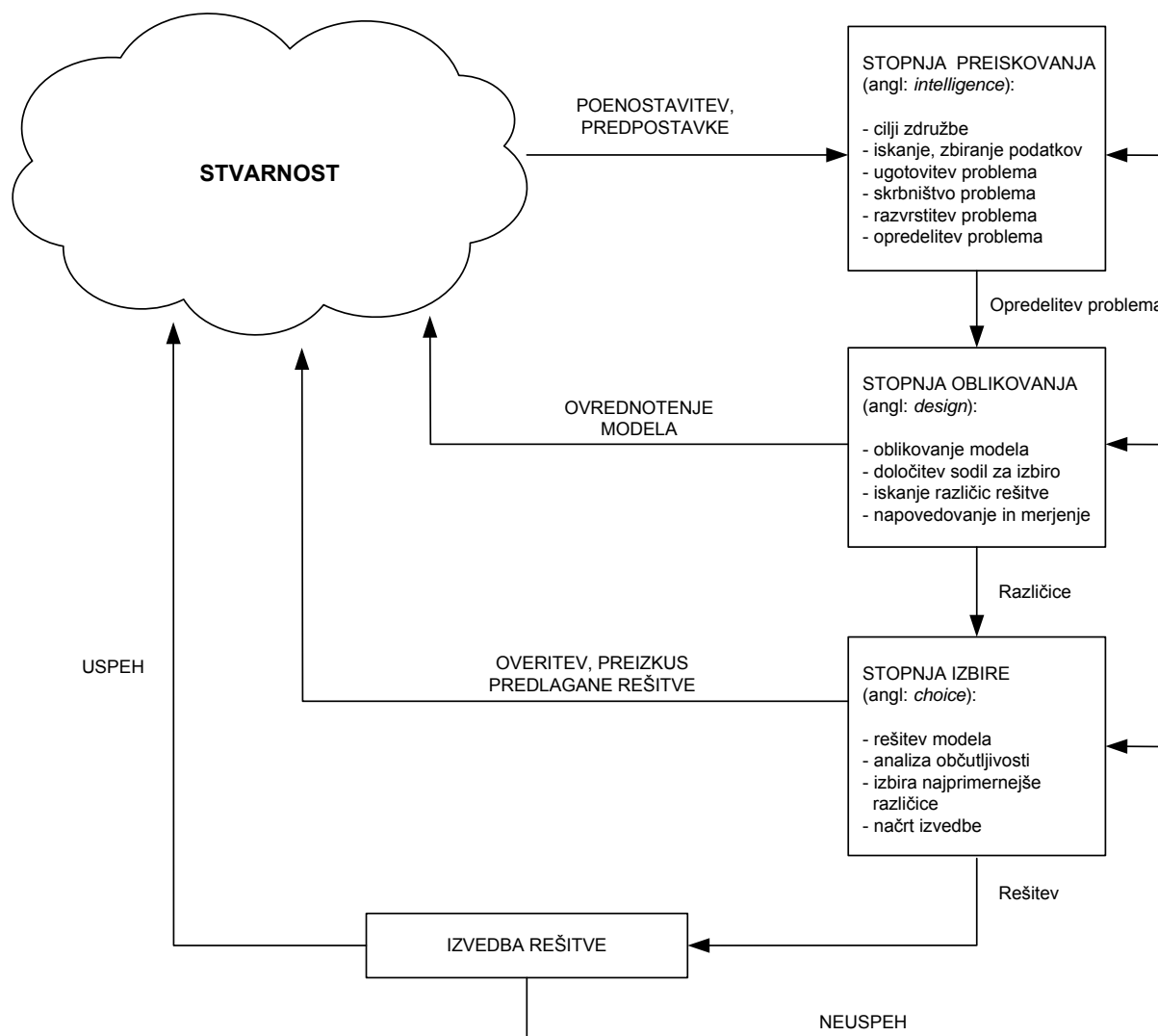
Kot smo videli, je pomemben spremljevalec ravnanja s sredstvi odločanje. Proces odločanja je sestavljen iz treh osnovnih stopenj in sicer preiskovanja, oblikovanja rešitev in izbire (slika 6) [Turban, Aronson, 2001; 43].

Razumevanje za potrebe odločanja vključuje predvsem preiskovanje okolja v presledkih ali neprestano in druge dejavnosti, ki imajo za cilj prepoznavanje problemskih razmer ali priložnosti.

Prepoznavanje problema (ali priložnosti)

Stopnja razumevanja se začne z ugotavljanjem ciljev združbe in nalog, povezanih s predmetom odločanja (npr. spremljanje gibanja zalog, izbira dela) in sklepom, ali so bili cilji doseženi oziroma naloge opravljene. Problemi se pojavijo zaradi nezadovoljstva z neugodnim stanjem. Nezadovoljstvo je izid razlike med tem, kar želimo (ali pričakujemo) in tem, kar se dejansko dogaja. V tej stopnji poskušamo določiti, ali problem obstaja, ugotovimo znake problema (simptome), določimo njegovo velikost in ga jasno opredelimo. Pogosto se zgodi,

da je nekaj, kar je opisano kot problem (kot na primer prekomerni stroški), samo znak problema (kot na primer neprimerno vzdrževanje). Ker so dejanski problemi pogosto bolj zapleteni in nanje vplivajo številni dejavniki, je včasih težko razlikovati med problemskimi znaki in dejanskimi problemi.



Slika 6: Proces odločanja [Turban, Aronson, 2001; 43]

Obstoj problema lahko določimo z nadzorom ter analiziranjem poslovanja in obratovanja. Izdelava odločitvenega modela in merjenje učinkov morata biti zasnovana na dejanskih podatkih. Zbiranje podatkov in napovedovanje prihodnjih izidov sta pri analiziranju med zahtevnimi opravili. V procesu zbiranja in napovedovanja prihodnjih podatkov se lahko pojavijo naslednje težave:

- podatki niso na voljo (možne netočne ocene stanj),
- pridobivanje podatkov je drago,
- ocenjevanje podatkov je pogosto subjektivno,
- pomembni podatki o pojavih, ki vplivajo na učinke, so lahko nekakovostni,
- lahko je zbranih preveč podatkov (preobremenitev z informacijami),

- učinki se lahko pojavijo v daljšem časovnem obdobju – dobiček, prihodki in stroški se lahko pojavljajo neenakomerno
- v različnih časovnih obdobjih je, zaradi vpliva časovne vrednosti denarja, potrebno uporabljati njegovo sedanjo vrednost in
- zgodovinski podatki se uporabljajo za napoved prihodnjih stanj.

Ko se začetno preiskovanje konča, je možno določiti, ali problem res obstaja, kje se pojavlja in kako pomemben je.

Razvrstitev problemov

Probleme poskušamo uvrstiti v določeno kategorijo, ki lahko vodi do standardizirane rešitve. Probleme lahko razvrstimo tudi glede na stopnjo strukturiranosti (formaliziranosti) problema. Glede na raven strukturiranosti ločimo dva mejna primera strukturiranosti problemov [Turban, Aronson, 2001; 43]. Ena skrajnost so dobro strukturirani problemi, ki so ponavljajoči se in rutinski in za katere so bili razviti standardni modeli. Druga skrajnost so nestrukturirani problemi, ki so neobičajni in se ne ponavljajo. Primer nestrukturiranega problema je npr. odločanje o zapletenih dolgoročnih naložbah. Polstrukturirani problemi so tisti, ki se nahajajo med obema skupinama mejnih primerov.

Razčlemba problema

Zapletene probleme lahko pogosto razdelimo na podprobleme. Reševanje manjših problemov lahko pomaga pri reševanju zapletenega problema. Tako se lahko zgodi, da imajo nestrukturirani zapleteni problemi dobro strukturirane podprobleme. Razčlemba problema izboljša in pospeši komuniciranje med odločevalci.

Skrbništvo problema

V stopnji preiskovanja je pomembno, da vzpostavimo skrbništvo problema. Problem se v združbi pojavi samo, če neka oseba ali skupina prevzame odgovornost za reševanje in če ima združba sposobnost reševanja tega problema. Na primer, ravnateljstvo lahko predvideva, da ima problem, ker so obresti na posojila previsoke. Ker pa se raven obresti v veliki meri določa na državnih in meddržavnih ravneh, večina upravljalcev združb nima vpliva na to. Visoke obresti so v splošnem problem centralnih bank in ne posameznih združb. S problemom se podjetja soočajo tako, da ugotavljajo, kako bodo delovala v okolju z visokimi obrestmi. Posamezna združba naj bi raven obresti obravnavala kot dejavnik, katerega ne more nadzorovati.

Stopnja preiskovanja se zaključi s formalno opredelitvijo problema. Sledi ji stopnja oblikovanja.

2.8.2 Stopnja oblikovanja

Stopnja oblikovanja vključuje iskanje ali razvijanje in analiziranje možnih poti reševanja problemov. Za to je potrebno razumevanje problema in analiziranje izvedljivosti rešitev. Znotraj te stopnje mora biti zgrajen, preizkušen in potrjen odločitveni model.

Modeliranje vključuje zasnovo problema in abstrakcijo kvantitativnih in/ali kvalitativnih oblik. Za matematični model se opredelijo spremenljivke in zveze med njimi. Tam, kjer je potrebno, s pomočjo različnih domnev izvedejo poenostavitve. Pravilno razmerje med ravni poenostavljanja modela in stvarnim svetom je potrebno zaradi razmerja stroškov in koristi modela. Enostavnejši modeli so cenejši, vendar manj natančni.

Proces modeliranja je kombinacija znanosti in umetnosti. S stališča znanosti so na voljo številni standardni modeli, s pomočjo katerih lahko analitik izdelava prikladen model. S stališča umetnosti je za izdelavo modela potrebna določena raven ustvarjalnosti in spretnosti, ko opredeljujemo vpliv poenostavitev na točnost rešitve, možnosti združevanja značilnosti modelov in način sestavljanja modelov, da dosežemo čim bolj natančne rešitve.

Izdelava (generiranje) različic

Pomemben del procesa modeliranja je izdelava različic. V empiričnih optimizacijskih postopkih (kot je evolucijsko računanje) so različice lahko ustvarjene avtomatsko, s pomočjo modela. V večini razmer pa je potrebno ročno ustvarjanje različic. To je lahko dolgotrajen in drag proces, ki vključuje preiskovanje in ustvarjalnost. Odločitev o tem, kdaj končati ustvarjanje novih različic, je lahko zelo pomembna. Ustvarjanje različic je zelo odvisno od razpoložljivosti informacij in stroškov njihovega pridobivanja, zahteva pa tudi strokovno znanje o problemu odločanja. Ustvarjanje različic je lahko podprto z namensko programsko opremo in običajno sledi opredelitvi kriterijev vrednotenja. Opredelitev kriterijev vrednotenja lahko zmanjša prostor, v katerem se nahajajo še sprejemljive različice rešitve.

Predvidevanje učinka posamezne različice

Pomembno je predvideti izide predlaganih različic, če jih želimo ovrednotiti in primerjati. Razmere za odločanje so pogosto zasnovane na tem, kar odločevalci vedo (ali verjamejo) o možnih izidih. To vedenje običajno razvrstimo v tri kategorije, od popolnega poznavanja do popolne nevednosti, in sicer: gotovost, tveganje in negotovost.

Pri odločanju v primeru gotovosti predvidevamo, da je na voljo popolno poznavanje izida posamezne odločitve, tako kot v determinističnem okolju. Ni čisto res, da so izidi popolnoma znani, a ponavadi ta predpostavka poenostavi model in ga naredi prilagodljivega. Odločevalec ima v roki »popolno« napoved prihodnosti, ker je predviden samo en izid za vsako različico. Tudi v primeru gotovosti izida se lahko zgodi, da določeni problemi niso dovolj strukturirani, da bi k reševanju lahko pristopili z analitičnimi metodami in modeli, zato je potreben pristop s sistemi za podporo odločanju.

Odločitev ob tveganju (znan tudi kot verjetnosten ali stohastičen odločitveni položaj) je odločitev, pri kateri mora odločevalec analizirati verjetnost nastopa posamezne vrednosti izida za vsako različico. Domnevamo, da so verjetnosti nastopa izidov znane oz. da jih lahko ocenijo. Na podlagi teh predpostavk lahko odločevalec oceni raven tveganja za vsako različico (izračunano tveganje).

Pri odločanju ob negotovosti si odločevalci predstavljajo položaj, v kateri so posamezni izidi možni za vsak potek dogajanja. V nasprotju z odločanjem ob tveganju odločevalec v tem primeru ne ve ali ne more predvideti verjetnosti nastopa možnih izidov. Odločanje ob negotovosti je najzahtevnejše zaradi nezadostnih informacij [Turk in drugi, 2003; 42].

Vrednotenje izidov

Vrednost različice je ovrednotena glede na raven doseganja ciljev odločanja. Na primer, dobiček je izid, povečanje dobička je cilj in oboje je izraženo v denarnih enotah.

Napake v odločanju

V procesu odločanja sta izgradnja modela in zbiranje informacij najbolj izpostavljena napakam. Pri izgradnji in uporabi modela se lahko zgodijo številne napake. Prav tako je kritično zbiranje zadostne količine ustreznih in točnih informacij.

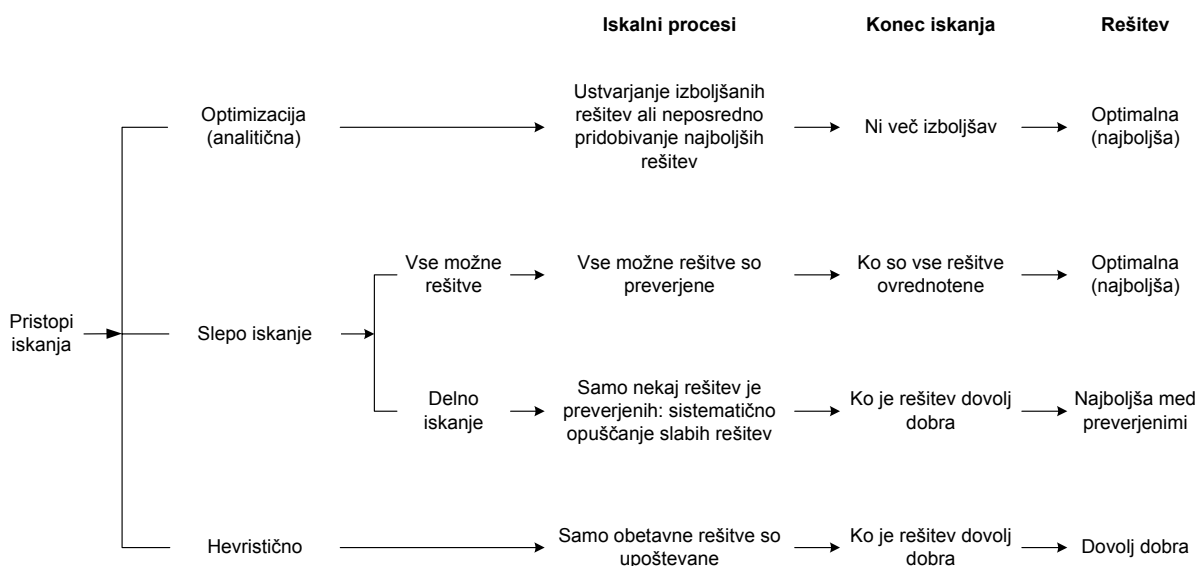
2.8.3 Stopnja izbire

Izbira je kritična točka odločanja. Stopnji izbire, v kateri se sprejemajo dejanske odločitve, sledi izvedba dogovorjenih aktivnosti. Ločnica med stopnjo oblikovanja in stopnjo izbire je pogosto nejasna zaradi tega, ker določene aktivnosti pogosto izvajajo v obeh in ker sta oblikovanje in izbira lahko iterativna (ponavljajoča se) procesa. Stopnja izbire vključuje iskanje, vrednotenje in oblikovanje predloga rešitve modela. Rešitev modela je niz vrednosti odločitvenih spremenljivk izbrane različice.

Pri tem velja poudariti, da reševanje modela ni enako kot reševanje problema, ki ga model predstavlja. Rešitev modela prinese priporočeno rešitev problema. Problem ocenjujemo za rešenega le, če je priporočena rešitev uspešno izvedena.

Pristopi iskanja

Stopnja izbire vključuje iskanje primerne rešitve, ki lahko reši problem. Na sliki 7 vidimo nekaj glavnih pristopov iskanja, ki so odvisni od kriterijev izbire.



Slika 7: Pristopi iskanja rešitev [Turban, Aronson, 2001; 43]

Za modele lahko uporabimo tako analitičen pristop kot pristop preiskovanja problemskega prostora.

Analitične tehnike

Analitične tehnike uporabljajo matematične enačbe za izračun optimalne rešitve. Največkrat so uporabljene za reševanje dobro strukturiranih problemov, najpogosteje taktične ali operacijske narave. Slepi ali hevristični pristopi iskanja so na splošno namenjeni reševanju bolj zapletenih problemov.

Pristopi slepega in hevrističnega iskanja

Pri iskanju je lahko podan opis zahtevane rešitve. Imenuje se cilj. Problem rešujemo s pomočjo iskanja možnih rešitev. Pri tem uporabljamo slepo ali hevristično iskanje.

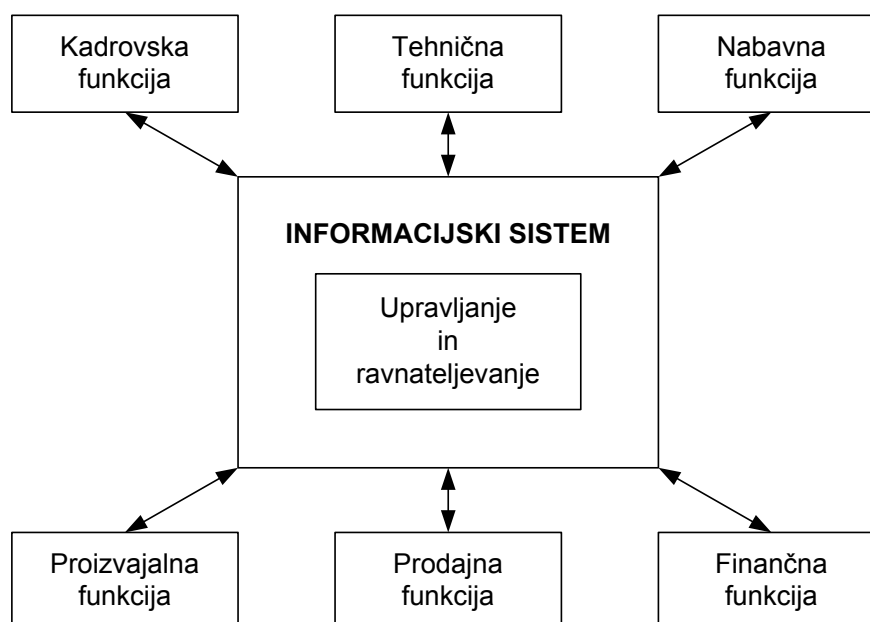
2.9 Informacije in odločanje

2.9.1 Informacijske funkcije

Za sprejemanje odločitev so potrebne informacije, ki se uporabljajo za izgradnjo odločitvenega modela, opredelitev različic, predvidevanje izidov posameznih različic in opredeljevanje kriterijev za izbiro. Informacije izhajajo iz informacijskega sistema, ki obsega štiri področja nalog:

- obravnavanje podatkov o preteklosti (povezano z obratovanjem, vzdrževanjem, prekinitvami, stroškovnim knjigovodenjem itn.),
- obravnavanje podatkov o prihodnosti (napoved obremenitev, napoved kakovosti oskrbe, predračunavanje itd.),
- nadziranje obravnavanja podatkov (revidiranje),
- analiziranje ali proučevanje podatkov.

Organizacijske, informacijske in poslovne funkcije so med seboj odvisne (slika 8).



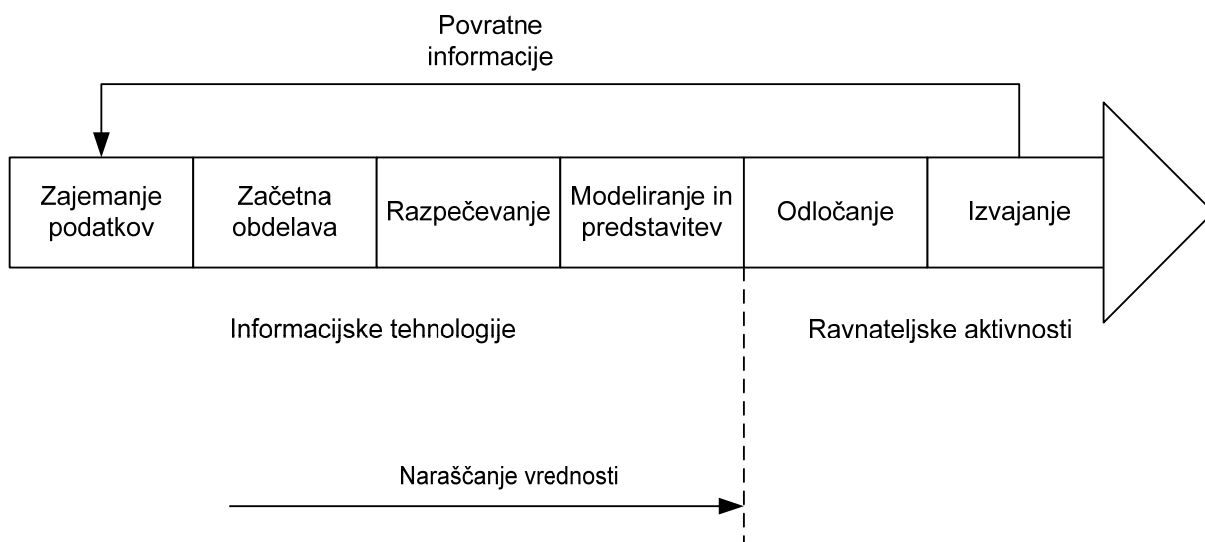
Slika 8: Informacijski sistem kot povezava med temeljnimi poslovnimi in organizacijskimi funkcijami [Mihelčič, 2004; 28]

Informacijske funkcije so kot sestavine informacijskega sistema povezovalni člen med dvema oblastvenima organizacijskima funkcijama, upravljanjem in ravnateljevanjem, ter poslovnimi funkcijami [Mihelčič, 2004; 28].

Odločanje pri ravnanju s sredstvi temelji tako na tehničnih kot na ekonomskih informacijah. Viri tehničnih informacij so predvsem tehnični informacijski sistemi, medtem ko so viri ekonomskih informacij informacijski sistemi, ki hranijo predvsem računovodske informacije.

2.9.2 Veriga vrednosti informacij

Informacijske aktivnosti v podjetju ustvarjajo informacijsko odločevalsko verigo vrednosti, skozi katero se podatki pretvarjajo v uporabne informacije, katerim se praviloma povečuje vrednost (slika 9). Pri odločanju je potrebno imeti informacije z najvišjo možno vrednostjo za odločevalca. Informacijsko upravljalni sistemi v podjetju pripomorejo k sprejemanju boljših odločitev. To dejstvo loči informacijsko upravljalne sisteme od sistemov za izvajanje in arhiviranje posameznih opravil. Ob sliki 9 si lahko zastavimo vprašanje ali sta avtorja izvajanje zavestno umestila med ravnateljske aktivnosti.



Slika 9: Veriga vrednosti informacij [prirejeno po Gresham, Andrulius, 2002; 19]

2.9.3 Pripravljanje informacij za odločanje

Pri pripravi informacij za odločanje dostikrat ne pričakujemo standardnih informacij, ampak enkratne informacije, prilagojene posamezni odločitvi. Informacije so bolj ali manj zgoščene in to odvisno od organizacijske ravni (odločanja), po vsebini pa so izražene tako v ekonomskih kot tehničnih enotah. Informacijski sistem ni vedno urejen tako, da bi zahtevane informacije lahko takoj dobili iz obstoječih evidenc, saj sta vsebina in kakovost informacij pogosto odvisni od kakovosti pripravjalca podatkov.

Pri izgradnji sistema za podporo odločanju pri ravnanju s sredstvi je potrebno upoštevati nekaj nepogrešljivih dejavnikov, da bo sistem lahko postal dobra podlaga predvsem za strateško odločanje [Turk in drugi, 2003; 42]. Gre za:

- pomoč pri strateških odločitvah – s poročili osvetljevati strateške odločitve in posledice,
- komuniciranje brez vrzeli – sistem mora dajati informacije, koristne za tistega, ki odloča,
- opredelitev vrste odločitve – "prave informacije pravi osebi ob pravem času",
- izbiro ustreznih tehnično in ekonomsko izraženih kriterijev za vrednotenje rešitev in obstoječega stanja,
- dajanje le pomembnih informacij – izbira informacij vpliva na odločitve,

- upoštevanje sprememb v času – razmere pri poslovanju se zelo hitro spreminjajo.

Naloge pripravljalca informacij za odločanje o naložbah so:

- analiza učinkov obratovanja,
- spremljanje in načrtovanje zanesljivosti obratovanja,
- prepoznavanje potreb in priložnosti,
- izdelava tehničnih rešitev za zadovoljitev potreb in priložnosti – portfelj možnih naložb,
- modeliranje stroškov in ekonomskih koristi možnih naložb,
- modeliranje tehničnih, okoljskih in ostalih koristi možnih naložb,
- modeliranje ekonomskih in tehničnih tveganj (najmanj različici »brez naložbe« in »z naložbo«),
- izračun najprimernejšega oziroma optimalnega nabora naložb glede na opredeljene omejitve itn.

2.9.4 Splošna načela za postavitve informacijskega sistema za podporo odločanju

Informacijski sistemi so navzoči v vseh funkcijah oziroma dejavnostih energetskih podjetij. To so predvsem sistemi vodenja SCADA/EMS (angl. *Supervisory Control And Data Acquisition / Energy Management System*), poslovni informacijski sistemi, sistemi za računalniško podprto vzdrževanje itn. Podatki in informacije znotraj teh sistemov se večinoma nanašajo na preteklo oziroma trenutno stanje sistema. Poleg preteklih informacij pa potrebujemo za odločanje tudi informacije, ki se nanašajo na prihodnost.

Informacijski sistem za podporo odločanju o ravnanju s sredstvi mora po vsebinski strani obsegati tehnične, ekonomske, statistične, okoljske in ostale podatke ter razne vrste izvedenih informacij, načrtovalnih informacij in analiz.

Odločevalci pričakujejo oblikovanje in dostavo informacij takrat, ko morajo sprejeti ustrezno odločitev. Zaradi tega je pri izgradnji informacijskega sistema potrebno zavedanje o posledicah odločitev brez potrebnih informacij oz. o potrebi po pravočasnosti informacij. Pri tem morajo biti informacije, ki zapuščajo sistem, predvsem ustrezne (prilagojene potrebam pri odločanju in odločevalcem) in pravočasne (biti na voljo tedaj, ko je še mogoča odločitev).

Informacije morajo biti prilagojene strateškim (okvirne informacije) in izvajalnim (podrobne informacije) odločitvam. Pri tem je potrebno upoštevati stroške oblikovanja informacij. Koristi informacij lahko ugotovljamo v povečani zanesljivosti obratovanja elektroenergetskega sistema, ki jo pripisujemo tehnični odločitvi na podlagi informacije. V ekonomsko izraženih enotah lahko koristi informacij merimo s povečanim prispevkom za kritje stalnih stroškov in doseganjem dobička, kar sta posledici poslovne odločitve na podlagi informacije. Vrednost informacije je tako odvisna od uspešnosti odločitve in tehnično ekonomskega vpliva na poslovanje.

Namen informacijskega sistema ni le pridobivanje in obdelovanje podatkov, ampak tudi oblikovanje oziroma priprava mnenj o poslovnih dogodkih. Informacija, ki je potrebna za sprejem posamezne poslovne odločitve, je več kot samo podatek – vsebuje tudi mnenje o pojavu, za katerega obstaja podatek. Mora izražati tudi ugodnosti in pravilnost kake odločitve.

Odločitvam sledi izvajanje, ki je predmet podrobnega razvidovanja, podatki o uresničenem koristijo nato stroškovnem proučevanju, pa tudi stroškovnem nadziranju.

Pot do informacij zajema:

- ustvarjanje ustreznega razvidovanja – zbiranje, urejanje, obdelovanje in prikazovanje podatkov in
- uvedbo ustrezne metodike pri proučevanju podatkov.

2.9.5 Vpliv kakovosti podatkov na odločitve v ravnanju s sredstvi

Pri vzdrževanju elektroenergetskega sistema strategija vzdrževanja določa pomembnost kakovosti podatkov. Tradicionalno obdobjno vzdrževanje ni občutljivo na pomanjkanje kakovostnih podatkov, ker se vzdrževanje izvaja ne glede na to, ali je potrebno ali ne. Po drugi strani je za uveljavljanje bolj zapletenih strategij, kot so na primer verjetnostne metode ali vzdrževanje po stanju (angl. *Condition Based Maintenance – CBM*), kakovost podatkov izredno pomembna (slika 10) [Nordström, 2006; 30].

