

Фондација Конрад Аденауер
Претставништво во Северна Македонија
Ристо Равановски 8
МК-1000 Скопје
Т +389 2 3217 075
skopje@kas.de
kas.de/nordmazedonien

Машински факултет - Скопје
Универзитет
„Св. Кирил и Методиј“
Карпош II бб
МК-1000 Скопје
Т+ 389 / (2) 3099 200
contact@mf.ukim.edu.mk

ISBN 978-608-4648-65-9
ISBN 978-608-4624-31-8

**Системи за управување и
мониторинг во животна средина**

проф. д-р Емил Заев
проф. д-р Зоран Марков
проф. д-р Дарко Бабунски



Системи за управување и мониторинг во животна средина

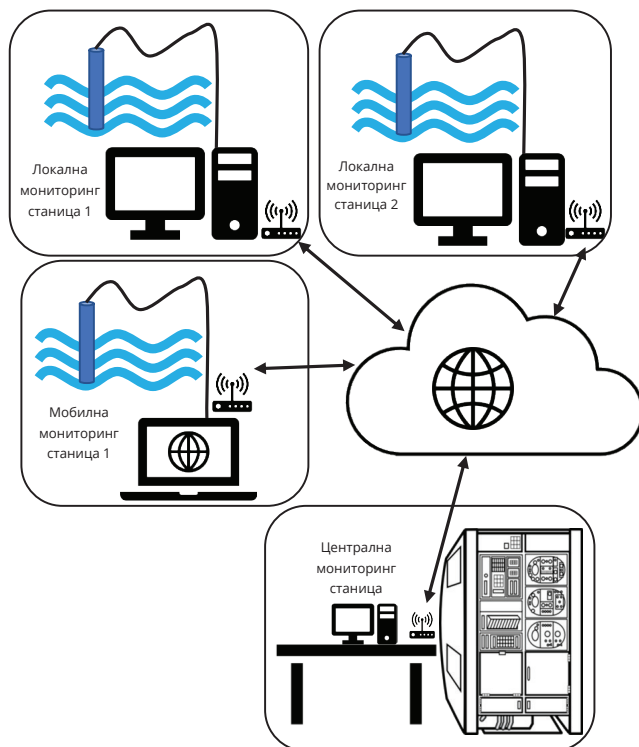
проф. д-р Емил Заев, проф. д-р Зоран Марков,
проф. д-р Дарко Бабунски



www.kas.de

Системи за управување и мониторинг во животна средина

проф. д-р Емил Заев, проф. д-р Зоран Марков, проф. д-р Дарко Бабунски



Скопје, 2021 година

Импресум

Наслов:

Системи за управување и мониторинг во животна средина

Автори:

проф. д-р Емил Заев
проф. д-р Зоран Марков
проф. д-р Дарко Бабунски

Рецезенти:

проф. д-р Александар Ношпал
проф. д-р Атанаско Тунески

Издавач:

Фондација Конрад Аденауер во Република Северна Македонија
Машински факултет - Скопје

Координација:

Даниел Браун
Даниела Поповска

Лектура:

Ивана Коцевска

Компјутерска подготовка и печат:

Винсент Графика ДОО Скопје

Тираж:

200 примероци

Публикацијата може бесплатно да се преземе на:

<https://www.kas.de/mk/web/nordmazedonien>

Напомена:

Фондацијата Конрад Аденауер не сноси одговорност за фактите и ставовите изнесени во публикацијата. Тие претставуваат лични гледишта на авторите.

Оваа публикација служи само за информативни цели. Таа не смее да се употребува во рамки на изборни кампањи.

Со одлука на Наставно-научниот совет на Машинскиот факултет при Универзитетот "Св. Кирил и Методиј" во Скопје, на редовна седница одржана преку видеоконференциска платформа на 27 мај 2021 година, а заведена со архивски број 02-416/6 од 27.05.2021 година се одобрува користење на оваа публикација како учебник по предметот Мониторинг и управување.

Сите права се заштитени. Ниту еден дел од овој учебник не може да биде репродуциран или користен во било која форма за умножување, фотокопирање или чување во информатички системи без претходна дозвола од авторите.

Содржина

Предговор	15
1 Вовед во системите за управување и мониторинг	21
1.1 Современи системи за дигитално управување и аквизиција на податоци - дефиниции, споредби и разлики.....	23
1.1.1 Распределени управувачки системи.....	24
1.1.2 Програмабилни логички контролери.....	26
1.1.3 Системи за супервизорно управување и аквизиција на податоци	27
1.1.4 Други дигитални системи за управување и аквизиција на податоци.....	31
1.2 SCADA системи – составни делови, примена и општ пример.....	34
1.2.1 Компоненти на еден современ SCADA систем.....	34
1.2.2 Теренска инструментација.....	36
1.2.3 Тренд во современите сензори применети во аквизициони системи.....	37
1.3 Основи на кондиционирање на сигнали за компјутерски базирани системи за аквизиција на податоци.....	41
1.3.1 Основни функции на кондиционирањето на сигналите.....	42
1.3.2 Типови сензори кај кој има потреба од кондиционирање на сигналите.....	46
1.4 Теренска станица.....	48
1.4.1 Теренска терминална единица – RTU.....	48
1.4.2 Програмабилни логички контролери.....	52
1.5 Разлика помеѓу RTU и PLC.....	62
1.6 Комуникациска мрежа.....	63
1.6.1 Вовед.....	63
1.6.2 Прво ниво, ниво на физичко поврзување.....	64
1.6.3 Второ ниво, ниво на протоколи.....	67
1.6.4 Трето ниво, ниво на OPC – SCADA софтвер.....	71
1.7 Централна мониторинг станица.....	72
1.8 Типични SCADA конфигурации.....	76
1.8.1 Конфигурација од точка до точка.....	76
1.8.2 Конфигурација од точка до повеќе точки.....	77
1.8.3 Комуникациски модови.....	78

1.9	Одредување на процесите и редослед на дејствија за успешно имплементирање на дискретно управување со SCADA систем.....	79
1.9.1	Опис на редните дејства	80
1.10	Придобивки од примена на SCADA системи.....	82

2 Типови на управувачки алгоритми **85**

2.1	Секвенционално управување.....	87
2.2	Континуално управување.....	87
2.2.1	On-off управување со повратна врска.....	88
2.2.2	Управување со предвидување.....	88
2.2.3	Управување со повратна врска.....	90
2.2.4	Комбинирано управување со повратна врска и управување со предвидување.....	92
2.3	Напредни управувачки стратегии.....	92
2.3.1	Адаптивно управување со засилување.....	93
2.3.2	Нелинеарно управување.....	93
2.3.3	Модел базирано управување.....	93
2.3.4	Фази логичко управување.....	94

3 Стандардни контролери за системи со повратна врска **95**

3.1	Управување на систем од прв ред.....	97
3.1.1	Пропорционално засилување.....	98
3.1.2	Интегрално засилување.....	100
3.1.3	Деривативно засилување.....	102
3.1.4	PID контролер и негово нагодување.....	103

4 Системи за управување и мониторинг на пречистителни станици за питка вода **107**

4.1	Објаснување на процесот на пречистување вода.....	109
4.1.1	Додавање коагуланти.....	110
4.1.2	Коагулација.....	110
4.1.3	Флокулација.....	110
4.1.4	Седиментација.....	112
4.1.5	Додавање полимер (флокулација).....	114

4.1.6 Филтрирање преку песочни филтри (или песочни плус филтри со активен јаглен).....	114
4.1.7 Дезинфекција. Додавање хлор и додавање флуор.....	115
4.1.8 Складирање.....	116
4.2 Стратегии за управување на поединечни процеси во пречистителни станици за питка вода.....	117
4.2.1 Управување со пумпите за сурова вода.....	117
4.2.2 Управување со додавање коагуланти.....	118
4.2.3 Управување со рН.....	119
4.2.4 Управување со флокулацијата и процесот за мешање.....	120
4.2.5 Управување при процесот на седиментација.....	121
4.2.6 Управување со протокот низ филтерот.....	121
4.2.7 Управување со измивањето на филтерот.....	122
4.2.8 Управување со дотурот на хлор при процесот на дезинфекција.....	125
4.2.9 Управување со талог и со повратна вода.....	127
4.2.10 Управување со пумпите за пречистена вода.....	128
4.2.11 Управување со стартување и гасење на постројката.....	128
4.2.12 Мониторинг на потрошувачката на електрична енергија.....	128

5 Системи за управување и мониторинг на енергетска постројка – Хидроцентрала

131

5.1 Опис на одделни елементи од хидроцентрала кои влегуваат во системот за дигитално управување.....	133
5.1.1 Основни разгледувања.....	134
5.1.2 Главна влезна порта.....	135
5.1.3 Турбински вентил.....	136
5.1.4 Генератор.....	137
5.1.5 Регулатори.....	139
5.1.6 Сензор за брзина.....	141
5.1.7 Управување – дигитално.....	142
5.1.8 Електрохидрауличен состав.....	144
5.1.9 Регулиран состав.....	149
5.1.10 Принцип на работење на дигитален регулатор.....	153
5.2 Подготвителни чекори при дизајнирање на SCADA систем за управување со хидротурбина.....	156
5.2.1 Математичко моделирање.....	157
5.2.2 Синтеза на контролер.....	159

5.2.3 Дефинирање мерни места и инструменти, управувачки единици (PLC), редоследна логика, управувачки алгоритми, грешки и аларми.....	161
5.2.4 Преттест со симулација.....	161
5.2.5 Имплементација во електраната.....	161
5.3 Опис на хардвер, мрежи и протоколи за SCADA систем за управување и супервизија со ХЕЦ.....	162
5.3.1 Основни препораки при избор на PLC единици, изработка на мрежа и дефинирање протокол за управување со ХЕЦ.....	162
5.3.2 PLC контролери од познати произведувачи.....	162
5.4 Блок-дијаграм на типичен систем за управување со ХЕЦ.....	175
5.5 Хиерархија на функции на типичен систем за управување со ХЕЦ.....	178
5.5.1 Прво ниво на управување – локално мануелно управување.....	178
5.5.2 Второ ниво на управување – автоматско управување.....	179
5.5.3 Трето ниво на управување – SCADA ниво.....	180
5.6 Управувачки функции и работни модови на системот за управување според нивото на управување.....	181
5.6.1 Управувачки функции и работни модови на PLC ниво.....	181
5.6.2 Управувачки функции и работни модови на SCADA мастер станицата – SCADA ниво.....	182
5.7 Карактеристики на елементите на типичен систем за управување со мала ХЕЦ.....	183
5.7.1 Управувачка табла на турбинска единица.....	183
5.7.2 Заеднички систем за управување.....	187
5.7.3 Програмабилен логички контролер за влезната порта.....	188
5.7.4 Систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци.....	188
5.8 Мерни места, инструменти и нивни ознаки во SCADA програма.....	189
5.8.1 Сензори и мерни места.....	189
5.8.2 Сензори, мотори и соленоиди.....	192
5.9 Дефинирање на алгоритми на управување.....	195
5.9.1 Мануелно управување.....	196
5.9.2 Пример на алгоритам за управување со турбинскиот вентил.....	196
5.10 Изведување равенки потребни за симулациона SCADA програма.....	197
5.10.1 Основни параметри на хидроцентрала.....	197
5.10.2 Изведени зависности на основните параметри.....	198
5.11 Изработка и опис на SCADA компјутерска апликација за симулација на систем за управување со ХЕЦ.....	201

5.11.1 Структура на SCADA апликација за симулација.....	201
5.11.2 Главен панел.....	203
5.11.3 Управувачка структура на една единица.....	204
5.11.4 Управувачка хидраулика на турбинскиот контролер.....	205
5.12 Презентација на работење и можности на SCADA компјутерска апликација за симулација на хец.....	206
5.12.1 Поврзување на контролните објекти (видливи слики) со изразите на зависности (влезни сигнали).....	210

6 Системи за континуиран мониторинг на квалитетот на површинските води

211

6.1 Индекс за квалитет на вода – Вовед.....	213
6.2 Квалитет и стандарди за површинска вода.....	215
6.2.1 Квалитет на површинските води.....	215
6.2.2 Македонски стандарди за квалитет на вода.....	217
6.3 Анализа на индекси за квалитет на вода кои постојат во светот.....	220
6.3.1 Индекс за квалитет на вода на американската национална фондација за санитација (<i>NSFWQI</i>).....	221
6.3.2 Индекс на квалитет на вода кој се употребува во орегон, сад (<i>OWQI</i>).....	222
6.3.3 Индекс за квалитет на вода на канадски совет на министри за животна средина (<i>CCME WQI</i>).....	222
6.3.4 Индекс за квалитет на вода базиран на четири основни параметри.....	224
6.3.5 Индекс за квалитет на вода на државата Вашингтон, САД.....	224
6.4 Развој на индекс за квалитет на вода за следење на квалитетот на површинските води во реално време.....	225
6.4.1 Избор на параметрите и нивните тежински фактори.....	225
6.4.2 Сведување на мерните единици на параметрите за квалитет на водата на иста скала.....	228
6.4.3 Интерпретација на македонскиот реално-временски индекс за квалитет на вода.....	230
6.4.4 Пресметка на македонскиот индекс за квалитет на вода.....	231
6.5 Автоматизиран систем за мерење на квалитетот на водата во реално време.....	233
6.5.1 Вовед.....	233
6.5.2 Опис на SCADA системот.....	234

7 Влијание на глобалните и еу политиките врз животната средина

243

7.1 Стратегија за заштита на животната средина.....	245
7.1.1 Биодиверзитет – потреба за итно дејствување.....	245
7.1.2 Заштита и обновување на природата во Европската Унија.....	247
7.1.3 Меѓународна соработка, соседска политика и мобилизација на ресурси.....	251
7.1.4 Заклучок.....	252
7.2 Берлински процес: еколошка агенда на ЕУ за Западен Балкан.....	252
7.2.1 Клима, енергија, мобилност.....	252
7.2.2 Кружна економија.....	255
7.2.3 Намалување на загадувањето.....	255
7.2.4 Одржливо земјоделство и производство на храна.....	256
7.2.5 Биодиверзитет.....	257
7.3 Европски Еколошки Договор (The European Green Deal).....	258

8 Додаток 1

263

8.1 Алгоритми за управување на хидроцентрала.....	265
8.1.1 Влезна порта.....	265
8.1.2 Турбински вентил.....	266
8.1.3 Хидрауличен агрегат на регулаторот на брзина (ХАРБ).....	267
8.1.4 ХАРБ – Почетна состојба.....	267
8.1.5 Механичко кочење.....	268
8.1.6 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште.....	269
8.1.7 Вода за ладење.....	269
8.1.8 Истечни води – истекување.....	270
8.1.9 Зграда на хидроцентралата.....	271
8.1.10 Единицата подготвена за стартување.....	272
8.1.11 Стартување на единицата.....	272
8.1.12 Нормално затворање на единицата.....	274
8.1.13 Итно затворање на единицата.....	275
8.1.14 Мирување на единицата.....	275

9 Додаток 2 **277**

9.1 Примери за реализирана симулација на SCADA систем.....279

 9.1.1 Пример 1.....279

 9.1.2 Пример за реализирана симулација на SCADA систем за
 супервизија и аквизиција во лабораториска пумпна
 постројка.....290

10 Литература **297**

Резимеа **305**

ЛИСТА НА СЛИКИ

Слика 1.1: Типичен изглед на еден DCS систем.....	25
Слика 1.2: PLC и негова поврзаност со инструментите.....	27
Слика 1.3: Типичен SCADA систем.....	28
Слика 1.4: SCADA дисплеј, операторски интерфејс.....	29
Слика 1.5: Елементи на типичен компјутеризиран аквизиционен систем [35].....	31
Слика 1.6: Трансформација на сигналите [7].....	32
Слика 1.7: Систем на управување со персонален компјутер како директна управувачка единица.....	33
Слика 1.8: UV-Vis spectrometer паметен инструмент за мерење квалитет на површинска вода.....	34
Слика 1.9: Основни компоненти на еден современ SCADA систем [33].....	35
Слика 1.10: Изглед на еден современ SCADA систем за дистрибуција на вода.....	36
Слика 1.11: Комуникација во современите мерни системи некогаш и сега.....	38
Слика 1.12: Современ безжичен микроелектромеханички сензор.....	39
Слика 1.13: Функционален распоред на модулите во интелигентен едночипен безжичен сензор.....	40
Слика 1.14: Кондиционирање на сигналите кај компјутерски базирани системи за аквизиција на податоци (DAQ).....	41
Слика 1.15: NI SCXI систем за кондиционирање сигнали.....	46
Слика 1.16: Функционален распоред на хардверот во една RTU единица [34].....	49
Слика 1.17: Структура на програмабилен логички контролер (PLC).....	53
Слика 1.18: Типично поврзување на влезниот модул на PLC.....	54
Слика 1.19: Типично поврзување на излезниот модул на PLC.....	55
Слика 1.20: Користење на пс за вклучување светилка со: а) логика со релиња б) со PLC.....	59
Слика 1.21: А) Дијаграм на поврзување на старт/стоп систем за мотор.....	59
Слика 1.22: Б) Скалест дијаграм на старт/стоп систем за мотор.....	60
Слика 1.23: Апликација изработена во NI LOOKOUT [12].....	73
Слика 1.24: Конфигурација од точка до точка.....	77
Слика 1.25: Конфигурација од точка до повеќе точки.....	77
Слика 1.26: Комбинирано управување со ниво.....	80
Слика 2.1: Feedforward управување.....	88
Слика 2.2: Feedforward управување базирано на модел на системот.....	89
Слика 2.3: Пример на управување со сооднос во пречистителна станица.....	89
Слика 2.4: Управување со повратна врска.....	90

Слика 2.5: Пример на управување со повратна врска: управување со ниво на резервоар.....	91
Слика 2.6: Комбинирано управување со повратна врска и управување со предвидување.....	92
Слика 3.1: Стандарден <i>PID</i> контролер.....	97
Слика 3.2: Систем кој е користен за да се прикаже нагудување на <i>PID</i> контролер.....	98
Слика 3.3: <i>PID</i> + <i>feedforward</i> управување за хеликоптер.....	98
Слика 3.4: Однесување на пропорционалното засилување.....	99
Слика 3.5: Дејствување на интегралното засилување.....	101
Слика 3.6: Антипобег (<i>Antiwindup</i>).....	101
Слика 3.7: Дејствување на деривативното засилување.....	103
Слика 3.8: Блок-дијаграм на <i>PID</i> управување вклучувајќи динамика на сервомоторите.....	103
Слика 3.9: Пример за <i>PID</i> нагудување.....	105
Слика 4.1: Процесот на пречистување питка вода [www.Denverwater.Org].....	109
Слика 4.2: Процес на мешање во базените за коагулација и флокулација.....	111
Слика 4.3: Миксери за мешање во флокулациски базени.....	111
Слика 4.4: Зони на правоаголен таложник.....	112
Слика 4.5: Зони на кружен таложник.....	113
Слика 4.6: Кружен седиментациски базен.....	113
Слика 4.7: Насоки на течење на водата во филтерот при филтрирање и при измивање на филтерот.....	115
Слика 4.8: Складирање на водата во базени и кули пред дистрибуција [<i>US water protection agency - EPA</i>].....	116
Слика 4.9: Пример на генеричка постројка за пречистување питка вода [49].....	117
Слика 4.10: Пумпна станица за сурова вода на планината Eagle, Тексас, Сад.....	118
Слика 4.11: Комбинирано управување со <i>pH</i>	120
Слика 4.12: Управување со проток низ филтер.....	122
Слика 4.13: Шема на поставеност на уредите што се користат при измивање филтер.....	123
Слика 4.14: Управување со хлорирањето и доцнења кои се јавуваат во процесот.....	126
Слика 5.1: Основен блок-дијаграм на регулатор [2].....	141
Слика 5.2: Електронско мерење на брзината.....	142
Слика 5.3: Практична изведба на електрохидрауличен состав [26].....	145
Слика 5.4: Управувачка хидраулика на сервомотор [2].....	146

Слика 5.5: Нагло затворање на сервомотор од позиција на целосно оптоварена постројка.....	148
Слика 5.6: Нагло отворање на сервомотор од спроводен апарат.....	149
Слика 5.7: Принцип на автоматска регулација на фреквенција и снага на составот турбина – генератор [42].....	153
Слика 5.8: Блок-дијаграм на типичен дигитален регулатор [2].....	154
Слика 5.9: Функционален приказ и основни составни делови на реален дигитален регулатор.....	155
Слика 5.10: Линеарен модел на хидраулична турбина и регулација на брзината кај изолирано оптоварување на турбина [43].....	159
Слика 5.11: <i>PID</i> регулатор со вклучена динамика на пилот вентилот и сервомотор и главниот сервомотор.....	160
Слика 5.12: А) конвенционално каблирање на сензорите со <i>PLC</i> уред б) упростено каблирање со <i>ABB CS 31</i> систем.....	163
Слика 5.13: Пример на комплексно процесирање со децентрализиран систем.....	164
Слика 5.14: Пример на конфигурација на едноставен процес со интелегентни влезно/излезни единици.....	164
Слика 5.15: Најчеста местоположба на мастер станицата.....	166
Слика 5.16: <i>Siemens S7 400</i> централно куќиште со 18 слотови.....	167
Слика 5.17: Начини на поврзување на централното куќиште и експанзионите куќишта.....	168
Слика 5.18: Пример на <i>MPI</i> мрежа.....	169
Слика 5.19: Пример на <i>PROFIBUS DP</i> мрежа.....	170
Слика 5.20: Пример на мрежа со современ индустриски <i>Ethernet</i>	174
Слика 5.21: Нивелираност на системот за управување со ХЕЦ.....	175
Слика 5.22: Блок-дијаграм на типичен систем за управување со ХЕЦ.....	177
Слика 5.23: Фотографија на внатрешноста од управувачко ормарче за турбинска единица [41].....	184
Слика 5.24: Блок-дијаграм на единично <i>PLC</i> со неговите периферни уреди [21].....	185
Слика 5.25: Типични локации на сензорите за мерење притисок.....	190
Слика 5.26: Локации на вибрациските и сензорите за дефлекција на единицата [2].....	191
Слика 5.27: Потребен проток во зависност од бараната снага на турбина.....	200
Слика 5.28: Потребна отвореност на спроводниот апарат во зависност од бараната снага на турбина.....	200
Слика 5.29: Управувачка структура на <i>SCADA</i> апликација [41].....	202
Слика 5.30: Главен панел на <i>SCADA</i> апликацијата за управување со централа.....	203

Слика 5.31: Управувачки панел на турбинската единица 1.....	204
Слика 5.32: Управувачки панел на хидрауличниот агрегат на турбинскиот контролер.....	205
Слика 5.33: Состојба на вентилите и соленоидите во четириесет и петтата секунда.....	208
Слика 6.1: SCADA систем за мерење и мониторинг на квалитетот на водата во реката Вардар [84].....	235
Слика 6.2: Приказ на измерени вредности за параметарот растворен кислород (DO).....	237
Слика 6.3: Приказ на измерени вредности за параметарот температура.....	237
Слика 6.4: Потопени сензори и мерни уреди кои се користат за реално - временско мерење на параметрите за квалитет и квантитет на водата.....	238
Слика 6.5: Локална мониторинг станица автоматизирана со PLC.....	239
Слика 6.6: Интерконекциска и организациска структура на PLC автоматизиран систем [84]	240
Слика 6.7: Надворешна антена за GSM комуникација.....	241
Слика 9.1: Лабораториска пумпна мерна инсталација.....	292
Слика 9.2: Зависност на кривите Y_{p1} и Y_{p2} од отвореноста на вентилот (8); Y_{p1} = притисок p_1 , Y_{p2} = притисок p_2 , x = отвореност на излезниот вентил (8).....	293
Слика 9.3: Зависност на кривата Y_Q од отвореноста на вентилот (8); Y_Q = проток, x = отвореност на излезниот вентил (8).....	294
Слика 9.4: Главен прозорец (пумпа во работа).....	295
Слика 9.5: Главен прозорец (интерактивна работа).....	295

ЛИСТА НА ТАБЕЛИ

Табела 1.1: Електрични карактеристики и основни барања за кондиционирање на сигналот кај вообичаените сензори.....	47
Табела 5.1: Сензори, мотори и соленоиди на влезната порта.....	192
Табела 5.2: Сензори, мотори и соленоиди на притисниот цевковод.....	193
Табела 5.3: Сензори, мотори и соленоиди на турбинскиот вентил и регулатор.....	193
Табела 5.4: Сензори, мотори и соленоиди на генератор.....	194
Табела 5.5: Основни параметри на ХЕЦ Шпиље.....	197
Табела 5.6: Лабораториски мерења за ХЕЦ Шпиље.....	198
Табела 5.7: Вредности на параметрите за систем прототип изведени од лабораториски мерења на модел систем.....	198
Табела 6.1: Класификација на водните површини.....	218
Табела 6.2: Гранични вредности на одредени параметри според класата на водата.....	220
Табела 6.3: <i>WQI</i> во светот и нивните параметри.....	226
Табела 6.4: Равенки за пресметка на подиндекси.....	228
Табела 6.5: Интервали на вредноста на квалитетот на водата (проценти).....	230
Табела 6.6: Аналогно изедначување на категориите и нивните кратки описи.....	230
Табела 9.1: Експериментално добиени податоци со лабораториски мерења.....	293



Предговор

Предговор

Како предговор на оваа книга е даден извадок од рецензијата на самата книга од страна на рецензентите проф. д-р Александар Ношпал и проф. д-р Атанаско Тунески, редовни професори на Машинскиот факултет – Скопје.

Според содржината, книгата „Системи за управување и мониторинг во животна средина“ во целост ја опфаќа материјата предвидена со наставната програма по предметот Мониторинг и управување од прв циклус на студии на Машинскиот факултет во Скопје. Таа во целост ги задоволува барањата на студентите на насоката АУС исполнувајќи ги нивните потреби за запознавање со современите системи за мониторинг и управување, но исто така, е подеднакво интересна за студентите од насоката ЕЕ и МПИ поради разработувањето практични примери од применети системи за Мониторинг и управување во енергетски и еколошки процеси.

