

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Pajević, D., 2014. Uporaba metod operacijskih raziskav v postopku vzdrževanja bloka 5 TEŠ. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Turk, G. sommentor Srđić, A.): 92 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Pajević, D., 2014. Uporaba metod operacijskih raziskav v postopku vzdrževanja bloka 5 TEŠ. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Turk, G., co-supervisor Srđić, A.): 92 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
VODARSTVA IN  
KOMUNALNEGA  
INŽENIRSTVA

Kandidat:

**DARKO PAJEVIĆ**

**UPORABA METOD OPERACIJSKIH RAZISKAV V  
POSTOPKU VZDRŽEVANJA BLOKA 5 TEŠ**

Diplomska naloga št.: 219/VKI

**THE USE OF METHODS OF OPERATIONS RESEARCH  
IN THE PROCESS OF MAINTAINING A THERMAL  
POWER 5 OF TEŠ**

Graduation thesis No.: 219/VKI

**Mentor:**

prof. dr. Goran Turk

**Predsednik komisije:**

doc. dr. Dušan Žagar

**Somentor:**

viš. pred. dr. Aleksander Srdić

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Dejan Zupan

Ljubljana, 23. 01. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrsta napake**

**Namesto**

**Naj bo**

Ta stran je namenoma prazna.

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Darko Pajevič izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Uporaba metod operacijskih raziskav v postopku vzdrževanja bloka 5 TEŠ«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 23.12.2013

Darko Pajevič

Ta stran je namenoma prazna.

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>004:620.91(497.4Šoštanj)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Darko Pajevič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Goran Turk</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. dr. Aleksandar Srdić</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Uporaba metod operacijskih raziskav v postopku vzdrževanja bloka 5 TEŠ</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>15 pregl., 23 sl., 92 str.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Metoda CPM, metoda PERT, TEŠ, blok 5, dejavnosti, Pertmaster, Mathematica, simulacije</b>

### **Izvleček**

V diplomski nalogi so predstavljene dejavnosti, ki so potekale pri vzdrževanju bloka 5 termoelektrarne Šoštanj leta 2011. Na začetku so opisani sestavni deli termoelektranskega bloka. Sledi opis metod s katerimi analiziramo potek dejavnosti za dokončanje projekta vzdrževanja. Z metodo kritične poti enostavno določimo najdaljšo pot skozi projekt, saj so časi trajanja aktivnosti pri deterministični metodi točno določeni. Metoda Program Evolution and Review Technique (PERT) pozna verjetna območja velikosti časa trajanja dejavnosti, zato deluje kot nadgradnja analize z metodo Critical Path Method (CPM). Odločili smo se za beta porazdelitev, za katero smo potrebovali tri ocene časa trajanja aktivnosti; optimistični, najverjetnejši in pesimistični čas.

V drugem delu diplomske naloge smo na kratko opisali program Pertmaster, naredili plan projekta in analizirali tveganje, da bo projekt pravočasno dokončan. Dobljene kritične poti smo simulirali v programu Pertmaster in Mathematici. Rezultati iz programa Pertmaster so imeli manjša odstopanja od rezultatov iz Mathematice glede na simulacije z beta pert porazdelitvijo. Da smo preverili točnost podatkov, smo naredili še dodatne simulacije v obeh programih s trikotno porazdelitvijo.

Ta stran je z namenom prazna.



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDK:** 004:620.91(497.4Šoštanj)(043.2)  
**Author:** Darko Pajevič  
**Supervisor:** prof. Goran Turk, PhD  
**Cosupervisor:** assist. Aleksandar Srdić, PhD  
**Title:** The use of methods of operations research in the process of maintaining a thermal power block 5 of TEŠ  
**Notes:** 15 tab., 23 fig., 92 p.  
**Key words:** Critical Path Method, Program Evaluation and Review Technique, activities, Pertmaster, Mathematica, simulation

### **Abstract**

Thesis presents the activities that have taken place during 2011 with the maintenance of Šoštanj's thermal power plant block 5. Early part of thesis describes components of a thermal block. It is followed by the description of action course analysis methods needed for completion of the project's maintenance. With Critical Path Method we can easily determine the longest path throughout the project as durations of activities have exact estimations. Method PERT identifies likely range sizes of activity duration, and acts as an upgrade for CPM analysis. We decided to use beta distribution, for which we needed three estimates of activity duration; optimistic, most likely and pessimistic time.

In the second part of thesis we briefly describe the software Pertmaster. We made the project plan and analyzed the risk of project's completion. Resulting critical paths were put through simulation with software programs Pertmaster and Mathematica. Results from the program Pertmaster had minor deviations from the results of Mathematica according to simulations with beta pert distribution. To verify the accuracy of the data, we made extra simulations in both programs with triangular distribution.

Ta stran je z namenom prazna.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Goranu Turku in somentorju asist. dr. Aleksandru Srdiću.

Posebej bi se zahvalil prijatelju Marku Severju, ki mi je tekom pisanja diplomske naloge posredoval mnogo pomembnih podatkov, s katerimi sem lahko dalje operiral.

Ta stran je z namenom prazna.

## KAZALO VSEBINE

<b>IZJAVA O AVTORSTVU.....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....</b>	<b>V</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION .....</b>	<b>VII</b>
<b>ZAHVALA.....</b>	<b>IX</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 SPLOŠNO O TERMOELEKTRARNI ŠOŠTANJ .....</b>	<b>2</b>
<b>3 BLOK 5 .....</b>	<b>3</b>
3.1 Značilnosti.....	3
3.2 Sestavni deli termoeenergetskega bloka 5 .....	4
3.2.1 Kotel bloka 5 .....	4
3.2.2 Parna turbina bloka 5.....	6
3.2.3 Kondenzator .....	6
3.2.4 Hladilni sistem.....	7
3.2.5 Napajalna črpalka na bloku 5 .....	7
3.2.6 Priprava tehnoloških voda.....	8
<b>4 UPORABA METOD OPERACIJSKIH RAZISKAV V PROJEKTU .....</b>	<b>10</b>
4.1 Definicija projekta.....	10
4.2 Projektno planiranje .....	11
4.3 Mrežno planiranje .....	12
4.4 Metoda CPM .....	13
4.4.1 Analiza časov z metodo CPM .....	14
4.4.1.1 Izračun poznih in zgodnjih rokov aktivnosti .....	14
4.4.1.2 Rezervni čas aktivnosti.....	15
4.4.1.3 Kritična pot projekta.....	16
4.5 Metoda PERT.....	17
4.5.1 Analiza časov PERT/TIME.....	17
4.5.1.1 Verjetnost izpolnitve končnega roka.....	18
<b>5 VZDRŽEVANJA TERMOENERGETSKEGA BLOKA 5.....</b>	<b>19</b>
5.1 Analiza časov za vzdrževanje termoeenergetskega bloka 5 pri remontu iz leta 2011 .....	23
5.1.1 Analiza časov po metodi CPM.....	23

5.1.2	Analiza časov po metodi PERT .....	30
5.1.3	Krajšanje trajanja projekta .....	36
5.1.4	Krizni management ob malo verjetnem dogodku .....	37
<b>6</b>	<b>SIMULACIJE .....</b>	<b>39</b>
6.1	Metoda Monte Carlo.....	39
6.2	Program Pertmaster .....	40
6.2.1	Aktivnosti v programu Pertmaster .....	40
6.2.2	Povezave med aktivnostmi .....	43
6.2.3	Prikaz povezav med aktivnostmi .....	44
6.2.4	Viri.....	45
6.2.5	Vključevanje tveganja .....	45
6.2.6	Porazdelitev .....	46
6.2.7	Tveganje pri projektih .....	46
6.3	Simulacija trajanja projekta vzdrževanja bloka 5 v programu Pertmaster .....	47
6.3.1	Podatki za izvedbo simulacije v programu Pertmaster .....	47
6.3.2	Histogram trajanja celotnega projekta .....	47
6.3.3	Histogram zaključnega datuma aktivnosti .....	49
6.3.4	Histogram rezervnega časa aktivnosti .....	49
6.3.5	Diagram indeksa kritičnosti .....	50
6.3.6	Diagram občutljivosti trajanja .....	51
6.3.7	Diagram pomembnosti trajanja .....	51
6.3.8	Uporaba korelacije med aktivnostmi .....	52
6.4	Simulacija trajanja kritičnih poti v programu Mathematica .....	56
6.5	Analiza simulacij s porazdelitvijo beta pert.....	58
6.6	Simulacije s trikotno porazdelitvijo.....	59
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>61</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>.....</b>	<b>62</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki kotla.....	5
Preglednica 2: Nazivne vrednosti hladilnega sistema .....	7
Preglednica 3: Podatki napajalne črpalke.....	8
Preglednica 4: Preglednica uporabljenih voda .....	9
Preglednica 5: Faze dela pri mrežnem planiranju (Rant in sod., 1998) .....	13
Preglednica 6: Izračun najzgodnejših in najkasnejših rokov ter pomičnosti posameznih aktivnosti ....	24
Preglednica 7: Določene vse možne poti skozi projekt vzdrževanje bloka 5.....	28
Preglednica 8: Optimistični, najverjetnejši, pesimistični in pričakovani časi vseh dejavnosti ter njihova varianca; v zadnjem stolpcu je verjetnost, da se dejavnost ne bo izvedla. ....	31
Preglednica 9: Varianca trajanja aktivnosti za pot številka 4, ki traja najdlje (131 dni) .....	34
Preglednica 10: Trajanje in varianca trajanja za izbrane tri poti .....	34
Preglednica 11: Verjetnost, da bo projekt dokončan v 131 dneh; izračun s pomočjo programa Excel	35
Preglednica 12: Novo trajanje dejavnosti in dodatni stroški na poti številka 4.....	37
Preglednica 13: Primerjava rezultatov izračunanih po metodi PERT z rezultati pridobljenimi v programu Pertmaster .....	48
Preglednica 14: Čas trajanja najdaljših poti in njihovo zaporedje dejavnosti .....	56
Preglednica 15: Ocene časov trajanja dejavnosti na najdaljših poteh skozi projekt .....	56

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Primerjava proizvodnje električne energije v Sloveniji po mesecih, glede na tip elektrarne (BiTeš, 2001).....	2
Slika 2: Poenostavljena tehnološka shema bloka 5 (TEŠ: Blok 5, 2013).....	3
Slika 3: Cevna shema kotla Sulzer 1050 t/h (TEŠ: Kotel bloka 5, 2013).....	5
Slika 4: Grafični prikaz rezervnega časa .....	16
Slika 5: Microsoft Project razpredelnica dejavnosti Remonta na bloku 5.....	21
Slika 6: Diagram terminskega plana.....	22
Slika 7: Graf verjetnosti dokončanja projekta .....	36
Slika 8: Prikaz združene aktivnosti in njenih podaktivnosti.....	41
Slika 9: Prikaz povezav med aktivnostmi.....	44
Slika 10: Določitev optimističnega, pesimističnega in najverjetnejšega časa .....	45
Slika 11: Histogram trajanja celotnega projekta po beta pert porazdelitvi.....	47
Slika 12: Histogram zaključnega datuma posamezne aktivnosti.....	49
Slika 13: Histogram rezervnega časa posamezne aktivnosti .....	50
Slika 14: Diagram indeksa kritičnosti .....	50
Slika 15: Diagram občutljivosti trajanja .....	51
Slika 16: Diagram pomembnosti trajanja .....	52
Slika 17: Prikaz dveh različnih korelacij med trajanjem aktivnosti .....	53
Slika 18: Zgornja dva histograma, (a) in (b) prikazujeta stanje pred korelacijo, spodnja dva, (c) in (d) pa stanje po uvedbi korelacije z aktivnostjo Šamoterska dela.....	54
Slika 19: Zgornji sliki, (a) in (b), prikazujeta histograma pred uvedbo korelacije, spodnji, (c) in (d), pa histograma aktivnosti Remont ventilatorja podpiha NG po uvedbi korelacije.....	55
Slika 20: Grafi verjetnosti dokončanja projektov po simulacijah v Pertmasterju in Mathematici (beta pert porazdelitev) ter po metodi Pert .....	57
Slika 21: Trikotna porazdelitev pri dejavnosti antikorozivna zaščita in ostala pleskarska dela .....	59
Slika 22: Histogram trajanja celotnega projekta po trikotni porazdelitvi .....	60
Slika 23: Graf verjetnosti trajanja s trikotno porazdelitvijo; grafično sta predstavljeni simulaciji v programu Pertmaster in Mathematica.....	60



Ta stran je namenoma prazna.

**OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

CPM:	ang. »Critical Path Method«
HSE:	Holding Slovenske elektrarne
IPMA:	ang. »International Project Managment Association«;
NT:	nizkotlačni
PERT:	ang. »Program Evaluation and Review Technique«
PMI:	ang. »Project Managment Institute«
PVP kanal:	kanal povratnih dimnih plinov
RDP:	razžveplanje dimnih plinov
RECI kanal:	kanal recirkulacijskega zraka
ST:	srednjetlačni
TEŠ:	Termoelektrarna Šoštanj
VT:	visokotlačni

## 1 UVOD

Gradbeni projekti imajo dolg življenjski cikel, zadnjo fazo pa predstavlja vzdrževanje. Samo vzdrževanje gradbenih objektov z vsemi strojnimi elementi je ključnega pomena, saj omogoča nemoteno delovanje in podaljšuje življenske dobe objekta. Tako kot pri vseh projektih, potrebujemo tudi pri vzdrževanju termoelektrarne bloka 5 Termoelektrarne Šoštanj izdelavo dobrega terminskega načrta.

V prvih poglavjih je opisana Termoelektrarna Šoštanj kot energetska objekt in njena pomembnost pri zagotavljanju električne energije v Sloveniji. Podrobno so opisani sestavni deli objekta bloka 5, ki so kasneje zajeti v dejavnostih vzdrževanja.

Podatke o potrebnih dejavnostih in njihovem trajanju smo pridobili iz projekta vzdrževanja bloka 5 iz leta 2011. Projekt smo analizirali s programom Microsoft Project in uporabili operacijsko metodo CPM (ang. »Critical Path Method«), metoda kritične poti in metodo PERT (ang. »Program Evaluation and Review Technique«), tehnika ocene in preverjanja programa. Ti metodi sta še vedno osnova vsem sodobnim računalniškim programom, razlikujeta se le v načinu obravnave časa trajanja dejavnosti. Metoda CPM obravnava čas trajanja dejavnosti kot deterministično količino, točkovno oceno časa, medtem ko metoda PERT obravnava čas trajanja dejavnosti kot slučajno spremenljivko. Z uporabo obeh metod smo določili tri kritične poti, ki so potrebovale nadaljno obravnavo.

Kritične poti smo analizirali v programu Pertmaster in Mathematica z uporabo Monte Carlo simulacij. Z njimi smo ugotovili verjetnost trajanja projekta. Predstavljen je program Pertmaster, ki je računalniška podpora projektnega managementu in upravljanju s tveganji. V program smo vnesli plan projekta vzdrževanja bloka 5 ter izvedli simulacije in analizo tveganja. Poleg plana projekta smo predstavili rezultate analize tveganja in interpretacijo rezultatov. Da bi preverili delovanje programa Pertmaster, smo izvedli še simulacijo v programu Mathematica.

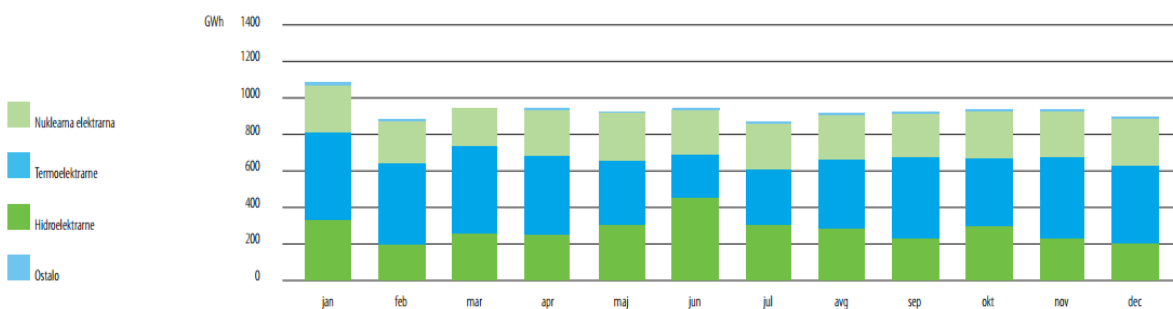
Osnovni namen naloge je analiza projekta vzdrževanja bloka 5 z različnimi operacijskimi metodami.

## 2 SPLOŠNO O TERMOELEKTRARNI ŠOŠTANJ

Termoelektrarna Šoštanj leži v Šaleški dolini in predstavlja, po letno proizvedeni električni energiji, največjo elektrarno v družbi HSE (Holding Slovenske elektrarne). Upravlja jo družba z omejeno odgovornostjo, ki jo vodi direktor. Predstavlja energetske pomemben steber za zanesljivo oskrbo Republike Slovenije z električno energijo.

V večini držav so termoelektrarne pomemben in zanesljiv vir oskrbe z električno energijo. V Sloveniji termoelektrarne na fosilna goriva proizvedejo 40 % električne energije. Značilnosti termoelektrarn so dolga življenska doba, zanesljivost, uporabnost za vsa fosilna goriva, dober izkoristek in možnost gradnje z veliko nazivno močjo.

Termoelektrarna Šoštanj je za svoje delovanje že od začetka vezana na izrabo velenjskega lignita, ki ga pridobiva Premogovnik Velenje. Letno ga za svoje delovanje porabi med 3,5 in 4,2 milijonov ton. Poleg premoga uporablja za delovanje plinskih turbin tudi zemeljski plin, letno okoli 60 milijonov  $Sm^3$ . Pretežna dejavnost TEŠ (Termoelektrarna Šoštanj) je proizvodnja elektrike in toplote za daljinsko ogrevanje. Z vgrajeno močjo 779 MW v povprečju proizvedejo tretjino energije v državi, v kriznih obdobjih pa pokrivajo polovico potreb. Povprečna letna proizvodnja se giblje med 3.500 in 3.800 GWh. Povprečna letna proizvodnja toplotne energije za daljinsko ogrevanje Šaleške doline znaša 400 do 450 GWh (BilTeš, 2011).



**Slika 1: Primerjava proizvodnje električne energije v Sloveniji po mesecih, glede na tip elektrarne (BilTeš, 2001)**

Osnovna naloga elektroenergetskega sistema je pravočasna, zadostna in nemotena oskrba z električno energijo. Oskrba z električno energijo je ena najpomembnejših storitev in hkrati pomembna gospodarska dejavnost. Potrošnik električne energije pričakuje, da je električna energija na voljo vedno, kadar jo potrebuje. Zato mora imeti elektroenergetski sistem dovolj rotirajoče rezerve za takojšnje pokritje izpada večjega agregata v sistemu, pa tudi dovolj hladne rezerve za pokrivanje sezonskih nihanj porabe. Biti mora sposoben izravnati porabo in proizvodnjo električne energije.



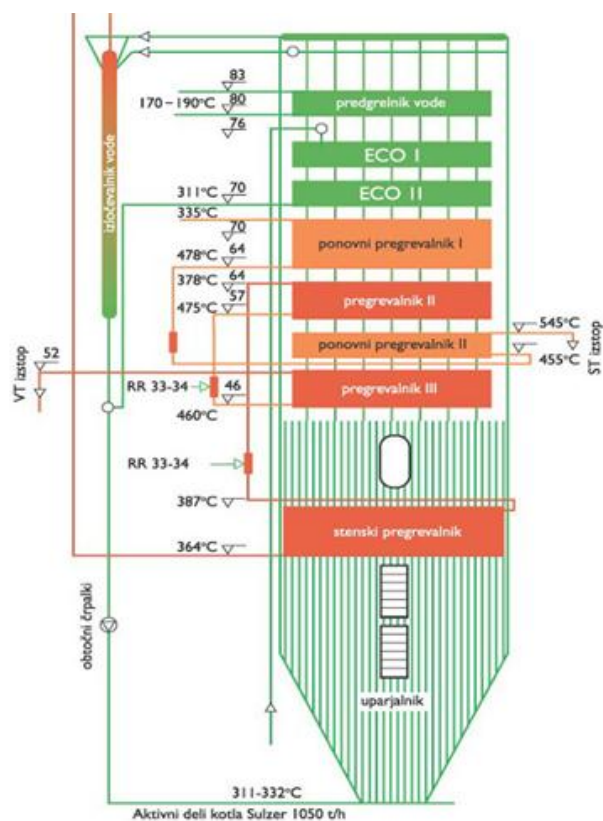
## 3.2 Sestavni deli termoenergetskega bloka 5

### 3.2.1 Kotel bloka 5

Parni kotli služijo za pretvarjanje nakopičene energije v premogu v prehodno – toplotno energijo. Kotel na bloku 5 je Sulzerjev enocevni parni kotel stolpne izvedbe s ponovnim pregrevanjem in prisilnim obtokom skozi uparjalnik. Visok je 96 m, do višine 49 m zaprt, nato pa odprt z močnejšo toplotno izolacijo. Njegova celotna teža znaša okoli 15 000 ton. Aktivni del kotla ima obliko prizme, ki je spodaj zožena v lijak. Stene kotla so v plinotesno membrano zvarjene cevi uparjalnika, ki jih je 1298 in so obešene. Gorilna komora sega do višine 49 m, kjer je nad gorilniki nameščen stenski pregrevalnik. Od 49 do 90 m je ocevje konvektivnega dela kotla, ki je sestavljeno iz grelnika napajalne vode, drugega in končnega visokotlačnega pregrevalnika in prvega in drugega ponovnega pregrevalnika. Na vrhu so kotlu vgradili utilizator, zaradi potrebe po znižanju temperature dimnih plinov. Odvečna toplota se porablja za dogrevanje vode na toplotni postaji. Kotel lahko proizvede največ 1050 t pare na uro, s pritiskom 183 bar in temperaturo 540°C. Izstop iz ponovnega pregrevanja ima 43,5 bar in 545°C (Trop, B., 2011).

Za napajanje kotla imamo tri enako zmogljive črpalke, od katerih je ena rezervna. V fazi zagona kotla z vodo napolnimo uparjalni del kotla do izločevalca vode, pregrevalniki ostanejo prazni. Kurjenje pričnemo s šestimi plinsko oljnimi gorilniki na lahko kurilno olje. Ko dosežemo dovolj visoko temperaturo, lahko pričnemo kuriti s premogovim prahom. Za kurjenje s premogovim prahom ima kotel šest ventilatorskih mlinov s pripadajočimi prahovodnimi gorilniki. Sproščeno toplotno energijo sprejemata napajalna voda in para. Mešanica vode in pare se iz uparjalnika dovaja v izločevalnik vode, kjer se voda loči od pare. Para teče skozi tri pregrevalnike, kjer se pregreje do zelene temperature, voda pa se vrača na sesalno stran obtočne črpalke. Z obtočno črpalko zagotavljamo dovolj velik pretok vode skozi uparjalnike, da preprečujemo uparjanje v samih ceveh uparjalnika. V srednjem tlačnem delu imamo dva ponovna pregrevalnika za pregretje pare, ki se vrača iz končne stopnje visokotlačnega dela turbine (Trop, B., 2011).