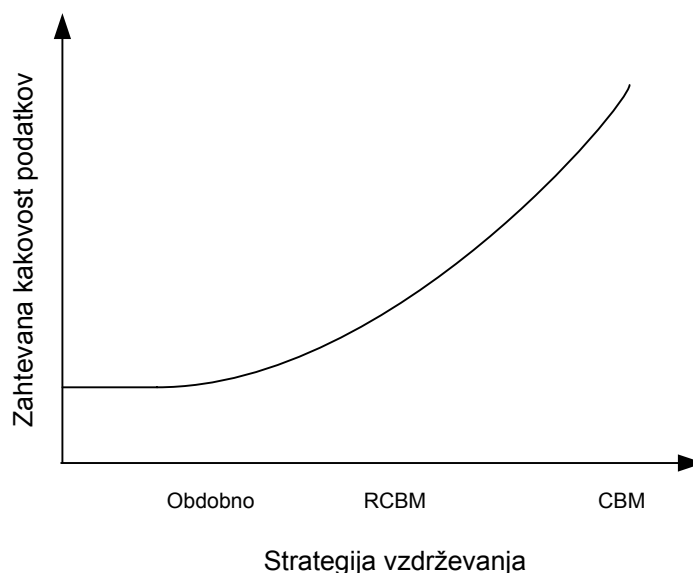
Elektroenergetska podjetja še vedno v veliki meri uporabljajo tradicionalno obdobjno vzdrževanje, kjer so vzdrževalna dela izvedena tako, kot določajo načrti. Potrebni podatki o opremi za tovrstne strategije so omejeni na osnovno množico podatkov, ki vključuje le ugotavljanje razmestitev opreme, naloge, ki jih je treba izvesti, ter čas zadnjega vzdrževanja.

Pri strategijah, ki temeljijo na stanju (CBM), uporabljamo informacijo o stanju opreme za odločanje, ali je potrebno določeno vzdrževanje izvesti ali ne. Določanje stanja opreme lahko izvedemo s pregledi na objektu ali daljinsko. Še vedno so v uporabi večinoma pregledi na objektu in manj daljinski nadzor. Daljinski nadzor vsebuje diagnostiko oziroma ugotovitev stanja opreme na daljavo s pomočjo merilnikov in senzorjev, ki so nameščeni ob opremi ter z ustreznim poročevalnim sistemom, s pomočjo katerega podatke prenesemo in jih prikažemo pripravljalcu informacij za odločanje.

Pri strategijah, ki temeljijo na zanesljivosti in stanju (angl. *Reliability Condition Based Maintenance – RCBM*), sta stanje naprav in vpliv okvare na razpoložljivost celotnega sistema odločujoča dejavnika, kje in kdaj izvesti vzdrževanje. Pri takšnih strategijah podatke o stanju uporabljamo tako, da ustvarjamo odločitvene modele, ki so osnova za načrtovanje in odločanje o vzdrževanju. Modele uporabljamo tudi za predvidevanje, katera komponenta bi bila najprimernejša za popravilo.

Na sliki 10 je prikazana krivulja zahtevane kakovosti podatkov v odvisnosti od strategije vzdrževanja.

Znotraj pametnih (inteligentnih) naprav se ustvarja obilo informacij o njihovem stanju, ki jih lahko uporabimo pri odločanju o vzdrževanju elektroenergetskega sistema. Še vedno pa, ne glede na to ali zbirko podatkov o stanju uporabljamo ali ne, zahteva strategija, ki vključuje podatek o stanju uporabnosti opreme kot osnovo za načrtovanje vzdrževanja, višjo raven kakovosti podatkov o stanju opreme.



Slika 10: Odvisnost potrebne kakovosti podatkov od izbrane strategije vzdrževanja [prirejeno po Nordström, 2006; 30]

2.10 Sistemi za podporo odločanju

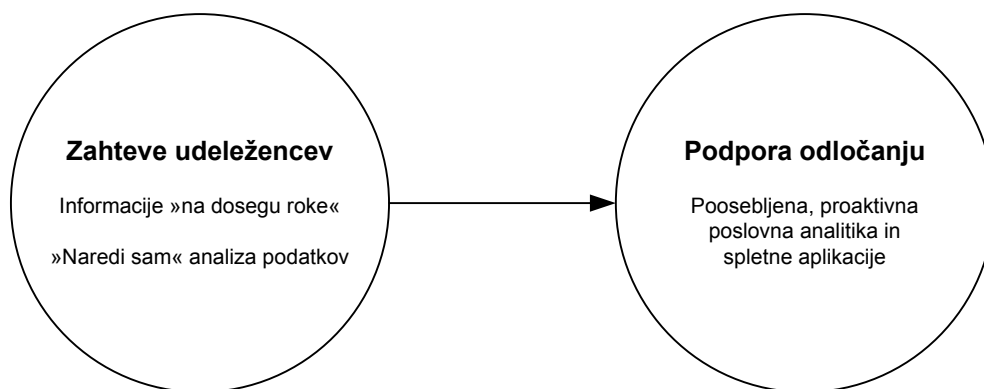
2.10.1 Uvod

Sistemi za podporo odločanju so informacijski sistemi, ki zagotavljajo informacijsko podporo strokovnjakom in ravnateljstvu v procesu odločanja. Sistemi za podporo odločanju uporabljajo analitične modele, posebne zbirke podatkov, izkušnje odločevalcev in vpoglede v predmet odločanja ter interaktiven računalniški model, ki podpira pripravo informacij za delno strukturirane odločitve.

Osnovna systemska vira, na katerih temeljijo sistemi za podporo odločanju, sta sistem za modeliranje (angl. *model base*) in zbirka podatkov. Večina odločevalcev danes pričakuje enostaven in takojšen dostop do informacij s pomočjo spletnih aplikacij po načelu »samopostrežbe« (angl. *selfservice*) podatkov (slika 11) [O'Brien, Marakas, 2006; 31].

Organizacijski sistem podjetja sestavljajo tri ravni ravnateljstva: strateška, taktična in operativna raven [O'Brien, Marakas, 2006; 31] (slika 12). Strateško ravnateljstvo vključuje ustvarjalno odločanje o smotrih poslovanja (poslovna politika). Obsega dejavnosti, s katerimi iščemo in določamo namen poslovnega sistema. S strategijo določamo temeljne cilje poslovnega sistema in usmerjamo njegovo delovanje k doseganju teh ciljev, torej dolgoročno usmeritev poslovnega sistema, način njegovega delovanja, omejitve delovanja ipd.

V okviru taktičnega ravnateljstva določamo program nalog za uresničitev načrtovane strategije poslovanja. Gre za opredeljevanje kakovosti organizacije procesov ter zagotavljanje virov zanje. Program obsega predvidevanje in odločanje o sredstvih, o zaposlencih ter o metodah za doseg ciljev in izvršitev nalog. Znotraj taktičnega ravnateljstva dajemo odgovore na vprašanja: kako, kdo in kdaj naj opravi posamezne naloge.

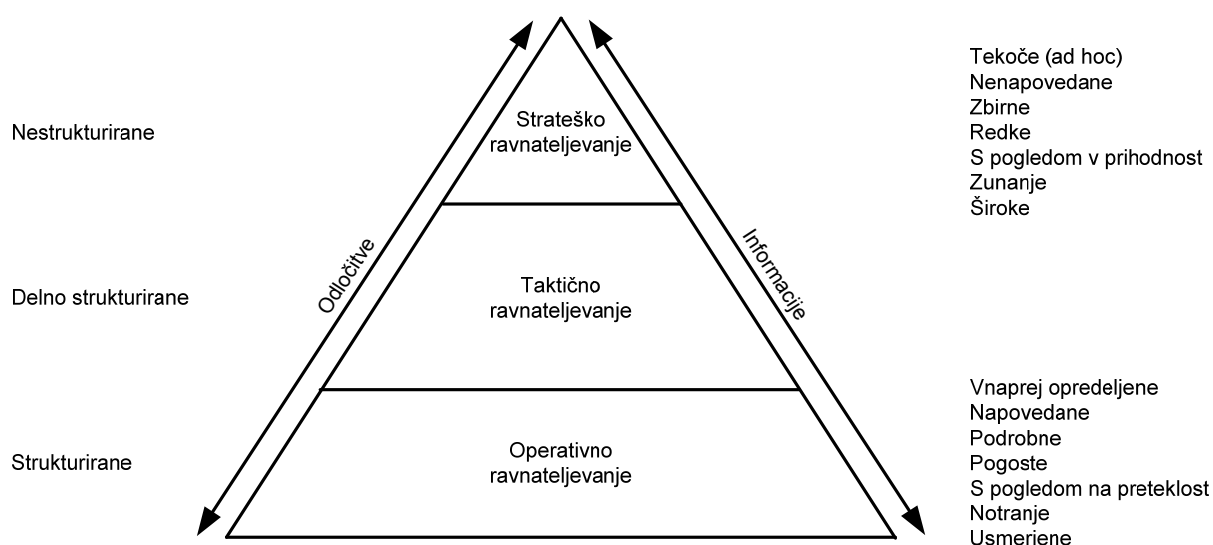


Slika 11: Potrebe udeležencev procesov po informacijah [O'Brien, Marakas, 2006; 31]

Taktični informacijski (pod)sistem mora zagotavljati predvsem zbirne informacije, ki so oblikovane tako, da so iz njih vidne zakonitosti poslovanja in razlogi za različne možnosti poteka temeljnega procesa. Gre za informacije o poteku temeljnega procesa, odstopanjih od načrtovanih vrednosti ter razlogih za takšna odstopanja. Ker je velik del ukrepov taktične organizacijske ravni usmerjen v razvrščanje proizvodnih sredstev, ponuja taktični informacijski (pod)sistem veliko možnosti za vključevanje raznih kvantitativnih metod obdelave podatkov (npr. simuliranja ipd.), ki omogočajo izbiranje, poenostavljanje, diagnosticiranje in optimiziranje delovanja sistema. Zagotavlja informacije o poteku poslovnega procesa in podporo za reševanje problemov odstopanja od želenega dogajanja.

STRUKTURIRANOST ODLOČITEV

ZNAČILNOSTI INFORMACIJ



Slika 12: Informacije in odločitve [O'Brien, Marakas, 2006; 31]

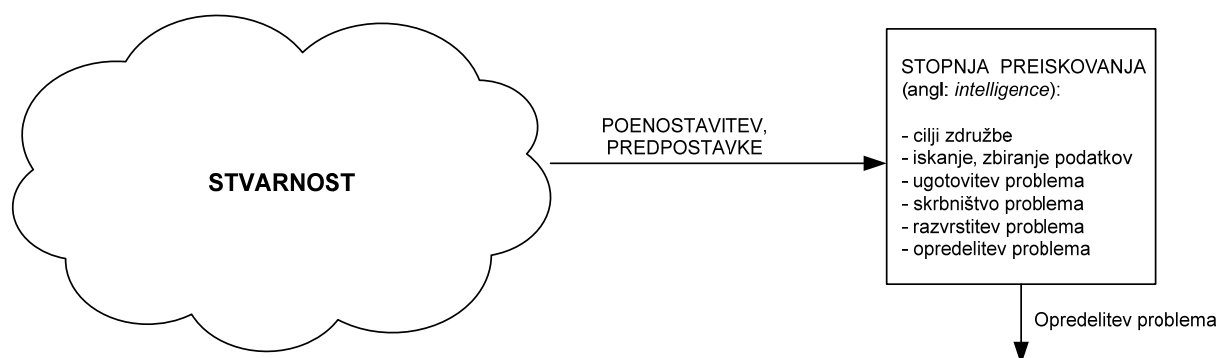
Izvedbeno ravnateljjevanje mora zagotavljati učinkovit potek temeljnega tehnološkega in poslovnega procesa. Operativni informacijski (pod)sistem je lahko vnaprej podrobno in popolnoma opredeljen, ker gre za vnaprej natančno opredeljene informacijske potrebe in prav tako za natančno opredeljene postopke obdelave podatkov. Usmerjen je zlasti v zajemanje podatkov za višje ravni ravnateljjevanja. Visokokvalificiranim strokovnjakom zagotavlja ozko specializirane informacije za reševanje strokovnih problemov.

Odločitveni proces je proces »preoblikovanja« informacij v odločitve. Ko je odločevalec soočen z odločitvenimi razmerami in v okviru njih z možnimi različicami rešitve, se odloči za tisto različico, s katero bo dosegel želene cilje. Pri tem izhaja iz znanja, ki ga ima. Če z znanjem, ki ga ima, tega ne more narediti, potrebuje dodatno znanje, ki mu ga mora zagotoviti informacijski sistem z informacijo.

2.10.2 Analiza učinkov poslovanja, obratovanja in vzdrževanja

Začetek procesa odločanja o ravnanju s sredstvi se začne z analizo učinkov poslovanja, obratovanja in vzdrževanja, ki so aktivnosti v stopnji preiskovanja obstoječega stanja. Osnovna zahteva podpore odločanju za stopnjo preiskovanja je zmožnost analize zunanjih in notranjih virov informacij za opredelitev priložnosti in problemov pri obratovanju sistema in poslovanju podjetja. Pri tem so lahko v pomoč informacijski sistemi, kot so poslovodni informacijski sistem (angl. *Executive Information System – EIS*), sistemi za odkrivanje zakonitosti v podatkih in sistemi za sprotno analitično obdelavo podatkov (angl. *Online Analytical Processing – OLAP*).

Poslovodni informacijski sistem omogoča neprekinjeno sporočanje in nadzor nad zunanjimi in notranjimi informacijami za potrebe zgodnjega zaznavanja problemov in priložnosti (slika 13). Podobno je s sistemi za odkrivanje zakonitosti v podatkih in sistemi za sprotno analitično obdelavo.



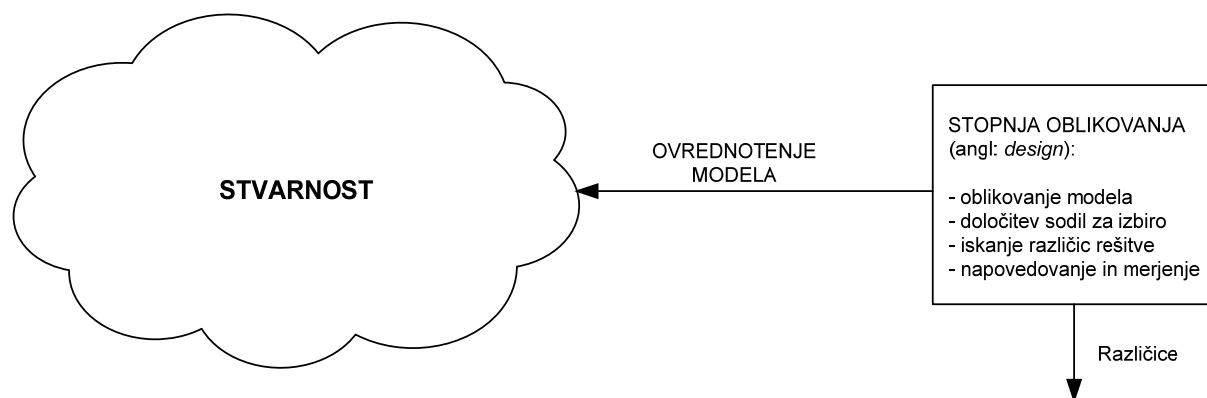
Slika 13: Stopnja preiskovanja [Turban, Aronson, 2001; 43]

Po drugi strani pa ekspertni sistemi lahko podpirajo avtomatsko razvrščanje problemov, ugotavljanje pomembnosti in drugo. Ena od glavnih prednosti ekspertnih sistemov je razlaga (interpretacija) informacij. To zmožnost lahko izkoristimo v stopnji preiskovanja. Še eno področje podpore stopnji preiskovanja je poročanje. Tako obdobja kot tudi poročila na zahtevo (t.i. ad hoc) lahko bistveno pripomorejo k razumevanju obstoječega stanja. Obdobja poročila lahko pripomorejo k zgodnjemu ugotavljanju problemov kadar vsebujejo primerjave trenutnega stanja z načrtovanim. Stopnja preiskovanja je najpomembnejša stopnja pri reševanju nestrukturiranih problemov.

2.10.3 Načrtovanje vlaganj in njihova utemeljitev

Stopnja oblikovanja vključuje izdelavo predlogov o poteku aktivnosti, premislek o kriterijih za izbiro in določitev njihove pomembnosti ter napovedovanje izidov posameznih različic rešitve. Nekaj teh dejanj lahko uporablja standardne modele, ki jih zagotovi sistem za podporo

odločanju, kot so na primer modeli za napovedovanje porabe in cen električne energije (slika 14).

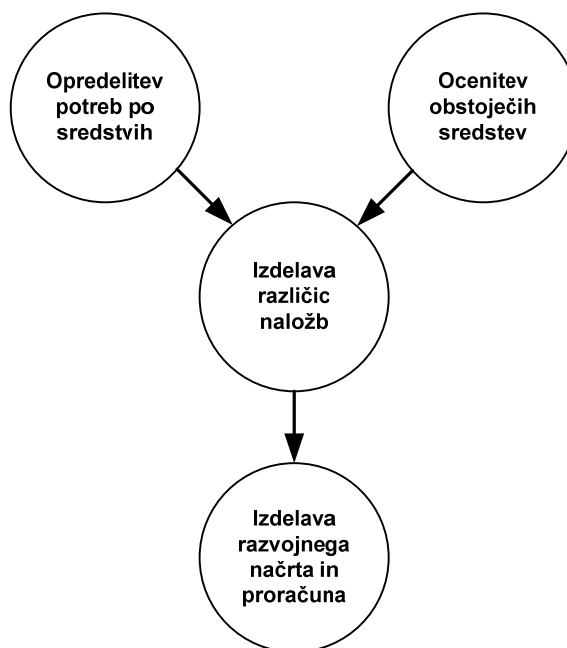


Slika 14: Stopnja oblikovanja [Turban, Aronson, 2001; 43]

Ustvarjanje rešitev strukturiranih problemov lahko zagotovimo z uporabo standardnih ali posebnih modelov. Ustvarjanje različic za kompleksne modele zahteva strokovno znanje, ki ga lahko zagotovi človek, poseben sistem ali sistem za podporo burjenju zamisli (angl. *brainstorming software*). Večina sistemov za podporo odločanju ima kvantitativne analitične zmožnosti, ekspertni sistemi pa lahko celoten proces podprejo tako s kvalitativnimi metodami kot s strokovnim znanjem, ki je obvezno pri izbiranju kvantitativnih analitičnih in napovednih modelov. Če reševanje problema zahteva soočanje zamisli (angl. *brainstorming*) za pomoč pri ugotavljanju pomembnih delov in možnosti, se lahko kot koristen pokaže sistem za podporo skupinskemu delu (angl. *Group Support System – GSS*). Lahko pa uporabljajo tudi orodja, ki omogočajo izdelavo »spoznavnega zemljevida« (angl. *cognitive map*), ki pomaga pri urejanju določenih razmer, ki se zde nepregledne.

Primer sistema za podporo odločanju, ki se v elektroenergetiki zelo pogosto uporablja, je sistem za napoved porabe električne energije. Dolgoročna napoved porabe je ključna za pravilno načrtovanje poslovanja in naložb v prihodnosti, vrednotenje dolgoročnih pogodb ter analizo tveganj. Informacijski sistem za podporo napovedovanju lahko avtomatsko mesečno izvaja napoved porabe električne energije po urah za vsako vozlišče elektroenergetskega sistema za več let vnaprej (od tri do pet let). Orodja za dolgoročno napoved običajno omogočajo izvajanje napovedi z različnimi modeli (metodami). Pri napovedovanju morajo upoštevati koledar, gospodarsko rast in posebnost prazničnih in obprazničnih dni. Letno rast porabe napovedujejo za posamezno merilno mesto ali skupino odjemalcev samostojno na osnovi podatkov o preteklem odjemu, predvideni gospodarski rasti ali drugih vplivnih veličinah. Ker so diagrami odjema za praznične in obpraznične dni spremenljivi, je upoštevanje njihove posebnosti nujno. Poleg avtomatskega mesečnega izračuna napovedi porabe tovrstna orodja omogočajo tudi ročno izdelavo napovedi za izbrano merilno mesto ali skupino. Metode, ki se za napovedovanje najbolj pogosto uporabljajo, so nevronske mreže, metoda Box-Jenkins, metoda podobnega dne itn.

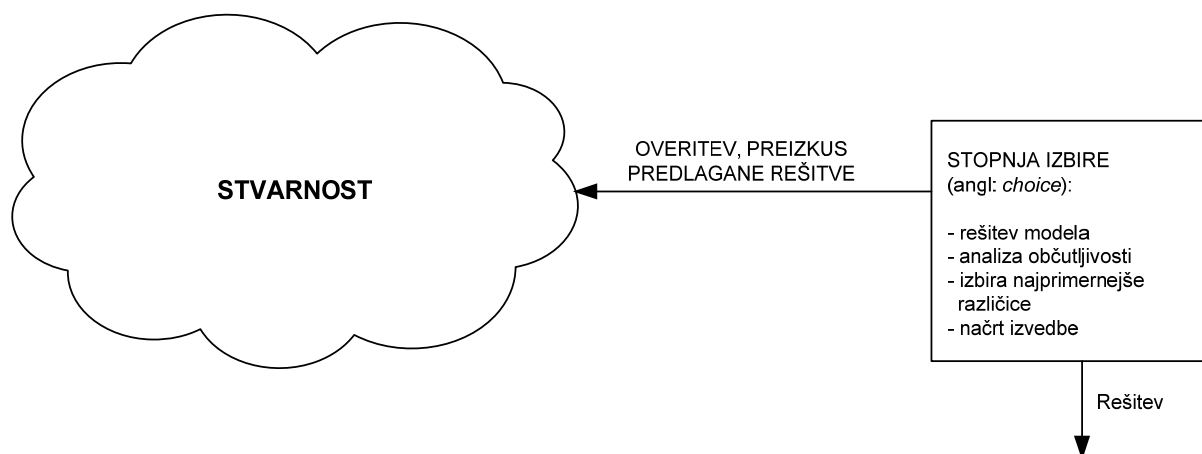
Na osnovi napovedi porabe oblikujemo različice rešitev naložb v elektroenergetski sistem (slika 15).



Slika 15: Proces načrtovanja vlaganj [Victorian Government, 1995; 3]

2.10.4 Optimalna porazdelitev naložbenih sredstev in razvrščanje projektov

Poleg zagotavljanja modelov, s katerimi hitro ugotovimo najboljšo ali dovolj dobro različico, lahko sistem za podporo odločanju podpre stopnjo izbire (slika 16) s pomočjo »kaj-če« analiz in iskanj ciljev (angl. *goal-seeking*). Različne scenarije lahko preizkusimo za izbrane nastavitve, da okrepimo končno odločitev.



Slika 16: Stopnja izbire [Turban, Aronson, 2001; 43]

2.10.5 Izvedba naložbenih projektov in vzdrževalnih del

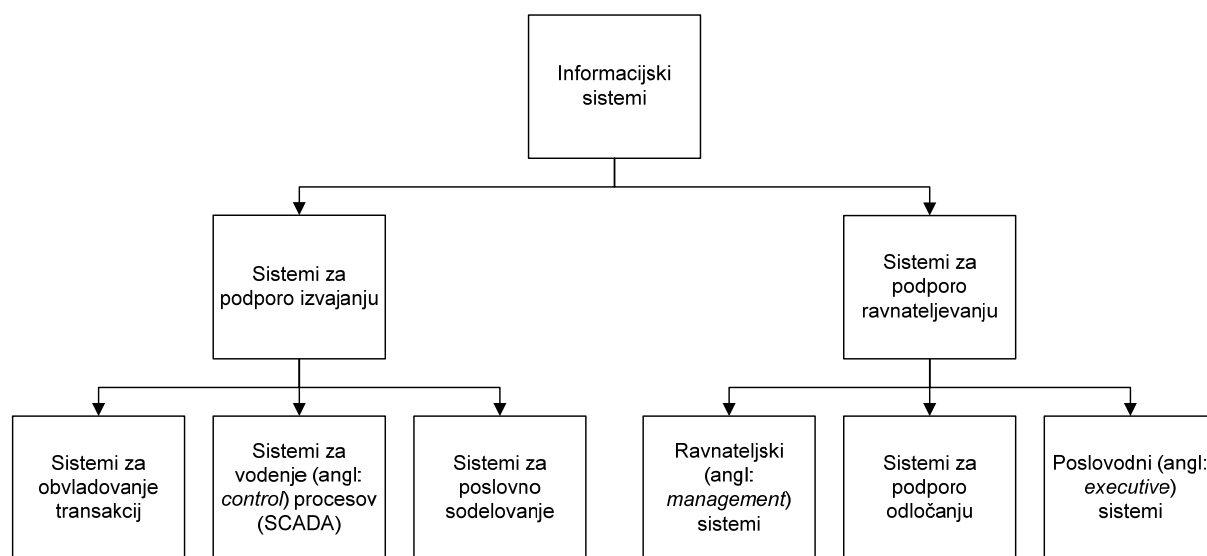
Sistemi za podporo odločanju v stopnji izvajanja so prav tako pomembni kot sistemi za podporo odločanju v zgodnejših stopnjah ravnanja s sredstvi. V stopnji izvedbe naložbenih projektov so pomembni predvsem informacijski sistemi, ki podpirajo ranateljvanje projektov, izdelavo projektnih listin (AutoCAD, CADDY), umeščanje objektov v prostor

(geografski informacijski sistem), različni tehnični izračuni (povesi, razpetine, kratkostične razmere) itd.

Vse stopnje procesa odločanja so lahko podprte z izboljšanim komuniciranjem v skupini. Računalniški sistemi lahko pospešijo komuniciranje tako, da omogočajo ljudem pojasnjevanja in zagovarjanja predlogov ter pripomb.

2.11 Integracija informacijskega sistema za podporo ravnanju s sredstvi

Informacijske sisteme, ki so danes v uporabi, lahko razdelimo na več načinov. Eden izmed načinov je delitev na sisteme za podporo izvajanju in sisteme za podporo ravnateljevanju (slika 17). Sistemi za podporo izvajanju ustvarjajo številne informacije, ki jih uporabljamo tako znotraj kot zunaj podjetja. Poleg tega informacije, ki se ustvarjajo v teh sistemih, niso primerne za neposredno uporabo v ravnateljevanju. Zaradi tega je običajno potrebno te informacije nadalje obdelati v sistemih za podporo ravnateljevanju in odločanju.



Slika 17: Delitev informacijskih sistemov [O'Brien, Marakas, 2006; 31]

Informacijska tehnologija ima lahko kot sredstvo za doseganje poslovnih izidov velik vpliv na poslovanje. Pokrivati mora predvsem ključne poslovne procese podjetja in se usmeriti v podporo odločanju pri ravnanju s sredstvi. Glavna področja so integracija in prenova poslovnih procesov ter strateška uporaba informatike.

Glede na način lahko naložbe v informatiko na področju ravnanja s sredstvi razdelimo v dve glavni skupini:

1. Vlaganje v izboljšave na izvedbeni ravni. V to skupino spadajo naložbe v informacijski sistem, ki imajo jasne cilje, usmerjene predvsem v izboljševanje poslovnih procesov znotraj podjetja s povečanjem učinkovitosti ter izboljšave na operativni ravni.
2. Strateško vlaganje. Za to skupino naložb v informacijske sisteme velja, da zanje informatika predstavlja enega izmed ključnih orodij za doseganje poslovnih ciljev in uresničevanja strategije. Osredotočajo se na povečanje uspešnosti, njihove aktivnosti pa vključujejo tudi značilnosti iz točke 1.

Pri informatizaciji poslovnih procesov sta najpomembnejši dve razsežnosti učinkovitost in uspešnost. Učinkovitost je usmerjena k vprašanju »Ali delamo stvari na pravi način?«, medtem ko je uspešnost usmerjena tudi k vprašanju »Ali delamo prave stvari?« [Kovačič, Vukšič, 2005; 24]. Na učinkovitost vplivamo predvsem z avtomatizacijo in digitalizacijo poslovnih procesov, medtem ko na uspešnost vplivamo z njihovo prenovo. Če želimo izboljšati uspešnost poslovanja z nižjimi stroški, krajšimi izvajalnimi časi in boljšo kakovostjo, je velikokrat potrebna prenova poslovanja v smeri preoblikovanja, prestrukturiranja ali prenove poslovnih procesov ob uporabi sodobne informacijske tehnologije. Tako je v sklopu ravnanja s sredstvi potrebno razmišljati predvsem o prenovi poslovnih procesov, povezanih z odločanjem o naložbah in izdelavi razvojnih načrtov. Cilj projektov prenove poslovanja je tako doseči večjo učinkovitost in uspešnost poslovanja skozi povečanje hitrosti izvajanja procesov, znižanje stroškov, dvig kakovosti izvajanja procesov in kakovosti proizvodov, zmanjšanje zapletenosti in izboljšanje prilagodljivosti poslovanja ter vzpodbujanje inovativnosti in ravnanje s skupnim znanjem združbe [Kovačič, Vukšič, 2005; 24].