Содржината на книгата може да се подели во четири дела. Првиот дел ги опфаќа поглавјата 1, 2 и 3, кој ги дава теоретските основи на дигиталните системи за мониторинг и управување на индустриски процеси. Вториот дел ги опфаќа поглавјата 4, 5 и 6, каде што се применува принципот на учење преку примери во кои се разработени три примери од имплементација на вакви системи за мониторинг и управување во пречистителна станица за питка вода, хидроцентрала и мониторинг станица за квалитет на површинска вода. Третиот дел го содржи седмото поглавје кое ги разработува Берлинскиот процес и Европскиот зелен договор каде што се гледаат заложбите на Германија заедно со некои други европски држави да му помогнат на Западен Балкан во неговите европски перспективи, со посебен осврт на еколошките процеси. Четвртиот дел на книгата ги содржи додатоците и литературата, со што се заокружува книгата како целина.

Скопје, Април 2021

Благодарност

Благодарност до Фондацијата Конрад Аденауер, која овозможи овој ракопис да биде преточен во учебник и со тоа даде придонес во стремежот за подигнување на квалитетот, како на едукацијата така и на пристапот до теориско и практично знаење.



1

Вовед во системите за управување и мониторинг

1. Вовед во системите за управување и мониторинг

Преглед

Целта на ова воведно поглавје е да се даде основа на системите за управување и мониторинг.

Системите за управување и мониторинг се системи кои во хиерархијата на управување се наоѓаат на самиот врв. Со нив се овозможува не само управување на една машина или поврзување на неколку управувачки уреди, туку и управување и мониторинг на цели процеси, постројки или, пак, поврзување на неколку постројки во една целина. Тие, исто така, овозможуваат споделување на информациите помеѓу различни типови на системи, на пример, системите за управување со производството можат да споделуваат информации со компјутерските системи кои ги користат менаџерите.

Во денешно време овие системи се исклучиво дигитални, со напредни можности кои овозможуваат поврзување на процесите на веб, можности за вмрежување на повеќе клиенти и сервери, управување и мониторинг преку веб, дистрибуирано процесирање, логирање и алармирање.

Во ова поглавје најнапред ќе биде направена анализа на различните типови дигитални системи за управување и мониторинг, нивните составни делови и начинот на нивно работење.

1.1 Современи системи за дигитално управување и аквизиција на податоци – дефиниции, споредби и разлики

Под автоматски системи за дигитално управување и аквизиција на податоци се подразбира употреба на компјутеризиран систем за да се автоматизира задачата. Задачата може да биде едноставно вклучување и исклучување на мотор (управување) како одговор на прекинувач (инструмент) или отчитување на температурата секои пет минути (аквизиција на податоци) и зачувување на податоците за подоцнежнo користење. Од друга страна, пак, задачата може да

биде далеку посложена и да се однесува на комплексно управување со производство, собирање и прикажување на податоци на операторите.

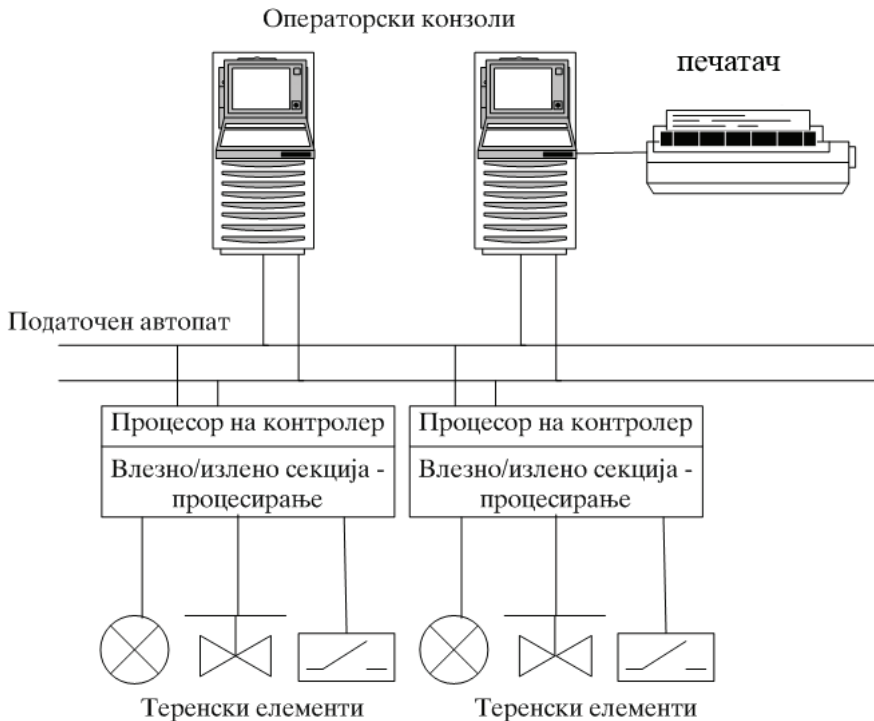
Во најголем број случаи сите дигитални системи за управување можеме да ги распределиме во три категории: програмабилни логички контролери – *PLC (Programmable Logic Controller)*, распределени управувачки системи – *DCS (Distributed Control System)* и систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци – *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System)*. Границите помеѓу овие системи во денешно време се драстично поместени и се преклопуваат [11]. Историски гледано, *DCS* системите биле наменети за аналогно управување со повратна врска, *PLC* биле наменети за замена на реле логиката, а *SCADA* системите се користеле при собирање податоци, најчесто од теренски единици. Денес, *DCS* системите можат да заменат реле логика, *PLC* може да се употреби при аналогно управување со повратна врска, а *SCADA* системите можат да ги направат и двете работи.

Сите дигитални системи претставуваат комбинација на хардвер и софтвер [11]. Хардверот го претставува физичкиот дел од дигиталниот систем како што се микропроцесорите, аналогно-дигиталните конвертори, кабли, напојувања итн. Софтверот го претставува оној дел од дигиталниот систем што опстојува како бинарни податоци и е извршуван или е користен од микропроцесорите. Софтверот е неопипливиот дел од дигиталниот систем, бидејќи опстојува во мемориските чипови, дискети, хард дискови и касети. Со други зборови, дигиталните системи се составени од микропроцесор и софтвер. Софтверот кој го користи микропроцесорот има неколку нивоа. Првото ниво е нивото на оперативниот систем. Ова базично ниво на софтвер му овозможува на микропроцесорот да пристапи и да управува со останатите делови од хардверот какви што се: *RAM* меморијата, монитор, тастатура итн. Сите дигитални системи имаат некој вид на оперативен систем, а некои од нив користат стандардни оперативни системи каков што е, на пример, *DOS*. Второто ниво на софтверот се користи за конфигурација и извршување на управувачката логика и функцијата на аквизиција на податоци (конфигурациски софтвер). Некои модули од овој систем служат за конфигурација на влезите и излезите од системот, а некои за конфигурирање на графичкиот интерфејс.

1.1.1 Распределени управувачки системи

Распределени управувачки системи – *DCS (Distributed Control System)* претставува современ хардверски и софтверски систем кој извршува управувачки и аквизициони функции [11]. Тоа вклучува: графички интерфејс за операторот, аларми-

рање, собирање историски податоци, трендови, континуално управување, пакети за комплетно конфигурирање, генерирање извештаи, комуникациски способности со други системи итн. Сите овие елементи се испорачуваат како еден пакет, од еден производител. На Слика 1.1 е претставен типичен DCS систем.



Слика 1.1: Типичен изглед на еден DCS систем

Една типична DCS архитектура се состои од неколку хардверски и софтверски модули. Некои модули извршуваат конверзија на влезни и излезни сигнали и изведуваат логички функции – овие се нарекуваат модули на контролерот. Други модули ги прикажуваат податоците и им овозможуваат на операторите да управуваат со логичките функции – овие се операторски модули. Хардверските модули во DCS системот се поврзани со дигитален комуникациски линк кој се нарекува податочен автопат (*data highway*). Податочниот автопат е интегрален дел од DCS системот, па честопати се нарекува и 'рбет (*backbone*) на системот.

DCS има минимум една операторска конзола, еден контролерски модул и еден печатач. Може да имаме повеќе такви модули. Контролерскиот модул може да ја извршува логиката и да управува со функцијата без операторскиот модул,

но операторскиот модул е потребен на персоналот за да може да врши набљудување и управување со активностите. Некои производители на *DCS* нудат и модули кои вршат собирање на историски податоци (собирање податоци на хард диск) или, пак, комуникациски модули за комуникација со други дигитални системи (*PC* или мрежа).

DCS системите ги конфигурираме на тој начин што комбинираме едноставно програмирање, пополнување-на-празнините за стандардните влезови и излези и управувачки алгоритми (какви што се аналогните влезови, аналогни излези, пропорционално интегрално деривативни функции, дигитални излези, дигитални влезови итн.) и програмирање во јазик од повисоко ниво (какви што се јазикот *C* или *PASCAL*), за нестандартни видови на точки и управувачки алгоритми (какви што се, на пример, старт секвенциите). Во конфигурацијата на *DCS* системите спаѓа и одредување на начинот на кој точките ќе бидат групирани за алармирање, собирање историја, известување и создавање графики за операторот. Конфигурацијата на *DCS* се извршува преку операторската конзола во податочната база која е заедничка за сите хардверски модули во системот. Производителите можат да имаат и свои конфигурациски софтвери кои се инсталираат на персонални компјутери и ги пренесуваат резултантните апликациски дата бази во соодветните *DCS* модули.

DCS системите се употребуваат за големи управувачки системи со многу аквизициони апликации, без разлика дали се работи за аналогна или дискретна аквизиција на податоци и управување. *DCS* системите се едни од најскапите дигитални управувачки системи.

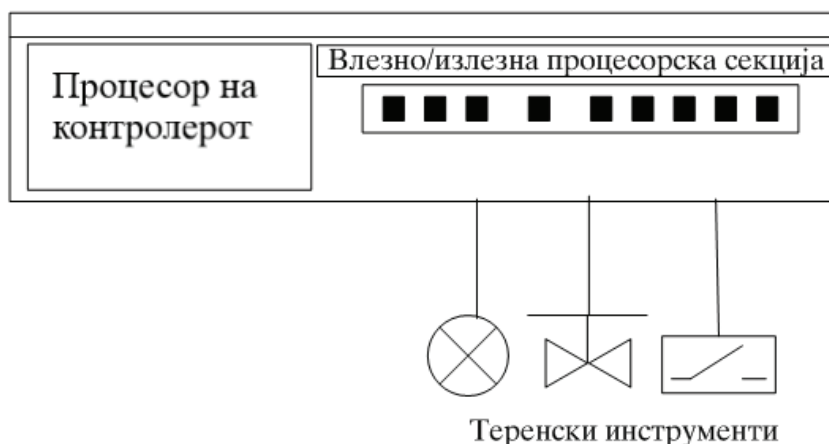
1.1.2 Програмабилни логички контролери

Програмабилен логички контролер – *PLC* (*Programmable Logic Controller*) претставува комбинација на хардвер и софтвер кој извршува две функции – управување и аквизиција на податоци [11]. Типична *PLC* архитектура се состои од процесор и влезно/излезен потсистем. Вообичаено, процесорот и влезно/излезниот потсистем се состојат од групи на монтирачки картички. Управувачките и аквизиционите функции се извршуваат во процесорот, а конверзијата на сигналите за теренските уреди се извршува во влезно/излезниот потсистем. Типична *PLC* конфигурација е претставена на Слика 1.2.

PLC уредот многу потсетува на контролерскиот модул во *DCS* системите. Една значајна разлика помеѓу нив е тоа што *PLC* е дизајниран како самостоен уред. Ова го прави *PLC* уредот атрактивен избор за посветени управувачки функции

какви што се управувањето со некој генератор или горилник кај кој е потребно минимално комуницирање помоѓу операторот и машината и минимална аквизиција на податоци. *PLC* уредите честопати се евтини, флексибилни и самостојни решенија.

Конфигурацијата на *PLC* уредите побарува изработка на програма во т.н. скалест дијаграм. За таа цел произведувачите изработуваат сопствен софтвер во кој оваа програма се создава. Конфигурацијата со помош на овој софтвер се извршува на некој персонален компјутер, а потоа резултантната апликациона програма се вметнува во *PLC* уредот за да се тестира и извршува.



Слика 1.2: *PLC* и негова поврзаност со инструментите

За да се зголеми функционалноста, *PLC* уредите можеме да ги поврземе меѓусебно со помош на микропроцесорски базиран *HMI* (*Human Machine Interface*), кој поддржува, слики, аларми, собирање историја, графици итн. На овој начин, архитектурата почнува многу да личи на *DCS* архитектура, а функционалноста и структурата им се речиси исти. Многу произведувачи на *PLC* уреди нудат и стандардни мрежи за меѓусебно поврзување на *PLC* уредите и *HMI*.

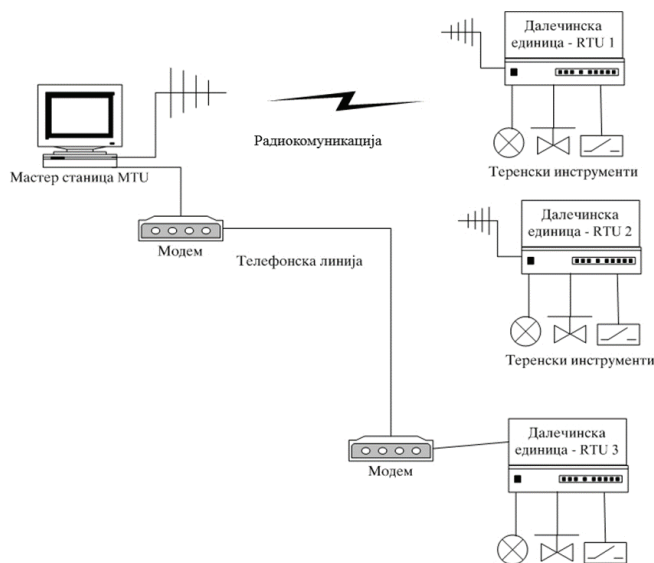
1.1.3 Системи за супервизорно управување и аквизиција на податоци

Систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци – *SCADA* (*Supervisory Control And Data Acquisition*) во минатото подразбирал систем кој собира и испраќа информации на раздалечени локации. Вообичаено имал само надзорничка улога, бидејќи не бил потполно одговорен за примарната управувачка функција. Во најголем број на случаи некој друг систем (како што е *PLC*) бил одговорен за примарното управување, а *SCADA* системот едноставно

ги надгледувал и ги складира активностите [11]. Во денешно време SCADA системите имаат проширена управувачка функција и овозможуваат моментална пресметка и менување на референтните точки и вредности при нивната комуникација со примарните управувачки системи.

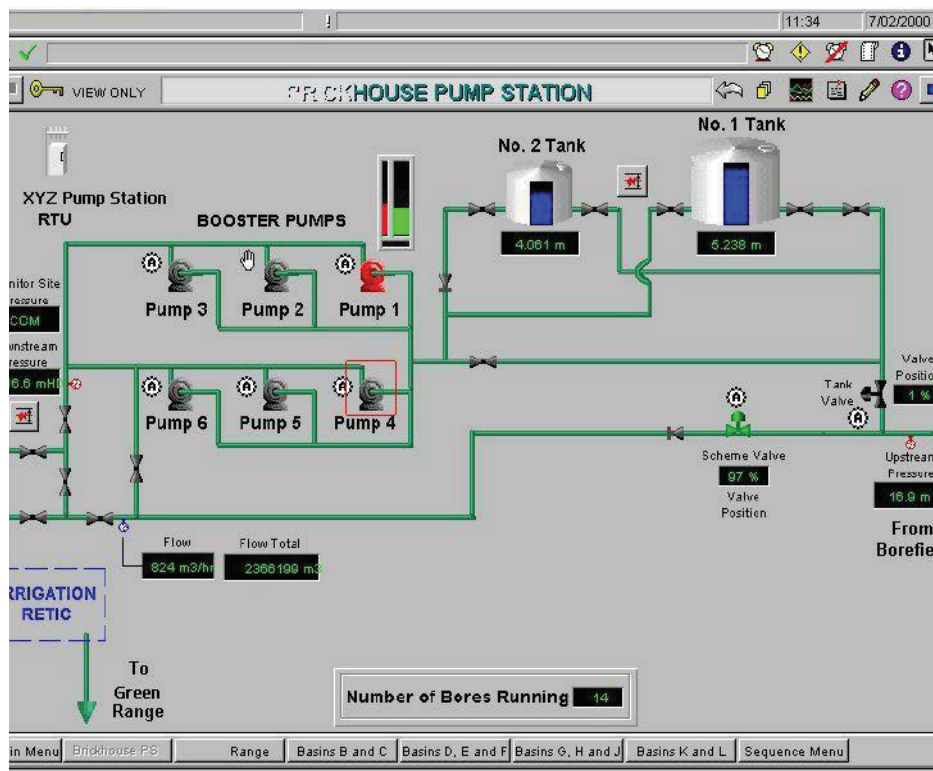
Примарна одлика на SCADA системите, која значајно ги одделува од останатите системи за дигитално управување, е нивната можност за комуникација користејќи многу различни методи. Ова ги прави особено корисни за собирање и испраќање информации и управување до и од различни други дигитални системи. Со помош на различни протоколи, SCADA системите се способни за комуникација преку телефонски линии, UHF/VHF радиобранови, етернет, микробранови системи, сателитски системи и фибер-оптички кабли.

Типичен SCADA систем се состои од мастер единица – *MTU (Master Terminal Unit)* и една или повеќе далечински единици – *RTU (remote terminal unit)*. Мастер единица може да биде некој персонален компјутер (или мрежа од компјутери) на кој е инсталиран SCADA софтвер со операторска графика и управувачка функција, или, пак, некој хардверски модул кој функционира како собирач на податоци за некој друг дигитален систем. Како далечинска единица може да се користи некоја специјализирана хардверска единица за SCADA системи, како што се тоа RTU единиците или, пак, некој PLC уред. MTU и RTU комуницираат по принципот мастер – потчинет, прикажано на Слика 1.3.



Слика 1.3: Типичен SCADA систем

Значи, како дефиниција може да се каже дека SCADA систем претставува систем наменет за истовремено мерење и управување. Системот има функција да собира информации, ги пренесува до централата, ги спроведува потребните анализи и испраќа управувачки сигнали до теренските станици и инструменти [1]. Моменталните состојби на променливите може да ги прикажува на неколку операторски екрани (види Слика 1.4.).



Слика 1.4: SCADA дисплеј, операторски интерфејс

Денес SCADA системите се стандардни системи кои се користат за супервизија и управување на цели индустриски постројки или, пак, на некоја машина или опрема. Управувањето може да биде автоматско или, пак, со интерактивни команди зададени од оператор.

Во литературата [33] за SCADA системите се вели дека претставуваат комбинација на систем за телеметрија (*telemetry*) и систем за аквизиција на податоци (*data acquisition*). Телеметрија претставува техника која се користи за трансмисија и прием на информации или податоци преку медиум. Информациите мо-

жат да бидат мерења какви што се напон, брзина, проток итн. Тие податоци се пренесуваат до друга локација преку медиуми какви што се кабел, телефон или радио. Информациите можат да доаѓаат од повеќе локации. Сите локации се соодветно адресирани и вметнати во системот. Аквизиција на податоци се однесува на методот кој се користи за пристап и управување со информации или податоци од опремата која се управува и надгледува. Собраните податоци потоа се предаваат на системот за телеметрија кој е подготвен за пренос на различни страни. Тие можат да бидат аналогни или дигитални информации собрани од сензори, какви што се протокомер, амперметар итн. Тоа, исто така, можат да бидат податоци наменети за управување со опрема какви што се: актуатори, релиња, вентили, мотори итн.

Кај типичните SCADA системи преовладуваат отворените управувачки системи (управување со отворено коло, односно управување без повратна врска) и комуникации на големи раздалечености, иако, исто така, можат да бидат присутни некои елементи на управување со затворено коло (со затворена повратна врска) и кратки растојанија.

Аквизицијата на податоците во прва рака се остварува со помош на RTU или PLC, кои ги скенираат теренските влезови што се поврзани за RTU/PLC. Централната единица врши скенирање на RTU или на PLC. Потоа добиените податоци се обработуваат во централната единица за да се одредат променетите и алармните состојби. Доколку постојат некои алармни состојби, тие вообичаено се прикажуваат на дисплејот во посебни листи за аларми.

Податоците можат да бидат главно од три типа. Аналогните податоци најчесто се прикажуваат на графици. Дигиталните податоци (*on/off*) можат да служат како алармна ситуација кога ќе се постигне некоја од двете состојби. Пулсните податоци најчесто се акумулираат или, пак, се собираат.

Примарен интерфејс кон операторот е графички дисплеј кој претставува постројка или еден дел од опремата претставен во графичка форма. *On-line* податоците се претставени со графички форми – *foreground* поставени над статички *background*. Како што се менуваат теренските податоци така се менуваат и графичките форми. Одредени вредности (аналогните податоци) можат да се прикажуваат со бројки или со графици или, пак, со бинарни форми, на пр., Отворено/Затворено за бинарните податоци. Еден систем може да има многу такви дисплеи, а операторот може да избира кој било од нив во текот на времето.

Функциските барања на реално-временските системи се однесуваат на функциите што мора да ги извршува реално-временскиот компјутерски систем. Тие се групирани во: барања за прибирање податоци, барања за директно дигитално управување и барања поврзани со интеракцијата човек-машина.

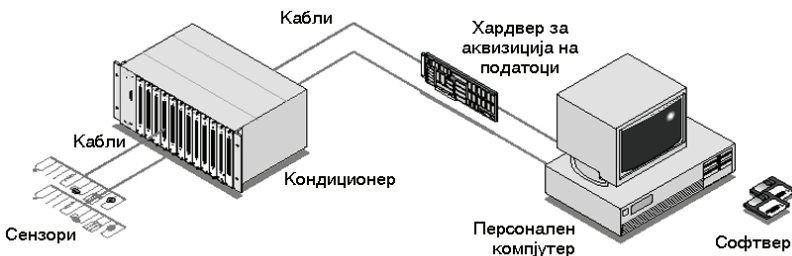
1.1.4 Други дигитални системи за управување и аквизиција на податоци

Многу дигитални системи не спаѓаат во *DCS*, *PLC*, *SCADA* категориите. Такви се персоналните компјутери – *PC*, микрокомпјутерите, индустриските бас системи, паметните теренски уреди и други. Од сите овие најинтересни се персоналните компјутери.

I. Систем за аквизиција и управување со помош на персонални компјутери

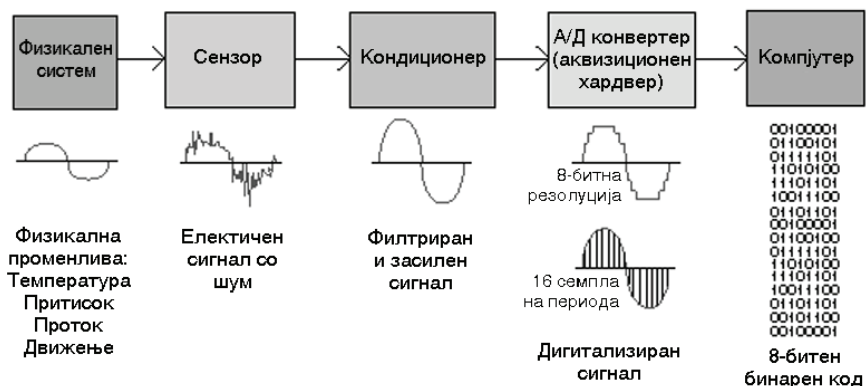
Персоналните компјутери се дизајнирани за општа употреба и нивната моќност во последно време е драстично зголемена, а нивната цена постојано опаѓа. Како моќени уреди за обработка на податоци нивната применливост како примарни уреди за управување и аквизиција на податоци е неспорна. Овие системи може да бидат изведени како специјализирани за одредена област на примена, или како отворени системи со можност за примена во која било област [35]. Кога се користи како примарен уред за управување и аквизиција на податоци, влезовите и излезите можат да се доведуваат до *PC* на различни начини, но најчесто нив можеме да ги сврстиме во три групи (Слика 1.7) [11].

Првата група на сигнали од сензорите може да се доведе до компјутерот преку картички кои извршуваат конверзија на сигналите, а се вметнуваат директно во компјутерот.



Слика 1.5: Елементи на типичен компјутеризиран аквизиционен систем [35]

Главната трансформација на сигналите, во отворен компјутеризиран аквизиционен систем е прикажана на Слика 1.6.



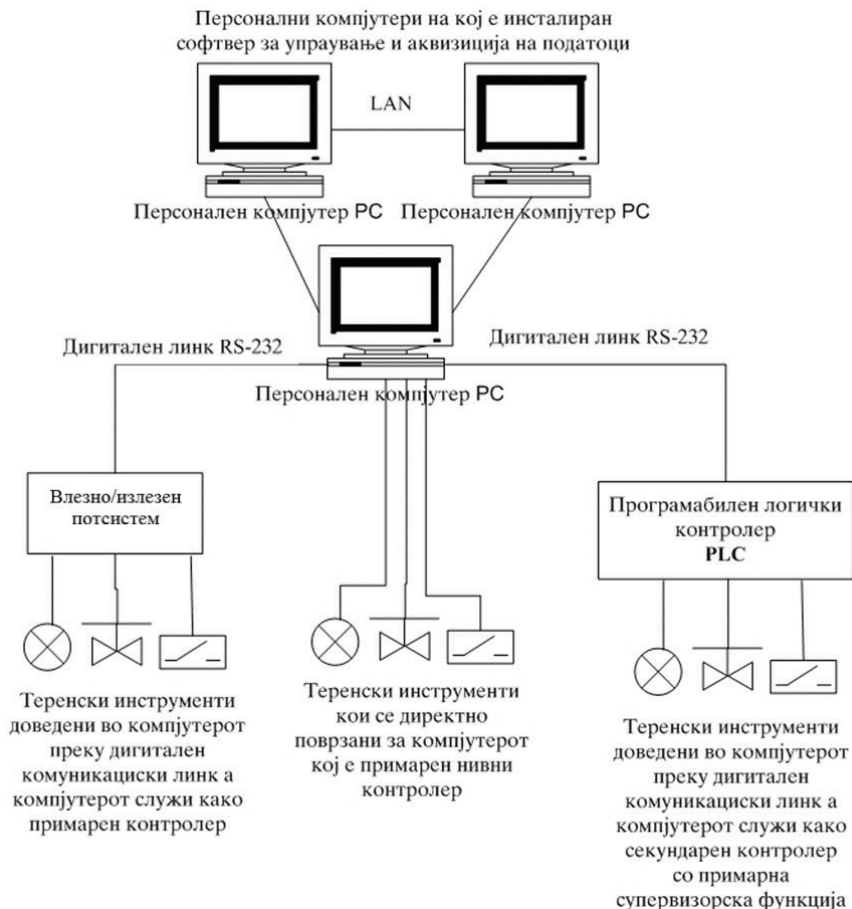
Слика 1.6: Трансформација на сигналите [7]

Главни елементи и функционални делови на компјутеризираните аквизициони системи се:

- » сензори,
- » кондиционери (нормализатори) на сигнал,
- » хардвер (картичка) за аквизиција на податоци,
- » персонален компјутер,
- » кабли,
- » софтвер.