Da dosežemo popolno izgorevanje, potrebujemo svež zrak. Tega v kotel dovajata dva ventilatorja skozi regenerativni grelnik zraka. Dva ventilatorja vleka sesata iz kotla dimne pline in pepel skozi elektro filter, naprej čez čistilno napravo in nato v dimnik. Na spodnjem delu je koltovski lijak zaprt z dvema potujočima rešetkama. Žlindro izpod kotla skupaj s pepelom izpod elektro filtrov transportiramo v silos nad mešalnico. V mešalnici oba produkta zmešamo s produktom čistilne naprave, sadro. Tako dobljeni stabilizat transportiramo s cevastim tekočim trakom na vmesno odlagališče, od tu pa s kamioni na končno odlagališče (Trop, B., 2011).



Slika 3: Cevna shema kotla Sulzer 1050 t/h (TEŠ: Kotel bloka 5, 2013)

**Preglednica 1: Tehnični podatki kotla**

Parameter	Vrednosti
Zmogljivost	1050 t/h
Tlak sveže pare	183 bar
Temperatura	540 °C
Tlak ponovno pregrete pare	41,5 bar
Temperatura p.p. pare	545 °C
Zmogljivost napajalne črpalke	3 × 580 t/h
Najvišji dopustni tlak	245 bar
Temperatura dimnik plinov	160 °C
Izkoristek kotla	89 %
Višina dimnika	230 m

### 3.2.2 Parna turbina bloka 5

Parna turbina je toplotni stroj, ki z ekspanzijo pregrete pare spreminja toplotno energijo v kinetično, ta pa nato v mehansko delo oz. vrtenje rotorja turbine. Izkoristek toplotne energije je pri sodobnih turbinah maksimalno 45%.

Turbina Siemens UB KWU je nadtljučna in je odjemno kondenzacijska turbina s ponovnim pregrevanjem pare. Ponovno pregrevanje pare služi k večjemu izkoristku velikih termoenergetskih blokov. Ima ohišje visokega, srednjega in nizkega tlaka. Visokotlačni del je lončaste izvedbe, kar omogoča večjo elastičnost turbine med obratovanjem in krajše zagonske čase. Srednjetačni del je dvodelen in lite konstrukcije, skozi vsak del ekspandira polovica pare. Nizkotlačni del je varjene izvedbe, povezan je s kondenzatorjem (Trop, B., 2011).

Na visokotlačnem delu turbine so nameščeni štiri hitrozaporno-regulirni ventili skozi katere vstopa para na visokotlačni (VT) del turbine s parametri 17,75 MPa, 1050 h/t, 540 °C pri maksimalni obremenitvi 345 MW. Izstopna para iz VT dela ima 43 bar pritiska in temperaturo 335 °C ter se vrača v kotel na ponovno pregrevanje. Ponovno pregreta para vstopa v ST (srednjetačni) del preko štirih hitrozapornih-regulirnih ventilov in nato še v NT (nizkotlačni) del turbine. Izstopna para teče skozi dve odprtini v kondenzator, kjer se ohlaja s hladilno vodo in kondenzira (Trop, B., 2011).

V sklop turbinskega postrojenja spadajo še pomožne turbinske naprave, kot so rezervoar turbinskega olja, glavne oljne črpalke, hladilniki turbinskega olja, ventilatorji oljnih hlapov in oljni filtri.

### 3.2.3 Kondenzator

Kondenzator ima 12 480 m<sup>2</sup> hladilne površine. Pri polni obremenitvi se v njem kondenzira približno 700 t pare na uro. Hladilne cevi so iz medenine in so sestavljene iz 25 400 delov. Kondenzator je dvodelen in lahko v času okvare zaradi netesnosti obratuje samo z eno polovico. Vgrajeno ima napravo za čiščenje kondenzatorskih cevi med obratovanjem. Ima dve črpalčki za črpanje kondenzata. Črpalčki sta tristopenjski, ena obratuje, druga pa predstavlja rezervo.

Naloge kondenzatorja so:

- Kondenziranje izstopne pare iz nizkotlačnega dela turbine
- Vračanje kondenzata v krogotok
- Hlajenje in kondenziranje mešanice pare in plinov v zračnem hladilniku kondenzatorja, preden mešanico odsesajo vakuumske črpalke
- Prezem kondenzata in pare iz odvodnjavanj



- Prezem plinov in par iz odzračevanj

### 3.2.4 Hladilni sistem

Na bloku 5 je poleg glavnega hladilnega sistema več manjših, stranskih in pomožnih hladilnih sistemov. Glavni hladilni sistem je tako imenovanega zaprtega tipa z obtočnim hlajenjem in dekarbonatizirano vodo kot hladilnim medijem. Poleg odvajanja kondenzacijske toplote iz kondenzatorja, glavni hladilni sistem hladi tudi sistem obratno hladilne vode, hladilnika turbinskega olja in hladilnika vodika (Trop, B., 2011).

Glavni hladilni sistem je sestavljen iz:

- hladilnega stolpa
- dveh obtočnih hladilnih črpalk
- cevovoda
- različnih armatur
- prenosnikov toplote

**Preglednica 2: Nazivne vrednosti hladilnega sistema**

Parameter	Vrednosti
Zmogljivost hladilne črpalke	2 x 19 250 t/h
Zmogljivost hladilnega sistema	32 000 m <sup>3</sup> /h
Volumen hladilnega sistema	6 500 m <sup>3</sup>
Nazivna temperatura hladilne vode	22 °C
Višina hladilnega stolpa	94 m

### 3.2.5 Napajalna črpalka na bloku 5

Najvažnejše črpalke v termoelektrarni so kondenzatne, hladilne črpalke in kotlovske napajalne črpalke. Opisali bomo zadnjo, saj je najpomembnejša in služi za črpanje vode iz napajalnega rezervoarja v kotel.

Blok 5 ima tri napajalne črpalke, vsaka zadošča za polovično moč kotla. Sestavljena je iz predčrpalke, motorja, voith sklopke in glavne črpalke. Predčrpalka služi za zvišanje tlaka napajalne vode nad

tlakom v napajalnem rezervoarju, da prepreči uparjanje vode pri vstopu v napajalno črpalko. Glavna črpalka je 7-stopenjska centrifugalna črpalka segmentne izvedbe s plaščem. Ohišje sestavlja vstopni in izstopni del s plaščem, med njima pa je sestavljen srednji del črpalke. Na tlačnem in sesalnem delu ohišja so z vijaki pritrjena ohišja za mehanska tesnila in ležaje. Po osi na kateri sta nasajena dva radialna ležaja z oljnim mazanjem, so razporejeni rotorji črpalke, ki so med seboj deljeni z distančnimi prstani. V črpalki sta vgrajeni dve hladilni komori, ki sta hlajeni z OHV vodo.

### Preglednica 3: podatki napajalne črpalke

Parameter	Vrednosti
Napajalna črpalka – maksimalni pretok	580 t/h
Napajalna črpalka – maksimalni pritisk	240 bar
Moč elektromotorja	6,4 MW

Količino napajalne vode spreminjajo s spreminjanjem vrtljajev črpalke. To uravnava s t.i. Voith sklopko. Imajo dve oljni črpalki za mazanje ležajev in oljni sistem Voith sklopk. Olje se hladi v hladilnikih krmilnega in mazalnega olja z vodo OHV (obratno hladilni sistem). V sklopu črpalke je tudi ventil minimalne količine, s katerim se prepreči delovanje črpalke pri pretoku 0. V tem slučaju bi prišlo do uparjenja v črpalki in močnih vibracij.

### 3.2.6 Priprava tehnoloških voda

Za obratovanje elektrarniških naprav, kot so kotli, turbine, hlajenje strojev, odplav žlindre, čiščenje dimnih plinov, potrebujejo po kvaliteti več različnih vrst vode. Voda se pripravlja v več različnih objektih, ki so jih gradili vzporedno z izgradnjo proizvodnih blokov. Kvaliteto pridobljene vode se meri že v procesu pridobivanja, nadzor pa izvaja oddelek za tehnologijo vode, goriva in maziva.

Za napajanje kotlov s tehnološko vodo, iz katere dobijo delovno paro za pogon turbin, potrebujejo po kvaliteti najboljšo vodo. Ta voda mora biti kemično čista, brez mineralov, elementov raznih kovin, soli in silicija. Tako kemično čisto vodo pridobijo s čiščenjem pitne vode v dveh objektih imenovanih totalna demineralizacija, očiščena voda se imenuje deionat. Kvaliteto čiščenja nadzorujejo z merjenjem vsebnosti silicija. Naše naravne vode imajo prevodnost  $>250 \mu\text{S}/\text{cm}$ , demineralizirana voda pa sme imeti prevodnost največ  $0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Za pridobivanje deionata imajo dve čistilni progi proizvodne zmogljivosti  $2 \times 40 \text{ m}^3/\text{h}$ . Z deionatom polnijo tudi obratne hladilne sisteme (OHV). S

sistemi OHV pretežno hladijo razne pogonske stroje, hladilni zrak za motorje in delovna ter mazalna olja.

Druga tehnološka voda je manj prečiščena in se imenuje dekarbonatizirana voda. Voda se črpa iz Družmirskega jezera, alternativno je možno napajanje iz reke Pake. To surovo jezersko vodo čistijo v objektih imenovanih dekarbonatizacija. Karbonate odstranjujejo s kemičnim postopkom, dokončno pa očistijo vodo s filtriranjem. Kvaliteto vode ugotavljajo z merjenjem vrednost »p« in »m«. To so mere za prisotnost baz, karbonatov in bikarbonatov v vodi, v dekarbonatizaciji pa služijo kot mera za doziranje kemikalij. Imajo dve dekarbonatizaciji, starejšo za oskrbo blokov od 1 do 4. Reaktor ima zmogljivost  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ , peščeni filtri zaprtega tipa pa  $10 \times 150 \text{ m}^3/\text{h}$  in novejšo dekarbonatizacijo, za oskrbo bloka 5. Reaktor ima projektirano zmogljivost  $1250 \text{ m}^3/\text{h}$ , peščeni filtri odprtega tipa pa  $6 \times 250 \text{ m}^3/\text{h}$ . Z dekarbonatizirano vodo polnijo glavne hladilne sisteme za posamezne bloke in kot surovo vodo za pridobivanje deionata, kadar zmanjka pitne vode (TEŠ: Priprava tehnološke vode, 2013).

Za odplavo pepela in žindre potrebujejo surovo vodo, ki jo s tlačnimi črpalkami črpajo iz bazenov surove vode, ki se napajata iz jezera ali reke Pake. Odkar imajo zaprti krog vode za transport pepela in žindre, se je poraba te vode občutno zmanjšala. V spodnjih preglednicah so bilance uporabljenih voda v TEŠ-u (2009) za lažjo predstavo.

#### Preglednica 4: Preglednica uporabljenih voda

Količina načrpane vode	
Družmirsko jezero	$9.208.442 \text{ m}^3$
Paka	$1.702.942 \text{ m}^3$
Surova voda za kotlovski sistem	
Topolšica	$759.321 \text{ m}^3$
Komunalno podjetje Velenje	$9.051 \text{ m}^3$
Kvaliteta hladilne vode	
pH	7,8 – 9,0
$\lambda$	200 – 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Kvaliteta kotlovskih voda	
pH	9 – 9,3
$\Lambda$ (kondenzat za KČ)	0,05 – 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

## 4 UPORABA METOD OPERACIJSKIH RAZISKAV V PROJEKTU

### 4.1 Definicija projekta

Projekt je ciljno usmerjen in zaključen proces razvijanja dejavnosti, ki so usmerjene k doseganju končnega rezultata. Do tega cilja se prihaja postopoma z doseganjem posameznih vmesnih ciljev. Pobuda za projekt lahko vsebuje samo en končni cilj ali pa vse vmesne cilje. Pobudnik projekta je lahko posameznik, podjetje ali družbena organizacija, ki je običajno tudi naročnik projekta. Naročnik projekta običajno postavi tudi cilje projekta. Za uspešno realizacijo le tega je potrebno poiskati še izvajalce in določiti vodje projekta. Vodstvo ima pri organiziranju, upravljanju in vodenju projekta odločilno vlogo. Vodstvo projekta mora načrtovati in aktivirati posamezne aktivnosti ter jih tehniško, časovno in finančno uskladiti. Projekti so lahko majhni ali veliki, vsi so časovno omejeni, predviden mora biti pričetek in zaključek (Hauc, A., 2002)

Predstavljenih je nekaj razlag besede projekt (Drašler, M., 2002), kot jo pojmuje mednarodna organizacija za projektni management (IPMA), in sicer:

- Projekt je določen napor, v okviru katerega so človeški, finančni in materialni viri organizirani na nov način, s ciljem izvedbe enkratnega obsega nalog, na osnovi danih zahtev ter v okviru določenega časa in stroškov.
- Projekt je podvig, katerega osnovna značilnost je enkratnost pogojev njegove izvedbe, kot so cilji, čas izvedbe, stroški, kakovost in ostali pogoji, v primerjavi z ostalimi dejavnostmi.
- Projekt je enkraten niz koordiniranih nalog z opredeljenimi točkami začetka in zaključka, katerih izvedbo prevzame posameznik ali organizacija, s ciljem uresničitve specifičnih ciljev v okviru dogovorjenega časa, stroškov in ostalih parametrov izvedbe.

Kljub več definicijam lahko projektu dodelimo glavne točke, ki povzemajo njegovo bistvo:

- niz enkratnih dejavnosti, ki se med seboj prepletajo,
- časovno omejen proces,
- ciljno usmerjen proces in
- proces, ki zahteva učinkovito uporabo omejenih sredstev.

Različni projekti so zaradi svoje zahtevnosti, velikosti, gospodarske pomembnosti in časovne omejenosti zahtevali različne oblike organiziranja. Razdelimo jih v dve veliki skupini projektov in sicer projekti s stalno organizacijsko strukturo in projekti z začasno organizacijsko strukturo.

Projekti s stalno organizacijsko strukturo zahtevajo hierarhično, piramidasto strukturo, delitev je možna z organizacijo po naslednjih principih:

- po osnovnih funkcijah v poslovnem sistemu,
- po strukturi osnovne dejavnosti,
- po skupinah ali vrstah dejavnosti pri izvajanju,
- po vrstah glavnih sistemov-naročnikov in
- po projektih, ki se bodo izvajali daljši čas

Projekti z nestalno organizacijsko strukturo imajo strukturo vodstva v obliki projektnega tima, ki se po zaključku projekta razpusti. Projektno vodstvo v tem primeru sestavljajo:

- projektno vodstvo katerega sestavljajo vodje projektov in
- projektno operativno vodstvo, ki ga v času trajanja projekta sestavljajo koordinatorji.

Obstaja tudi matrični model organizacije projekta. Ta model daje vpogled v obliko izgradnje potrebnega informacijskega sistema na konkretnem primeru (Hauc, A., 2002).

## 4.2 Projektno planiranje

Projektno planiranje se ukvarja z upravljanjem in vodenjem projekta. Upravljanje in vodenje projekta je problem in umetnost, kako izvesti projekt s sodelovanjem ljudi v neki organizaciji v dogovorjenem roku, z določenimi proizvodnimi sredstvi in želenim učinkom. Po tej obrazložitvi se upravljanje in vodenje projektov razlagata preko dveh vidikov: z vključevanjem ljudi in kontrole njihovega obnašanja pri oblikovanju in izvajanju projektov ter z vključevanjem sredstev za izvedbo projekta (Hauc, A., 2002).

Metodologija PMI (ang. »Project Managment Institute«) loči pri vodenju projektov pet glavnih procesov:

- pobuda – zazna potrebo po projektu in zagotovi, da se projekt začne,
- načrtovanje – zamišljanje izvedljive delovne sheme, po kateri naj projekt zagotovi poslovno potrebo, ki je sprožila projekt,
- izvedba – usklajevanje ljudi in virov v želji uspešno izvesti planirano delo,
- kontrola – spremljanje napredovanja projekta in zagotavljanje, da so izpolnjeni cilji ter
- zaključek – pregled rezultatov in formalen zaključek projekt.

Seveda so procesi medsebojno povezani. Rezultati posameznih procesov so vhodni podatki posameznih procesov, ki sledijo.

### 4.3 Mrežno planiranje

Mrežno planiranje je osnova za prikaz potrebnih opravil, dejavnosti in dogodkov v okviru projekta, ki so potrebni za realizacijo projekta. Predstavi se v obliki mrežnega diagrama, v obliki mreže, kjer so prikazana zaporedja in medsebojne odvisnosti dejavnosti in dogodkov. Cilj mrežnega planiranja je pametna in učinkovita uporaba zmogljivosti, časa in stroškov projekta. Mrežni diagram omogoča jasen pregled strukture projekta. Izdelava mrežnega plana spada v fazo planiranja projekta.

Matematična osnova mrežnega planiranja je teorija grafov. Ta pravi, da je mrežni plan končen, ovrednoten, usmerjen graf brez zank in krožnih poti, z enim vhodom in enim izhodom. Vozlišče grafa imenujemo dogodek, povezave pa dejavnosti. Vrednost povezave imenujemo trajanje aktivnosti, maksimalno pot od vhoda do izhoda mrežnega plana pa imenujemo kritična pot (Rant in sod., 1998).

Dejavnost je proces, fizično ali umsko opravilo, ki se mora opraviti na poti k realizaciji projekta. Značilnosti dejavnosti so:

- traja določen čas (izjemoma je ta čas lahko nič),
- ima začetni in končni dogodek,
- povezuje dva in samo dva dogodka,
- se lahko začne šele takrat, ko je nastopil dogodek, ki pogojuje njen začetek in
- je načeloma vezana na vire,

Dogodek je stanje, ki nastopi, ko se opravi ena ali več dejavnosti, ki vodijo k njemu. Velja:

- z istim dogodkom se lahko začne oziroma konča več dejavnosti,
- med dvema zaporednima dogodkoma lahko poteka samo ena dejavnost.

Bistvo analize mrežnega plana je ugotoviti vse možne poti skozi graf ter identificirati najdaljšo med njimi. Poznamo več metod mrežnega planiranja, ki se delijo glede na vsebino in glede na način grafičnega prikaza. Za naš primer sta najpomembnejši metodi CPM in PERT. CPM je metoda kritične poti in po vsebinski plati sodi med deterministične metode. PERT je tehnika ocene in preverjanja programa in sodi med stohastične metode. Ti dve metodi sta še danes osnova večini računalniškim programom za načrtovanje projektov.

#### 4.4 Metoda CPM

Metoda CPM oz. metoda kritične poti je najenostavnejša metoda planiranja projektnih aktivnosti. Čas trajanja aktivnosti je natančno določen, zato je metoda deterministična.

Pri determinističnih metodah so vse vrednosti znane in niso odvisne od naključij (Kroflič, M., 2009):

- poznamo cilj, ki ga želimo doseči,
- znana so vsa opravila, aktivnosti, ki jih moramo storiti, da pridemo do cilja,
- da dosežemo cilj, se morajo v začrtanem zaporedju opraviti vse predvidene aktivnosti in
- natančno so v odvisnosti od analiziranega procesa določene velikosti časov trajanja aktivnosti.

Namen metode je poiskati kritično pot določenega projekta. Kritična pot se lahko definira kot pot, ki izhaja iz prvega dogodka do zadnjega dogodka v projektu in ima najdaljši čas trajanja. To pomeni, da je to pot, ki vključuje vse kritične aktivnosti in definira trajanje projekta (Greiser, G., 2006). Kritične aktivnosti so torej tiste aktivnosti, ki so brez pomičnosti (oz. časovne rezerve). Vsaka časovna sprememba teh aktivnosti ogrozi rok zaključka projekta. Na te aktivnosti moramo biti posebej previdni in jih moramo v primeru zamude krajšati na račun višjih stroškov.

Ne glede na uporabljeno metodo, se delo pri mrežnem planiranju deli na pet faz, kot prikazuje preglednica 5.

**Preglednica 5: Faze dela pri mrežnem planiranju (Rant in sod., 1998)**

Faza	Mrežno planiranje
1	ANALIZA STRUKTURE PROJEKTA: ko se definira dejavnosti ter s pomočjo mrežnega plana prikaže logična povezanost posameznih opravil. Rezultat so grafično prikazane dejavnosti, njihovo zaporedje in odvisnost med njimi.
2	ANALIZA ČASOV: ki so potrebni za dokončanje celotnega projekta in za posamezne dejavnosti.
3	IZBOR, DODELJEVANJE IN ZASEDANJE VIROV: kjer se ugotovi, kateri viri (kadri, stroji, materiali, naprave) so potrebni za izvedbo celotnega projekta ali posameznih delov projekta.
4	IZRAČUN, ANALIZA IN OPTIMIZACIJA STROŠKOV: za celoten projekt in za posamezne dele projekta, kjer se določijo stroški posameznih dejavnosti.
5	OPTIMIZACIJA ZASEDBE VIROV: kjer uskladimo časovni potek posameznih dejavnosti, projekta z razpoložljivimi viri.

#### 4.4.1 Analiza časov z metodo CPM

V diplomski nalogi bomo poskušali projekt vzdrževanja segmenta TEŠ časovno analizirati ter poiskati najkrajšo pot in najmanjši čas, ki je potreben za remont bloka 5. Pri tem si bomo pomagali z metodo CPM v fazi analize časov. V nadaljevanju je opisana metoda.

Vsaka aktivnosti, ki nastopa v procesu, ima naslednje spremenljivke:

$S_i^E$  .....najzgodnejši začetek aktivnosti (ang »Early Start«),

$F_i^E$  .....najzgodnejši konec aktivnosti (ang. »Early Finish«),

$S_i^L$  .....najpoznejši začetek aktivnosti (ang. «Late Start«),

$F_i^L$  .....najpoznejši konec aktivnosti (ang. »Late Finish«).

Če se najzgodnejši začetek ne ujema z najpoznejšim začetkom pravimo, da ima aktivnost *pomičnost*, *ohlapnost* ali *časovno rezervo* ( $f_i$ ). Takrat imamo več časa na voljo kot ga je potrebnega za dokončanje aktivnosti. Aktivnost s časovno rezervo lahko izvedemo kadarkoli znotraj razpoložljivega časa, ne da bi s tem spremenili trajanje projekta. Če pa je razpoložljivi čas za izvedbo enak določenemu času trajanja aktivnosti, je ta aktivnost kritična in nima ohlapnosti.

Skozi mrežni diagram vodi več poti, ki povezujejo med seboj različne dejavnosti. Različne poti so različno dolge. Tista pot (oz. tiste poti – lahko jih je več) skozi mrežo, ki je časovno najdaljša, določa časovno trajanje projekta in se imenuje kritična pot. Na tej poti ležijo kritične aktivnosti, aktivnosti brez ohlapnosti (Hillier, F., Lieberman, G, 2001).

##### 4.4.1.1 Izračun poznih in zgodnjih rokov aktivnosti

Začetni aktivnosti  $a_\alpha$  pripišemo najzgodnejši začetek  $S_\alpha^E = 0$ ;  $d_\alpha = 0 \rightarrow F_\alpha^E = 0$ .