Uporaba informacijske tehnologije vpliva na učinkovitost, povezanost in prilagodljivost poslovanja ter kakovost in preglednost izvajanja poslovnih procesov, vendar pa naložbe v informacijsko tehnologijo neposredno ne vplivajo na dvig poslovne uspešnosti. Uporaba informacijske tehnologije je potreben oz. nujen, vendar ne zadosten pogoj za prenavo poslovanja. Dvig poslovne uspešnosti dosežemo s temeljitim premislekom o strateških usmeritvah podjetja na področju kadrov, ravnateljstva, znanja, organizacije itd. Naložbe v informacijsko tehnologijo vplivajo na hitrost, stroške in kakovost izvajanja poslovnih procesov ter, kar je pri ravnanju s sredstvi najpomembnejše, na odločanje. Tako mora podjetje predvsem izvesti temeljit premislek o načinih in tehnologijah odločanja ter potem načrtovati informatiko. Načrtovanje informatike mora potekati sočasno in skladno s strateškim poslovnim načrtovanjem v podjetju.

Projekti informatizacije morajo biti predvsem poslovno naravnani, osredotočeni na poslovne procese in prenavo poslovanja. Za njihovo uspešno izvedbo potrebujemo partnerstvo ravnateljstva in informatike ter trajno zagotavljanje ravnanja s poslovnimi procesi.

Temeljna sestavina informacijskega sistema ravnanja s sredstvi je register sredstev, ki poleg osnovnih vsebuje tudi obratovalne podatke vseh naprav elektroenergetskega sistema, vključno s podatki o ekonomski in tehnični učinkovitosti. Na podlagi zbranih podatkov v registru sredstev lahko inženirji načrtujejo in primerjajo vzdrževalne strategije v razponu več let, saj posamezno proračunsko leto ne zadošča za dolgoročno načrtovanje ravnanja s sredstvi.

Register sredstev mora biti zanesljiva in prilagodljiva sestavina informacijskega sistema, ki lahko zajema podatke iz geografskega informacijskega sistema (GIS) ter informacijskega sistema za obvladovanje vzdrževanja.

3 VEČKRITERIJSKO ODLOČANJE V ENERGETIKI

3.1 *Uvod*

Primarni cilj elektroenergetskih sistemov (EES) je zanesljiva oskrba potrošnikov z električno energijo. Odpiranje trga z električno energijo in ukrepi na področju organizacije podjetij elektroenergetskega sektorja so usmerjeni k ekonomskemu optimiranju obratovanja ter preglednosti poslovanja v celotnem sektorju, v odnosu do končnih odjemalcev pa k nepristranskosti pri zagotavljanju storitev izvajalcev gospodarskih javnih služb.

Vertikalno ločevanje podjetij energetskega sektorja ima za posledico decentralizirano načrtovanje izgradnje energetskih objektov, kar lahko privede do neustreznega dolgoročnega razvoja predvsem proizvodjalnih zmogljivosti, potrebnih za zagotavljanje zanesljive oskrbe z električno energijo.

Kakovost in ekonomska učinkovitost oskrbe z električno energijo sta odvisni predvsem od kakovosti načrtovanja naložb tako s tehničnega kot tudi z ekonomskega vidika. Zato je učinek naložb na zanesljivost in kakovost oskrbe z električno energijo ter zniževanje stroškov oskrbe ključni kriterij pri vrednotenju upravičenosti vlaganj v energetskega infrastrukturo.

Naložbe imajo velik pomen tako za posamezna podjetja kot za skladen razvoj vsakega gospodarstva države. Ko so sprejete, določajo bodočo strukturo proizvodnje in dolgoročno skladnost ponudbe s povpraševanjem na globalni ravni. Obseg naložb, njihova razmestitev po gospodarskih sektorjih in učinkovitost so odločilni dejavniki gospodarskega razvoja. Zaradi takšnega vpliva naložb je preudarno odločanje o izbiri naložbenih projektov izrednega pomena. Da bi bile odločitve pravilne in primerne, si poslovni subjekti pomagajo predvsem z naložbenimi programi. Ti pokažejo, kateri projekti so najbolj donosni in učinkoviti ter pomagajo izmed več med seboj izključujočih se projektov izbrati pravega.

Pri ravnanju s sredstvi v novih pogojih poslovanja energetskega sektorja se je spremenila predvsem obravnava učinkov, stroškov in tveganj. V preteklosti so podjetja načrtovala naložbe glede na največjo kakovost oskrbe in najmanjša tveganja ob najmanjših stroških. V novih pogojih se namesto največje kakovosti oskrbe uvaja zakonsko predpisana raven kakovosti oskrbe, namesto izogibanja tveganjem aktivno ravnanje s tveganji, kriterij odločanja o naložbah pa naj bi bili najmanjši stroški oz. največji dobiček ob zadovoljevanju vseh zakonsko predpisanih omejitev.

Elektroenergetika je kapitalsko intenzivna panoga. Naložbeni stroški v elektroenergetski naprave so razmeroma visoki, ustrezno temu je doba vračanja naložbe dolga v primerjavi z ostalimi panogami. Po drugi strani je elektroenergetski sistem tehnološko zapleten sistem. Okvare posameznih elementov sistema imajo v določenih primerih lahko velike neposredne (stroški popravila) in posredne posledice za energetska podjetja (zmanjšana zanesljivost ali prekinitev dobave električne energije), še večja škoda pa nastane na strani uporabnikov omrežja, saj je pri prekinitvi dobave električne energije velika večina industrijskih podjetij prisiljena zaustaviti svoje proizvodne procese.

S tega vidika je bistvenega pomena delovanje ključnih elektroenergetskih naprav, kot so daljnovodi, generatorji, transformatorji ipd.

3.2 Načrtovanje naložb v energetiki

Načrtovanje izgradnje elektrarn sledi postopkom načrtovanja iz poglavja 2. Pri načrtovanju se izdelujeta dolgoročni in kratkoročni načrt naložb v proizvodjalne zmogljivosti. Elektrarne običajno načrtujejo do 30 let vnaprej.

Do 60-tih let je bilo načrtovanje izgradnje elektrarn razmeroma preprosto. Na voljo so bili poceni viri energije in poraba je rasla hitro in predvidljivo. Po energetske krizi v 70-tih letih se pojavljajo novi vplivni dejavniki, kot so negotova rast porabe, finančni problemi, daljše dobe izgradnje zaradi pridobivanja številnih dovoljenj in umeščanja v prostor, zahtevnejša tehnologija (jedrska), strožji ekološki standardi, strožji standardi varnosti strojev itn.

Pri izbiri naložb moramo upoštevati:

- tehnologijo (hidroelektrarne, termoelektrarne, plinske elektrarne, jedrske ter elektrarne na druge obnovljive vire, kot so veter, sonce itn.),
- velikost agregata,
- stroške naložbe, obratovanja in vzdrževanja.

Postopek načrtovanja in vrednotenja naložb v elektrarne običajno sledi Uredbi o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo naložbene dokumentacije na področju javnih financ in ga je smiselno uporabiti glede na vrsto naložbene dokumentacije. V preglednici 1 je opredeljen postopek načrtovanja vlaganj, ki temelji na 5. členu omenjene uredbe.

Preglednica 1: Postopek načrtovanja in vrednotenja naložb

	Korak	Opis
1	Oprelitev možnosti in določitev ciljev	Osnova za ta korak je posnetek obstoječega stanja. Na podlagi napovedi porabe električne energije in zahtevane zanesljivosti oskrbe končnih odjemalcev opredelimo potrebe in določimo cilje.
2	Priprava predlogov različic za doseganje ciljev	Predloge različic izdelamo na podlagi pravil za načrtovanje omrežja.
3	Oprelitev stroškov in koristi posamezne različice	Stroške ocenimo na podlagi predračunskih cen oz. podobnih preteklih projektov. Koristi lahko ocenimo kot tehnične in ekonomske. Tehnične koristi opredeljujemo v tehničnih enotah (npr. zanesljivost oskrbe) medtem ko ekonomske koristi izražamo v denarnih enotah.
4	Ugotavljanje občutljivosti različic	Različice so občutljive na spremembo tehničnih, ekonomskih, organizacijskih in zakonodajnih parametrov.
5	Primerjava različic in izbira najboljše različice.	Presoja ekonomske in tehnične upravičenosti različic ter izdelava seznama naložbenih projektov.

Osnova za ocenjevanje in primerjavo posameznih različic naložb je osnovno stanje oziroma osnovni scenarij. Osnovni scenarij opisuje dejansko stanje elektroenergetskega sistema v prihodnosti, brez obravnavane naložbe. V postopku vrednotenja naložb se osnovni scenarij

brez naložbe primerja s scenarijem z naložbo, na podlagi te primerjave pa se vrednotijo stroški in koristi.

Naložba zadovoljuje kriterije izbire v primeru, da je izbran projekt najboljši v primerjavi z osnovnim scenarijem. Osnovni scenarij dopušča možnost tudi drugih naložb v omrežje. V primeru, da obravnavamo vsako naložbo posebej, je treba vse naložbe, ki bodo izvedene do obravnavanega časovnega trenutka, upoštevati v osnovnem scenariju. Zaradi dolge življenjske dobe naložb v elektroenergetsko infrastrukturo je časovno okno za analizo dolgo in osnovni scenarij mora predstavljati dejanski opis stanja v prihodnosti brez obravnavane naložbe.

V osnovni scenarij morajo biti vključeni naslednji podatki, ki omogočajo zadovoljivo natančnost ocenitve in primerjave stroškov ter koristi predlaganih naložb:

- trenutno stanje in lokacija obremenitev,
- lokacija, velikost, stroški in obratovalne značilnosti obstoječih proizvodjalnih zmogljivosti in projektov spodbujanja učinkovite rabe energije,
- topologija omrežja, vključno z njegovimi zmogljivostmi in omejitvami,
- stanje kakovosti oskrbe,
- cena električne energije,
- stroški primarnih energentov,
- cena sistemskih storitev ter
- cena za nedobavljeno energijo.

Za potrebe opisa najverjetnejšega osnovnega scenarija v prihodnosti z naložbo in brez nje je potrebno izdelati napoved stanja sistema za osnovni scenarij ob izvedbi projektov, s katerimi primerjamo načrtovane naložbe. Napoved osnovnega scenarija omrežja vsebuje:

- pričakovano velikost, obliko in lokacijo spreminjanja odjema električne energije in
- velikost, lokacijo, časovni načrt in stroške naložb, ki se bodo najverjetneje izvajali v prihodnosti.

Stroški in koristi oz. učinki načrtovanih naložb so odvisni od prihodnjega stanja sistema, le-to pa je odvisno tudi od ostalih vlaganj in sprememb odjema.

Glede na osnovni scenarij prihodnjega stanja sistema opredelimo cilje in različice naložb. Za vsako različico opredelimo stroške in koristi ter jih primerjamo med seboj. Možne različice primerjamo glede na kriterije in omejitve. Kriteriji in omejitve so lahko tehnični, ekonomski, in ostali.

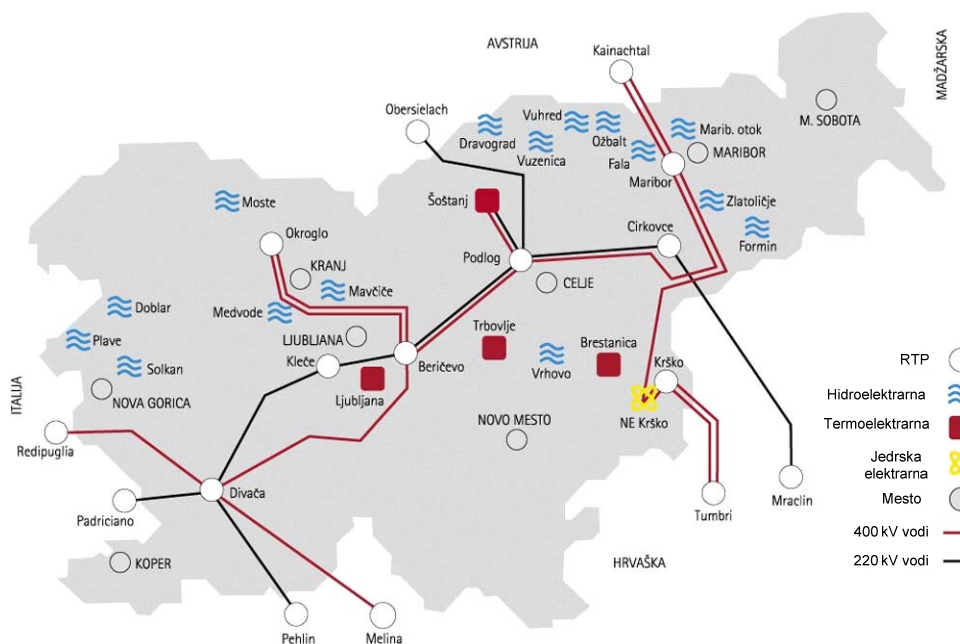
3.3 Elektroenergetski sistem – EES

EES delimo glede na smer pretoka energije na proizvodnjo, prenos in distribucijo električne energije. Proizvodnja električne energije zajema proizvodnjo električne energije v elektrarnah, to je v hidroelektrarnah, termoelektrarnah in jedrski elektrarni.

Distribucijsko omrežje vsebuje daljnovode ter kablovode do 110 kV nazivne napetosti. Prenosno omrežje zajema daljnovode in razdelilne transformatorske postaje na 400, 220 in 110 kV nivoju. Slika 18 prikazuje 400 kV in 220 kV omrežje ter elektrarne, priključene na prenosno omrežje Slovenije.

Proizvajalne enote, priključene na prenosno omrežje Slovenije, imajo celotno instalirano moč na pragu 2823 MW, od tega 886 MW v hidroelektrarnah, 1241 MW v termoelektrarnah, 696 MW pa znaša instalirana moč jedrske elektrarne Krško. Elektrarne so razporejene na naslednjih lokacijah:

- jedrska elektrarna: Krško;
- termoelektrarne: Šoštanj, Trbovlje, Ljubljana in Brestanica;
- hidroelektrarne: Soča (Doblar, Plave, Solkan in Avče), Sava (Moste, Mavčiče, Medvode, Vrховo in Boštanj), Drava (Dravograd, Vuzenica, Vuhred, Ožbalt, Fala, Mariborski otok, Zlatoličje in Formin).



Slika 18: Slovensko 400 in 220 kV omrežje in elektrarne na prenosnem omrežju [ELES, 2003; 12].

3.4 Zagotavljanje zanesljivosti oskrbe države z energijo

Zanesljivost oskrbe države z energijo (angl. *security of supply*) pomeni sposobnost elektroenergetskega sistema, da zagotovi električno energijo končnim porabnikom v določeni kontinuiteti in kakovosti na trajnosten način [ELES, 2005; 13]. Dolgoročno zagotavljanje zanesljivosti oskrbe z energijo v Sloveniji obravnava Resolucija o Nacionalnem energetskega programu [ReNEP, Ur. l. RS 57/04; 36] in vsakoletno poročilo o izvajanju politike ReNEP. V ReNEP so upoštewane napovedi o možni oskrbi s primarnimi gorivi, predvideni so okvirni viri proizvodnje, dane so možne smeri razvoja omrežja ter ukrepi za razvoj trga z energijo in zaščito okolja.

V sklopu dolgoročnih ocen zadostnosti elektroenergetskega sistema se v Sloveniji pripravljajo, skladno s 53. členom Energetskega zakona, na vsaki dve leti petletni razvojni načrti električnih in plinskih omrežij, ki jih pripravljajo sistemski operaterji. V Sloveniji sodi ta dejavnost med javne gospodarske službe. Z razvojnimi načrti teh podjetij se načrtuje zanesljivost in zadostnost omrežij.

Izgradnja proizvodjalnih enot električne energije poteka v Sloveniji na podlagi t.i. energetske dovoljenj (49. – 52.a člen EZ) [Energetski zakon, 2005; 15]. Postopek podeljevanja dovoljenj je podoben postopku, ki ga določa Direktiva 2003/54/EC, pri čemer končna odločitev o izgradnji elektrarn ostaja na energetskih podjetjih oziroma naložbenikih.

EZ v 52.a členu nalaga ministrstvu, pristojnemu za energijo, da spremlja potek izgradnje energetske objekto. V primeru, da iz podeljenih energetske dovoljenj ni mogoče zaključiti, da bo dosežena (kljub varčevalnim ukrepom) potrebna zadostnost proizvodjalnih zmogljivosti, je ministrstvo dolžno pripraviti izredne ukrepe.

Zanesljivost dobave električne energije (angl. *reliability*), [Kundur in drugi, 2005; 26], [Gubina, 2006; 21] določa verjetnost (ponavadi v obliki številske izražene kazalnike), da bo sistem sposoben dobaviti energijo v skladu s predpisanimi standardi do vseh odjemnih mest in v potrebnih količinah. Zanesljivost oskrbe podajajo z dvema osnovnima značilnostima: zadostnost (angl. *adequacy*) in sigurnost (angl. *security*).

Zadostnost [Kundur in drugi, 2005; 26], [Gubina, 2006; 21] je pokazatelj sposobnosti sistema za pokrivanje potreb odjemalcev po električni energiji in moči v vseh pričakovanih obratovalnih stanjih, torej z upoštevanjem načrtovanih in nenačrtovanih nerazpoložljivosti elementov EES.

Sigurnost(varnost) [Kundur in drugi, 2005; 26], [Gubina, 2006; 21] obratovanja je sposobnost sistema, da je v določenem obratovalnem stanju odporen na množico motenj (kratki stiki v omrežju, izpadi elementov sistema ter nepričakovane spremembe v odjemu v povezavi z omejitvami v proizvodnji), tako da sistem motnjo preživi in pri tem ni ogrožena celovitost sistema, odjemalci pa posledic motnje ne čutijo.

Celovitost [Kundur in drugi, 2005; 26], [Gubina, 2006; 21] sistema določa stanje, ko so vsi priključeni odjemalci napajani, vsi postroji sistema, ki so vezani v sistem, pa obratujejo po programu.

Oceno zadostnosti proizvodnje izvajajo na podlagi:

- elektroenergetske bilance,
- razmerja med instalirano močjo elektrarn in konično močjo odjema v sistemu,
- podrobne bilance moči,
- pričakovanega izpada pokrivanja porabe.

Poleg naštetih kriterijev se pri analizah zanesljivosti oskrbe v veliki meri uporablja verjetnostni pristop, saj EES ne more zagotavljati popolne zanesljivosti zaradi naključnih izpadov enot, nepričakovanih visokih obremenitev, raznih motenj itn. Že pri načrtovanju sistema je sprejeta ocena, da v določenih trenutkih porabe ne bo mogoče v celoti pokriti.

Elektroenergetska bilanca

Elektroenergetska bilanca podaja proizvodnjo, porabo ter uvoz in izvoz energije. Do odstopanja med domačo porabo in proizvodnjo električne energije prihaja zaradi pomanjkanja proizvodjalnih zmogljivosti. Primanjkljaj je treba nadomestiti z energijo iz novih proizvodjalnih enot ali z uvozom energije iz tujine, če je sploh na razpolago in če jo je mogoče prenesti do domačega sistema.

Instalirana moč elektrarn in konična moč odjema

Za kakovostno oskrbo odjemalcev je treba v sistemu zagotoviti dovolj moči, ki je na razpolago za pokrivanje odjema in rezervne moči za zagotavljanje zanesljivosti obratovanja pri nepredvidenih dogodkih v omrežju. Presežek instalirane moči nad koničnim odjemom se namenja zagotavljanju zadostnih sistemskih rezerv za regulacijo, pokrivanju nerazpoložljivosti proizvodjalnih enot, pomemben pa je tudi zaradi negotovosti hidroloških razmer, ki vplivajo na proizvodnjo hidroelektrarn.

Bilanca moči

Bilanca moči za značilna časovna obdobja instalirane moči proizvodjalnih enot podaja višino nerazpoložljive moči, trenutno razpoložljivo moč za pokrivanje odjema, dejansko ali predvideno moč izmenjav in primerjavo s porabo moči v sistemu v istem časovnem obdobju.

Pričakovani izpad pokrivanja porabe

Med obratovanjem EES moramo zagotoviti rezervo moči za regulacijo in izpad največjega agregata v sistemu. Pri dolgoročnem načrtovanju moramo torej zagotoviti več proizvodnih zmogljivosti od predvidenih koničnih obremenitev, upoštevati pa velja tudi nerazpoložljivost agregatov v remontu. Kljub temu ostaja določena raven tveganja, da z razpoložljivo proizvodnjo ne uspemo pokriti določenega odjema. To stopnjo največkrat podajajo s kazalnikom tveganja trajanja izpada napajanja LOLP (angl. *Loss of Load Probability*) ali pričakovanim tveganjem izpada napajanja LOLE (angl. *Loss of Load Expectation*) [ELES, 2005; 13]. V praksi se uporabljata tudi *kazalec* nedobavljene energije ENS (angl. *Energy Not Supplied*) in vrednost izpadlega bremena VOLL (angl. *Value of Lost Load*).

Tveganje trajanja izpada napajanja ali pričakovano tveganje izpada napajanja (LOLP, LOLE) predstavlja verjetnost, da domače proizvodne zmogljivosti z upoštevanjem energije iz tujine ne bodo zadostovale za celotno porabo v sistemu.

3.5 Postopek odločanja o naložbah v elektrarne

Postopek odločanja o naložbah v elektrarne je razdeljen v naslednje sklope:

1. Opredelitev različic možnih tehničnih rešitev elektrarne.
2. Opredelitev cen električne energije in ostalih storitev, ki jih lahko zagotavlja posamezna elektrarna.
3. Opredelitev stroškov izgradnje, obratovanja in vzdrževanja elektrarne.
4. Opredelitev optimalnega obratovalnega režima elektrarne in drugih elektrarn na katere obravnavana elektrarna vpliva.
5. Izračun tehnično ekonomskih kazalnikov naložbe za posamezne različice.
6. Izbira najustreznejše različice.

3.5.1 Opredelitev različic možnih tehničnih rešitev elektrarne

Analizo ekonomske upravičenosti naložbe izdelujejo za več različic. Opredelitev različic možnih tehničnih rešitev izgradnje elektrarn naložbeniki običajno izvedejo v idejnem projektu, ki ga izdelajo v skladu s Pravilnikom o projektni dokumentaciji.

Namen idejnega projekta je priprava strokovnih oziroma tehničnih podlag za izbor najustreznejše različice nameravanega objekta oziroma načina izvedbe del. Idejni projekt med

ostalim vsebuje popis predvidenih priključkov na infrastrukturo z navedbo predvidenih dimenzij oziroma predvideno zmogljivost z navedbo upravljalcev gospodarske javne infrastrukture, opis projekta s predvidenimi materiali, instalacijami in tehnološko opremo, ki služi objektu s tehničnimi ukrepi za varstvo okolja ter opis morebitnih predhodnih geoloških in geomehanskih raziskav, seizmoloških, meteoroloških, hidroloških in klimatskih pogojev lokacije ter oceno vseh stroškov gradnje.

V primeru izgradnje hidroelektrarn se posamezne različice lahko razlikujejo po:

- instaliranem pretoku vode,
- največjem padcu vode,
- kotih zajezitve,
- prostornini zbiralnega bazena (akumulacije),
- povprečnem letnem dotoku vode,
- številu agregatov,
- nazivne moči elektrarne,
- proizvedeni električni energiji,
- vrsti turbin itn.

3.5.2 Opredelitev cen električne energije in analiza možnih prihodkov

Možno prodajno ceno električne energije, proizvedene v obravnavanih elektrarnah, določajo na osnovi cen energije v Sloveniji in na bližnjih regionalnih trgih (Avstrija, Italija in Hrvaška) v značilnih obdobjih presežkov ali primanjkljajev energije v posameznih regijah z upoštevanjem razvojnih načrtov izgradnje proizvodnih in prenosnih zmogljivosti v omenjenih regijah in predvidenega gibanja cen primarnih goriv.

Izračun možnih prihodkov temelji na dejanskih podatkih v preteklem obdobju, ki odražajo dejanske razmere na trgu v različnih obratovalnih stanjih EES. Prihodki od prodaje upoštevajo vse tržne elemente, vključno s ceno prenosnih zmogljivosti, ki v današnjem času igra zelo pomembno vlogo pri čezmejnem trgovanju z električno energijo.

Analiza možnih prihodkov obsega:

- analizo cen električne energije na trgih v srednji Evropi in Italiji, ki hkrati z razmerami v jugovzhodni Evropi določajo tudi ceno električne energije v Sloveniji,
- analizo cen čezmejnih prenosnih zmogljivosti na meji z Avstrijo, Italijo in Hrvaško ter
- analizo možnosti izvajanja sistemskih storitev (npr. rezervna moč).

3.5.3 Opredelitev stroškov izgradnje, obratovanja in vzdrževanja elektrarne

Stroške naložb razlikujemo glede na izbrano različico izgradnje. Začetna vlaganja zajemajo stroške pred začetkom izgradnje elektrarne (pridobivanje dovoljenj, priprava predhodne dokumentacije, odkup zemljišč itn.). Začetna vlaganja so predvidena v prvem letu naložbe in jih običajno ne upoštevamo v amortizaciji sredstev.

Poleg začetnih vlaganj je potrebno oceniti še:

- stroške gradbenih del,
- stroške dobave in vgradnje strojne opreme,
- stroške strojne opreme (npr. hidromehanske opreme pri hidroelektrarnah),
- stroške elektroenergetske opreme,
- strošek priključka na omrežje in
- ostale nepredvidene stroške.

Poleg tega naložbeniki ocenjujejo časovni potek izgradnje elektrarne in časovni potek denarnega toka. Pomembna postavka je obnova elektrarne v življenjski dobi. Običajno načrtujejo vsaj eno večjo obnovo po 25 do 30 letih obratovanja.

Stroški med obratovanjem vsebujejo:

- stroške goriva,
- stroške koncesije,
- stroške zavarovanja objektov in opreme,
- stroške drugih storitev in materiala,
- stroške vzdrževanja objektov in opreme,
- amortizacijo,
- stroške dela,
- stroške financiranja,
- davek na dobiček itn.

3.5.4 Opredelitev najustreznejšega načina obratovanja elektrarne

V naslednji stopnji naložbeniki opredelijo najustreznejši režim obratovanja elektrarne, na osnovi katerega ocenijo prihodke od prodaje električne energije in sistemskih storitev. Prihodke od prodaje običajno ocenijo ob predpostavki povprečne letne proizvodnje. Pri tem določajo tudi vpliv obratovanja posamezne elektrarne na obratovanje ostalih elektrarn, predvsem v primeru hidroelektrarn, ki so na isti reki.

Opredelitev najustreznejšega režima obratovanja je zasnovana na tehničnih značilnostih elektrarn (v primeru hidroelektrarn so to povprečni mesečni dotoki, instalirani pretoki elektrarn in izkoristljiva prostornina pripadajočih bazenov). Za določitev najustreznejšega načina obratovanja naložbeniki izdelajo simulacijski model, s katerim ponazorijo (simulirajo) različna obratovalna stanja in vplivne spremenljivke. Rezultati, pridobljeni z modelom, so osnova za izbor optimalnih tehničnih značilnosti elektrarne z vidika tehnično ekonomskih kriterijev.

3.5.5 Izračun tehničnih in ekonomskih kriterijev naložbe za posamezne različice

V petem koraku izračunajo in primerjajo tako tehnične kot tudi ekonomske kriterije. Ti so osnova za oceno posameznih različic naložb pri katerih upoštevajo možne prihodke glede na način obratovanja in cene električne energije in sistemskih storitev na trgu ter stroške izgradnje, obratovanja in vzdrževanja elektrarne.

Na osnovi opredeljenih stroškov in koristi posamezne različice izdelajo analizo upravičenosti na osnovi čiste sedanje vrednosti in notranje stopnje donosnosti naložbe. Zaradi možnih sprememb vhodnih parametrov naložbe (nižja rast cene energije in višji stroški naložbe od izhodiščne) izdelajo analizo občutljivosti za vse različice.

Pri tem v zadnjem času upoštevajo tudi rast cen surovin, ki je v preteklih letih povzročila skokovito rast cen opreme. Po drugi strani pa ocenjujejo tudi verjetnost spremembe cen na trgu primarnih energentov (surove nafte in predvsem zemeljskega plina), kar lahko vpliva na spremembo cen električne energije.

Pri izgradnji elektrarn in pripadajočih objektov določajo, poleg energetskih učinkov, tudi posredne vplive, predvsem na onesnaženje okolja, mikroklimo v okolici elektrarne, na rečni režim in na lokalno infrastrukturo (lokalne ceste, električno omrežje).