Втората група на сигнали може да се доведе преку самостојни специјализирани влезно-излезни потсистеми кои комуникацираат со компјутерот преку серискиот порт, дигитален линк (RS - 232).

Третата група влезови и излези можат да бидат донесени до компјутерот преку некој друг дигитален систем (на пример, преку некое PLC), исто така, со користење дигитален линк (RS - 232).



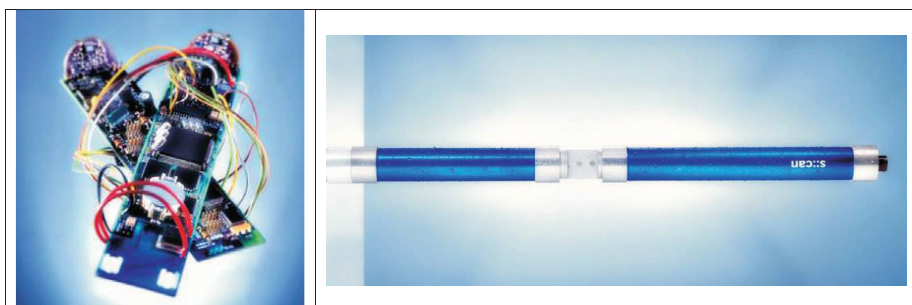
Слика 1.7: Систем на управување со персонален компјутер како директна управувачка единица

II. Паметни инструменти

Трансмитерите, протокомерите итн. се сметаат за паметни доколку поддржуваат дигитален комуникациски линк или филдбас. Паметните теренски инструменти овозможуваат комуникација со теренот директно од некое општо место за комуникација како што се компјутерските канцеларии. Преку дигиталниот линк можеме да собираме податоци или, пак, да го конфигурираме уредот. Некои од податоците кои можеме да ги добиеме преку дигиталниот комуникациски линк

се: променливите на процесот, информации за насловот, конфигурациски податоци (ранг, граници, итн.) и некои дијагностики. Некои паметни уреди можат да спроведуваат и управувачки функции како што е *PID* алгоритмот [11].

На Слика 1.8 е даден изглед на еден таков инструмент кој може да се користи за мерење на квалитетот на водата. Производител на оваа сонда е австриската фирма *s::cap*. Сондата овозможува директно поврзување со компјутер преку *USB* кабел и реално-временско отчитување на измерените променливи.



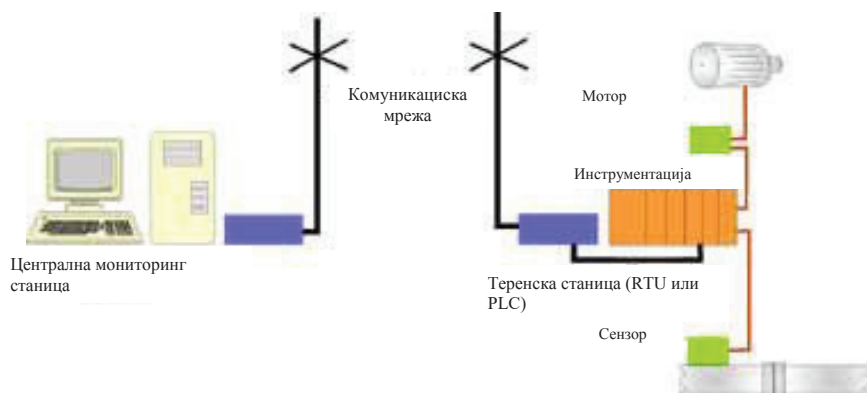
Слика 1.8: *UV-Vis spectrometer* паметен инструмент за мерење квалитет на површинска вода

1.2 SCADA системи – Составни делови, примена и општ пример

1.2.1 Компоненти на еден современ SCADA систем

SCADA системот вообичаено се состои од централна терминална единица (*Master Terminal Unit – MTU*), која уште се нарекува централа мониторинг станица (*CMS*), на која е инсталиран софтвер кој се употребува за супервизија и управување на теренски поставените елементи, една или повеќе теренски станици за собирање податоци и за управување (*Remote Terminal Units – RTU*'s или *PLC – Programmable Logic Controller*) со теренската инструментација и опрема која служи за нивно поврзување (комуникациска опрема). Со други зборови, за еден *SCADA* систем може да се каже дека е составен од следниве четири базични елементи [1][33]:

1. Теренска инструментација
2. Теренски станици (*RTU* или *PLC*)
3. Комуникациски станици и опрема за поврзување
4. Централна мониторинг станица



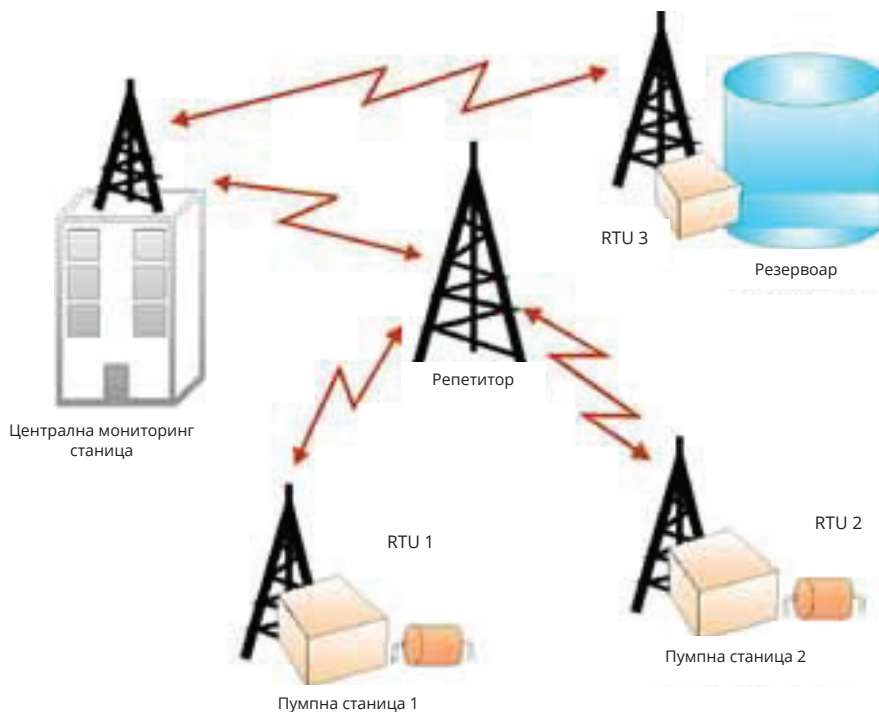
Слика 1.9: Основни компоненти на еден современ SCADA систем [33]

Теренската инструментација главно е составена од два типа на уреди: сензори и актуатори, кои се директно поврзани со постројката или опремата. Сензорите се користат за собирање податоците од постројките, додека актуаторите се користат за управување со постројките. Тие создаваат аналогни или дигитални сигнали кои се надгледувани од теренската станица. Овие сигнали најчесто се кондиционираат пред да влезат во станицата за да се осигураме дека ќе бидат компатибилни со влезовите/излезите од *RTU* или *PLC* на теренската станица.

Теренската станица е инсталирана на оддалечената постројка или опрема која треба да биде надгледувана и управувана од централната компјутерска постројка. Таа може да се состои од *RTU* или од *PLC*.

Комуникациската мрежа е медиум кој служи за трансфер на информации од една локација на друга. Тоа може да се изврши со помош на телефонска линија, радио или кабел.

Централната мониторинг станица (*CMS*) се однесува на локацијата на централниот компјутер. Неколку работни станици можат да бидат прикачени на *CMS*. На *CMS* е инсталиран софтвер/програма кој служи за мониторинг и интеракција со различни типови на податоци, потребни за оптимално работење на надгледуваната постројка.



Слика 1.10: Изглед на еден современ SCADA систем за дистрибуција на вода

1.2.2 Теренска инструментација

Под теренска инструментација се подразбираат уреди кои се директно поврзани за опремата или машините што ги контролираме и надгледуваме со SCADA системот. Тоа се или сензори за мониторинг на одредени параметри или актуатори за управување со одредени модули на системот. Изборот на сензорите е строго поврзан со природата на процесот кој се набљудува и чија величина се мери.

Сензорите ги конвертираат физичките големини (како што се: протокот, брзината, ниво на флуид, влажност, спроводност итн.) во стандардни електрични сигнали (во струја или напон) кои можат да бидат отчитани од теренските станици. Уредите кои го обезбедуваат таквиот стандарден интерфејс се нарекуваат трансдјусери.

Како излез од теренската инструментација може да бидат вредности во аналоген или дигитален облик. Стандардни електрични сигнали на излезите од индустриските сензори се во ранг од 0 до 5 V, од 0 до 10 V, од 4 до 10 mA, од 0 до 20 mA. Доколку сензорите ги поставиме на мала оддалеченост од контролерите (RTU или PLC), тогаш е најдобро да избереме сензори со напонски излези, а доколку сензорите се на голема оддалеченост од контролерите, тогаш се користат сензори со струен излез. Доколку излезите од сензорските уреди се во аналогна форма, а треба да бидат спроведени до некој дигитален уред за обработка на податоци, како што се PLC уредите и персоналните компјутери, во тој случај е потребно сигналите од сензорите да се сведат во дигитален облик. Најприкладен начин на конвертирање на сигналите е со употреба на таканаречени дистрибуирани влезно/излезни модули со мултиплексирани аналогни влезови. Овие модули имаат вграден А/Д конвертор кој ги конвертира аналогните сигнали во дигитални податоци со одредена точност и резолуција.

Дигиталните излези се користат за да се дефинира дискретниот статус на опремата. Најчесто со 1 се означува кога опремата е *on*, и со 0 кога опремата е *off*. Единицата може да означува и полно, а нулата празно.

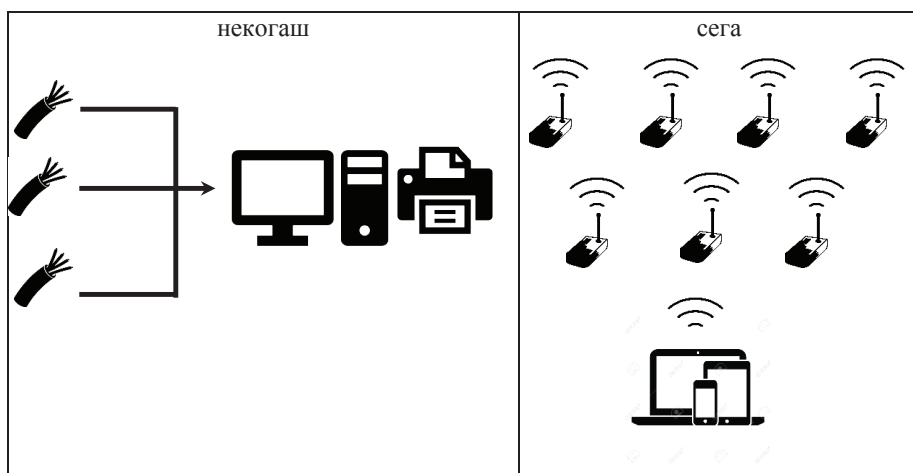
Актуаторите се користат за да вклучат или да исклучат одредена опрема. Дигиталните и аналогните излези се користат и за управување. На пример, дигиталните излези можат да се користат за вклучување или исклучување на одредени модули од опремата. Аналогните излези се користат за управување со брзината на моторите или, пак, со позицијата на моторизирианиот вентил.

Понекогаш сигналите од сензорите се недоволно силни или недоволно спремни за веднаш да можат да бидат внесени во единицата за собирање и обработка на податоците. Поради тоа се јавува потребата од нивно претходно процесирање, т.е. кондиционирање. Кондиционирањето опфаќа функции какви што се: засилување на сигналот, филтрирање, електрична изолација и мултиплексирање.

1.2.3 Тренд во современите сензори применети во аквизициони системи

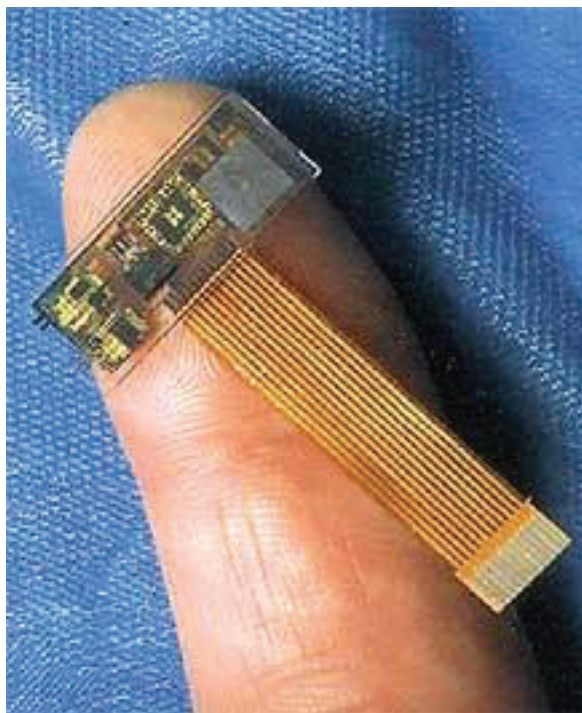
Современите мерни системи одат кон интегрирање на интелигентни сензори со современата опрема за безжична комуникација [36]. Сè повеќе производители на сензори размислуваат за воведување на безжичната технологија во нивните уреди, бидејќи цената на радиоуредите сè повеќе паѓа, а квалитетот расте. Во исто време трошоците поврзани со инсталирање, тестирање, одржување и техничка поддршка за жичените системи расте, бидејќи совре-

мените монополски системи се сè посложени. Во индустријата сè поголем замав заземаат мрежи составени од безжични сензори кои можат да работат во нечисти средини. Во жичените мерни мрежи составени од индивидуално поврзани сензори излезот од сензорите најчесто е сигнал од 4 до 20 *Ma*, кој го претставува параметарот што го мериме. Во осумдесетите години од минатиот век кога се појавија ваквите системи голем дел од индустријата ги прифати со отворени раце. Мрежните топологии, каква што е *Ethernet* технологијата на поврзување на сензорите, значајно ги намалуваат трошоците за зажичување на сензорите. Во ваквите стандарди, сепак, е потребно секој од сензорите да биде зажичен до еден дигитален концентратор. Воведувањето на интелигентните сензори во ваквите топологии создава нови можности. Така, на пример, сегашните безжични сензорски системи даваат можност за *peer to peer* комуникација меѓу самите сензори (Слика 1.11).



Слика 1.11: Комуникација во современите мерни системи некогаш и сега

Појавата на нови сензори и актуатори базирани на микроелектромеханичките системи (*MEMS*) воведува нови решенија во досега етаблираните технологии. Многу автоматски *air bag* системи во денешно време се дизајнирани да користат *state-of-the-art MEMS* акцелерометри. Новите генерации на инк џет печатачи користат глави за печатење изработени со *MEMS* технологија. Доколку прикачине жици за тие минијатурни уреди, можеме да предизвикаме проблеми, па дури и нивно нефункционирање, а овие проблеми можат да се избегнат токму со примената на безжичните технологии.



Слика 1.12: Современ безжичен микроелектромеханички сензор

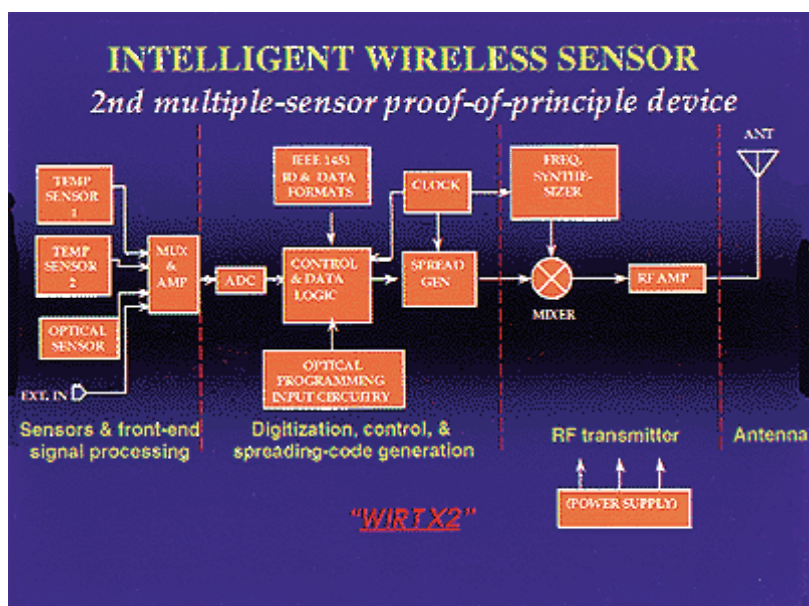
Центарот за интелигентни сензори во Германија прави минијатурни сензори базирани на мултичипни модули. На Слика 1.12 е прикажан еден таков суб-микронски сензор за позиционирање, дизајниран да мери позиција на материјал за време на монтажа [36]. Во овој случај е прикажан и опашестиот кабел потребен за безжична комуникација, со што се отстрануваат можностите од неработење и се задоволуваат барањата за сензор со мала маса. Сè почесто се применуваат безжични сензори за потребите на армијата. Постојат и минијатурни сензори дизајнирани со мали маси и микронска електроника, но со потреба од кабли за да бидат поврзани. Овие уреди со примена на безжичната технологија можат да бидат многу покорисни и разнолики.

Досегашната пракса на употребување на различни мерни компоненти групирани во потсистеми и функционални блокови (како, на пример: сензорски блок, кондиционерски блок итн.) ја држи цената на мерните системи релативно висока, додека цените на другите електронски уреди паѓаат. За производителите на сензорски мерни системи вистински предизвик претставува интегрирање

на сензорот, процесирањето на сигнал, дигитализирање, формирање информација, комуникација и напојување во еден ист пакет лесен за производство. Мешањето на аналогните, дигиталните и колата за радиофреквенции на еден ист стандарден уред претставува голем технолошки предизвик за денешницата кој дури во денешно време успеа да стане доволно јасен. Целосно интегрираната електроника ни нуди консумација на мало количество енергија, што е од особено значење за примената во теренски услови кога животот на батеријата ни е од посебно значење. Денешните „сензорски чипови“ се високоинтегрирани, точни и можат да ги пренесат нивните отчитувања во инженерски единици компатибилни со постоечките системи за аквизиција на податоци.

Првиот комерционален интегриран сензор е произведен во 1988 од *Computational Systems, Inc.* На него се интегрирани сензор, кондиционирање на сигнал и пренос на сигнал на еден единствен чип. На Слика 1.13 се прикажани функционалните елементи на едночипен безжичен температурен сензор. Тој е составен од следниве модули:

- » сензор и модул за првична обработка на податоците
- » дигитализатор, управувач и генератор на код за испраќање
- » трансмитер
- » антена

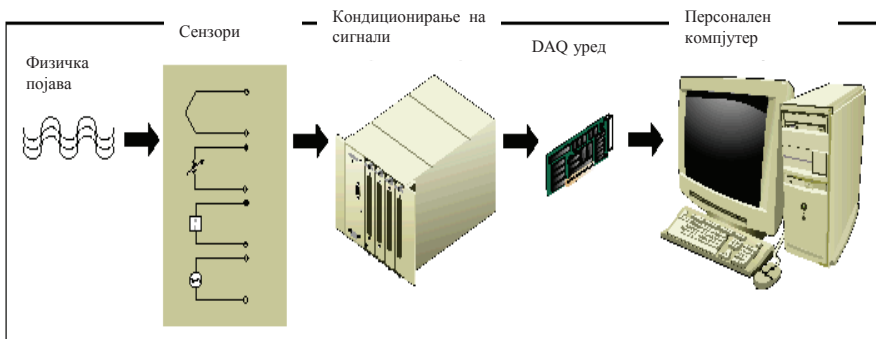


Слика 1.13: Функционален распоред на модулите во интелигентен едночипен безжичен сензор

Еден ваков интелигентен сензор може да врши: префрлање на необработени податоци, аларми за *on-off* состојби или, пак, да префрла само мала сума на податоци потребна да се надополни новата состојба на опремата. Вметнувањето на интелигенција во сензорите го намалува и *bandwidth* потребен за меѓусебната комуникација.

1.3 Основи на кондиционирање на сигнали за компјутерски базирани системи за аквизиција на податоци

Компјутерски-базираниите системи за мерење се користат во широка палета на апликации. Во лаборатории, во теренската служба и во производствените погони, овие системи се однесуваат како општи мерни инструменти приспособени за мерење на напонски сигнали. За многу од сензорите кои се користат во реалниот свет има потреба од кондиционирање на сигналите пред да влезат во компјутерски базираниите мерни системи за да можат да бидат ефективно и точно регистрирани. Системите за кондиционирање на сигналот во себе можат да вклучат функции какви што се: засилување на сигналот, слабеење на сигналот, филтрирање, електрична изолација, симултано семплирање и мултиплексирање. Многу сензори побаруваат возбудна струја или напон, довршување со мост, линеаризација или силно засилување за да работат точно. Поради сите овие причини најголем дел од компјутерски базираниите мерни системи вклучуваат некој вид на кондиционирање на сигналите како додаток на *plug-in DAQ* уредите, како што е прикажано на Слика 1.14 [35].



Слика 1.14: Кондиционирање на сигналите кај компјутерски базираниите системи за аквизиција на податоци (DAQ)

Кондиционирањето на сигналите е една од најважните, но и најзапоставените компоненти на системот за аквизиција на податоци. Со помош на кондицио-

нирањето успеваме секој сигнал од реалниот свет да го доведеме во дигитализаторот. Многу сигнали имаат потреба од подготовка пред да бидат дигитализирани. Голем број сензори побаруваат специјална технологија на кондиционирање, а ниеден инструмент ја нема таа способност да ги овозможи сите типови на кондиционирање за сите типови на сензори. На пример, термопаровите произведуваат многу мали напонски сигнали, кои бараат засилување, филтрирање и линеаризација. Други сензори, како што се мерните мостови, термисторите, *RTD* и акцелометрите, бараат дополнителна енергија (најчесто е тоа електрична енергија) за да можат да работат, т.е. за да се изврши засилувањето и филтрирањето. Други сигнали бараат изолација за да го заштитат системот од високи напони. Сите овие техники на подготвување на сигналите се форми на кондиционирање на сигналите. Ни еден инструмент не може да ни ја пружи флексибилноста потребна за да се направат сите овие мерења.

Со помош на кондиционирањето на сигналите можеме да ги комбинираме потребните технологии за да ги донесеме различните типови на сигнали во еден единствен аквизиционен систем. Современите компјутерски базирани системи за мерење и автоматизација треба да овозможуваат програмабилни влезни параметри и цврста интеграција со соодветниот софтвер за да се справат со скалирањето и управувањето со каналите. Поради ова системот треба да ги овозможи сите потребни кондиционерски технологии, што е доказ за неговата точност. Бидејќи постои широк круг на техники на кондиционирање, улогата и потребата за секоја од нив може да биде збунувачка. Поради тоа тука ќе бидат обработени најчестите типови на кондиционирање на сигнали, нивната функционалност и примери за тоа каде ни се потребни. Оваа проблематика е длабински обработена и во литературата [7].

1.3.1 Основни функции на кондиционирањето на сигналите

Независно од типот на сензорите што се користат, правилниот избор на опрема за кондиционирање на сигналите може да го подобри квалитетот и перформансите на самиот систем. Кондиционирањето на сигналите е корисно за сите типови на сигнали [35].

» Засилување

Бидејќи сигналите во реалните апликации се многу мали по амплитуда, кондиционирањето на сигналите може да ја подобри точноста на податоците. Амплификаерите (засилувачите) го зголемуваат нивото на влезниот сигнал за подобро совпаѓање со рангот од аналого-дигиталниот конвертор (*ADC*), и по-

ради тоа ја подобруваат резолуцијата и чувствителноста на мерењето. Многу *DAQ* уреди имаат *onboard* засилувачи токму поради овие причини, но, многу од сензорите, на пример, како што се термопаровите, имаат потреба од дополнително засилување.

Дополнително, со користење надворешни кондиционери на сигнали сместени близу до изворот на сигнал или сензорот, го подобруваме соодносот на сигналот кон шумот со зголемување на нивото на сигналот пред да биде под влијание на шумот од околината.

Типични сензори кои бараат засилување се термопаровите и мерните мостови.

» **Смалување**

Смалувањето е обратно од засилувањето. Тоа е потребно кога напонот што треба да се дигитализира е над влезниот опсег на дигитализаторот. Овој тип на кондиционирање на сигнали ја смалува амплитудата на влезниот сигнал, така што кондиционираниот сигнал е во рангот на *ADC*. Смалувањето е неопходно кога мериме високи напони.

» **Филтрирање**

Дополнително, кондиционерите на сигнали можат да содржат филтри за да го одбијат несаканиот шум во одреден опсег на фреквенции. Речиси сите *DAQ* апликации се подложени на некое ниво од 50 до 60 *Hz* шум здобиен од електричните кабли или машини. Поради ова најголем дел од кондиционерите вклучуваат нископропусни филтри дизајнирани специјално да обезбедат максимално одбивање на шумот од 50 до 60 *Hz*.

Друга вообичаена примена на филтрите е да го спречат дисторзирањето на сигналите поради нивно подсемплирање односно алиасинг (анг. *aliasing*) – феномен кој се појавува кога сигналот е потсемплиран (семплиран премногу бавно). Никвистовата теорема вели дека кога семплираме аналоген сигнал, секоја компонента на сигналот на фреквенции поголеми од една половина од семплирачката фреквенција во семплирачките податоци се јавува како понизок фреквентен сигнал. Оваа дисторзија на сигнал можеме да ја избегнеме само со отстранување на која било компонента на сигналот над една половина од семплирачката фреквенција со нископропусни филтри пред самиот сигнал да биде семплиран.

Така, на пример, мерењето со термопарови вообичаено бара нископропусни филтри за да го отстрани шумот од сигналот предизвикан од напојната линија. Мерењата на вибрации вообичаено побаруваат антиалајсинг филтри за да ги отстранат компонентите од сигналот кои се над фреквентниот опсег на аквизициониот систем.

