UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za elektrotehniko

Klemen Nagode

ŠTUDIJA IZVAJANJA FUNKCIONALNIH PREIZKUSOV NA AGREGATU HIDROELEKTRARNE MOSTE

DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Mentor: doc. dr. Boštjan Murovec

Ljubljana, december 2007

Zahvala

Na prvem mestu se želim zahvaliti mentorju doc. dr. Boštjanu Murovcu za strokovno vodstvo in pregled diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi zaposlenim v podjetju Savske elektrarne Ljubljana d.o.o., še posebej g. Antonu Koselju, inž. el. in g. Bojanu Završniku, inž. el. za dragocene nasvete iz prakse.

Zahvaljujem se tudi svoji Vesni in staršem za izkazano podporo v času študija.

Povzetek

Danes bi si težko predstavljali življenje brez električne energije. Hidroelektrarne so že dolgo eden od ključnih virov električne energije v svetu. Hidroelektrarna Moste je zgrajena na reki Savi v Žirovnici in obratuje kot edina akumulacijska hidroelektrarna na ozemlju Slovenije. Trenutno se nahaja v procesu obnove, saj je zaradi parcialnih pritiskov na stojnico s strani brežine in iztrošenosti opreme njeno nadaljnje obratovanje vprašljivo. Elektrarna je namenjena proizvodnji vršne in trapezne energije, kar pomeni delovanje v času največjih obremenitev. Posledica slednjega je stalna pripravljenost agregatov in ostale elektro-strojne opreme na proizvodnjo energije, kar zahteva redne vzdrževalne posege. V okviru vzdrževalnih del se izvajajo tudi funkcionalni preizkusi, ki izkazujejo tehnično funkcionalnost opreme. Vsi preizkusi morajo biti ustrezno dokumentirani z vsemi izvedenimi koraki, kar je potrebno dokazovati inšpekcijskim službam.

Diplomsko delo obravnava študijo izvajanja funkcionalnih preizkusov ob upoštevanju uporabniške prijaznosti, hitrega izvajanja in enostavnega zapisa korakov v datoteko. Razčlemba postopka izvajanja funkcionalnih preizkusov predstavlja dodano vrednost delu funkcionalnih specifikacij sistema vodenja agregata 4. V tem okviru se predvideva zmanjšanje časa izvajanja funkcionalnih preizkusov in s tem povezane manjše stroške. Implementacija ideje se predvideva kot možnost uporabe v prenovljenem sistemu vodenja po obnovi hidroelektrarne Moste. V diplomskem delu je koncept izvajanja funkcionalnih preizkusov podprt s simulacijo v okolju LabView 8.0. Obravnavan je preizkus odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka in nekatere osnovne funkcije vodenja agregata, ki služijo razumevanju izvajanja preizkusa. Vse korake lahko uporabnik izvaja preko enostavnega uporabniška vmesnika. Sprotno preverjanje korakov omogoča kronološka lista, kjer lahko vzdrževalec preveri vsak dogodek. Rezultati preizkusa so zabeleženi v Excel datoteki, ki jo uporabnik lahko natisne in predloži kot dokazno gradivo korektnega izvajanja. Enostavno, hitro in sprotno dokumentirano izvajanje preizkusa, predstavljeno s simulacijo, je v vodstvu elektrarne naletelo na precejšnje zanimanje, saj v okviru hidroelektrarn v Sloveniji še ni uvedeno do take mere.

Ključne besede: hidroelektrarna Moste, funkcionalni preizkus, agregat, vodilnik, simulacija, uporabniška prijaznost, LabView

Abstract

Nowadays it is difficult to consider life without electrical energy. For many years hydroelectric power plants are crucial source of electrical energy. Hydroelectric power plant Moste is located on river Sava in Žirovnica and is the only accumulating type of hydroelectric power plats in Slovenia. With consideration to partial forces on engine room from bank and great amount of operating years, which threads future operating, hydroelectric power plant is in the process of renewal. Operation of hydroelectric power plant provides cover of trapezium energy and energy peaks in particular hours. Main consequence is that generators, turbines and other machinery have to be in stand-by process all the time, therefore need regularly maintenance. Functional tests are part of maintenance procedure and prove technical functionality of electro-machine equipment. Steps of functional tests must be documented and are usually examined by inspectors. Thesis presents performance study of functional tests considering user-friendly emphasis, fast execution and step writing in Excel file. The aim of procedure analysis is to ensure extra value to part of functional specifications for controlling aggregate 4. According to that we assume decrease of execution time and lower costs. Implementation of idea presents option of usage in renewed control system of aggregate 4.

In thesis we developed concept for execution of functional tests, implemented with simulation in LabView 8.0. We performed test of opening and closing ring of stationary guide vanes without water flow and also some functions of control system that are basics for understanding testing process. User can execute all steps of functional test with user interface. Historical window provides successively monitoring of executed steps. Results of test are written in Excel file, which offers immediate printing that presents proof of steps made at testing.

Easy to control, fast and documented simulation of the functional test execution has been approved by management of hydroelectric power plant Moste.

Key words: hydroelectric power plant Moste, functional test, aggregate, ring of stationary gate vanes, simulation, user friendly approach, LabView

Kazalo vsebine

1	UV	/OD	. 1	
	1.1	Hidroelektrarna Moste	. 1	
	1.2 Tematika diplomske naloge			
2	Ob	nova hidroelektrarne Moste	. 5	
3	Opis glavnih podsklopov agregata			
	3.1	Sinhronski generator	9	
	3	.1.1 Stator in rotor	9	
	3	.1.2 Moč, hitrost vrtenja in uporaba	10	
	3	.1.3 Sinhronizacija	10	
	3	.1.4 Jalova obremenitev	12	
	3	.1.5 Delovna obremenitev	13	
	3	.1.6 Krivulje V	13	
	3	.1.7 Obratovalni diagram sinhronskega generatorja	14	
	3.2	Francisova turbina	15	
	3	.2.1 Osnove delovanja	15	
	3	.2.2 Hidravlični krmilni sistem Francisove turbine	16	
	3.3	Turbinski regulator	20	
	3.4	Vzbujalni sistem z napetostnim regulatorjem	21	
4.	Pre	enova sistema vodenja agregata 4	23	
	4.1	Hierarhija sistema vodenja	23	
	4.2	Mesta vodenja oziroma krmiljenja	24	
	4.3	Predpostavke za izvedbo	24	
	4.4	Vodenje agregata 4 iz strojnice elektrarne	25	
5.	Fu	nkcionalni preizkusi	27	
	5.1	Preizkus odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka	28	
	5.2	Ostali funkcionalni preizkusi	44	
6.	Sir	mulacija v okolju LabView	47	
	6.1	Okolje Labview	47	
	6.2	Nastavitev uporabniškega okna	48	
	6.3	Izvajanje simulacije	49	
	6	.3.1 Prijava z uporabniškim imenom in geslom	50	

	6.3.2 Star	rt/stop sekvenca	52				
	6.3.3 Sin	nulacija odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka	56				
	6.3.3.1	Izvanjanje glavne »while« zanke z ustreznim časom vzorčenja	56				
	6.3.3.2	Izvajanje pogojev in akcij preizkusa	57				
	6.3.3.3	Kronološka lista	60				
	6.3.3.4	Dogodki	63				
	6.3.3.5	Zapis v Excel datoteko	66				
	6.3.3.6	Povezava s krmilnikom	68				
	6.3.3.7	Rezultati izvedenega preizkusa	69				
7	Zaključek		71				
8	Literatura		73				
Iz	Izjava75						

Kazalo slik

Slika 1: obratovalni diagram HE Moste in HE Završnica	2
Slika 2: trend deformacij prečnega prereza strojnice (agregat 4)	5
Slika 3: primer razpoke zaradi zemeljskih pritiskov na strojnico	6
Slika 4: sinhronizacija generatorja na omrežje, preslikano iz [6: str. 164]	. 11
Slika 5: kazalčni diagrami sinhronskega generatorja, preslikano iz [6: str. 166]	. 12
Slika 6: položaj kazalcev ob delovni obremenitvi generatorja, preslikano iz [6: str. 167]	. 13
Slika 7: družina krivulj V, preslikano iz [6: str. 175]	. 14
Slika 8: obratovalni diagram sinhronskega generatorja, preslikano iz [6: str. 181]	. 15
Slika 9: gonilnik z vodilnimi lopaticami bivše črpalne turbine agregata 4	. 17
Slika 10: regulacija turbine	. 18
Slika 11: izolacijski ventil	. 19
Slika 12: glavni krmilni ventil	. 19
Slika 13: koncept preizkusa odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka	. 29
Slika 14: izvedba pogojev	. 30
Slika 15: izvedba prvega koraka preizkusa	. 32
Slika 16: izvedba drugega koraka preizkusa	. 33
Slika 17: izvedba tretjega koraka	. 34
Slika 18: izvedba četrtega koraka	. 35
Slika 19: izvedba petega koraka	. 36
Slika 20: izvedba od šestega do desetega koraka – odpiranje vodilnika do 75 %	. 37
Slika 21: izvedba od enajstega do trinajstega koraka - zapiranje vodilnika	. 38
Slika 22: testiranje funkcije »hitra zapora 1«	. 40
Slika 23: izvedba sedemnajstega koraka	. 41
Slika 24: izvedba osemnajstega koraka	. 42
Slika 25: izvedba koraka devetnajst	. 43
Slika 26: izvedba koraka enaindvajset	. 44
Slika 27: primer preprostega VI-ja; uporabniški vmesnik (levo) in bločni diagram (desno)	. 48
Slika 28: vsebina projekta	49
Slika 29: izbira datoteke za vpis dogodkov	. 50
Slika 30: vpis uporabniškega imena in gesla	. 50
Slika 31: potrditev pravilno vnesenih podatkov	51
Slika 32: del bločnega diagrama, ki zahteva vnos uporabniškega imena in gesla	. 51

Slika 33: okno izbira režima
Slika 34: pogoji za start
Slika 35: start/stop sekvenca
Slika 36: pogoji prvega koraka
Slika 37: glavna »while zanka« s časom vzorčenja
Slika 38: gumbi (levo) in zavihki (desno) za preklop med okni
Slika 39: glavno uporabniško okno za izvajanje preizkusa58
Slika 40: okno, namenjeno odpiranju in zapiranju vodilnika, in testiranju funkcije »hitra
zapora 1« (zgoraj) ter zabeležene akcije v kronološki listi po opravljenem preizkusu (spodaj)
Slika 41: zaznavanje napake ob vpisu v okno »odpiranje ali zapiranje«60
Slika 42: primer vrstice v kronološki listi61
Slika 43: sestava vrstice kronološke liste (koda podprograma)61
Slika 44: vpis v tabelo
Slika 45: »struktura dogodkov« (ang.: event structure)
Slika 46: programsko proženje dogodka65
Slika 47: koda podprograma, ki sestavi vrstico za vpis v Excel datoteko
Slika 48: koraki zapisa v Excel datoteko67
Slika 49: primeri serijskih komunikacijskih vmesnikov, preslikano iz [22]68

Kazalo tabel

Tabela 1: logični simboli	. 53
Tabela 2: pregled korakov in pripadajočih pogojev realnega sistema	. 54
Tabela 3: opis formatnih določil datum/čas	62
Tabela 4: zabeleženi rezultati preizkusa v Excel datoteki	69

1 UVOD

V današnjem času ima električna energija velik pomen. Vsakdo izmed nas je že občutil izpad električne energije ter posledice, ki so največkrat izpad produktivnosti in finančnega priliva ter organizacijska zmeda. Za stabilno gospodarstvo, uspešen razvoj ter normalno življenje potrebujemo zanesljive vire energije, ki so povezani v distribucijsko omrežje. Eden izmed pomembnejših virov električne energije so hidroelektrarne, ki izkoriščajo potencialno energijo vode, katero preko turbin in generatorjev pretvorijo v električno energijo.

Na ozemlju Slovenije so tri verige hidroelektrarn: Dravske, Soške in Savske. V verigo Savskih elektrarn je vključena hidroelektrarna Moste, ki se nahaja v Žirovnici in je trenutno v začetnem stanju obnove. Za varno in gospodarno upravljanje ter uspešne redne letne revizije potrebuje hidroelekrarna zanesljiv sistem vođenja. Slednji mora upoštevati vidike, kot so: tehnični, ekonomski, človeški in organizacijski. Poleg zanesljivega upravljanja procesa mora sistem vođenja omogočati nadzor in vođenje izrednih obratovalnih stanj, ustrezno alarmiranje, zajem in prenos podatkov, komunikacijo s perifernimi vmesniki in z bazo podatkov ter sprotno ugotavljanje in odpravljanje napak. Bistvenega pomena je tudi komunikacija operaterja ali vzdrževalca s sistemom vođenja, ki mora biti enostavna, enoznačna in uporabniško prijazna.

Pri samem življenskem ciklu sistema vodenja so pomembne začetne faze, kot so analiza potreb in opredelitev zahtev ter opredelitev specifikacij; tem fazam in z njimi povezanim odločitvam je potrebno posvetiti veliko pozornosti. Morebitne nepravilnosti, neprimerni pristopi ter površna opredelitev začetnih faz pri načrtovanju sistema vodenja se kasneje vlečejo skozi celoten življenjski cikel le-tega ter povzročajo težave in povečano finančno breme podjetju.