3.5.6 Izbira najustreznejše različice

Izbira je zadnje dejanje pri odločanju. Stopnja izbire vključuje iskanje, vrednotenje in predlog primerne različice naložbe. Poleg tehničnih in ekonomskih kriterijev pa izbira najustreznejše različice naložbe v elektrarno vsebuje tudi druge kriterije, med katerimi so tudi taki, ki se jih ne da vrednostno prikazati:

- vpliv na povečanje proizvodnje električne energije iz domačih virov primarne energije in posledično zmanjšanje odvisnosti Slovenije od uvoza električne energije,
- proizvodnja v konicah odjema, to je v urah največjega primanjkljaja moči v slovenskem EES,
- povečanje zanesljivosti obratovanja elektroenergetskega sistema z zagotavljanjem sistemskih storitev, kot so regulacija frekvence, zagotavljanje rezerve moči, regulacija napetosti in zagon agregata brez zunanega napajanja,
- vpliv na zaposlitve v lokalni skupnosti,
- obremenitve okolja itn.

Vsi ti dejavniki so pomembni pri odločitvah o naložbah v energetsko infrastrukturo in niso zanemarljivi. Odločevalec mora zato biti opremljen tudi s tovrstnimi informacijami, da lahko sprejme najustreznejšo odločitev.

3.6 Optimizacijski model za odločanje o naložbah v elektroenergetski sistem

Naložbe v EES so zelo specifične (svojevrsne). Energetska infrastruktura zelo težko najde alternativno področje za uporabo. Ko je podjetje enkrat izvedlo naložbo v EES, se lahko znajde v t.i. tirni pogojenosti (angl. *path dependence*). Tirna pogojenost označuje dejstvo, da je položaj, v katerem se nahajamo danes, posledica preteklih dogajanj. Ko smo enkrat izvedli naložbo v tako specifično premoženje, kot je energetski sistem, se bo ta oprema, ker nima alternativnega področja uporabe, uporabljala naslednjih 10 do 20 let, čeravno je medtem že nastala boljša [Rebernik, Pušnik, 2006; 35].

Poleg tega so elektroenergetska podjetja pogosto omejena z okoljskimi in varnostnimi standardi, kar povečuje pomembnost vrednotenja tehničnih in ostalih vidikov naložb. Tako morajo odločitve o naložbah zadovoljiti veliko število zahtev deležnikov, kar vpliva na povečanje celotnega učinka.

Izbrati optimalno strukturo naložb v proizvodne zmogljivosti pomeni določiti tako strukturo elektrarn, velikost posamezne elektrarne, vrsto vira primarne energije (voda, premog, jedrsko gorivo, plin itn.), mesto namestitve, način priključitve na elektroenergetsko omrežje, začetek in konec obratovanja posamezne elektrarne idr., da zagotovijo načrtovano proizvodnjo električne energije in rezervne zmogljivosti ob najmanjših stroških oziroma največjem dobičku in da so ob tem zadovoljene ostale omejitve. Problem naložb v elektrarne je tehnično ekonomski problem.

Problem iskanja optimalne strukture naložb vključuje številne omejitve. Omejitve lahko razdelimo na globalne (splošne) omejitve, ki se nanašajo na vse elektrarne v EES, na lokalne omejitve, ki se nanašajo na posamezne elektrarne, in ostale omejitve. Za zadovoljevanje globalnih omejitev je odgovoren predvsem sistemski operater prenosnega omrežja ELES, medtem ko so za zadovoljevanje lokalnih omejitev odgovorni lastniki in upravljalci posameznih elektrarn.

Globalne omejitve so:

- bilanca proizvodnje in porabe električne energije v celotnem EES,
- zagotovitev predpisane rotirajoče rezerve za celoten EES.

Lokalne omejitve so:

- najmanjša in največja moč posameznega agregata,
- hitrost spreminjanja proizvodnje električne energije,
- najkrajši čas obratovanja po zagonu,
- najkrajši čas mirovanja po zaustavitvi itn.

Ostale omejitve so:

- obvezno obratovanje agregatov zaradi različnih vzrokov (npr. daljinsko ogrevanje),
- omejitve povezane z gorivom,
- vpliv elektrarne na okolico,
- rezerva moči v sistemu itn.

Kriteriji, po katerih izbiramo naložbo, so odvisni od odločevalca in njegovega položaja. Kot smo videli v prejšnjem poglavju, poteka načrtovanje naložb v proizvodjalne zmogljivosti električne energije na ravni države in na ravni naložbenika. Ministrstvo, pristojno za energijo, je dolžno pripravljati take ukrepe, da je zagotovljena zanesljivost oskrbe končnih odjemalcev v državi. Končna odločitev o izgradnji posamezne elektrarne pa je prepuščena naložbeniku.

Na ravni države oziroma celotnega sistema običajno uporabljajo naslednje kriterije:

- elektroenergetska bilanca države oziroma celotnega sistema,
- razmerje med instalirano močjo elektrarn in konično močjo odjema električne energije v sistemu,
- podrobna bilanca moči,
- pričakovano tveganje izpada napajanja,
- zanesljivost oskrbe z električno energijo itn.

Na ravni energetskega podjetja pa so najbolj pomembni ekonomski kriteriji kot so dobiček, prihodek, strošek oziroma iz njih izpeljani kriteriji kot sta čista sedanja vrednost naložbe in notranja stopnja donosnosti.

Lahko uporabljajo tudi druge kriterije, ki upoštevajo:

- količino izpustov toplogrednih plinov,
- vplive na okolje,
- vplive na delovanje omrežja,
- količine proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov,
- izgube energije v omrežju,
- količino uvoza oziroma izvoza itn.

Iz omenjenega vidimo, da je problem odločanja o naložbah v elektroenergetski sistem večkriterijski, večrazsežnosten, nelinearen, kombinatoričen in mora zadovoljevati številne omejitve. Cilj reševanja večkriterijskega problema je najti najustreznejšo oziroma optimalno rešitev, ki zadovoljuje običajno med seboj nasprotujoče si kriterije. Večina problemov v energetiki je prav takih.

V preteklosti so bile za reševanje tovrstnih problemov v uporabi matematične metode, kot so linearno in nelinearno programiranje, dinamično programiranje, gradientne metode, Lagrangeeva relaksacijska metoda in druge. Brez dvoma so bile uspešne v veliko praktičnih primerih, vendar so še vedno slabe strani, ki vzpodbujajo raziskavo novih pristopov. Evolucijski algoritmi, ki so vse bolj v uporabi tudi zaradi povečanja zmogljivosti računalnikov, so ena od obetavnih metod za reševanje večkriterijskih optimizacijskih problemov v energetiki.

4 VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA

4.1 Uvod

Evolucijski algoritmi so splošni preiskovalni algoritmi, zasnovani na načelih teorije evolucije. Osnovno načelo je vzdrževanje in razvoj množice rešitev obravnavanega problema v obliki kodiranih osebkov. Evolucija rešitev je zasnovana na načelih selekcije (preživetja boljših) in izmenjave ter spremembe genetskega materiala znotraj populacije. Genetska operatorja, kot sta križanje in mutacija tvorijo naslednike trenutnih rešitev. Boljše med njimi preživijo selekcijo in so izbrane za naslednjo generacijo. Populacija v razvoju preiskuje prostor rešitev in zbira znanje o slabih in dobrih področjih problemskega prostora. To znanje se razvija in kombinira v čedalje boljših rešitvah obravnavanega problema. Evolucija je potemtakem optimizacijski proces, ki je lahko simuliran na računalniku in uporabljen v inženirske namene.

Značilnosti optimizacijskih problemov, kot so multimodalnost, omejitve, veliko število razsežnosti, nelinearnost, neodvedljivost in šum ter časovno spremenljiva kriterijska funkcija, pogosto vodijo v težke, če ne celo nerešljive optimizacijske probleme. Uporaba evolucijskih algoritmov v optimizacijske namene daje v mnogih primerih dobre učinke v zadovoljivem času. Nekateri navajajo, da je največja prednost evolucijskih algoritmov v prilagodljivosti določeni nalogi, v kombinaciji z robustnostjo (čeprav je ta odvisna tudi od vrste problema) in lastnostjo globalnega preiskovanja [Back in drugi, 1997; 4].

4.2 Optimizacija

Optimizacija je proces iskanja ene ali več rešitev, za katere so vrednosti kriterijske funkcije ekstremne (skrajne). Pri tem je ena rešitev v splošnem sestavljena iz odločitvenih spremenljivk (angl. *decision variables*), ki predstavljajo značilnosti sistema, ki ga optimiramo. Potreba po iskanju tovrstnih rešitev izhaja iz težnje po načrtovanju sistemov, ki imajo najmanjše stroške naložbe, vzdrževanja in obratovanja ali pa najvišjo možno zanesljivost. Prav zaradi skrajnih lastnosti optimalnih rešitev so optimizacijske metode zelo pomembne v praksi, posebej pa v inženirstvu, znanosti in poslovnih odločitvah [Deb, 2001; 11].

Iskanje optimalnih rešitev problemov, ki vključujejo eno kriterijsko funkcijo oziroma en kriterij, imenujemo enokriterijska optimizacija (angl. *single objective optimization*). Enokriterijska optimizacija na splošno zahteva ugotovitev vektorja rešitve \mathbf{x} , izbranih značilnosti sistema, za katerega je vrednost kriterija $f(\mathbf{x})$, imenovan kriterijska funkcija, najmanjša (največja) ob upoštevanju omejitev $g(\mathbf{x}) \geq 0$ in $h(\mathbf{x}) = 0$ ali zapisano v simbolični obliki:

$$\min \{f(\mathbf{x}) \mid g_i(\mathbf{x}) \geq 0, i = 1, 2, \dots, u, h_j(\mathbf{x}) = 0, j = 1, 2, \dots, v\}. \quad (4.1)$$

Rešitve

Posamezna rešitev je sestavljena iz odločitvenih spremenljivk, katerih vrednosti so opredeljene v postopku iskanja optimalne rešitve optimizacijskega problema. Vektor rešitev je sestavljen iz odločitvenih spremenljivk x_1 do x_n kot sledi:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Lastnosti definicijskega območja

Definicijsko območje kriterijske funkcije je množica točk oziroma rešitev problemskega prostora, za katere ima kriterijska funkcija eno ali več vrednosti. Vsaka točka problemskega prostora je predstavljena z rešitvijo \mathbf{x} . Omejitve določajo območje dopustnih (angl. *feasible*) rešitev tako, da je množica dopustnih rešitev, F , podmnožica celotnega definicijskega območja ($F \subseteq M$).

$$F = \{\mathbf{x} \in M \mid g_i(\mathbf{x}) \geq 0 \forall i; h_j(\mathbf{x}) = 0 \forall j\}. \quad (4.3)$$

Omejitve so lahko eksplicitne ali implicitne. Eksplicitne omejitve predstavljajo spodnjo in zgornjo mejo posamezne odločitvene spremenljivke:

$$x_k^{sp} \leq x \leq x_k^{zg}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4.4)$$

Implicitne omejitve so podane v dveh oblikah, in sicer kot neenačbe in kot enačbe. Omejitve v obliki neenačb so opredeljene kot niz u neenačb:

$$g_i(\mathbf{x}) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, u, \quad (4.5)$$

kjer so $g_i(\mathbf{x})$ skalarne nelinearne funkcije parametrov sistema x_k . Omejitve v obliki enačb zapišemo kot niz v enačb

$$h_j(\mathbf{x}) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, v, \quad (4.6)$$

kjer so $h_j(\mathbf{x})$ skalarne nelinearne funkcije parametrov sistema x_k .

Lastnosti kriterijske funkcije

Pri reševanju optimizacijskega problema z omejitvami je potrebno določiti vektor \mathbf{x}^* , da velja:

$$\forall \mathbf{x} \in F: f(\mathbf{x}) \geq f(\mathbf{x}^*) = f^*. \quad (4.7)$$

Linearna funkcija je funkcija, predstavljena z enačbo, v kateri nastopajo spremenljivke aditivno in največ v prvi potenci. V takem primeru uporabimo za optimizacijo najbolj enostavno linearno programiranje, če imamo linearen kriterij in vse omejitve.

V realnem svetu se velikokrat pojavljajo tudi t.i. binarne spremenljivke, ki so omejene na dve vrednosti: 0 ali 1. Binarne spremenljivke povzročajo izdelovalcem simulacijskih modelov, ki temeljijo na tradicionalnih metodah, velike probleme in so vzrok težavnosti reševanja številnih problemov v inženirstvu.

Tradicionalen pristop v takih primerih je razvoj formalnega modela, ki je čimbolj podoben izvorni funkciji in je rešljiv s pomočjo tradicionalnih matematičnih metod, kot sta linearno in nelinearno programiranje. Tak pristop pogosto zahteva poenostavitve formulacije izvirnega problema. Bistvena razlika v pristopu z evolucijskimi algoritmi je prilagoditi metodo problemu.

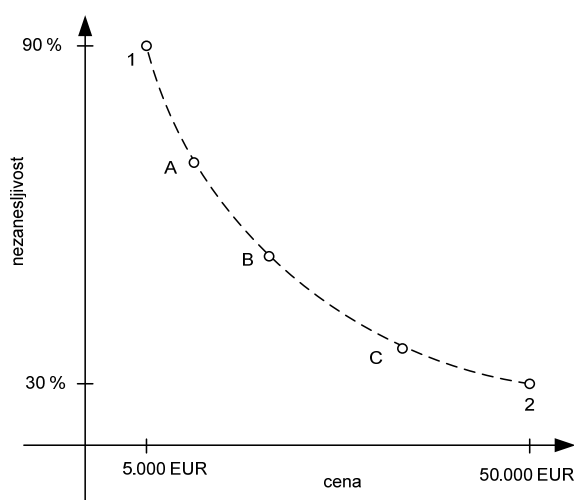
4.3 Večkriterijska optimizacija

Pri večini problemov iz prakse je potrebno, da posamezna rešitev zadovoljuje večje število dostikrat nasprotujočih si kriterijev. Pri tem se velikokrat dogaja, da je neka rešitev »bolj« ustrežna glede na en kot na drug kriterij. Večje število kriterijev v tem primeru predstavimo kot vektorsko funkcijo, ki je sestavljena iz posameznih kriterijskih funkcij, kot sledi:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}) \\ f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ f_m(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Iskanje optimalnih rešitev problemov, ki vključujejo več kriterijskih funkcij oziroma več kriterijev, imenujemo večkriterijska optimizacija (angl. *multi-objective optimization*). Optimalne rešitve večkriterijskega optimizacijskega problema so rešitve od \mathbf{x}_1 do \mathbf{x}_n izbranih odločitvenih spremenljivk, ki zadovoljujejo omejitve in optimirajo vektorsko funkcijo, katere elementi predstavljajo kriterijske funkcije.

Bistvena razlika med enokriterijsko in večkriterijsko optimizacijo je v številu optimalnih rešitev [Deb, 2001; 11]. Recimo, da kupec kupuje avtomobil in tehta med dvema nasprotujočima si kriterijema, ceno in nezanesljivostjo (slika 19). Predpostavimo, da nezanesljivost avtomobila merimo v verjetnosti, da bo na 100.000 prevoženih kilometrov vsaj enkrat nesposoben za vožnjo. Avtomobil 1 bo tako z 90% verjetnostjo vsaj enkrat na 100.000 kilometrov nesposoben za vožnjo.



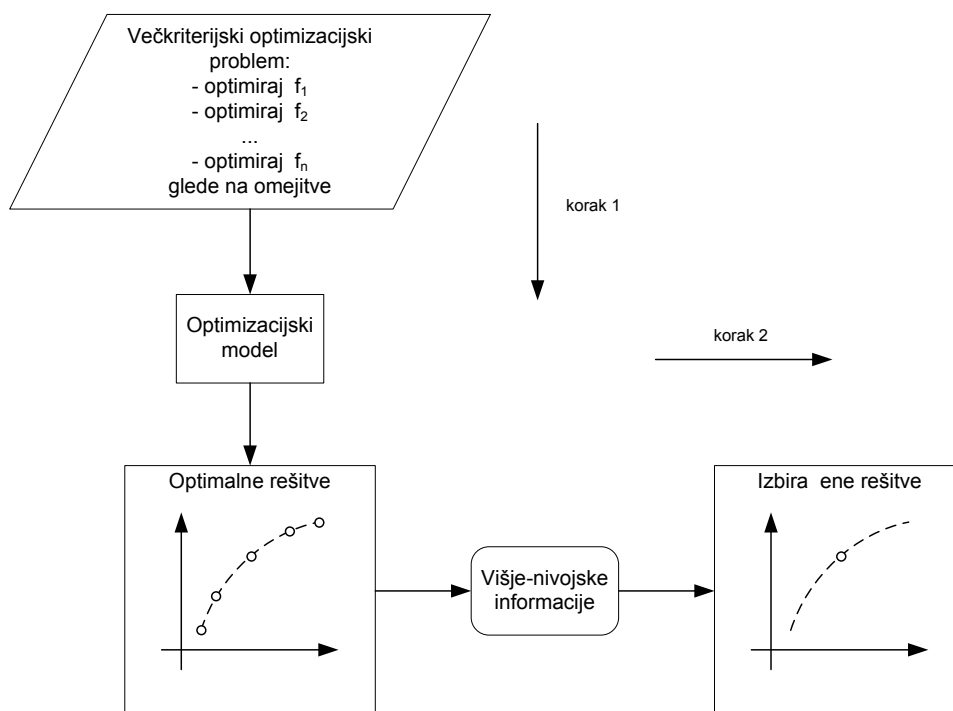
Slika 19: Primer izbire pri nakupu avtomobila [prirejeno po Deb, 2001; 11]

Če bi kupec iskal optimalno rešitev samo po kriteriju najnižje cene, bi izbral avtomobil 1, ki stane npr. 5.000 EUR (najmanjša vrednost kriterijske funkcije »cena«), in je običajno tudi najbolj zanesljiv (npr. 90 %). Če bi pa iskal avtomobil z najvišjo zanesljivostjo oziroma najnižjo nezanesljivostjo bi izbral avtomobil 2 z nezanesljivostjo 30 % (najnižja vrednost kriterijske funkcije »nezanesljivost«), ki je obenem tudi najdražji. Če pa je kupec pripravljen žrtvovati nekaj več denarja za nižjo nezanesljivost od 90 % lahko najde drug avtomobil, ki stane nekaj več in nudi nekoliko višjo zanesljivost. Pri tem ima na voljo avtomobile A, B in C, pri katerih, če hoče pridobiti po enem kriteriju (zanesljivost), mora žrtvovati drug kriterij (denar) in obratno. Razvidno je, da sta si višja zanesljivost in nižja cena nasprotujoči si želji oziroma potrebi, ki ju je potrebno med seboj pretehtati [Deb, 2001; 11].

Postavlja se vprašanje, katera od petih rešitev je najboljša glede na oba kriterija. Nobena; to pa zato, ker nobena od predstavljenih rešitev ni boljša od katerekoli druge rešitve po obeh kriterijih. Če kupec primerja rešitvi A in B, je rešitev A boljša po kriteriju nižje cene, medtem ko je rešitev B boljša po kriteriju višje zanesljivosti oziroma nižje nezanesljivosti. V splošnem velja, da pri optimizacijskih problemih z več kot enim nasprotujočim si kriterijem, ni samo ene optimalne rešitve. Obstaja namreč več rešitev, vse pa so optimalne. Razlog je v tem, da pri iskanju optimalnih rešitev vedno tehtamo med vsaj dvema nasprotujočima si kriterijema. Tako je pri problemu nakupa avtomobila vseh pet rešitev optimalnih glede na oba kriterija.

Ker ima tako odločevalec na voljo več optimalnih rešitev, potrebuje dodatno informacijo, da se lahko odloči za eno izmed njih. Brez dodatne informacije ni možno izbrati ene same rešitve kot najustreznejše. Kupec avtomobila iz zgornjega primera je v zadregi. Katerega od avtomobilov naj izbere? Odgovor na to vprašanje je odvisen tudi od drugih parametrov odločitvenega problema, kot so vsota denarja, ki jo ima na voljo, število potnikov, ki se bodo vozili vsak dan, dnevno število prevoženih kilometrov, poraba in cena goriva itn.

Eden od pristopov k iskanju najustreznejše rešitve je t.i. idealni pristop (slika 20) [Deb, 2001; 11].



Slika 20: Idealen pristop k večkriterijskem optimiranju [Deb, 2001; 11]

V procesu iskanja najustrežnejše rešitve odločevalec najprej določi večje število optimalnih rešitev s pomočjo matematičnega modela (korak 1). Med temi rešitvami potem izbira najustrežnejšo s primerjalno analizo rešitev glede na višje nivojske informacije (korak 2). Višje nivojske informacije v procesu iskanja najustrežnejše rešitve ne uporabljajo za iskanje novih rešitev, ampak za izbiro med rešitvami, že pridobljenimi v koraku 1.

4.4 Relacija dominiranosti in Pareto optimalnost

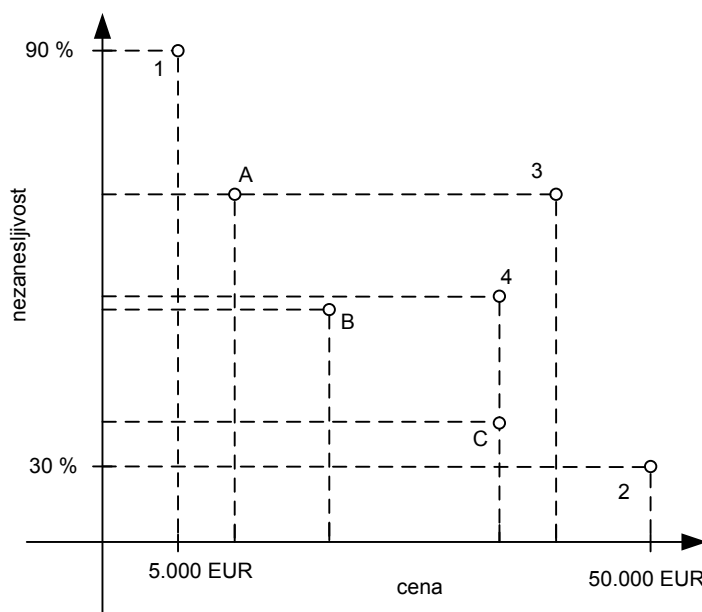
Kupec avtomobila iz prejšnjega poglavja se srečuje z zahtevo po sočasnem optimiranju po različnih kriterijih. V praksi so si kriteriji večkrat nasprotujoči, kar pomeni da izbira rešitve, ki izboljšuje en kriterij, povzroči poslabšanje po drugih kriterijih.

Večina algoritmov za večkriterijsko optimizacijo uporablja relacijo dominiranosti. Relacija dominiranosti temelji na tem, da dve rešitvi primerjajo med seboj in ugotavljajo ali ena dominira nad drugo ali ne. Rešitev večkriterijskega optimizacijskega problema \mathbf{x} *dominira* nad rešitvijo \mathbf{y} ($\mathbf{x} \prec \mathbf{y}$), če sta izpolnjeni naslednji zahtevi:

1. Rešitev \mathbf{x} ni slabša od rešitve \mathbf{y} po vseh kriterijih $f_i(\mathbf{x}) \leq f_i(\mathbf{y})$ za vse $i = 1, \dots, m$.
2. Rešitev \mathbf{x} je boljša od rešitve \mathbf{y} po vsaj enem kriteriju $f_j(\mathbf{x}) < f_j(\mathbf{y})$ za vsaj en $j \in \{1, \dots, m\}$.

Če eden od zgornjih dveh pogojev ni izpolnjen, pomeni, da rešitev \mathbf{x} ne dominira nad rešitvijo \mathbf{y} . Za rešitev \mathbf{x} v tem primeru pravimo tudi, da je nedominirana, medtem ko je rešitev \mathbf{y} dominirana.

Za primer nakupa avtomobila iz prejšnjega poglavja so možne rešitve prikazane na sliki 21. Z uporabo relacije dominiranosti se lahko določijo optimalne rešitve. Pri primerjavi rešitev 3 in 4 je razvidno, da je rešitev 4 boljša po kriteriju nižje cene ter tudi po kriteriju nižje nezanesljivosti. Rešitev 4 dominira nad rešitvijo 3 oziroma rešitev 4 je nedominirana s strani rešitve 3.



Slika 21: Množica sedmih rešitev za primer izbire pri nakupu najustrežnejšega avtomobila [prirejeno po Deb, 2001; 11]

Pri primerjavi rešitev 4 in C je razvidno, da je rešitev C boljša po kriteriju nižje nezanesljivosti, medtem ko sta rešitvi enaki po kriteriju nižje cene. Rešitev C ni dominirana tako v primerjavi z rešitvijo 3 kot tudi rešitvijo 4 oziroma, povedano drugače, rešitev C dominira nad rešitvami 3 in 4. Rešitev C je od vseh treh rešitev najboljša glede na oba kriterija.

Pri primerjavi rešitev 2 in C je razvidno, da je rešitev 2 boljša po kriteriju nižje nezanesljivosti, medtem ko je rešitev C boljša po kriteriju nižje cene. Glede na dejstvo, da prvi od zgoraj navedenih pogojev dominiranosti ni izpolnjen ni možno sklepati, da rešitev 2 dominira nad rešitvijo C, kot tudi ne, da rešitev C dominira nad rešitvijo 2. V takih primerih sta rešitvi 2 in C nedominirani rešitvi. Ko sta oba kriterija enako pomembna pri odločanju, ni možno opredeliti, katera od teh dveh rešitev je boljša.

Za podano množico možnih rešitev (npr.: 1, 2, 3, 4, A, B, C na sliki 21) se na osnovi medsebojne primerjave parov rešitev določijo dominirane in nedominirane rešitve glede na druge rešitve. Izid tega procesa je množica nedominiranih rešitev, v kateri nobena od rešitev ne dominira nad drugo rešitvijo. Ta množica rešitev ima značilnost, da dominira nad vsemi drugimi rešitvami, ki niso del te množice. V množici nedominiranih rešitev iz prejšnjega primera se nahajajo rešitve 1, 2, A, B in C. Množica nedominiranih rešitev se imenuje tudi nedominirana fronta.

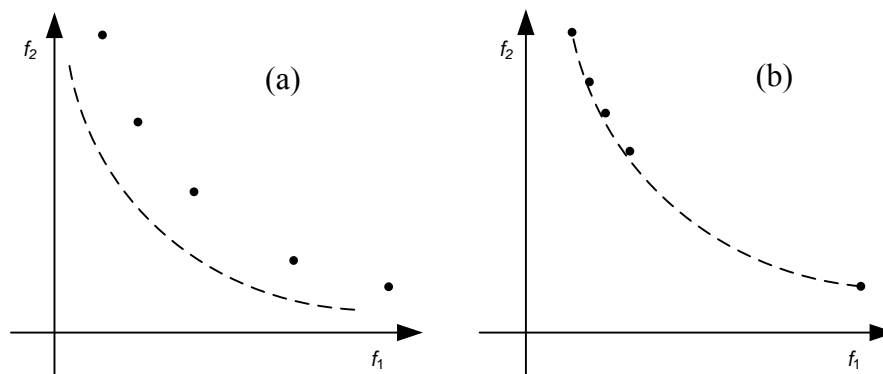
Množica nedominiranih rešitev celotnega prostora dopustnih (angl. *feasible*) rešitev se imenuje Pareto optimalna fronta, njeni elementi pa Pareto optimalne rešitve (po Vilfredu Paretu, italijanskem ekonomistu in sociologu). Rešitev je Pareto optimalna, če ne obstaja neka druga rešitev, ki bi bila boljša od te rešitve po vseh kriterijih [Robič, Filipič, 2005; 37]. Načelo Pareto optimuma prihaja iz ekonomske teorije in v splošnem predstavlja položaj, ko noben subjekt ne more izboljšati svojega položaja, ne da bi s tem poslabšal položaj drugega.

Pareto optimalna množica predstavlja globalno optimalno množico večkriterijskega optimizacijskega problema in je vedno množica nedominiranih rešitev. Izid preiskovanja problemskega prostora je lahko tudi množica nedominiranih rešitev, v kateri niso vse rešitve Pareto optimalne. Glede na dejstvo, da optimizacijski algoritmi ne najdejo vedno globalni optimum, je v praksi velikokrat zadovoljiva lokalna množica optimalnih rešitev oziroma lokalna Pareto optimalna množica. Ta se v splošnem imenuje množica nedominiranih rešitev glede na vse med seboj primerjane rešitve. Tako kot so pri enokriterijskem optimizacijskem problemu največkrat prisotni en globalni in več lokalnih optimumov, tako so pri večkriterijskem optimizacijskem problemu največkrat prisotne ena globalno optimalna množica (Pareto optimalna množica) ter več lokalno optimalnih množic (množica nedominiranih rešitev).