Če najzgodnejšemu začetku predhodne aktivnosti prištejemo čas trajanja aktivnosti, dobimo najzgodnejši začetek aktivnosti, ki sledi.

$$S_j^E = S_i^E + d_i \quad (1)$$

*i...predhodniki j*

Pri tem gremo po mreži naprej, od začetne aktivnosti proti končni aktivnosti. Kadar ima ena aktivnost več neposrednih predhodnikov, izračunamo najzgodnejše konce po vseh vejah (za vse aktivnosti) in upoštevamo največjega izmed njih.



$$S_j^E = \max(F_i^E) \quad (2)$$

*i...vsi predhodniki j*

Najzgodnejši konec aktivnosti dobimo, če njenemu najzgodnejšemu začetku prištejemo čas trajanja aktivnosti.

$$F_j^E = S_j^E + d_j \quad (3)$$

Čas od začetka začetne aktivnosti  $a_\alpha$  do konca končne aktivnosti  $a_\omega$  je čas trajanja projekta  $T_{rač}^P$ .

Za končno aktivnost predpostavimo, da je njen najpoznejši začetek enak izračunanemu najzgodnejšemu koncu. Upoštevamo tudi, da je trajanje končne aktivnosti  $a_\omega$  enako 0 ( $d_\omega = 0$ ) in dobimo:

$$S_\omega^E = F_\omega^E = T_{rač}^P = F_\omega^L = S_\omega^L \quad (4)$$

Za izračun najpoznejših koncev aktivnosti gremo po mreži nazaj od končne aktivnosti proti predhodnim aktivnostim. Najpoznejši konec aktivnosti dobimo, če od najpoznejšega konca naslednje aktivnosti odštejemo čas trajanja aktivnosti.

$$F_i^L = F_j^L - d_j \quad (5)$$

*j...naslednik i*

Če se do neke aktivnosti pride po različnih poteh, izračunamo najpoznejši začetek po vseh poteh in upoštevamo najmanjšega izmed njih.

$$F_i^L = \min(S_j^L), \quad (6)$$

*j...vsi nasledniki i*

Najpoznejši začetek aktivnosti dobimo, če poznemu končnemu roku aktivnosti odštejemo trajanje aktivnosti.

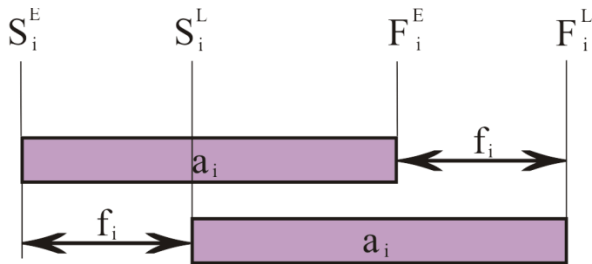
$$S_i^L = F_i^L - d_i. \quad (7)$$

#### 4.4.1.2 Rezervni čas aktivnosti

Rezervni čas ali pomičnost je časovna razlika med najzgodnejšim koncem (začetkom) in najpoznejšim koncem (začetkom) aktivnosti. Pove nam, koliko lahko obravnavamo aktivnost predstavimo, ne da bi s

tem vplivali na končni rok projekta. Aktivnosti, ki ima rezervni čas enak 0, je brez pomičnosti in leži na kritični poti.

$$f_i = S_i^L - S_i^E = F_i^L - F_i^E. \quad (8)$$



Slika 4: Grafični prikaz rezervnega časa

#### 4.4.1.3 Kritična pot projekta

Kritična pot vsebuje kritične aktivnosti v mrežnem diagramu in s svojim časom trajanja definira čas trajanja projekta. Vsako povečano trajanje kritičnih aktivnosti ima za posledico spremembo roka zaključka projekta. V mreži lahko obstaja več kritičnih poti, ki so vse enako dolge (Kroflič, 2009).

Elementi kritične poti so aktivnosti, ki izpolnjujejo pogoj  $f_i = 0$ .

## 4.5 Metoda PERT

Metoda PERT je stohastična metoda in trajanje aktivnosti obravnava kot slučajno spremenljivko. Tako kot pri metodi CPM, moramo tudi tukaj za nadaljnje analize določiti kritično pot projekta. Značilnosti metode PERT so:

- Je deterministična metoda s stohastično časovno komponento.
- Dejavnosti, ki jih je treba opraviti za doseganje cilja, so znane.
- Metoda PERT operira s povsem znanimi cilji.
- Vsaka dejavnost se lahko izvede samo enkrat.
- Znana so le verjetna območja trajanja dejavnosti.

Med metodama PERT in CPM je nekaj pomembnih razlik (Kroflič, 2008)

- Metoda CPM je deterministična metoda in operira s točkovno oceno časa trajanja dejavnosti. Metoda PERT uporablja stohastičen pogled na čase trajanja dejavnosti in slučajno naravo časa trajanja dejavnosti.
- Pri metodi PERT se pri izračunih rokov v mrežnem planu upošteva verjetnost, da bodo časi trajanja dejavnosti doseženi.

### 4.5.1 Analiza časov PERT/TIME

Metoda kritične poti oziroma CPM uporablja samo eno oceno trajanja dejavnosti. To pa je lahko problematično pri dejavnostih, ki se še nikdar niso izvajale in se lahko samo grobo ocenjuje. V gradbeništvu, kjer je veliko projektov edinstvenih, lahko vplivajo na trajanje aktivnosti nepredvidljive okoliščine, kot je vreme. Metoda PERT omogoča vodji projekta subjektivno oceno časov, potrebnih za izvedbo določene aktivnosti. Ocene časov morajo biti dobro določene, saj je od njih odvisna celotna analiza projekta. Da bi dosegli najvišjo stopnjo verjetnosti izvedbe zastavljenih aktivnosti v določenem času, je potrebno veliko izkušenj in podatkov iz predhodnih projektov. Zato metoda PERT operira s tremi ocenami trajanja dejavnosti:

- **Optimistični čas trajanja dejavnosti**  $d_i^o$  je najkrajše možno trajanje dejavnosti, ki bi bil dosežen, če bi se dejavnost opravila pod idealnimi, daleč najugodnejšimi pogoji. Verjetnost, da bi se dejavnost opravila v krajšem času, je manjša od 1%.
- **Pesimistični čas trajanja dejavnosti**  $d_i^p$  je najdaljše možno trajanje dejavnosti, ki bi bil dosežen, če bi se dejavnost opravila pod najbolj neugodnimi pogoji. Verjetnost, da bi se dejavnost lahko opravila v še daljšem času, je manjša kot 1%.

- **Najverjetnejši čas trajanja dejavnosti**  $d_i^m$  je čas trajanja, v katerem bi se v normalnih pogojih dejavnost najbolj verjetno opravila. Ta čas je modus porazdelitve trajanja.

**Pričakovani čas trajanja dejavnosti**  $E_{ti}$  računamo iz vseh treh ocenjenih časov:

$$E_{ti} = \frac{d_i^o + 4d_i^m + d_i^p}{6} \quad (9)$$

Metoda daje tudi možnost ocenjevanja, kako zanesljiva oziroma natančna je napoved časa trajanja dejavnosti. Lahko namreč izračunamo standardni odklon ocene časa trajanja.

$$\sigma_i = \frac{d_i^p - d_i^o}{6} \quad (10)$$

$$var_i = \sigma_i^2 = \left(\frac{d_i^p - d_i^o}{6}\right)^2 \quad (11)$$

#### 4.5.1.1 Verjetnost izpolnitve končnega roka

Če je za trajanje projekta v naprej postavljena neka vrednost, lahko izračunamo verjetnost, da bo ta rok tudi dosežen (je predpostavljeni rok zaključka dogodka, izračunani rok končnega dogodka in standardni odklon roka končnega dogodka):

$$\sigma_{TE}^2 = \sum \sigma_i^2 \quad (12)$$

$$\sigma_{TE} = \sqrt{\sigma_{TE}^2} \quad (13)$$

## 5 VZDRŽEVANJA TERMOENERGETSKEGA BLOKA 5

Remontno – investicijska vzdrževanja proizvodnih enot potekajo v intervalih od tri do šest let. Večji posegi ob daljši zaustavitvi pogonskih enot so odvisni od stanja naprav, števila obratovalnih ur in stanja elektroenergetske oskrbe v celotnem sistemu Slovenije. Sama dela zahtevajo veliko priprav in usklajevanj, saj je na vrhuncu del na delovišču do 900 delavcev.

Obseg dela pri remontu se določi že pri izdelavi letnega poslovnega načrta. Leta 2011 je potekal od sredine marca do konca julija. V začetku leta se je izdelal plan remonta in takrat so začeli z intenzivnimi pripravami na prihajajoča dela, kot so izbira podizvajalcev in naročanje materialov. V sredini marca so se začela gradbena in pripravljalna dela, ki so obsegala gradnjo delovnih odrov in sanacijo poškodb betonskih površin. 20. maja je bila predvidena zaustavitev bloka 5, zato so morali do takrat počistiti bunkerje in izprazniti premog iz dodelilnikov. Za tem je nastopilo prisilno hlajenje turbine, ki je trajalo 3 dni. Ko se je turbina ohladila, so začeli z demontažo izolacije visokotlačnega in nizkotlačnega dela turbine. Medtem ko je bila turbina ugasnjena, so potekali istočasno štirje sklopi vzdrževanja. Vzdrževali in pregledali so srednjetačni (ST) del turbine, nizkotlačni del (NT), pregledali so srednjetačne in visokotlačne (VT) ventile ter revidirali lopute in odjemne ventile. Po končanem pregledu in vzdrževanju vseh štirih sklopov, so centralizirali turbino in nastavili ventile. Zahtevnejša naloga je bila odpeljati srednjetačni del turbine v Siemens Mülheim in jo pregledati z magnetno kontrolo. Ta dejavnost je trajala 25 dni. Ostale dejavnosti so zajemale preglede in zamenjave tesnilnih labirintov, peskanje ohišja in rotorja, razstavljanje in čiščenje ventilov, gradnja posameznih delovnih odrov in popravilo izolacij. Sočasno z vsemi pregledi in vzdrževanji posameznih sklopov bloka 5 so potekala šamoterska dela, za njimi nanašanje antikorozivne zaščite in pleskarska dela. Šamotna in izolacijska obzidava v kanalu PVP je bila iz trde plošče iz mineralnih vlaken ( $d = 70$  mm), izolacijske opeke iz diatomejske zemlje ( $d = 180$  mm) in korudne opeke ( $d = 120$  mm).

Po zaustavitvi bloka 5 se je začel remont dimno zračnega sistema. Iz kotla sta se odstranila pepel in žlindra. Sledilo je postavljanje delovnih odrov v lijaku kotla (spodnji del) in kasneje postavljanje ostalih odrov (zgornji del kotla). Ko so bili delovni odri postavljeni, so se sočasno pregledali kanali sistema, demontirala ohišja in kompenzatorji, demontirali sistemi tesnilnega zraka in navarjanje poškodovane pločevine. Zaradi korozije je bilo potrebno zamenjati poškodovane cevi, lopute in grelnike. Ko so se sistemi sanirali, so se balansirali ventilatorji HNC in ventilatorji podpiha. Sledilo je čiščenje elektrofilterjev. Po čiščenju so pregledali in zamenjali dotrajane strojne dele (menjava olj v reduktorjih, zamenjava poškodovanih kladiv, saniranje perforirane pločevine, zamenjava zobnikov, itd.). Na koncu so še pregledali recirkulacijske kanale (kanali RECI). Ta pregled traja 43 dni, kanali so razvejani in dolgi, skozi njih pa se pretaka agresiven zrak, nasičen z žveplom, ki poškoduje cevi. Po pregledu se balansirajo ventilatorji zaradi močnih vibracij. Dimno zračni sistem se je preizkusil s ponovnim zagonom bloka 5. Podobno trajanje je imel remont kurilnega in dogorevalnega sistema, le

da so bile dejavnosti različne. Demontirali so mlinske rotorje in zamenjali obložne ploščice ter jih obzidali. Obzidava na mlinih je sestavljena iz dveh slojev termoizolacije, prvi je opeka, drugi pa vlivani termobeton. Obzidava je na zgornjem delu zaščitena s kovinskimi ploščami. Pri dogorevalnih rešetkah so na tekalni progi zamenjali kolesa in ležaje, pri prašnih gorilnikih pa so morali postaviti delovne odre in navariti poškodovane dele. Vsa ta dela potekajo sočasno in ko so vsa zaključena, se z zagonom termoenergetskega kotla preizkusi dimno zračni sistem.

Na elektro področju RDP 5 so se opravila vsa načrtovana vzdrževalna dela. V remontu se je opravila revizija pogonov, elektro razvodov, odjemnih mest in merilnih pretvornikov. Po končanem pregledu in umaknitvi delovnih odrov ter podestov, je bilo vse pripravljeno za zagon bloka 5.

Naslednja slika Microsoft Project-a, slika 5, vsebuje dejavnosti, ki se morajo opraviti med potekom vzdrževanja na bloku 5. Vsaka dejavnost ima predvideno trajanje in svojega neposrednega predhodnika. Za začetek dejavnosti mora biti opravljena njena predhodna dejavnost. Če ima več predhodnikov, se morajo vse predhodne dejavnosti zaključiti.

Dejavnost	Trajanje	Začetek	Konac	Predhodnik
1 Predhodna in pripravljalska dela	19 days	Tue 15.3.11	Sat 2.4.11	
2 Gradbena in obrtniška dela	22 days	Sun 3.4.11	Sun 24.4.11	1
3 Gradnja delovnih odrov, ki stojijo med obratovanjem	20 days	Mon 25.4.11	Sat 14.5.11	2
4 Delovni odri v kanalih PVP in sesalnih glavah 1-6	3 days	Sun 3.4.11	Tue 5.4.11	1
5 Šamoterska dela	43 days	Wed 6.4.11	Wed 18.5.11	4
6 AKZ in ostala pleskarska dela	54 days	Thu 19.5.11	Mon 11.7.11	5
7 Izpraznitev premoga in čiščenje bunke rjev	2 days	Sun 15.5.11	Mon 16.5.11	3
8 Izpraznitev premoga iz dodelilnikov	1 day	Tue 17.5.11	Tue 17.5.11	7
9 Nižanje temperature pare	1 day	Wed 18.5.11	Wed 18.5.11	8
10 Zaustavitev bloka 5	0 days	Wed 18.5.11	Wed 18.5.11	9
11 Prisilno hlajenje TBA	3 days	Thu 19.5.11	Sat 21.5.11	10
12 Demontaža izolacije ST in NT turbine	1 day	Sun 22.5.11	Sun 22.5.11	11
13 Revizija ST dela turbine	48 days	Sun 22.5.11	Sat 9.7.11	12
14 Začetek revizije ST dela turbine	0 days	Sun 22.5.11	Sun 22.5.11	12
15 Gradnja delovnih odrov	2 days	Mon 23.5.11	Tue 24.5.11	14
16 Demontaža zunanjega in notranjega ohišja ter rotorja	7 days	Wed 25.5.11	Tue 31.5.11	15
17 Transport v Mulheim in delo na rotorju	26 days	Wed 1.6.11	Sun 26.6.11	16
18 Montaža rotorja in ohišij, meritve	10 days	Tue 28.6.11	Thu 7.7.11	21;17
19 Montaža izolacije	2 days	Fri 8.7.11	Sat 9.7.11	18
20 Zamik glede na dejavnost 17	5 days	Wed 1.6.11	Sun 5.6.11	16
21 NDT kontrola (IMT)	22 days	Mon 6.6.11	Mon 27.6.11	20
22 Revizija NT dela turbine	37 days	Sun 22.5.11	Tue 28.6.11	12
23 Začetek revizije NT dela turbine	0 days	Sun 22.5.11	Sun 22.5.11	12
24 Gradnja delovnih odrov	2 days	Mon 23.5.11	Tue 24.5.11	23
25 Demontaža rotorja ter zunanjega in notranjega ohišja	6 days	Wed 25.5.11	Mon 30.5.11	24
26 Čiščenje, kontrola rotorja, ohišij	5 days	Tue 31.5.11	Sat 4.6.11	25
27 Zamenjava labirintov na rotorju	13 days	Sun 5.6.11	Fri 17.6.11	26
28 NDT kontrola rotorja, lopatic	4 days	Sun 5.6.11	Wed 8.6.11	26
29 Pregled, NDT, kontrola ležajev turbine in generatorja	9 days	Tue 31.5.11	Wed 8.6.11	25
30 Montaža rotorja, ohišij, meritve	11 days	Sat 18.6.11	Tue 28.6.11	27;28;29
31 Revizija VT in ST ventilov	44 days	Sat 21.5.11	Mon 4.7.11	11
32 Začetek revizije VT in ST ventilov	0 days	Sat 21.5.11	Sat 21.5.11	11
33 Gradnja delovnih odrov	2 days	Sun 22.5.11	Mon 23.5.11	32
34 Demontaža hidravličnega in parnega dela	6 days	Tue 24.5.11	Sun 29.5.11	33

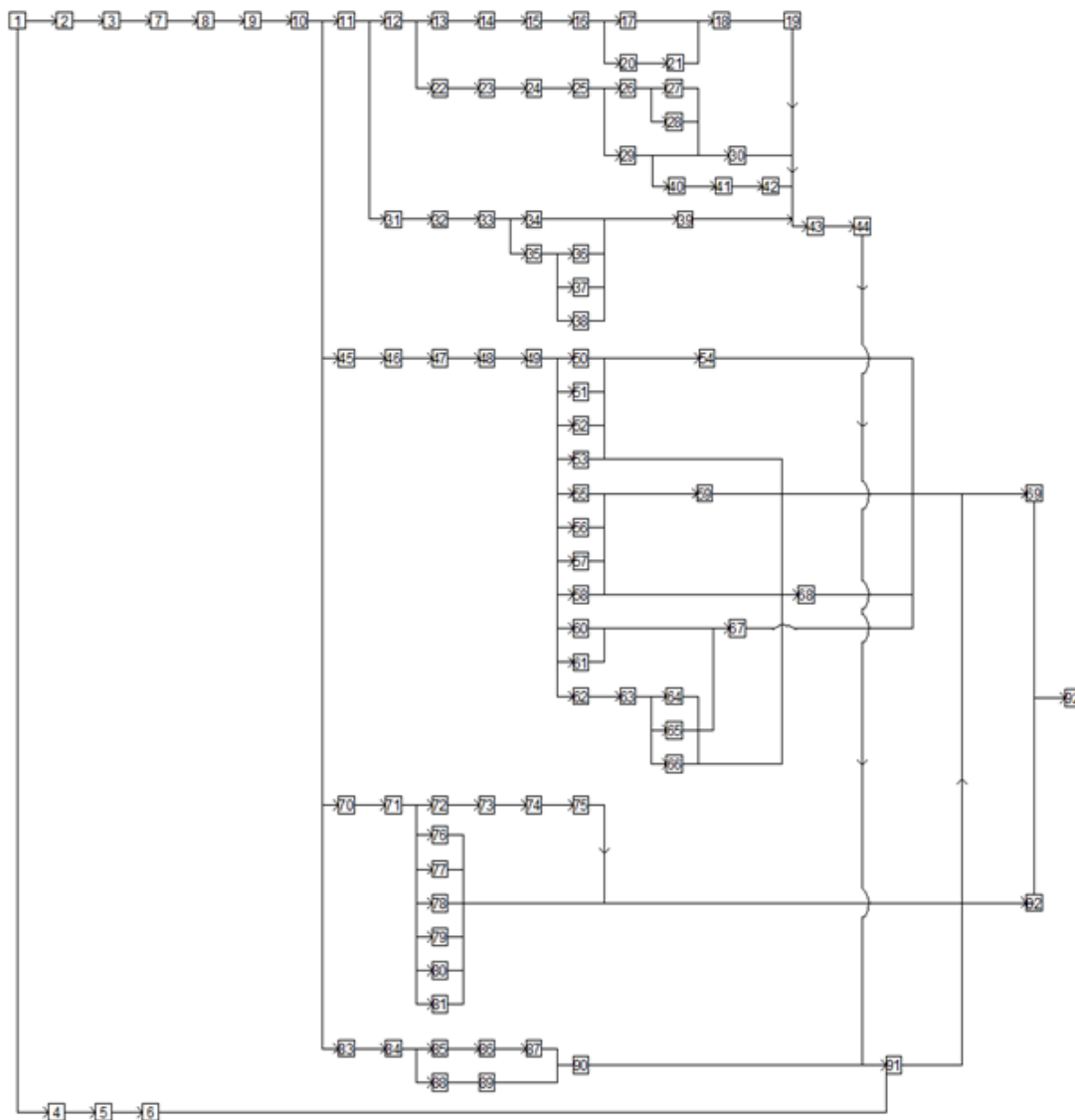
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Slike 5