1.1 Hidroelektrarna Moste

Hidroelektrarna Moste je zgrajena na Savi Dolinki pod Žirovnico. Že od leta 1952 obratuje kot prva hidroelektrarna na reki Savi, in se nahaja pred začetkom obnove. Zgrajena je kot akumulacijska hidroelektrarna za proizvodnjo vršne energije. Akumulacijski bazen omogoča tedensko izravnavo pretokov. Omejuje ga 60 m betonska pregrada, ki se nahaja v najožjem delu savskega kanjona v soteski Kavčke [9].

Hidroelektrarna Moste izrablja potencialno energijo reke Save in potoka Završnica. Elektro in strojno opremo predstavljajo štirje agregati, vsakega izmed njih sestavlja turbina in generator. Reka Sava poganja prve tri turbine, medtem ko četrto turbino poganja potok Završnica. Vsaka izmed turbin poganja po en sinhronski generator, kateri preko transformatorjev pošiljajo električno energijo v omrežje.

Glavna vloga hidroelektrarne Moste je proizvodnja vršne in trapezne električne energije, kar pomeni pokrivanje obremenitev v času največje porabe. Pri proizvodnji vršne energije je potrebno elektroenergetskemu sistemu zagotoviti v kratkem obdobju veliko moč. Slika 1 prikazuje primer dnevnega poročila dne 15. 12. 2006, ki je prikazan v obliki obratovalnega diagrama. Največjo obremenitev ima elektrarna ob osmi uri zjutraj, ko delovna moč pogosto doseže 20 MW. Pomembno je tudi spremljanje nihanja kote vode akumulacijskega bazena Moste in akumulacijskega bazena Završnica, saj je dopustnost nihanja obeh bazenov omejena glede na časovni interval.



Slika 1: obratovalni diagram HE Moste in HE Završnica

Elektrarna je s svojim delovanjem sposobna pokriti do 40 % potreb konične energije v Sloveniji. O pomembnosti hidroelektrarne govori dejstvo, da je konično energijo težko dobiti in na tujih trgih dosega tudi do dvajsetkrat višjo ceno od običajne [8].

1.2 Tematika diplomske naloge

Diplomska naloga obravnava sistem vođenja agregata 4 na HE Moste v Žirovnici. Naši cilji so:

- predstaviti obstoječi sistem vodenja agregata 4,
- ugotoviti možnosti izboljšav na sistemu vodenja z upoštevanjem norm in predpisov delovanja,
- zmanjšati čas, ki ga vzdrževalne ekipe potrebujejo za izvajanje funkcionalnih preizkusov, kar bi posledično zmanjšalo stroške in možnost človeških napak,
- izdelati funkcionalne specifikacije, ki se nanašajo na povečanje stopnje uporabniške prijaznosti sistema vodenja in predstavljajo ogrodje naslednje faze načrtovanja in
- ustvariti pogoje za apliciranje predlaganih rešitev, kot so izdelava simulacije ter nekaterih funkcij vodenja agregata 4 v programskem okolju LabView 8.0

2 Obnova hidroelektrarne Moste

Strojnico HE Moste, v kateri se nahajajo štirje agregati, sestavljajo tri etaže:

- 1. generatorska etaža,
- 2. regulatorska etaža in
- 3. turbinska etaža.

V zadnjem času so se pojavile težave zaradi drsenja brežine terena, na katerem se nahaja strojnica. Poleg same betonske konstrukcije je tudi večina elektro-strojne opreme zaradi svoje lokacije podrvžena zemeljskim pritiskom z notranje strani brežine. Trend deformacij strojnice je prikazan na sliki 2.



Slika 2: trend deformacij prečnega prereza strojnice (agregat 4)

Zaradi tega je gradbena konstrukcija strojnice na nekaterih delih poškodovana in razpokana (slika 3), kar ima za posledico pogoste zastoje na elektro-strojni opremi, pogosto centriranje osi agregata ter visoke stroške vzdrževanja in izpad energije.

Drugi razlog obnove je iztrošenost primarne opreme, ki je bila sicer redno amortizirana in vzdrževana, a ima ponekod za seboj že 53 let delovanja. To dokazujejo občasni obratovalni zastoji, visoki stroški vzdrževanja in izpad proizvodnje (npr. preboj 35 kV kablov leta 2004, slaba izolacija generatorjev in transformatorjev – poročila elektroinštituta, poškodbe ležajev, ...). Dosedanji ukrepi so bili izvršeni v smeri sanacije strojnice s prednapetimi sidri (1980, 1994), a so se izkazali dolgoročno kot neuspešne rešitve. Sledi, da bi brez resnejše obnove, ki bi zagotavljala stabilnost strojnice in posodobitve elektro-strojne opreme, težko zagotovili nadaljnje obratovanje elektrarne.



Slika 3: primer razpoke zaradi zemeljskih pritiskov na strojnico

Obseg obnove predvideva [1: str. 7]:

- poleg delno rekonstruiranega četrtega agregata, bi se namesto sedanjih treh vgradila le dva agregata z pretočnostjo 13 m³/s in nazivno močjo po 6,8 MW,
- prostor sedanjega drugega agregata se uporabi za boljšo konstrukcijsko vezavo strojnice,
- sedanji tretji agregat se namesti enako kot prvi agregat (skrajšana gred), pri tem se uporabi že obratujoči generator, ki je že bil zamenjan za tako namestitev in večjo nazivno moč,
- opusti se sedanja transformacija 6,3 kV / 35 kV za vsak agregat. Transformatorji so nameščeni v bokse ob strojnici. Formira se novo 6,3 kV stikališče v prostoru

sedanjega 35 kV stikališča. V to stikališče se na 6,3 kV nivoju priključita agregata ena in dve, ter agregat štiri, ki obratuje na zajetju Završnica,

- opusti se sedanja transformacija 110 kV / 6,3 kV za agregat 4 in se ta priključi v novo
 6,3 kV stikališče,
- sedanja oljno-zračno hlajena transformatorja moči 31,5 MVA in 20 MVA, 110 kV / 35 kV nameščena v 110 kV stikališču se zamenjata z novima oljno-zračno hlajenima transformatorjema moči 25 MVA, 110 kV / 6,3 kV,
- zamenja se celoten sistem lastne porabe elektrarne, razen del baterij 220 V DC, opusti se sistem 48 V DC
- zamenja se celoten sistem krmiljenja in vodenja v elektrarni (agregati, pomožni sistemi) in
- obnovijo se elektrogradbene instalacije v obsegu, ki ga zahteva obnova drugih sklopov in sistemov.

3 Opis glavnih podsklopov agregata

Zaradi velike stopnje kompleksnosti elektro-strojne opreme, katero hidroelektrarna potrebuje za delovanje, je vsak izmed agregatov razdeljen na posamezne podsklope. Vitalne podsklope predstavljajo:

- sinhronski generator,
- Francisova turbina,
- vzbujalni sistem z napetostnim regulatorjem in
- turbinski regulator.

3.1 Sinhronski generator

Sinhronski generator je trifazni vrteči se stroj. Svoje ime je dobil po lastnosti, da se njegov rotor vrti točno v ritmu vrtilnega magnetnega polja, torej sinhrono s poljem. Osnovno lastnost opisuje zveza med električno frekvenco f vzbujalnega toka, hitrostjo vrtenja n statorskega vrtilnega magnetnega polja in številom polovih parov p:

$$n = \frac{f}{p} \tag{1}$$

Sinhronskemu stroju se spreminja hitrost vrtenja samo, če se mu spreminja frekvenca f trifaznega omrežja [6].

3.1.1 Stator in rotor

Stator je mirujoč del stroja, medtem ko je rotor vrteči del stroja. Pri današnjih konstrukcijah sinhronskih strojev zagotovimo sinhronsko vrtenje rotorja tako, da s statorskim trifaznim navitjem vzbudimo vrtilno magnetno polje. Statorju zato pravimo indukt. Rotor je magnet, ki ima ravno toliko polov kot vrtilno magnetno polje. Rotorju pravimo zato magnetno kolo. Med rotorjem in vrtilnim poljem lahko nastane enakomerna sila oziroma navor samo, če se oba vrtita z enako hitrostjo. Stroj lahko enakomerno deluje samo s sinhronsko hitrostjo, oziroma v sinhronizmu [6: str. 135].

3.1.2 Moč, hitrost vrtenja in uporaba

Sinhronski generatorji so danes glavni proizvajalci električne energije. Praktično vsi generatorji v termoelektrarnah, hidroelektrarnah, nuklearnih elektrarnah, diezelskih elektrarnah, plinskih elektranah in vetrnih elektrarnah so sinhronski stroji [6: str. 135].

Sinhronski generator se s svojim vrtenjem prilagaja frekvenci električnega omrežja, katerega napaja z energijo. V Sloveniji znaša frekvenca omrežja 50 Hz, medtem ko imajo Združene države Amerike 60 Hz.

Vodne turbine, ki v hidroelektrarnah poganjajo sinhronske generatorje, se vrtijo od 62,5 vrt/min (48 parov polov) pa vse do 1000 vrt/min (3 pari polov) [6].

Generator 4 v hidroelektrarni Moste poganja spiralna Francisova vodna turbina, ki se vrti s hitrostjo 750 vrt/min. Z upoštevanjem enačbe (1) lahko izračunamo število polovih parov:

$$p = \frac{n}{f} = \frac{50 \,\mathrm{s}^{-1}}{12.5 \,\mathrm{s}^{-1}} = 4 \tag{2}$$

Ostali tehnični podatki za generator 4 iz leta 1977, proizvajalca Končar Group, Zagreb, Hrvaška [10]:

- nazivna moč: 11 MVA,
- nazivna napetost: 6,3 kV \pm 5 % in
- cos *φ*: 0,7.

3.1.3 Sinhronizacija

Če želimo priključiti zunanje trifazno omrežje napetosti U na sponke statorskega navitja, mora biti izpolnjena enačba 1 tudi za omrežno napetost, torej $f_u = p \cdot n$. Poleg tega pa s priključitvijo sinhronskega stroja na zunanje omrežje ne želimo povzročiti tokovnih sunkov, kateri povzročijo sunke navora. Slednji lahko ogrozijo stroj in ga poškodujejo [6]. Slika 4 prikazuje postopek sinhronizacije sinhronskega generatorja na omrežje.



Slika 4: sinhronizacija generatorja na omrežje, preslikano iz [6: str. 164]

Sinhronizacija je razdeljena na štiri stopnje [6: str. 164]:

- prepričamo se o enakem faznem zaporedju trifaznih priključkov omrežja in sinhronskega stroja na sinhronizacijskem stikalu. To zagotovimo s preverjanjem vezja in merilnikom faznega zaporedja,
- 2. izenačimo napetosti omrežja U in sinhronskega stroja E_f , kar uredimo z nastavitvijo rotorskega vzbujalnega toka I_r in z voltmetroma kontroliramo U in E_f ,
- 3. izenačimo frekvenci omrežja f_u in sinhronskega stroja f. Slednje dosežemo z nastavitvijo hitrosti turbine po enačbi $n = \frac{f_u}{p} = \frac{f}{p}$ ter kontroliramo z merilnikom frekvence f in f_u ,
- 4. zagotovimo enaki fazi omrežne napetosti U in strojeve napetosti E_f . To dosežemo z naravnanjem mehanskega pogonskega stroja do prave lege vrtečega se rotorja.

Ob izpolnitvi zgoraj navedenih stopenj ničelni voltmeter pokaže $\Delta U = 0$ (slika 5, levo), kar pomeni da med sponkami odprtega sinhronizacijskega stikala ni napetosti. Sledi vklop sinhronizacijkega stikala brez povzročitve tokovnega sunka. Sinhronhronski stroj je še vedno v prostem teku, a pripravljen za obremenitev.

3.1.4 Jalova obremenitev

S povečanjem rotorskega vzbujalnega toka I_r se ustrezno poveča E_f po karakteristiki zračne reže. Faza napetosti E_f se ne spremeni in je še vedno v sofazi z napetostjo U. Med obema napetostima nastane napetostna razlika ΔU , tako da je zagotovljeno napetostno ravnotežje v tokokrogu stroj-omrežje, ki ga opisuje enačba

$$E_f - U - \Delta U = 0 \tag{3}$$

Padec napetosti povzroči bremenski tok I, ki začne teči preko sinhronizacijskega stikala med omrežjem in sinhronskim strojem. Le-ta je popolnoma induktiven in zaostaja za ΔU za 90°. Sinhronski generator v tem primeru dobavlja induktivne tokove induktivnim bremenom, omrežje ga zaznava kot kapacitivnost oziroma kondenzator. Temu stanju pravimo prevzbujanje, dano situacijo prikazuje srednji kazalčni diagram na sliki 5 [6].



Slika 5: kazalčni diagrami sinhronskega generatorja, preslikano iz [6: str. 166]

V primeru, da po končani sinhronizaciji in prostem teku zmanjšamo rotorski vzbujalni tok, se posledično zmanjša tudi E_f (slika 5, desni kazalčni diagram). Padec napetosti sedaj obrne fazo za 180°, da zadosti kazalčni enačbi 3. Sedaj bremenski tok zaostaja za 90° za ΔU , in prehiteva napetost U za 90°. Električno omrežje zazna podvzbujen sinhronski generator kot induktivnost oziroma dušilko [6: str. 167].

3.1.5 Delovna obremenitev

Ko je generator sinhroniziran na omrežje in ga poganja vodna turbina, napetost E_f prehiteva omrežno napetost U, pri tem pa sta obe napetosti enaki po velikosti. Iz slike 6 je razvidno, da se padec napetosti ΔU prišteva napetosti U do E_f .