Pri uporabi idealnega pristopa večkriterijske optimizacije je potrebno za pripravo informacij za odločanje zasledovati dva cilja:

1. Nedominirane rešitve naj bi bile čim bližje Pareto optimalni fronti (globalnemu optimumu).
2. Nedominirane rešitve naj bi bile kar se da enakomerno razporejene po prostoru kriterijev.

Na sliki 22 sta prikazana dva primera neizpolnjevanja zgoraj navedenih ciljev. V prvem primeru ni zadovoljen cilj 1, ker je množica rešitev na sliki 22 (a) enakomerno razporejena, ni pa zadosti blizu Pareto optimalni fronti. V drugem primeru je množica rešitev na sliki 22 (b) Pareto optimalna ni pa zadovoljen cilj 2, ker je neenakomerno razporejena. [Robič, Filipič, 2005; 38].



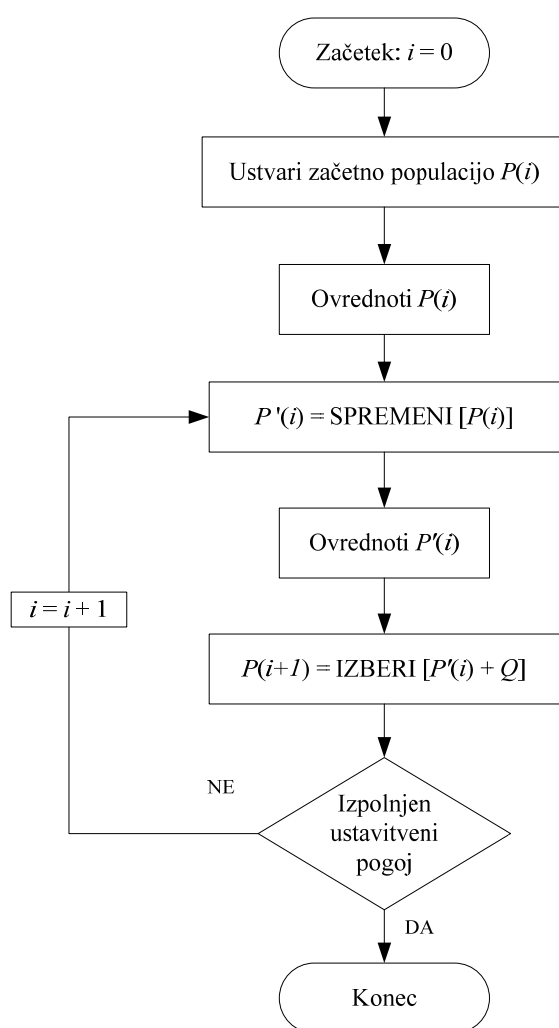
Slika 22: Primera neustrezne priprave informacij za odločanje po idealnem pristopu [prirejeno po Robič, Filipič, 2005; 37]

Oba primera predstavljata za odločevalca težavo. V prvem primeru odločevalec nima na voljo optimalnih rešitev, med katerimi bi lahko izbral najustreznejšo. Katerokoli izmed predlaganih rešitev bo izbral, ne bo globalno optimalna. V drugem primeru bo odločevalec izmed predlaganih rešitev lahko izbral optimalno, nima pa informacije, ali so in kakšne rešitve so na voljo v delih prostora, kjer algoritem ni našel nobene rešitve. Tako v drugem primeru odločevalec ne ve, ali rešitve v teh delih prostora sploh obstajajo ali pa jih samo algoritem ni našel in nima popolne informacije o možnih rešitvah.

5 EVOLUCIJSKI ALGORITMI IN VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA

5.1 Evolucijski algoritmi

Na evolucijo lahko gledamo tudi kot na optimizacijski proces [Fogel, 1995; 17]. V procesu izbire najboljših (selekcija) se izločajo neoptimalne rešitve. Genetski operatorji ustvarjajo in sestavljajo nove informacije znotraj rešitev. Na posamezno rešitev v populaciji vplivajo druge rešitve preko izbire najboljših rešitev in medsebojne izmenjave delov rešitev (kombinacija). Večja kot je uspešnost rešitve, več ima možnosti, da dalj časa živi in vpliva na potomca, ki bo sprejel (spremenjeno) starševsko informacijo. Potek evolucijskega algoritma je prikazan v diagramu poteka na sliki 23.



Slika 23: Potek evolucijskega algoritma

V tem algoritmu $P(i)$ predstavlja populacijo n rešitev v generaciji i . Začetna populacija je ponavadi izbrana naključno. Q je poseben niz rešitev, ki bodo upoštevane pri selekciji: npr. $Q = P(i)$ (Q je lahko tudi 0). Populacija potomcev $P'(i)$ velikosti m je izid delovanja operatorjev (npr.: križanje, mutacija, inverzija itn.) na rešitve iz množice $P(i)$. Vsaka rešitev populacije

$P(i)$ je nato ovrednotena s pomočjo funkcije uspešnosti. Na podlagi uspešnosti se v populacijo $P(i+1)$ izberejo najboljše rešitve. Proces poteka, dokler ni izpolnjen ustavitveni pogoj.

Predstavitev rešitev (kodiranje) je osnova za delovanje evolucijskih algoritmov. Genetski algoritmi kot znan primer evolucijskih algoritmov uporabljajo binarno predstavitev rešitve, tako da rešitve zapišejo kot končno dolge nize dolžine k nad izbrano končno abecedo $\{0, 1\}$.

Vsaki rešitvi v problemskem prostoru pripada določena vrednost kriterijske funkcije. S pomočjo kriterijske funkcije tvorimo funkcijo uspešnosti, tako da jo ali enostavno priredimo funkciji uspešnosti, ali pa jo pretvorimo v funkcijo uspešnosti. S pomočjo funkcije uspešnosti vrednotimo oziroma ocenjujemo posamezne rešitve. Funkcija uspešnosti je opredeljena tako, da imajo boljše rešitve višjo uspešnost.

Mutacija je operator, ki zagotavlja, da med preiskovanjem ne bo niti en bit niza ustaljen na določeno vrednost, ampak bodo v populaciji nastopile vse možne vrednosti znakov znotraj nizov. Pri binarni predstavitvi deluje tako, da spremeni vrednost bitov z zelo majhno verjetnostjo, npr. med 0,005 in 0,01 ($1 \rightarrow 0$ ali $0 \rightarrow 1$). Verjetnost mutacije določa pričakovani delež mutiranih bitov v populaciji.

Križanje je operator, ki deluje na parih rešitev in iz njih tvori pare otrok. Otroci v populaciji nadomeščajo svoje starše. Naključno so izbrani starši in točka križanja c (oboje v skladu z enakomerno porazdelitvijo). S povezavo podmnožice, ki je pred točko križanja v prvem staršu s podmnožico, ki se nahaja za točko križanja drugega starša, je ustvarjen en otrok, drugi pa s povezavo ostalih podmnožic (slika 24).

$$\begin{aligned} \text{starš 1} &: x_{1,1}x_{1,2} \dots x_{1,c}x_{1,c+1} \dots x_{1,k} \\ \text{starš 2} &: x_{2,1}x_{2,2} \dots x_{2,c}x_{2,c+1} \dots x_{2,k} \\ \\ \text{otrok 1} &: x_{1,1}x_{1,2} \dots x_{2,c}x_{2,c+1} \dots x_{2,k} \\ \text{otrok 2} &: x_{2,1}x_{2,2} \dots x_{1,c}x_{1,c+1} \dots x_{1,k} \end{aligned}$$

Slika 24: Primer enomestnega križanja

V večini aplikacij iz realnega sveta je preiskovalni prostor opredeljen z nizom objektov: npr. predelovalne enote, črpalke, grelci in hladilniki v kemični tovarni, mešanica energetskih virov, kjer ima vsak različne parametre, kot so proizvodnja/poraba energije, kapaciteta, stroški itd. Ti parametri, ki so predmet optimizacije, oblikujejo prostor rešitev. Po drugi strani operatorji pogosto delujejo na abstraktnih matematičnih objektih, kot so nizi kodirane informacije.

5.2 Diferencialna evolucija in večkriterijska optimizacija

Energetika je dejavnost, v kateri se velikokrat srečujemo z zahtevo po istočasnem optimiranju po različnih kriterijih. V splošnem je v energetiki potrebno naložbe vrednotiti glede na ekonomske (stroški, prihodki, dobiček), tehnične (količina proizvedene/prihranjene energije, izgube, značilnosti obratovanja itn.) ter okoljevarstvene (količina izpustov toplogrednih plinov, vplivi na prostor itn.) kazalce. Ti kriteriji so si običajno nasprotujoči, kar pomeni, da izboljšanje rešitve po enem kriteriju povzroči njeno poslabšanje po drugih kriterijih. Primer so lahko celotni naložbeni stroški in količina izpustov CO_2 . Naložbe v tehnologijo, ki povzroča

manjše izpuste toplogrednih plinov, so višje, kot so naložbe v tehnologijo, ki povzroča višje izpuste. Zaradi tega nimamo opravka samo z eno optimalno rešitvijo, temveč z množico optimalnih rešitev.

Metode za večkriterijsko optimiranje lahko razdelimo v tri skupine: klasične, evolucijske in ostale metode. Dve najbolj uveljavljeni klasični metodi sta metoda utežene vsote in metoda omejitev. Pri metodi utežene vsote pretvorimo večkriterijski problem v enokriterijskega tako, da izberemo uteži, ki določajo pomembnost kriterijev. Pri metodi omejitev nalogo pretvorimo v optimizacijo po enem kriteriju, medtem ko so ostali kriteriji opredeljeni kot omejitve [Robič, Filipič, 2005; 37].

Šele z evolucijskimi algoritmi so se večkriterijskih optimizacijskih nalog lotili tako, da so v enem zagonu poiskali več rešitev, ki predstavljajo približek Pareto optimalne fronte [Robič, Filipič, 2005; 37].

Evolucijski algoritmi se uspešno uporabljajo za večkriterijsko optimiranje, kjer (po idealnem pristopu) želimo v enem zagonu algoritma dobiti množico nedominiranih rešitev. Poleg tega so ti algoritmi robustni, tako da nimajo težav pri optimizacijskih nalogah z nekonvensko ali nezvezno množico nedominiranih rešitev.

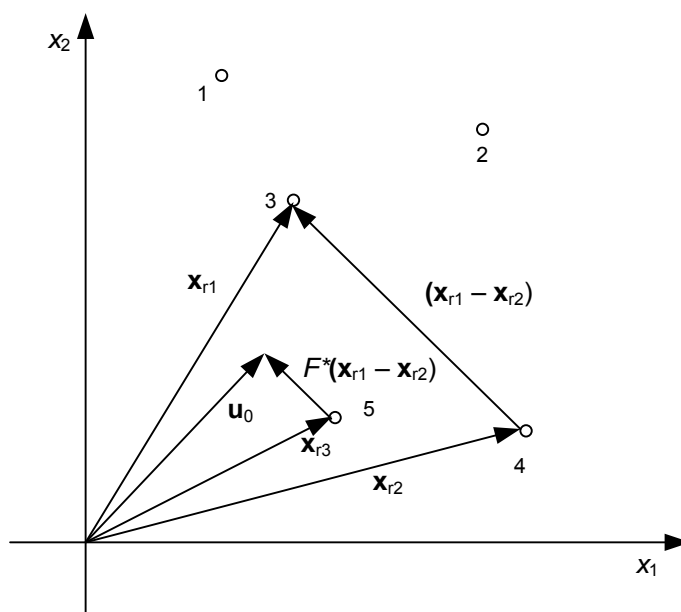
Diferencialna evolucija (v nadaljevanju DE) je zvrst evolucijskih algoritmov, ki sta jo leta 1995 predlagala Price in Storn [Price, Storn, Lampien, 2005; 33]. Tako kot drugi evolucijski algoritmi je DE zasnovana na naključno opredeljeni začetni populaciji rešitev. Omejitve opredeljujejo prostor, znotraj katerega se nahajajo možne rešitve. Podobno kot druge evolucijske metode, ki so zasnovane na populaciji rešitev, DE tvori nove rešitve s spreminjanjem obstoječih. Osnovna zamisel DE je, da algoritem najprej tvori t.i. poskusno rešitev (angl. *trial vector*) tako, da uteženo razliko dveh naključno izbranih rešitev (vektorjev) prišteje tretji naključno izbrani rešitvi (vektorju) trenutne populacije (slika 25). V naslednjem koraku poskusno rešitev primerja z rešitvijo, katere zaporedna številka v populaciji je enaka zaporedni številki iteracije, ki se trenutno izvaja (v prvi iteraciji primerja vektor z zaporedno številko 0, v drugi z zaporedno številko 1 itn.). V primeru, da je nova rešitev boljša od obstoječe glede na optimizacijski kriterij, obstoječo rešitev zamenja z novo. Postopek se nadaljuje, dokler niso vse rešitve v populaciji primerjane z vsakič novo ustvarjeno poskusno rešitvijo. Ko je zadnja rešitev v populaciji primerjana z naključno ustvarjeno rešitvijo, so rešitve, ki tvorijo populacijo naslednje generacije »zmagovalci tekmovanja« med obstoječimi rešitvami in novo ustvarjenimi rešitvami.

Na sliki 25 so:

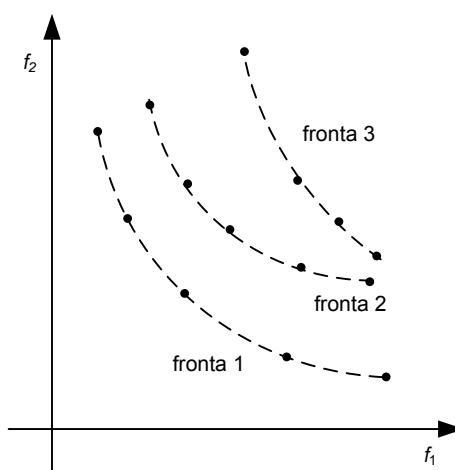
$\mathbf{x}_{r1}, \mathbf{x}_{r2}, \mathbf{x}_{r3}$	naključno izbrane rešitve (vektorji)
$F \cdot (\mathbf{x}_{r1} - \mathbf{x}_{r2})$	utežena razlika dveh naključno izbranih vektorjev
\mathbf{x}_{r3}	naključno izbran vektor, h kateremu prištejejo uteženo razliko
\mathbf{u}_0	preizkusna rešitev (angl. <i>trial vector</i>), katere vrednost kriterijske funkcije primerjajo z vrednostjo kriterijske funkcije rešitve z zaporedno številko 0.

Osnovna slabost diferencialne evolucije je, da ni primerna za kombinatorično optimiranje, ker morajo biti rešitve zapisane v obliki vektorjev. Ker se je DE na številnih enokriterijskih optimizacijskih problemih izkazala kot uspešna, so jo kmalu pričeli uporabljati tudi za večkriterijsko optimiranje [Robič, Filipič, 2005; 37]. Pri tem predstavlja največjo težavo izbira rešitev za naslednjo generacijo. Glede na osnovno zamisel algoritma je vsaka obstoječa rešitev primerjana z ustvarjeno preizkusno rešitvijo, kar ne zadostuje za reševanje večkriterijskih optimizacijskih problemov. Zato so spremenili pristop in so namesto

primerjave po enem kriteriju uvedli primerjavo trenutne rešitve in preizkusne rešitve glede na dominiranost. Če trenutna rešitev dominira nad preizkusno rešitvijo, algoritem preizkusno rešitev zavrže. Če preizkusna rešitev dominira nad trenutno rešitvijo, algoritem zamenja trenutno s preizkusno rešitvijo. Če rešitvi nista primerljivi, pa algoritem obe rešitvi vstavi v populacijo. V tem primeru lahko število rešitev v populaciji zraste na dvakratno vrednost. Zaradi tega je potrebno določene rešitve izločiti iz populacije, kar imenujejo klestenje (angl. *truncation*). Klestenje populacije se izvaja tako kot pri algoritmu NSGA-II (angl. *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) z nedominiranim razvrščanjem (angl. *non-dominated sorting*) in metriko nakopičenosti (angl. *crowding distance metric*). Razvrščanje rešitev se izvede najprej glede na nedominiranost (rešitve razvrsti po frontah), nato pa še glede na gostoto rešitev v prostoru kriterijev [Robič, Filipič, 2005; 37].



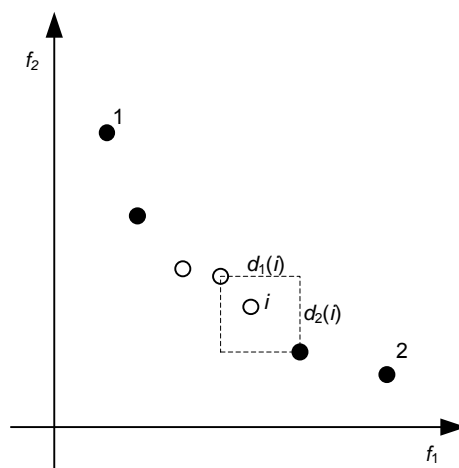
Slika 25: Mutacija v prvi iteraciji diferencialne evolucije [Price, Storn, Lampien, 2005; 33]



Slika 26: Primer nedominiranega razvrščanja po treh frontah [prirejeno po Deb, 2001; 11]

Rešitve za naslednjo generacijo se potem izbirajo po frontah. Tako so najprej izbrane rešitve iz fronte 1, ki je najboljša, ker je najbližja Pareto optimalni fronti, potem fronte 2 in tako naprej. Rešitve iz najboljših front, ki zaradi omejene velikosti populacije ne morejo celotne

vanjo, nadalje izbiramo po metriki nakopičenosti. V populacijo dodamo tiste rešitve s fronte, ki so najmanj nakopičene.



Slika 27: Primer izračuna metrike nakopičenosti [Robič, Filipič, 2005; 37].

Na sliki 27 je prikazan primer, ko je iz fronte, ki vsebuje sedem rešitev, potrebo izbrati najboljše štiri rešitve za populacijo naslednje generacije. Izbiro opravijo glede na metriko nakopičenosti. Metrika nakopičenosti vedno najbolje oceni skrajni rešitvi na fronti (rešitvi 1 in 2), da so rešitve čim bolj razprostranjene po prostoru. Vmesne rešitve oceni glede na njihovo razdaljo do najbližjih sosednjih rešitev. Metriko nakopičenosti rešitve i na sliki 27 določijo na osnovi razdalj $d_1(i)$ in $d_2(i)$ in je enaka polovici obsega pravokotnika, ki ga določata sosednji rešitvi. V primeru s slike 27 gredo v novo populacijo vse rešitve, označene s črno barvo, ker imajo največjo vrednost metrike nakopičenosti [Robič, Filipič, 2005; 37].

Zgoraj opisan pristop uporablja večkriterijski optimizacijski algoritem DEMO, razvit na Institutu »Jožef Stefan« [Tušar, 2009; 44], ki smo ga v uporabljali v magistrski nalogi.

5.3 Uporaba evolucijskih algoritmov v energetiki

Uporaba evolucijskih algoritmov v energetiki ima več kot desetletno zgodovino. Eno prvih področij uporabe je bila uporaba genetskih algoritmov pri optimalnem razvrščanju proizvodnje po posameznih elektrarnah (optimalno angažiranje agregatov). Pri reševanju tovrstnih problemov so se evolucijski algoritmi pokazali za uspešne predvsem zaradi narave problema, ki vsebuje tako zvezne kot tudi binarne spremenljivke [Maifeld, Scheble, 1996; 27, Kazarlis, Bakirtzs, Petridis, 1996; 23, Dasgupta, Mc Gregor, 1994; 9]. Z razvojem večkriterijskih evolucijskih algoritmov le-te uporabljajo za večkriterijsko optimiranje angažiranja elektrarn, tako da se razvrščanje proizvodnje na posamezne elektrarne optimira glede na npr. stroške proizvodnje električne energije in količino izpustov toplogrednih plinov [Abido, 2006; 2]. Poleg optimizacije proizvodnje električne energije na ravni celotnega elektroenergetskega sistema se evolucijski algoritmi uporabljajo tudi za ravnanje z energijo (angl. *energy management*), ki vsebuje optimizacijo proizvodnje in porabe tako električne kot tudi toplotne energije in hladu na ravni posameznih predvsem industrijskih odjemalcev [Fong, Hanby, Chow, 2006; 18].

Evolucijski algoritmi so v energetiki našli svoje področje uporabe tudi na področju odločanja o naložbah in vzdrževanju pri ravnanja s sredstvi. Za večino področij, opisanih v poglavjih 2

in 3, raziskujejo možnost uporabe več in/ali eno kriterijskih evolucijskih algoritmov za podporo optimalnemu odločanju (preglednica 2).

Preglednica 2: Primeri uporabe evolucijskih algoritmov na različnih področjih v energetiki

Področje uporabe	Primer literature
Optimizacija naložb v t.i. klasične elektrarne	[Firmo, Legey, Luiz, 2002; 16]
Optimizacija naložb v t.i. razpršene elektrarne (angl. <i>dispersed generation</i>)	[Abdelaziz, Ali, 2003; 1]
Optimizacija naložb v elektrarne na obnovljive vire energije	[Senjyu, Hayashi, Urasaki, Funabashi, 2006; 41]
Optimiranje vzdrževanja distribucijskih transformatorskih postaj (kriteriji, stroški, zanesljivost oskrbe)	[Yang, Kwan, Chang, 2008; 46]
Optimizacija naložb in načrtovanje razvoja distribucijskega omrežja (primerjava različnih kriterijev zanesljivosti)	[Cossi, Romero, Mantovani, 2005; 7]
Optimalno načrtovanje samostojnega alternativnega sistema oskrbe z energijo	[Xu; Kang; Chang; Cao, 2005; 45], [Seeling-Hochmuth, 1998; 40], [Koutroulis, Kolokotsa, Potirakis, Kalaitzakis, 2006; 25]

Za preizkus možnosti uporabe evolucijskih algoritmov za večkriterijsko ekonomsko-tehnično optimiranje naložb v energetiki smo izbrali optimiranje samostojnega alternativnega sistema oskrbe z električno energijo. Izkušnje, pridobljene z izbranim primerom, je možno s pridom uporabiti tudi na drugih optimizacijskih problemih v energetiki, kot so optimizacija naložb v zmogljivosti proizvodnje električne energije na ravni države oziroma sistema, optimizacija naložb v zmogljivosti proizvodnje električne energije na ravni industrijskih porabnikov, ki določeno količino električne energije proizvajajo samostojno, optimizacija naložb v ukrepe učinkovite rabe energije prav tako na ravni industrijskih porabnikov itn. Raznovrstni primeri uporabe zahtevajo ustrezno nastavljanje programskega paketa DEMO ter opredelitev kriterijskih funkcij, ki so prilagojene za reševanje vsakega primera posebej. Vsekakor pa ne glede na raven optimizacije (država/sistem, podjetje za proizvodnjo električne energije, industrijski porabnik, kmetija, gospodinjstvo) večinoma primerjajo ekonomske kriterije (naložbeni izdatek, strošek, dobiček, čista sedanja vrednost itn.), kriterije zanesljivosti oskrbe (količina nedobavljene energije, število prekinitev oskrbe, trajanje prekinitev oskrbe itn.) in kriterije vplivov na okolje (količina izpustov toplogrednih plinov).

6 NAČRTOVANJE OPTIMALNEGA ALTERNATIVNEGA SISTEMA OSKRBE Z ENERGIJO

6.1 Alternativni sistem oskrbe z energijo

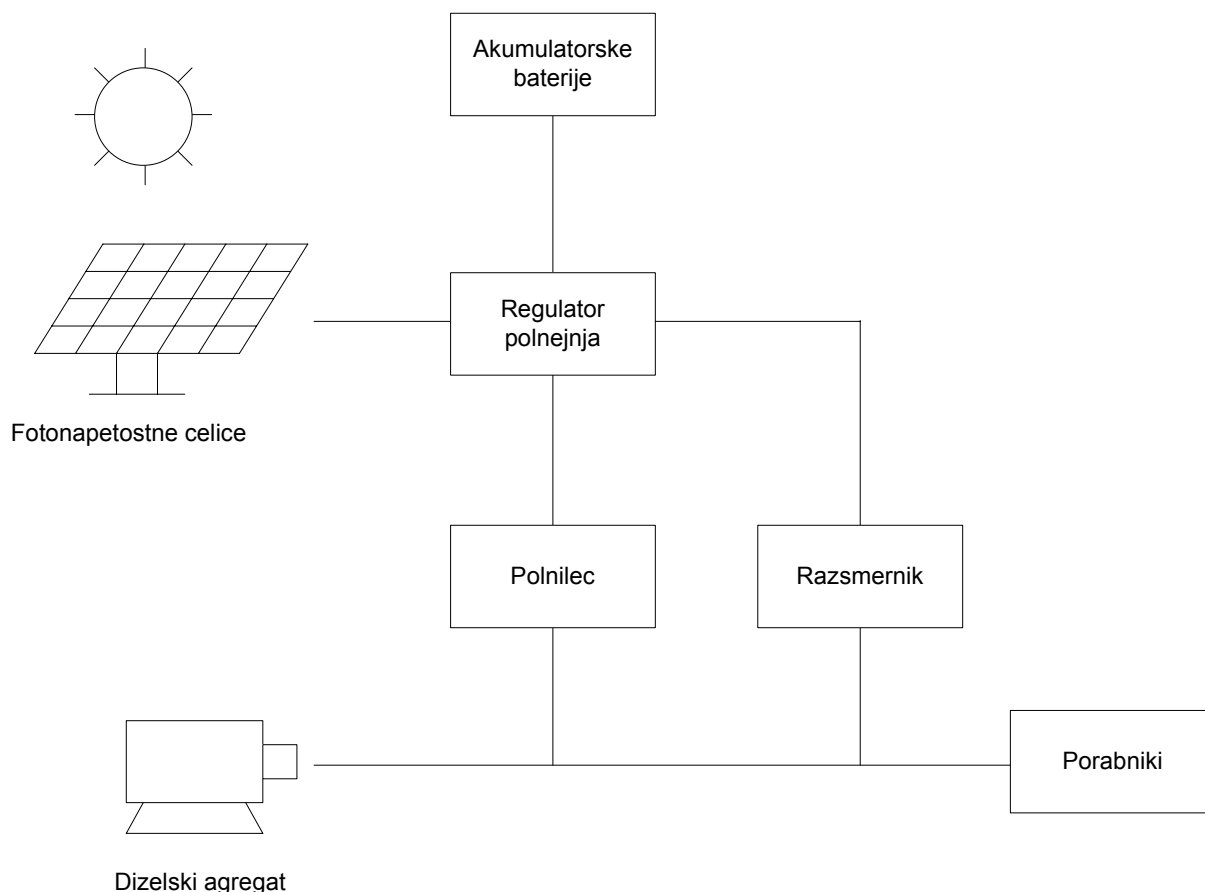
V magistrski nalogi je predstavljena uporaba programskega orodja DEMO za načrtovanje optimalnega samostojnega izmeničnega fotonapetostnega sistema za proizvodnjo električne energije z dizelskim agregatom in akumulatorskimi baterijami, ki hranijo energijo za čas, ko je sončno obsevanje prešibko za proizvodnjo potrebne količine električne energije. Poleg zgoraj omenjenih elementov sistem vsebuje tudi polnilec baterij in regulator polnjenja, ki štiti akumulatorske baterije pred prenapolnjenjem in prevelikim izpraznjenjem. Električni porabniki delujejo na izmenično napetost 230 V, ki jo dobimo z razsmernikom iz enosmerne akumulatorske napetosti.

Načrtovani alternativni sistem oskrbe z energijo naj bi deloval preko celega leta samostojno, dizelski agregat pa bi uporabljali le v konicah za zagotavljanje zanesljive oskrbe z električno energijo. Z agregatom lahko preko polnilnika polnimo akumulatorske baterije, kar je zelo pomembno pri morebitnih daljših obdobjih slabega vremena. Dizelski agregat se vključuje samodejno. Ker je tudi napajanje porabnikov izmenično, lahko dizelski agregat uporabljamo za istočasno napajanje porabnikov in polnjenje baterij, kar najbolj skrajša čas delovanja agregata.

Dimenzioniranje sistema je odvisno od površine, na kateri lahko namestimo fotonapetostne module. Optimalna izbira velikosti fotovoltaičnega sistema ni vedno enostavna, ker točni meteorološki podatki niso vedno dostopni, pa tudi daljših obdobjih slabega vremena ne moremo predvideti. Predimenzioniranje sistema ni dobro, ker povečanje zmogljivosti kateregakoli elementa zahteva povečanje zmogljivosti drugih elementov sistema. S tem rastejo celotni izdatki naložbe, sam učinek sistema pa tudi ne bo sorazmerno boljši (glede na povečane stroške). Če poskušamo povečati samostojnost delovanja sistema samo s povečanjem zmogljivosti akumulatorskih baterij, je to gotovo neprimerna izbira. V primeru, da se akumulator popolnoma izprazni, ga je zelo težko napolniti samo s fotovoltaičnim sistemom, obenem pa se zmanjšuje življenjska doba celotnega sistema. Pred določitvijo najvišje možne moči fotovoltaičnega sistema, je potrebno poznati osnovne značilnosti:

- zemljepisni položaj (upoštevati je potrebno podatke o dnevnem sončnem obsevanju, tudi za mesece, ko je obsevanja najmanj),
- način obratovanja (letni, zimski, preko celega leta),
- napetost napajanja porabnikov (12 V, 24 V, 230 V),
- število porabnikov, povprečni čas obratovanja ter njihovo porabo električne energije.