» **Изолација**

Неправилното заземјување на системот е еден од најчестите случаи на мерни проблеми, покрај шумот и оштетените мерни уреди. Кондиционирањето на сигналите со изолација може да спречи најголем дел од овие проблеми. Таквите уреди го пренесуваат сигналот од неговиот извор до мерниот уред без физичко поврзување со користење трансформатор, оптички или капацитивни спојни техники. Освен што ги прекинува заземјувачките кола, изолацијата ги блокира високоволтажните грпки и ги одбива високите напони и поради тоа ги штити и операторите и скапата мерна инструментација.

» **Мултиплексирање**

Дигитализаторот е најскапиот дел од аквизициониот систем. Со мултиплексирањето е овозможено да го распоредиме бројот на сигнали во еден дигитализатор и со тоа да постигнеме ефективен и евтин начин да го зголемиме бројот на сигнали за нашиот систем. Мултиплексирањето е неопходно за апликации со многу канали.

» **Возбудување/Напојување**

Многу сензори, како што се *RTD*, мерните мостови и акселометрите бараат некоја форма на енергија за да го извршат мерењето. Возбудувањето е технологија на кондиционирање на сигнали за да се доведе потребната енергија. Возбудувањето може да биде некој извор на струја или напон, зависно од типот на сензорот. Затоа, во литературата [7] возбудувањето се нарекува напојување на сензорите.

» **Линеаризација**

Некои типови на сензори произведуваат напонски сигнали кои не се линеарно поврзани за физичката величина што ја мериме. Линеаризацијата, процесот на претставувањето на сигналот од сензорот како физичка мерна величина,

може да се направи или со кондиционирање или софтверски. Термопаровите се класичен пример каде што е потребна линеаризација.

» **Симултано семплирање**

Кога е потребно да мериме два или повеќе сигнали во ист временски момент, потребно ни е симултано семплирање. Кондиционирањето може да ни овозможи многу поефтино симултано семплирање отколку да нарачуваме дигитализатор за секој канал. Типична апликација која ни бара симултано семплирање е мерењето вибрации и истовремено мерење на фазното поместување.

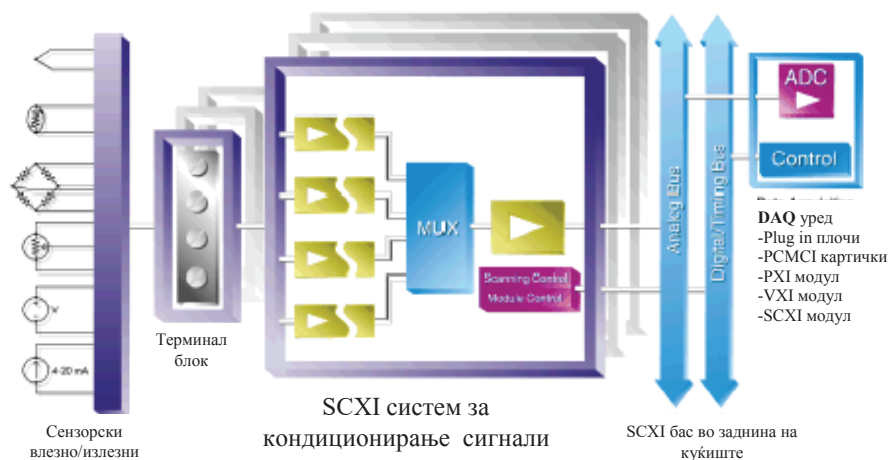
Многу сензори бараат комбинирање на претходно дискутираните кондициски техники. Термопаровите се класичен пример за тоа, бидејќи тие имаат потреба од засилување, линеаризација, филтрирање, а понекогаш и изолација. Идеално, добра мерна платформа треба да овозможи избор на типот на кондиционирање на сигналот, потребен за соодветната апликација. Кај некои системи кондиционирањето на сигналот е опција, но кај други системи е неопходна потреба за да се извршат потребните мерења.

Како по некое правило, мерните системи треба да вклучуваат и кондиционирање на сигнали доколку се планира користење на кој било од следниве сензори: термопарови, *RTD*, термистори, мерни мостови, сензори за сила/напон/момент, акцелерометри, мешани ниско-високо напонски извори, струјни извори, извори на отпор.

Еден од најпознатите произведувачи на системи за кондиционирање на сигнали е *National Instruments*. Системот за кондиционирање е познат под името *SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation)*, прикажан на Слика 1.15[35]. *SCXI* е моќна модуларна платформа за кондиционирање сигнали. *SCXI* систем е составен од повеќеканални модули за кондиционирање сигнали инсталирани на едно или на повеќе куќишта. *SCXI* системот ни нуди широка палета на кондициски модули – со аналогни излези, со аналогни влезови, со дигитални влезови/излези, бројач/тајмер, прекинувачи и мултиплексери. Кон аналогните влезни модули можеме да поврземе голем број на сензори, какви што се: термопаровите, *RTD*, термисторите, мерните мостови, акцелометрите и др. Модулите ги кондиционираат влезните сигнали и ги мултиплексираат кон задниот *bus* од куќиштето, каде што тие се пренасочуваат кон уредот за аквизиција за да бидат дигитализирани.

SCXI архитектурата има многу предности како кондициско решение. *SCXI* ги инкорпорира сите критични технологии потребни за да се изгради еден висо-

коперформансен, целосно интегриран и лесен за користење систем за кондиционирање сигнали. Тој е модуларен и поради тоа и лесен за проширување, па затоа е идеален за средно и висококанални апликации. Неговата модуларност ни овозможува да мериме мешани типови на сигнали во еден систем.



Слика 1.15: NI SCXI систем за кондиционирање сигнали

1.3.2 Типови сензори кај кои има потреба од кондиционирање на сигналите

Сензорите се уреди кои конвентираат еден тип на физички феномен, како што се температура, сила, притисок во друг. Тие можат да бидат активни и пасивни. Пасивни се оние кај кои влезниот сигнал ја обезбедува енергијата и за излезниот сигнал. Активни сензори се оние кај кои е потребно да донесеме посебен извор на енергија за да се изврши потребната конверзија на влезниот феномен [35].

Највообичаените сензори ги конвертираат физичките величини во електрични величини, какви што се напонот и отпорот. Карактеристиките на сензорите ја дефинираат потребата од кондиционирање на сигналите за дадениот мерен систем. Табела 1.1 ги сумира потребите од кондиционирање и основните карактеристики на некои основни типови сензори.

Сензор	Електрични карактеристики	Потреба од кондиционирање на сигналот
Термопар	Ниско напонски излез	Референтен температурен сензор
	Мала чувствителност	Високо засилување
	Нелинеарен излез	Линеаризација
RTD (отпорнички температурен сензор)	Низок отпор (вообичаено 100 оми)	Возбудна струја
	Мала чувствителност	Четирижична/трижична конфигурација
	Нелинеарен излез	Линеаризација
Мерач на сила	Низок отпор	Напонско или струјно возбудување
	Мала чувствителност	Високо засилување
	Нелинеарен излез	Комплетирање со мост Линеаризација Калибрирање на отстапувањата
Струјно излезен уред	Струен излез (4-20mA вообичаено)	Отпорник за прецизирање
Термистор	Отпорнички уред	Струјно возбудување или напонско возбудување со референтен отпорник
	Висока отпорност и чувствителност	
	Многу нелинеарен излез	
Активни мерачи на забрзување	Високо напонски или струен излез	Извор на енергија
	Линеарен излез	Средно засилување
АС-Линеарно варијабилен диференцијален трансформатор (LVDT)	АС напонски излез	АС возбудување
		Демодулација
		Линеаризација

Табела 1.1: Електрични карактеристики и основни барања за кондиционирање на сигналот кај вообичаените сензори

1.4 Теренска станица

Теренската инструментација сврзана со постројката или опремата што се надгледува и управува се поврзува со теренската станица за да овозможи манипулација со процесот на самата теренска страна. Теренската станица, исто така, се користи за прибирање податоци од опремата и нивен пренос до централниот SCADA систем. Теренска станица може да биде или RTU (*remote terminal unit*) или, пак, PLC (*Programmable Logic Controller*). Исто така, може да биде модуларна единица или едноплочена единица.

1.4.1 Теренска терминална единица – RTU

RTU (*Remote Terminal Unit*) уредот претставува мала компјутеризирана единица која ја дава потребната интелигенција на терен и овозможува централната SCADA единица да комуницира со теренската инструментација [1]. Таа е самостојна единица за аквизиција и управување. Нејзината функција е да управува со опремата на процесот на терен, да собира податоци од теренската опрема и да ги праќа назад до централниот SCADA систем [34].

Постојат два основни типа на RTU – единечно RTU, кое е компактно и ги содржи сите влезови и излези на една плоча, и модуларно RTU, кое има одделен CPU модул, и може да има други модули додадени, вообичаено со втиснување на модулот на заеднички *backplane*, нешто слично како кај матичната плоча на домашните компјутери.

Единечното RTU нормално има фиксен број на влезови и излези, да речеме 16 дигитални влезови, 8 дигитални излези, 8 аналогни влезови и 4 аналогни излези. Нормално не е вообичаено нејзиниот капацитет да се проширува.

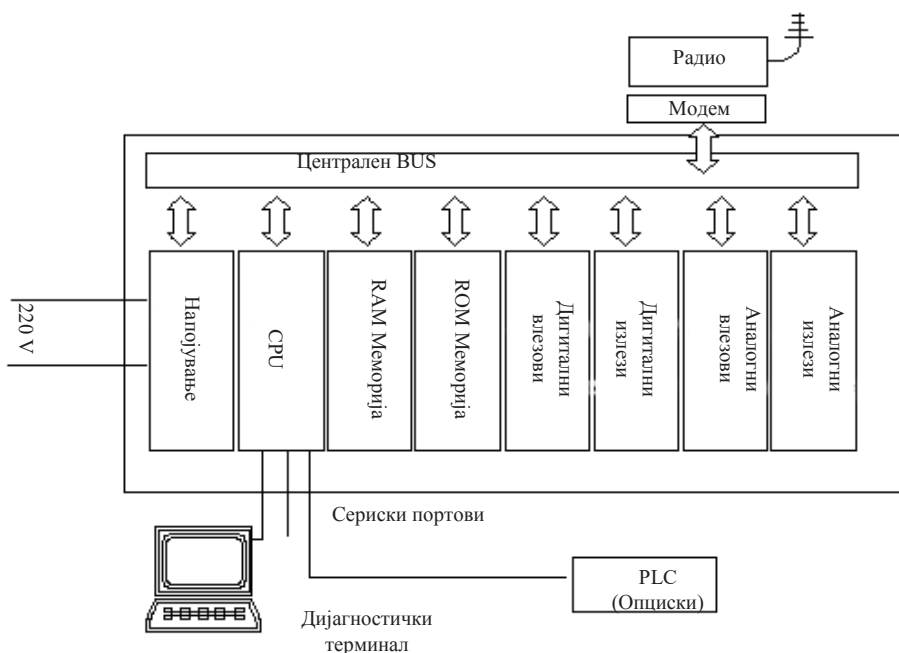
Модуларното RTU нормално е дизајнирано да биде проширено со додавање дополнителни модули. Типично тоа можат да бидат 8 аналогни влезни модули и 8 дигитални излезни модули. Некои специјализирани модули, какви што се GPS временските синхронизатори, можат да бидат додадени.

1.4.1.1 Хардверски состав на RTU уред

RTU претставува мал компјутеризиран уред со следниве хардверски уреди:

- » CPU и RAM меморија
- » ROM меморија за складирање програми и податоци

- » Комуникациски способности, овозможени преку сериски портови или со вградени модеми
- » Сигурно напојување (со батериски *backup*)
- » *Watchdog* тимер (за да се обезбеди рестарт на *RTU* доколку нешто откаже)
- » Електрична заштита од електрични пречки
- » Влезно/излезни приклучоци за дигитални влезови, дигитални излези, аналогни влезови и аналогни излези
- » Часовник за *real time*



Слика 1.16: Функционален распоред на хардверот во една *RTU* единица [34]

1.4.1.2 Софтверска функционалност во *RTU*

Од сите *RTU* уреди се бара да извршуваат одредена функционалност. Во многу уреди разни функционалности можат да имаат полиња на дејствување кои се пресекуваат и да не бидат издвоени како посебни модули, какви што овде ќе бидат наведени [34].

- » Реално-временски оперативен систем (*Real time operating system*). Тоа може да биде посебен оперативен систем, или, пак, може да биде код кој ќе отпочне да работи како еден кружен процес на скенирање на влезовите и надгледување на комуникациските портови.

- » Драјвер за комуникацискиот систем како линк до SCADA мастер станицата.
- » Драјвери за уредите на Влезно/Излезниот систем, односно до теренските уреди.
- » SCADA апликација, на пример, скенирање влезови, процесирање и складирање податоци, одговарање на побарувањата од SCADA мастер станица преку комуникациската мрежа.
- » Некој метод за да им овозможи на корисничките апликации да бидат нагодени во RTU уредот. Ова може да биде едноставно нагудување параметри, вклучување или исклучување на одреден влез/излез или тоа може да претставува целосна програмабилна околина.
- » Дијагностицирање.
- » Некои RTU уреди можат да имаат и систем на фајлови со поддршка за вметнување на нови фајлови. Ова ги потпомага корисничките програми и конфигурациските фајлови.

1.4.1.3 Основи на работење на RTU уредот

RTU уредот ги скенира своите влезови со прилично голема брзина. Тој може да врши и мало процесирање како, на пример: одредување на промена на состојба, време на појавување на промена, зачувување податоци и нивна подготовка за повлекување од SCADA мастерот. Некои RTU уреди имаат способност да иницираат испраќање податоци до SCADA мастерот, иако повообичаена е ситуацијата во која SCADA мастерот го врши побарувањето на податоците, т.е. SCADA мастерот врши повлекување на податоците. RTU уредот може да врши и процесирање на аларми. Кога SCADA мастерот ќе изврши побарување на податоци, RTU уредот мора соодветно да одговори, тоа побарување може да биде многу едноставно, како, на пример, „дај ми ги сите податоци“ или, пак, тоа може да биде некоја многу комплицирана функција која треба се изврши.

Поголемите RTU уреди се способни да обработуваат илјадници влезови, па дури и да контролираат помали *sub RTU* уреди. Тие се и поскапи. Процесирачката моќ на RTU уредот се движи во рангови од мали 8-битни процесори со минимална меморија, па сè до поголеми и посовршени RTU уреди способни за временско бележење податоци со точност во милисекунди.

Според големината, RTU уредите можеме да ги поделиме во следниве категории:

- » Мали самостојни системи кои имаат батерии што траат една година, па и повеќе. Тие системи ги логираат податоците во EPROM или FLASH ROM

и ги предаваат податоците на операторот со физички пристап до нивната меморија. Тоа се системи со еден процесор и со минимална меморија и не поднесуваат софистицирани комуникациски протоколи.

- » Мали самостојни системи кои се вклучуваат периодично и ги снабдуваат сензорите со енергија, ги вршат потребните мерења и испраќаат извештаи. Вообичаено користат батерии на сончева енергија. Овие системи имаат многу подобри комуникациски способности и можат да бидат поврзани на сложени комуникациски мрежи.
- » Средни системи, составени од индустриски компјутери, вклучувајќи ги и персоналните компјутери.
- » Големи системи, со кои контролираат цели постројки, па поради тоа се поврзани со високобрзински LAN. Такви системи се DCS системите.

Вообичаено RTU уредите се произведуваат како специјализирани уреди, па поради тоа има мал недостиг од стандарди, особено во областа на комуникацијата, па поради тоа не е препорачливо да се мешаат уреди од еден производител со уреди од друг производител. Честопати проблемот се решава со воведување протокол конвертори и емулатори. Некои попознати стандарди се: DNP5 и IEC870 за комуникација и IEC1131-3 за програмирање на RTU уреди.

1.4.1.4 Спецификации на еден RTU уред

Карактеристики на еден RTU уред се [34]:

- » Температурниот опсег се движи од -10 до 65 °C;
- » Релативната влажност од 0 до 95 %;
- » Заштита од прашина, вибрации, дожд, сол и магла;
- » Имунитет на електрични шумови;
- » Физичка величина;
- » Потрошувачка на енергија;
- » Влезно/Излезна способност и капацитет, точноста на аналогните влезови и излези и типовите на сигнали кај дигиталните В/И, на пример, од 0 до 5 V итн.;
- » Програмабилност и конфигурабилност;
- » Дијагностицирање, локално и далечинско;
- » Комуникациски способности, вклучувајќи радио, PSTN, подземна линија, микробранови, сателит, X.25. Користењето на PSTN наведува на тоа дека RTU уредот ќе отчитува и ќе складира податоци, додека RTU уредот не е конектиран и дека SCADA мастерот може да се приклучи и да ги повлече податоците од базата со податоци;

- » Комуникациски протоколи, најчесто тоа се *DNP3*, *IEC870*, *MMS*;
- » Можност за *peer to peer* комуникација, вклучувајќи ги и зачувувањето и испраќањето на податоци доколку има отежнати комуникации;
- » Брзина на пренос на податоци;
- » Присутност на сериски портови за комуникација со *PLC*;
- » Компатибилност со *SCADA* мастер протоколот;
- » Доколку е потребно временско назначување на податоците, потребно е временското назначување да биде со точност од една милисекунда, а за ова да се постигне е потребно да се има брз процесор и точен временски сигнал, како што е сигналот од *GPS*;
- » Максимален број на адреси;
- » Јасна индикација на локалните аларми;
- » Запишување на сите грешки и далечински пристап до тие грешки;
- » Софтверско филтрирање на аналогните влезни канали.

1.4.2 Програмабилни логички контролери

Основната причина зошто се појавува *PLC* (компјутерски базиран елемент, наречен програмабилен логички контролер (*Programmable Logic Controller*)) во индустријата во 1960 година е високата цена на чинење на сложените управувачки системи, кои, во тоа време, во основа биле сочинети од релиња. Најчеста примена на релињата е за електромагнетни прекинувачи. Најчесто едно *DC* реле се користи за управување со *AC* елементи. Со воведување на *PLC* во индустријата во 1960 година се појавува и потребата од изнаоѓање начин како тие лесно и разбирливо да се програмираат. Програмирањето преку скалести дијаграми е едно соодветно решение. Ние сме принудени да создаваме вакви скалести дијаграми поради тоа што *PLC* не ги разбира класичните шематски дијаграми. *PLC* препознава само кодови. Најчесто секое *PLC* е опремено со софтвер кој го претвора скалестиот дијаграм во код, така што ние сме поштедени од учењето на кодирањето на *PLC*.

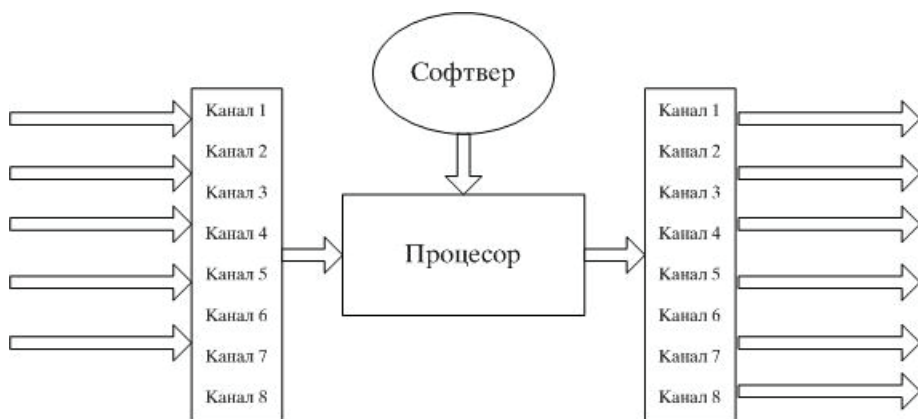
Во денешно време, *PLC* уредите не се само едноставна замена за реле логиката, туку тие се и најчест начин на спроведување на дискретното управување. Предностите на *PLC* пред логичките контролери со релиња се очигледни [38]:

- » *PLC* употребува влезни и излезни променливи кои се од бинарна природа исто како што е и компјутерот.
- » Многу од управувачките релиња во скалестиот дијаграм можат да бидат заменети со софтвер, што, од друга страна, значи дека ќе имаме намалување на хардверските откажувања.

- » Многу е олеснето правењето промени во програмираниот редослед на настани, бидејќи имаме промени само во софтверот.
- » Специјалните функции, какви што се временското поместување на дејствувањето и броењето на импулси е многу лесно да се формираат софтверски итн.

Основни елементи на едно PLC се:

- » Процесор
- » Влезно/Излезни модули
- » Софтвер



Слика 1.17: Структура на програмабилен логички контролер (PLC)

Процесорот е, всушност, компјутер кој го извршува програмот за да се извршат операциите дефинирани во скалестиот дијаграм или со Булови равенки [38]. Процесорот врши аритметички и логички операции врз влезните променливи за да ја определи состојбата на излезните променливи. Процесорот, бидејќи е компјутер, може да изврши само една операција во времето. Процесорот, како и секој друг компјутер е сериска машина, па затоа тој мора редно да го семплира секој влез, да ја пресметува програмата на скалестиот дијаграм, да го создава секој од излезите и потоа го повторува целиот процес.

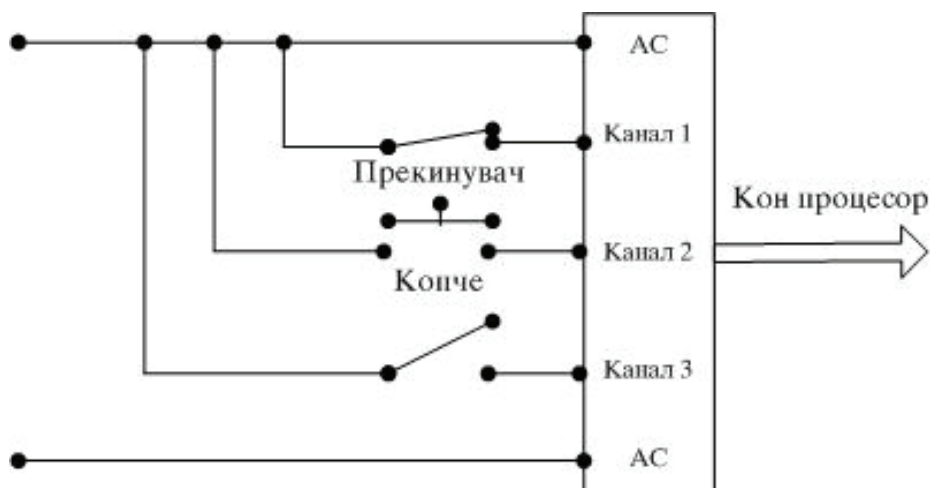
1.4.2.1 Влезни модули

Влезните модули ги испитуваат состојбите на физичките прекинувачи и другите влезни елементи и ја заменуваат нивната состојба со форма која му одговара на процесорот [38]:

Влезните и излезните модули најчесто се напојуваат со (110V) 220V AC.

Да претпоставиме дека прекинувачите се поврзани со PLC како што тоа е прикажано на следнава Слика 1.18. Ако некој прекинувач е затворен, тогаш влезот ќе биде 220 V, а ако некој е отворен, тогаш ќе биде 0V AC.

Задача на влезниот модул е да го претвори ова во облик 1 или 0, состојба која е потребна за процесорот. Влезните модули имаат одреден број канали. Секој канал е опремен со индикаторско светло за да покаже дали одреден влез е вклучен или исклучен.

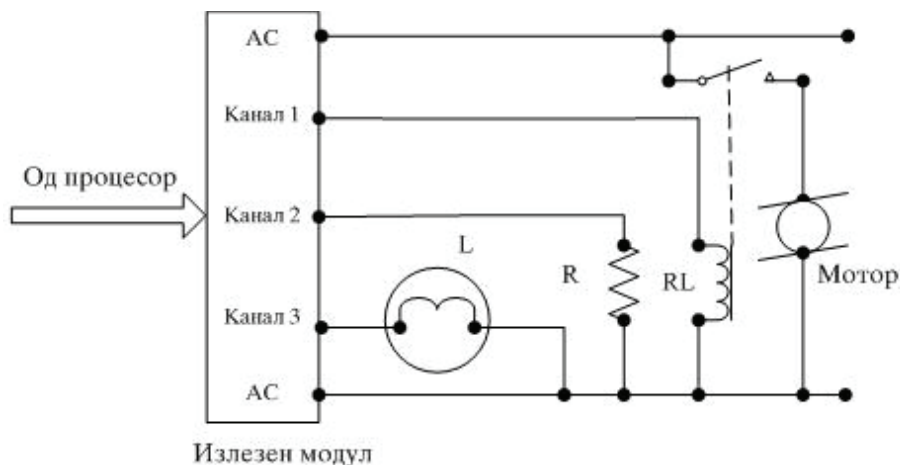


Слика 1.18: Типично поврзување на влезниот модул на PLC

1.4.2.2 Излезни модули

Излезниот модул ги снабдува излезните елементи како што се: моторите, светлата, соленоидите со AC моќност. Ако бараната моќност е поголема, можеме да користиме надворешно реле [38]:.

Излезниот модул за разлика од влезниот, ги прифаќа состојбите 1 и 0 од процесорот и ги користи за да ги вклучи или да ги исклучи AC управуваните елементи. Слично како и влезниот модул и излезниот има одреден број на канали снабдени со индикаторски светла.



Слика 1.19: Типично поврзување на излезниот модул на PLC

1.4.2.3 PLC операции

Типична операција на едно PLC не е симултана и не е континуална за целиот скалест дијаграм. Операцијата на програмабилниот контролер можеме да ја разделиме на два мода, Влезно/Излезен (В/И) скенирачки мод и извршен мод [38]:

» В/И скенирачки мод

Низ В/И скенирачки мод процесорот ги внесува (заменува) новите состојби на сите излези и ги внесува состојбите на сите влезови, еден по еден канал во текот на времето. Времето потребно за ова зависи од брзината на процесорот.

» Извршен мод

Низ овој мод процесорот ја пресметува секоја гранка од програмата во облик на скалест дијаграм, и тоа редно почнувајќи од првата гранка па сè до последната. При пресметката на гранките ја разгледуваме последната позната состојба на секој прекинувач и реле контакт во гранката и ако откриеме некоја ВИСТИНСКА (*TRUE*) патека до излезниот елемент, тогаш излезот се енергизира.