Slika 6: položaj kazalcev ob delovni obremenitvi generatorja, preslikano iz [6: str. 167]

Bremenski tok I je določen kot kvocient padca napetosti in sinhronske reaktance in je podan z enačbo

$$I = \frac{\Delta U}{X_s} \tag{4}$$

Glede na kazalec ΔU je bremenski tok popolnoma induktiven in zaostaja za 90° za ΔU , po drugi strani pa je skoraj popolnoma v fazi z omrežno napetostjo [6: str. 167].

3.1.6 Krivulje V

Krivulje V kažejo medsebojno odvisnost statorskega bremenskega toka I in rotorskega vzbujalnega toka I_r pri konstantni napetosti U in konstantni moči P. Svoje ime so dobile po značilnih oblikah, podobnih črki V [6: str. 175].

V prejšnjih sekcijah je bilo ugotovljeno, da na jalovo komponento statorskih tokov vplivamo z rotorskim vzbujanjem, na delovno komponento pa s močjo turbine, ki poganja rotor. S tem ko vzbujalni tok vpliva na jalovo komponento moči, vpliva tudi na faktor moči oziroma fazni kot φ , ki je kot med statorskim tokom in statorsko napetostjo. Statorski tok je pri konstantni moči *P* najmanjši takrat, kadar je faktor moči ena, in raste če se faktor moči manjša. Na sliki 7 je prikazana družina krivulj V. Črtkane krivulje povezujejo točke konstantnega faktorja moči. Desno od črte $\cos \varphi = 1$ je sinhronski generator prevzbujen in omrežje ga čuti kot mešano ohmsko - kapacitivno obremenitev, levo od te črte pa podvzbujen in predstvalja za omrežje delovno - induktivno obremenitev.



Slika 7: družina krivulj V, preslikano iz [6: str. 175]

3.1.7 Obratovalni diagram sinhronskega generatorja

Obratovalni diagram sinhronskega generatorja ponazarjamo s krožnim diagramom. Le-ta obsega vsa obratovalna stanja sinhronskega stroja. Zgornji del slike 8 prikazuje generatorsko obratovanje (kateri je za nas pomemben), medtem ko je pod abcisno osjo motorsko obratovanje. Skozi točko S poteka navpičnica, ki meji stabilno (desni del) in nestabilno delovanje. Pomembna je tudi navpičnica skozi točko O, ki predstavlja mejo med prevzbujenim (desni del) in podvzbujenim delovanjem.

V obratovalnem diagramu na sliki 8 je vrisan kazalec navidezne moči S_{gN} z enačbo, preko katere lahko odčitamo delovno in jalovo moč. Delovno moč P predstavlja ordinata, jalovo moč pa abcisa kazalca navidezne moči S_{gN} .

Kadar sinhronski stroj obratuje na omrežju, ima pomembne omejitve, ki jih je potrebno upoštevati. Premica od točke 4 do 5 (slika 8) je največja moč pogonskega stroja $P_{g,maks}$, ki poganja sinhronski generator. Del krožnice med točkama 1 in 2 predstavlja omejitev najmanjšega vzbujalnega toka $I_{r,min}$, ki ga določa vzbujalna naprava s svojim napetostnim regulatorjem. Krivulja med točkama 2 in 3 predstavlja mejo stabilnosti pri generatorskem delovanju sinhronskega stroja. Meja med točkama 3 in 4, ter od točke 6 naprej do osi Q_{ind} predstavlja največji statorski bremenski tok generatorja [6].



Slika 8: obratovalni diagram sinhronskega generatorja, preslikano iz [6: str. 181]

Normalno področje delovanja sinhronskega generatorja predstavlja omejen del prvega kvadranta koordinatnega sistema (P_g, Q) na sliki 8.

3.2 Francisova turbina

Tehnični podatki Francis-ove turbine (proizvajalec: Litostroj Jeklo d.o.o., Ljubljana), ki poganja generator 4 [1]:

- vrsta: spiralna Francis,
- pretočnost: 6 m³/s,
- nazivna moč: 8,1 MW,
- padec: 153 m 161 m in
- frekvenca vrtenja: 750 vrt/min.

3.2.1 Osnove delovanja

Francisova turbina je ena izmed pogosteje uporabljenih vodnih turbin, saj je primerna za srednje pretoke in srednje padce vode (od 10 m do 350 m). Moč turbine je odvisna od pretoka vode in smeri toka vode glede na lopatice turbine. Vodni tok vstopa v turbino preko spiralno zaobljene cevi, ki obdaja vodilnik, na katerega so vpete vodilniške lopate [15]. Slednje regulirajo pretočno količino vode v odvisnosti od trenutne obremenitve agregata in zagotavljajo ustrezen natok vode na lopate gonilnika. Turbina se vrti zaradi vrtilnega

momenta, ki ga ustvari sprememba tlaka vodnega toka, s tem ko poganja gonilnik. Vodni tok nadaljuje pot skozi sifon, ki ja namenjen odtoku vode iz turbine v drenažni jašek.

Turbinska gred prenaša vrtilni moment od turbinskega gonilnika na generatorsko gred in prejema osne in radialne sile v vseh režimih obratovanja agregata.

3.2.2 Hidravlični krmilni sistem Francisove turbine

Glavni deli, ki so povezani v sistem krmiljenja turbine, so:

- gonilnik,
- vodilnik,
- vodilniške lopate,
- glavni tlačni rezervoar,
- izolacijski ventil,
- servisni ventil,
- glavni krmilni ventil in
- ventil zapaha.

Sistem krmiljenja turbine predstavlja mehanske sklope, s katerimi krmilimo obratovanje turbine. Najpomembnejša dela turbine sta gonilnik in vodilnik. Gonilnik ali tekač je vrteč del turbine, ki mu z regulacijskim sistemom hidravlično nastavljamo položaj lopat. Slika 9 prikazuje gonilnik bivše črpalne turbine agregata 4. Gonilnik se ne uporablja več za obratovanje, ampak služi kot razstavni eksponat v bivšem delu HE Završnica.



Slika 9: gonilnik z vodilnimi lopaticami bivše črpalne turbine agregata 4

Konstrukcijsko gledano je gonilnik odlit ali zvarjen iz nerjavečega krom-niklijevega jekla, ki omogoča dobro varilnost med popravili in dobro odpornost proti kavitacijski eroziji [1]. Vodilnik je nevrteči del, ki ga sestavlja vodilniški obroč, na katerega so pritrjene vodilniške lopatice.

Slika 10 prikazuje vodilnik trenutno delujoče turbine 4. Vodilniški obroč je gibajoči del, saj preko mehanskih vzvodov vpliva na položaj vodilniških lopat, te pa na pretok vode in hitrost vrtenja turbine.



Slika 10: regulacija turbine

Z zaprtjem vodilnika preprečimo pretok vode skozi turbino in s tem turbino zaustavimo. Energijo za krmiljenje vodilnika in gonilnika zagotavlja glavni tlačni rezervar. Krmilni sistem turbine in tlačni rezervar povezuje izolacijski ventil (slika 11).

V primeru da je izolacijski ventil zaprt, ni dovoda energije v krmilni del in s tem je onemogočeno krmiljenje turbine. Posledično hidravlični del gonilnika in vodilnika ni pod tlakom in sistem gonilnika ter vodilnika se postavi v položaj minimalne energije. To pomeni, da je gonilnik v odprtem položaju, vodilnik pa zaradi posebne konstrukcije vodilniških lopat v delno zaprtem položaju. V takem stanju bi v primeru pretoka vode skozi turbino prišlo do vrtenja gonilnika turbine, kar ni zaželeno. Da se prepreči odpiranje vodilnika, ko je izolacijski ventil zaprt (sistem krmiljenja brez tlaka), je potrebno vodilnik v zaprti legi zapahniti. To naredimo z vstavljanjem zapaha v servocilinder vodilniškega obroča, ko je le-ta v zaprtem položaju.



Slika 11: izolacijski ventil

Vodilnik je možno prestaviti v zaprto lego le v primeru, ko je v krmilnem sistemu tlak. Tu ima pomembno vlogo servisni ventil. Če je slednji zaprt, v sistemu pa tlak, je konstrukcijsko zagotovljeno, da bo hidravlično vodilnik težil k zapiranju. V primeru, da med obratovanjem tlak hidravličnega olja pade pod mejo, ki bi zagotavljala zaprtje vodilnika, servisni ventil zapremo in vodilnik se posledično zapre. Glavni krmilni ventil (slika 12) je namenjen krmiljenju servocilindra, kateri premika vodilniški obroč in s tem vpliva na dotok vode na gonilnik. Vrtenje turbine je odvisno od dotoka vode na gonilnik. Glavni krmilni ventil ima s tem vlogo regulatorja hitrosti in moči, ki ga krmili digitalni turbinski regulator.



Slika 12: glavni krmilni ventil

Vodilniške lopate so pritrjene na vodilniški obroč preko ročičnega mehanizma. Zaradi preprečitev poškodb vodilniškega obroča je vsaka druga lopata elastično vpeta. Elastična vezica omogoča, da se lopata lahko delno zapre, če se med lopatama pojavi tujek. V primeru,

da je tujek prevelik, elastično vpetje ne more preprečiti poškodbe. Za preprečitve takih poškodb je ročični mehanizem namenoma oslabljen. V primeru velike sile vode na vodilniško lopato pride do loma pritrdilnega čepa. Tako se vodilniška lopata odlomi od vodilniškega obroča in s tem je njen položaj odvisen le še od pretoka vode. Posledično se zaradi samozapiralne konstrukcije lopata ne bo popolnoma odprla, medtem ko bo pretok vode še vedno zadosten in gonilnik se bo vrtel kljub zaprtem vodilniku.

Aktuatorje sistema krmiljenja turbine predstavljajo:

- izolacijski ventil hidravličnega sistema,
- servisni ventil,
- ventil zapaha
- glavni krmilni ventil in
- vodilniški obroč.

Vsi štirje ventili so opremljeni s senzorji položajev, vodilniški obroč z indikatorjem zaprte lege, vsaka lopata pa z indikatorji okvar na njej.

3.3 Turbinski regulator

Naloge turbinskega regulatorja so:

- izvajanje regulacije hitrosti turbine v paralelnem režimu obratovanja z izvajanjem funkcije obratovanja po moči. Turbinski regulator ne glede na razmere v elektroenergetskem sistemu vzdržuje delovno moč agregata na nastavljeni vrednosti,
- izvajanje regulacije hitrosti turbine v otočnem režimu obratovanja. V tem primeru turbinski regulator delovno moč agregata v skladu z nastavljivimi parametri stalno prilagaja porabi potrošnikov in na ta način vzdržuje konstantne vrtljaje agregata, kar pomeni tudi napetost generatorja konstantne frekvence 50 Hz,
- sodelovanje pri zavrtitvi agregata v prazni tek,
- sodelovanje v procesu sinhroniziranja generatorja na omrežje,
- obremenjevanje in razbremenjevanje generatorja z delovno energijo,
- zaustavitev agregata in
- izvajanje preprečitve pobega agregata, to je prekomernega naraščanja vrtljajev, pri razbremenitvah oziroma delovanju hitre zapore.

Turbinski regulator je sestavljen iz elektronskega in elektrohidravličnega dela. Elektronski del je analogni elektronski regulator, ki regulira hitrost, glede na zgoraj opisane naloge in deluje na tuljavo elektrohidravličnega pretvornika. Tu se električni signal pretvori v mehanski gib, ki preko sistema hidravličnih ventilov in mehanskega vzvoda prekrmili razvodni ventil servocilindra turbine. Prekrmiljenje ventila pomeni premik bata servocilindra v smeri odpiranja ali zapiranja vodilnika turbine [20]. Posledica je povečanje ali zmanjšanje vrtljajev turbine v praznem teku oziroma povečanje ali zmanjšanje delovne obtežbe agregata, ko le-ta obratuje na mreži. Izvajanje regulacijskih gibov omogoča tlačno regulacijsko olje, ki ga vzdržuje tlačni rezervoar in regulacijske črpalke. Tlačno olje z vrednostjo tlaka 60 bar-ov (10^5 kPa) se v oljni regulacijski sistem spusti preko izolacijskega ventila (slika 11).

Elektronski regulator pridobiva podatke za tvorjenje pogreška od:

- induktivnega senzorja odprtja vodilnika,
- induktivne sonde merjenja vrtljajev in
- merilnega pretvornika, ki posreduje delovno moč.

Varnostna funkcija hitre zapore vodilnika se izvede z električnim prekrmiljenjem elektromagnetnega ventila hitre zapore ali mehanskim prekrmiljenjem elektromagnetnega ventila v primeru prekomernega porasta vrtljajev agregata čez dovoljeno mejo, kar zazna varnostni hitrostnik.

3.4 Vzbujalni sistem z napetostnim regulatorjem

Večino časa sinhronski generator obratuje paralelno z omrežjem, občasno pa se pojavi tudi potreba po otočnem obratovanju. Pri paralelnem obratovanju sta napetost U in frekvenca f_u nespremenljivi, izvaja se regulacija po moči [6: str 165], zato takšnemu omrežju pravimo neskončno močno ali togo omrežje.

Poleg paralelnega obratovanja je sinhronski generator zmožen obratovati tudi v otočnem režimu obratovanja, kjer se izvaja regulacija po frekvenci.

Omenjenim režimom je prilagojen vzbujalni sistem z napetostnim regulatorjem. Osnovna funkcija napetostnega regulatorja je izvajanje začetnega vzbujanja generatorja v praznem teku, da doseže nazivno napetost na sponkah, sodelovanje v procesu sinhronizacije generatorja na omrežje, izvajanje primarne regulacije (frekvence in napetosti) ter proizvodnja jalove energije. Namen je tudi v izvajanju zaščitnih funkcij generatorja, kot je omejevanje

statorskega toka generatorja, omejevanje vrednosti minimalnega vzbujanja ter izvajanje razbuditve rotorja v prehodnih pojavih obratovanja [20: str. 7].