35	Zamik glede na dejavnost 34	1 day	Tue 24.5.11	Tue 24.5.11	33
36	Revizija hidravličnega in parnega dela	38 days	Wed 25.5.11	Fri 1.7.11	35
37	Obdelava sedežev ventilov	25 days	Wed 25.5.11	Sat 18.6.11	35
38	Demontaža oz. Vrtnanje vijakov ST ventilov	29 days	Wed 25.5.11	Wed 22.6.11	35
39	NDT kontrola sedežev ventilov	3 days	Sat 2.7.11	Mon 4.7.11	36;37;38;34
40	Revizija loput, odjemnih ventilov SA	26 days	Thu 9.6.11	Mon 4.7.11	29
41	zamik glede na dejavnost 41	10 days	Thu 9.6.11	Sat 18.6.11	29
42	Revizija armatur	16 days	Sun 19.6.11	Mon 4.7.11	41
43	Centriranje turbine	3 days	Sun 10.7.11	Tue 12.7.11	30;39;42;19
44	Nastavitve ventilov turbine, regulacije (IBS)	4 days	Wed 13.7.11	Sat 16.7.11	43
45	Remont dimno-zračnega sistema (področje SS2)	64 days	Wed 18.5.11	Thu 21.7.11	10
46	Začetek remonta dimnozračnega sistema	0 days	Wed 18.5.11	Wed 18.5.11	10
47	odstranjevanje pepela in žilindre	4 days	Thu 19.5.11	Sun 22.5.11	46
48	Delovni odri v lijaku kotla	3 days	Mon 23.5.11	Wed 25.5.11	47
49	Izdelava ostalih delovnih odrov v kotlu	6 days	Thu 26.5.11	Tue 31.5.11	48
50	Revizija sistema NH01, NO2	39 days	Wed 1.6.11	Sat 9.7.11	49
51	Pregled kanala na koti +42m, obnova - gumiranje	23 days	Wed 1.6.11	Thu 23.6.11	49
52	Pregled razvoda zraka kurilnega sistema	16 days	Wed 1.6.11	Thu 16.6.11	49
53	Revizija ventilatorjev 5HNC10/50AN001	38 days	Wed 1.6.11	Fri 8.7.11	49
54	Balansiranje ventilatorjev HNC	4 days	Sun 10.7.11	Wed 13.7.11	53;50;51;52
55	Revizija grelnika dimnih plinov	31 days	Wed 1.6.11	Fri 1.7.11	49
56	Obnova kanalov ter loput NR, HNC...	45 days	Wed 1.6.11	Fri 15.7.11	49
57	Pregled parnega grelnika NJ	12 days	Wed 1.6.11	Sun 12.6.11	49
58	Remont ventilatorja podpiha NG	39 days	Wed 1.6.11	Sat 9.7.11	49
59	Balansiranje ventilatorja podpiha	4 days	Sat 16.7.11	Tue 19.7.11	58;55;56;57
60	Pregled kanalov ter loput sistema NG	16 days	Wed 1.6.11	Thu 16.6.11	49
61	Revizija pogonov ter loput sistema NR, HNC...	7 days	Wed 1.6.11	Tue 7.6.11	49
62	Suho čiščenje E.F.	2 days	Wed 1.6.11	Thu 2.6.11	49
63	Pranje E.F.	2 days	Fri 3.6.11	Sat 4.6.11	62
64	Pregled elektrofitra NQ	28 days	Sun 5.6.11	Sat 2.7.11	63
65	Remont RECI kanalov	43 days	Sun 5.6.11	Sun 17.7.11	63
66	Remont ventilatorja RECI	32 days	Sun 5.6.11	Wed 6.7.11	63
67	Balansiranje ventilatorja RECI	4 days	Mon 18.7.11	Thu 21.7.11	64;65;66;60;61
68	Preizkušanje dimno-zračnega sistema	7 days	Sun 10.7.11	Sat 16.7.11	53;58;66
69	Konec remonta dimno-zračnega sistema	0 days	Thu 21.7.11	Thu 21.7.11	68;67;59;54;91
70	Remont kurilnega ter dogorevalnega sistema (področje SS2)	65 days	Wed 18.5.11	Fri 22.7.11	10
71	Začetek remonta kurilnega ter dogorevalnega sistema	0 days	Wed 18.5.11	Wed 18.5.11	10
72	Demontaža mlinskih rotorjev	3 days	Thu 19.5.11	Sat 21.5.11	71
73	Zamenjava mlinske obzidave	9 days	Sun 22.5.11	Mon 30.5.11	72
74	Remont mlinov 1-6	40 days	Tue 31.5.11	Sat 9.7.11	73
75	Montaža mlinskih rotorjev	1 day	Sun 10.7.11	Sun 10.7.11	74
76	Pranje pršišča HS B5 in obeh cevovodov	30 days	Thu 19.5.11	Fri 17.6.11	71
77	Obnova prašnih gorilnikov	36 days	Thu 19.5.11	Thu 23.6.11	71
78	Remont dodelilnikov premoga	47 days	Thu 19.5.11	Mon 4.7.11	71
79	Remont dogorevalne rešetke	40 days	Thu 19.5.11	Mon 27.6.11	71
80	Remont iznašalnika žilindre	26 days	Thu 19.5.11	Mon 13.6.11	71
81	Remont sistema oljne kurjave	43 days	Thu 19.5.11	Thu 30.6.11	71
82	Preizkušanje kurilnega ter dogorevalnega sistema	6 days	Sun 17.7.11	Fri 22.7.11	75;77;78;79;80;81;76;91
83	Remont RDP 5	66 days	Wed 18.5.11	Sat 23.7.11	10
84	Začetek remonta RDP 5	0 days	Wed 18.5.11	Wed 18.5.11	10
85	Delovni odri in podesti za remont naprav RDP B5	45 days	Thu 19.5.11	Sat 2.7.11	84
86	Pranje pralnikater rezervoarja produkta	4 days	Sun 3.7.11	Wed 6.7.11	85
87	Delovni odri na gorilnikih	4 days	Thu 7.7.11	Sun 10.7.11	86
88	Zamik glede na dejavnost 85	5 days	Thu 19.5.11	Mon 23.5.11	84
89	Pregled US RDP 5	39 days	Tue 24.5.11	Fri 1.7.11	88
90	Revizija električnih pogonov loput dimnih plinov	4 days	Mon 11.7.11	Thu 14.7.11	87;89
91	Zagon bloka 5	0 days	Sat 16.7.11	Sat 16.7.11	44;68;90;6
92	Konec remonta	1 day	Sat 23.7.11	Sat 23.7.11	69;82

Slika 5: Microsoft Project razpredelnica dejavnosti Remonta na bloku 5

Na sliki 6 je prikazan mrežni diagram dejavnosti, narisan v programu Autocad. Kvadratici s številko predstavljajo dejavnosti v mrežnem planu, puščice med kvadratici pa prikazujejo odvisnosti med njimi.



Slika 6: Diagram terminskega plana



## 5.1 Analiza časov za vzdrževanje termoenergetskega bloka 5 pri remontu iz leta 2011

### 5.1.1 Analiza časov po metodi CPM

Analizo časov ponazorimo z izračuni najzgodnejših in najkasnejših rokov posameznih aktivnosti

- Najzgodnejši začetni in končni roki

Aktivnost 1 (predhodna in pripravljalna dela) predstavlja začetek projekta:

$$S_1^E = 0$$

$$F_1^E = S_1^E + d_1 = 0 + 19 = 19$$

Aktivnost 2 se lahko začne takoj, ko se konča aktivnost 1:

$$S_2^E = 19$$

$$F_2^E = S_2^E + d_2 = 19 + 22 = 41$$

Aktivnost 39 ima 4 neposredne predhodnike – aktivnosti 34, 36, 37 in 38:

$$S_{39}^E = \max (F_{34,36,37,38}^E) = \max (76, 109, 96, 100) = 109$$

$$F_{39}^E = S_{39}^E + d_{39} = 109 + 3 = 112$$

Virtualna aktivnosti konec remonta ima dva neposredna predhodnika – aktivnosti 69 in 82.

$$S_{konec}^E = \max (F_{69,82}^E) = \max (130, 130) = 130$$

$$F_{konec}^E = S_{konec}^E + d_{konec} = 130 + 1 = 131$$

Končni rok zadnje aktivnosti določa trajanje projekta. Remont leta 2011 je trajal grobih 131 dni.

- Najkasnejši začetni in končni roki

Edini neposredni naslednik aktivnosti 82 in 69 je virtualni konec remonta:

$$S_{konec}^L = F_{konec}^L = 131$$

Aktivnost 82:

$$F_{82}^L = S_{konec}^L = 130$$

$$S_{82}^L = F_{82}^L - d_{82} = 130 - 6 = 124$$

Aktivnost 69:

$$F_{69}^L = S_{konec}^L = 130$$

$$S_{69}^L = F_{69}^L - d_{69} = 130 - 0 = 130$$

Aktivnost 84 ima dva neposredna naslednika – aktivnosti 85 in 88:

$$F_{84}^L = \min(S_{85,88}^L) = \min(67, 76) = 67$$

$$S_{84}^L = F_{84}^L - d_{84} = 67 - 0 = 67$$

- Rezervni čas

Aktivnost 5 ima rezervni čas oz. pomičnost 5 dni, kar lahko izračunamo na dva načina:

$$f_5 = S_5^L - S_5^E = 27 - 22 = 5$$

$$f_5 = F_5^L - F_5^E = 70 - 65 = 5$$

Aktivnosti, ki vsebujejo rezervni čas, niso kritične. V spodnji preglednici, preglednici 5, so podani rezultati izračunov časov za vse aktivnosti. Aktivnosti v preglednici, ki so sivo osenčene, so združene aktivnosti in služijo samo za lažjo kontrolo pravilnosti izračunov. Podajajo trajanje sklopa aktivnosti na določenem področju in služijo za lažji prikaz strukture plana.

**Preglednica 6: izračun najzgodnejših in najkasnejših rokov ter pomičnosti posameznih aktivnosti**

$a_i$	$d_i$	$S_i^E$	$F_i^E$	$S_i^L$	$F_i^L$	$f_i$
začetek	0	0	0	0	0	0
1	19	0	19	0	19	0
2	22	19	41	19	41	0
3	20	41	61	41	61	0
4	3	19	22	24	27	5
5	43	22	65	27	70	5
6	54	65	119	70	124	5
7	2	61	63	61	63	0
8	1	63	64	63	64	0
9	1	64	65	64	65	0
10	0	65	65	65	65	0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 6

11	3	65	68	65	68	0
12	1	68	69	68	69	0
<b>13</b>	<b>48</b>	<b>69</b>	<b>117</b>			
14	0	69	69	69	69	0
15	2	69	71	69	71	0
16	7	71	78	71	78	0
17	26	78	104	79	105	1
18	10	105	115	105	115	0
19	2	115	117	115	117	0
20	5	78	83	78	83	0
21	22	83	105	83	105	0
<b>22</b>	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>			
23	0	69	69	74	74	5
24	2	69	71	74	76	5
25	6	71	77	76	82	5
26	5	77	82	88	93	11
27	13	82	95	93	106	11
28	4	82	86	102	106	20
29	9	77	86	82	91	5
30	11	95	106	106	117	11
<b>31</b>	<b>44</b>	<b>68</b>	<b>112</b>			
32	0	68	68	73	73	5
33	2	68	70	73	75	5
34	6	70	76	108	114	38
35	1	70	71	75	76	5
36	38	71	109	76	114	5
37	25	71	96	89	114	18
38	29	71	100	85	114	14
39	3	109	112	114	117	5
<b>40</b>	<b>26</b>	<b>86</b>	<b>112</b>			
41	10	86	96	91	101	5
42	16	96	112	101	117	5
43	3	117	120	117	120	0
44	4	120	124	120	124	0
<b>45</b>	<b>64</b>	<b>65</b>	<b>129</b>			

se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 6

46	0	65	65	65	65	0
47	4	65	69	65	69	0
48	3	69	72	69	72	0
49	6	72	78	72	78	0
50	39	78	117	87	126	9
51	23	78	101	103	126	25
52	16	78	94	110	126	32
53	38	78	116	79	117	1
54	4	117	121	126	130	9
55	31	78	109	95	126	17
56	45	78	123	81	126	3
57	12	78	90	114	126	36
58	39	78	117	78	117	0
59	4	123	127	126	130	3
60	16	78	94	110	126	32
61	7	78	85	119	126	41
62	2	78	80	79	81	1
63	2	80	82	81	83	1
64	28	82	110	98	126	16
65	43	82	125	83	126	1
66	32	82	114	85	117	3
67	4	125	129	126	130	1
68	7	117	124	117	124	0
69	0	130	130	130	130	0
<b>70</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>130</b>			
71	0	65	65	71	71	6
72	3	65	68	71	74	6
73	9	68	77	74	83	6
74	40	77	117	83	123	6
75	1	117	118	123	124	6
76	30	65	95	94	124	29
77	36	65	101	88	124	23
78	47	65	112	77	124	12
79	40	65	105	84	124	19
80	26	65	91	98	124	33
81	43	65	108	81	124	16

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 6

82	6	124	130	124	130	0
<b>83</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>131</b>			
84	0	65	65	67	67	2
85	45	65	110	67	112	2
86	4	110	114	112	116	2
87	4	114	118	116	120	2
88	5	65	70	76	81	11
89	39	70	109	81	120	11
90	4	118	122	120	124	2
91	0	124	124	124	124	0
92	1	130	131	130	131	0
konec	0	131	131	131	131	0

Vse aktivnosti, ki imajo v sedmem stolpcu rezultat 0, so kritične. V zadnjem stolpcu tabele so izračunani rezervni časi posamezne aktivnosti, ki nam povedo, za koliko lahko prestavimo začetek določene aktivnosti, ne da bi trpel končni čas trajanja projekta.

- Določanje poti skozi projekt:

**Preglednica 7: Določene vse možne poti skozi projekt vzdrževanje bloka 5**

Pot	Aktivnost	Seštevek časov vseh aktivnosti (izraženo v dnevih)
1	1-2-3-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+7+26+10+2+3+4+0+0+1= 124$
2	1-2-3-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+7+26+10+2+3+4+0+6+1= 130$
3	1-2-3-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-20-21-18-19-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+7+5+22+10+2+3+4+0+0+1= 125$
4	1-2-3-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-20-21-18-19-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+7+5+22+10+2+3+4+0+6+1= 131$
5	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-26-27-30-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+5+13+11+3+4+0+0+1= 114$
6	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-26-27-30-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+5+13+11+3+4+0+6+1= 120$
7	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-26-28-30-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+5+4+11+3+4+0+0+1= 105$
8	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-26-28-30-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+5+4+11+3+4+0+6+1= 111$
9	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-29-30-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+9+11+3+4+0+0+1= 105$
10	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-29-30-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+9+11+3+4+0+6+1= 111$
11	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-29-40-41-42-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+9+10+16+3+4+0+0+1= 120$
12	1-2-3-7-8-9-10-11-12-22-23-24-25-29-40-41-42-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+6+9+10+16+3+4+0+6+1= 126$
13	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-34-39-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+6+3+3+4+0+0+1= 87$
14	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-34-39-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+6+3+3+4+0+6+1= 93$
15	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-35-36-39-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+1+38+3+3+4+0+0+1= 120$
16	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-35-36-39-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+1+38+3+3+4+0+6+1= 126$

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 7

17	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-35-37-39-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+1+25+3+3+4+0+0+1= 107$
18	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-35-37-39-43-44-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+1+25+3+3+4+0+6+1= 113$
19	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-35-38-39-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+1+29+3+3+4+0+0+1= 111$
20	1-2-3-7-8-9-10-11-31-32-33-35-38-39-43-44-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+3+0+2+1+29+3+3+4+0+6+1= 117$
21	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-50-54-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+39+4+0+1= 122$
22	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-51-54-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+23+4+0+1= 106$
23	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-52-54-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+16+4+0+1= 99$
24	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-53-68-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+38+7+0+1= 124$
25	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-55-59-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+31+4+0+1= 114$
26	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-56-59-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+45+4= 127$
27	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-57-59-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+12+4+0+1= 95$
28	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-58-68-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+39+7+0+1= 125$
29	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-60-67-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+16+4+0+1= 99$
30	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-61-67-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+7+4+0+1= 90$
31	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-62-63-64-67-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+2+2+28+4+0+1= 115$
32	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-62-63-65-67-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+2+2+43+4+0+1= 130$
33	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-62-63-66-68-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+2+2+32+7+0+1= 122$
34	1-2-3-7-8-9-10-70-71-72-73-74-75-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+3+9+40+1+6+1= 125$

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 7

35	1-2-3-7-8-9-10-70-71-76-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+30+6+1= 102$
36	1-2-3-7-8-9-10-70-71-77-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+36+6+1= 108$
37	1-2-3-7-8-9-10-70-71-78-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+47+6+1= 119$
38	1-2-3-7-8-9-10-70-71-79-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+40+6+1= 112$
39	1-2-3-7-8-9-10-70-71-80-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+26+6+1= 98$
40	1-2-3-7-8-9-10-70-71-81-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+43+6+1= 115$
41	1-2-3-7-8-9-10-83-84-85-86-87-90-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+45+4+4+4+0+6+1= 129$
42	1-2-3-7-8-9-10-83-84-85-86-87-90-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+45+4+4+4+0+0+1= 123$
43	1-2-3-7-8-9-10-83-84-88-89-90-91-69-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+5+39+4+0+1+1= 115$
44	1-2-3-7-8-9-10-83-84-88-89-90-91-82-92	$19+22+20+2+1+1+0+0+5+39+4+0+6+1= 120$
45	1-4-5-6-91-69-92	$19+3+43+54+0+0+1= 120$
46	1-4-5-6-91-82-92	$19+3+43+54+0+6+1= 126$

Skozi projekt vodi 46 različnih poti. Kritična pot, je pot številka 4, saj so na njej vse aktivnosti brez možnosti pomika. Pot številka 4 traja 131 dni. Za primerjavo in bolj natančno analizo projekta bomo poleg kritične poti analizirali z metodo PERT še poti številka 2 in 32. Obe vsebujeta veliko kritičnih dejavnosti in njihovo trajanje je samo za en dan krajše od kritične poti.

### 5.1.2 Analiza časov po metodi PERT

Metoda PERT uporablja stohastičen pogled na čase trajanja dejavnosti in se pri izračunu rokov v mrežnem planu uporablja verjetnost, da bodo časi trajanja dejavnosti doseženi. V preglednici 8 so



prikazani izračuni pričakovanih časov trajanja za tri najdaljše poti skozi projekt. Optimistični, najverjetnejši in pesimistični čas trajanja aktivnosti, je ocenil in podal vodja gradbenega sektorja na Termoelektrarni Šoštanj.

Pričakovani čas trajanja dejavnosti  $E_{ti}$  računamo iz vseh treh ocenjenih časov po enačbi 9.

**Preglednica 8: Optimistični, najverjetnejši, pesimistični in pričakovani časi vseh dejavnosti ter njihova varianca; v zadnjem stolpcu je verjetnost, da se dejavnost ne bo izvedla.**

$a_i$	$d_{ij}^o$	$d_{ij}^m$	$d_{ij}^p$	$d_{ij}^e$	$\sigma^2_i$	verjetnost
1	14	19	28	20	5,44	/
2	18	22	32	23	5,44	/
3	17	20	22	20	0,69	/
4	2	3	5	3	0,25	/
5	35	43	50	43	6,25	/
6	44	54	57	53	4,69	/
7	1	2	3	2	0,11	/
8	1	1	2	1	0,02	/
9	1	1	2	1	0,02	/
11	2	3	4	3	0,11	/
12	1	1	2	1	0,02	/
13	42	48	54	48	4	/
15	1	2	4	2	0,25	/
16	6	7	9	7	0,25	0,002
17	21	26	34	26	4,69	0,0015
18	8	10	14	10	1	0,002
19	1	2	3	2	0,11	/
20	4	5	5	5	0,25	/
21	17	22	30	23	4,69	/
22	32	37	41	37	2,25	/
24	1	2	3	2	0,11	/
25	4	6	7	6	0,25	0,002
26	4	5	7	5	0,25	/
27	12	13	15	13	0,25	/
28	3	4	5	4	0,11	/
29	7	9	11	9	0,44	/
30	10	11	12	11	0,11	0,002
31	41	44	47	44	1	/

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 8

33	1	2	3	2	0,11	/
34	5	6	7	6	0,11	/
36	34	38	42	38	1,77	0,001
37	22	25	28	25	1	0,001
38	27	29	31	29	0,44	/
39	2	3	4	3	0,11	/
40	22	26	29	26	1,36	/
41	9	10	11	10	0,11	/
42	14	16	18	16	0,44	0,001
43	2	3	7	3	0,69	/
44	3	4	7	4	0,44	/
47	3	4	5	4	0,11	/
48	2	3	7	3	0,69	/
49	5	6	10	7	0,69	/
50	35	39	42	39	1,36	/
51	20	23	25	23	0,69	/
52	15	16	18	16	0,25	/
53	33	38	42	38	2,25	/
54	3	4	7	4	0,44	/
55	27	31	34	31	1,36	/
56	41	45	49	45	1,77	/
57	10	12	15	12	0,69	/
58	32	39	42	38	2,77	0,001
59	3	4	6	4	0,25	/
60	15	16	18	16	0,25	/
61	5	7	9	7	0,11	/
62	1	2	3	2	0,11	/
63	1	2	3	2	0,11	/
64	24	28	31	28	1,36	/
65	38	43	51	43	4,69	/
66	30	32	36	32	1	0,001
67	2	4	5	4	0,25	/
68	6	7	8	7	0,11	/
70	61	65	69	65	1,77	/
72	2	3	4	3	0,11	/
73	7	9	11	9	0,44	/

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 8

74	36	40	42	40	1	/
75	1	1	2	1	0,02	/
76	24	30	34	30	2,78	/
77	32	36	40	36	1,77	/
78	41	47	51	47	2,77	/
79	37	40	43	40	1	/
80	22	26	30	26	1,77	/
81	36	43	46	42	2,77	/
82	5	6	7	6	0,11	/
83	60	66	73	66	4,69	/
85	42	45	48	45	1	/
86	3	4	5	4	0,11	/
87	3	4	5	4	0,11	/
88	3	5	5	5	0,11	/
89	35	39	42	39	1,36	/
90	3	4	5	4	0,11	/
91	0	1	1	1	0,02	/
92	0	0	0	0	0	/

Zadnji stolpec za verjetnost, da se neka dejavnost ne bo izvedla oz. bo prišlo do ogromnih zamud, je izpolnjen samo za najzahtevnejša opravila. Zajema dejavnosti, ki obsegajo prevoze ali ogromne vertikalne premike zahtevnih strojnih oprem. V primeru poškodbe kompleksnih strojnih elementov bi izdelava nadomestnih delov trajala zelo dolgo in povzročila velike zaostanke pri dokončanju projekta. Ostale dejavnosti se opravljajo vsake štiri ali manj let pri obsežnih vzdrževanjih in so rutinirana opravila.

Za izbrane tri poti bomo izračunali skupno varianco trajanja aktivnosti.

$$var_i = \sigma^2_i = \left( \frac{d_i^p - d_i^o}{6} \right)^2 \quad (14)$$

Za te tri izbrane poti veljajo:

$T_P$  – pričakovani rok zaključka projekta (131 dni),

$T_E$  – izračunani rok zaključka projekta – vsota trajanj aktivnosti na pričakovani kritični poti,

$\sigma_i^2$  – varianca časa trajanja aktivnosti,

$\sigma_E$  – standardni odklon aktivnosti na pričakovani kritični poti.

**Preglednica 9: Varianca trajanja aktivnosti za pot številka 4, ki traja najdlje (131 dni)**

$a_i$	$d_{ij}^e$	$\sigma^2_i$
1	20	5,44
2	23	5,44
3	20	0,69
7	2	0,11
8	1	0,03
9	1	0,03
11	3	0,33
12	1	0,03
15	2	0,25
16	7	0,25
21	23	4,69
18	10	1
19	2	0,11
43	3	0,69
44	4	0,44
82	6	0,11
Skupaj	131	19,64

Izračunali smo pričakovano trajanje za tri najdaljše poti skozi projekt. Po izračunih s pričakovanimi časi trajanja smo ugotovili, da vse tri poti trajajo enako dolgo.

**Preglednica 10: Trajanje in varianca trajanja za izbrane tri poti**

Izbrana pot	$T_E$	$\Sigma\sigma_i^2$
2	131	19,64
4	131	19,64
32	131	18,83

Verjetnost, da bo projekt dokončan v 131 dneh, lahko izračunamo z računalniškim programom Excel s funkcijo  $NORM.DIST(T_P; T_E; \sigma_E; True)$ . Rezultate prikazuje preglednica 11.