На крај од скалестиот дијаграм, В/И мод се внесува повторно и сите излезни елементи се снабдени со Вклучено или Исклучено состојби откриени од извр-

шувањето на програмата на скалестиот дијаграм. Сите влезови се семплирани, па извршниот мод почнува од почеток.

» Време на скенирање

Важна карактеристика на програмабилниот контролер е тоа колку време е потребно за комплетен круг од В/И скенирање и извршување. Типично време потребно за скенирање и извршување е 20 милисекунди.

1.4.2.4 RAM/ROM

Привремената меморија која ја користиме додека вршиме тестирања и пресметки се нарекува *RAM*. Програмата сместена во *RAM* меморијата лесно можеме да ја модифицираме. Ова ни е потребно бидејќи по извршените тестирања и пресметки врз неа честопати е потребно да се извршат некакви корекции.

Кога програмата ќе ја доведеме до нејзината крајна верзија, потребно е да ја сместиме на некоја постојана непроменлива меморија *ROM*. Откако програмата ќе ја сместиме на *ROM*, тоа е подготвена да ја внесеме во програмабилниот контролер. Програмабилниот контролер по внесувањето на програмата станува подготвен за индустриска употреба.

1.4.2.5 Програмирање

Програмабилниот контролер може да биде програмиран директно во симболи на скалест дијаграм преку програмирачката единица или обичен РС на кој е инсталирана соодветна програма. Програмабилниот контролер нема вистински релиња или, пак, реле контакти. Единствени вистински елементи се оние кои се дел од процесот кој го контролираме, а тоа се гранични прекинувачи, мотори, соленоиди итн. Ние користиме симболи и за релињата и за контактите и покрај тоа што тие се софтверски симболи.

1.4.2.6 Адресирање

При конструирањето на скалестиот дијаграм секој прекинувач, излезен елемент ги одредуваме со одредена ознака. На пример, *CR1* се однесува на управувачкото реле (*Control Relay*) 1, и контактите за тоа реле се означени со истата ознака. Останатите ознаки се: *LS1* за граничен прекинувач (*Limit Switch*), *M1* за реле на мотор (*Motor Relay*) итн.

Програмабилниот контролер користи сличен начин за да ги идентифицира елементите, но тоа е адреса на елементот или каналот [38]. Адресите се користат за да ги идентифицираме физичките и софтверските елементи во однос на следниве категории:

1. Физички влезни елементи- вклучени или исклучени;
2. Физички излезни елементи – вклучени (енергизирани) или исклучени (деенергизирани);
3. Програмирани управувачки релиња, намотки и контакти;
4. Програмирани временски релиња, намотки и контакти;
5. Програмирани бројачи и контакти.

Адресното означување зависи од типот на програмабилниот контролер.

За покажувачки цели ние ќе ја направиме следнава дефиниција на адреси:

Функција	Адреси
Влезни канали	00 до 07
Излезни канали	08 до 15
Внатрешни релиња	16 до 31
Тајмери (мерачи на време)	32 до 39

1.4.2.7 Интерпретација на програмиран дијаграм

Има голема разлика помеѓу интерпретацијата на физичкиот скалест дијаграм и програмираниот скалест дијаграм. Разликата произлегува од фактот што програмираниот дијаграм се базира на логичка интерпретација на симболот а не на физичката состојба [38].

Во гранката на програмираниот дијаграм, дали ќе биде вклучен или исклучен излезот се одредува со тестирање на елементите на гранката за *TRUE* или *FALSE* состојба. Ако постои целосна *TRUE* патека сè до излезот, излезот ќе биде *TRUE*, односно ON.

Во физичкиот дијаграм, симболот за *NO* контакт покажува нормално отворен контакт низ кој струјата не може да тече освен ако контактот не го затвориме.

Ако, на пример, тоа е притисно копче, некој мора да ги затвори контактите со притискање на копчето. Ако се тоа контакти на некое реле, тогаш релето мора да биде енергизирано.

За нормално затворени контакти, идејата е во тоа што струјата ќе тече сè додека контактите не се отворат. Ако е тоа притисно копче, некој мора да ги отвори контактите и да ја прекине струјата со притискање на копчето. Ако се тоа контакти од некое реле, тогаш релето мора да биде енергизирано за да ги отвори контактите и да ја прекине струјата која поминува низ контактите.

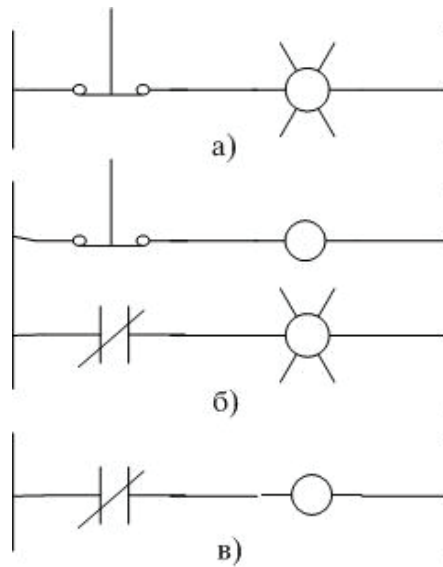
Во програмираниот дијаграм, симболот за нормално отворен контакт кажува дека елементот треба да биде интерпретиран како *FALSE* ако контактот го тестираме и го најдеме отворен, и *TRUE* ако го најдеме затворен. Ова испитување го нарекуваме „испитување *ON*“ и овде важи – ако е *ON*, тогаш е *TRUE*. Тоа е многу слично како и во физичкиот дијаграм.

Да го разгледаме програмираниот *NC* симбол. Ако направиме тест и го најдеме затворен, тогаш тој е *FALSE*, и ако го тестираме и го најдеме отворен, тогаш тој е *ON*. Ова не е како кај физичкиот *NC* симбол. Ова испитување го нарекуваме „испитување *OFF*“ и овде важи – ако е *OFF*, тогаш е *TRUE*.

Слика 1.20 го илустрира овој концепт. Да претпоставиме дека имаме физичко *NC* притисно копче како прекинувач и дека сакаме со притискање на копчето да вклучиме црвено светло. Најпрво да ја разгледаме физичката интерпретација. Слика 1.20 а) покажува дека не можеме само едноставно да го поврземе светлото за прекинувачот. Во ваков случај, кога прекинувачот ќе го притисне светлото ќе се исклучи.

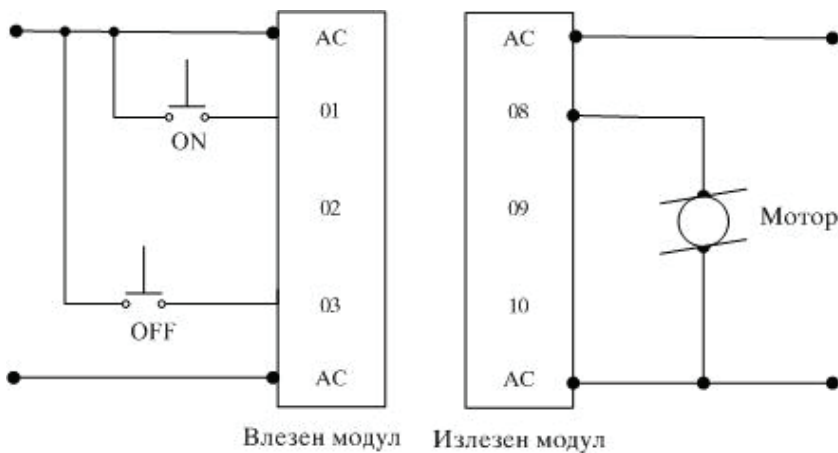
Слика 1.20 б) покажува физичко решение на проблемот со помош на управувачко реле, *CR1*. *CR1* е нормално енергизирано и неговите контакти се отворени, па светлото ќе биде исклучено (*OFF*). Кога ќе го притиснеме копчето, *CR1* ќе биде деенергизирано, затвора и црвеното светло светнува [38]:.

Во програмираниот систем нам не ни треба физичко или, пак, програмирано реле за да го направиме ова. Слика 1.20 в) покажува дека нам ни е потребно да имаме само симбол „испитување *OFF*“ поврзан директно за светлото. Значи, ако прекинувачот не е притиснат, проверката на симболот покажува дека тој е затворен, затоа тој логички се интерпретира дека е *FALSE* и светлото не е енергизирано од програмата. Кога копчето е притиснато прекинувачот е проверен како да е отворен и затоа ќе имаме логичко *TRUE* и светлото ќе биде вклучено.



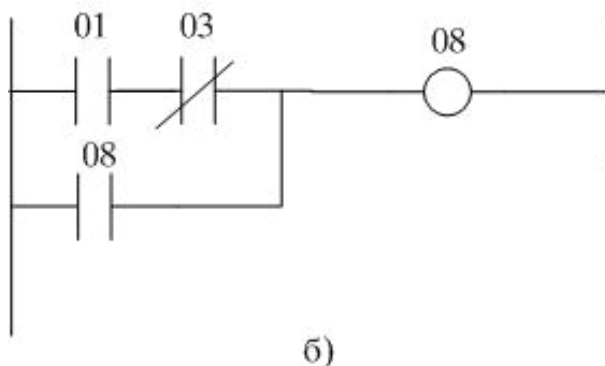
Слика 1.20: Користење на NC за вклучување светилка со: а) логика со релиња
б) со PLC

Да претпоставиме дека сакаме да примениме копчиња за вклучување и исклучување мотор со помош на два NO притисни копчиња како прекинувачи. Слика 1.21 а) покажува како прекинувачите и моторот се физички поврзани за влезните и излезните канали на PLC.



Слика 1.21: а) Дијаграм на поврзување на старт/стоп систем за мотор

Кај програмираниот скалест дијаграм ние сакаме моторот да се вклучи ако *PB1* е притиснато. Ова ќе предизвика висока состојба кај каналот 01. Поради ова ние треба да спроведеме испитување *ON* за состојбата на овој елемент од гранката. Ние сакаме моторот да биде вклучен сè додека влезниот канал 03 не е снабден со енергија (тоа значи *PB2* не е притиснато). Затоа на овој канал треба да спроведеме *OFF* испитување (Дали е *OFF* (исклучено))? Ако е да, тогаш каналот е *TRUE*. Значи, скалестниот дијаграм на Слика 1.22 б. ќе биде бараното решение.



Слика 1.22: б) Скалест дијаграм на старт/стоп систем за мотор

1.4.2.8 Бројачи

Бројач е едноставен инструмент кој е наменет само за една работа – броење. И покрај тоа, во зависност од производителот, постојат повеќе видови на бројачи.

Бројачите можат да бројат нагоре – нагорни бројачи (кога бројат 1, 2, 3...), можат да бројат надолу – надолни бројачи (кога бројат..., 3, 2, 1) или можат да бројат нагоре-надолу (кога бројат 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, 2,...) наречени нагоре/надолу бројачи. Многу од производителите имаат само еден или најмногу два од типовите бројачи, но тие можат да бидат искористени за броење нагоре или надолу.

Бројачите можат да бидат хардверски или софтверски. Високобрзинските бројачи се вообичаено хардверски, додека обичните (нормалните) бројачи се софтверски. Софтверските бројачи физички не постојат во *PLC*, туку тие се симулирани во софтверот. Хардверските постојат во *PLC*, па тие се независни од времето на скенирање. По правило секогаш се користат софтверски бројачи, освен ако пулсовите за броење не надоаѓаат побрзо од 2x од времето на скенирање (на пр., ако времето на скенирање е 2 ms а пулсовите надоаѓаат секои 3 ms, тогаш треба да користиме хардверски бројачи).

За да ги користиме нив, мора да знаеме 3 работи:

1. Од каде доаѓаат пулсовите кои сакаме да ги броиме (вообичаено доаѓаат од некој влез).
2. Колку пулса треба да изброиме пред да реагираме.
3. Кога и како ќе го ресетираме бројачот за да почне со броењето од почеток.

Вообичаено, во бројачот е потребно да имаме два влеза, едниот ја има адресата на влезот од кој доаѓаат пулсовите за броење, а другиот ја има адресата на сигналот за ресетирање.

Ознаката на бројачот е во два дела. Со едниот дел го означуваме името на бројачот (т.е., неговата адреса), а со вториот дел означуваме колку пулса сакаме да изброиме пред да реагираме.

1.4.2.9 Тајмери

Тајмерот е точно она што и самиот збор за него кажува, тој е инструкција која чека одредено време пред да направи нешто. Постојат неколку типа на тајмери:

1. Вклучно-одложувачки тајмери кои чекаат одредено време пред да вклучат нешто. Ова е највообичаениот тип на тајмери.
2. Исклучно - одложувачки. Овој тајмер едноставно го одложува исклучувањето. Доколку имаме потреба одреден елемент од системот да биде исклучен по определено време по престанокот на одреден сигнал, тогаш го користиме овој тајмер.

Типот на тајмерите во голема мера, како и бројачите, зависи од произведувачите. Затоа овде се опишани само основните типови.

За да ги користиме тајмерите, претходно мора да знаеме:

Со што ќе го вклучиме тајмерот. Вообичаено тоа е некој од влезовите.

Колкаво одложување сакаме да имаме пред да реагираме.

Кога инструкциите пред тајмерот се TRUE, тајмерот отпочнува со отчукувањето. Кога времето ќе измине, тајмерот автоматски ќе си ги затвори контактите. Големината на тактот во голема мера зависи од произведувачот на тајмерот, но вообичаено се среќаваат тајмери со 10 и 100 ms зголемувања.

Вообичаено имаат само еден влез со адреса на влезот чијшто сигнал треба да го одложиме. Слично како и бројачите и тајмерите имаат ознака со која го означуваат со едниот дел името на тајмерот, а со другиот времето до реакција.

1.5 Разлика помеѓу RTU и PLC

PLC претставува мал индустриски компјутер чијашто намена на почетокот била да ја замени реле логиката. Содржи влезови и излези како што имаат и RTU уредите. Снабдени се со програма која извршува циклус, скенирајќи ги влезовите и презема акција врз база на тие влезови. Оригиналнo, PLC уредите немале комуникациски способности, но тие отпочнале да се користат во околинa во кои комуникацијата била посакувана особина. Така се развиле комуникациски модули за PLC уреди, кои поддржуваат Ethernet и MODBUS комуникациски протоколи, па така комуникацијата е област во која овие уреди значајно напредуваат. За разлика од RTU уредите, PLC уредите имаат многу подобри програмабилни способности, но затоа, пак, RTU уредите оригинално имаат подобри комуникациски способности во отежнати околинa. Како што одминува времето, сè повеќе особините на RTU уредите се поклопуваат со оние на PLC уредите, па може да се каже дека доаѓа време во кое границите помеѓу RTU уредите и PLC уредите ќе исчезнат [34].

Значи, за RTU уредот може да се каже дека претставува крут компјутер со многу добри радиоспособности, добар за користење во ситуации каде комуникациите се отежнати. Една негативност на RTU уредот е неговата слаба програмабилност. Како и да е, модерните RTU уреди имаат подобрена програмабилност компатибилна со онаа на PLC уредите.

За PLC уредите може да се каже дека претставуваат мали индустриски компјутери вообичаено употребувани во фабриките. Нивната главна улога била да ја заменат реле логиката применета на некој процес или постројка. Денес сè почесто се користат во SCADA системите поради нивната добра програмабилност. Во почетокот тие немале сериски комуникациски портови за да се поврзат со радиоопремата за пренос на податоци, но во денешно време PLC уредите имаат завидни комуникациски способности и широка поддршка на популарните радиоединици кои се користат во големите SCADA системи [33].

1.6 Комуникациска мрежа

1.6.1 Вовед

Денешните мрежни решенија, специјализирани за управување со процеси, се состојат од интелигентни уреди кои се во можност не само да испраќаат податоци, туку и да испраќаат информации за нивниот статус и здравствена состојба. Мрежа составена од вакви интелигентни уреди може да ги има следниве придобивки – се редуцираат инсталациските трошоци, побрза мрежна комуникација и намалени трошоци за одржување. Со ваквите мрежи крајните корисници можат лесно да извршат статистички анализи на процесите поради зголемениот број на вредни информации кои се враќаат од теренот.

Едни од најчесто употребуваните мрежни решенија се: *Ethernet, Foundation Fieldbus, PROFIBUS, DeviceNet, Controller area network, Serial (RS-232/422/485)* [39].

Мрежата се состои од неколку нивоа.

- » Првото ниво е физичко ниво на поврзување. Тука постојат различни типови на мрежни решенија кои можеме да ги користиме: изнајмени линии, радиопренос, етернет, фибер-оптички, сериско врзување, кружна дознака (*token ring*) итн.
- » Второто ниво е ниво на мрежен протокол, т.е. јазик кој ќе го користат уредите за размена на податоците. Специјализираните уреди можат да користат некои протоколи кои се во општа употреба како, на пример, протоколот *TCP/IP, NetBeui* итн., или, пак, производителите на уредите за управување со процеси имаат стандардизирано свои протоколи. Честопати можеме да видиме како групи на произведувачи формираат и развиваат еден протокол со цел нивните уреди да бидат компатибилни. Специјализирани протоколи за управување со процеси, создадени од групи производители и стандардизирани од страна на некои држави – главни производители на уреди за автоматско управување се: *Foundation Fieldbus, PROFIBUS, DeviceNet, Controller Area Network (CAN), Modbus* итн.
- » Трето ниво е ниво на *OPC (OLE for Process Control)*. Ова ниво служи за интегрирање на сите собрани информации во една корпорација по начинот на *OPC*. Собраните информации на овој начин можат да бидат споделувани, или, пак, можеме да ги ставиме на интернет со што операторите и инженерите можат да го управуваат и да го контролираат процесот од далечина (каде било од светот). *OPC* функционира како софтверски интеграционен алат со кој се собираат сите овие работи на

едно место. *DCS, SCADA, HMI* и други апликациски софтвери, како што е *NI Lookout SCADA* софтверот, можат да се однесуваат како *OPC* клиенти и сервери и на тој начин да постигнат промена на податоци во реално време помеѓу различни апликации.

1.6.2 Прво ниво, ниво на физичко поврзување

1.6.2.1 Етернет

На почетокот Етернетот бил замислен како внатрешно-канцелариска информациска технологија. Како што индустриските мрежи стануваат сè попопуларни, Етернетот станува сè повеќе вметнат во мрежите за високобрзинска комуникација помеѓу работните *PC* станици и индустриската мрежа.

Со помош на Етернетот се гради *LAN* (Local Area Network).

Етернетот користи чувствителен на носачот, повеќекратно пристапен, откритач на судири (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detect*) дата линк протокол. Секоја точка од Етернет мрежата ја слуша трансмисијата и проверува дали пакетот е наменет за неа. Точката која се совпаѓа со адресата на пакетот е онаа која одговара. Доколку се открие судир, точката го паузира преносот и се обидува повторно после одредено време [39].

Важно е да напоменеме дека Етернетот претставува физичко ниво на поврзување а не протокол. Типичен мрежен протокол ги извршува следниве функции: ги дефинира адресите на компјутерите и уредите за тие да можат да се идентификуваат помеѓу себе на мрежата, одредува како податоците ќе бидат пренесувани, ги обработува податоците кога ќе стигнат на крајната дестинација. Многу индустриски мрежни протоколи спроведуваат и дополнителни функции како што се: приоритизација на пораките, временска синхронизација, детерминистичен одговор во реално време, редунданција, зголемена доверба и податочен интегритет. Етернетот, кој е де факто стандард, надоврзан со стандардните индустриски протоколи какви што се: *TCP/IP, Foundation fieldbus, PROFIBUS* и *OPC* ги прави мрежните решенија на база на Етернет многу атрактивни и евтини за поврзување и соработка помеѓу фабричката автоматизација, управувањето со процесите и бизнис-апликациите.

Друг тип на физичко поврзување претставува *RS-485 магистралата*. Ова е најупотребуваната мрежа во фабричките хали за индустриски апликации. *RS-485* бара пар на упредени жици до сите приклучени корисници. Ова е полу-

дуплекс магистрала која поддржува до 32 модула поврзани на неа, и е наменета за работа за растојанија до 1,2 километри. Голема предност на овие две мрежи (етернет LAN, RS-485 магистрала) е нивната потполна независност, но тие се претежно наменети за мали растојанија.

Користењето кабли за меѓусебно поврзување е најчесто во фабрички хали. Каблирањето не е практично кога се во прашање големи географски раздालечености поради високата цена на каблите, облогите и зголемената работна рака при нивното инсталирање. Тука спаѓаат: приватните кабелски мрежи, изнајмените кабелски мрежи и фибер-оптичките кабли. Кабелските и радиокомуникациските линии се континуални додека постојат и *dial* конекции.

Комуникациската мрежа ја опфаќа и комуникациската опрема потребна за пренос на податоци до и од различни положби. Доколку не е возможно да се изведе директно кабелско поврзување помеѓу уредите, тогаш се користат разни дополнителни уреди дизајнирани за пренос на податоци, а тоа се: телефонски модеми, радиоуреди и кабелски преносници.

PLC (RTU) уредите ги конвертираат влезните аналогни, пулсирачки и статусни информации во бинарен протокол, CAP, MODBUS, итн. Овие битови на бинарниот протокол треба да бидат претворени во тонови пред да бидат пренесени преку телефон или радио. Сите телефонски и радиокола се во основа гласовни кола, оригинално дизајнирани да пренесуваат човечки глас. Тие не пренесуваат пулсирања многу добро.

1.6.2.2 PSTN мрежи

PSTN (Personal System Telecommunication Network) телефонската мрежа се употребува за пренос на податоци преку *dial-up* модеми инсталирани на секоја страна која е поврзана во комуникацискиот систем. Во денешно време може да се каже дека PSTN телефонските мрежи се застарена технологија. Ова решение може да се спроведе само ако постои кабелска инфраструктура и ако системот е непрактично да работи во онлајн мод. PSTN е прифатливо решение за периодичен мониторинг и детекција на аларми. Како негови карактеристики можат да се наведат: секоја трансмисија на податоци бара да се воспостави телефонска врска, глобалната мрежа дава екстензивна доверливост, брзината на пренос е од 14,4 kb/s до 56 kb/s, употребата на постоечката инфраструктура имплицира ниска почетна цена, цената на чинење е пропорционална на времетраењето на воспоставената врска. За да се воспостави врска, потребен е модем.

Модемите ги преведуваат тие дигитални битови или пулсови во фреквентно поместени тонови. Тоновите се модулираат со дигитални информации. Поради тоа модемот е модулатор (*modulator*). Од друга страна, модемот ги декодира примените фреквентно поместени тонови во дигитални пулсирања. Поради ова модемот е, исто така, и демодулатор (*demodulator*). Поради тоа тој го добил името модем (*modem*). Двожичените модеми кои се произведуваат масовно за потребите на компјутерската технологија не се користат често кај *RTU (PLC)* уредите, тука повеќе се застапени супердоверливите четирижичени *Bell-202* модеми, кои немаат комплексни крајни протоколи. Некои *PLC (RTU)* уреди имаат вградени модеми, но кај мастер станицата мора да постои самостоен модем. Користењето телефонски линии е вообичаено поевтиното решение кога се работи за големи растојанија.

Изнајмени линии се користат во системите кои побаруваат онлајн конекција со теренските станици. При изнајмените линии станиците комуницираат помеѓу себе преку модеми но без бирање. Ова е добро решение за системи кои бараат брз одзив на далечинската станица. Изнајмените линии можат да бидат скапо решение, бидејќи една линија е потребна за една станица. Карактеристично е: системот е цело време онлајн и нема потреба од воспоставување конекција, голема достапност, голема пропустност и употреба на брзи модеми (на пример, *DSL*), зголемени експлоатациони трошоци.

Линии со повремено свонење можат да се користат кај системи кај кои е потребно повремено апдејтирање на податоците. Во ваков случај можат да се користат обичните телефонски линии. Централната станица може да засвони на бројот на теренската единица за да ги добие отчитувањата и да испрати команди.

Свонењето има предност во малите иницијални трошоци. Мобилната телефонија, исто така, може да биде искористена, а нејзината предност е во тоа што без проблем покрива големи географски површини. При користењето на телефоните незгодно е тоа што теренската единица постојано мора да биде контактирана со свонење, што е многу непрактично.

1.6.2.3 Безжичен LAN – WLAN

WLAN е начин на конфигурирање на *LAN* со употреба на радиоканал. Примарно е наменет за компјутерски мрежи. Тој го употребува *IEEE 802.11* протоколот и обезбедува 64 *kb/s* до 11 *Mbit/s* на проток, кој е премногу за далечинско управување. Комуникацијата се извршува во таканаречениот *ISM (Industrial, scientific, medicine)* радиоопсег (900 *Hz*, 2,4 *MHz*, 5,7 *MHz*) кои се слободни за комуникација. Во Европа сè уште максималната моќност на зрачење е ограниче-

на на 100 *mW*, со што е ограничен опсегот на примена – 10 km со насочена антена. Вообичаено работното растојание е во опсег од неколку стотици метри.

1.6.2.4 Радиомодеми

Користењето на радиомодемите за поврзување со теренските единици е најекономичното решение. Кај радиосистеми постојаната конекција е возможна. За локации каде директен радиолинк не може да се воспостави, се поставува радиорепетитор за да се поврзат страните. Радиокомуникациите се слични на кабелските комуникации. Единствената разлика е во тоа што радиотрансмитерот на секоја страна треба да се вклучи кога единицата емитува и да се исклучи за да прима. Сите *PC* модеми и теренски уреди го извршуваат ова автоматизирано. Во некои случаи радиокомуникацијата може да биде единствено решение. При користење на радиоуредите треба да знаеме кои фреквенции ни се на располагање, па така во Америка, на пример, постојат четири главни фреквенции кои можат да бидат искористени. Две од нив (150 и 450 *MHz*) се лиценцирани, додека другите две (920 *MHz* и 2,4 *GHz*) се за општа употреба, но тоа истовремено значи дека ќе ги користат истовремено сите што имаат некакви радиоуреди. Изнајмените фреквенции истовремено се и поквалитетни, па така тие можат да се користат и при растојанија до 100 *km*, без репетитори, т.е. доколку двете страни се наоѓаат на видното поле. Во државата на располагање се две фреквенции: 12,5 или 25 *kHz* широки бранови. Доколку помеѓу двете страни има одредени попречувачи, на пример, некој рид, во тој случај ни се потребни репетитори на врвот на тој рид.