Vzbujanje rotorja delimo na dva dela:

- primarni ali močnostni del in
- sekundarni ali regulirni del.

Primarni del vzbujanja poleg generatorja vsebuje še razmagnetenje rotorja, ki je realizirano preko demagnetizacijskega stikala in upora za razmagnetenje. V okviru sekundarnega vzbujalnega dela se nahaja tiristorki most, ki je napajan preko napajalnega transformatorja, ki je primarno vezan na sponke generatorja. Možno je tudi alternativno napajanje preko izmeničnega vira lastne rabe 380 V / 220 V.

Začetno vzbujanje rotorja generatorja se izvaja z enosmerno baterijsko napetostjo 220 V DC dokler napetost generatorja ne doseže 60 % nominalne napetosti. Ko je le-ta dosežena, avtomatika preklopi vzbujanje na tiristorski most. Vzbujanje se od tu nadaljuje preko transformatorja, ki je povezan s sekundarnimi sponkami generatorja.

Sekundarni del vzbujanja rotorja predstavlja tudi regulator, ki deluje v avtomatskem ali ročnem režimu in s svojim izhodom (regulirno veličino) vpliva na tiristorski most. Podatke o reguliranih veličinah, kot sta napetost na sponkah generatorja U_g ter tok statorja I_g , prejema regulator od merilnih napetostnih in tokovnih transformatorjev, ki so ustrezno priključeni na sponke sekundarja generatorja, medtem ko se meritve vzbujalne napetosti U_v in vzbujalnega toka I_v zajemajo preko sponk rotorja generatorja.
4. Prenova sistema vodenja agregata 4

Sistem vodenja predstavlja enega izmed ključnih delov obnove, saj mora zagotoviti kakovostno upravljanje s prej opisano elektro-strojno opremo. Sistem mora izpolnjevati naslednje zahteve [1]:

- varen, enostaven in zanesljiv nadzor,
- objekt mora imeti lokalno centralno mesto upravljanja in več posluževalnih mest ob posameznih pogonih,
- minimalno obremenjevanje centra vodenja ob upoštevanju največje možne avtonomije elektrarne,
- hierarhična in porazdeljena zasnova,
- upoštevanje zahtev elektroenergetskega sistema, v katerega je vključena elektrarna in
- upoštevanje sodobnih pristopov k avtomatizaciji.

4.1 Hierarhija sistema vodenja

Hierarhija vodenja je razdeljena na štiri nivoje glede na vrsto krmiljenja [1]:

- nivo: neblokirano krmiljenje podsklopa možno je ročno krmiljenje podsklopov ali aktuatorjev, popolnoma neodvisno od nadrejenega sklopa, z minimalnim omejevanjem možnih manipulacij,
- nivo: blokirano krmiljenje sklopa nadzorni sistem vodenja krmili podsklope, ki mu pripadajo,
- nivo: avtomatizirano krmiljenje sklopov podsklope je možno krmiliti enega za drugim ali sekvenčno in
- nivo: centralno krmiljenje sklopov sklope krmilimo centralno po principu enoagregatnosti.

Nižji nivo ima vedno prioriteto pred višjim nivojem in lahko odvzame možnost upravljanja višjem nivoju s preklopom daljinsko/lokalno. S tem je zagotovljeno medsebojno izključevanje prioritet nivojev vodenja iz različnih mest vodenja.

Vsak nivo vodenja vsebuje tudi ustrezen vmesnik človek/stroj, ki je prilagojen zahtevnosti nivoja vodenja. Preklopke, tipke in pokazatelji na omarah so predvideni na prvem nivoju krmiljenja. Na drugem in tretjem nivoju so predvideni upravljalno nadzorni paneli, med katere uvrščamo stalno nameščene ali prenosne alfanumerične, numerične in grafične zaslone

s funkcijskimi tipkami ali s tipkami, občutljivimi na dotik. Upravljalno delovno mesto elektrarne, ki se nahaja na četrtem nivoju, bo vsebovalo računalniški zaslon s tipkovnico.

4.2 Mesta vodenja oziroma krmiljenja

Vodenje sistema je predvideno iz različnih mest, od teh pa je na vsakem mestu predviden določen nivo vodenja. Na vsakem mestu je predviden tudi določen vmesnik človek/stroj. Tako je vodenje razdeljeno na štiri mesta:

- 1. mesto se nahaja neposredno ob posameznem pogonu ali napravi, na kateremu se predvideva prvi nivo krmiljenja,
- 2. mesto se nahaja na lokalnem komandnem mestu postroja (strojnica agregata), kjer se predvideva drugi in tretji nivo krmiljenja,
- 3. mesto se nahaja v centralnem komandnem prostoru elektrarne, kjer se predvideva tretji in četrti nivo krmiljenja,
- 4. mesto se nahaja v centru vodenja Medvode, kjer se predvideva izključno četrti nivo krmiljenja.

4.3 Predpostavke za izvedbo

Za dosego ciljev vodenja potrebujemo predpostavke, s katerimi lahko izbiramo rešitve, da bi zadovoljili ciljem [1]:

- hidroelektrarna bo daljinsko voden in nadziran objekt brez stalne posadke,
- naprave vodenja bodo čim bližje procesu,
- sistem vodenja bo omogočal centralizirano parametriranje,
- namenske naprave za pretvorbo komunikacijskih protokolov se ne bodo uporabljale,
- sistem vodenja bo zanesljivo napajan,
- sistem vodenja bo omogočal, da okvara enega ali več podsklopov ne povzroči izpada tistih sklopov, ki še delujejo,
- digitalni senzorji bodo imeli napetostni nivo 24 V DC, medtem ko se bo pri analognih dajalnikih uporabljal tokovni signal 4-20 mA ali Pt-100,
- upoštevana bodo priporočila o elektromagnetni združljivosti,
- pri izvedbi sistema vodenja bo upoštevano, da se del opreme ne bo prenavljal in se bo moral sistem vodenja prilagoditi obstoječemu stanju,
- posegi operaterja na nivoju posameznega sklopa bodo potrebni samo izjemoma, kar pomeni, da bo obratovanje v takih razmerah obravnavano kot neobičajno obratovanje,

- časi vzorčenja za potrebe analiz okvar so v najstrožjem primeru do 10 ms. Ta točnost bo zagotovljena za signale, ki omogočajo avtomatske izpade posameznih elementov objekta (zaščita). Vzorčenje ostalih signalov na objektu (opozorila, položajna stikala,...) bo reda 1-2 s, pri čemer mora biti zagotovljeno časovno sosledje dogodkov,
- zaradi povečane obratovalne varnosti bodo funkcije zaščite posameznih sklopov objekta implementirane neodvisno od funkcij nadzora in krmiljenja.

4.4 Vodenje agregata 4 iz strojnice elektrarne

Krmilnik agregata s pripadajočim zaslonom, občutljivim na dotik, se bo v strojnici nahajal na drugem mestu vođenja, hierarhično gledano pa zavzema drugi in tretji nivo. Od tu je možno krmiliti tako posamezen podsklop, kakor več sklopov sekvenčno.

Možna sta dva načina obratovanja:

- avtomatsko in
- ročno.

V avtomatskem režimu so na voljo programske tipke:

- start agregata na mrežo,
- start/stop agregata v prazni tek nevzbujen in
- stop agregata.

Ročni režim obratovanja bo omogočal vklop ali izklop posameznega sklopa. V ročnem režimu je realizirana tudi možnost prehoda na testni režim obratovanja, kar je še posebno pomembno pri izvajanju testiranja signalizacije in funkcionalnih preizkusov v okviru vzdrževalnih del.

Turbina bo opremljena z učinkovitim regulacijskim sistemom, ki bo nadzorovan z digitalnim turbinskim regulatorjem. Slednji bo omogočal regulacijo:

- po moči,
- po pretoku in
- po nivoju.

Pri vseh obremenitvah bo turbina regulirana na nazivno vrtilno hitrost, brez nihanj ali hipnih sprememb. Turbina bo morala omogočiti tako vzporedno delovanje agregata z drugimi

agregati v sistemu kot režim otočnega obratovanja in prehod med obema režimoma. V splošnem bo regulacijski sistem turbine omogočal zagon agregata iz mirovanja, regulacijo moči in vrtilne hitrosti turbine, delovanje v skupinskem sistemu upravljanja elektrarne, normalno in zasilno zaustavitev agregata in ročno nastavljanje omejevanja odprtja vodilnika. Regulator bo izveden z dvema PID zankama, pri čemer bosta regulirani veličini frekvenca in moč.

5. Funkcionalni preizkusi

Vzdrževalna dela na hidroelektrarni Moste potekajo na treh nivojih:

- 1. redna letna revizija,
- 2. izvedba meritev posameznih sklopov in
- 3. izvedba funkcionalnih preizkusov.

Z uvedbo rednih letnih revizij ugotovimo tehnično stanje posameznih podsklopov in naprav agregata. Ugotovitve revizije lahko potrdijo tehnično izpravnost pregledane opreme ali nas opozorijo na povečano iztrošenost določenih delov, katere moramo v okviru revizijskih del zamenjati.

Po zaključku revizije je potrebno v skladu s tehničnimi predpisi, internimi navodili in strokovno literaturo izvesti meritve tehničnih lastnosti posameznih sklopov naprav agregata. Namen meritev je dokaz tehnične izpravnosti posamezne naprave in skladnost s tehnično izvedbeno dokumentacijo. Uspešno opravljene meritve dovoljujejo izvedbo funkcionalnih preizkusov. Le-ti dokazujejo tehnično izpravnost naprav ter funkcionalnost vgrajene opreme.

Pri izvajanju vzdrževalnih del je pomembno, da se izvajajo po zgoraj omenjenem vrstnem redu. Funkcionalne preizkuse lahko opravimo šele po uspešni reviziji in izvedbi meritev posameznih sklopov.

Funkcionalne preizkuse delimo na:

- 1. preizkuse podsklopov agregata v mirujočem stanju,
- 2. preizkuse agregata v praznem teku in
- 3. preizkuse na agregatu, sinhroniziranem na omrežje

Opravi jih vzdrževalna ekipa skupaj s tehničnim osebjem elektrarne, po potrebi pa so prisotni tudi eventuelni podizvajalci vzdrževalnih del, vsak za svoj del posebej.

5.1 Preizkus odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka

Preizkus se izvaja na treh različnih lokacijah:

- 1. na posluževalnem mestu zaviranja (omara CDC02), kjer sta na voljo dve tipki: pritegni zavore in odtegni zavore,
- v krmilni omari digitalnega turbinskega regulatorja in pripradajočem zaslonu SIMATIC in
- 3. v omari krmiljenja agregata 4 in pripadajočem dotičnem zaslonu SAT.

Pri tem preizkusu se odpira in zapira vodilnik preko zaslona SIMATIC na digitalnem turbinskem regulatorju ter preizkuša »hitro zaporo 1«, ki zapira vodilnik. Program, katerega izvaja krmnilnik SIMATIC, ima iz varnostnih razlogov omejitev odprtja vodilnika na največ 75 % površine odprtja vodilnika, tako da preizkus odpiranja ne poteka do 100 %.

Hitra zapora ima funkcijo varne zaustavite agregata v primeru odpovedi katerega izmed podsklopov agregata. S svojo aktivacijo prekrmili elektromagnetni ventil servomotorja, ki posledično zapre vodilnik in s tem zaustavi turbino.

Hitra zapora je časovno razdeljena na dva dela zapiranja:

- 1. hitri del in
- 2. počasni del.

Hitri del zapiranja vodilnika se izvede med 75 % in 20 % zapiranja vodilnika in znaša približno 4 s. Sledi mu počasni del, ki zapira vodilnik od 20 % do 0 % in znaša približno 9 s.

Slika 13 prikazuje osnovni koncept preizkusa odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka, ki je razdeljen na dva dela. Prvi del vsebuje pogoje za izvedbo preizkusa, medtem ko se v drugem delu izvajajo akcije preizkusa. Le-te so razdeljene v štiri skupin:

- nastavitve pogonov,
- odpiranje in zapiranje vodilnika,
- test funkcije »hitra zapora 1« in
- vzpostavitev začetnega stanja.



Slika 13: koncept preizkusa odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka

Pogoji za izvajanje preizkusa:

- 1. izvlečena mora biti sifonska zapornica,
- 2. ročni ventil za izpust olja iz regulacijskega sistema mora biti zaprt,
- 3. ročni ventil za zaprtje dovoda olja za predturbinsko loputo in by-pass ventil morata biti zaprta,
- 4. predturbinska loputa mora biti mehansko blokirana in
- 5. ročni ventil na obtočnem vodu mora biti zaprt.

Izvedba pogojev zahteva ročen poseg vzdrževalne ekipe, kot je na primer zapiranje ročnega ventila za izpust olja. V vsakem koraku priprave pogojev vzdrževalna ekipe najprej izvede manipulacijo (slika 14).



Slika 14: izvedba pogojev

Ko je manipulacija uspešno izvedena, se izvršitev koraka potrdi. Potrditev se izvede na tak način, da se na dotičnem ekranu, na listi testov odkljuka prej izvedeno manipulacijo. Ko krmilnik zazna izvedeno manipulacijo, se potrditev avtomatsko vpiše v kronološko listo. Kronološka lista zagotavlja dokaz, da je bil ob določenem času izveden in potrjen zahtevan korak preizkusa.