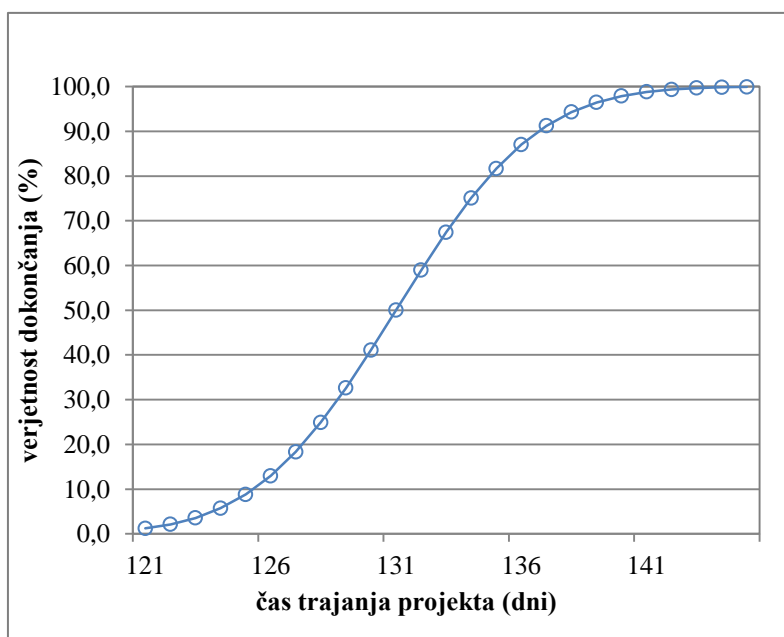
**Preglednica 11: Verjetnost, da bo projekt dokončan v 131 dneh; izračun s pomočjo programa Excel**

čas trajanja projekta (dni)	verjetnost dokončanja (%)
121	1,2
122	2,1
123	3,6
124	5,7
125	8,8
126	13,0
127	18,3
128	24,9
129	32,6
130	41,1
131	50,0
132	58,9
133	67,4
134	75,1
135	81,7
136	87,0
137	91,2
138	94,3
139	96,4
140	97,9
141	98,8
142	99,3
143	99,7
144	99,8
145	99,9

čas trajanja kritične poti 4	131
varianca trajanja aktivnosti za pot 4	4,43

p = 0,50



**Slika 7: Graf verjetnosti dokončanja projekta**

Verjetnost, da bo predpisani rok zaključka projekta izpolnjen, je 50 %. Sam projekt vzdrževanja termoenergetskega bloka je izjemnega pomena za celotno slovensko energetska omrežje, zato je vsem v interesu, da se čimprej dokonča in ponovno proizvaja električno energijo. Načrtovanih je bilo 131 dni za dokončanje, mi pa smo si zadali cilj, da se dokonča v slabih 4 mesecih od prvih pripravljalnih gradbenih del.

$$T_P = 131, T_E = 123, \sigma_E = 4,43$$

Z uporabo funkcije normal distribution v programu EXCEL dobimo verjetnost 96,45.

S skrajšanjem trajanja projekta za 8 dni, bi bila dosežena 96 odstotna verjetnost za pravočasno dokončanje projekta.

Za krajše trajanje projekta je potrebno določene aktivnosti pospešiti (izvesti v krajšem času). Pospešimo jih lahko z uvajanjem dodatne delovne sile.

**5.1.3 Krajšanje trajanja projekta**

Pot številka 4 bomo z dodatnimi delavci skrajšali iz 131 na 123 dni. S tem bomo dosegli 96 odstotno verjetnost, da se projekt pravočasno konča, v predvidenem terminskem roku. Največ rezerve in manevrskega prostora je pri izvajanju predhodnih del, pred samo zaustavitvijo bloka. Od dejavnosti, ki se odvijajo po zaustavitvi bloka, se da pospešiti demontažo notranjega in zunanjšega ohišja turbine. Pospešili bi jo z ukrepom, da bi delavci delali podnevi in ponoči ter tako pridobili dva dni.

Čeprav bi z ukrepi skrajšali dejavnosti skupno za 11 dni, bi se na koncu poznalo le 8 dni pri dokončanju projekta, saj veliko dejavnosti vzporedno poteka in se naslednja ne more odviti pred dokončanjem vseh predhodnikov.

**Preglednica 12: Novo trajanje dejavnosti in dodatni stroški na poti številka 4**

Dejavnost	Trajanje (dni)	Novo trajanje (dni)	Začetno št. delavcev	Potrebno št. delavcev	relativni strošek
Predhodna in pripravilna dela	19	16	12	15	5.000,00
Gradbena in obrtniška dela	22	19	10	14	8.000,00
Gradnja delovnih odrov, ki stojijo med obratovanjem	20	17	37	43	10.000,00
Izpraznitev premoga in čiščenje bunkerjev	2	2	8	8	
Izpraznitev premoga iz dodelilnikov	1	1	4	4	
Nižanje temperature pare	1	1	0	0	
Zaustavitev bloka 5	0	0	0	0	
Prisilno hlajenje TBA	3	3	0	0	
Demontaža izolacije ST in NT turbine	1	1	5	5	
Začetek revizije ST dela turbine	0	0			
Gradnja delovnih odrov	2	2	8	8	
Demontaža zunanjega in notranjega ohišja ter rotorja	7	5	8	16	20.000,00
Montaža rotorja in ohišij, meritve	10	10	8	8	
Montaža izolacije	2	2	4	4	
Zamik glede na dejavnost 17	5	5			
NDT kontrola (IMT)	22	22	2	2	
Centriranje turbine	3	3	1	1	
Nastavitve ventilov turbine, regulacije (IBS)	4	4	3	3	
Zagon bloka 5	1	1			
Preizkušanje kurilnega ter dogorevalnega sistema	6	6			
<b>Skupaj</b>	<b>131</b>	<b>120</b>	<b>110</b>	<b>131</b>	<b>43.000,00</b>

Pri prehodnih in gradbenih delih, ki se začnejo že slaba dva mesca pred zaustavitvijo bloka 5, bi najeli dodatne delavce, ki bi skrajšali te dejavnosti za 9 dni s povečanjem stroškov za 23 000€. Dodatna dva dni bi dobili z dvoizmenskim delom na demontaži ohišja, kjer bi podvojili število delavcev na 16. Vsa dodatna delovna sila bi povečala stroške dela za 43 000 €.

Pri krajšanju časa trajanja dejavnosti 1, 2, 3 in 16 bi nastala nova kritična pot številka 46. Ta vsebuje vse aktivnosti, ki se izvajajo vzporedno ob remontu in zajemajo rutinska opravila, kot so izgradnja delovnih odrov, šamoterska dela, razni pregledi, antikorozivna in ostala pleskarska dela. Te dejavnosti sledijo hitrosti izvajanja remonta in jih je možno enostavno pospešiti z dodatno delovno silo.

#### 5.1.4 Krizni management ob malo verjetnem dogodku

Tako kot pri vsakem projektu, lahko tudi pri vzdrževanju segmenta termoelektrnega bloka 5 pride do zapletov. Izbrali si bomo dogodek, ki je malo verjeten in bi izzval krizno stanje v Termoelektrni Šoštanj. Pred samim opisom vzroka in posledic nekega nepričakovanega dogodka, se moramo opredeliti glede pomembnih pojmov. V situacijah, kjer je projekt časovno tako močno omejen, je izrednega pomena imeti rezervni načrt pri nastopu krize. Kaj kriza sploh pomeni?

V Novakovem slovarčku temeljnih pojmov o kriznem komuniciranju piše, da je kriza nenačrtovana in nezaželena okoliščina, ki ogroža organizacijsko sposobnost preživetja, onemogoča doseganje ciljev ali celo obstoj organizacije. Za krizo je značilna še negotovost, saj ima kriza vsakršen izid in pomeni časovni pritisk, kar pomeni, da se morajo managerji v krizah še posebej hitro odločati. Nema lokrat kriza ogroža tudi življenje in varnost ljudi, udeleženih v kriznem dogodku. Krizi sorodna pojma sta

tudi incident ali začetni stadij krize in katastrofa oz. kriza in nesreča velikih razsežnosti (Novak s sodelavci, 2000, cit. po Jerala, T., 2004).

Ko nastopi kriza, se podjetje zanese na znanje in izkušnje najboljšega kadra, saj je v tej situaciji čas dragocen in ni časa za učenje. Krizni management je v Velikem slovarju tujk opredeljen kot stil vodenja, ki se ukvarja s kratkoročnimi in takojšnjimi rešitvami vprašanja. Ekipe strokovnjakov mora reagirati hitro in učinkovito s ciljem, da zmanjša izgube in prepreči neugodne vplive na normalno delovanje podjetja.

Za krizni dogodek smo si izbrali prevoz rotorja in notranjega ohišja ST turbine v nemško mesto Mülheim, kjer potekata pregled in vzdrževanje. Ta dejavnost je trajala 26 dni. V primeru, da bi prišlo med transportom do hujših poškodb tovora, bi vodstvo ukrepalo po naslednjem zaporedju:

- Ustanovili bi krizni management, na čelu katerega bi bila tehnični direktor TEŠ-a in vodja strojnega oddelka.
- Najprej bi poskušali poiskati termoelektrarno s podobno nazivno močjo, ki ne obratuje več. Pregledale bi se možnosti odkupa rabljenega rotorja in notranjega ohišja ST dela turbine. Ugotovilo bi se, da zaradi prilagojenih posameznih elementov ustrezne rabljene opreme ni mogoče uporabiti.
- Naročila bi se izdelava novih delov, ki bi nadomestili poškodovane. V odvisnosti od poškodbe, bi izredna zaustavitev (izpad proizvodnje) trajala:
  - močno poškodovan rotor z lopaticami; vsaj 12 mesec za izdelavo novega rotorja, lopatic, transporta in montaže
  - močno poškodovane lopatice, rotor nepoškodovan; vsaj 6 mesecev za izdelavo novih lopatic, transporta in montaže
  - popravilo poškodovanega rotorja in nove lopatice; vsaj 8 mesecev za popravilo rotorja, transport in montažo.



## 6 SIMULACIJE

Simulacije so numerično orodje, s katerim opravimo preizkuse na računalniku. Izraz simulirati v splošnem pomeni prevzeti lastnosti stvarnega objekta ter posnemati njegovo delovanje, obnašanje ali izgled. Je tehnika izvajanja računalniških poskusov na izbranem modelu. Daje vpogled v spremembe stanja sistema, če se v nekih okoliščinah zunanje, vhodne vrednosti spremenijo. Preizkus vključuje nek matematičen ali logičen model, s katerim opisuje problem, ki ga rešujemo. S simulacijami rešujemo najrazličnejše probleme: obnašanje nevtrona, obnašanje konstrukcije v vetrovnem tunelu, delovanje telekomunikacijskega sistema, vzdrževanje konstrukcije, delovanje trga in drugo (Ambrožič T., Turk G., 2000).

Simulacije so edino možno sredstvo za rešitev problema, če velja:

- resnične preizkuse je prezapleteno narediti ali so predragi;
- problem lahko opišemo z matematičnim modelom, vendar enačb ne znamo rešiti analitično.

Simulacija ni orodje za iskanje optimalne rešitve, temveč postopek za ugotavljanje primernosti razpoložljivih alternativ (Kukavica, V., 2005).

### 6.1 Metoda Monte Carlo

V okviru te diplomske naloge si bomo pri izvajanju simulacijah pomagali z metodo Monte Carlo. Za to metodo je značilno generiranje slučajnih vrednosti za negotove spremenljivke v mnogih simulacijah. Je analitična metoda, ki simulira dogajanje v resničnem življenju (Wikipedia Monte Carlo method, 2013). Brez uporabe simulacij smo dobili tri kritične poti skozi projekt, ki definirajo najdaljše trajanje projekta. Simulacije bomo uporabili za določitev verjetnosti, da se bo nek dogodek zgodil. Ta dogodek je vrednost trajanje projekta. Vhodni podatki bodo spremenljivke trajanja posameznih aktivnosti. Obseg vrednosti posameznih spremenljivk zajema tri scenarije: optimistični, pesimistični in najverjetnejši. Generiramo izbrane vrednosti parametrov problema in izračunamo odziv. Med simulacijami štejemo primere, za katere je bilo določeno trajanje projekta doseženo ( $n_p$ ). Verjetnost trajanja  $P_f$  ni nič:

$$P_f = \frac{n_p}{n_s}, \quad (15)$$

kjer je  $n_s$  število vseh simulacij.

To je najpreprostejši način računa verjetnosti trajanja (Turk, G., 1994).

## 6.2 Program Pertmaster

Program Pertmaster je osnovan na metodi Pert, ki obravnava trajanje aktivnosti kot slučajno spremenljivko oz. je določena z verjetnostno porazdelitvijo. Pertmaster uporablja analizo kritične poti, katere temeljni del je mrežni diagram, ki nam prikaže zaporedje in povezave vseh aktivnosti, ki vodijo do dokončanje projekta. Možen je izračun najzgodnejšega in najkasnejšega začetka ter konca vsake aktivnosti. Vsakemu projektu lahko izračunamo oceno tveganja, saj program uporablja metodo Monte Carlo, ki je opisana v prejšnjem poglavju (Rek A., 2006).

Pertmaster je program, ki nam pomaga oceniti stopnjo tveganja pri pojavu negativnih dogodkov, ki lahko vplivajo na pravočasno dokončanje projekta. Program je združljiv s programi za vodenje projektov Primavera in MS Project in nam omogoča določanje realnejših stroškov, potrebnih količin virov in rokov zaključka projekta. Pertmaster preračuna celoten projekt z upoštevanjem tveganja trajanja aktivnosti ter tveganje pri virih aktivnosti (treba je izbrati maksimalno in minimalno količino enot enot vira pri izvajanju aktivnosti) in dobljeni rezultati se lahko avtomatsko prenesejo v omenjena programa.

Ključna vprašanja, na katera nam Pertmaster lahko poda odgovore, so:

- Kolikšna je verjetnost, da bo projekt zaključen ob določenem roku?
- Kdaj bo projekt najverjetneje zaključen?
- Katere so kritične aktivnosti, ki bi vplivale na zamudo na projektu?
- Pove nam, kako vpliva obstoj neke aktivnosti in njeno pravočasno dokončanje na celoten projekt.

### 6.2.1 Aktivnosti v programu Pertmaster

Eden glavnih elementov v programu Pertmaster so aktivnosti, ki skupaj sestavljajo celoten projekt. Določiti jim moramo pomen, vlogo, medsebojne povezave. Določiti jim moramo čim več lastnosti, saj lahko tako izkoristimo prednosti programa in dobimo bolj realne rezultate.

Najpogosteje aktivnostim določimo trajanje, potrebe po virih in stroške. Tveganje oz. negotovost glede posameznih atributov aktivnosti lahko podamo v obliki stohastičnih vrednosti – z verjetnostno porazdelitvijo vrednosti posameznega atributa. V tej diplomski nalogi bomo preverili le trajanje kritičnih poti, saj je to ključnega pomena.

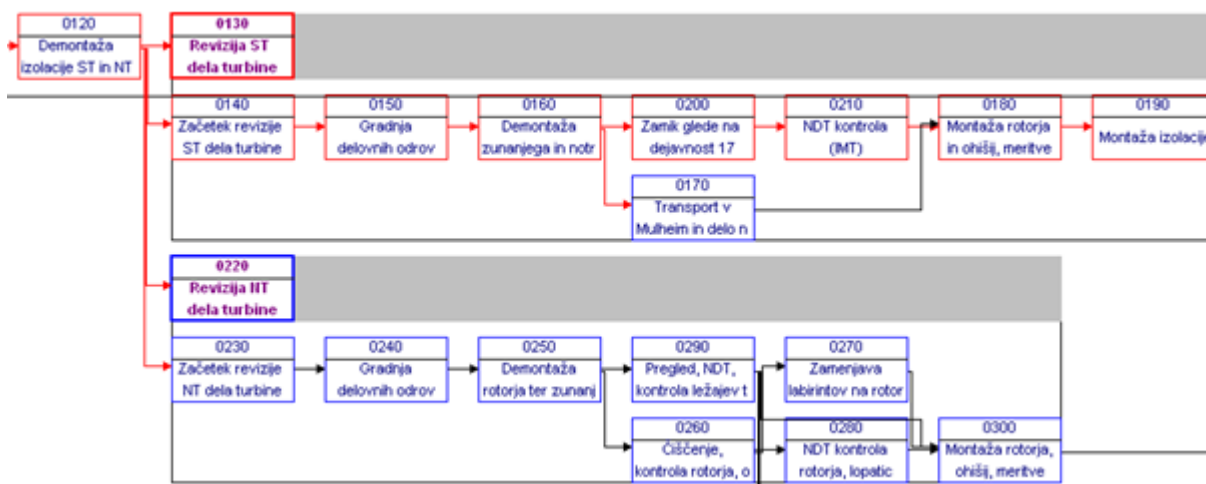
Pertmaster pozna pet tipov aktivnosti:

- normalno aktivnost,
- združeno aktivnost,
- mejnik,
- aktivnost spremljanja in
- krovno aktivnost.

**Normalna aktivnost** predstavlja neko določeno aktivnost z določenim trajanjem. V našem primeru je to montaža izolacije.

**Združena aktivnost** je aktivnost, ki je sestavljena iz podaktivnosti in povzema njihove podatke. Revizija srednjetačne turbine zajema normalne aktivnosti montaža izolacije, transport turbine v Mülheim, gradnjo delovnih odrov itd. Prikaz podaktivnosti in njihovih nivojev ni omejeno. Združena aktivnost se uporablja za:

- prikaz podprojektov,
- lažji prikaz strukture projekta,
- seštevanje virov in stroškov določene skupine aktivnosti,
- prikaz vpliva dodajanja in odvzemanja podaktivnosti na celoten projekt,
- prikaz začetka in konca trajanja določene skupine aktivnosti in
- ravnanje z viri, ki pripadajo podaktivnostim.



Slika 8: Prikaz združene aktivnosti in njenih podaktivnosti

**Mejnik** se uporablja za določanje pomembnih datumov oziroma dogodkov v projektu. Normalna aktivnost, ki ima trajanje nič. Uporablja se lahko za:

- označevanje začetka in zaključka projekta,
- označevanje datuma začetka in in konca faze projekta in
- označevanje datuma, ko morajo biti določene aktivnosti zaključene.

**Aktivnost spremljanja** omogoča spremljanje začetka, konca in trajanja izbranih aktivnosti. Podobna je združeni aktivnosti, a sta med njima tudi pomembni razliki:

- aktivnosti vključene v aktivnost spremljanja so izbrane s filtrom,
- aktivnost spremljanja se ne more povezati z drugimi aktivnostmi in
- aktivnosti spremljanja ne moremo dodajati virov.

Aktivnost spremljanja podaja za svoje aktivnosti naslednje podatke:

- najzgodnejši začetek in najkasnejši konec,
- celotne stroške in
- povprečen odstotek izvršitve.

**Krovna aktivnost** je aktivnost, s katero lahko opišemo lastnosti, ki so skupne določeni skupini aktivnosti. Z njo lahko prikažemo njihovo skupno trajanje. Omogoča vnos posrednih stroškov, ki niso pripisani nobeni od aktivnosti v tej skupini in so npr. enakomerno razporejeni čez celotno trajanje izvedbe aktivnosti iz te skupine ter so odvisni od trajanja aktivnosti, npr. stroški postranske organizacije. Krovna aktivnost je lahko povezana z drugimi aktivnostmi. Začetek krovne aktivnosti je najzgodnejši datum začetka vseh aktivnosti, povezanih z začetkom krovne aktivnosti. Konec krovne aktivnosti je najpoznejši datum konca vseh aktivnosti, povezanih s koncem krovne aktivnosti. Trajanje krovne aktivnosti se torej avtomatsko prilagodi (se podaljša ali skrajša) spremembam plana vsebovanih aktivnosti. Krovna aktivnost ne more računati rezervnih časov (Kroflič, M., 2009).

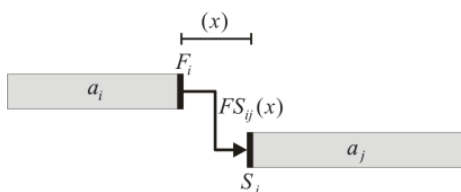
**Ignorirane aktivnosti** lahko Pertmaster izključi oz. jim predpiše začetek v zadnjem hipu ali jih celo določi kot vedno kritične aktivnosti. Ignorirane aktivnosti začasno odstranimo in vse povezave, viri in stroški povezani s to aktivnostjo so ignorirani. To nam omogoči opazovanje vpliva ignorirane aktivnosti na trajanje projekta in na njegove stroške.

## 6.2.2 Povezave med aktivnostmi

Aktivnosti so povezane glede na njihove začetke in konce. V Pertmastru so na voljo štiri tipi povezav med aktivnostmi.

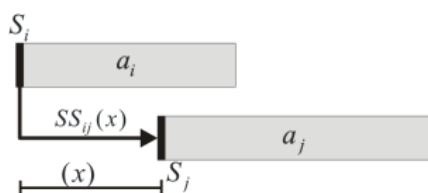
- Konec – začetek (ang. »Finish to Start«):

Aktivnost se ne more začeti, dokler se ne konča predhodna aktivnost:



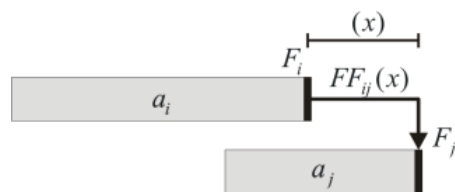
- Začetek – začetek (ang. »Start to Start«):

Aktivnost se ne more začeti, dokler se ne začne druga aktivnost:



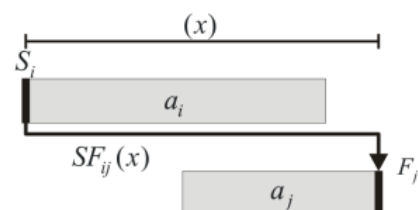
- Konec – konec (ang. »Finish to Finish«):

Aktivnost se ne sme končati, dokler se ne konča druga aktivnost:



- Začetek - konec (ang. »Start to Finish«):

Aktivnost se ne sme končati, dokler se ne začne druga aktivnost:



Aktivnost se mora začeti ali končati, preden se začne druga aktivnost. Samo z do sedaj navedenimi povezavami ne moremo dovolj natančno opisati povezave med aktivnostmi. Aktivnosti se lahko začnejo še pred koncem drugih aktivnosti, ne pa ravno pred njimi oz. istočasno. Kot primer lahko navedemo revizijo visoko in srednje tlačnih ventilov. Demontaža hidravličnega in parnega dela kotla poteka z zamikom glede na aktivnost gradnje delovnih odrov. To naredimo tako, da podamo število dni potrebnega pretoka časa med začetkom ene in pričetkom druge aktivnost.

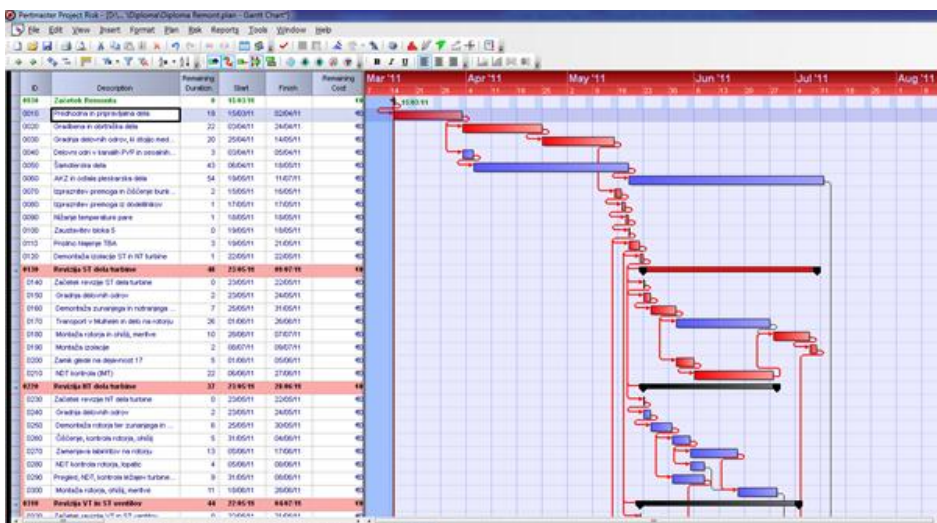
### 6.2.3 Prikaz povezav med aktivnostmi

Za sledenje povezavam med aktivnostmi se uporablja logična shema. V Pertmastru sta možna dva prikaza:

- gantogram in
- mrežni diagram

**Gantogram** grafično prikazuje aktivnosti oz. njihova trajanja kot trakove (dolžina traka ponazarja trajanje). Nazorno prikazuje povezave (puščice) med aktivnostmi, mejnike, krovne aktivnosti, združene aktivnosti, kritične aktivnosti itd. Informacije o aktivnostih prikazuje grafično z blokovnim diagramom in tudi v stolpcih (imena aktivnosti, njihovo najverjetnejše trajanje, stroške, itd.). Preko tega prikaza vnašamo in spreminjamo podatke (Rek, A., 2006)

**Mrežni diagram** je podoben gantogramu, nima pa prikaza po stolpcih. Preko njega lahko tudi vnašamo in spreminjamo projekt. Uporablja se za natančen prikaz povezav med aktivnostmi. Le-ta je bolj nazoren kot pri gantogramu.