Na sliki 28 je prikazana shema alternativnega sistema. Da bi sistem zanesljivo obratoval v času povečane porabe ali v času dolgotrajnega slabega vremena (brez sonca), je kot rezerva v sistem vezan dizelski agregat. Porabniki se lahko napajajo iz fotonapetostnega sistema ali dizelskega agregata. Takoj po vključitvi dizelskega agregata se preko polnilnika samodejno polnijo tudi akumulatorske baterije [Seeling-Hochmuth, 1998; 40].



Slika 28: Shema alternativnega sistema oskrbe z energijo [prirejeno po Seeling-Hochmuth, 1998; 40]

Fotonapetostni sistem je sestavljen iz solarnih celic, regulatorja polnjenja in akumulatorskih baterij. Sončna svetloba, ki pada na solarno celico, povzroči gibanje elektronov v celici. Z gibanjem elektronov nastane električni tok, ki teče skozi regulator polnjenja in polni akumulatorsko baterijo, ki služi za shranjevanje energije. Solarni moduli na podlagi kemičnega procesa proizvajajo enosmerno električno napetost.

Regulator polnjenja služi za uravnavanje polnjenja akumulatorskih baterij tako, da ne prihaja do nedovoljenih obratovalnih stanj in je zagotovljena njihova optimalna življenjska doba. Pri še tako dobro načrtovanem solarnem sistemu so vedno njegov najšibkejši del prav akumulatorske baterije, ki imajo tudi najkrajšo življenjsko dobo od vseh naprav sistema. Zato je toliko bolj pomembno, da se odločimo za tehnologijo, ki nam bo zagotovila čim daljše in zanesljivejše obratovanje sistema.

V Sloveniji je solarna energija trenutno še razmeroma neizkoriščen obnovljiv vir energije. Pri omrežnih sistemih so solarni moduli preko omrežnega razsmernika priključeni na javno električno omrežje (presežki energije se oddajajo v javno električno omrežje). Proizvodnja električne energije iz solarnih sistemov omogoča oskrbo z električno energijo odročnih območij, ne povzroča izpustov toplogrednih plinov, je tiha in na videz nemoteča. Žal pa je cena električne energije, pridobljene iz sončne energije, še zmeraj višja od cene električne energije, proizvedene iz klasičnih virov.

6.2 Odločanje o naložbi v alternativni sistem za oskrbo stavb z energijo

Energetski zakon, ki predstavlja »krovni« zakon na področju energetike, med ostalim v 68.a členu določa, da je pri gradnji novih stavb, katerih uporabna tlorisna površina presega 1000 m², in pri rekonstrukciji stavb, katerih uporabna tlorisna površina presega 1000 m² in se zamenjuje sistem oskrbe z energijo, treba izdelati študijo izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo z energijo (v nadaljevanju: študija izvedljivosti), pri kateri se upošteva tehnična, funkcionalna, okoljska in ekonomska izvedljivost alternativnih sistemov oskrbe z energijo.

Kot alternativni sistemi se štejejo decentralizirani sistemi na podlagi obnovljivih virov energije, sproizvodnja, daljinsko ali skupinsko ogrevanje ali hlajenje, če je na voljo, in toplotne črpalke. Študija izvedljivosti iz prejšnjega odstavka je obvezna sestavina projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja v skladu s predpisi o graditvi objektov.

Na podlagi zgoraj omenjene zakonodaje je Ministrstvo za okolje in prostor (v nadaljevanju MOP) 2008 pripravilo ustrezen pravilnik [Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo, 2008; 32].

Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo v skladu z evropsko smernico (direktivo), ki določa metodologijo za izdelavo ter obvezno vsebino študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo za stavbe z uporabno tlorisno površino nad 1000 m² [Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. 12. 2002 o energetske učinkovitosti stavb, 2003 10].

Študija izvedljivosti je strokovna podlaga za naložbeno odločitev, v kateri se preverjajo različice naložbe skozi vrednotenje kazalnikov učinkovite rabe energije, stroškovnih in naložbenih kazalnikov posamezne različice. Učinek študije izvedljivosti naj bi bil predlog najboljše različice.

Različice se znotraj študije izvedljivosti določijo na osnovi potreb po energiji za ogrevanje, hlajenje, oskrbo s toplo vodo, prezračevanje, klimatizacijo, razsvetljava in drugih potreb po energiji. Za presojo naložb je potrebno pripraviti najmanj dve različici in sicer z alternativnim sistemom in brez njega.

Predlogi različic morajo biti določeni tako, da zagotavljajo tehnično izvedljivost in ekonomičnost. Tehnološko-tehnične rešitve za posamezno različico morajo biti določene tako, da bo oskrba stavbe z energijo zagotovljena s čim nižjimi naložbenimi izdatki in obratovalnimi stroški ter z optimalnimi ekonomskimi učinki v primeru prodaje energije na trgu.

6.3 Predstavitev problema

Optimizacija je proces iskanja skrajnih vrednosti, ki nas s spreminjanjem vrednosti parametrov ali sestave sistema pripelje do najustreznejše rešitve, ki jo imenujemo optimalna. Problem večkriterijskega optimiranja je opredeljen kot problem iskanja dopustnega vektorja spremenljivk, ki optimira vektorsko funkcijo, katere elementi so kriterijske funkcije.

Določiti optimalno sestavo alternativnega sistema oskrbe z energijo pomeni določiti:

- število fotonapetostnih modulov,
- tip fotonapetostnih modulov,

- število akumulatorskih baterij,
- tip akumulatorskih baterij in
- velikost dizelskega agregata,

ki ob izpoljenih omejitvah zagotavljajo:

- najmanjšo vsoto izdatkov in stroškov v celotni življenjski dobi ter
- najmanjši delež nedobavljene energije [Seeling-Hochmuth, 1998; 40].

Z dano sestavo alternativnega sistema oskrbe z energijo lahko izvedemo simulacijo obratovanja sistema glede na vhodne podatke o obremenitvi in osvetljenosti. Izid simulacije sta odstotek nedobavljene energije in celotni stroški v življenjski dobi sistema.

Odstotek nedobavljene energije se izračuna, kot sledi:

$$w_{NED} = \frac{\sum_{l=1}^n \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} I_{NED}(t) \cdot U \cdot t}{W_p} \quad (6.1)$$

kjer so:

w_{NED}	nedobavljena energija v odstotkih porabe,
$I_{NED}(t)$	nedobavljeni tok v uri t ,
U	napetost sistema,
t	urna obdobja (1...24),
d	dnevi (1...365),
l	leta (1... n),
W_p	poraba električne energije v celotni življenjski dobi sistema.

Celotni stroški v celotnem obdobju delovanja delovnega sredstva so sestavljeni iz naložbenih izdatkov oziroma stroškov za nakup in namestitvev sistema, stroškov obratovanja in vzdrževanja ter stroškov goriva, kot sledi [Seeling-Hochmuth, 1998; 40]:

$$S_C = N_{FN} + N_B + N_D + N_{OST} + (S_{OV_FN} + S_{OV_B} + S_{OV_D}) \cdot L \quad (6.2)$$

kjer so:

S_C	celotni stroški oziroma izdatki sistema v ekonomski dobi,
N_{FN}	naložbeni izdatki fotonapetostnega sistema,
N_B	naložbeni izdatki akumulatorskih baterij,
N_D	naložbeni izdatki dizelskega agregata,
N_{OST}	naložbeni izdatki ostalih naprav in opreme,
S_{OV_FN}	stroški obratovanja in vzdrževanja fotonapetostnega sistema,

- S_{OV_B} stroški obratovanja in vzdrževanja akumulatorskih baterij,
 S_{OV_D} stroški obratovanja in vzdrževanja dizelskega agregata,
 L število let ekonomske dobe sistema.

V magistrski nalogi smo predpostavili 20-letno življenjsko dobo sistema ($n = 20$).

6.4 Omejitve pri načrtovanju alternativnega sistema

Veliko omejitev je lahko vključenih v problem načrtovanja alternativnega sistema oskrbe z energijo. Lastnik energetskega sistema lahko opredeli različne pogoje obratovanja posameznih naprav sistema v odvisnosti od značilnosti naprav, krivulje porabe itn. Vse omejitve lahko razdelimo na naložbene omejitve, ki se nanašajo na strukturo sistema, in obratovalne omejitve, ki zadevajo obratovanje posameznih naprav in sistema kot celote.

Naložbene omejitve so:

- največje število fotonapetostnih modulov,
- največje število akumulatorskih baterij.

Obratovalne omejitve so:

- največji tok fotonapetostnega sistema,
- največji tok polnjenja in praznjenja akumulatorskih baterij,
- največja dovoljena globina izpraznitve akumulatorske baterije,
- največji tok dizelskega agregata.

6.5 Stroški in izdatki

6.5.1 Stroški in naložbeni izdatki fotonapetostnega sistema

Naložbene izdatke izračunamo po naslednji enačbi:

$$N_{FN} = n_{FN} \cdot C_{FN}(x_{tipFN}) \cdot (1 + N_{mFN}) + N_{oFN} \quad (6.3)$$

kjer so:

- N_{FN} celotni naložbeni izdatki oziroma stroški,
 n_{FN} število fotonapetostnih modulov,
 C_{FN} cena enega modula,
 x_{tipFN} tip fotonapetostnih modulov,
 N_{mFN} izdatki, potrebni za namestitvev, kot odstotek cene enega modula,
 N_{oFN} ostali izdatki.

Letne stroške obratovanja in vzdrževanja lahko zapišemo, kot sledi.

$$S_{OV_FN} = S_{S,OV} + S_{OV}(N_{FN}) \quad (6.4)$$

kjer so:

- S_{OV_FN} letni stroški obratovanja in vzdrževanja,
 $S_{S,OV}$ stalni letni stroški obratovanja in vzdrževanja,
 $S_{OV}(N_{FN})$ letni stroški obratovanja in vzdrževanja, odvisni od velikosti sistema in podani kot odstotek nabavne vrednosti.

6.5.2 Stroški in naložbeni izdatki dizelskega agregata

Naložbene izdatke izračunamo po naslednji enačbi:

$$N_D = C_D(x_{tipD}) \cdot (1 + N_{mD}) + N_{oD} \quad (6.5)$$

kjer so:

- N_D celotni naložbeni izdatki,
 C_D cena dizelskega agregata v odvisnosti od velikosti in tipa le tega,
 x_{tipD} tip dizelskega agregata,
 N_{mD} izdatki, potrebni za montažo, kot odstotek cene enega modula,
 N_{oD} ostali izdatki.

Letne stroške obratovanja in vzdrževanja lahko zapišemo kot sledi.

$$S_{OV_D} = S_{S,OV_D} + S_{OV_D}(N_D) + S_{gor} \quad (6.6)$$

kjer so:

- S_{OV_D} letni stroški obratovanja in vzdrževanja,
 S_{S,OV_D} stalni letni stroški obratovanja in vzdrževanja,
 $S_{OV_D}(N_D)$ letni stroški obratovanja in vzdrževanja odvisni od velikosti sistema in podani kot odstotek nabavne vrednosti,
 S_{gor} stroški goriva.

Izdatek za zamenjavo dizelskega agregata izračunamo po enačbi:

$$N_{Z_D} = N_D \cdot \frac{1}{(1+r)^{T_D}} \quad (6.7)$$

kjer so:

N_{Z_D}	izdatek za zamenjavo dizelskega agregata,
N_D	začetni izdatek za namestitev agregata,
r	obrestna mera,
T_D	življenjska doba agregata.

Število let, po katerih zamenjamo dizelski agregat, določimo na osnovi števila ur obratovanja. Ko število obratovalnih ur doseže število ur, podano s strani proizvajalca, je potrebno agregat zamenjati.

6.5.3 Poraba in stroški goriva

Stroške goriva izračunamo po naslednji enačbi:

$$S_{gor} = \left(0.246 + 0.08415 \cdot \frac{I_{d,najv}}{I_d(t)} \right) \cdot C_{gor} \quad (6.8)$$

kjer so:

S_{gor}	stroški goriva,
$I_{d,najv}$	največji možni tok dizelskega agregata,
I_d	trenutni tok dizelskega agregata,
C_{gor}	cena goriva [EUR/liter].

6.5.4 Stroški in naložbeni izdatki baterij

Naložbene izdatke izračunamo v skladu z naslednjo enačbo:

$$N_{BAT} = C_{BAT} (x_{tipBAT}) \cdot n_{BAT} \cdot (1 + N_{mBAT}) + N_{oBAT} \quad (6.9)$$

kjer so:

N_{BAT}	celotni naložbeni izdatki,
C_{BAT}	cena baterije v odvisnosti od velikosti in tipa le tega,

x_{tipBAT}	tip baterij,
n_{BAT}	število baterij,
N_{mBAT}	izdatki, potrebni za montažo, kot odstotek cene baterije,
N_{oBAT}	ostali izdatki.

Stroški obratovanja in vzdrževanja so odvisni od praznjenja in polnjenja baterij ter vključujejo stalne letne stroške obratovanja in vzdrževanja in stroške obratovanja in vzdrževanja, ki so odvisni od števila ciklov baterije.

$$S_{OV_BAT} = S_{S,OV_BAT} + S_{OV_cicl_BAT} \quad (6.10)$$

kjer so:

S_{OV_BAT}	letni stroški obratovanja in vzdrževanja,
S_{S,OV_BAT}	stalni letni stroški obratovanja in vzdrževanja,
$S_{OV_cicl_BAT}$	letni stroški obratovanja in vzdrževanja odvisni od števila ciklov baterije.

Stroški zamenjave se pojavijo zmeraj, ko je potrebno staro baterijo zamenjati z novejšo. Izdatek za zamenjavo baterije v letu T_{bat} izračunamo po naslednji enačbi:

$$N_{Z_bat} = N_{bat} \cdot \frac{1}{(1+r)^{T_{bat}}} \quad (6.11)$$

kjer so:

N_{Z_bat}	naložbeni izdatek za zamenjavo akumulatorske baterije,
N_{bat}	začetni izdatek za akumulatorsko baterijo,
r	obrestna mera,
T_{bat}	število let, po katerih je potrebno baterijo zamenjati.

Število let, po katerih zamenjamo baterijo, določimo na osnovi števila ur obratovanja. Ko število obratovalnih ur doseže število ur, ki jih poda proizvajalec, je potrebno baterijo zamenjati [Seeling-Hochmuth, 1998; 40].

6.6 Obratovanje sistema

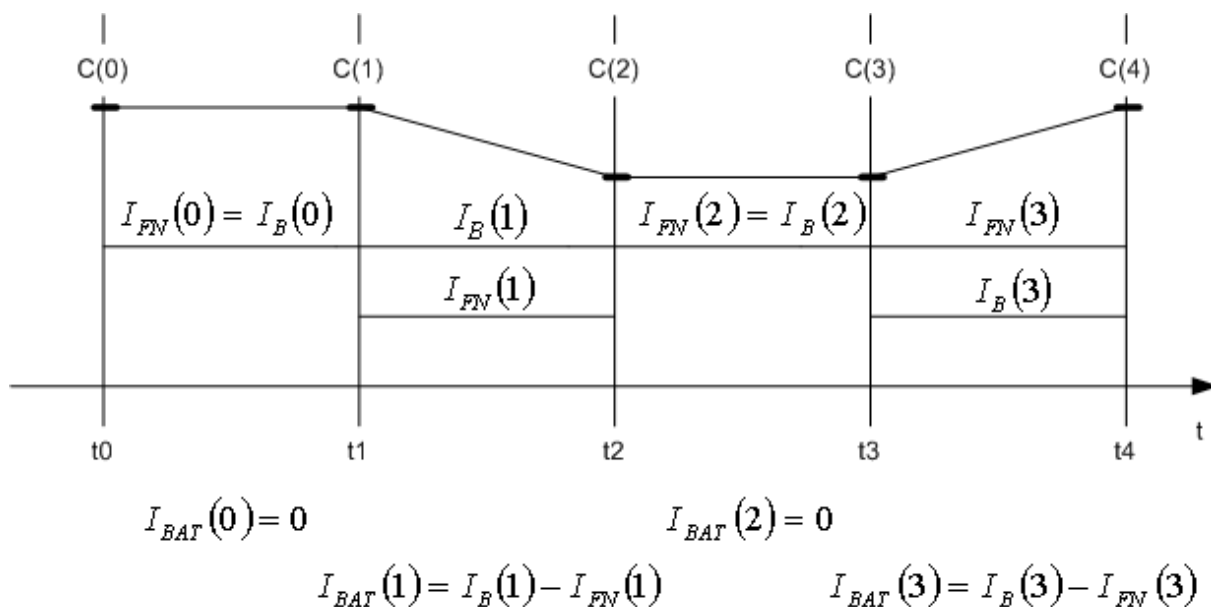
6.6.1 Obratovanje alternativnega sistema oskrbe z energijo

Kot smo videli, je naloga optimiranja naložbe v alternativni sistem oskrbe z energijo določitev sestave samostojnega energetskega sistema, ki bo v svoji ekonomski dobi zagotavljal

optimalno količino energije glede na naložbene izdatke ter stroške obratovanja in vzdrževanja. Zato je v sklopu načrtovanja sistema potrebno izračunati tudi proizvodnjo energije posameznega elementa sistema. Na osnovi izračuna proizvedene energije in simulacije obratovanja sistema so določeni stroški obratovanja in vzdrževanja sistema. Ti izračuni so narejeni za obdobje ene ure za celotno leto.

Predpostavimo sistem n_{FN} fotonapetostnih modulov tipa x_{ipFN} ter n_{bat} akumulatorskih baterij tipa x_{ipbat} , priključenih na enosmerne zbiralke. Na izmenične zbiralke so priključeni porabniki skupne moči $P_{obr}(t)$ ter dizelskega agregat moči P_D .

Simulacijo obratovanja sistema izvedemo tako, da na osnovi vhodnih podatkov o osvetljenosti za vsako uro izračunamo možno proizvodnjo fotonapetostnega sistema za ves dan. Potek stanja napolnjenosti baterije (C) je prikazan na sliki 29. V primeru, da je tok fotonapetostnega sistema (npr. $I_{FN}(3)$) večji od trenutne obremenitve (npr. $I_B(3)$), presežek proizvodnje shranjujejo v akumulatorskih baterijah (npr. $I_{BAT}(3)$). Pri tem se poveča napolnjenost baterije [Seeling-Hochmuth, 1998; 40].



Slika 29: Časovni potek stanja baterije [prirejeno po Seeling-Hochmuth, 1998; 40]

V primeru, da je proizvodnja fotonapetostnega sistema manjša od trenutne obremenitve (npr. $I_{FN}(1) < I_B(1)$), se pomanjkanje energije krije iz akumulatorskih baterij (npr. $I_{BAT}(1)$) in se obenem napolnjenost baterije zmanjša. V primeru, da je tok, ki ga proizvede fotonapetostni sistem, enak toku porabe, se ob neupoštevanju izgub stanje napolnjenosti baterij ne spremeni. Polnjenje in praznjenje baterij je opredeljeno s številnimi omejitvami, kot so največji tok polnjenja in praznjenja, ki sta lahko enaka ali pa različna, ter največja dovoljena globina praznjenja, ki je opredeljena kot odstotek zmogljivosti baterij. Akumulatorske baterije lahko spraznimo do največje dovoljene globine praznjenja. Na začetku so akumulatorske baterije polne 100%. V naslednjem koraku $t+1$ izračunamo stanje baterije na osnovi obratovanja sistema v prejšnjem koraku.

V primeru, da niti proizvodnja fotonapetostnega sistema niti največji dovoljeni tok praznjenja akumulatorske baterije ne zadoščata za kritje porabe električne energije, se zažene dizelski agregat, ki lahko proizvede največji tok glede na značilnosti agregata. Če niti to ne zadošča za

kritje porabe, je razlika med obremenitvijo in proizvodnjo v vsaki uri enaka urni nedobavljena energiji. Odstotek količine nedobavljene energije skozi celotno ekonomsko dobo sistema predstavlja enega od dveh kriterijev načrtovanja sistema.

Kot izid simulacije obratovanja se pojavljajo tudi stroški porabe goriva ter stroški zamenjav posameznih elementov sistema. Dizelski agregat ima npr. življenjsko dobo 30.000 ur obratovanja. V primeru, da dizelski agregat doseže to število ur obratovanja, ga je potrebno zamenjati.

6.6.2 Fotonapetostni sistem

Velikost fotonapetostnega sistema optimiramo preko števila modulov, ki predstavlja spremenljivko sistema, katerega načrtujemo. Skozi simulacijo je zato število vzporedno povezanih fotonapetostnih modulov obravnavano kot spremenljivka n_{FN} . Sorazmerno s spreminjanjem vrednosti spremenljivke n_{FN} se spreminja količina proizvedene električne energije. Izhodni tok fotonapetostnega sistema izračunamo, kot sledi [Seeling-Hochmuth, 1998; 40]:

$$I_{FN}(t) = I_{FN,panela}(t, p_{FN}) \cdot n_{FN} \quad (6.12)$$

kjer so:

$I_{FN}(t)$	tok fotonapetostnega sistema,
$I_{FN,panela}(t, p_{FN})$	tok enega modula fotonapetostnega sistema,
p_{FN}	tip fotonapetostnega modula,
n_{FN}	število fotonapetostnih modulov.

Število in tip fotonapetostnih modulov (n_{FN} in p_{FN}) sta spremenljivki, ki sta predmet optimizacije in od katerih je odvisno, kako bodo pokrite potrebe po energiji. Vrednost n_{FN} se spreminja od nič do največjega dovoljenega števila modulov, ki je v praksi odvisno od prostorskih zmožnosti namestitve modulov.

Tok fotonapetostnega modula $I_{FN}(t)$ je opredeljen z obsevanjem in zunanjo temperaturo. Proizvedeno moč izračunamo iz toka posameznega modula in števila modulov v skladu z naslednjo enačbo:

$$P_{FN}(t) = I_{FN}(t) \cdot U_{FN} \cdot n_{FN} \quad (6.13)$$

kjer so:

$P_{FN}(t)$	moč fotonapetostnega modula,
$I_{FN}(t)$	tok fotonapetostnega modula,
U_{FN}	nazivna napetost fotonapetostnega modula,
n_{FN}	število fotonapetostnih modulov.

Energija, proizvedena v fotonapetostnem sistemu, je enaka vsoti urnih moči za celotno obdobje izračuna.

6.6.3 Dizelski agregat

Nazivna napetost dizelskega agregata je enaka izmenični napetosti energetskega sistema. V našem primeru se odločamo le o velikosti enega dizelskega agregata. Pri tem smo uporabili spremenljivko $x_{tipD} \in \{1, 2, \dots, 12\}$. Nazivna moč dizelskega agregata je odvisna od tipa dizelskega agregata. Velikost dizelskega agregata se giblje med 0 (sistem brez agregata) in nazivno močjo največjega agregata, ki je na voljo.

Največji izhodni tok dizelskega agregata izračunamo po naslednji enačbi:

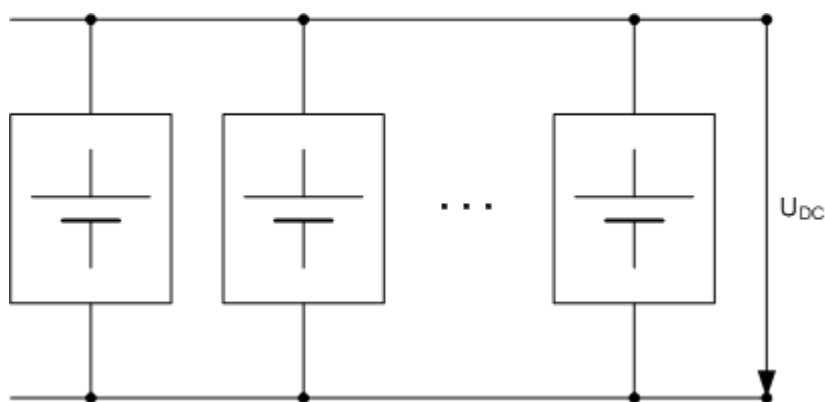
$$I_{Dmaks} = \frac{P_D(x_{tipD})}{U_{izm}} \quad (6.14)$$

kjer so:

- I_{Dmaks} največji tok dizelskega agregata,
- P_D nazivna moč dizelskega agregata,
- x_{tipD} tip dizelskega agregata,
- U_{izm} nazivna napetost agregata.

6.6.4 Akumulatorske baterije kot shranjevalniki energije

Baterije so v kombiniranem energetskega sistema lahko vezane zaporedno tako, da dosežemo nazivno napetost sistema, ali vzporedno zaradi povečevanja zmogljivosti sistema. V tej nalogi smo uporabili baterije nazivne napetosti 24 V kolikor znaša tudi nazivna napetost celotnega sistema. Zato baterije v sistemu priključujemo vzporedno in s tem zagotavljamo povečanje zmogljivosti sistema (slika 30).



Slika 30: Načelna shema vezave baterij

Napolnjenost (angl. *state of charge*) vseh baterij C_N v Ah izračunamo s seštevanjem napolnjenosti vseh baterij i , $C_{N,i}$. Velikost posamezne baterije je spremenljivka problema, ki jo optimiramo skozi izračun.

$$C_N = C_{bat} \cdot n_{bat} \quad (6.15)$$

Napolnjenost baterije se giblje med najmanjšo in največjo dovoljeno napolnjenostjo (C_{maks} in C_{min}). Najmanjša napolnjenost je med 20% in 50% nazivne zmogljivosti in je odvisna od naslednjih dejavnikov: tip baterije, zunanja temperatura, starost in stanje baterije. Največja napolnjenost je nastavljena na 100% nazivne zmogljivosti. Skozi proces izračuna vse baterije obravnavamo kot eno baterijo.

Napolnjenost baterije v trenutku t izračunamo na osnovi napolnjenosti v preteklem obdobju ter polnjenja oziroma praznjenja baterij v tekočem obdobju.

$$C(t+1) = C(t) \cdot \sigma + I_{bat}(t) \cdot \Delta t \cdot \eta(I_{bat}(t)) \quad (6.16)$$

kjer so:

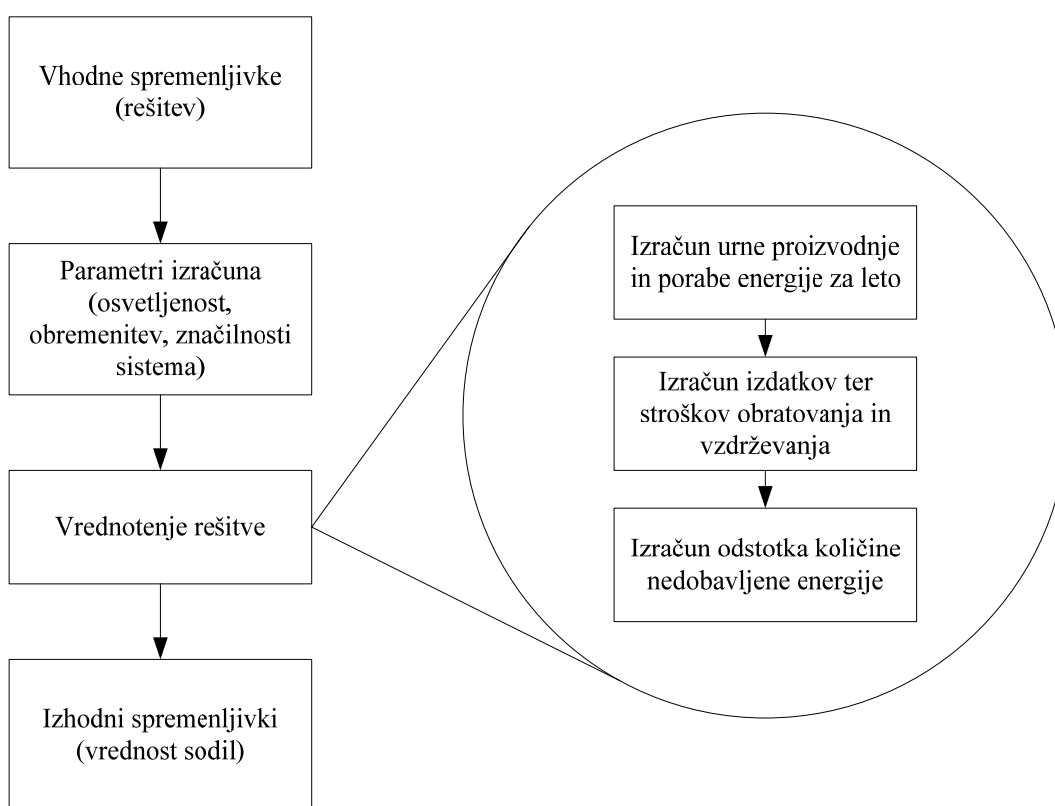
C	napolnjenost baterije,
σ	stopnja samoizpraznitve,
I_{bat}	tok polnjenja/praznjenja,
Δt	trajanje intervala (v našem primeru ena ura),
η	učinkovitost polnjenja.