1.6.2.5 Интернет

Во последните години интернетот ги сврзува оддалечените интегрирани системи во еден систем. Интернет поврзувањето е направено со користење на т.н. *TCP/IP* опрема. Придобивките од интернет поврзувањето се очигледни: најпопуларната глобална мрежа обезбедува широкоприменлива телеметрија и управување на далечина од еден главен компјутер кој може да биде кој било *PC*, може да се набљудуваат податоците во оддалечената локација од кој било пребарувач, но тука се и недостатоците кои најчесто се однесуваат на отежнатата сигурност на системите поврзани на глобалната комуникациска мрежа интернет.

1.6.3 Второ ниво, ниво на протоколи

Второто ниво, нивото на протоколи (специјализирани) го дефинира и првото ниво, т.е. нивото на физичкото поврзување.

Протокол едноставно претставува јазик кој теренските единици (*RTU, PLC*), компјутерите и другите уреди го користат за да комуницираат помеѓу себе. Многу од нив се за интерна употреба на самите производители на уредите и имаат за цел ограничување на користење на производите од еден ист производител. Може да се каже дека првиот протокол бил Морсеовиот код, серија од точки и црти. Тој патувал преку челични жици, а успеал да достигне и до бродовите преку радија и светилки. Морсеовиот код е бит протокол, тежок за отчитување.

Секој сет од битови треба да се интерпретира засебно. Битовите протоколи сè уште се во употреба, особено во големите и комплексни *SCADA* системи за дистрибуција на електрична енергија. *PLC* протоколите честопати се бит ориентирани, бидејќи тие се дизајнирани да отчитуваат и да командуваат еден специфичен сет влезови или излези. Така, на пример, вклучи го соленоидот број 214 е типична *PLC* команда. Овие битовни протоколи се тешки за луѓето и компјутерите. Во светот сега доминираат два протокола. Првиот е чистиот говорен јазик на луѓето, англиски, македонски итн. Дури и *RTU* уредите можат да го користат овој чист говорен протокол. Вториот доминантен протокол е *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange*). Тој е прифатен од целиот свет. Виртуелно, сите компјутери, печатачи и модеми комуницираат со *ASCII*. Тој е одличен *RTU* протокол и лесно се генерира и се отчитува од компјутерите.

Fieldbus претставува генеричко име за дигиталните комуникациски протоколи за индустриски мерења и управувачки апликации. Некои од нив се: *Modbus, Foundation Fieldbus, CAN, Profibus, DirectNet*, итн. Со воведување на *TCP/IP* стандардот во уредите за управување станува интересно да се имплементира *fieldbus* протоколот во *TCP/IP*. Концептот е да се пакуваат податоците во постоечкиот *fieldbus* формат и понатаму да се транспортира тој пакет во *TCP/IP*. Така, во моментот постојат *MODBUS/TCP, Ethernet/TCP* и *Profibus* на Етернет.

1.6.3.1 Foundation FIELDBUS

Foundation fieldbus е дизајниран специјално за примена во управување со процеси. *Fieldbus* фондацијата е составена од повеќе од 140 компании кои се светски лидери во автоматизација на системи, уреди и сервиси.

Foundation fieldbus користи две физички нивоа, *H1* (31,25 kb/s) или високобрзински етернет (*high speed Ethernet – HSE*, со брзини од 10 или 100 Mb/s), надополнети со еден ист *Fieldbus* протокол [40]. Разликата помеѓу овие два типа е во тоа што *H1* користи *bus/tree* топологија, потребно е напојување на басот, може да има од 2 до 32 уреди, а должината на кабелот може да изнесува до

1900 метри, додека *HSE* користи топологија ѕвезда, не е потребно напојување на басот, нема ограничувања околу бројот на уредите, а најголемата должина на кабелот може да биде 100 метри. За разлика од другите стандардни протоколи, *fieldbus* протоколот има едно дополнително ниво, а тоа е корисничкото ниво. Ова ниво го сочинуваат три типа на блокови:

- » Ресурсни блокови – ги опишуваат карактеристиките на уредот како што се: името, производителот и серискиот број,
- » Функциски блокови – спроведуваат управување и го контролираат однесувањето на влезовите и излезите од уредот,
- » Трансјусерски блокови – ги раздвојуваат функциските блокови од функциите потребни да се читаат/запишуваат локалните влезови/излези.

Foundation fieldbus комуницира со уредите преку сет од функциски блокови. Како основни функциски блокови се сметаат: аналоген влез *AI*, аналоген излез *AO*, дискретен излез *DO*, дискретен влез *DI*, пропорционален/диференцијален *PD*, пропорционален/интегрален/ диференцијален *PID* итн., кои се дефинирани од фондацијата, но некои функциски блокови ги дефинираат и самите производители. Апликации можат да бидат создадени за *fieldbus* со конектирање на влезови и излези од функциски блокови. Втората важна одлика на фондациониот *fieldbus* е можноста за опишување на уредите. Во описот на уредите спаѓа опис на функциите кои се на располагање во уредот. Со користење на описот на уредите, мастер станицата може да ги добие потребните информации за да го создаде интерфејсот за интеракција со уредот, да ги конфигурира параметрите, да изврши калибрирање, дијагностика и други функции.

1.6.3.2 PROFIBUS

PROFIBUS е водечки *fieldbus* систем во Европа, а се користи и насекаде низ светот во производствената, процесната и градежната автоматизација. *PROFIBUS* е составен од повеќе од 640 компании кои се светски лидери во автоматизација на системи, уреди и сервиси.

PROFIBUS е стандардизиран од германскиот *DIN 19245* и европскиот филдбас стандард *EN 50170*. *PROFIBUS* е дизајниран да исполни низа апликациски побарувања како што се:

- » високобрзинско, временски критично пренесување податоци помеѓу контролерите и влезно/излезните уреди.
- » комплексна комуникација помеѓу програмабилните контролери.

PROFIBUS фамилијата се состои од три компатибилни верзии – *DP*, *FMS* и *PA*. *PROFIBUS – DP*, на пример, е дизајнирана за високобрзинско, евтино комуницирање помеѓу индустриските контролери и теренските влезно/излезни уреди. На мрежа создадена на база на *PROFIBUS – DP*, централните контролери како што се *PLC* уредите или *PC* компјутерите комуницираат со теренските уреди какви што се: вентилите, моторите, влезно/излезни уреди итн. преку високобрзински сериски линк. Значи, *RS-485* и фибер-оптичко физичко поврзување се користат кај *PROFIBUS – DP*. Доколку се користи *RS – 485*, тогаш брзината може да изнесува од *9,6 kb/s* до *12 Mb/s*, можат да се приклучат 32 уреди на еден сегмент без репетитори и 127 со репетитори, а должината може да достигне и до *10 km*.

1.6.3.3 MODBUS

MODBUS протокол е специјализиран *PLC* протокол. *MODBUS*, како и другите *PLC* протоколи, е протокол „од точка до точка“, дизајниран да чита и да запишува на индивидуални влезови и излези во *PLC* уредите вообичаено во фабричките хали. Системите „од точка до точка“ не се дизајнирани за користење во мулти поинт апликации. Апликацијата на ваков протокол во системи со многубројни аналогни и дигитални влезови и излези резултира во преголемо влечење (*polling*) и чекање на одговори. Честопати во пракса нарачателите на *SCADA* системите се ограничени на *MODBUS* протоколи, бидејќи овие протоколи како едни од најстарите во нивните постројки се поставени одамна и се еден вид на стандард. Поради ова се појавуваат разни модификации на овие протоколи кои се приспособуваат да користат *ASCII* стандард како нивна основа.

1.6.3.4 CAP

CAP (Compressed ASCII Protocol) е широко употребуван *RTU* протокол дизајниран за *SCADA* master – *RTU* комуникации.

Специјални *RTU* протоколи се приспособуваат за брза и поефикасна *RTU* комуникација во *SCADA* системите. *RTU* протоколите главно се прават на база на *ASCII*. Тие се разликуваат од протоколите „од точка до точка“ (најчесто користени кај *PLC* уредите) во тоа што сите информации од *RTU* уредот, вклучувајќи го и полето за конфигурација на влезовите/излезите, се доставени во еден блок како одговор на едно побарување. Овие блокови се приспособени за комуникација преку радио или кабелски врски. За *CAP* протоколот може да се каже дека е еден од најдобрите *RTU* протоколи, создаден од големите петрохемиски, електрични и компании за водени ресурси. Тој се користи насекаде низ светот. Модерните софтверски пакети, како што е *LOOKOUT*, имаат одлични,

тестирани драјвери за *CAP* протоколот. *MODBUS* протоколот станува стандард за комуникација помеѓу *PLC* уредите поради неговата широка употреба насекаде во светот. Секој производител се труди да наметне свој одреден протокол. Барањата од протоколите кои се користат кај *PLC* уредите и *RTU* уредите се разликуваат во низа аспекти: *PLC* уредите најчесто се користат во *SCADA* за фабричките хали и во други локално управувани системи, имаат потреба од брз пристап за читање и промена на единечни индивидуални точки, додека од *RTU* уредите за *SCADA* системите има потреба од брз пристап до сите нивни информации за брза промена на информациите на централната станица.

1.6.4 Трето ниво, ниво на *OPC* – *SCADA* софтвер

Трето ниво е ниво на *OPC* (*OLE for process control*). Ова ниво служи за интегрирање на сите собрани информации во една корпорација (целина) по начинот на *OPC*, со што *SCADA* системот го добива своето правилно значење на еден целокупен систем на управување – од фабричките хали до бизнис-канцелариите.

OPC дефинира сет од стандардни *COM* приклучоци со што се дефинираат стандардни објекти, методи и своини како и *DCOM*, со што се овозможува *OPC* уредите да користат објекти на други мрежни компјутери. Со помош на овие стандарди *SCADA* софтверот може да разменува податоци во реално време со *OPC* серверите. *OPC* спецификациите, исто така, дефинираат и стандарден механизам за *OPC* клиентските апликации да можат да ги пребаруваат *OPC* серверите за бараните податоци. *SCADA* системите ги користат овие спецификации на *OPC* во своите софтверски решенија со кои се овозможува размена на податоци во реално време помеѓу *SCADA* серверите и клиентите. *OPC*, исто така, овозможува лесно поврзување помеѓу софтверски и хардверски компоненти од различни производители на автоматски компоненти. Производствените компании лесно можат да ги интегрираат тие компоненти во еден автоматизиран и бизнис-систем. Интеграциските трошоци, исто така, се намалуваат поради тоа што сите софтверски и хардверски компоненти се поврзуваат со еден индустриски стандард. *OPC* серверите го заменуваат приватниот драјверски софтвер на влезно/излезените уреди. *OPC* клиентските апликации, *SCADA* софтверот, можат да комуницираат и да разменуваат податоци со кој било *OPC* сервер.

Собраните информации на овој начин можат да бидат споделувани, или, пак, можеме да ги ставиме на интернет, со што операторите и инженерите можат да го управуваат и да го контролираат процесот од далечина (каде било од светот). *OPC* функционира како софтверски интеграционен алат со кој се собираат сите овие работи на едно место. *SCADA* софтвери, како што е *NI Lookout*

SCADA софтверот, можат да се однесуваат како OPC клиенти и сервери, и на тој начин да постигнат промена на податоци во реално време помеѓу различни апликации кои се компатибилни.

1.7 Централна мониторинг станица

Централната мониторинг станица (*CMS – Central Monitoring Station*) е мастер единица на еден SCADA систем. Таа е надлежна за собирање информации од теренските станици и за преземање потребни акции врз основа на детектираните настани. CMS станицата може да биде само една компјутерска станица или, пак, може да биде поврзана за работни станици со мрежа за да се овозможи поделба на информациите од SCADA системот.

На CMS станицата е инсталирана *Man-Machine Interface (MMI)* програма. Графички приказ, со објекти кои ја менуваат состојбата на целата постројка, односно процес, може да биде прикажан на мониторот за полесна идентификација на елементите од реалниот систем. Секоја влезно-излезна точка на теренските единици може да биде прикажана со графички приказ кој кореспондира со отчитувањата од влезот-излезот, т.е. со неговата моментална состојба. Така, на пример, отчитувањата на протокот можат да бидат прикажани со слика на протокомер, резервоар може да биде прикажан со слика на резервоар полн со течност во зависност од моменталното ниво итн.

Сите параметри кои имаат гранични вредности, активирачки вредности итн. можат да бидат внесени во оваа програма и испратени до соодветната теренска единица за изменување на нивните работни параметри. Оваа SCADA програма може да има и посебен прозорец за аларми, на кој ќе се прикажуваат името на алармот, опис, вредност, активирачка вредност, време, датум и други важни информации. Сите аларми можат да бидат зачувани на посебен документ за подоцнежнo разгледување. Разни граfiци и извештаи можат да бидат креирани и искористени за подоцнежни потреби. Пристапот на оваа програма може да биде со различни нивоа за различни корисници, т.е. за корисниците се креираат лозинки со привилегии за пристап за различни корисници. Сите акции на корисниците се зачувуваат на посебен документ за подоцнежен преглед.

Објектно ориентираните софтвери (*Object Oriented Software – OOS*) овозможуваат низа предности пред останатите SCADA софтвери. Поради тоа нивната употреба во денешно време е значително зголемена главно поради следниве причини:

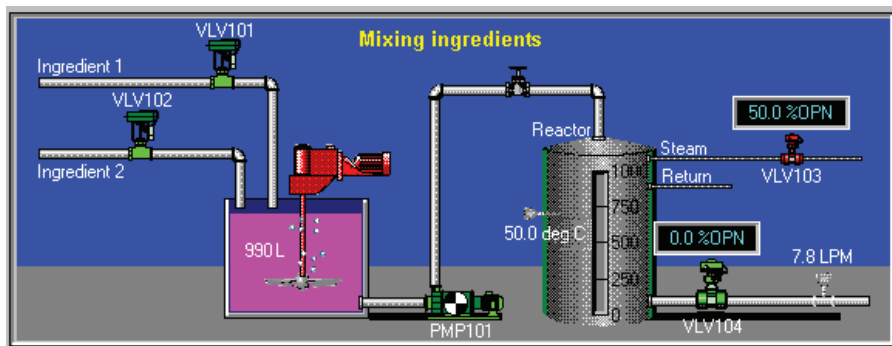
- » OOS ни овозможуваат брзо и лесно креирање контролни панели.

Панели со голема сложеност се креираат со едноставно *drag and drop*. Контролните панели се состојат од прекинувачи, копчиња, бар графови, дигитални покажувачи, тренд графици и други компоненти кои ние можеме да ги користиме за визуелно надгледување и управување со сите наши влезови во SCADA системот. Панелите можат да бидат на целиот екран, минимизирани или која било друга величина. Тие можат да бидат *pop-up* и да се појавуваат кога ќе се појави некој настан, како, на пример, кога ќе се притисне некое копче или кога некој аларм ќе се активира. Нема граница на бројот на панелите, ниту, пак, на објектите што можат да бидат прикажани на секој од панелите.

Можат да се користат стандардни слики од библиотеките на софтверот или, пак, може да создадеме наши сопствени и да ги вметнеме. На пример, можеме да си нацртаме наши прекинувачи и да ги користиме место стандардните кои ни се нудат. Можеме да користиме и вистински слики од нашата постројка. Некои објекти не се видливи на панелот, туку само служат за формирање на управувачките функции.

Контролните панели претставуваат прозорци во нашиот SCADA систем. Ние ги користиме нив за да управуваме со опремата со преклопување прекинувачи, притискање копчиња и вртење потенциометри. На одредени управувања можеме да им назначиме нивоа на сигурност, како и на цели управувачки панели. Истиот објект можеме да го претставиме повеќе пати, без разлика дали е тоа на истиот управувачки панел или, пак, на некој друг. Така, на пример, кога ќе завртиме некој потенциометар на еден управувачки панел, сите копии на тој потенциометар се завртуваат истовремено на сите останати управувачки панели.

Одличен SCADA софтверски пакет кој ги има сите предности на објектно ориентиран софтвер е *Lookout*, од *National Instruments* [12].



Слика 1.23: Апликација изработена во NI Lookout [12]

- » OOS објекти лесно се креираат и се поврзуваат.

Така, на пример, постојат потенциометарски и прекинувачки класи на објекти од кои ние можеме да креираме кој било број на потенциометри и прекинувачи, само со користење на тие две класи на објекти. *Lookout* софтверскиот пакет, на пример, има голема библиотека со различни класи на објекти. Креирањето објект е релативно лесно. Најпрвин се одбира саканата класа на објект од листата на постоечки класи на објекти. Со ова го дефинираме типот на објектот кој ние го сакаме. Потоа на тој објект му се доделува уникатно име и се дефинираат неговите параметри. Различните објекти можеме лесно да ги поврзуваме, дозволувајќи сигналите да преминуваат помеѓу нив, на ист начин како што се поврзуваат временското реле со стартното реле на некој мотор. Ова може да се направи со едноставно меѓусебно поврзување на членовите на базата на податоци, или, пак, со поврзување на базата на податоци со параметри. Така, на пример, ние можеме да направиме некој нумерички член на базата на податоци или, пак, некој потенциометар извор на граничен параметар на некој аларм објект. Кога го нагодуваме потенциометарот, граничниот лимит на алармниот објект се менува, исто така. Како што креираме и поврзуваме објекти, ние формираме мрежа, или систем кој содржи многу објекти. Сите тие се поврзани и ја оформуваат нашата управувачка стратегија. Патот на сигналите на нашиот систем извира од сензорите на теренските единици и завршува во визуелните индикатори и бази на податоци на управувачките панели од софтверскиот пакет. Вака проектираниот систем може да донесува многу сложени одлуки, со или без интеракција со операторот, испрограмирани во *SCADA* софтверот.

- » OOS е целосно воден од настани и се разликува од циклично водените софтвери.

Постарите циклично водени *SCADA* софтвери го извршуваат кодот секвентно од врвот кон долу, тогаш го отпочнуваат кругот од почеток, т.е. назад од врвот за да го извршат истиот код од почеток. Поради ова овие програми се нарекуваат програми со „бесконечен круг“. Дадениот код може да се изврши милиони пати пред да се забелжи промена на променливата која се набљудува. Ова ја троши компјутерската моќ и ги забавува одговорите на често појавуваните настани.

Колку повеќе задачи додаваме во еден циклус, толку побавен станува одзивот на тие настани. Исто така, колку повеќе имиња додаваме во централната база на податоци, брзината и вкупните перформанси опаѓаат. Цикличната логика мора да скенира голема база за да ги прочита нејзините вредности. Колку што е поголема базата на податоци, толку подолго му треба на кругот за да ги открие податоците што му требаат и да одлучи што да прави.

Како спротивност на овие стари, гломазни, тешки за конфигурирање и скапи за одржување *SCADA* софтвери, *OOS* се целосно водени од настани. Секој објект останува во состојба на мирување, неправедјќи ништо сè додека не се појави некој настан.

Настан претставува промена на вредноста на некој податок. Кога ќе се промени влезниот сигнал, објектот се активира и ја обработува вредноста според она што е програмиран да го прави. Објектот испраќа сигнали кон надвор само доколку резултатот од ова процесирање предизвика промена. На овој начин сигналот патува низ *OOS* софтверот, создавајќи верижна реакција која ги вклучува само објектите во синџирот. Ова се нарекува активно известување. Пасивна нотификација, која се користи во постарите софтвери, побарува константни бесконечни циклични проверки на промени во голема база на податоци.

Додавањето објекти во *OOS* системите побарува помали барања од процесорското време споредено со додавањето наслови во базата на податоци во традиционалните циклично водени системи. Бидејќи *OOS* системите се целосно водени од настани, редоследот по кој ги создаваме објектите и меѓусебно ги поврзуваме не влијае врз тоа како работи управувањето и супервизијата со системот. Нема потреба за долги и комплексни графикони за да се решат програмските конфликти. На крај, резултатот е во тоа што времето за додавање објекти во *OOS* програмите е многу помало отколку конфигурирањето на старите циклични програми.

» *OOS* комуницира лесно со теренските единици.

Оваа комуникација оди преку податочни бази и преку *WEB*. Голем број на софтверски пакети (на пример, *LOOKOUT*) преку *SQL* или *DDE* имаат посебни драјвери за одредени произведувачи на теренски единици (*PLC*, *RTU*), иако теренските единици на познатите произведувачи користат стандардни *CAN* и *MODBUS* протоколи. Сите *OOS* објекти треба да имаат околина на дејствување и начин како да пристапат до системските ресурси како што се: сериски портови, хард дискови, мултимедијални функции и други. На пример, повеќе *RTU* објекти можат да користат еден комуникациски порт на нашиот компјутер. *Lookout* има специјална сервисна функција со која се овозможува сите објекти да добијат пристап до комуникацискиот порт по одреден редослед. Со својот *Serial Port Communication Service (SPCS)* врши арбитража на користењето на серискиот порт помеѓу различни *RTU*, *PLC*, *HART* протоколни сензори и други уреди. Тој овозможува еден сериски порт да комуницира преку радио и преку кабел, со различни драјвери за секој уред, со различни брзини, дата битови и паритети. Со постарите, циклични водени системи, потребно е да се назначи еден

одреден драјвер на еден специфичен сериски порт. Во тие системи повеќе драјвери не можат да делат еден ист сериски порт. Најголем број од системите со бази на податоци сега користат *SQL (Structural Query Language)* за размена на податоци. Најлесен начин за да се префрлат податоци од компјутер на кој е инсталиран *LOOKOUT* на друг компјутер е да се направи *Lookout* да складира *SCADA* базни податоци во *Excel* формат, или, пак, во *Access* податочна табела. Стандардните *Windows SQL* изрази испраќаат и примаат податоци назад и напред. *DDE (Dynamic Data Exchange)* често се користи за поврзување на живи податоци од еден *Windows* софтверски пакет (како што е *Lookout*) до некој друг *Windows* софтверски пакет. По воспоставување на *DDE* линк, секоја промена на вредноста на некој податок во изворниот пакет автоматски и веднаш ги обновува поврзаните вредности во вториот софтверски пакет.

» *SCADA* системите со *OOS* софтверските пакети се многу евтини решенија.

Цената на чинење на *SCADA* системите секојдневно опаѓа поради фактот што компјутерската технологија брзо напредува и нуди евтини решенија. Така, на пример, еден мал систем со околу 50 влезно/излезни точки чини 750 американски долари за *Lookout* софтверот. Десет *LMR RTU* уреди, секој со вграден модем и пет влезови/излези е помалку од 600 американски долари секој. Кабелски или радиомодем за *Windows* компјутер е околу 300 американски долари. Па така еден *OOS SCADA* систем со 10 *RTU* уреди и со 50 влезови/излези, кој работи преку постоечки кабли или радио, ќе чини околу 7 000 долари. На ваквиот систем можеме лесно да го испрограмираме, да му додадеме вистински фотографии од процесот, да му додадеме автоматско печатење аларми и репорти, и на тој начин да добиеме современ систем за дигитално управување кој има многу повеќе функции од стариот, а чини 10 пати помалку.

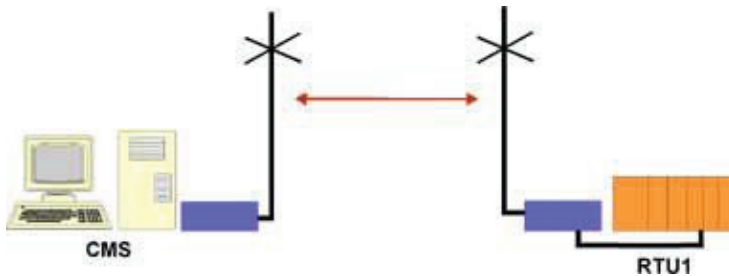
1.8 Типични *SCADA* конфигурации

Постојат две типични мрежни конфигурации на *SCADA* системи. Тоа се следниве конфигурации: од точка до точка и од точка до повеќе точки [1][33].

1.8.1 Конфигурација од точка до точка

Конфигурацијата од точка до точка е наједноставниот систем за пренос на податоци. Овде податоците се разменуваат помеѓу две станици. Едната станица е сетирана како мастер, а втората како потчинет. Како пример може да се посочи нагоденоста на два *RTU* уреди: едниот за резервоар, а другиот за водна пумпа сместени на различна локација. Кога резервоарот ќе се испраз-

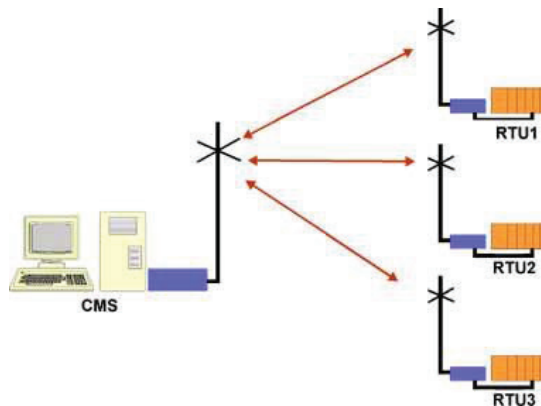
ни, теренската единица која е сместена кај резервоарот ќе испрати команда ПРАЗНО до втората теренска единица. Кога ќе биде примена оваа команда, *RTU* уредот, сместен крај водната пумпа, ќе отпочне со пумпање вода за резервоарот. Кога ќе се наполни резервоарот, теренската единица на резервоарот ќе испрати друга команда – ПОЛНО до теренската единица на пумпата за да ја стопира нејзината работа.



Слика 1.24: Конфигурација од точка до точка

1.8.2 Конфигурација од точка до повеќе точки

Конфигурација од точка до повеќе точки имаме во случаи каде еден уред е дизајниран како мастер единица за повеќе потчинети единици. Мастер станицата е вообичаено главниот компјутер кој е сместен во контролна соба, додека потчинетите компјутери претставуваат теренски единици (*RTU*, *PLC*) сместени на различни локации на постројката. На секој потчинет теренски уред му е доделена единствена адреса или идентификациски број.



Слика 1.25: Конфигурација од точка до повеќе точки

1.8.3 Комуникациски модови

Постојат два мода на комуникација, систем на влечење и систем на упаѓање [1][33].

- **Систем на влечење**

Во системот на влечење или систем Мастер/Потчинет, мастерот ја има целосната контрола над комуникациите. Мастер единицата врши редовно влечење на податоци (праќа и прима податоци) од секоја потчинета единица по одреден редослед. Потчинетата единица одговара на мастер единицата само кога ќе добие барање. Ова е наречено полудвоен метод. Секоја потчинета единица има своја единствена адреса за да овозможи точна идентификација. Доколку потчинетата единица не одговори на барањето во одреден временски период, мастер единицата го повторува барањето неколку пати, а потоа продолжува да влече од следната потчинета единица.