Akcije preizkusa:

- 1. vklopi zaviranje agregata (omara za zaviranje CDC02) in preveri, če so zavore pritegnjene,
- 2. preklopi na ročno krmiljenje pogonov (omara CKA),
- 3. odpahni vodilnik,
- 4. odpri izolacijski ventil,
- 5. odpri servisni ventil,
- na DTR ekranu SIMATIC poišči korak 08 testiranje DTR in pritisni tipko Enter, da se odpre okno DTR testiranje,
- 7. vpiši geslo »100«, in pritisni tipko Enter,
- vpiši +100 % in pritisni tipko ON (vodilnik prične odpirati vodilniške lopate do pozicije 75 %),
- 9. s pritiskom na tipko OFF zaustavi odpiranje na trenutni poziciji vodilnika,
- 10. izmeri čas odpiranja in zapiši rezultat,
- 11. vpiši -100 % in pritisni tipko ON (vodilnik začne zapirati vodilniške lopate do pozicije 0 %),
- 12. s pritiskom na tipko OFF zaustavi zapiranje na trenutni poziciji vodilnika,
- 13. izmeri čas zapiranja in zapiši rezultat,
- izmeri čas zapiranja s sprožitvijo »hitre zapore 1« in s tem zapri vodilnik na 0 %,
- 15. vpiši rezultat hitrega in počasnega dela zapiranja,
- 16. s pritiskom na tipko ESC se vrni v glavni menu,
- 17. zapri servisni ventil,
- 18. zapahni vodilnik,
- 19. zapri izolacijski ventil,
- 20. izklopi zaviranje agregata (omara za zaviranje CDC02) in
- 21. preklopi na avtomatsko krmiljenje pogonov (omara CKA).

V koraku 1 se izvede akcija vklopa zaviranja agregata (slika 15).



Slika 15: izvedba prvega koraka preizkusa

To pomeni, da je potrebno pritegniti zavore, kar stori krmilnik agregata tako, da pošlje signal omari CDC02, slednja pa sproži stikalo in vklopi zaviranje. Ko so zavore v stanju »pritegnjene«, senzor posreduje informacijo nazaj krmilniku agregata. Slednji vpiše informacijo v kronološko listo kot dogodek »zavore pritegnjene«. Ko vzdrževalna ekipa zazna dogodek na kronološki listi krmilnika, vizuelno preveri, ali so zavore generatorja zares pritegnile. Nato na dotičnem prikazovalniku na listi preizkusov ročno potrdi dogodek »zavore pritegnjene«. Potrditev dogodka iz liste preizkusov se zapiše tudi v kronološko listo.

Izpolnjenim pogojem sledi preklop v ročni režim krmiljenja pogonov. Preklop izvede krmilnik avtomatsko. Ko je režim krmiljenja pogonov v stanju ročno, se dogodek vpiše v kronološko listo, vzdrževalec pa ročno potrdi spremembo režima na dotičnem ekranu, kar se tudi zapiše v kronološko listo (slika 16).



Slika 16: izvedba drugega koraka preizkusa

V tretjem koraku krmilnik avtomatsko odpahne zapah vodilnika (slika 17).



Slika 17: izvedba tretjega koraka

Ko je zapah odpahnjen, lahko servomotor preko hidravlično-mehanskega sklopa odpira in zapira vodilnik, vendar šele ko sta odprta izolacijski in servisni ventil. Sledi avtomatsko odpiranje izolacijskega ventila (slika 18) in dalje servisnega ventila (slika 19) ter potrjevanje obeh dogodkov s strani vzdrževalca. Izolacijski ventil omogoči dostop hidravlične energije v krmilni del, s tem se zagotovi gibljivost sklopa vodilniškega obroča, medtem ko servisni ventil omogoča krmiljenje položaja vodilnika.



Slika 18: izvedba četrtega koraka



Slika 19: izvedba petega koraka

Do petega koraka preizkusa so se izvajale akcije, ki so pripravile agregat za odpiranje vodilnika. Od tu naprej se preizkus opravlja iz omare digitalnega turbinskega regulatorja.

V šestem koraku vzdrževalec na ekranu digitalnega turbinskega regulatorja preko tipk poleg zaslona poišče korak 08 in pritisne tipko Enter (slika 20).



Slika 20: izvedba od šestega do desetega koraka – odpiranje vodilnika do 75 %

Odpre se okno za testiranje vodilnika. Za vstop v program je potreben vnos gesla »100« in pritisk na tipko Enter.

V naslednjem koraku vzdrževalec odpre vodilnik, tako da vpiše »+100 %« in pritisne tipko ON (slika 20). Ko pride vodilnik do pozicije odprtja 75 % pritisnemo na tipko OFF in vodilnik se ustavi na trenutni poziciji odprtja. V kronološko listo se zabeleži dogodek »DTR vodilnik odprt 75 %« in čas odpiranja vodilnika.

Zapiranje vodilnika poteka podobno kot odpiranje, le da v tem primeru vzdrževalec na SIMATIC ekranu vpiše »–100 %« in pritisne tipko ON. Zapiranje vodilnika prikazuje slika 21.



Slika 21: izvedba od enajstega do trinajstega koraka - zapiranje vodilnika

Pri odpiranju in zapiranju vodilnika se končno stanje vpiše v kronološko listo. Po končanem zapiranju pa vzdrževalec preveri vpis odpiranja in zapiranja v kronološki listi.

Če se je vodilnik odprl in zaprl, so zabeleženi dogodki:

- DTR vodilnik odprt 75 %,
- čas odpiranja vodilnika,
- DTR vodilnik zaprt 0 % in
- čas zapiranja vodilnika.

Vzdrževalec nato v listi preizkusov potrdi izvedbe odpiranja in zapiranja, potrditev pa se vpiše v kronološko listo (slika 21).

V štirinajstem koraku se izvaja čas zapiranja vodilnika s »hitro zaporo 1«. Slednja predstavlja eno izmed varnostnih funkcij zapiranja vodilnika v primeru odpovedi posameznega podsklopa agregata. Vpliva na prekrmiljenje elektromagnetnega ventila in zapre vodilnik.

Preizkus hitre zapore lahko izvedemo šele, ko je vodilnik odprt, tako da se najprej izvede postopek odpiranja vodilnika. Dogodek »DTR vodilnik odprt 75 %« se tudi tokrat vpiše v kronološko listo, saj dobi s tem vzdrževalec znak, da lahko izvede funkcijo hitre zapore. Odprt vodilnik pomeni, da lahko vzdrževalec pritisne na tipko »hitra zapora 1«. Izvede se zapiranje vodilnika s 75 % na 20 % (slika 22).



Slika 22: testiranje funkcije »hitra zapora 1«

Ko se vodilnik zapre na 20 % se zabeleži čas zapiranja, hkrati pa se nadaljuje zapiranje s 20 % na 0 %, oziroma do popolnega zaprtja vodilnika. Zabeleži se tudi časovna razlika zapiranja med 20 % in 0 %. V kronološko listo se vpišejo dogodki: »hitra zapora 1 aktivirana«, »hitri del HZ1 izvršen« in »počasni del HZ1 izvršen«. Ko je vodilnik zaprt, izvršene dogodke vzdrževalec preveri v kronološki listi in jih potrdi na listi testov. Potrditev se avtomatsko vpiše v kronološko listo. Vzdrževalec se s tipko ESC vrne v glavni menu in s tem zapusti ekran digitalnega turbinskega regulatorja.

Sledijo koraki, ki pripeljejo agregat v začetno stanje, kakršno je bilo pred izvajanjem preizkusa. V koraku sedemnajst krmilnik zapre servisni ventil (Slika 23).



Slika 23: izvedba sedemnajstega koraka

Dogodek se vpiše v kronološko listo, po potrjevanju vzdrževalca pa se tudi vpiše potrditev iz liste testov v kronološko listo.

Koraka osemnajst in devetnajst se izvršita na identičen način. V koraku osemnajst krmilnik zapahne vodilnik (slika 24), medtem ko v koraku devetnajst krmilnik zapre izolacijski ventil (slika 25).



Slika 24: izvedba osemnajstega koraka



Slika 25: izvedba koraka devetnajst

V naslednjem koraku sledi izklop zaviranja agregata oziroma preklop zavor v stanje »zavore dol«. Zavore izklopi krmilnik agregata tako, da pošlje signal omari CDC02, katera izklopi stikalo zavor. Kot pri vklopu, senzor krmilniku posreduje informacijo o stanju zavor, krmilnik pa le-to vpiše v kronološko listo. Vzdrževalec na koncu še fizično preveri zavore in potrdi korak v listi preizkusov, kar se zapiše v kronološko listo.

V zadnjem koraku krmilnik agregata preklopi krmiljenje pogonov v avtomatski režim (slika 26). Akcijo krmilnika potrdi vzdrževalec na listi testov, le-ta pa se zabeleži v kronološko listo.



Slika 26: izvedba koraka enaindvajset

S tem je preizkus odpiranja vodilnika brez vodnega natoka zaključen. Vsi izvedeni dogodki so zapisani v kronološki listi. Izvedeni koraki preizkusa so zabeleženi v listi preizkusov in tudi v kronološki listi. Obe listi se lahko uporabita kot dokaz sledljivosti in izvedbe vseh korakov preizkusa.

5.2 Ostali funkcionalni preizkusi

Preizkus odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka, predstavljen v poglavju 5.1, podrobno opisuje koncept in izvajanje posameznih korakov preizkusa. Na podoben način bi vzdrževalna ekipa izvajala tudi druge funkcionalne preizkuse:

- preizkus elektromotornega ventila hladilne vode,
- preizkus zaviranja,
- preizkus predturbinske lopute,
- preizkus turbinskega regulatorja,

- preizkus dovodnega cevovoda,
- simulacija preizkusa varnostne potopne črpalke,
- preizkus dvanajstih ventilatorjev za hlajenje agregata,
- preizkus visokotlačne črpalke,
- preizkus ročnega odpiranja in zapiranja vodilnika in
- preizkus prvega vrtenja agregata.

6. Simulacija v okolju LabView

Simulacija v okolju LabView 8.0 aplikativno predstavlja nekatere funkcije vodenja agregata iz strojnice elektrarne. Program zajema del funkcije start/stop agregata in funkcionalni preizkus odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka, čigar ideja je podrobno opisana v poglavju 5.1. Poudarek simulacije je koncipiran na zmanjšanje časa izvajanja preizkusa, povečanje stopnje uporabniške prijaznosti ter zapis dogodkov in izvajanja korakov v ustrezno datoteko, ki bo služila kot dokazno gradivo izvedbe vseh korakov. Princip in ideje prej omenjenega preizkusa je možno uporabiti tudi pri večini ostalih funkcionalnih preizkusov in s tem zmanjšati stroške in povečati uporabniško prijaznost v okviru vzdrževalnih del.

6.1 Okolje Labview

LabView (proizvajalca National Instruments) je razvojno okolje, namenjeno grafičnemu programiranju. Zadnja verzija 8.5 je izšla avgusta 2007, cena pa se giblje od 1199 \$ za osnovno verzijo do 4099 \$, kolikor stane profesionalna verzija [11]. Osnovan je na grafičnem programskem jeziku G, prvič pa je izšel pod okriljem podjetja Apple Macintosh leta 1986. Danes se okolje LabView uporablja pri zajemu podatkov, programski izdelavi virtualnih intrumentov in industrijski avtomatizaciji. Okolje podpira uporabo različnih platform, kot so Microsoft Windows, Unix, Linux in Macintosh.

Progam se v okolju LabView imenuje »virtual instrument« (VI), ker je njegov izgled podoben merilnemu instrumentu, kot je npr. osciloskop ali multimeter. Vsak VI je razdeljen na dva dela (slika 27):

- 1. uporabniški vmesnik (front panel) in
- 2. bločni diagram (block diagram).



Slika 27: primer preprostega VI-ja; uporabniški vmesnik (levo) in bločni diagram (desno)

Uporabniški vmesnik je namenjen uporabi programa, kjer vplivamo na parametre in spremljamo podatke preko virtualnih kontrolnih gumbov, prikazovalnikov, tabel, ter ostalih grafičnih elementov. Blok diagram je koda programa, kjer se nahajajo posamezne funkcije in podprogrami (subVI-s), ki program sestavljajo. Preklop med okni izvedemo s tipko CTRL+E. V primeru večjih programov (npr. z več Vi-ji, spremenljivkami in knjižnicami) je priporočljivo, da vse elemente vključimo v projekt (project), saj s tem zajamemo vse potrebne gradnike, ki sestavljajo program.

Pri izvajanju programa v okolju LabView je pomemben koncept podatkovnega toka. Za razliko od večine programskih jezikov, kjer je izvajanje programa sekvenčno se v okolju LabView izvrši element posameznega VI-ja samo takrat, ko prejme vse zahtevane vhodne podatke.

6.2 Nastavitev uporabniškega okna

Ob zagonu programskega okolja LabView se pojavi okno za izbiro projekta ali VI-ja, kjer z enojnim klikom izberemo »projekt_diploma.lvproj«. Odpre se okno, ki prikazuje vsebino omenjenega projekta (slika 28).



Slika 28: vsebina projekta

Projekt »projekt_diploma.lvproj« vsebuje šest VI-jev:

- ime+geslo.vi,
- preverjanje_gesel.vi,
- geslo2.vi.vi,
- pisi_v_vrstico.vi,
- zapis_vrstica+cas.vi in
- glavni_program.vi

Za namestitev uporabniškega okna z dvojnim klikom izberemo glavni_program.vi.