7 SIMULACIJE IN IZRAČUNI

7.1 Funkcija vrednotenja rešitev

Pri optimiranju alternativnega sistema oskrbe z električno energijo smo uporabili optimizacijski programski paket DEMO [Tušar, 2009; 44], razvit na Institutu Jožef Stefan. Pri tem smo program za izračun kriterijske funkcije izdelali v programskem paketu Matlab. Tukaj smo uporabili prevajalnik, ki izdelava izvršilno datoteko (datoteka s končnico »exe«), kar zelo skrajša čas izračuna.

Funkcijo ovrednotenja zaganja program DEMO, da določi uspešnost vsake rešitve, ki jo tvori v poteku preiskovanja. Funkcija ovrednotenja od programa DEMO sprejme vrednosti spremenljivk ene rešitve, medtem ko izid vrednotenja (celotni stroški, odstotek nedobavljene energije) zapiše v izhodno datoteko (slika 31).



Slika 31: Potek vrednotenja rešitev

Vhodne spremenljivke funkcije vrednotenja predstavljajo zapise možnih rešitev v obliki petih spremenljivk:

- število fotonapetostnih modulov,
- tip fotonapetostnih modulov,
- število akumulatorskih baterij,
- tip akumulatorskih baterij in
- tip dizelskega agregata.

Kriterija, po katerih ocenjujemo rešitev, sta:

- stroški v celotni dobi koristnosti sistema in
- odstotek nedobavljene energije v celotni dobi koristnosti sistema.

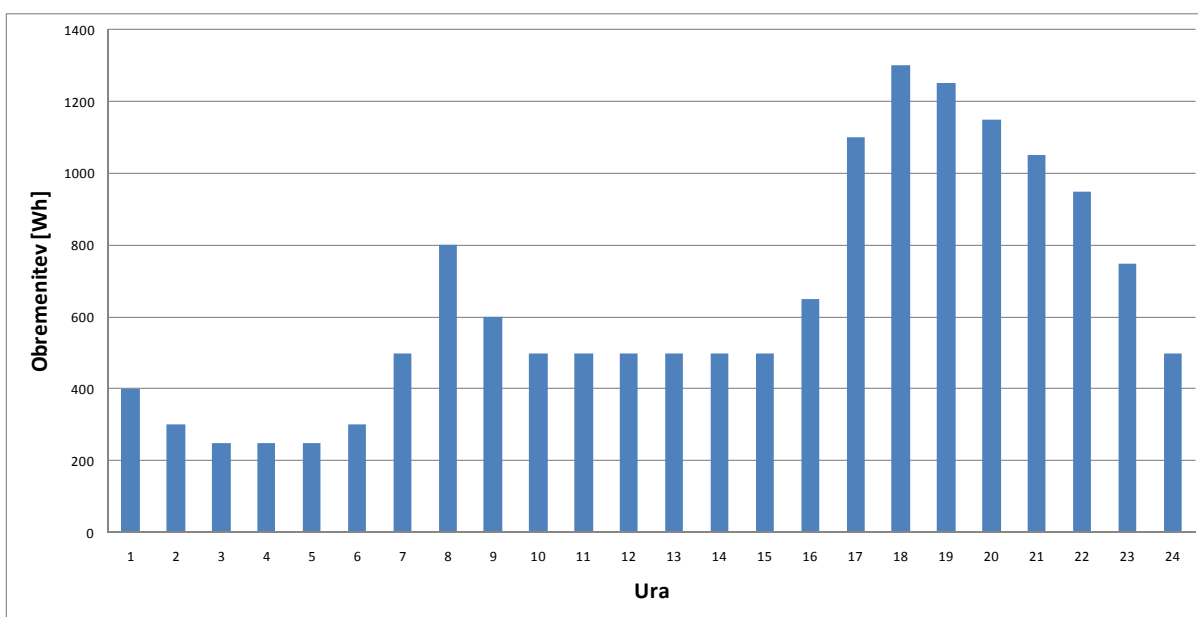
Enačbi, po katerih izračunamo kriterije, sta (6.1) in (6.2). Diagram poteka vrednotenja rešitev je prikazan na sliki 31.

7.2 Tehnična izhodišča

Pri analizi upravičenosti naložbe upoštevamo naslednja tehnična izhodišča:

- podatke o obremenitvi: potek obremenitve, prikazan na sliki 32,
- podatke o osvetljenosti,
- podatke o značilnostih posameznih naprav in celotnega sistema.

Dnevni diagram porabe smo opredelili na osnovi značilnih diagramov za gospodinjstva v Sloveniji in letne porabe energije gospodinjstva, ki smo ga izračunali na spletni aplikaciji Primerjalnik ponudb [34]. Pri tem smo prevzeli nespremenljivo porabo električne energije in osvetljenosti čez leto in med leti.



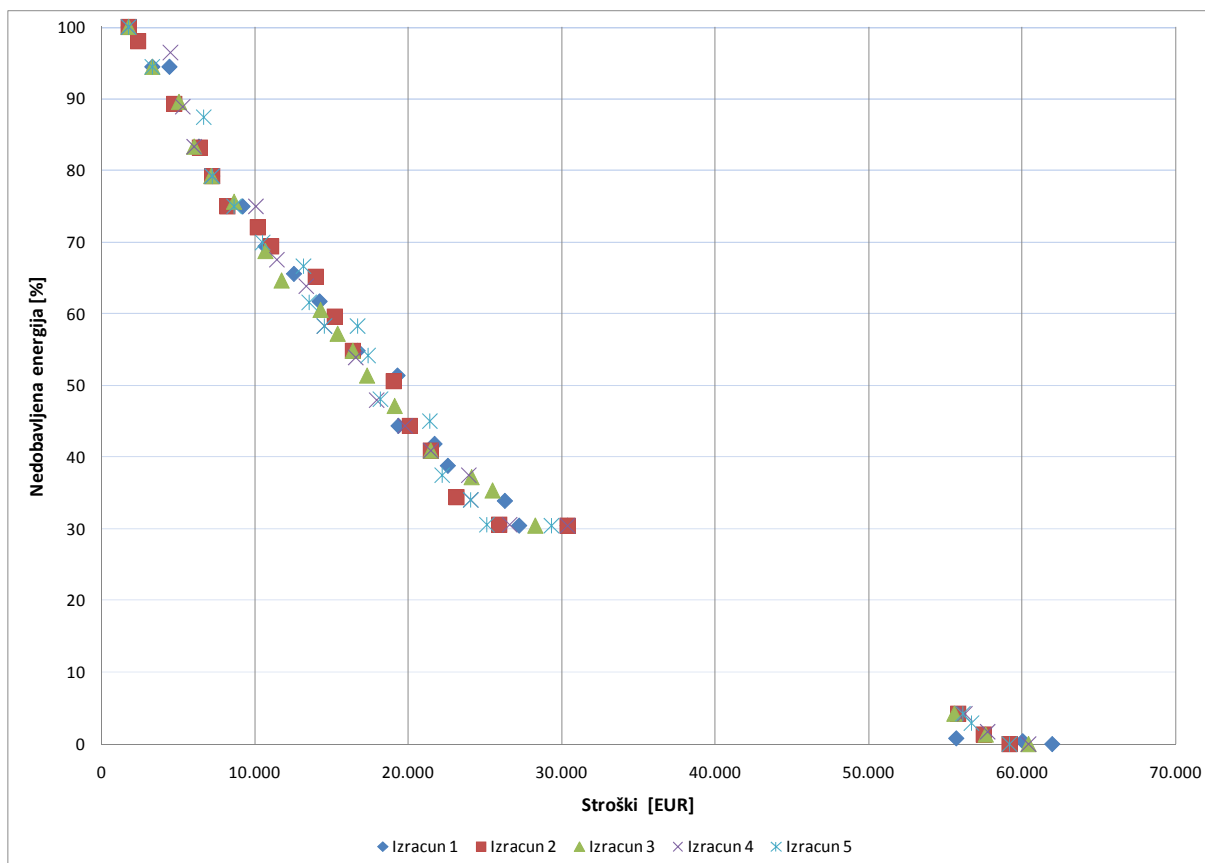
Slika 32: Dnevni diagram porab električne energije po urah

7.3 Ekonomska izhodišča

Pri analizi smo upoštevali 20-letno dobo koristnosti sistema. Stroške sistema smo proučevali za celotno dobo koristnosti. Pri izračunih nastalih oz. potrebnih stroškov so upoštevani stroški dela, materiala in podobno. Glede na dejstvo, da je sistem samostojen in porabnik električne energije v tem primeru nima možnosti priklopa na javno elektroenergetsko omrežje oziroma je ta možnost zanemarljivo majhna, zadostuje, da kot ekonomski kriterij vzamemo stroške.

7.4 Numerični poskusi

Uvodoma smo izvedli pet zagonov optimizacijskega algoritma DEMO, da smo preverili ponovljivost izračuna z izbranimi nastavitvami njegovih parametrov. Kot je razvidno iz slike 33, so izidi vseh petih zelo podobni.



Slika 33: Pet zagonov osnovne različice rešitve problema

Nastavitve algoritma DEMO smo na osnovi preizkušanja nastavili, kot sledi:

- število ovrednotenih rešitev = 600,
- število rešitev v populaciji = 20,
- število spremenljivk = 5,
- najmanjša in največja vrednost ter prirastek vrednosti posameznih spremenljiv so prikazani v preglednici 3.

Program smo preizkušali z dostopnimi podatki o sončnem obsevanju [Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2009; 29]. Izvajanje optimizacijskega postopka je trajalo okoli 90 minut.

Kljub temu, da se tipi fotonapetostnih modulov med seboj razlikujejo to ne vpliva na njihovo število.

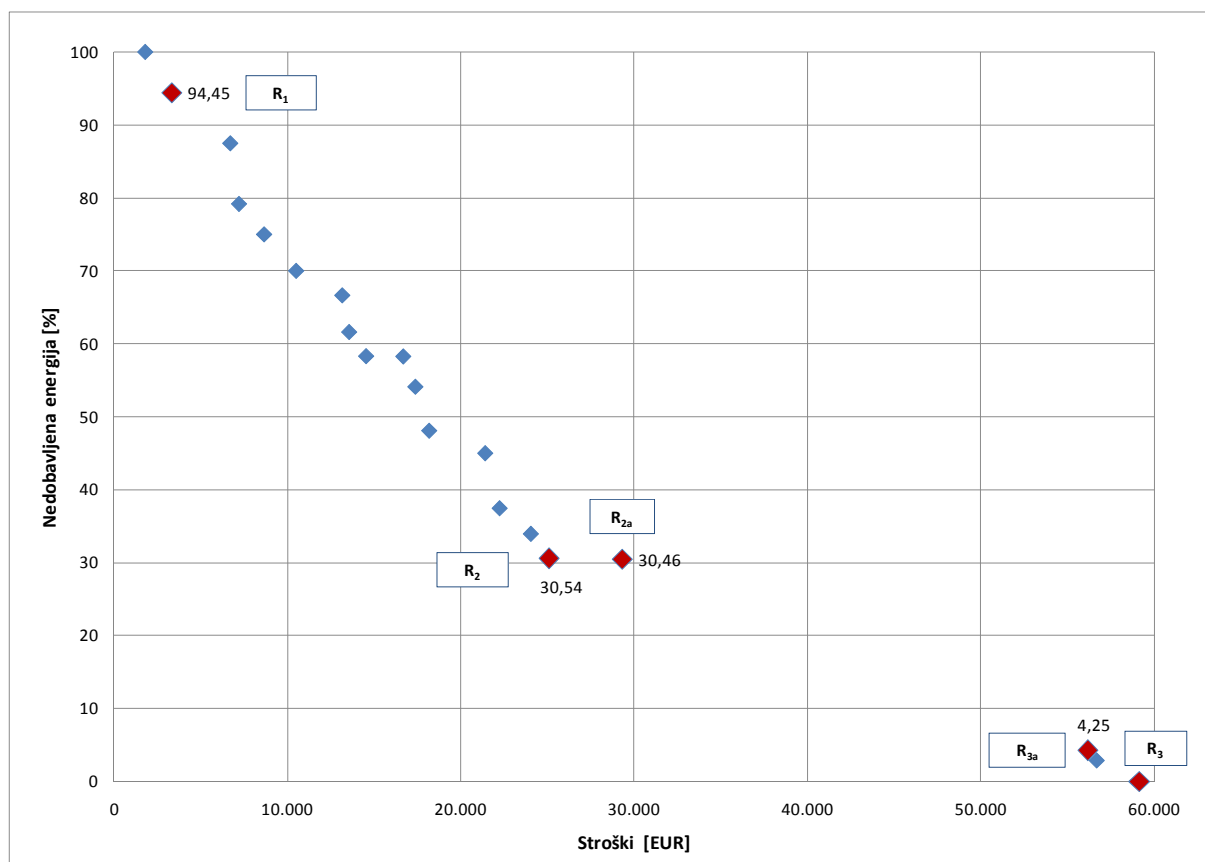
Preglednica 3: Najmanjša, največja vrednost in prirastek vrednosti spremenljivk

Spremenljivka	Najmanjša	Največja	Prirastek
Število fotonapetostnih modulov	0	20	1
Tip fotonapetostnih modulov	1	9	1
Število akumulatorskih baterij	0	10	1
Tip akumulatorskih baterij	1	12	1
Moč dizelskega agregata [kW]	0	11	1

7.5 Izidi izračuna

Za podano obremenitev smo glede na omejitve izračunali nedominirane rešitve oziroma približek Pareto optimalne fronte optimizacijskega problema. V nadaljevanju smo spreminjali vrednosti parametrov problema in izvedli analizo občutljivosti.

Kot vidimo na sliki 34, se celotni stroški različic rešitev sistema gibljejo med približno 3.300,00 in 60.000,00 EUR, odstotek količine nedobavljene energije pa med 0 in 94,5 %. Stroški različice, za katero je količina nedobavljene energije 100 %, so 1.800,00 EUR in jo pri nadaljnjih analizah ne upoštevamo. Ob izbiri različice 1 bo proizvedeno samo 5,55 % potrebne električne energije, medtem ko bo ob izbiri različice 3 proizvedena vsa potrebna električna energija.

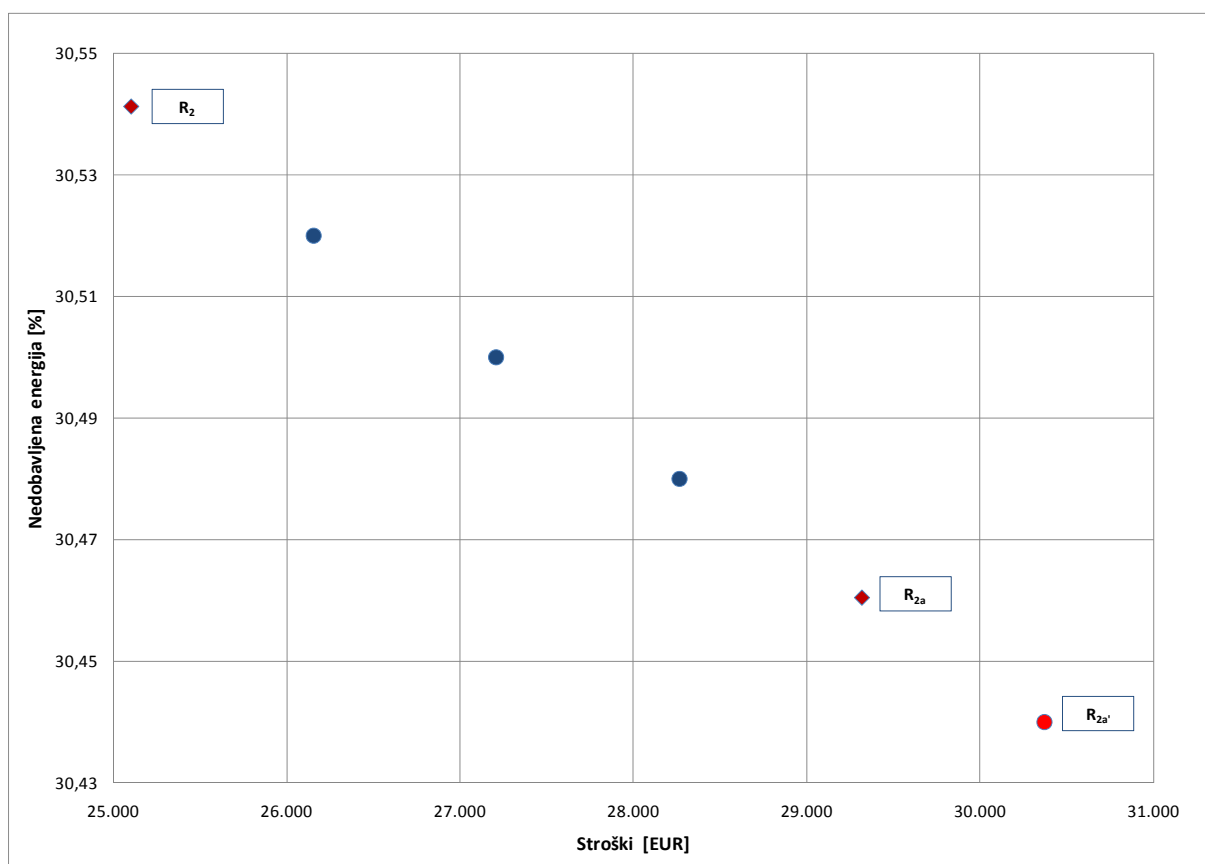


Slika 34: Osnovna različica rešitve problema

V nadaljevanju analiziramo pet značilnih različic alternativnega sistema iz množice dobljenih nedominiranih rešitev (slika 34), ki so predstavljane v preglednici 4.

Preglednica 4: Značilne rešitve problema optimalnega alternativnega sistema

Spremenljivka optimizacije	R_1	R_2	R_{2a}	R_{3a}	R_3
Št. fotonapetostnih modulov	2	20	20	12	20
Tip fotonapetostnih modulov	7	9	9	6	9
Št. baterij	0	5	9	3	4
Tip baterij	0	12	12	5	12
Moč dizelskega agregata [kW]	0	0	0	1	1
Stroški sistema [EUR]	3.300,00	25.100,00	29.300,00	56.100,00	59.100,00
Nedobavljena energija [%]	94,5	30,54	30,46	4,25	0



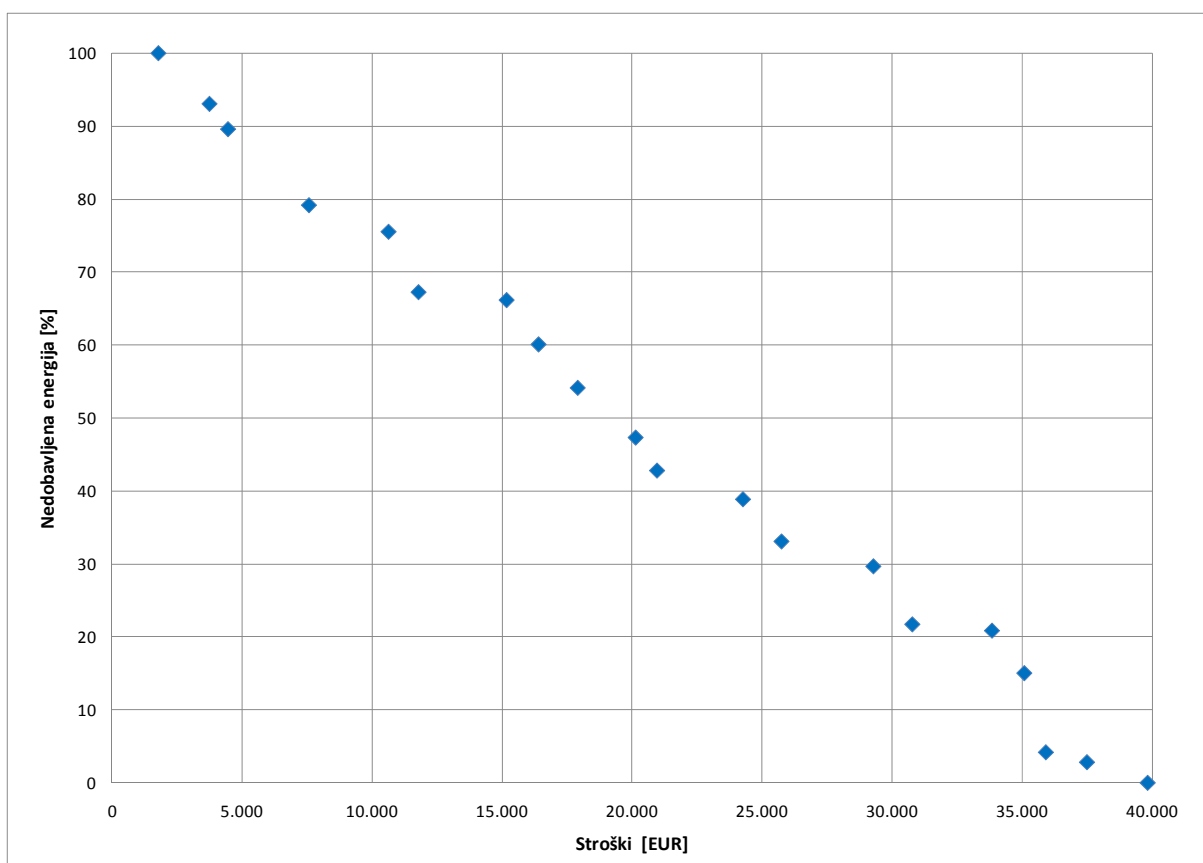
Slika 35: Del rešitev osnovne različice rešitve problema

Iz preglednice 4 je razvidno, da se različici R_2 in R_{2a} razlikujeta samo v številu akumulatorskih baterij. Iz tega lahko sklepamo, da se v oklici rešitev R_2 in R_{2a} nahajajo rešitve, ki imajo število akumulatorskih baterij 6, 7, 8 in 10. Če podrobneje analiziramo rešitve okoli različic R_2 in R_{2a} , ugotovimo, da algoritem ni predlagal štirih nedominiranih rešitev, označenih s krožcem na sliki 35. Vzrok za to je v omejenem številu rešitev v

populaciji (20) in enem od ciljev algoritma, da so rešitve čimbolj enakomerno razporejene (slika 35).

Rešitve smo izračunali ročno. Čeprav ročno izračunane rešitve ne vplivajo na odločitev (odločevalcu bi namreč tako ali tako predlagali izbiro različice R_2 , če je zanjo pripravljen plačati 25.000,00), je to dejstvo pomembno s stališča izračunov. Zaradi stohastične narave evolucijski algoritmi dostikrat ne najdejo vseh nedominiranih rešitev, kar je ena od slabosti te metode. Sedaj je potreben poseg analitika, ki na osnovi rešitev, ki jih najde algoritem, s poskusi išče vsaj enako dobre ali pa boljše rešitve. Tako vidimo, da se evolucija k boljšim rešitvam nadaljuje z analizo, sklepanjem in poskusi, vendar tokrat s strani pripravljalca informacij za odločanje. Na osnovi razlike med rešitvijo R_2 in R_{2a} analitik lahko sklepa, da se v njihovi okolici nahajajo dodatne nedominirane rešitve. Edina rešitev, ki bi s stališča ciljev večkriterijskega optimiranja bila boljša, je različica R_{2a} , ki predstavlja boljše izpolnitev cilja razpršenosti rešitve po fronti kot rešitev R_{2a} .

V nadaljnji analizi nas je zanimalo, zakaj ni nobene različice rešitve na fronti med rešitvami R_{2a} in R_{3a} na sliki 34. Na enak način kot prej smo z dodatnimi poskusi »ročno« iskali rešitve med različicama R_{2a} in R_{3a} in nismo našli nobene dodatne nedominirane rešitve. Za preizkus smo potem zagnali izračun z višjimi omejitvami števila fotonapetostnih celic in akumulatorskih baterij, ki smo jih nastavili na 50 namesto 20. Zagon je dal izide na sliki 36. Nobena od različic prikazanih na sliki ne vsebuje dizelskega agregata. Iz tega in na osnovi podrobnejših analiz ugotavljamo, da je dizelski agregat najdražji vir električne energije v obravnavanem sistemu (slika 36), saj predstavlja okoli ene tretjine skupnih stroškov.

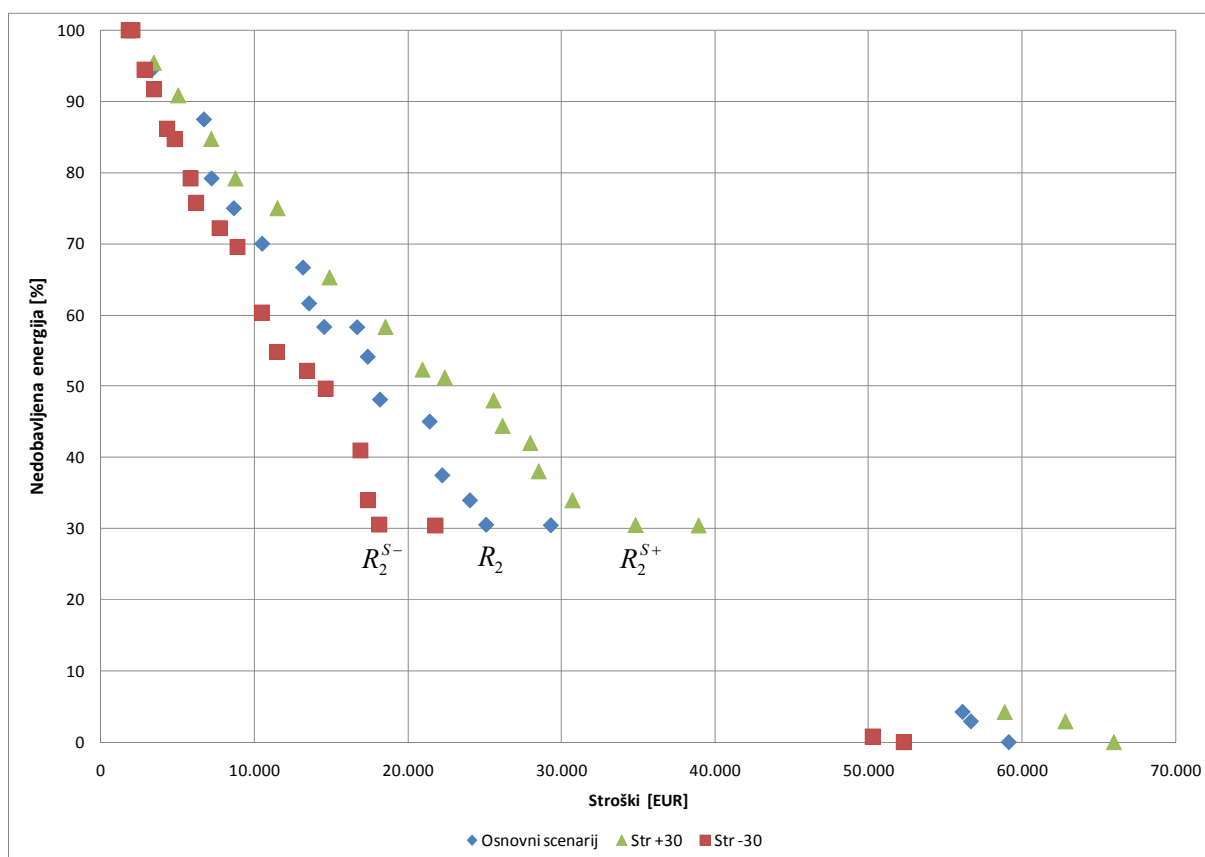


Slika 36: Vpliv spremembe omejitev na izračun

7.6 Analiza občutljivosti

V klasičnih analizah stroškov in koristi poznamo tudi analizo občutljivosti, s katero preizkušamo občutljivost različic rešitve na spremembo vrednosti vhodnih spremenljivk. Analiza občutljivosti pokaže spremembe v vrednosti posameznega kriterija ob spremembah vhodnih spremenljivk oziroma predpostavk. Učinki analize občutljivosti so predstavljeni na slikah 37 in 38.