Предности:

- » Процесот на собирање податоци е многу едноставен;
- » Можноста за појава на колизија (судиири) во мрежата е отстранета;
- » Врска со дефект лесно се открива.

Негативности:

- » Времето на чекање се зголемува со бројот на потчинети единици;
- » Сите комуникации помеѓу потчинетите единици мора да поминат преку мастер единицата со што се јавува извесно усложнување.

- **Систем на упаѓање**

Системот на упаѓање е, исто така, познат како систем *Report by Exception (RBE)* или извештај по исклучок. Во ваквиот систем потчинетите единици ги надгледуваат своите влезови. Кога тие ќе откријат големи промени или кога тие ќе ја надминат границата, потчинетата единица иницира комуникација со мастер единицата и отпочнува трансфер на податоци. Системот е дизајниран да детектира грешки и да го обнови процесот за да се справи со судирите (*collisions*). Пред која било единица да почне со пренос на податоци мора најпрво да провери дали која било друга единица пренесува. Ова може да биде направено со најпрво чувствување на носачот на преносниот медиум. Доколку некоја друга единица пренесува, потребна е некоја форма на временско одложување пред единицата да се обиде повторно. Многубројните судиири резултираат во нестабилен систем

и можност за паѓање на системот. За да се справи со ова, доколку и после неколку обиди потчинетата единица сè уште не успеала да ја пренесе својата порака до мастерот, единицата чека од мастерот тој да изврши повлекување.

Предности:

- » Се намалуваат непотребните преноси на податоци како што е тоа во случај на влечење податоци;
- » Брза детекција на итни информации;
- » Дозволена е комуникацијата потчинет до потчинет.

Негативности:

- » Мастер единицата може да открие прекината врска после некој временски период, а тоа е кога системот ќе биде анкетан;
- » Потребна акција од страна на операторот доколку е потребно да го знаеме последниот статус и вредности на информациите;
- » Може да се појави голем судир на податоци и да предизвика одложување на комуникацијата.

1.9 Одредување на процесите и редослед на дејствија за успешно имплементирање на дискретно управување со SCADA систем

Процесот е одреден преку два дела. Првиот дел ги содржи целите на процесот, а вториот природата на хардверот кој ќе се употреби за постигање на целите [38].

• Цели на процесот

Општа (целосна) цел на процесот е дефинирана како краен резултат на постројката. Оваа цел потоа ја разбиваме на индивидуални, независни секундарни цели на кои, всушност, се применува управувањето.

Како пример ќе го земеме правењето колачи во некоја индустриска постројка. Во постројката влегуваат сурови материјали, се обработуваат на одреден начин и на крај излегуваат од неа како готови производи – колачи подготвени за продажба. Крајната цел може да ја поделиме на неколку секундарни цели како што се: подготовка на тестото, печење и на крај пакување. Ќе биде применет дискретен управувачки систем на секој независен дел од општата цел.

• Хардвер

За да бидат остварени целите на процесот, потребен е соодветен хардвер. Хардверот кој ќе биде применет е цврсто зависен од природата на индустрија-

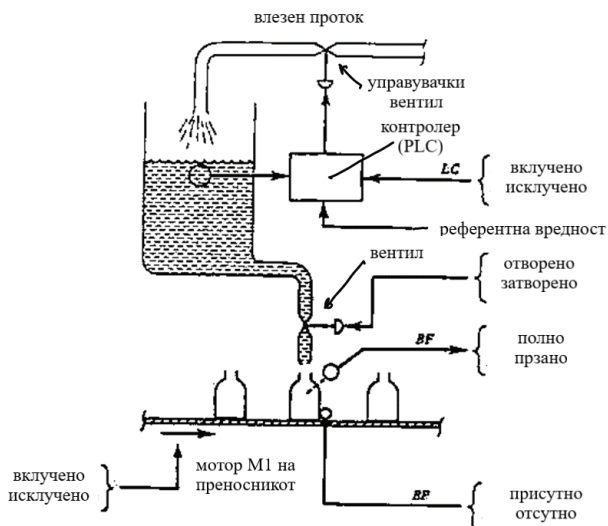
та. За оној кој ќе треба да го развие (конструира) управувањето со процесот од суштинско значење е да ја разбере природата на хардверот и неговите карактеристики. Општо, постојат само две базични категории:

1. Влезни елементи на контролниот систем. Функцијата на овие елементи е идентична со функцијата на мерните елементи на континуалниот систем. Во случај на дискретно управување влезот може да има само две состојби, како, на пример, граничните прекинувачи: отворени или затворени, компаратори: високо или ниско, копчиња: притиснати или непритиснати.
2. Излезни елементи, кои ги прифаќаат командите од системот за управување. Во дискретното управување излезните елементи прифаќаат само двосостојбни команди како што се светло: вклучено или исклучено, мотор: врти или не врти итн.

1.9.1 Опис на редните дејства

Откако за еден процес ќе ги дефинираме целите и хардверот, ни преостанува уште да опишеме како овој хардвер ќе биде насочен за да ги исполни целите. Мора да биде опишана редица од дејствија што ќе го води системот низ операциите за да се постигнат запишаните цели.

Одредувањето на редните дејствија започнува со краток опис на дејствата што мора да се појават за да се постигне целта. Во еден систем типично можат да постојат: почетна фаза (*start up*) и работна фаза (*running*).



Слика 1.26: Комбинирано управување со ниво

За да биде појасно, опис на редните дејствија ќе направиме на примерот со полначот на шишиња (Слика 1.26). Шишињата во овој пример се движат по преносник. Цел во овој пример е да ги наполниме шишињата кои редно, едно по едно, доаѓаат по преносникот. Под претпоставка дека кога ќе биде зададена команда да биде стопиран командниот систем, влезниот вентил е доведен до затворена позиција. Тогаш редоследот би бил:

1. Почетна фаза (претполнење на резервоарот)

- А. Преносникот стопиран, излезниот вентил затворен
- Б. Стартување на системот за контрола на нивото
 - 1. Дејствување одредено време за да се достигне критичната (потребната точка)
 - 2. Алтернативно – Додавање сензор за системот да познае кога критичната точка е постигната
- В. Кога нивото ќе биде постигнато, запре го управувањето со нивото
- Г. Оди на работната фаза

2. Работна фаза

- А. Старт на преносникот на шишиња
- Б. Кога шишето е на својата позиција
 - 1. Стоп за преносникот
 - 2. Отвори го излезниот вентил
 - 3. Вклучи го системот за управување со нивото за да го задржиме нивото константно за време на полнењето на шишето
- В. Кога шишето ќе биде полно:
 - 1. Затвори го излезниот вентил
 - 2. Стопирај го управувањето со нивото
- Г. Оди на чекорот (2. А) и повтори

Ако добро забележиме, хардвер беше додаден на системот во моментот на конструкција на редоследот на дејствија.

Втор начин на претставување на редоследот на дејствија е со симболички график.

1.10 Придобивки од примена на SCADA системи

Придобивките од примената на SCADA системите најпросто можат да се објаснат при автоматизација на пумпни постројки. SCADA систем може да врши набљудување на резервоарите и да управува со пумпите 24 часа на ден, седум дена во неделата, вклучувајќи ги и празниците. Една од клучните стандардни придобивки кај овие системи е можноста за заштеда на електрична енергија со избегнување на трошење во вршните периоди од денот. Оваа програма за заштеда на електричната енергија обезбедува поевтино пумпање.

Мануелното работење со пумпите е нималку ефикасно како што е тоа SCADA системот, кога станува збор за автоматизација. Честопати операторот со пумпите како и одредено возило мора да бидат на располагање денонојно за да го надгледуваат и да го управуваат системот. Како спротивност, SCADA системот без проблем може да врши континуирано надгледување на системот и да врши брзо управување со пумпите, додека мануелно тоа би одзело многу повеќе време. Понекогаш оваа разлика во време може да биде доволно голема за да предизвика разливање на резервоарот. Автоматизација може да се изврши и со серија на тајмери, ниво сонди и други електромеханички или електрохидраулични уреди. Предност на ваквата автоматизираност над целосен SCADA систем е помалата цена на чинење. Доколку се работи за едноставен систем за автоматизација, тогаш ова може да биде погодено решение, но кога се работи за комплексни системи додавањето на електричната опрема ја зголемува комплексноста на каблирањето, па опремата и одржувањето стануваат поскапи.

Ваквите системи лесно можат да бидат претворени во SCADA системи. SCADA системите ќе внесат поголема интелигенција во системот и ќе овозможат повеќе опции. Управувањето со системот ќе стане централизирано, и сите значајни контроли со пумпите ќе можат да бидат направени и изменети на едно место.

Автоматизацијата која се постигнува со воведување на SCADA систем е клучната придобивка од SCADA системите. Со нивно воведување многу брзо ќе можат да се пресметаат и материјалните придобивки како што се: заштеда на електрична енергија, намалување на потребата од работна сила, помали трошоци за превозни средства итн. Но, оправданоста на воведувањето на SCADA системи особено во управувањето со водните ресурси не треба да се гледа само во автоматизираноста на процесот, туку и во низа други придобивки кои се својствени само на SCADA системите.

Друга клучна придобивка од SCADA системите е алармирањето. SCADA системот може брзо да го алармира операторот со постројката доколку пумпата има дефект или, пак, резервоарот постигне недозволено ниво. На тој начин, доколку се работи за постројка за снабдување со вода на население, може да се избегне катастрофална ситуација одредено население да остане подолго време без вода поради ненавремено откривање на дефектот.

Како поевтина варијанта, алармни уреди можат да бидат инсталирани на самите електромеханички уреди кои ќе вршат известување. Овие аларми мораат да имаат резервни батерии за поддршка, а понекогаш се потребни и резервни телефонски линии и модеми, со што се зголемуваат трошоците а работењето не се подобрува. SCADA системите можат да ги детектираат проблемите од една централна локација која е физички оддалечена од проблематичната област. Доколку се расипе пумпа, се расипе напојување или, пак, комуникациската врска е прекината, SCADA системите сè уште можат да го откријат дефектот и да извршат алармирање. Доколку се работи за чувствителен управуван систем, тогаш самите SCADA мастери можат да имаат свои помошни компјутери кои би ја презеле работата во случај на дефект на мастерот. Некои теренски единици имаат можност да продолжат да работат самостојно дури и ако целата централна SCADA мастер станица целосно пропадне.

Друга стандардна предност на SCADA системите е дигиталното алармирање со испраќање пораки. Доколку се појави аларм, SCADA системот може да испрати порака до операторот со известување за состојбата. Со оваа предност, се овозможува целосно отстранување на луѓето од постројката, и нивна интервенција само доколку има проблеми за отстранување со кои SCADA системот не може да се справи.

SCADA системот може да изврши архивирање на информациите за системот и да генерира извештаи и графови кои се критични за модерните информатички системи. Управителите со постројките можат да ги следат потрошувачката и произведувањето на одредени графици, да вршат соодветно споредување и да постапуваат според потребите. Ова е потребна алатка доколку сакаме да ја зголемиме ефикасноста на системот.

Автоматизацијата направена со електромеханички/хидраулични елементи овозможува добивање лентести графикони и механичко зачувување. Така добиените информации операторот мора физички да ги собира од секој уред, по однапред дефиниран редослед, и потоа рачно да ги претвори во бараниот формат кој е разбирлив за личноста за која информациите се наменети.

SCADA системот ги зачувува информациите електронски. Извештаите и графовите можат да бидат генерирани во формати лесни за разбирање, а архивирани податоци лесно можат да се копираат и да се зачувуваат. Информации и архиви можат да бидат генерирани за сите објекти на набљудување, со помош на овие податоци можат да се генерираат различни трендови за ефикасноста или продуктивноста на системот во текот на една година, месец, ден или час. Некои системски проблеми можат да бидат разоткриени со едноставно набљудување на историските системски податоци.

Од овде следува дека *SCADA* системите се основа за добро управување со модерните системи.



2

Типови на управувачки алгоритми

2 Типови на управувачки алгоритми

Преглед

Во ова поглавје ќе бидат разгледани различните типови на управувачки алгоритми кои вообичаено се имплементираат во индустриските контролери. Описот на управувањата дадени во ова поглавје е концепциски и треба да му овозможи на читателот општо разбирање на типовите на алгоритми кои се користат при автоматизацијата на разните технолошки процеси во индустријата. Примери на вакви алгоритми употребени во реални процеси се дадени во поглавјата 4, 5 и 6.

2.1 Секвенционално управување

Секвенционалното (последователно) управување се користи за да се управува со уреди кои можат да зафатат само две состојби како што се, на пример, моторите со фиксна брзина (може да ги вклучиме и исклучиме) или, пак, вентили кои можат да имаат само две положби, отворено или затворено. Со ова управување може да се координира работата на повеќе уреди. Секвенционалното управување се користи за реализација на последователните активности при пуштање на некоја постројка во работа или при нејзино гасење (види поглавје 8), за управување со редоследот на пуштање и гасење на пумпите во пумпните станици или, пак, при измивање на филтерот во пречистителните станици. При дизајнирањето на секвенционалното управување е потребно да се земат предвид сите ситуации кои би можеле да се појават, вклучувајќи и пад на електрична енергија и расипување на делови од опремата. Методите за менацирање на ситуациите при вакви испади може да бидат многу едноставни како, на пример, стопирање на секвенцата и вклучување аларм, па до многу сложени алгоритми за поправање. Пример за имплементација на секвенционално управување на една машина е даден во поглавје 5.9.2.

2.2 Континуално управување

Континуалното управување се користи за да се одржува одредена променлива на процесот, (на пример, проток или количина на хлор) на нејзината ре-

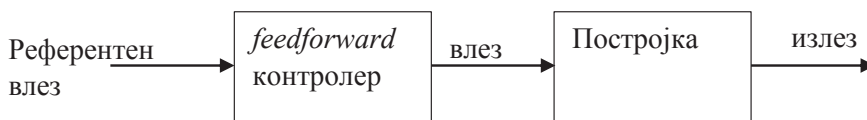
ферентна вредност. Континуалното управување може да биде управување со отворена повратна врска и управување со затворена повратна врска.

На пример, доколку е потребно да се обезбеди константен проток низ одредена цевка, управувањето на протокот низ цевката се врши со затворена повратна врска, при што управувањето континуално го нагодува управувачкиот вентил за да ја намали грешката помеѓу измерениот проток во цевката и референтно зададениот проток од операторот. Има многубројни алгоритми со кои се имплементира континуалното управување, секое за различна апликација.

2.2.1 ON-OFF управување со повратна врска

ON-OFF управување е најпростото и најчесто користено управување со повратна врска. Со ова управување се одржува вредноста на променливата преку вклучување или исклучување на управувачката опрема. Како најпрост пример можеме да го земеме термостатот на некој грејач кој работи со *on-off* управување. Доколку термостатот на грејачот е нагоден на $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, термостатот ќе го вклучува грејачот штом температурата ќе падне под $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, и ќе се исклучува штом температурата ќе се качи над $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. За да не се предизвика нестабилност, вообичаено се задава 2 степени мртва зона, тогаш грејачот ќе се вклучува на $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, но ќе се исклучува на $82\text{ }^{\circ}\text{C}$. Често пати нивото на водата во некои бунари се управува со помош на вакво управување. Бидејќи нивото на бунарот зависи од дотокот на вода во бунарите кој често пати е променлив, тука се користат гранични прекинувачи за да се сигнализира кога ќе се постигне високо и ниско ниво во бунарот, а со тоа да се исклучи, односно да се вклучи пумпата за празнење на бунарот.

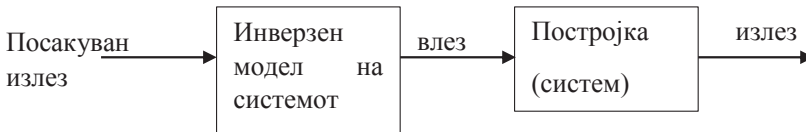
2.2.2 Управување со предвидување



Слика 2.1: Feedforward управување

Управувањето со предвидување е управување со отворена повратна врска. Најчесто во литературата се среќава како *feedforward* управување. При ваквото управување *feedforward* контролерот мери еден или повеќе влезни параметри на процесот и го пресметува потребното нагодување на управувачкиот елемент базирано на тие вредности. Управувачкиот елемент одговара на промената на референтните вредности или, пак, на пореметувањата

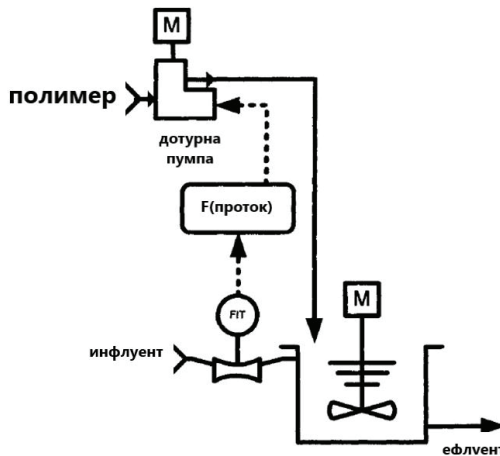
на системот на предефиниран начин, базирано на предвидувањата на однесувањето на постројката (побарува модел на постројката). Позитивни страни на *feedforward* управувањето се: може да изреагира дури и пред да се појави грешката во системот, ја забрзува динамиката на системот, а доцнењето на излезот не ја загрозува стабилноста на системот.



Слика 2.2: *Feedforward* управување базирано на модел на системот

Едно од најчесто применуваните *feedforward* управувања е со предвидување на посакуваниот влез на база на модел на системот (постројката). Предвидувачот на база на модел на влезот идеално се состои од инверзен модел на постројката. Позитивни страни на ова управување се: може да компензира познати доцнења во системот и со тоа да ја подобри динамиката на постројката, односно излезот би имал помали отстапувања од референтните влезови а со тоа и помали грешки во излезот од постројката; не се потребни сензори. Негативна страна е тоа што може да се употребува само во системи во кои одсивот е предвидлив.

Ограничувањата на управувањето со предвидување се: ефектите кои ги имаат пореметувањата и референтните влезови врз системот мора да бидат предвидливи, а предвидувањата не мора да важат за сите состојби на системот, односно при променети услови на системот предвидувањата нема да бидат точни.



Слика 2.3: Пример на управување со сооднос во пречистителна станица

Типичен пример на управување со предвидување е управувањето со сооднос во пречистителните станици. Концептот на управувањето со сооднос во пречистителните станици е даден на Слика 2.3. На сликата е даден пример на управување со додавање полимер во вода. Протокот на полимерот е во фиксен сооднос со протокот на водата. Доколку протокот на водата е поголем, тогаш и количеството на додаден полимер треба да биде поголемо. Контролерот на соодносот F континуално пресметува како треба да ја постави пумпата за дотур на полимер (ја нагудува нејзината брзина на вртење или, пак, ексцентрицитет a со тоа и проток) базирано на измерениот проток на вода во цевката и референтно поставените вредности на операторот. Ваквото управување дава одлични резултати доколку квалитетот на водата и концентрацијата на полимерот се константни.

2.2.3 Управување со повратна врска

Спротивно на управувањето со предвидување, управувањето со повратна врска е управување со затворена повратна врска.

Карактеристики на управувањето со повратна врска се следниве: реагира на појава на грешка, автоматски ги компензира пореметувањата, автоматски ги следи промените во референтниот сигнал, може да ги подобри несаканите карактеристики на постројката, често пати е многу едноставен тип на управување.



Слика 2.4: Управување со повратна врска

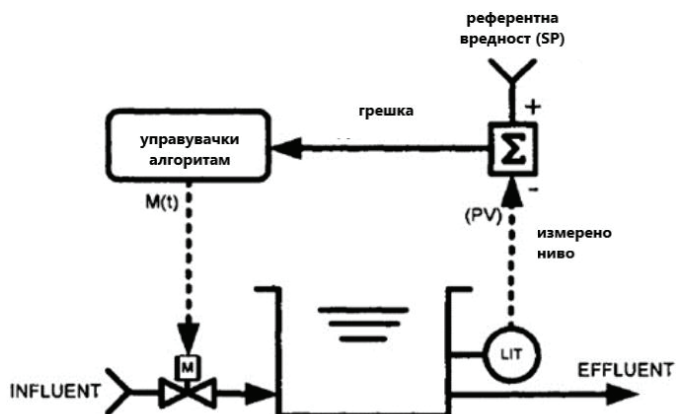
Управувањето со повратна врска е најлесниот начин да се автоматизира управувањето со процесите. Управувањето со повратна врска ја мери вредноста на управуваната променлива на процесот и ја споредува со вредноста на зададената референтна вредност од операторот. Контролерот ја приспособува манипулативната големина (вообичаено позиција на некој вентил или, пак, брзина на вртење на пумпа) за да ја отстрани грешката (отстапувањето на излезната големина од посакуваната референтно зададена вредност) и да го одржува процесот на посакуваната вредност. Типичен пример за управување со повратна врска е управувањето со нивото во некој резервоар. Контролерот

континуално ја споредува измерената висина на нивото на водата во резервоарот со референтно зададената од операторот. Доколку нивото на водата е поголемо од референтно зададеното, контролерот автоматски ја приспособува отвореноста на вентилот за да го намали дотокот на вода во резервоарот. Слично на ова, доколку нивото на водата во резервоарот е пониско од референтно зададеното, тогаш контролерот ја приспособува отвореноста на вентилот за да го зголеми протокот на вода во резервоарот. Вообичаено користен управувачки алгоритам за приспособување кој се базира на големината на грешката е *PID* (пропорционално-интегрално-деривативно) управување.

Управувањето со повратна врска во литературата може да се сретне и како управување со затворена повратна врска.

Со користење на управување со повратна врска се постигнува:

- 1) Робустност (отпорност) на неопределености преку повратна врска. Ваквото управување овозможува високи перформанси при присуство на неопределености, висока точност на излезната големина преку континуално споредување на нејзината измерена и зададена вредност и понатамошна корекција преку пресметка и нагодување.
- 2) Проектирање на динамичкото однесување на системот преку повратната врска. Со ова управување се овозможува динамиката на системот (однесувањето на системот во текот на времето) да биде модифицирана, односно со повратната врска се овозможува модифицирање на природното однесување на системот, да се подобрат перформансите или, пак, стабилноста.



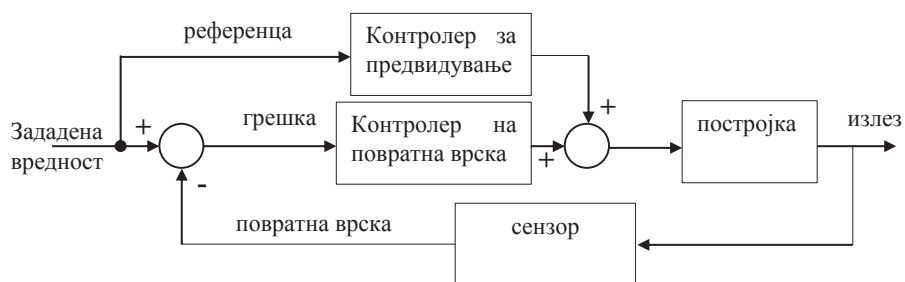
Слика 2.5: Пример на управување со повратна врска: управување со ниво на резервоар

Како заклучок за управувањето со повратна врска можеме да кажеме дека:

- » Контролерот е од типот реактивни контролери кој се базира на грешката помеѓу зададената посакувана референтна вредност и моментално измерената вредност на излезот.
- » Тој автоматски ги компензира надворешните пореметувања и ги следи промените на командните (референтни) сигнали.
- » Има значајно влијание на одзивот на целокупниот систем.
- » Се користи интензивно кај природните и вештачките системи.
- » Ограничувањата изискуваат да мора да постои грешка пред да реагира контролерот. За разлика од него, управувањето со предвидување предизвикува акција уште пред да биде појавена грешка во системот.

2.2.4 Комбинирано управување со повратна врска и управување со предвидување

Овој тип на комбинирано управување реагира на таков начин што предвидувачката компонента овозможува брз одговор (*feedforward* управување), додека повратната компонента го пополнува останатиот дел од одзивот овозможувајќи ја неговата точност, компензирајќи за можните грешки во моделот.



Слика 2.6: Комбинирано управување со повратна врска и управување со предвидување

2.3 Напредни управувачки стратегии

Постојат и понапредни управувачки стратегии кои можат да го подобрат управувањето со процесите и да го унапредат во однос на класичните *PID* контролери и управување со предвидување. Некои од тие стратегии се следниве:

2.3.1 Адаптивно управување со засилување

Адаптивното управување со засилувањето се користи заедно со некои од претходно споменатите управувања со повратна спрега. Едно типично управување со повратна спрега е така нагледено да даде најдобро можно управување, притоа одржувајќи ја стабилноста во секој момент. Но, најдоброто можно управување зависи од условите на постројката. Поради тоа, при адаптивното управување коефициентите на контролерот се нагледуваат според условите на постројката. Дигиталните контролери можат да бидат така програмирани да ги набљудуваат ефектите на контролерот врз излезот и да ги сменат коефициентите на засилување врз основа на влијанието кое последната управувачка акција ја имало врз процесот за да се добијат подобри резултати. Така, на пример, кога гравитационите филтри на пречистителните станици се чисти (нови), вентилите кои се користат за управување со протокот низ филтрите се само делумно отворени, а мали промени на отвореноста на вентилите предизвикуваат големи промени во протокот низ филтрите. Кај ваквите филтри, контролерите го приспособуваат времетраењето на управувачката акција на доточниот вентил врз основа на произведениот проток од последниот управувачки интервал. Адаптивното управување е многу често кај постројки за прочистување и дотур на вода.

2.3.2 Нелинеарно управување

Автоматско управуваниот процес може да има високо нелинеарен одзив на промените на излезот од контролерот. Дobar пример за тоа е управувањето со рН, каде што кривата на титрација на процесот е доста стрмна на двете страни од неутралниот рН. Затоа, засилувањето на процесот драстично се менува низ целокупниот управувачки опсег. За да се компензира ова и за да се обезбеди најдобро управување и стабилност, се користи нелинеарен модел на процесот во управувачкиот круг. Така, близу неутралното рН се користи контролер со намалено засилување со што се постигнува постабилно управување отколку управување со фиксно засилување и подобра управливост.