Slika 9: Prikaz povezav med aktivnostmi

## 6.2.4 Viri

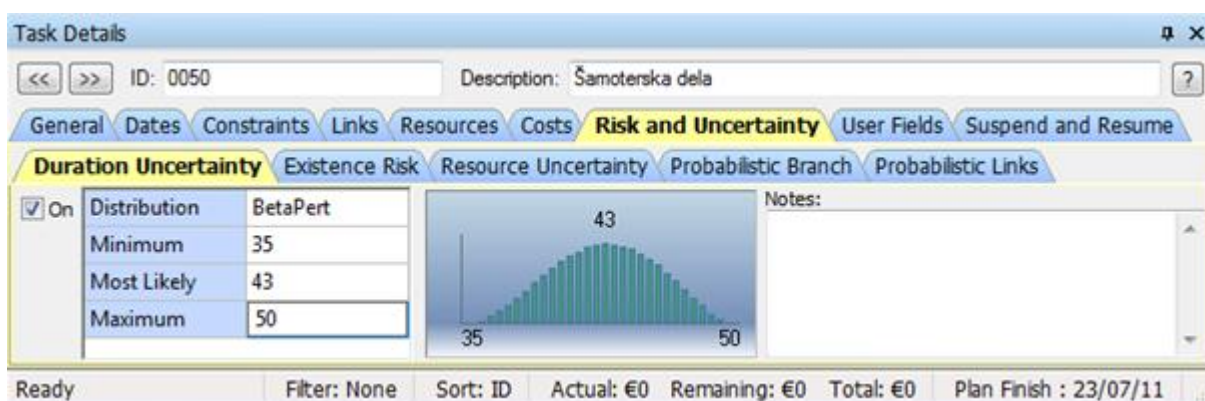
V okviru diplomske naloge ne bomo obravnavali virov, ker nam ni uspelo pridobiti teh podatkov. Vseeno jih bomo na kratko omenili, saj so pomemben element programa.

Za izvajanje aktivnosti so pomembni viri. Kot vir običajno navajamo ljudi, opremo, material in stroške. Vsaki aktivnosti lahko pripišemo vire. Pertmaster z vključevanjem virov omogoča:

- oceno kdaj bodo določeni viri v življenjskem ciklu projekta potrebni,
- oceno stroškov aktivnosti, skupin aktivnosti in celotnega projekta,
- reguliranje virov in ugotavljanje vpliva reguliranja virov na stroške projekta,
- sledenje stroškom projekta in
- oceno denarnega toka projekta.

## 6.2.5 Vključevanje tveganja

Pertmaster omogoča izvedbo analize tveganja v projektu. Z njo lahko določimo verjetnost dokončanja projekta v določenem času. Tveganje temelji na trajanju aktivnosti. Vsaka aktivnost ima določeno optimistično, najverjetnejše in pesimistično trajanje. Če analiza tveganja ni vključena, potem optimistično in pesimistično trajanje ni uporabljeno. Brez analize tveganja Pertmaster določi eno možno pot, po kateri bo projekt potekal. Z uporabo analize tveganja pa Pertmaster analizira veliko možnih izidov (Kroflič, M., 2009).



Slika 10: Določitev optimističnega, pesimističnega in najverjetnejšega časa

### 6.2.6 Porazdelitev

Najprimernejšo porazdelitev izberemo na podlagi izkušenj oz. tipa aktivnosti. Izbiramo lahko med naslednjimi porazdelitvami: Beta Pert, Cumulative, Discrete, Enhanced, General, Lognormal, Modified Beta Pert, Normal, Triangle, Trigen in Uniform. Priporočljivo je razmisliti in izbrati primerno porazdelitev glede na razmerje med minimalnim (min), maksimalnim (max) in najverjetnejšim (ml) trajanjem aktivnosti.

### 6.2.7 Tveganje pri projektih

Pri velikem številu medsebojno povezanih aktivnosti nastopi tveganje, da bomo projekt pravočasno izpeljali. Z analizo tveganja prepoznamo najkasnejše in najzgodnejše začetne in končne datume, ki nam omogoči izdelavo plana odziva na projektno tveganje.

Da lahko analizo izvedemo, moramo vstaviti čimveč natančnih podatkov glede trajanja aktivnosti. Določimo minimalno, maksimalno in najverjetnejšo oceno trajanja aktivnosti in njihovo porazdelitev. Potrebno je tudi predpisati potrebne korelacije in logične povezave med aktivnostmi.

Ko aktiviramo analizo tveganja, le ta večkrat simulira projekt. Naredimo lahko mnogo iteracij, vsaka iteracija predstavlja eno možno pot skozi projekt. Za simulacijo se pri analizi tveganja uporablja metoda Monte Carlo, ki je bila opisana v prejšnjem podpoglavju. Analiza tveganja vključuje vse aktivnosti s podanimi tveganji. Trajanje se nastavi med minimalnim in maksimalnim časom. Pri vsaki iteraciji se računa končni datum. Podatki se sproti shranjujejo in s ponovitvami dobimo statistične rezultate. Po analizi je potrebno rezultate prebrati, preveriti njihovo smiselnost in predstaviti. Nazorno jih predstavimo s histogramom tveganja, z diagramom in z grafičnim prikazom razpršenosti (Rek, A., 2006).



## 6.3 Simulacija trajanja projekta vzdrževanja bloka 5 v programu Pertmaster

### 6.3.1 Podatki za izvedbo simulacije v programu Pertmaster

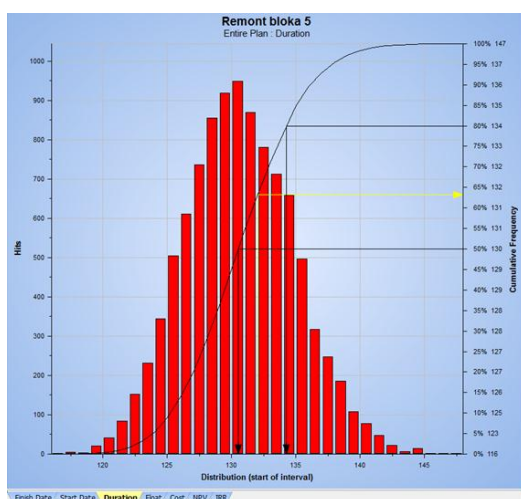
V program smo enako kot v Microsoft Project vpisali vse aktivnosti, njihovo trajanje in medsebojne povezave. Dodali smo dva mejnika, začetek in konec remonta. Ustvarili smo 6 krovnih aktivnosti, ki vsebujejo podaktivnosti in potekajo sočasno med remontom. Časi trajanja krovnih aktivnosti so se ujemali z podatki pridobljenimi iz Termoelektrarne Šoštanj.

Tveganje pri pravočasnem dokončanju posameznih aktivnosti in projekta smo upoštevali tako, da smo vsaki aktivnosti določil optimistični, pesimistični in najverjetnejši čas trajanja. Verjetnostni tip porazdelitve aktivnosti je beta pert porazdelitev.

Za izvedbo analize tveganja moramo podati število iteracij, ki naj jih program opravi. Večje kot je število iteracij, večja je zanesljivost dobljenih rezultatov. Določimo tudi, da program po opravljeni analizi izračuna vpliv trajanja (ang. »calculation of duration sensitivity«).

### 6.3.2 Histogram trajanja celotnega projekta

Po končanih simulacijah lahko rezultate prikažemo v obliki histogramov. Na sliki 11 imamo histogram trajanja celotnega projekta, ki nam pove, kolikšna je verjetnost, da bo projekt zaključen do določenega roka. Rezultati nam pokažejo, da bi projekt s temi predpostavkami najhitreje zaključili v 116 dneh, vendar je verjetnost 1 %. Najdaljše trajanje je 147 dni. Po metodi CPM z determinističnimi vrednostmi trajanja aktivnosti, smo dobili najdaljše trajanje 131 dni. Po simulacijah sodeč, je verjetnost 60 %, da se takrat projekt konča.



Slika 11: Histogram trajanja celotnega projekta po beta pert porazdelitvi

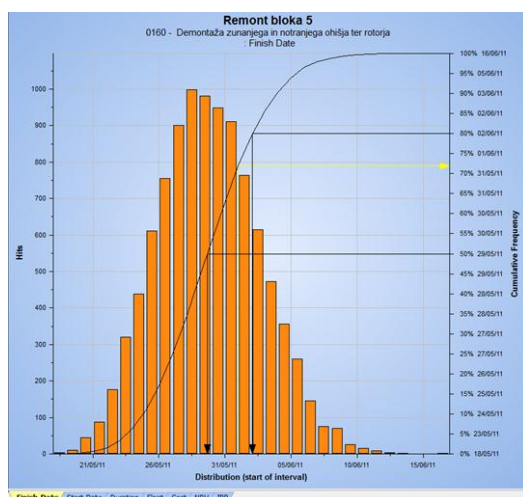
Če primerjamo rezultate simulacije v programu Pertmaster z rezultati, ki smo jih dobili po metodi PERT, vidimo da večjih razlik ni. Do odstopanja največ dan, dva pride pri višjih verjetnostih dokončanja projekta. Pri 70 % verjetnosti dokončanja projekta dobimo po metodi PERT dolžino trajanja projekta 133 dni, kar je en dan več kot rezultat pri simulaciji.

**Preglednica 13: Primerjava rezultatov izračunanih po metodi PERT z rezultati pridobljenimi v programu Pertmaster**

Verjetnost (%)	Pertmaster	PERT
10	125	125
20	127	127
30	128	129
40	129	130
50	130	131
60	131	132
70	132	133
80	134	135
90	136	137
100	147	145

### 6.3.3 Histogram zaključnega datuma aktivnosti

Histogram trajanje projekta oz. posamezne aktivnosti, nam daje enake informacije kot histogram zaključnih datumov, gre le za drugačen zapis podatkov na abscisni osi. Spodnja slika nam pove, da je 70% možnosti, da se dela pri demontaži zunanje in notranjega ohišja ter rotorja končajo ob predvidenem datumu.

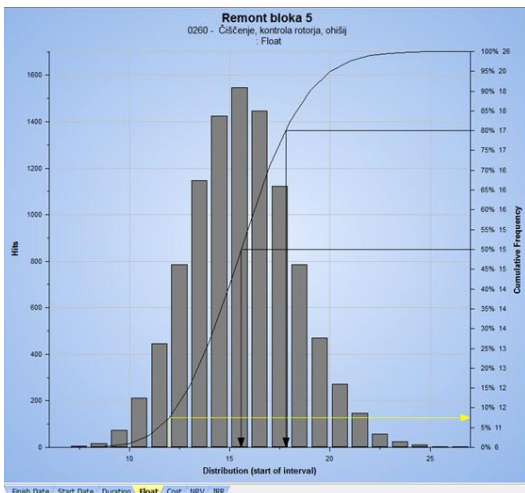


Slika 12: Histogram zaključnega datuma posamezne aktivnosti

### 6.3.4 Histogram rezervnega časa aktivnosti

Prikaz tega histograma je smislen le za aktivnosti, ki niso kritične. Pokaže nam verjetnost, da bo aktivnost imela določen rezervni čas trajanja.

Slika 13 prikazuje histogram rezervnega časa aktivnosti demontaža zunanje in notranjega ohišja ter rotorja. Vidimo lahko, da je 5% verjetnost, da bo rezervni čas krajši kot 11 dni. To pomeni, da ima aktivnost najverjetneje 15 dni časa, da se izvede in konča, brez da bi vplivala na končni datum projekta.

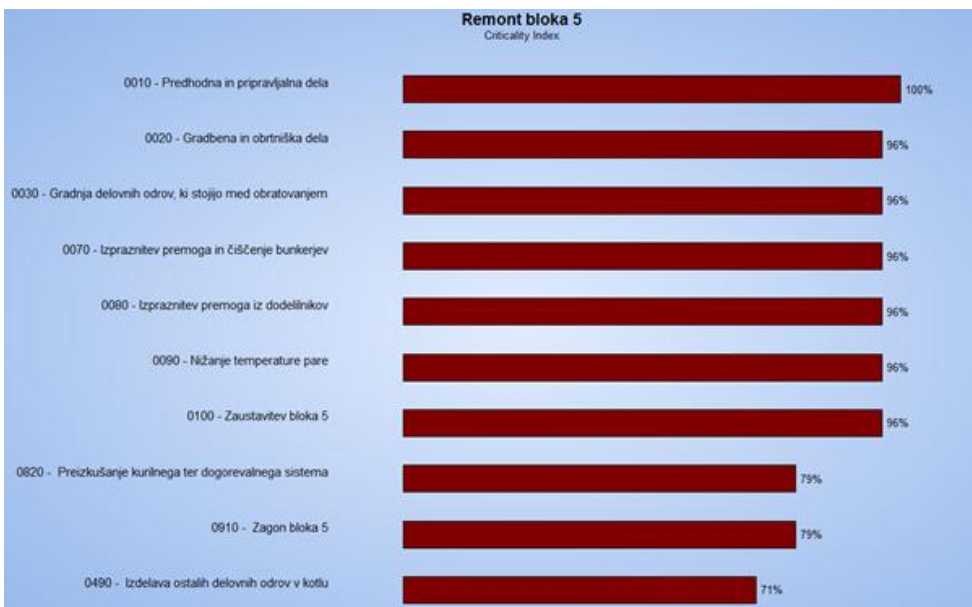


Slika 13: Histogram rezervnega časa posamezne aktivnosti

### 6.3.5 Diagram indeksa kritičnosti

Diagram prikazuje in razvrsti aktivnosti glede na pomembnost, občutljivost in kritičnost trajanja. Vsi izračunani indeksi so prikazani z izpisanimi odstotki vrednosti za posamezno aktivnost.

Indeks kritičnosti prikazuje, kako pogosto je bila med analizo aktivnost na kritični poti. Na sliki vidimo 6 aktivnosti, ki imajo verjetnost večjo od 90 %, kar pomeni da so bile te aktivnosti med analizo tveganja vključene v skoraj vse kritične poti. Višji kot je indeks aktivnosti, večja je verjetnost, da bodo te aktivnosti krive za zamujanje projekta.



Slika 14: Diagram indeksa kritičnosti

### 6.3.6 Diagram občutljivosti trajanja

Občutljivost trajanja prikazuje vrednost korelacij med trajanjem projekta in trajanjem aktivnosti.

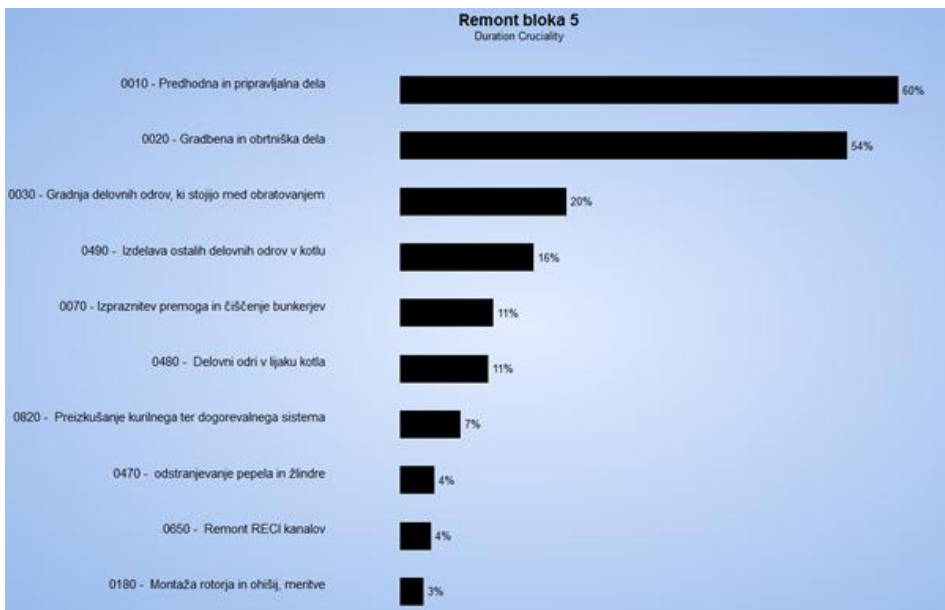
Na spodnji sliki, sliki 15, so prikazane aktivnosti z najvišjimi vrednostmi občutljivosti trajanja. Aktivnost predhodna in pripravljalna dela ima najvišjo verjetnost, da bo vplivala na trajanje projekta, saj je prva aktivnost iz katere izhajajo vse druge. Opazimo lahko tudi, da so aktivnosti z najvišjimi vrednostmi občutljivosti trajanja, uvrščene tudi na diagram indeksa kritičnosti. Razberemo lahko, da oba grafa prikazujeta aktivnosti, ki lahko najbolj vplivajo na morebitne zamude pri projektu.



Slika 15: Diagram občutljivosti trajanja

### 6.3.7 Diagram pomembnosti trajanja

Pomembnost trajanja je zmnožek indeksa kritičnosti in občutljivosti trajanja. Na sliki 16 vidimo, da so predhodna in pripravljalna dela najpomembnejša za trajanje celotnega projekta in za morebitne zamude. Ta rezultat je pričakovan, saj je to aktivnost z najvišjim indeksom kritičnosti in najvišjo občutljivostjo trajanja. Tudi v blokovnem planu se vidi, da je skoraj najdlje trajajoča in tudi njena naslednica, gradbena in obrtniška dela, sodi med kritične aktivnosti.



Slika 16: Diagram pomembnosti trajanja

### 6.3.8 Uporaba korelacije med aktivnostmi

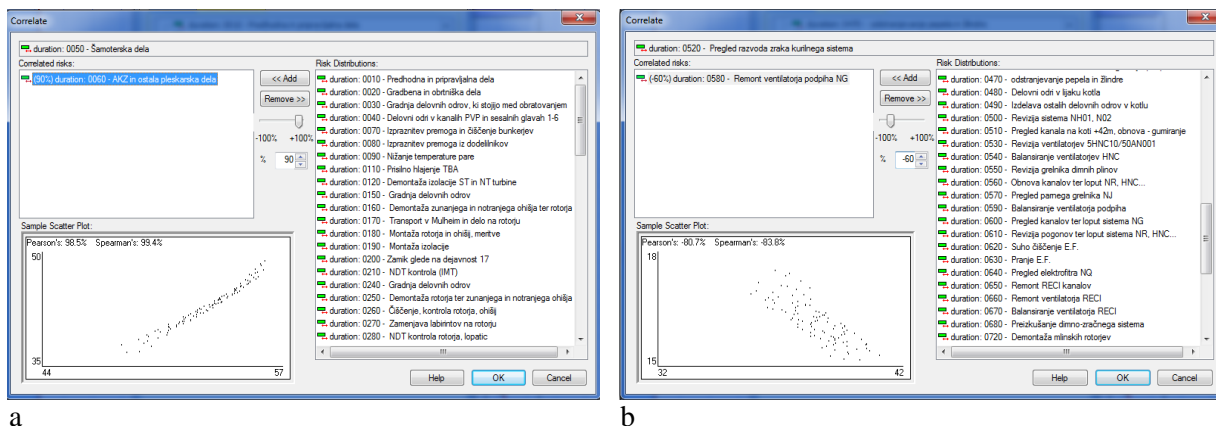
Trajanja aktivnosti so lahko medsebojno povezana. Rečemo, da so v medsebojni korelaciji. Korelacija ali korelacijski koeficient je številska mera, ki predstavlja moč linearne povezanosti dveh **spremenljivk**. Tako lahko trajanje ene aktivnosti pogojuje trajanje druge.

Korelacija je lahko pozitivna ali negativna. Primer pozitivne korelacije sta dve podobni aktivnosti, za katere so izkušnje pokazale, da obstaja velika verjetnost, da zaradi dolgega trajanja ene aktivnosti, traja dolgo tudi druga. Negativna korelacija pa je nasprotje pozitivne, če bo ena aktivnost trajala dlje, bo druga krajša. Korelacija pomaga pri izogibanju nerealnim situacijam. Izognemo se primeru, ko se ena aktivnost konča hitro, druga pa traja dolgo.

Korelaciji med tveganji se poda vrednost med  $-1$  ( $-100\%$ ) in  $1$  ( $100\%$ ). S to vrednostjo določimo kako tesno so tveganja povezana oz. kako tesno si med seboj sledijo. Če trajanje ene aktivnosti vedno sledi trajanju druge aktivnosti, vzamemo  $100\%$  korelacijo.

Korelacijo smo dodelili dvema paroma aktivnostim, da bi preverili njen vpliv na trajanje posameznih dejavnosti. Antikorozivna zaščita in ostala pleskarska dela sledijo šamoterskim delom. Soodvisnost trajanja med obema aktivnostima je velika ( $0,90$ ), saj so šamoterska dela predhodnik pleskarskim delom na vseh vidnih površinah. Druga korelacija je med aktivnostima pregled razvoda kurilnega sistema in remontom ventilatorja podpiha NG. Tu smo predvideli negativno korelacijo, kar pomeni, da bi hiter in površen pregled razvoda kurilnega sistema podaljšal trajanje remonta ventilatorja podpiha

NG. Iz spodnje slike lahko vidimo, da graf nakazuje obratno sorazmerje, pri povečani vrednosti na osi x se zmanjša vrednost na osi y.