Najprej smo analizirali občutljivost nedominiranih rešitev na spremembe stroškov naložbe glede na osnovno različico rešitev (slika 37). Začeli smo s povečanjem stroška naložbe za 30 % in izračunali novo fronto nedominiranih rešitev. Nato smo izdatek naložbe zmanjšali za 30 % in ponovno izračunali nedominirane rešitve. V primeru sprememb naložbe v sistem vidimo, da so si fronte zelo podobne po obliki, vendar z različnimi vrednostmi skupnih stroškov. Fronte se razlikujejo tudi po rešitvah, ki jih vsebujejo in sicer zopet zaradi stohastične narave evolucijskih algoritmov. Posamezni zagoni algoritma so namreč neodvisni drug od drugega, tako da zaradi stohastične narave algoritmov ni nujno, da se bodo različice iz enega zagona pojavile tudi v drugem. V preglednici 5 je prikazanih nekaj značilnih nedominiranih rešitev.



Slika 37: Vpliv spremembe stroškov na nedominirane rešitve

Algoritem je v primeru izračuna fronte s 30 % povečanimi stroški predlagal rešitev R_2^{S+} iz razlogov, ki smo jih analizirali v prejšnjem poglavju. Če izračunamo stroške in odstotek nedobavljene energije za rešitev R_2^{S+} s številom baterij 5 in ne 7, kot je predlagal algoritem, dobimo rešitev R_{2r}^{S+} , kot prikazuje preglednica 5.

Preglednica 5: Nekaj značilnih rešitev analize občutljivosti stroškov

Spremenljivka optimizacije	R_2^{S-}	R_2	R_2^{S+}	R_{2r}^{S+}
Št. fotonapetostnih modulov	20	20	20	20
Tip fotonapetostnih modulov	9	9	9	9
Št. baterij	5	5	7	5
Tip baterij	12	12	12	12
Moč dizelskega agregata [kW]	0	0	0	0
Stroški sistema [EUR]	18.100,00	25.100,00	34.800,00	32.100,00
Sprememba stroškov [%]	-28	0	39	28
Nedobavljena energija [%]	30,54	30,54	30,50	30,54

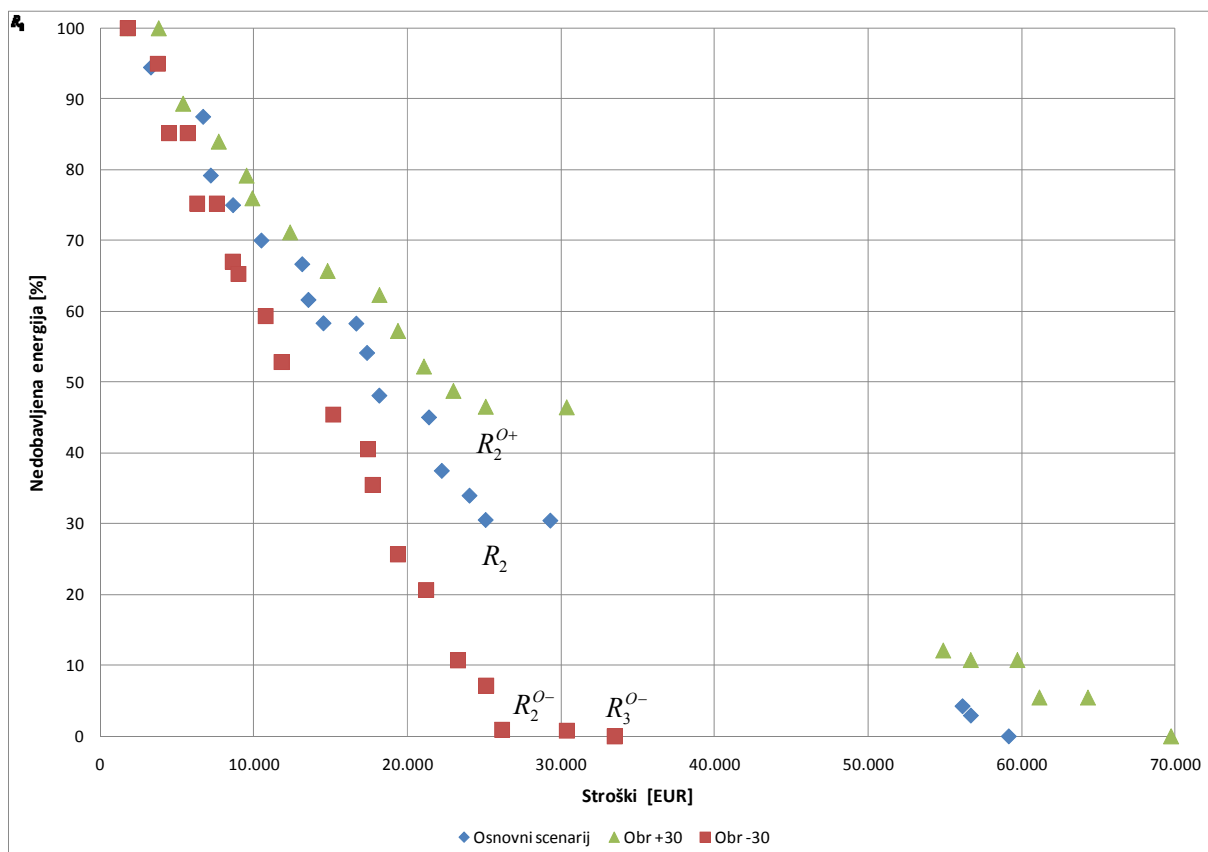
Preglednica 6: Primerjava različic, ki jih izračuna algoritem in ročno pridobljene različice

	R_2^{S+}	R_{2r}^{S+}	Razlika
Št. baterij	7	5	-2
Stroški sistema [EUR]	34.800,00	32.100,00	7,8 %
Odstotek nedobav. energije	30,50	30,54	0,1 %

Če primerjamo ti dve rešitvi, ugotovimo, da se za 7,8 % prihranka poveča odstotek nedobavljene energije samo za 0,1 % (preglednica 6). Zato za nadaljnje analize uporabljamo novo pridobljeno različico rešitve R_{2r}^{S+} .

Druga pomembna ugotovitev je, da so rešitve, ki imajo nižje stroške, manj občutljive na spremembo naložbenih izdatkov.

Poleg analize občutljivosti nedominiranih rešitev na spremembe stroškov naložbe smo analizirali tudi občutljivost na spremembo obremenitve (slika 38). Podobno kot v prejšnjem primeru smo tu najprej povečali obremenitev za 30 % ter izračunali novo različico množice nedominiranih rešitev, nato pa obremenitev zmanjšali za 30 % in izračunali naslednjo različico množice nedominiranih rešitev. V primeru sprememb obremenitve sistema vidimo, da sta fronti ponovno podobni po obliki, vendar z različnimi vrednostmi odstotka nedobavljene energije (preglednica 7).



Slika 38: Vpliv spremembe obremenitve sistema na nedominirane rešitve

Preglednica 7: Značilne rešitve analize občutljivosti obremenitev

Spremenljivka optimizacije	R_2^{O-}	R_2	R_2^{O+}	R_3^{O-}
Št. fotonapetostnih modulov	20	20	20	20
Tip fotonapetostnih modulov	9	9	9	9
Št. baterij	6	5	5	6
Tip baterij	12	12	12	12
Moč dizelskega agregata [kW]	0	0	0	1
Stroški sistema [EUR]	26.100,00	25.100,00	25.100,00	33.500,00
Nedobavljena energija [%]	0,84	30,54	46,54	0
Sprememba ned. energije [%]	-30	0	16	30,54

Na fronti scenarija zmanjšanje obremenitve se nahaja še ena zanimiva različica in sicer R_3^{O-} . Različica je zanimiva zaradi dejstva, da se kljub uporabi dizelskega agregata, stroški povišajo le za okoli 33 %, medtem ko se količina nedobavljene energije zmanjša na nič (za 30 %). Če to primerjamo z osnovnim scenarijem (preglednica 4), smo po njem morali povišati stroške za 135 %, če smo hoteli zmanjšati nedobavljeno energijo na nič (za 30 %).

Na osnovi tega lahko ugotovimo tudi prednost analize občutljivosti, ki nam omogoča t.i. »kaj-če« analizo, in sicer:

Če naložbenik zmanjša porabo za 30 %, si lahko s 33 % višjimi stroški zagotovi 100 % zanesljivost oskrbe z električno energijo. Pri tem mu dizelski agregat služi samo kot zagotovilo zanesljivosti in z njim proizvaja najmanjšo možno količino energije. Naložbenik v tem primeru varčuje z energijo, ki je najdražja in sicer z energijo iz dizelskega agregata.

Videli smo namreč, da predstavljajo stroški proizvodnje električne energije za gorivo okrog ene tretjine celotnih stroškov.

7.7 Izbira rešitve in komentar izidov

Naloga večkriterijskega optimiranja alternativnega sistema oskrbe z električno energijo je določiti sestavine alternativnega sistema oskrbe z električno energijo na osnovi napovedane porabe in opredeljene osvetljenosti, tako da sta pri tem vsota stroškov naložbe in stroškov obratovanja in vzdrževanja ter količina nedobavljene energije optimalni ob zadovoljenih omejitvah.

V primeru, da obravnavamo samostojen sistem, ki nima možnosti oskrbe z električno energijo iz javnega elektroenergetskega omrežja, so stroški zadosten finančni kriterij za odločitev. V primeru, da se naložbenik lahko odloča med samostojnim sistemom in sistemom, ki deluje vzporedno z javnim omrežjem, pa bi bilo potrebno namesto stroškov izračunati druge finančne kriterije, kot so doba vračanja naložbe (navadna in diskontirana), čista sedanja vrednost naložb in notranji odstotni koeficient donosnosti.

Izide optimiranja alternativnega sistema oskrbe z električno energijo smo analizirali na treh različicah rešitev problema. Različica 1 je od vseh rešitev najcenejša, ima pa največjo količino nedobavljene energije (skoraj 95 %). Različica 3 je po drugi strani najdražja, količina nedobavljene energije je nič. Različica 2 je vmesna rešitev, ki vodi k okoli 30 % nedobavljene energije, celotni stroški izgradnje in obratovanja sistema pa znašajo okoli 25.000,00 EUR.

Poleg tega smo izvedli analizo občutljivosti, katere izid je sprememba stroškov sistema in količine nedobavljene energije glede na spremembo vhodnih podatkov izračuna. Ob spremembi vhodnih stroškov za 30% se zmanjšajo oziroma povečajo celotni stroški izgradnje in obratovanja sistema množice nedominiranih rešitev. Na spremembo vhodnih stroškov so bolj občutljive dražje rešitve kot cenejše. Moramo se zavedati, da imajo cenejše rešitve večjo količino nedobavljene energije.

Ob spremembi obremenitve sistema za 30% se zmanjša oziroma poveča količina nedobavljene energije. Ta sprememba se grafično odraža kot premik množice nedominiranih rešitev v smeri manjše oziroma večje količine nedobavljene energije. Na spremembo obremenitve so bolj občutljive rešitve z večjo količino nedobavljene energije. Višja obremenitev povzroči pri enaki sestavi energetskega sistema, kar pomeni pri enakih stroških, večjo količino nedobavljene energije.

Na osnovi analize občutljivosti lahko ugotovimo še eno značilnost obravnavanega optimizacijskega problema. Glede na to, da ima problem celoštevilčne rešitve, je možna »lokalna občutljivost«. Rešitve so v določenih delih problemskega prostora lahko bolj ali manj občutljive od rešitev v drugih delih problemskega prostora. V takih primerih se lahko naložbenik odloča tudi glede na tveganje, kateremu je izpostavljen v primeru, da izbere določeno rešitev.

Glede na izbrani idealni pristop (poglavje 4.3) se med izidi optimizacije, ki se zaradi analize občutljivosti nahajajo na različnih frontah, odločamo na osnovi dodatnih informacij. Te informacije se predvsem nanašajo na zahtevano raven zanesljivosti oskrbe, oceno tveganj nezadostne količine proizvedene električne energije ter posledice nezadostne dobave energije. Moramo se namreč zavedati, da je današnji način življenja zasnovan na skoraj 100 % zanesljivosti oskrbe (udobje, električne ure, domači računalniki, ki se ne ugašajo, televizija itn.). Poleg tega smo v današnji družbi navajeni na »takojšnjo« dosegljivost energije in s tem običajno nismo pripravljeni prilagoditi porabo proizvodnji ampak se proizvodnja energije mora prilagajati porabi. Možni vzroki za manjšo prilagodljivost porabe so:

- Naprave, občutljive na prekinitev (neprilagodljiva poraba),
- v hiši živijo majhni otroci, starejši ljudje, bolni,
- v hiši živijo ljudje, ki so se pripravljene odreči določenemu udobju in so pripravljene varčevati z energijo vendar pa iz različnih vzrokov v določenih primerih potrebujejo 100 % zanesljivo oskrbo.

Vse to vpliva na odločitev o naložbi v alternativni sistem oskrbe z energijo.

Če je naložbenik v alternativni sistem oskrbe z električno energijo pripravljen zagotoviti okoli 30 % prihranka energije in zaradi okoliščin potrebuje 100 % zanesljivost oskrbe, bi predlagali izbiro različice R_3 . S spremembo navad in ustreznim varčevanjem z energijo se stroški te različice v celotni dobi koristnosti sistema približajo stroškom različice R_3^{0-} . Poleg tega bi naložbeniku predlagali še razširitev analize na naložbe v učinkovito porabo energije (varčne žarnice, naprave najvišjih razredov učinkovite rabe energije, prehod na naprave, ki za delovanje porabljajo plin, namestitev solarnih panelov za pogrevanje vode in ne za proizvodnjo električne energije itn.). Vsi ti ukrepi niso bili predmet naloge, bi jih pa bilo smiselno vključiti v nadaljnjih raziskavah, ker je prav ravnovesje proizvodnje in porabe pomembno pri samostojnem energetskega sistema.

Če v hiši živijo ljudje, ki se niso voljni odrekati udobju in so pripravljene za višjo raven udobja tudi plačati več ali pa je poraba zaradi drugih vzrokov neprilagodljiva, bi naložbeniku v alternativni sistem oskrbe z električno energijo prav tako predlagali izbiro različice R_3 z analizo zgoraj omenjenih dodatnih naložb v varčevanje.

Če je naložbenik pripravljen porabo zmanjšati za okoli 33 % in nima zahtev po 100 % zanesljivosti, bi mu predlagali različico R_2 s katero lahko doseže tudi okoli 99 % zanesljivost oskrbe s prilagajanjem porabe in pri varčevalnih ukrepih.

Na koncu bi naložbeniku predlagali, da se izmed 100 različic optimalnih rešitev občutljivostne analize odloča med različicama R_2 in R_3 , pri čemer pri obeh lahko izvede ukrepe učinkovite rabe energije. Pri tem je osnovno vodilo, kako z najmanjšimi stroški zagotoviti, glede na potrebe in možnosti prilagajanja porabe, 100 % zanesljivost oskrbe.

7.8 Komentar uporabnosti metode evolucijskih algoritmov

Bistvena prednost uporabe evolucijskih algoritmov pri reševanju tega problema izvira iz prilagodljivosti, robustnosti in značilnosti globalnega preiskovanja problemskega prostora. Prilagodljivost se v obravnavanem primeru pokaže v enostavnem upoštevanju omejitev ter v tem, da evolucijski algoritmi delujejo z rešitvami, ki so ustrezno kodirane. Algoritem vsako rešitev ovrednoti (dodeli ji neko uspešnost) in stohastično preiskuje prostor rešitev, da najde najboljše.

Robustnost evolucijskih algoritmov je v tem, da isti algoritem, z zelo malo spreminjanja programske kode, lahko uporabljamo za reševanje različnih problemov. Značilnost globalnega preiskovanja se kaže v tem, da evolucijski algoritmi vzporedno preiskujejo problemski prostor, tako da je verjetnost, da pridemo v lokalni optimum zelo majhna. Slaba stran evolucijskih algoritmov je, da zaradi stohastične narave preiskovanja ne morejo zagotavljati optimalnosti rešitve.

Druga slaba stran je čas izračuna. Konvergenca rešitev in s tem hitrost izračuna je bistvena lastnost optimizacijskih metod. Čim boljša konvergenca oziroma čim krajši čas izračuna so lastnosti, zaželeni v praktičnih aplikacijah. Konvergenca rešitev je pogojena z značilnostmi problemskega prostora, ki jih velikokrat slabo poznamo, in z nastavitvami optimizacijske metode.

Na osnovi pridobljenih izidov ugotavljamo, da tudi če zaradi stohastične narave preiskovanja problemskega prostora ni zagotovljena optimalnost posameznih rešitev, evolucijski algoritmi večinoma najdejo vzorce oziroma dele prostora, kjer obstaja velika verjetnost, da se optimalna rešitev (oziroma fronta) nahaja.

8 ZAKLJUČEK

V magistrski nalogi smo preučili problem odločanja v energetiki in preizkusili uporabo metod večkriterijskega optimiranja z evolucijskimi algoritmi na primeru optimizacije samostojnega alternativnega sistema oskrbe z električno energijo. Optimalno sestavo alternativnega sistema oskrbe z električno energijo smo iskali s pomočjo programskega paketa DEMO. DEMO je programski paket, ki uporablja diferencialno evolucijo za večkriterijsko optimiranje. Pri uporabi tega paketa je bila kriterijska funkcija izvedena kot zunanja programska aplikacija, s pomočjo katere vsako možno sestavo alternativnega energetskega sistema programski paket DEMO ovrednoti glede na dva kriterija: vsoto naložbenih stroškov v celotni ekonomski dobi sistema in odstotek količine nedobavljene energije v enakem časovnem obdobju.

Večkriterijsko evolucijsko optimiranje se je izkazalo za zelo uporaben, enostaven in zanesljiv pristop iskanja najustreznejših različic rešitev v energetiki, ki omogoča večkriterijsko optimiranje v enem koraku.

Poleg tega smo izdelali tudi analizo občutljivosti in pokazali, da je s takšnim pristopom mogoče ugotavljati občutljivost celotne množice nedominiranih rešitev na vhodne spremenljivke problema in s tem celovitejše načrtovati naložbo.

Menimo, da ima večkriterijsko evolucijsko optimiranje prihodnost v praktični uporabi pri načrtovanju energetskih sistemov predvsem zaradi mešane opredelitve problema (kombinatorično-celoštevilčno-zvezen problem) in narave vplivov, ki jih imajo odločitve v energetiki na okolje, prostor in ekonomsko dejavnost.

Na nadaljnji razvoj metod večkriterijskega optimiranja pri načrtovanju energetskih sistemov bodo po našem mnenju v prihodnosti najbolj vplivali naslednji dejavniki:

- močan pritisk na zniževanje stroškov in povečevanje produktivnosti v energetski dejavnosti ter zahtev po zanesljivosti oskrbe z električno energijo,
- politična usmeritev Evropske zveze k obnovljivim virom, razpršenosti energetskih virov (angl. *energy mix*), zmanjševanju porabe električne energije, zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov in zagotavljanju energetske samozadostnosti,
- napredek računalniške tehnologije v smeri hitrejših procesorjev in zmogljivejših računalniških orodij in
- nadaljnje odpiranje trgov električne energije in s tem večja potreba po orodjih za podporo odločanju.

V preteklosti je bil elektroenergetski sistem vertikalno povezan. V velikih sistemskih elektrarnah se je proizvodjala električna energija, ki so jo nato preko prenosnega in distribucijskega omrežja razdeljevali odjemalcem. Zaradi problemov z onesnaževanjem okolja in umeščanjem v prostor velikih elektrarn se vse več in več tako posameznikov kot podjetij odloča za lastno proizvodnjo električne energije predvsem iz obnovljivih virov. Velikokrat pa ti proizvajalci lastno proizvodnjo iz obnovljivih virov prepletajo z ukrepi učinkovite rabe energije, za izvedbo katerih so potrebne tako naložbe kot tudi sprememba obnašanja.

Zanesljivost oskrbe, energetska samozadostnost, energetska neodvisnost, zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov, učinkovita raba energije, proizvodnja energije iz obnovljivih virov in stroškovna učinkovitost energetskega sistema so trenutno izrazi, ki danes polnijo naslovnice časopisov. Tako inženirji kot gospodarstveniki, politiki in odjemalci energije se vse bolj zavedajo pomembnosti energetike in energije nasploh. Zaradi tega je potreba po

natančnejšem in celovitejšem načrtovanju optimalnih energetske naložbe ključna pri odločitvah na vseh ravneh odločanja.

Za katerokoli gospodarstvo, ki uporablja dostopne in pravilno obdelane podatke v matematično in informacijsko podprtem procesu načrtovanja in odločanja o naložbah, lahko rečemo, da je na znanju temelječe gospodarstvo. Zaradi tega energetske sektor potrebuje metode in orodja za podporo odločanju, ki temeljijo na kakovostnih vhodnih podatkih, sodobnih matematičnih modelih in imajo za cilj ekonomično in kakovostno oskrbo z električno energijo.

9 LITERATURA

1. ABDELAZIZ R., Ahmed, ALI M., Walid: Dispersed Generation Planning Using A New Evolutionary Approach, *IEEE Bologna PowerTech Conference*, Bologna, 2003.
2. ABIDO, A., Mohamad: Multiobjective Evolutionary Algorithms for Electric Power Dispatch Problem, *IEEE Transaction on evolutionary computation*, št. 10, zv. 3, str. 315-329, 2006.
3. *Asset Management Series: Principles, Policies and Practices*, Victorian Government, Melbourne, 1995.
4. BÄCK, Thomas; HAMMEL, Ulrich; SCHWEFEL, Hans-Paul: Evolutionary computation: Comments on the history and current state, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, št. 1, zv. 1, str. 3–17, 1997.
5. *BSI PAS 55-1 Asset Management*, British Standard Institutions, The Institute for Asset Management, London, 2008.
6. BROWN E., Richard; HUMPHREY G., Bruce: Asset Management for Transmission and Distribution, *IEEE Power and Energy Magazine*, št. 3, zv. 3, str. 39-45, 2005.
7. COSSI Antônio Marcos; ROMERO Rubén; MANTOVANI José Roberto Sanches: Planning of Secondary Distribution Circuits Through Evolutionary Algorithms, *IEEE Transaction on Power Delivery*, št. 20, zv. 1, str. 205-213, 2005.
8. CRISP, Jennifer: *Asset Management Drivers for Transmission Businesses, and their Impact on the System in Distribution*, 6th International Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Brisbane, 2001.
9. DASGUPTA, Dipankar; MCGREGOR, Douglas R.: Thermal unit commitment using genetic algorithms, *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, št. 141, zv. 5, str. 459–465, 1994.
10. *Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 16. decembra 2002 o energetske učinkovitosti stavb*, Uradni list Evropske unije št. 1, str. 65, 2003.
11. DEB, Kalyanmoy: *Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms*, John Wiley & Sons, New York, 2001.
12. ELES, *Elektroenergetski sistem Slovenije 2003*, zgibanka, 2003.
13. ELES, *Ocena zadostnosti proizvodnih virov električne energije v Republiki Sloveniji za obdobje 2005 – 2008*, (dostopno na: <http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Ocenazadostnostiproizvodnihvirov2003-2008KoncnoPorocilo.pdf>), ELES, Ljubljana, 2005.
14. ENDRENYI, John, ANDERS J., George: Aging Maintenance and Reliability, *IEEE Power and Energy Magazine*, št. 4, zv. 3, str. 59-67, 2006.
15. *Energetski zakon*, Uradni list RS št. 26, Ljubljana, 2005.
16. FIRMO, H. Teixeira, LEGEY, F. L. Luiz: Generation Expansion Planning: An Iterative Genetic Algorithm Approach, *IEEE Transaction on Power Systems*, št. 17, zv. 3, str. 901-906, 2002.
17. FOGEL, David B.: *Evolutionary Computation, Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*, IEEE Press, New York, 1995.

18. FONG, Kwong Fai; HANBY, V. Ian; CHOW, Tin-Tai: HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming, *Energy and Buildings*, št. 38, zv. 3, str. 220–231, 2006.
19. GRESHAM, T. Maria; ANDRULIS, Jeremy: *Optimization of information to improve decision making in government: The information value chain way*, IBM Institute for Business Value, IBM Corporation, Somers, 2002.
20. GYIMOTHY, Bela, DUNAY, Andras: Principles of the IT service supporting Network Asset Management, *Electrotehnika - Budapest*, št. 99; zv. 5, str. 4-6, 2006.
21. GUBINA, Ferdinand: *Delovanje elektroenergetskega sistema*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2006.
22. IEEE Task Force: The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability, *IEEE Transaction on Power Systems*, št. 16, zv. 4, str. 638–646, 2001.
23. KAZARLIS, Spyros; BAKIRTZS, Anastasios; PETRIDIS, Vassilios.: A genetic algorithm solution to the unit commitment problem, *IEEE Transaction on Power Systems*, št. 11, zv. 1, str 83-92, 1996.
24. KOVAČIČ, Andrej; BOSILJ VUKŠIČ, Vesna: *Management poslovnih procesov*, GV Založba, Ljubljana, 2005.
25. KOUTROULIS, Eftichios; KOLOKOTSA, Dionissia; POTIRAKIS, Antonis; KALAITZAKIS, Kostas: Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms, *Solar Energy*, št. 80, zv. 9, str. 1072–1088, 2006.
26. KUNDUR, Prabha; in drugi: Definition and Classification of Power System Stability, *IEEE Transaction on Power Systems*, št. 19, zv. 2, str. 1387-1401, 2004.
27. MAIFELD, T. Tim; SCHEBLE, B. Gerald: Genetic-based unit commitment algorithm, *IEEE Transaction on Power Systems*, št. 11, zv. 3, str. 1359-1370, 1996.
28. MIHELČIČ, Miran: *Poslovne funkcije*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, 2004.
29. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Državna meteorološka služba, 2009, dostopno na: <http://meteo.arso.gov.si/>.
30. NORDSTRÖM, Lars: *Use of the CIM framework for data management in maintenance of electricity distribution networks*, Royal Institute of Technology Stockholm, Stockholm, 2006.
31. O'BRIEN, James A.; MARAKAS, George M.: *Management Information Systems*, sedma izdaja, McGraw-Hill, New York, 2006.
32. Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo, Uradni list RS št. 35, Ljubljana, 2008.
33. PRICE, Kenneth V., STORN, Rainer M., LAMPIEN, Jouni A.: *Differential evolution, A practical approach to global optimization*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
34. Primerjalnik ponudb, spletna aplikacija, Javna agencija Republike Slovenije za energijo, 2009, dostopno na: www.agen-rs.si, Maribor, 2009.
35. REBERNIK, Miroslav; PUŠNIK, Ksenja: *Teorije firme, študijsko gradivo*, Univerza v Mariboru, Ekonomsko-poslovna fakulteta, Maribor, 2006.

36. Resolucija o nacionalnem energetskega programu (ReNEP), Uradni list RS št. 57, Ljubljana, 2004
37. ROBIČ, Tea; FILIPIČ, Bogdan: *Večkriterijsko optimiranje z genetskimi algoritmi in diferencialno evolucijo*, Delovno poročilo IJS-DP 9065, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 2005.
38. ROBIČ, Tea; FILIPIČ, Bogdan: DEMO: Differential evolution for multiobjective optimization, *Proceedings of the Third International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization – EMO 2005*, Guanajuato, Mexico, str. 520–533, 2005.
39. ROBINSON, Greg; ZHOU, M., Joe: Utility applications should be integrated with an interface based on a canonical data model, not directly with each other, *Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES*, New York, 2004.
40. SEELING-HOCHMUTH, Gabriele: A combined optimisation concept for the design and operation strategy of hybrid-PV energy systems, *Solar Energy*, št. 61, zv. 2, str. 77–87, 1997.
41. SENJYU, Tomonobu; HAYASHI, Daisuke; URASAKI, Naomitsu; FUNABASHI, Toshihisa: Optimum configuration for renewable generating systems in residence using genetic algorithm, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, št. 21, zv. 2, str. 459–466, 2006.
42. TURK, Ivan; KAVČIČ, Slavka; KOKOTEC-NOVAK, Majda: *Poslovodno računovodstvo*, Slovenski inštitut za revizijo, Ljubljana, 2003.
43. TURBAN, Efraim; ARONSON, Jay E.: *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, šesta izdaja, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2001.
44. TUŠAR, Tea: *DEMO (Differential Evolution for Multiobjective Optimization)*, [Programska oprema], Institut Jožef Stefan, Ljubljana, 2009, dostopno na http://dis.ijs.si/tea/DEMO/DEMO_v1_3_win.zip
45. XU, Daming; KANG, Longyun; CHANG, Liuchen; CAO, Binggang: Optimal sizing of standalone hybrid wind/PV power systems using genetic algorithms, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Saskatoon, Kanada, str. 1722–1725, 2005.
46. YANG, Fan; KWAN Min Chung; CHANG, C. Sau: Multiobjective Evolutionary Optimization of Substation Maintenance Using Decision-Varying Markov Model, *IEEE Transaction on Power Systems*, št. 23, zv. 3, str. 1328-1335, 2008.