6.3 Izvajanje simulacije

Program je v osnovi namenjen simulaciji izvajanja preizkusa odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka, vsebuje pa tudi del funkcij start/stop sekvence, ki so temelj delovanja nekaterih sklopov in so bistveni za razumevanje izvajanja preizkusa. Simulacija poleg izvajanja preizkusa tudi zapiše vse korake v Excel datoteko. Zato je potrebno pred zagonom progama določiti ime datoteke, v katero se beležijo koraki preizkusa. Slednje izvedemo s klikom na zavihek kronološka lista (slika 29). Datoteko lahko definiramo na dva načina:

- izberemo jo tako, da kliknemo na ikono »odpri datoteko« in med dokumenti poiščemo obstoječo datoteko kamor želimo zapisovati ali
- 2. v okno »zapis v Excel datoteko« vpišemo lokacijo ter njeno ime.



Slika 29: izbira datoteke za vpis dogodkov

S stališča zapisovanja dogodkov sta oba načina enakovredna, razlika je le v tem, da v prvem primeru pišemo v že obstoječo datoteko, v drugem primeru pa program zapisuje dogodke v novo datoteko, ki jo tudi sam pred izvajanjem ustvari. Ko smo izbrali datoteko za vpis dogodkov lahko pritisnemo gumb »run« v orodni vrstici in pričnemo z izvajanjem simulacije.

6.3.1 Prijava z uporabniškim imenom in geslom

Glede na to, da danes srečamo identifikacijo uporabnika na vsakem koraku, je pri izvajanju preizkusov pomembno, da se vzdrževalec oziroma operater pred izvajanjem preizkusa prijavi z uporabniškim imenom in geslom. V ta namen se takoj po kliku na gumb »run« pojavi okno, ki od uporabnika zahteva uporabniško ime in geslo (slika 30).

Prosimo vnesite upo	orabniško ime in geslo	
Uporabniško ime		
Janez Novak		
Uporabniško gesl	0	

Slika 30: vpis uporabniškega imena in gesla

Uporabnik ima na voljo tri poskuse. Po vpisu in potrditvi na gumb »potrdi vpis« se v primeru, da je uporabniško geslo in ime pravilno, odpre okno s sporočilom »uporabniško ime in geslo potrjena«, kjer uporabnik klikne na gumb »OK« in lahko prične z izvajanjem programa (slika 31, levo). V nasprotnem primeru se pogovorno okno ponovno odpre ter s tem uporabniku omogoči ponoven vpis. Po tretjem neuspešnem vpisu se celotno programsko okolje LabView avtomatsko zapre. Tako je zagotovljena osnovna varnostna funkcija, ki preprečuje uporabo programa osebam, ki niso pristojne za izvajanje funkcionalnih preizkusov.



Slika 31: potrditev pravilno vnesenih podatkov

Preverjanje uporabniškega imena in gesla je v bločnem diagramu realizirano s strukturo zaporednega izvajanja kode (ang.: flat sequence). Le-ta vsebuje šest okvirjev (ang.: frames), ki se izvajajo zaporedno od leve proti desni. Del bločnega diagrama predstavlja slika 32, ki prikazuje prve tri okvirje. Vsako preverjanje je realizirano z dvema okvirjema. Prvi okvir je namenjen prikazu okna »vnos uporabniškega imena in gesla« in vnosu podatkov, medtem ko drugi okvir izvede preverjanje in potrditev vnesenih podatkov.



Slika 32: del bločnega diagrama, ki zahteva vnos uporabniškega imena in gesla

Po uspešni prijavi v program je na uporabniškem vmesniku vidno ime uporabnika, ki bo izvajal preizkuse.

6.3.2 Start/stop sekvenca

Strojnica agregata predstavlja drugo mesto vodenja. V poglavju 4.2 je definirano, da se na drugem mestu vodenja nahaja drugi in tretji nivo krmiljenja. Tretji nivo krmiljenja je apliciran v start/stop sekvenci kot avtomatizirano ali sekvenčno krmiljenje.

V primeru, da želimo krmiliti agregat iz strojnice elektrarne, moramo najprej preklopiti stikalo v lokalni režim obratovanja. To pomeni, da tretjemu in četrtemu nivoju odvzamemo možnost vodenja. Slednje izvedemo tako, da kliknemo na gumb »izbira režima«. Odpre se okno, na katerem preklopimo stikalo v položaj »lokalno« (slika 33).



Slika 33: okno izbira režima

Start/stop sekvenca omogoča prehajanje agregata med stanji:

- mirovanje turbina in sinhronski generator mirujeta,
- prosti tek (nevzbujen) sinhronski generator se vrti z nazivno hitrostjo in
- na mreži sinhronski generator proizvaja delovno in jalovo moč in ju pošilja v omrežje.

Prehode med omenjenimi stanji opisujejo koraki. Vsak korak ima določene pogoje, ki morajo biti izpolnjeni za izvršitev nadaljnjih korakov; vsak korak je iz varnostnih razlogov časovno omejen. Sekvenca start/stop se lahko izvaja avtomatsko ali ročno.

Avtomatsko izvajanje pomeni, da se koraki izvajajo zaporedno, dokler ni doseženo želeno stanje.

Pred startom agregata se vedno najprej preverijo »pogoji za start« (slika 34). Le-ti vsebujejo informacije o pripravljenosti sklopov, dovoljenih temperaturah in delovanju signalizacije.

Ustrezno stanje, ki dovoljuje start agregata, prikazuje slika 34. Posamezna zelena lučka označuje prisotnost signala (logična 1), medtem ko rdeča lučka signalizira logično 0.



Slika 34: pogoji za start

Pogoji za start so izpolnjeni, kadar velja logična enačba 5:

$$\overline{M}_alarmi_1 \land \overline{M}_alarmi_2 \land \overline{M}_alarmi_3 \land \overline{M}_alarmi_4 \land$$

$$Turb_pogoji \land Splosni_pogoji = 1$$
(5)

Logične simbole uporabljene v enačbi 5 vsebuje tabela 1.

logični simbol	funkcija
^	logični IN
~	logični ALI
\overline{X}	negacija spremenljivke X

Tabela 1: logični simboli

Zaradi poenostavitve pregleda so alarmi in pogoji grupirani v šest skupin (enačba 5):

- M_alarmi_1 (senzorji napak na regulacijskih črpalkah, ventilu hladilne vode, ventilatorjih in visokotlačni črpalki,...),
- M_alarmi_2 (senzorji napak na zaščitnih elementih, podsklopu lastne rabe,...),
- M_alarmi_3 (senzorji napak zaščite vzbujalnega sistema, filtra regulacijskega olja, loma čepov,...),
- M_alarmi_4 (senzorji višine olja in temperature zgornjega kombiniranega vodilnega ležaja, zgornjega kombiniranega nosilnega ležaja, spodnjega vodilnega ležaja,...),
- Turb_pogoji (stanja pogonov, ki dovoljujejo start sekvenco) in
- Splosni_pogoji (stanje odklopnika, obeh ločilnikov in vzbujanja ventilatorjev).

Vsaka skupina predstavlja logično spremenljivko in preko logičnih vrat zajema signale v binarni obliki. Vseh šest skupin (logičnih spremenljivk) preko enačbe 5 rezultira v logično 1 (v primeru da enačba velja) in predstavlja izpolnjene pogoje za start.

Ti pogoji so hkrati tudi eden izmed pogojev v koraku 01 celotnega postopka zagona in zaustavitve agregata, ki vsebuje dvajset korakov (tabela 2).

KORAK	POGOJI	ČASOVNI
		NADZOR [s] *
01	pogoji za start ∧ ventil_H20_1_odprt ∨ ventil_H20_1_odprt	20
02	črpalka_31_vklopljena ∧ črpalka_32_vklopljena ∧ regulacijsko olje	20
03	izolacijski_ventil_odprt	300
	visokotlačna_črpalka_vklopljena ∧ regulator_tlaka_turbine_zaprt	
04	by-pass_ventil_zaprt ∧ loputa_odprta	300
05	zapah_odpahnjen	20
06	servisni_vetnil_odprt \land zavore_odtegnjene \land ventilatorji_vklopljeni	10
07	turbinski_regulator_start \land pretoki_olja \land pretoki_vode \land by-pass_zaprt \land	180
	vzbujanje_OK_start \land vrtenje > 95%	
08	vzbujanje_vklop \land napetost > 90 %	180
09	sinhronizator _vklop \land odklopnik_vklopljen \land odklopnik_izklopljen	360
10	odklopnik_vklopljen \land odklopnik_izklopljen \land (komparator_P_set) \land	180
	sinhronizator_vklop	
11	$DTR_P_del < 5\% \land vzbujalni_sistem_OK_stop \land CNA_P_komparator$	180
12	odklopnik_vklopljen \land odklopnik_izklopljen	180
13	vzbujanje_izklop	180
14	vodilnik_zaprt	180
15	servisni_ventil_zaprt	10
16	zapah_zapahnjen	10
17	loputa zaprta	300
18	vrtenje = 0 %	300
19	ventilatorji_izklopljeni 	10
	visokotlačna_črpalka_izklopljena	
20	ventil_H20_1_zaprt \land ventil_H20_2_zaprt \land izolacijski_ventil_zaprt \land	20
	zavore odtegnjene	

Tabela 2: pregled korakov in pripadajočih pogojev realnega sistema

* Pri simulaciji so časi iz praktičnih razlogov ustrezno zmanjšani.

Avtomatsko izvajanje sekvence je razdeljeno na »start« in »stop« (slika 33). Funkcija »start« dovoljuje agregatu prehod v dva različna stanja:

- »prosti tek (nevzbujen)« in
- »na mreži«.

Funkcija stop omogoča agregatu prehod v:

- »prosti tek (nevzbujen)« ali
- »mirovanje«.

V primeru, da se agregat nahaja v stanju »mirovanje« in želimo doseči stanje »prosti tek (nevzbujen)«, kliknemo na gumb »rocno/avt« ter na gumb »prosti tek« (slika 33).



Slika 35: start/stop sekvenca

Začnejo se izvajati pogoji posameznega koraka. Ko so vsi pogoji izpolnjeni, se ob gumbu, ki označuje korak, prižge zelena lučka (slika 35), ki signalizira izpolnitev pogojev pripadajočega koraka. S tem se avtomatsko prične izvajati naslednji korak. Ob izpolnitvi pogojev vseh sedmih korakov agregat preide v stanje »prosti tek (nevzbujen)«. Od tu lahko agregat nadaljuje pot v stanje »na mreži« ali v stanje »mirovanje«.

Posamezni korak lahko izvršimo tudi ročno (slika 36). V tem primeru preverimo, če je gumb »rocno/avtomatsko« v stanju »rocno«. Nato kliknemo na gumba »korak 01« in »izvrši korak 1«.

	VENTIL HLADILNE VODE	IZVRŠI KORAK 1
Pogoji za start ventil H2O1_odprt	ročna izvršitev 1. koraka	~
ventil H2O2_odprt	KVINTIRAJ NADZOR 1	NADZOR KORAKA 1 OK

Slika 36: pogoji prvega koraka

Pogoji se izvršijo ekvivalentno kot pri avtomatskem delovanju, s to razliko, da se ob izvršitvi prvega koraka ne nadaljuje z izvrševanjem drugega koraka, ampak program počaka, da ga uporabnik izvrši sam. Enako velja tudi za ostale korake start/stop sekvence.

6.3.3 Simulacija odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka

6.3.3.1 Izvanjanje glavne »while« zanke z ustreznim časom vzorčenja

Celotna koda preizkusa se izvaja v glavni »while« zanki, ki je v LabView okolju realizirana s strukturo, prikazano na sliki 37. Le-ta se po definiciji izvede najmanj enkrat, izvaja pa se dokler ni izpolnjen pogoj »končaj izvajanje«. Strukturi »while« zanke je dodan čas vzorčenja 10 ms, kar pomeni da za vsak vzorec program preračuna, prikaže, pošlje ali sprejme podatke.

Z izvajanjem programa se povečuje število iteracij, ki je prikazano na uporabniškem vmesniku. Poleg je prikazan tudi datum in čas v absolutni obliki.



Slika 37: glavna »while zanka« s časom vzorčenja

Za prenos podatkov iz ene iteracije v drugo se v zankah (»while« in »for«) uporablja pomikalni register (ang.: shift register). Dejanski čas vzorčenja se tako za vsako iteracijo izračuna kot razlika časa (podanega v milisekundah) v iteracijah i in i-1 (slika 37).

6.3.3.2 Izvajanje pogojev in akcij preizkusa

Vsi koraki pogojev in akcij odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka so podrobno opisani v poglavju 5.1. Za izvajanje preizkusa so na uporabniškem vmesniku namenjena tri okna:

- »lista testov«,
- »kronološka lista« in
- »preizkusi«.

Med okni lahko uporabnik preklaplja na dva načina:

- 1. preko pripadjočega gumba na vmesniku (slika 38, levo) ali
- 2. preko zavihkov (slika 38, desno).



Slika 38: gumbi (levo) in zavihki (desno) za preklop med okni

Lista testov predstavlja glavno okno za izvajanje preizkusa, ki vsebuje potrditve vseh korakov pogojev in akcij (slika 39). Pred vsakim korakom se nahaja kontrolno polje, namenjeno potrjevanju posameznega koraka. Potrditev izvedemo z enojnim klikom nanj, tako da se pojavi zelena kljukica, izvršena potrditev pa se vpiše v kronološko listo. Posamezni korak lahko potrdimo šele, ko izvedemo pripadajoči pogoj, ali ko se izvede akcija preizkusa. V primeru, da se uporabnik zmoti in odkljuka korak, ki ni bil izveden, lahko s ponovnim enojnim klikom kljukico izbriše in s tem potrditev prekliče.