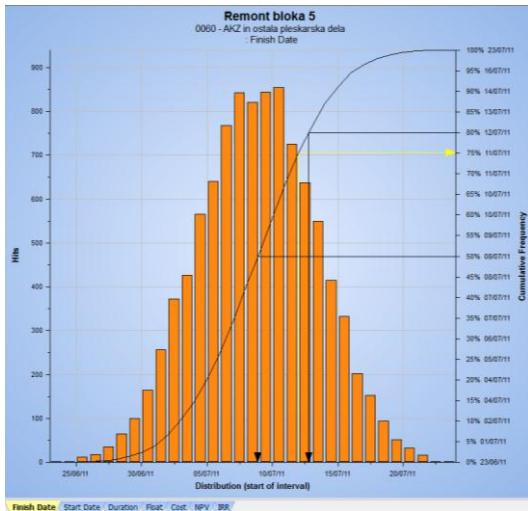


Slika 17: Prikaz dveh različnih korelacij med trajanjem aktivnosti

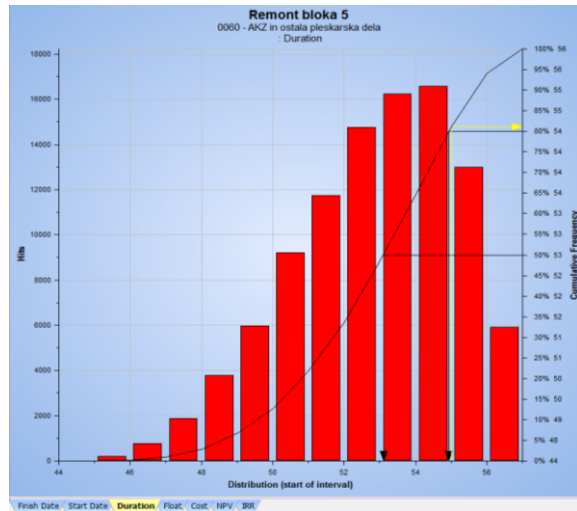
Program nam prikaže grafa razpršenosti. Levi graf ima pozitivno korelacijo (0,90), desni graf pa negativno (-0,60). Število točk na grafu je enako številu iteracij, ki so bile izvedene v analizi tveganja.

Po spremembi, da dve aktivnosti pogojujeta trajanje drugih dveh aktivnosti, smo še enkrat zagnali simulacijo. Rezultati so naslednji.

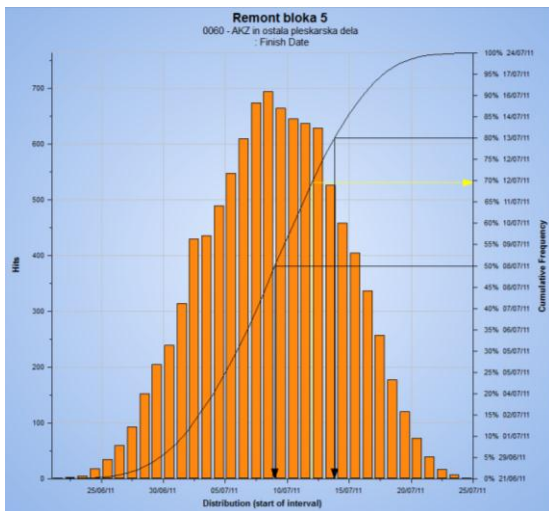
Pri aktivnosti AKZ in ostalih pleskarskih delih bomo prikazali histogram zaključnega datuma in histogram trajanja aktivnosti pred in po korelaciji (0,90):



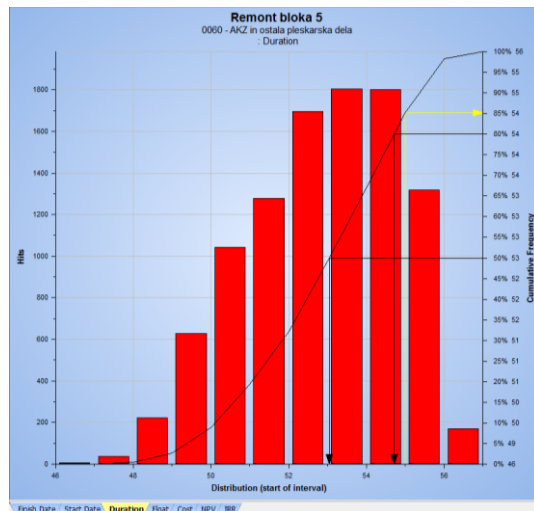
a



b



c



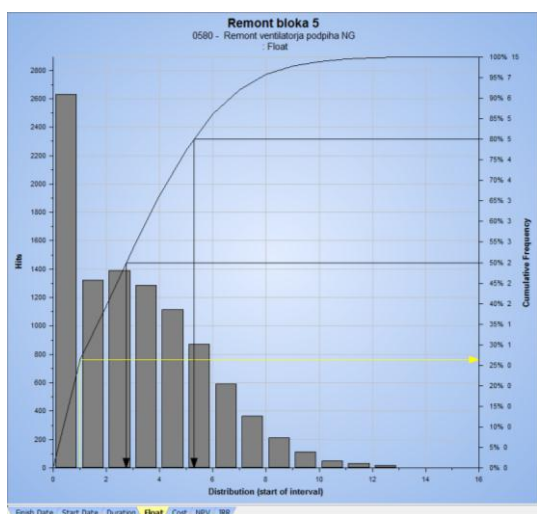
d

**Slika 18: Zgornja dva histograma, (a) in (b) prikazujeta stanje pred korelacijo, spodnja dva, (c) in (d) pa stanje po uvedbi korelacije z aktivnostjo Šamoterska dela**

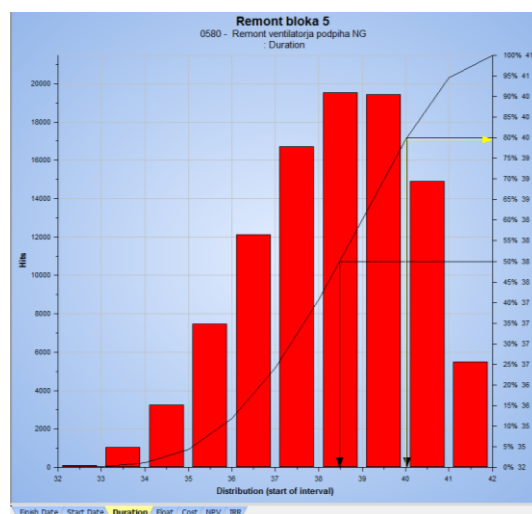
Iz primerjave histogramov vidimo, da pozitivna korelacija s predhodno aktivnostjo vpliva na verjetnost, da se bo aktivnost končala na kasnejši datum. Po uvedbi korelacije, se bo aktivnost z verjetnostjo 0,80 končala 13.7., kar je en dan kasneje, kot pred uvedbo korelacije. Sklepamo, da velika odvisnost z aktivnostjo, ki se prične prej, zamakne datum dokončanja. Pri histogramu trajanja aktivnosti zavzame enake vrednosti, zmanjša se le verjetnost, da bo aktivnost zasedla najbolj pesimistično vrednost trajanja dejavnosti, 56 dni ( iz 0,32 na 0,08). Pri aktivnosti Remont ventilatorja podpiha NG smo podali negativno korelacijo ( $-0,60$ ) z aktivnostjo. Pregled razvoda zraka kurilnega sistema. Predvideli smo, da bi površen pregled lahko povzročil, da se kakšna napaka prezre in bi s tem podaljšali sam remont ventilatorja.

S histogrami rezervnega časa in trajanja aktivnosti bomo ugotavljali spremembe.

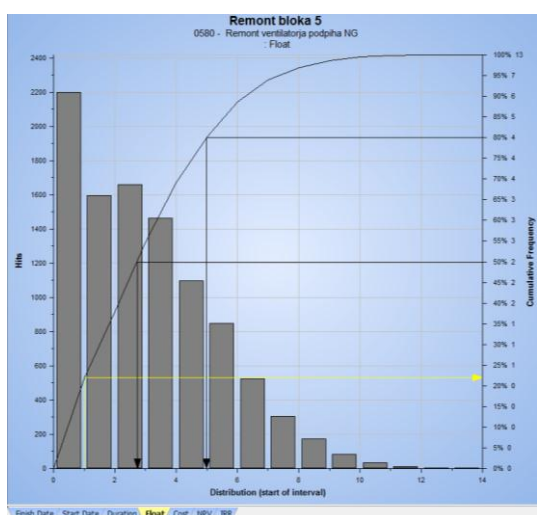




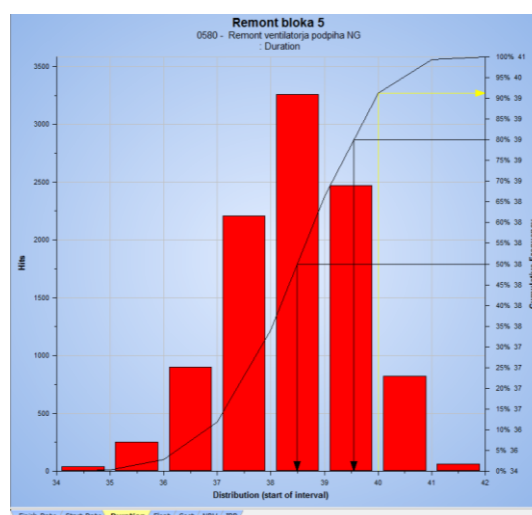
a



b



c



d

**Slika 19: Zgornji sliki, (a) in (b), prikazujeta histograma pred uvedbo korelacije, spodnji, (c) in (d), pa histograma aktivnosti Remont ventilatorja podpiha NG po uvedbi korelacije**

Uvedba negativne korelacije z dolgotrajno aktivnostjo. Pregled razvoda zraka kurilnega sistema nam zmanjša vrednost trajanja rezervnega časa. Če je prej veljalo, da je verjetnost 1, da bo rezervni čas krajši od 15 dni, se po uvedbi korelacije doseže ta verjetnost že pri 13 dneh. Razpon trajanja dejavnosti Remont ventilatorja podpiha NG, se je z negativnim pogojevanjem z dolgo trajajočo aktivnostjo zmanjšal. Pred tem je trajanje dejavnosti zajemalo verjetnosti za vrednosti od 32 do 42 dni, zdaj pa le od 34 do 42 dni. Zaradi odvisnosti se poveča verjetnost, da bo aktivnost trajala en dan manj, saj doseže verjetnost 0,8 že pri 39 dneh.

Uvedba korelacij ni vplivala na trajanje in zaključne datume celotnega projekta.

#### 6.4 Simulacija trajanja kritičnih poti v programu Mathematica

Da bi preverili skladnost rezultatov pridobljenih v programu Pertmaster in po metodi PERT, smo simulirali trajanje treh najdaljših poti skozi projekt v programu Mathematica. Podroben opis izvedene simulacije je v prilogi A.

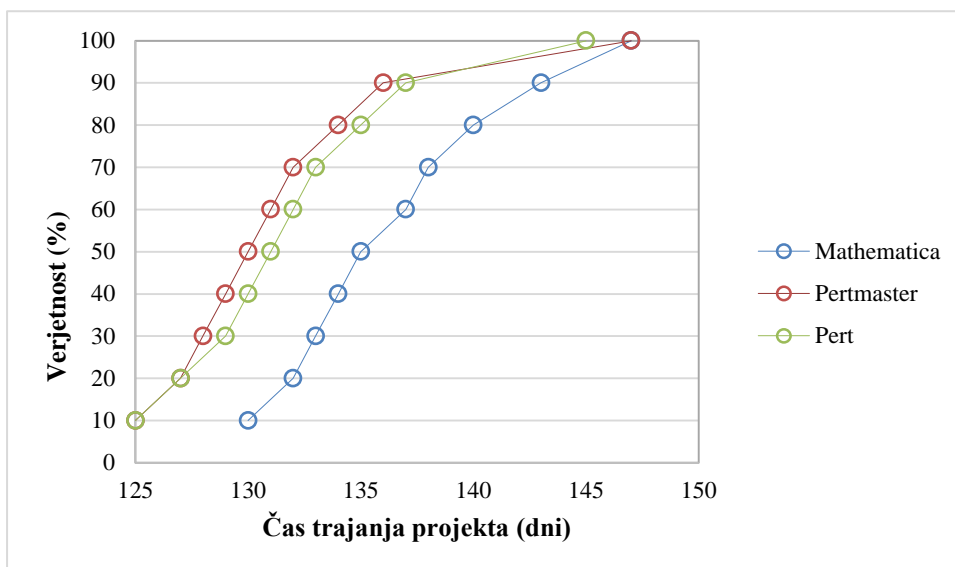
Za izvedbo simulacije v programu Mathematica smo potrebovali zaporedje dejavnosti, ki nastopajo na treh najdaljših poteh in njihove optimistične, pesimistične in najverjetnejše ocene časa trajanja.

**Preglednica 14: Čas trajanja najdaljših poti in njihovo zaporedje dejavnosti**

kritična pot	dejavnosti	število dni
2	1-2-3-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-43-44-91-82-92	19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+7+26+10+2+3+4+0+6+1= 130
4	1-2-3-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-20-21-18-19-43-44-91-82-92	19+22+20+2+1+1+0+3+1+0+2+7+5+22+10+2+3+4+0+6+1= 131
32	1-2-3-7-8-9-10-45-46-47-48-49-62-63-65-67-69-92	19+22+20+2+1+1+0+0+4+3+6+2+2+43+4+0+1= 130

**Preglednica 15: Ocene časov trajanja dejavnosti na najdaljših poteh skozi projekt**

	Dejavnost	optimistični čas	najpogostejši čas	pesimistični čas	pričakovani čas
1	Predhodna in pripravljalna dela	14	19 days	28	20
2	Gradbena in obrtniška dela	18	22 days	32	23
3	Gradnja delovnih odrov, ki stojijo med obratovanjem	17	20 days	22	20
7	Izpraznitev premoga in čiščenje bunkerjev	1	2 days	3	2
8	Izpraznitev premoga iz dodelilnikov	1	1 day	2	1
9	Nižanje temperature pare	1	1 day	2	1
10	Zaustavitev bloka 5		0 days		
11	Prisilno hlajenje TBA	2	3 days	4	3
12	Demontaža izolacije ST in NT turbine	1	1 day	2	1
13	Revizija ST dela turbine		48 days		
14	Začetek revizije ST dela turbine		0 days		
15	Gradnja delovnih odrov	1	2 days	4	2
16	Demontaža zunanega in notranjega ohišja ter rotorja	6	7 days	9	7
17	Transport v Mulheim in delo na rotorju	21	26 days	34	26
18	Montaža rotorja in ohišij, meritve	8	10 days	14	10
19	Montaža izolacije	1	2 days	3	2
20	Zamik glede na dejavnost 17	4	5 days	5	5
21	NDT kontrola (IMT)	17	22 days	30	23
43	Centriranje turbine	2	3 days	7	3
44	Nastavitve ventilov turbine, regulacije (IBS)	3	4 days	7	4
45	Remont dimno-zračnega sistema (področje SS2)		64 days		
46	Začetek remonta dimnozračnega sistema		0 days		
47	odstranjevanje pepela in žlindre	3	4 days	5	4
48	Delovni odri v lijaku kotla	2	3 days	7	3
49	Izdelava ostalih delovnih odrov v kotlu	5	6 days	10	7
62	Suho čiščenje E.F.	1	2 days	3	2
63	Pranje E.F.	1	2 days	3	2
65	Remont RECI kanalov	38	43 days	51	43
67	Balansiranje ventilatorja RECI	2	4 days	5	4
82	Preizkušanje kurilnega ter dogorevalnega sistema	5	6 days	7	6
91	Zagon bloka 5	0	1	1	1
92	Konec remonta		0		



**Slika 20:** Grafi verjetnosti dokončanja projektov po simulacijah v Pertmasterju in Mathematici (beta pert porazdelitev) ter po metodi Pert

Rezultati v Mathematici nam prikažejo večja odstopanje, saj smo dobili 50% verjetnost dokončanja remonta pri trajanju projekta 135 dni; v programu Pertmaster je ta rezultat 130 dni, po metodi PERT pa 131 dni. Razlike so manjše pri koncu grafa, ki kaže najdaljše možno trajanje projekta, ko bo remont 100% dokončan. Po simulacijah v Mathematici je ta vrednost 147 dni, po metodi PERT 145 in po programu Pertmaster 147 dni.

Do večjih odstopanj oz. daljših trajanj remonta pride zato, ker program Mathematica in program za simulacije Pertmaster različno definirata beta pert porazdelitev.

## 6.5 Analiza simulacij s porazdelitvijo beta pert

Pri uporabi programa Pertmaster smo se seznanili z natančnim in preglednim planiranjem projekta, potekom aktivnosti in možnostmi vključevanja tveganj v projekt. Za simulacijo projekta se uporablja Monte Carlo metoda, s katero se izračunajo verjetnosti rezultatov, ki se prikažejo v obliki histograma, tornado grafa in grafa razpršenosti. Sam program je primeren za velike gradbene projekte, saj z različnimi tipi aktivnosti in povezav med njimi omogoča razdelitev na podprojekte.

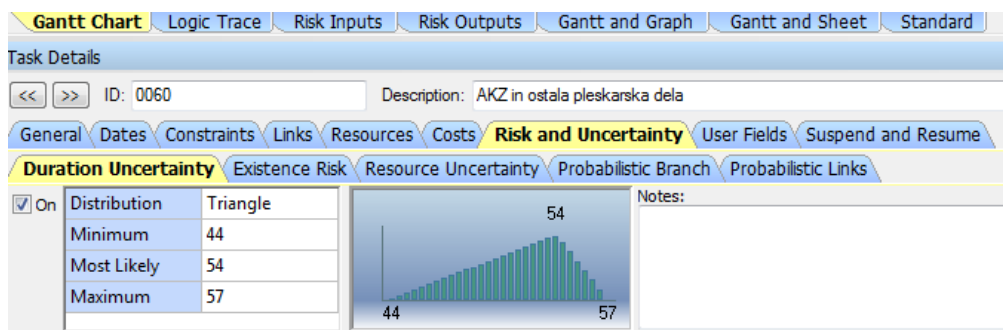
S programom Pertmaster smo simulirali projekt remonta bloka 5 leta 2011. Vhodni podatki so bile spremenljivke trajanja posameznih aktivnosti, ki smo jih pridobili od gradbenega in strojnega sektorja TEŠ. Za možno območje trajanja aktivnosti smo izbrali beta porazdelitev. Simulacija projekta je obsegala sto tisoč iteracij, vsaka iteracija predstavlja eno možno pot skozi projekt. Za rezultat smo dobili verjetnost dogodka, trajanja projekta.

Histogram trajanja projekta je potrdil rezultate pridobljene z metodo PERT. S tem smo dokazali, da je pričakovana kritična pot najdaljša pot skozi mrežni diagram in da so trajanja aktivnosti enaka njihovim pričakovanim trajanjem. Tudi iz ostalih grafov in histogramov smo dobili potrditve hipotez, ki so nam jih načrtali metodi CPM in PERT. Tornado graf kritičnosti je pokazal aktivnosti z vrednostjo 90% in več, ki smo jih prej prepoznali kot aktivnosti brez pomicnosti na vseh treh kritičnih poteh.

Simulacije v programu Mathematica so odstopale pri 50% verjetnosti dogodka za 5 dni od simulacij v programu Pertmaster. Zaradi odstopanj smo se odločili, da točnost podatkov preverimo še v simulacijah s trikotno porazdelitvijo, z uporabo obeh omenjenih programov.

## 6.6 Simulacije s trikotno porazdelitvijo

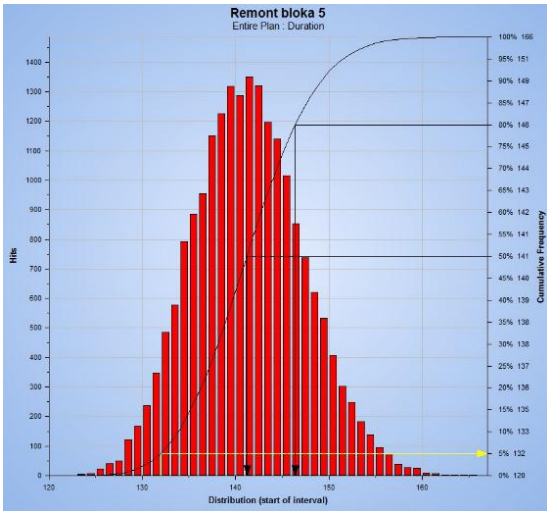
Zaradi neskladja med rezultati v programu Pertmaster in Mathematica, smo v obeh programih izvedli simulacije z uporabo druge porazdelitve. S tem smo želeli dokazati predpostavko, zakaj so bili rezultati v prejšnjih simulacijah različni in potrditi točnost vnešenih podatkov.



Slika 21: Trikotna porazdelitev pri dejavnosti antikorozivna zaščita in ostala pleskarska dela

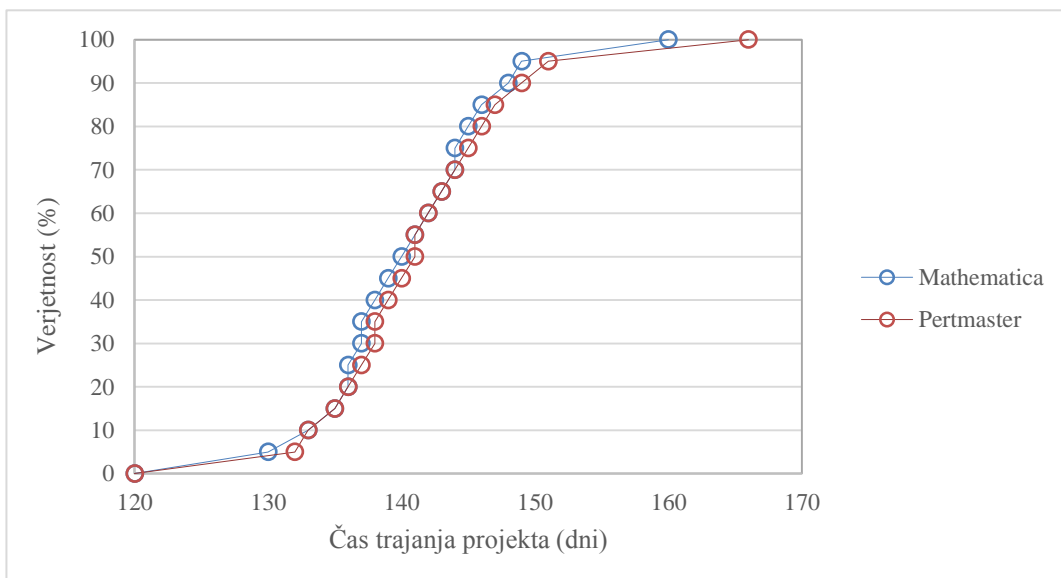
Trikotna porazdelitev je pogosto uporabljena, saj lahko v intervalu navedemo tudi najverjetnejšo vrednost, ki jo lahko zavzame slučajna spremenljivka. Ta predpostavka daje trikotno obliko gostoti verjetnosti. Na zgornji sliki lahko vidimo, da je zelo majhna verjetnost, da bo aktivnost zavzela pesimistično vrednost 44 dni, največje verjetnosti pa se gibljejo okoli 54 dni, saj smo tako predpostavili.

S simulacijami s trikotno porazdelitvijo smo dobili pri 50 % verjetnosti dokončanja projekta vrednost 141 dni. Trikotna porazdelitev je glede na beta pert porazdelitev podaljšala trajanje projekta, saj so najverjetnejše vrednosti bile bližje pesimističnim ocenam trajanja posameznih dejavnosti, kar je pri trikotni porazdelitvi bolj izrazito upoštevano. Projekt bo najverjetneje končan po 146 dneh (80 % verjetnost).



Slika 22: Histogram trajanja celotnega projekta po trikotni porazdelitvi

Točnost rezultatov simulacij v programu Pertmaster smo potrdili z rezultati iz programa Mathematica. Trajanje projekta pri določenih verjetnostih je skladno, odstopanja so največ en dan v prid programa Pertmaster. Proti verjetnosti 1 odstopanja narastejo na pet dni, kar pa potrjuje našo domnevo, da morajo biti trajanja po simulacijah daljša v programu Pertmaster kot pa v programu Mathematica. V slednje simuliramo samo tri poti, medtem ko Pertmaster simulira vrednost trajanja projekta v okviru vseh 46 dni in zato obstaja večja verjetnost, da se projekt podaljša zaradi več možnih kritičnih poti.



Slika 23: Graf verjetnosti trajanja s trikotno porazdelitvijo; grafično sta predstavljeni simulaciji v programu Pertmaster in Mathematica

## 7 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga obravnava projekt vzdrževanja bloka 5 Termoelektrarne Šoštanj. Sam projekt je zelo kompleksen in sestavljen iz velikega števila dejavnosti, ki so med seboj odvisne in povezane.

Na primeru vzdrževalnih del iz leta 2011 smo z metodo kritične poti ugotovili kritične dejavnosti in grobo oceno trajanja projekta. Seznanili smo se s kritičnimi dejavnostmi, ki nastopajo v projektu ter s tremi potmi, ki določajo trajanje projekta. Ugotovili smo, da je ta metoda uporabna pri projektih, kjer so dejavnosti točno definirane in ni tveganj, kar je za gradbene in strojne projekte malo verjetno.

Primernejša operacijska metoda je tehnika ocene in preverjanja programa (PERT), saj za svojo analizo trajanja projekta uporablja ocene časa trajanja dejavnosti. Projekti v gradbeništvu so kompleksni, tvegani in zajemajo veliko spremenljivk, ki jih je potrebno upoštevati, zato je edino pravilno, da glede na pretekle izkušnje za vsako dejavnost podamo pesimistično, optimistično in najverjetnejšo oceno trajanja dejavnosti. Glede na podane ocene Gradbenega sektorja iz TEŠ smo lahko izračunali verjetnost, da bo projekt pravočasno končan. Ugotovili smo, da če se dejavnosti skrajšajo za 11 dni, je 96 odstotna verjetnost, da bo projekt pravočasno končan. Krajšanje bi zajemalo dvoizmensko delo in stroške v višini petdeset tisoč evrov.

Rezultate, pridobljene z operacijskimi metodami, smo še nadgradili s simulacijami v programu Pertmaster in Mathematica. Program Pertmaster se nam je zdel zelo koristen in uporaben pri planiranju večjih projektov in računanju trajanja dejavnosti ter končnega datuma. Vsak projektni management bi moral uporabljati računalniško podporo, ki jo nudijo programi kot je Pertmaster, saj bi s tem predčasno predvideli vsa tveganja in odpravili njihov negativni vpliv na čas trajanja in stroške projekta. Program je potrdil verjetnosti dokončanja projekta pridobljene z metodo PERT, saj rezultati odstopajo samo za en dan. Pri Mathematici je prišlo do odstopanja par dni, saj programa drugače obravnavata beta pert porazdelitev. Da smo preveril točnost podatkov, smo simulirali trajanje projekta v obeh programih še s trikotno porazdelitvijo, ki je potrdila domnevo. Sama verjetnost zaključka projekta v predvidenem času se je zmanjšala, saj so strokovnjaki s TEŠ-a iz slabih izkušenj dajali najverjetneje čase trajanja bližje pesimističnim kot optimističnim ocenam časa trajanja.

Končna ugotovitev je, da bi zaposleni v Termoelektrarni Šoštanj morali vsako vzdrževanje termoenergetskih blokov arhivirati v digitalni obliki ter jih obdelati s primerno računalniško podporo. Čeprav vzdrževanja zajemajo obilico dejavnosti, so to večinoma rutinska opravila, ki se ponavljajo vsake štiri leta in bi lahko na osnovi preteklih izkušenj skrajšali njihovo trajanje ter racionalizirali stroške vsakokratnega remonta.

## VIRI

Ambrožič, T., Turk, G. 2000. Analiza natančnosti določitve koordinat točk v ravninski mreži z metodo Monte Carlo. Geodetski vestnik 44: 11-22.

Bilteš 2011. <http://www.te-sostanj.si/si/> (Pridobljeno 14. 1. 2013)

Drašler, M. 2002. Kontroling projektov v telekomunikacijskem podjetju. Magistersko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta (samozaložba M. Drašler): 93 f.

Greiser, G. 2006. Uporaba programske opreme Easyplan v planiranju gradbenega projekta. Diplomaska naloga. VSS Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Operativna smer (samozaložba G. Greiser): 70 f.

Hauc, A. 2002. Projektni management. Ljubljana: GV Založba.

Hillier, F., Lieberman, G. 2001. Introduction to Operations Research, 7. izdaja. Boston, McGraw-Hill Higher Education: 1214 str.

Jerala, T. 2004. Krizni management; Klasifikacija kriz s primeri in krizno ukrepanje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede (samozaložba T. Jerala): 8 f.

Kroflič, M. 2009. Planiranje projektov z metodama CPM in PERT. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, smer vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba M. Kroflič): str. 17, 90.

Kukavica, V. 2005. Monte Carlo simulacija v analizi investicijskih odločitev. Diplomaska naloga. Koper, Univerza na Primorskem, Fakulteta za management Koper, Dodiplomski visokošolski strokovni študijski program Management (samozaložba V. Kukavica): str 16-24

Monte Carlo Method. [http://en.wikipedia.org/wiki/Monte\\_Carlo\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method) (Pridobljeno 2. 8. 2013)

Pajević, D. Uporaba metod operacijskih raziskav v postopku vzdrževanje segmenta TEŠ. Seminarska naloga. Neobjavljeno gradivo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 14 str.

Rant, M., Jeraj, M., Ljubičić, T. 1998. Vodenje projektov, 2. izdaja. Radovljica, ORFIN Radovljica: 276 str.

Rek, A., 2006. Upravljanje s tveganji v gradbenem projektu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Rek): str. 54-62.

TEŠ: Blok 5. 2013. <http://www.te-sostanj.si/si/proizvodnja/tehnicni-podatki-in-tehnoloske-sheme-blokov/blok-5> (Pridobljeno 14. 1. 2013)

TEŠ: Kotel bloka 5. 2013. <http://www.te-sostanj.si/si/proizvodnja/parni-kotli/kotel-bloka-5> (Pridobljeno 14. 1. 2013)

TEŠ: Priprava tehnološke vode. 2013. <http://www.te-sostanj.si/si/proizvodnja/skupne-naprave/priprava-tehnoloske-vode> (Pridobljeno 14. 1. 2013)



Trop, B. 2011. Obratovanje bloka 5 TEŠ po prigradnji plinske turbine PT51. Diplomsko delo. Krško, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko (samozaložba B. Trop): str. 36-46.

Turk, G. 1994. Analiza zanesljivosti konstrukcij z upoštevanjem geometrijske in materialne nelinearnosti. Doktorsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Turk): str. 21-42.



## **SEZNAM PRILOG**

**PRILOGA A: PODROBEN IZPIS IZ PROGRAMA MATHEMATICA; BETA PERT  
PORAZDELITEV**

**PRILOGA B: PODROBEN IZPIS IZ PROGRAMA MATHEMATICA; TRIKOTNA  
PORAZDELITEV**

Ta stran je namenoma prazna.

## PRILOGA: PODROBEN IZPIS IZ PROGRAMA MATHEMATICA; BETA PERT PORAZDELITEV

### Začetne definicije

```
SetDirectory[NotebookDirectory[]];  
Off[General::spell1];  
Off[General::spell];  
Off[FindRoot::lstol];  
Off[Solve::ratnz];
```

### Branje z datoteke in določitev parametrov porazdelitve beta

```
pert = Import["DiplomaDarko.txt", "Table"];  
ndej = Length[pert];  
pr = {};  
p0 = {}; q0 = {};  
Do[  
  a = pert[[ii, 1]] / 1.; b = pert[[ii, 3]] / 1.; mode = pert[[ii, 2]] / 1.;  
  If[a == mode, mode = a + 0.00001];  
  If[b == mode, mode = b - 0.00001];  
  If[a == b,  
    mt = a; mtb = a; vart = 0; p = 4; q = 4,  
    e1 = mode == a + (b - a) (pp - 1) / (pp + qq - 2);  
    e3 = pp qq / (pp + qq)^2 / (pp + qq + 1) == 1 / 36;  
    res = Solve[{e1, e3}, {pp, qq}];  
    p = pp /. res; q = qq /. res;  
    ip = Flatten[Position[p, _? (# > 1 &)]];  
    iq = Flatten[Position[q, _? (# > 1 &)]];  
    p = p[[ip[[1]]]] // Re; q = q[[iq[[1]]]] // Re;  
    mt = a + (b - a) p / (p + q);  
    mtb = (a + 4 mode + b) / 6;  
    vart = (b - a)^2 / 36;];  
  p0 = Append[p0, Round[p]]; q0 = Append[q0, Round[q]];  
  pr = Append[pr, {a, mode, b, mt, mtb, vart, p, q}];, {ii, ndej}];  
MatrixForm[pr]
```

14.	19.	28.	19.5262	19.6667	5.44444	3.00038	4.60069
18.	22.	32.	22.84	23.	5.44444	2.46944	4.6736
17.	20.	22.	19.8718	19.8333	0.694444	4.48056	3.32037
1.	2.	3.	2.	2.	0.111111	4.	4.
1.	1.00001	2.	1.20525	1.16667	0.0277778	1.00003	3.8723
1.	1.00001	2.	1.20525	1.16667	0.0277778	1.00003	3.8723
2.	3.	4.	3.	3.	0.111111	4.	4.
1.	1.00001	2.	1.20525	1.16667	0.0277778	1.00003	3.8723
1.	2.	4.	2.13397	2.16667	0.25	2.82137	4.64273
6.	7.	9.	7.13397	7.16667	0.25	2.82137	4.64273
21.	26.	34.	26.3878	26.5	4.69444	3.20634	4.53015
8.	10.	14.	10.2679	10.3333	1.	2.82137	4.64273
1.	2.	3.	2.	2.	0.111111	4.	4.
4.	4.99999	5.	4.79475	4.83333	0.0277778	3.8723	1.00003
17.	22.	30.	22.3878	22.5	4.69444	3.20634	4.53015
2.	3.	7.	3.46465	3.5	0.694444	1.89128	4.56513
3.	4.	7.	4.29114	4.33333	0.444444	2.21736	4.65207
3.	4.	5.	4.	4.	0.111111	4.	4.
2.	3.	7.	3.46465	3.5	0.694444	1.89128	4.56513
5.	6.	10.	6.46465	6.5	0.694444	1.89128	4.56513
1.	2.	3.	2.	2.	0.111111	4.	4.
1.	2.	3.	2.	2.	0.111111	4.	4.
38.	43.	51.	43.3878	43.5	4.69444	3.20634	4.53015
2.	4.	5.	3.86603	3.83333	0.25	4.64273	2.82137
5.	6.	7.	6.	6.	0.111111	4.	4.
0.	0.99999	1.	0.794754	0.833327	0.0277778	3.8723	1.00003

## Simulacije

```

nsim = 20000;
i125 = 0; i130 = 0; i135 = 0; i140 = 0;
i145 = 0; i150 = 0; i155 = 0; i160 = 0; i165 = 0;

trajanja = {};
poti = {{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 26, 25},
        {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 12, 13, 16, 17, 26, 25},
        {1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 20, 19, 21, 22, 23, 24}};
npoti = Length[poti];

mt = 0; mt1 = 0; trsk = {};
For[i = 1, i < nsim + 1, i++,
  tti = Table[
    p = pr[[ii, 7]];
    q = pr[[ii, 8]];
    a = pert[[ii, 1]];
    b = pert[[ii, 3]];
    ti = a + (b - a) Random[BetaDistribution[p, q]]
    , {ii, ndej}];
  (*Print[TableForm[tti]];*)
  trajanje = Max[Table[Total[tti[[poti[[jj]]]]], {jj, npoti}];
  If[trajanje < 125, i125++]; If[trajanje < 130, i130++];
  If[trajanje < 135, i135++]; If[trajanje < 140, i140++];
  If[trajanje < 145, i145++]; If[trajanje < 150, i150++];
  If[trajanje < 155, i155++]; If[trajanje < 160, i160++];
  If[trajanje < 165, i165++];
  mt = mt + trajanje;
  trsk = Append[trsk, trajanje];
  mt1 = mt1 + Total[tti[[poti[[1]]]]];
  trajanja = Append[trajanja, trajanje];
]
p125 = i125 / nsim // N; p130 = i130 / nsim // N;
p135 = i135 / nsim // N; p140 = i140 / nsim // N;
p145 = i145 / nsim // N; p150 = i150 / nsim // N;
p155 = i155 / nsim // N; p160 = i160 / nsim // N;
p165 = i165 / nsim // N;

ppp = {{125, p125}, {130, p130}, {135, p135}, {140, p140},
        {145, p145}, {150, p150}, {155, p155}, {160, p160}, {165, p165}};

mt = mt / nsim;
mt1 = mt1 / nsim;

Print["Srednja vrednost skupnega trajanja
      (upoštevamo porazdelitev beta in eno od treh poti) ", mt];
Print["Srednja vrednost skupnega trajanja (upoštevamo
      porazdelitev beta in prvo pot) ", mt1];

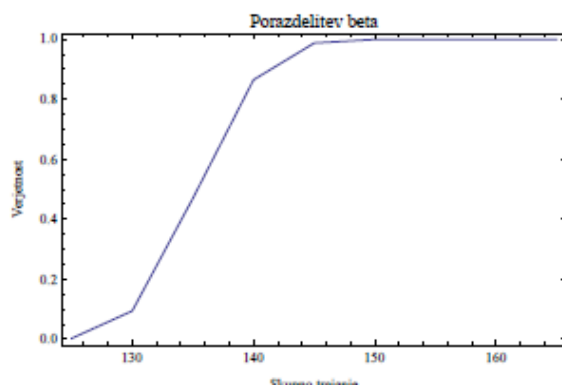
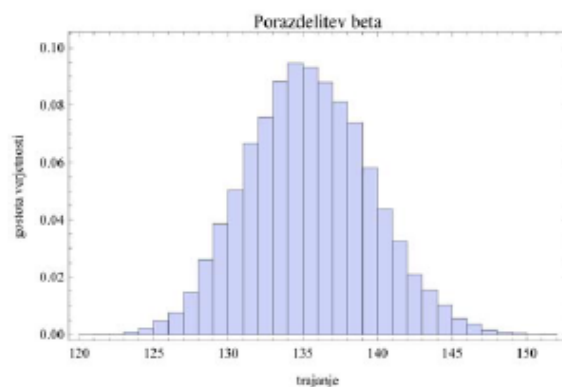
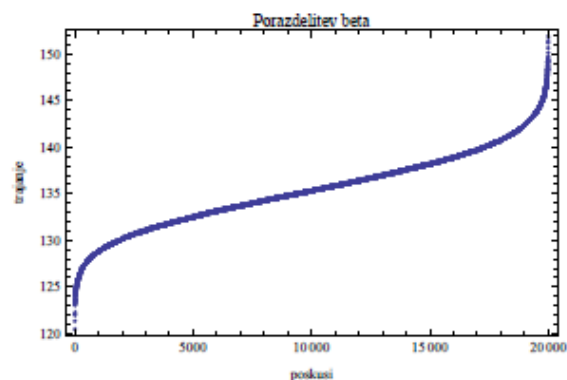
Srednja vrednost skupnega trajanja (upoštevamo porazdelitev beta in eno od treh poti)
135.412

Srednja vrednost skupnega trajanja (upoštevamo porazdelitev beta in prvo pot) 133.351

```

## Risanje

```
a1 = ListPlot[Sort[trsk], Frame -> True,  
  FrameLabel -> {"trajanje"}, {"poskusi"}, PlotLabel -> "Porazdelitev beta"]  
a2 = Histogram[trsk, {1}, "PDF", Frame -> True, FrameLabel ->  
  {"gostota verjetnosti"}, {"trajanje"}, PlotLabel -> "Porazdelitev beta"]  
a3 = ListPlot[ppp, Joined -> True, Frame -> True, PlotLabel -> "Porazdelitev beta",  
  FrameLabel -> {"Verjetnost"}, {"Skupno trajanje"}]]
```



```
Export["kumulativno-beta", a1, "jpg", ImageResolution -> 1000]  
Export["gostota-beta", a2, "jpg", ImageResolution -> 1000]  
Export["porazdelitvena-beta", a3, "jpg", ImageResolution -> 1000]  
kumulativno-beta  
gostota-beta  
porazdelitvena-beta
```





## PRILOGA B: PODROBEN IZPIS IZ PROGRAMA MATHEMATICA; TRIKOTNA PORAZDELITEV

### Začetne definicije

```
SetDirectory[NotebookDirectory[]];  
Off[General::spell1]  
Off[General::spell]  
Off[FindRoot::lstol]  
Off[Solve::ratnz]
```

### Branje z datoteke

```
pert = Import["DiplomaDarko.txt", "Table"];  
ndej = Length[pert];
```

```
MatrixForm[pert]
```

```
( 14 19 28 20 )  
 18 22 32 23 )  
 17 20 22 20 )  
 1 2 3 2 )  
 1 1 2 1 )  
 1 1 2 1 )  
 2 3 4 3 )  
 1 1 2 1 )  
 1 2 4 2 )  
 6 7 9 7 )  
 21 26 34 26 )  
 8 10 14 10 )  
 1 2 3 2 )  
 4 5 5 5 )  
 17 22 30 23 )  
 2 3 7 3 )  
 3 4 7 4 )  
 3 4 5 4 )  
 2 3 7 3 )  
 5 6 10 7 )  
 1 2 3 2 )  
 1 2 3 2 )  
 38 43 51 43 )  
 2 4 5 4 )  
 5 6 7 6 )  
 0 1 1 1 )
```

## Simulacije

```

nsim = 20 000;
i125 = 0; i130 = 0; i135 = 0; i140 = 0;
i145 = 0; i150 = 0; i155 = 0; i160 = 0; i165 = 0;

trajanja = {};
poti = {{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 26, 25},
        {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 12, 13, 16, 17, 26, 25},
        {1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 20, 19, 21, 22, 23, 24}};
npoti = Length[poti];

mt = 0; mt1 = 0; trsk = {};
For[i = 1, i < nsim + 1, i++,
  tti = Table[
    a = pert[[ii, 1]];
    c = pert[[ii, 2]];
    b = pert[[ii, 3]];
    ti = Random[TriangularDistribution[{a, b}, c]]
    , {ii, ndej}];
  (*Print[TableForm[{tti}]];*)
  trajanje = Max[Table[Total[tti[[poti[[jj]]]]], {jj, npoti}];
  If[trajanje < 125, i125++]; If[trajanje < 130, i130++];
  If[trajanje < 135, i135++]; If[trajanje < 140, i140++];
  If[trajanje < 145, i145++]; If[trajanje < 150, i150++];
  If[trajanje < 155, i155++]; If[trajanje < 160, i160++];
  If[trajanje < 165, i165++];
  mt = mt + trajanje;
  trsk = Append[trsk, trajanje];
  mt1 = mt1 + Total[tti[[poti[[1]]]]];
  trajanja = Append[trajanja, trajanje];
]
p125 = i125 / nsim // N; p130 = i130 / nsim // N;
p135 = i135 / nsim // N; p140 = i140 / nsim // N;
p145 = i145 / nsim // N; p150 = i150 / nsim // N;
p155 = i155 / nsim // N; p160 = i160 / nsim // N;
p165 = i165 / nsim // N;

ppp = {{125, p125}, {130, p130}, {135, p135}, {140, p140},
        {145, p145}, {150, p150}, {155, p155}, {160, p160}, {165, p165}};

mt = mt / nsim;
mt1 = mt1 / nsim;

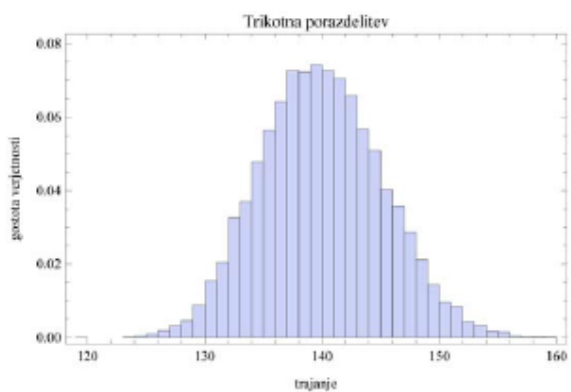
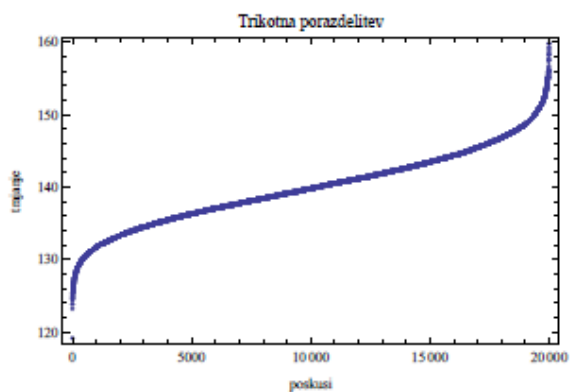
Print["Srednja vrednost skupnega trajanja
      (upoštevamo trikotno porazdelitev in eno od treh poti) ", mt];
Print["Srednja vrednost skupnega trajanja (upoštevamo
      trikotno porazdelitev in prvo pot) ", mt1];

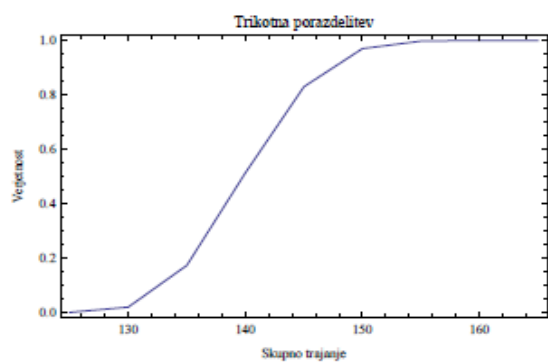
Srednja vrednost skupnega trajanja
      (upoštevamo trikotno porazdelitev in eno od treh poti) 139.972
Srednja vrednost skupnega trajanja (upoštevamo trikotno porazdelitev in prvo pot)
137.646

```

## Risanje

```
a1 = ListPlot[Sort[trsk], Frame -> True,  
  FrameLabel -> {{"trajanje"}, {"poskusi"}}, PlotLabel -> "Trikotna porazdelitev"]  
a2 = Histogram[trsk, {1}, "PDF", Frame -> True,  
  FrameLabel -> {{"gostota verjetnosti"}, {"trajanje"}},  
  PlotLabel -> "Trikotna porazdelitev"]  
a3 = ListPlot[ppp, Joined -> True, Frame -> True,  
  PlotLabel -> "Trikotna porazdelitev",  
  FrameLabel -> {{"Verjetnost"}, {"Skupno trajanje"}}]
```





```
Export["kumulativno-trikotna", a1, "jpg", ImageResolution -> 1000]  
Export["gostota-trikotna", a2, "jpg", ImageResolution -> 1000]  
Export["porazdelitvena-trikotna", a3, "jpg", ImageResolution -> 1000]  
kumulativno-trikotna  
gostota-trikotna  
porazdelitvena-trikotna
```