Prvi potrjen pogoj je prikazan na sliki 39.



Slika 39: glavno uporabniško okno za izvajanje preizkusa

Manipulacije, ki so vsebovane v pogojih, zahtevajo fizičen poseg vzdrževalne ekipe. Prvi pogoj zahteva vizuelni pregled sifonske zapornice. Ko se uporabnik prepriča, da je slednja izvlečena, lahko na listi potrdi prvi pogoj. Po enakem postopku poteka izvajanje nadaljnjih korakov do petega (zadnjega) pogoja preizkusa. Ob potrditvi slednjega krmilnik avtomatično izvede prvo akcijo preizkusa. Prikaz dogodka na kronološki listi »zavore pritegnjene« informira vzdrževalca, da vizuelno preveri stanje zavor in prvo akcijo potrdi. Akcije do zaporedne številke pet se izvedejo na identičen način, s to razliko, da izvršitve akcij (primer: izolacijski ventil odprt) ni potrebno vizuelno preveriti ampak zadostuje vpogled v kronološko listo.

Po potrditvi pete akcije so izpolnjeni vsi potrebni pogoji za testiranje odpiranja in zapiranja vodilnika. Vzdrževalec preko gumba ali zavihka preklopi na okno preizkusi (digitalni turbinski regulator). Po izbiri številke »8« in vpisu gesla »100«, se odpre okno »odpiranje in
zapiranje vodilnika« (slika 40), vzdrževalec izvede odpiranje in zapiranje vodilnika in funkcijo hitre zapore (koraki 6 - 16).



Slika 40: okno, namenjeno odpiranju in zapiranju vodilnika, in testiranju funkcije »hitra zapora 1« (zgoraj) ter zabeležene akcije v kronološki listi po opravljenem preizkusu (spodaj)

Akcije odpiranja in zapiranja ter test funkcije »hitra zapora« mora uporabnik sproti preveriti v kronološki listi. Ko vzdrževalec potrdi izvršitev funkcije »hitra zapora 1« sledi akcija krmilnika »zapri servisni ventil«. V naslednjih korakih se zaporedno izvajajo akcije in potrditve s strani vzdrževalca, dokler niso izvedene vse akcije vzpostavitve začetnega stanja ter pripadajoče potrditve. V primeru da se zgodi napaka sredi izvajanja preizkusa, ki uporabniku onemogoča nadaljevanje izvajanja, lahko uporabnik ročno vzpostavi začetno stanje z ročnim izklopom posameznega pogona preko okna »krmiljenje pogonov«.

V primeru da se uporabnik pri vpisu v okno »odpiranje ali zapiranje« zmoti (slika 40, zgoraj) in pri zapiranju vodilnika ponovno vpiše »+100%«, program javi napako »odpiranje ali zapiranje vodilnika ni možno (preveri vpis)«. Enako napako javi program v primeru, če je vodilnik zaprt in uporabnik vpiše »-100%«. Del programa, ki aktivira prikaz napake, je prikazan na sliki 41.



Slika 41: zaznavanje napake ob vpisu v okno »odpiranje ali zapiranje«

Ko vzdrževalec pritisne na gumb »ON«, se preveri vpis in program preko logičnih funkcij ustvari signal na izhodu, ki v primeru logične 0 javi napako.

6.3.3.3 Kronološka lista

Kronološka lista je pri funkcionalnih preizkusih namenjena sprotnemu preverjanju korakov preizkusa. V kronološko listo se zapisujejo naslednji dogodki:

- potrditev pogoja preizkusa,
- preklic potrditve pogoja preizkusa,
- akcija preizkusa,
- potrditev akcije preizkusa in
- preklic potrditve akcije preizkusa.

Kronološka lista je realizirana v obliki tabele z vrsticami, pri kateri je vsaka vrstica sestavljena iz niza znakov (ang.: string).

Niz vsebuje naslednje podatke:

- datum,
- čas,
- ime in priimek prijavljenega uporabnika in
- opis dogodka.

Slika 42 prikazuje zapis potrditve prvega pogoja preizkusa v kronološki listi.



Slika 42: primer vrstice v kronološki listi

Osnovni gradnik pri sestavi vrstice je blok »združevanje nizov« (ang.: concatenate strings). Vhodi bloka so povezani z vhodnimi nizi (datum, čas, ...), na izhodu pa dobimo niz, ki je spojeno zaporedje vhodov.

Datum in čas sta realizirana s časovnim blokom »datum/čas v sekundah« (ang.: get date/time in seconds). Njegov izhod ima obliko časovne značke (ang.: time stamp), zato je potrebna pretvorba podatka v tip niz (slika 43). Slednjo omogoča blok »oblikuj niz datum/čas« (ang.: format date/time string), ki mu je potrebno poleg časovne značke podati tudi formatno določilo (ang.: time format string) oziroma obliko izhodnega niza. Bločni diagram oziroma kodo programa opisuje slika 43.



Slika 43: sestava vrstice kronološke liste (koda podprograma)

Oblike formatnih določil opisuje tabela 3:

formatno določilo	pomen	primer
%x	datum (ang.: local specific date)	6.12.2007
%X	čas (ang.: local specific time)	12:15:46
%H	ure	12
%M	minute	15
%S	sekunde	46
%3u	tisočinke	,529
%d	dan (0-31)	6
%B	mesec	december
%Y	leto	2007

Tabela 3: opis formatnih določil datum/čas

Bloku »oblikuj niz datum/čas« podamo formatno določilo »%x« (slika 43) in prej omenjeno časovno značko, tako da dobimo na izhodu trenutni datum v obliki niza znakov (npr. 6.12.2007). Za čas v obliki niza bi lahko uporabili tudi formatno določilo %X, ki bi izhodu podal trenutni čas, vendar brez milisekund. Boljša rešitev je, da navedemo ure, minute, sekunde in tisočinke posebej (%H:%M:%S%3u) in dobimo na izhodu ustrezno obliko časa: 12:15:46,592.

Pri sestavljanju niza vrstice se za datumom in časom nizu pripne ime in priimek prijavljenega uporabnika. Podatke o slednjem vsebuje spremenljivka »operater«, ki se nastavi ob prijavi uporabnika. Na koncu se nizu pripne še opis dogodka, ki se je zgodil (primer: »Sifonska zapornica izvlecena – POTRDITEV«).

Ob sestavljanju niza se med posameznima podatkoma z ustreznim številom dodajo presledki (realizirani s tabulatorji), ki oblikujejo končen izgled vrstice v kronološki listi.

Po vsakem zapisu v kronološko listo se na koncu niza doda znak »konec vrstice« (ang.: end of line constant), kar pomeni pomik v novo vrstico (slika 44). Ko se zgodi nov dogodek, je le-ta zapisan v obliki niza v naslednjo prazno vrstico. S tem se z vpisom nadaljuje od tam, kjer smo končali.

Zaradi sprotnega vpogleda v kronološko listo je pomembno, da se fiksno okno tabele z vpisom dogodka avtomatično pomakne in s tem omogoči spremljanje zadnjih vpisanih dogodkov, kadar je del tabele, ki je viden na zaslonu, poln. Slednje je realizirano tako, da program najprej pogleda dolžino niza celotne tabele (slika 44), kar pomeni pozicijo, kjer se nahaja zadnji znak.



Slika 44: vpis v tabelo

Dolžino celotnega niza tabele, ki je 32-bitno celo število (v zlogih), podamo vhodu bloka »lastnost tabele - pozicija besedila« (ang.: text scroll position). S tem smo tabeli nastavili lastnost, da se ob vsakem vpisu dogodka (kadar je njeno okno polno) preko drsnika avtomatično pomakne za eno vrstico nižje.

6.3.3.4 Dogodki

V modernih aplikacijah, kjer je uporabniška prijaznost pomembna lastnost, je programska »struktura dogodkov« pogosto prisotna. Veliko interakcij uporabnika z uporabniškim oknom (klik na gumb, povečanje uporabniškega okna ali vnos znaka preko tipkovnice,...) je realiziranih z dogodki.

Vsak vpis v kronološko listo omogoča »struktura dogodkov« (ang.: event structure). Le-ta vsebuje enega ali več poddiagramov (ang.: subdiagrams), od katerih vsak vsebuje programsko kodo pripadajočega dogodka, ki jo z dogodkom povezuje ročica (ang.: event handle). V primeru, da ni sprožen noben dogodek, se struktura nahaja v poddiagramu »premor« (ang.: time out), ki je prazen. Ob novem dogodku »struktura dogodkov« preklopi na ustrezen poddiagram in izvrši njegovo kodo (slika 45).

Ko uporabnik potrdi prvi korak preizkusa »sifonska zapornica mora biti izvlečena«, tako da klikne na kontrolno polje (ang.: checkbox) pred opisom dogodka, se v polju pojavi kljukica. S

tem se kontrolnemu polju spremeni vrednost iz logične 0 v logično 1. Ker je sprememba vrednosti (ang.: value change) indikatorja definirana kot dogodek na seznamu poddiagramov, to spremembo »struktura dogodkov« zazna in sproži dogodek. Izvede se preklop na ustrezen poddiagram, kar prikazuje slika 45.



Slika 45: »struktura dogodkov« (ang.: event structure)

Spremenljivka odkljukanega kontrolnega okna »sifonska zapornica potrd« ima vrednost logične 1, kar pomeni, da se izvede »true« poddiagram zanke »case«. Slednje pomeni, da opis dogodka predstavlja niz »Sifonska zapornica izvlecena - POTRDITEV«. Sledi izvršitev preostalega dela kode, kar pomeni sestava in vpis vrstice v kronološko listo in Excel datoteko. Nato »struktura dogodkov« ponovno preklopi na poddiagram »premor«, dokler se ne sproži nov dogodek

Ob spremembi vrednosti indikatorja se torej proži dogodek, katerega ročica je povezana s pripadajočim poddiagramom. V primeru, da se uporabnik pri potrditvi koraka preizkusa »sifonska zapornica mora biti izvlečena« zmoti in bi rad potrditev preklical, ponovno klikne na odkljukano okno. S tem kljukice v oknu ni več in indikator spremeni vrednost iz logične 1 na logično 0. To ponovno sproži dogodek z istim imenom, a spremenljivka »sifonska

zapornica potrdi« ima sedaj vrednost logične ničle, kar pomeni da se izvede »false« poddiagram zanke »case«. Opis dogodka je v tem primeru: »Sifonska zapornica izvlecena – POTRDITEV PREKLICANA«.

Poleg proženja dogodkov, ko uporabnik preko uporabniškega vmesnika potrdi izveden korak, je v programu realizirano tudi programsko proženje dogodkov. Uporablja se pri dogodkih, ki se zgodijo neodvisno od interakcije uporabnika z vmesnikom. V programu je tovrstno proženje dogodkov uporabljeno takrat, ko program (simulativno) sam spremeni vrednost določenega indikatorja, povzročena sprememba vrednosti pa posledično proži dogodek. Na realnem sistemu bi to pomenilo spremembo izhoda senzorja, ki jo zazna programsko okolje LabView.

Lastnost indikatorja »signalizacija vrednosti«, je ključni blok, s katerim je izvedeno programsko proženje dogodka (ang.: property node – value signaling), ki je bil uveden šele v verziji LabView 7.0. Bloku moramo na vhod podati vrednost spremenljivke indikatorja (slika 46), ki posodobi njeno vrednost (ang.: update) in s tem sproži dogodek. Izvršitev bloka »signalizacija vrednosti« je potrebno omejiti na trenutek, ko se zgodi sprememba, kajti v nasprotnem primeru bi se dogodek sprožil ob vsaki izvedbi vzorčenja. Na ta način se programsko sproži dogodek le ob nastopu spremembe, enako kot če bi uporabnik kliknil na gumb.



Slika 46: programsko proženje dogodka

Ko se vodilnik odpre se spremenljivka »vodilnik odprt« v trenutku i postavi na vrednost logične 1 (slika 46). V trenutku i-1 je imela ista spremenljivka vrednost logične 0. Ker je spremenljivka »vodilnik odprt« v trenutkih i in i-1 različna, preklopi »case« zanka na »true« poddiagram in s tem blok »signalizacija vrednosti« sproži dogodek.

6.3.3.5 Zapis v Excel datoteko

Vsi koraki preizkusa oziroma vsi dogodki, ki se vpisujejo v kronološko listo, se avtomatično sproti vpisujejo tudi v Excel datoteko. V programu Excel podatke po potrebi statistično urejamo in enostavno natisnemo na papir. Princip zapisa v Excel datoteko je podoben kot pri zapisu v kronološko listo, saj so uporabljeni enaki bloki.

Pri sestavi vrstice se podatke med seboj loči, tako da se vsak vpiše v svoj stolpec Excel tabele, kar je realizirano s tabulatorji. Podatki, razvrščeni po stolpcih, uporabniku omogočajo sortiranje in izris grafikonov. Sestavljanje vrstice, ki se vpiše v datoteko, prikazuje slika 47.



Slika 47: koda podprograma, ki sestavi vrstico za vpis v Excel datoteko

Vpis posamezne vrstice se izvrši takrat, ko se proži dogodek (primer: uporabnik potrdi prvi pogoj preizkusa). Takrat zanka »case« od »strukture dogodkov« prejme logično 1, kar pomeni preklop na poddiagram »true«. V poddiagramu »true« se vpis posamezne vrstice v Excel datoteko izvede v treh korakih (slika 48):

- 1. odpre se datoteka,
- 2. izvrši se posamezen vpis vsebine v datoteko in
- 3. datoteka se zapre.

Začetek poglavja poglavja 6.3 opisuje izbiro lokacije obstoječe datoteke ali vpis imena nove datoteke. Ker želimo pisati v Excel datoteko, moramo imenu dodati končnico ».xls«. V primeru, da uporabnik izbere že obstoječo datoteko, program pred izvajanjem odpre okno in opozori, da datoteka z navedenim imenom že obstaja. V tem primeru ima uporabnik na voljo,

da datoteko prepiše (klik na gumb »OK«), ali zapusti program (klik na gumb »cancel«) in pred naslednjim izvajanjem vpiše ime nove datoteke. S tem se izognemo prepisu podatkov in izgubi dokumentacije.



Slika 48: koraki zapisa v Excel datoteko

Funkcija »odpri/ustvari/zamenjaj datoteko« (slika 48) ima na vhodu vrsto operacije »odpri« in pot, kjer se datoteka nahaja (ang.: file path). Izhod je preko referenčne številke (ang.: reference number) in signala napake povezan do funkcije »nastavi pozicijski znak datoteke« (ang.: set file position), ki lahko označi poljuben odmik od začetka ali konca datoteke. Pozicijski znak označi konec odprte Excel datoteke, in s tem nastavi pozicijo, kjer se bo nadaljeval naslednji vpis. Sledi povezava do funkcije »piši v tekstovno datoteko«, kjer se posamezna vrstica zapiše. Na koncu se izvede še funkcija »zapri datoteko«, ki datoteko s zapisanimi podatki zapre.

Referenčna številka je začasen kazalec na odprt objekt, ki je veljaven le za periodo, ko je objekt odprt. V trenutku ko se objekt zapre, LabView prekine povezavo referenčne številke z objektom, ki postane zastarela. V primeru, da program ponovno odpre objekt (datoteko), LabView ustvari novo referenčno številko, ki je različna od prejšnje. LabView tako objektu dodeli del pomnilnika, ki je povezan z referenčno številko. Ko se objekt zapre, se povezava med referenčno številko in objektom prekine, kar pomeni sprostitev pomnilniške lokacije.

V primeru prekinitve napajanja z električno energijo ali odpovedi posameznega dela računalnika opisan koncept, ko program ob vsakem vpisu datoteko odpre, na ustrezno mesto zapiše podatke in jo zapre, pretekle podatke zavaruje pred izgubo.

6.3.3.6 Povezava s krmilnikom

Izvajanje preizkusov na realnem sistemu s programskim okoljem LabView potrebuje povezavo do programirljivega logičnega krmilnika (PLC), na katerega so povezani aktuatorji in senzorji. Podatki med okoljem LabView in krmilnikom agregata se lahko prenašajo na več načinov. Prva možnost je uporaba serijske komunikacije, ki zajema standarde RS-232, RS-422 in RS-485. Slika 49 prikazuje primer serijskih komunikacijskih vmesnikov proizvajalca National Instruments.



Slika 49: primeri serijskih komunikacijskih vmesnikov, preslikano iz [22]

V povezavi s serijskim vmesnikom se uporablja Modbus protokol, ki se nahaja na aplikacijskem sloju OSI modela in zagotavlja povezavo odjemalec/strežnik. Za vzpostavitev komunikacije potrebuje okolje LabView namestitev DSC modula (ang.: datalogging supervisory and control module), ki vsebuje funkcije za vzpostavitev komunikacije preko Modbus TCP I/O strežnika.

Druga razširjena možnost je uporaba OPC (OLE for process control) strežnika. Standard OPC zagotavlja komunikacijo med napravami različnih proizvajalcev v realnem času. Njegov namen je povezati aplikacije, ki delujejo pod okriljem Windows z napravami v procesni industriji, kot so programirljivi logični krmilniki. Uporaba DSC modula omogoča programu v okolju LabView komunikacijo z OPC strežnikom, kjer povezava temelji na komunikacijskih vtičnicah, medtem ko je v novejših verzijah okolja LabView (verzija 8 in več) trend v smeri »porazdeljenih« spremenljivk (ang.: shared variables).

6.3.3.7 Rezultati izvedenega preizkusa

Po vseh uspešno opravljenih korakih preizkusa odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka, ima vzdrževalec na računalniku shranjeno datoteko, ki je namenjena dokazovanju korektne izvedbe vseh korakov. Tako pravilnost zaporedja kot obseg vseh korakov preizkusa lahko vzdrževalec dokazuje s shranjenimi podatki v Excel datoteki (tabela 4).

12	december	2007	8	37	21	0,342	Janez Novak	Sifonska zapornica izvlecena - POTRDITEV
		1						Ventil za izpust regulacijskega olja zaprt -
12	december	2007	8	37	24	0,671	Janez Novak	POTRDITEV
								Ventila za dovod olja za predt loputo in by-pass
12	december	2007	8	37	27	0,592	Janez Novak	zaprta - POTRDITEV
								Predturbinska loputa mehansko blokirana -
12	december	2007	8	37	30	0,592	Janez Novak	POTRDITEV
12	december	2007	8	37	34	0,078	Janez Novak	Rocni ventil na obtocnem vodu zaprt - POTRDITEV
12	december	2007	8	37	40	0,092	Janez Novak	Zavore pritegnjene
12	december	2007	8	37	43	0,828	Janez Novak	Zavore pritegnjene - POTRDITEV
12	december	2007	8	37	43	0,842	Janez Novak	Pogoni rocno programsko
12	december	2007	8	37	49	0,342	Janez Novak	Pogoni rocno - POTRDITEV
12	december	2007	8	37	51	0,358	Janez Novak	Vodilnik odpahnjen
12	december	2007	8	37	54	0,389	Janez Novak	Zapah odpahnjen - PORTDITEV
12	december	2007	8	37	56	0,405	Janez Novak	Izolacijski ventil odprt
12	december	2007	8	37	59	0,921	Janez Novak	Izolacijski ventil odprt POTRDITEV
12	december	2007	8	38	0	0,921	Janez Novak	Servisni ventil odprt
12	december	2007	8	38	3	0,608	Janez Novak	Servisni ventil odprt POTRDITEV
12	december	2007	8	38	8	0,436	Janez Novak	DTR odpiranje vodilnika
12	december	2007	8	38	15	0,953	Janez Novak	DTR vodilnik odprt 75 % 7,516000 s
12	december	2007	8	38	24	0,921	Janez Novak	DTR zapiranje vodilnika
12	december	2007	8	38	32	0,436	Janez Novak	DTR vodilnik zaprt 7,516000 s
12	december	2007	8	38	40	0,592	Janez Novak	Odpiranje, zapiranje vodilnika - POTRDITEV
12	december	2007	8	38	49	0,139	Janez Novak	DTR odpiranje vodilnika
12	december	2007	8	38	56	0,655	Janez Novak	DTR vodilnik odprt 75 % 7,516000 s
12	december	2007	8	39	1	0,014	Janez Novak	Hitra zapora 1 aktivirana
12	december	2007	8	39	2	0,53	Janez Novak	Hitri del HZ1 izvršen 1,516000 s
12	december	2007	8	39	5	0,53	Janez Novak	Pocasni del HZ1 izvršen 3,000000 s
12	december	2007	8	39	13	0,764	Janez Novak	Hitra zapora 1 - POTRDITEV
12	december	2007	8	39	14	0,78	Janez Novak	Servisni ventil zaprt
12	december	2007	8	39	18	0,264	Janez Novak	Servisni ventil zaprt - POTRDITEV
12	december	2007	8	39	20	0,28	Janez Novak	Vodilnik zapahnjen
12	december	2007	8	39	22	0,608	Janez Novak	Zapah zapahnjen - POTRDITEV
12	december	2007	8	39	24	0,625	Janez Novak	Izolacijski ventil zaprt
12	december	2007	8	39	28	0,264	Janez Novak	Izolacijski ventil zaprt - POTRDITEV
12	december	2007	8	39	34	0,28	Janez Novak	Zavore odtegnjene
12	december	2007	8	39	36	0,108	Janez Novak	Zavore odtegnjene - POTRDITEV
12	december	2007	8	39	36	0,125	Janez Novak	Pogoni avtomatsko programsko
12	december	2007	8	39	40	0,828	Janez Novak	Pogoni avtomatsko - POTRDITEV

Tabela 4: zabeleženi rezultati preizkusa v Excel datoteki

Tabela 4, ki prikazuje vse izvedene pogoje, akcije in pripadajoče potrditve preizkusa odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka.

Na enak način bi bili lahko izvedeni in zabeleženi tudi ostali funkcionalni preizkusi, omenjeni v poglavju 5.2. Vsak preizkus bi bil shranjen v svoji Excel datoteki, kar bi omogočilo sistematičen in enostaven vpogled v izvedbo celotnega postopka izvajanja s strani vzdrževalnih in inšpekcijskih služb.

7 Zaključek

V diplomski nalogi smo proučili izvajanje funkcionalnih preizkusov agregata hidroelektrarne Moste. S pomočjo programskega okolja LabView 8.0 smo izdelali simulacijo start/stop sekvence vodenja agregata 4 in preizkus odpiranja in zapiranja vodilnika brez vodnega natoka. Naš sistem uporabniku omogoča enostavno in hitro izvajanje pogojev in akcij ob pomoči uporabniškega okna »lista testov«, ki jih sproti potrjuje s klikom na posamezno pripadajoče kontrolno polje. Pripadajoči časi odpiranja in zapiranja vodilnika ter delovanje »hitre zapore 1« se zabeležijo avtomatično, kar smo izvedli preko uporabniškega okna »preizkusi«. Za dokumentiranje izvršenih korakov smo realizirali kronološko listo, ki vsebuje vse pretekle dogodke.

Poskrbljeno je bilo tudi za ustrezno arhiviranje podatkov, saj so vsi pogoji, akcije in potrditve, preko zaporedne sekvence »odpri/zapiši/zapri« zabeleženi v Excel datoteki. S tem smo zagotovili enostavno dokazovanje korektnosti vseh korakov preizkusa pred inšpekcijskimi službami.

Vzdrževalna ekipa bi po enakem postopku lahko izvajala tudi ostale funkcionalne preizkuse in s tem minimizirala napake, zmanjšala čas izvajanja, prihranila finančna sredstva in hkrati povečala nadzor nad izvedenimi preizkusi.

8 Literatura

- 1. IBE d.d. *Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja Rekonstrukcija HE Moste,* elektro mapa, September 2006
- 2. IBE d.d. *Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja Rekonstrukcija HE Moste*, strojna mapa, September 2006
- 3. Savske elektrarne Ljubljana, d.o.o. PE HE Moste. *Agregat 4 in skupne naprave Redna letna revizija v letu 2006*, Moste, Februar 2006
- Savske elektrarne Ljubljana, d.o.o. Projekt izvedenih del Krmilne omare, št. Mape ME22, IBE d.d., svetovanje projektiranje in inženiring, Januar 2001
- 5. Drago Matko. Računalniško vodenje procesov. Založba FE in FRI, Ljubljana, 1995
- Damijan Miljavec, Peter Jereb. *Električni stroji*. Prva Izdaja. Samozaložba, Ljubljana 2005
- Bojan Podlesnik. Avtomatizacija, vodenje in regulacije v elektroenergetskih sistemih. Založniška dejavnost FERI, Maribor 1995
- 8. Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. Obnova HE Moste Energetski vidiki. http://www.he-moste.sel.si/index.php?id=6, dostopnost preverjena avgusta 2007
- 9. Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. HE Moste. http://www.savskeel.si/index.php?id=20, dostopnost preverjena septembra 2007
- 10. Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. HE Moste. http://www.savskeel.si/index.php?id=21, dostopnost preverjena novembra 2007
- 11. National Instruments LabView 8.5 for industrial measurements. http://www.ni.com/labview/, dostopnost preverjena novembra 2007
- David Bailey, Edwin Wright. *Practical SCADA for industry*. Newnes, An imprint of Elsevier, Oxford OX2 8DP, 2003
- Gordon Clarke, Deon Reynders. Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems. Newnes, An imprint of Elsevier, Oxford OX2 8DP, 2004
- Stuart A. Boyer. SCADA: Supervisory control and data acquisition. Second edition. ISA, North Carolina 27709, 1999
- Dixon S. L. Fluid Mechanics and Thernodynamics of Turbomachinery. Fifth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington MA 01803, 1998
- 16. Jože Voršič, Tine Zorič, Miran Horvat. *Izračun obratovalnih stanj v elektroenergetskih omrežjih.* Založniška dejavnost FERI, Maribor, 2003

- Miroslav Benišek. *Hidraulične turbine*. Mašinski fakultet, 27.-og marta, 11000 Beograd, 1998
- 18. Ion Boldea. Synchronous generators. Taylor and Francis Group, New York, 2006
- 19. Robert H. Bishop. LabVIEW 7 Express. Pearson Prentice Hall, New York, 2006
- 20. Robert H. Bishop. *LabVIEW* 8. Student Edition. Pearson Prentice Hall, New York, 2006
- Anton Koselj. Zagotavljanje obratovalne zanesljivosti hidroagregata hidroelektrarne Moste z nadzorom in kontrolnimi preizkusi – Diplomsko delo. Visoka strokovna šola za elektroenergetiko Ljubljana, Ljubljana, 1998
- 22. Connect LabView to Any industrial Network and PLC. http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5407, dostopnost preverjena decembra 2007
- 23. Modbus. http://www.intellicom.se/modbus.shtml, dostopnost preverjena decembra 2007

Izjava

Izjavljam, da sem diplomsko delo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja doc. dr. Boštjana Murovca. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v zahvali.

Logatec, 14. december 2007

Klemen Nagode