2.3.3 Модел базирано управување

Еден од најголемите проблеми на управувањето е појавата на т.н. мртво време на процесите, поради кое сме спречени навреме да ја измериме променливоста на процесот за да направиме стабилна повратна врска. На пример, дополнителна количина на хлор мора да се додава во резервоарите за да се компензира распаѓањето на хлорот под влијание на сонцето. Ова соларно распаѓање

е променливо и зависно од интензитетот на соларното зрачење и времето на транспорт до резервоарот. Математички модел на соларното распаѓање може да биде имплементиран во дигиталниот контролер на хлоризација, кој, исто така, го мери и го зема предвид интензитетот на соларното зрачење, дотокот на вода во резервоарот и нивото на вода во резервоарот.

2.3.4 Фази логичко управување

Фази логичкото (*Fuzzy logic*) управување ја користи теоријата на фази поставувања со кое се тестираат пресеците на логичките услови и се прават соодветни управувачки одлуки. Фази логиката ја имитира логиката на човекот кој е способен да ги препознае и сивите области на процесите и не донесува одлуки во смисла само црно и бело. Само неколку производители на пазарот нудат фази логички контролери во областа на екологијата. Тоа значи дека иако фази логиката наоѓа своја примена во постројките за прочистување вода, сепак, таа не се користи масовно. Сепак, во последно време се посветува големо внимание на ваквата техника во управувањето при новите истражувања.



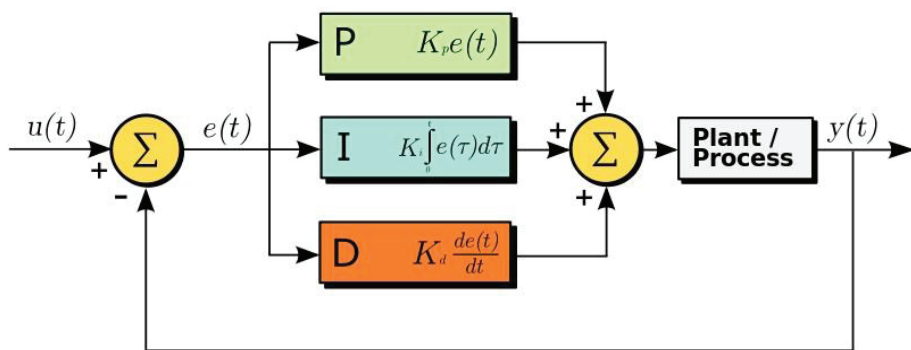
3

Стандардни контролери за системи со повратна врска

3 Стандардни контролери за системи со повратна врска

Преглед

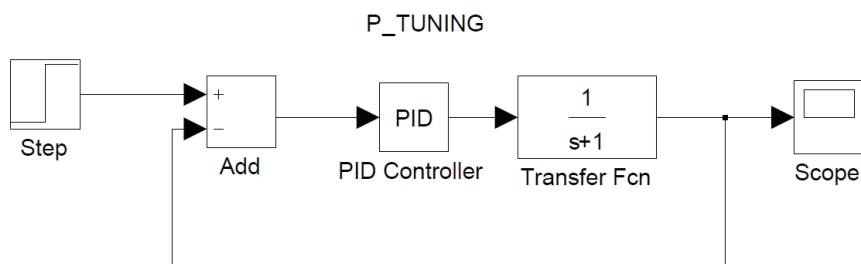
Во ова поглавје се разгледани стандардните контролери на системите со повратна врска. Притоа детално е анализиран *PID* контролерот. Анализирано е влијанието на секој од членовите на контролерот, како, на пример, влијание на *P*-компонентата, влијание на *I*-компонентата и влијание на *D*-компонентата. Исто така, анализирани се и најчесто среќаваните комбинации на контролери како, на пример *PI*, *PD* и *PID*. Проектирањето на контролерот и неговото влијание на системот е направено на едноставен систем како што е системот од прв ред.



Слика 3.1: Стандарден *PID* контролер

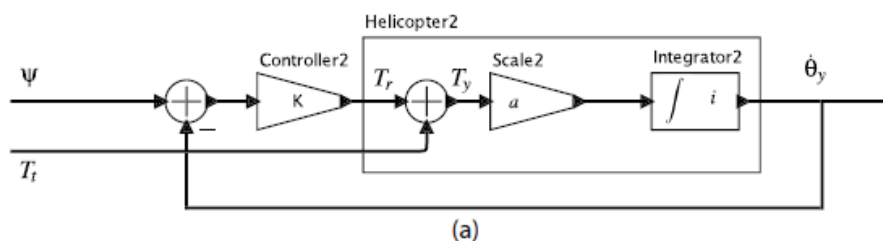
3.1 Управување на систем од прв ред

Анализата на проектирањето и влијанието на стандардните контролери е наједноставно да се направи на што е можно поедноставен систем, како што е системот од прв ред. Во понатамошниот текст анализата на контролерот врз постројката која е претставена како едноставен систем од прв ред е вршена со употреба на Матлаб/Симулинк (Слика 3.2).



Слика 3.2: Систем кој е користен за да се прикаже нагудување на PID контролер

Во зависност од брзината на промена на управувачкиот сигнал, ќе има доцнење помеѓу управувачкиот сигнал и излезниот сигнал. Ова доцнење може да се намали со употреба на засилување во директна гранка (*feedforward*) Слика 3.3.



Слика 3.3: PID + *feedforward* управување за хеликоптер

Дејството на PID-контролерот е такво што деривативното засилување се зголемува пропорционално на фреквенцијата. И покрај ваквиот начин на дејствување важно е да се намали засилувањето на D акцијата при високи фреквенции. Доколку тоа не се направи, високофреквентните нарушувања на сигналите би можеле да бидат интензивирани до ниво кое може да влијае на функционирањето на системот. Филтер во директната гранка се користи за да се намали деривативното засилување при високи фреквенции.

3.1.1 Пропорционално засилување

Пропорционалниот контролер е најчесто користен контролер во индустриските апликации. Тој претставува наједноставен контролер, не внесува нестабилност и се користи во сите управувачки ситуации. Воведува управувачки сигнал кој е пропорционален на сигналот на грешка. Како што се зголемува пропорционалното засилување, грешката се намалува и фидбек сигналот го следи управувачкиот сигнал поточно (Слика 3.4).

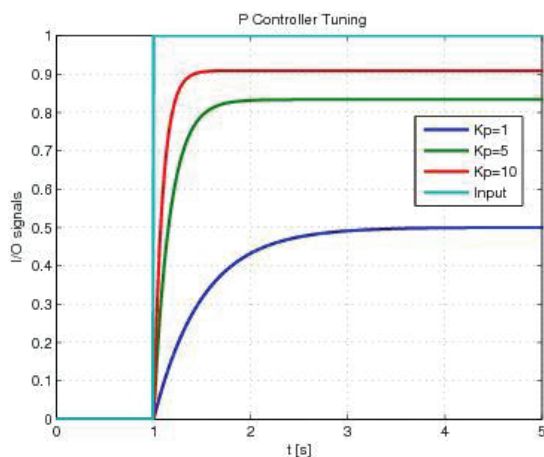
Пропорционалното засилување го забрзува системскиот одзив со зголемување на ефектот на сигналот на грешка.

Пропорционалниот член на контролерот произведува управувачки сигнал пропорционален на грешката во системот, така што:

$$u(t) = K_p e(t)$$

каде што $u(t)$ е излезот од контролерот, додека $e(t)$ е сигналот на грешка, а K_p е коефициент на пропорционално засилување. Начинот на дејство е следен: ако во системот се појави отскочна промена во управуваната променлива, ниските вредности на K_p ќе овозможат стабилен одзив, но грешката во стабилна состојба ќе биде голема. Големите вредности на K_p овозможуваат подобри перформанси во стабилна состојба, но полош преоден одзив. Оттука дејството на пропорционалниот член се користи за намалување на грешката во стабилна состојба, иако со зголемување на коефициентот на пропорционално засилување K_p се намалуваат временската константа и придушувањето на системот. Пропорционалниот член никогаш не може да ја елиминира грешката во стабилна состојба, бидејќи секогаш ќе постои некоја грешка, што ќе обезбеди продукција на управувачки излез.

Со користење на само пропорционално засилување, системскиот одзив секогаш ќе има некоја грешка на стабилна состојба. Како што се зголемува пропорционалното засилување, системскиот одзив станува побрз и грешката на стабилна состојба станува сè помала.



Слика 3.4: Однесување на пропорционалното засилување

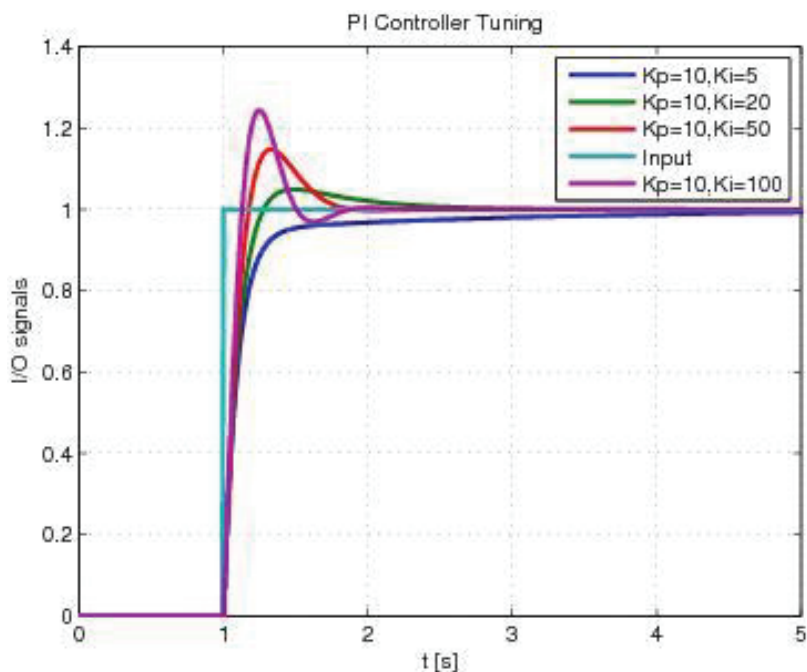
3.1.2 Интегрално засилување

Вообичаен начин за намалување на грешката во стабилна состојба е со вклучување на интегрален член во контролерот. Кај интегралниот член управувачкиот сигнал е пропорционален на интегралот на сигналот на грешка, така што:

$$u(t) = K_i \int e(t)dt$$

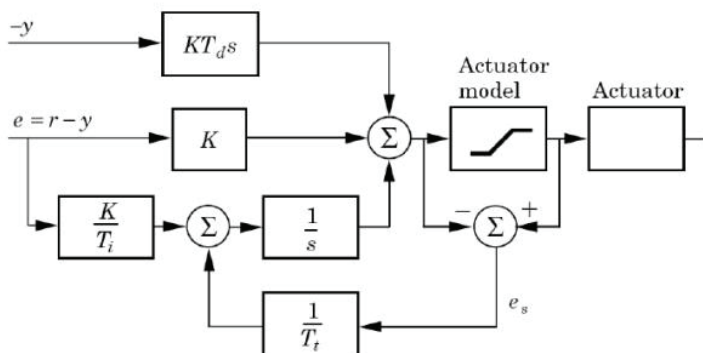
каде што K_i е коефициент на интегралното засилување. Сè додека постои сигнал на грешка, интеграторот тежи да го зголеми управувачкиот сигнал, при што ја води постројката кон посакуваниот излез. Откога ќе ја елиминира грешката, континуираниот управувачки излез се користи за одржување на управувачкиот сигнал неопходен за одржување на условите за стабилна состојба. Но, иако интегралниот член ја елиминира грешката во стабилна состојба, тоа го постигнува на сметка на стабилноста, т.е. ја намалува стабилноста на системот. Тоа се случува бидејќи интегралниот член ја зголемува амплитудата на осцилирање и времето на смирување со внесување на дополнителни 90° фазно доцнење на сите фреквенции, поради внесување на пол во координатниот почеток, што ги намалува претекот на фаза и засилување.

Понапреден контролер од пропорционалниот е пропорционален плус интегрален PI контролер. Воведувањето на интегрален член во дејствувањето на контролерот ќе ја отстрани грешката на стабилна состојба, а системот станува побрз. Со интегралното управување, сигналот на грешка е интегриран во текот на времето, што значи дека контролерот ќе дејствува сè додека постои сигнал на грешка (отстранување на грешката на стабилна состојба). Повисоко интегрално засилување значи и побрз системски одзив, но преголемо засилување може да предизвика осцилации, како што е прикажано на Слика 3.5. Ова значи дека интегралното дејствување може да внесе нестабилност во системот доколку се постави да биде премногу високо.



Слика 3.5: Дејствување на интегралното засилување

Излезниот сигнал од интеграторот зависи од I-засилувањето и од нивото на влезниот сигнал. Понекогаш е неопходно да се ограничи излезниот сигнал од интеграторот, како што е прикажано на Слика 3.6, за да се спречи интеграторот од „побег (анг. *windup*)“. Оваа постапка се нарекува антипобег (анг. *anti-windup*).



Слика 3.6: Антипобег (*Antiwindup*)

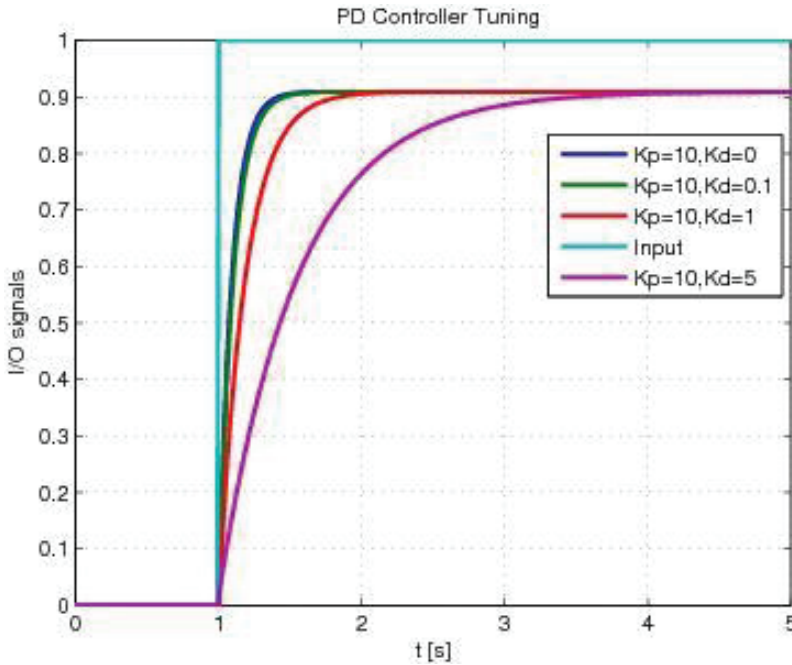
3.1.3 Деривативно засилување

Со цел да се намалат осцилациите се додава трет член во контролерот, кој обезбедува управувачки сигнал пропорционален на временскиот извод (брзина на промена) на сигналот на грешка, така што:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

каде што K_d е коефициентот на деривативно засилување. Бидејќи излезниот управувачки сигнал реагира само на брзината на промена на сигналот на грешка, тој нема никаков ефект на работата во стабилна состојба, каде што брзината на промена на грешката е нула. Чистата деривативна повратна врска не е практична за имплементација и најчесто се користи како комбинација со пропорционалното и/или интегралното засилување со цел да се зголеми придушувањето на системот. Деривативниот член внесува предничење на фазата за 90° , со внесување на нула во координатниот почеток, што го зголемува претекот на фаза на системот и со тоа го зголемува придушувањето на системот. Зголемувањето на претекот на фазата овозможува да се користат повисоки вредности на K_p и K_i отколку кога не би се користеле во комбинација.

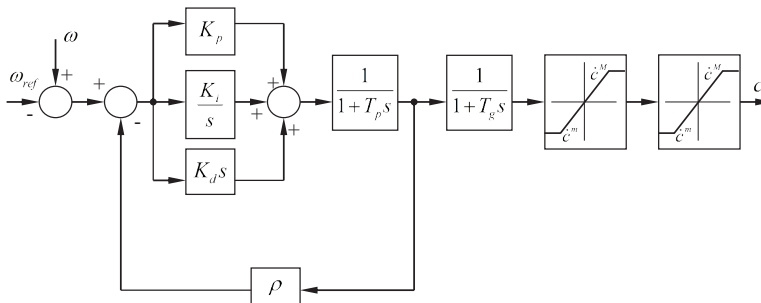
Пропорционално плус деривативно засилување е многу ретко користено во контролерите, бидејќи грешката на стабилна состојба не е елиминирана и D засилувањето има тенденција да го засили шумот од сензорите и да го забави системскиот одзив кога е сетирано да биде премногу големо. Деривативното дејствување го прави системот побавен, со што ја зголемува стабилноста на системот. Ова остава простор за зголемување на пропорционалното засилување. Преголемо деривативно засилување може да предизвика нестабилност при високи фреквенции.



Слика 3.7: Дејствување на деривативното засилување

3.1.4 PID Контролер и негово нагудување

Во многу случаи се потребни покомплексни облици, т.е. закони на управување од пропорционалното управување. Поради тоа се преминало на закон на управување кој ги инкорпорира и интегралната и деривативната акција. Така се доаѓа до таканареченото пропорционално-интегрално-деривативно (PID) управување, кое е прикажано на Слика 3.8.



Слика 3.8: Блок-дијаграм на PID управување вклучувајќи динамика на сервомоторите

PID управувањето е еден од најкористените закони на управување во хидрауличните постројки за производство на електрична енергија. *PID* управувањето може да биде имплементирано како механичко, пневматско, електрично или како што е најприменето сега како компјутерско управување. *PID* управувањето е лесно за поставување и конфигурирање, со цел да обезбеди можности за подобрување во извршувањето на законот на управување. Главната предност на користење на дигитални контролери е дека се поосетливи на мали грешки и се поспособени за брза реакција, од другите типови. Дополнително, дигиталните контролери можат со сигурност да се репродуцираат и да произведат идентични одсиви од сите постројки кои се вклучени во мрежа, за разлика од механичките или електричните контролери. Многу важна карактеристика на *PID* контролерите, посебно на дигиталните *PID* контролери е тоа што трите параметри можат одделно да се нагодуваат, оттука контролерот може точно да се нагоди на вредностите кои се потребни за соодветната хидраулична постројка.

Вкупната преносна функција на *PID* контролерот прикажан на Слика 3.8 со занемарување на динамиката на сервомоторите е:

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

често преносната функција на *PID* контролерот може да се напише преку интегралната и деривативната временска константа:

$$G(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right]$$

каде што:

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} \text{ - интегрална временска константа}$$

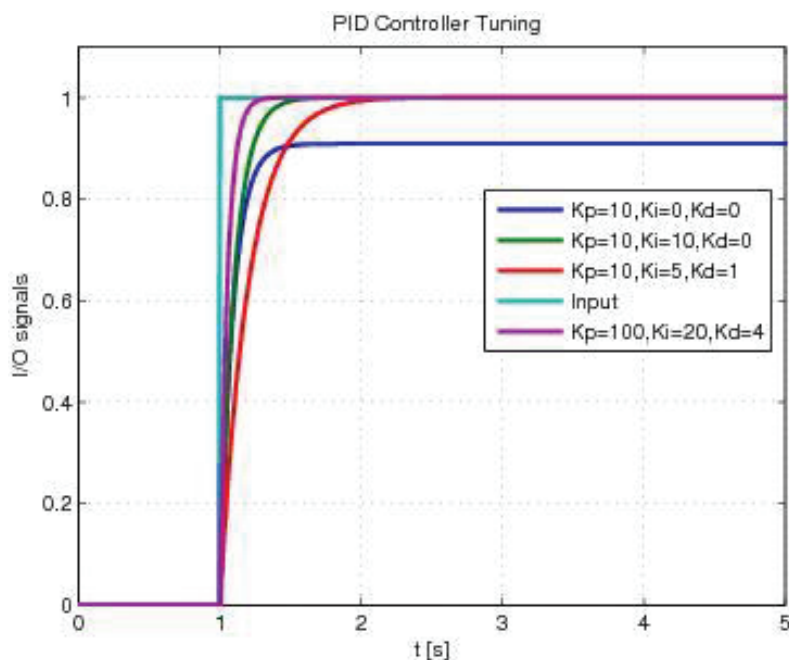
$$T_d = \frac{K_d}{K_p} \text{ - деривативна временска константа}$$

Најчесто користена комбинација на два члена од *PID* контролерот е комбинацијата помеѓу пропорционалниот и интегралниот член, т.е. *PI* контролер, чија преносна функција е:

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

PI контролерот ги користи предностите на пропорционалниот и на интегралниот член, бидејќи поради внесувањето на пол во координатниот почеток се елиминира грешката во стабилна состојба, додека поради внесување на нула во $-\frac{1}{T_i}$ се намалува амплитудата на осцилациите и се елиминира намалувањето на претекот на фазата и засилувањето.

PID контролер е стандарден индустриски контролер и веќе долги години се користи во индустријата. Типично *PID* нагдување е прикажано на Слика 3.9. Овој пример се користи за да се опише влијанието на трите засилувања кога се користат во комбинација. Ако се користи само *P* управување ($K_p=10$, $K_i=0$, $K_d=0$), системот ќе се стабилизира со речиси 10 % грешка во стабилна состојба. Ова е прикажано со сината линија на Слика 3.9. Со цел да се отстрани грешката на стабилна состојба K_i е нагодено да биде $K_i=10$ (зелена линија). Ако сега се внесе и *D* засилување ($K_p=10$, $K_i=5$, $K_d=1$), системскиот одзив ќе стане побавен (црвена линија). Ова овозможува зголемување на пропорционалното засилување до $K_p=100$, $K_i=20$, $K_d=4$ (розова линија). Со параметрите како овие системскиот одзив е побрз, без присуство на грешка во стабилна состојба.



Слика 3.9: Пример за *PID* нагдување



4

**Системи за управување
и мониторинг на
пречистителни станици
за питка вода**

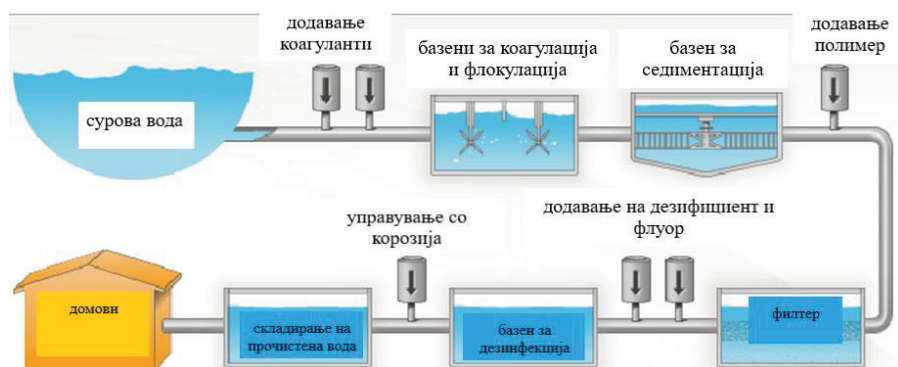
4 Системи за управување и мониторинг на пречистителни станици за питка вода

Преглед

За да се овозможи анализа и проектирање на систем за мониторинг и управување на одреден процес, постројка или машина, најпрво е потребно да се има базично разбирање за самиот процес. Затоа во ова поглавје најпрво ќе биде дадено општо разбирање за процесот на пречистување на вода за пиење, а потоа ќе се премине на опишување и анализа на поединечните стратегии за управување со различните процеси во постројките за пречистување вода.

4.1 Објаснување на процесот на пречистување вода

За да може да се премине на управувачките стратегии за пречистителните станици за питка вода, во ова поглавје накратко ќе биде објаснет еден општ процес на пречистување вода кој се користи при пречистување вода земена од површинските води. Тој процес е даден на Слика 4.1.



Слика 4.1: Процес на пречистување питка вода [www.denverwater.org]

Процесот на пречистување вода пред да биде дистрибуирана до домаќинствата поминува низ следниве фази (види Слика 4.1):

4.1.1 Додавање коагуланти

Примарен најчесто употребуван коагулант е алуминиум хлорид (Aluminum Chloride AlCl₃), но се користи и железен хлорид (Ferric Chloride).

» Нагодување на рН

На самиот почеток заради забрзување на процесот на коагулација се врши нагодување на рН вредноста на водата. Нагодувањето на рН вредноста се врши со додавање сулфурна киселина (H₂SO₄) за намалување на рН или, пак, со додавање калциум оксид - вар за зголемување на рН, зависно од карактеристиките на водата.

4.1.2 Коагулација

Коагулацијата се врши во базени каде што се врши брзо мешање на водата со средствата за коагулација. Како примарен коагулант се користи хемискиот коагулант познат како алуминиум сулфат или, пак, алум. Понекогаш се додава и полимер (синџир на синтетички органски соединенија) како секундарно средство за коагулација, кое помага во зајакнување на врските на примарниот коагулант. Коагулантите се додаваат во единицата за брзо мешање. Тука се врши интензивно мешање со цел да се овозможи темелно распркување на хемиските коагуланти во суровата вода за да започне процес на коагулација. Коагулантите предизвикуваат групирање на многу ситните страни честички во водата во малку поголеми честички кои потоа може да се отстранат во процесот на седиментирање или филтрирање.

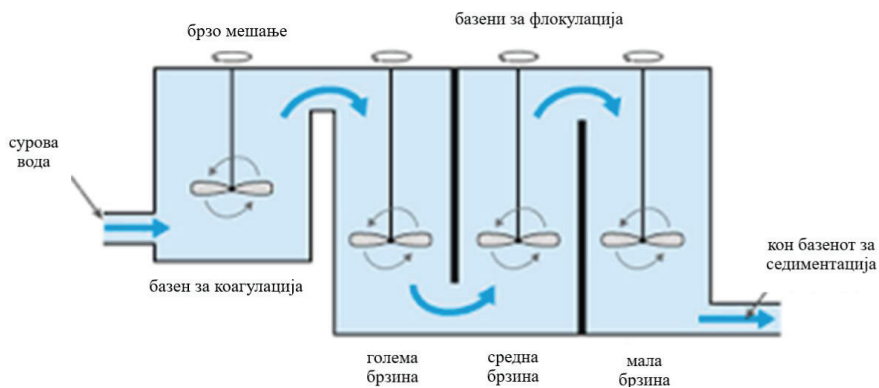
Коагулантите се хемикалии со позитивен полнеж. Позитивниот полнеж на овие хемикалии го неутрализира негативниот полнеж на нечистотија и други растворени честички во водата. Кога тоа ќе се случи, честичките се врзуваат со хемикалиите и формираат поголеми честички – флокули.

Често пати уште пред да се додаде коагулант како прва додадена хемикалија во суровата вода се додава хлор кој е оксиданс и се користи за разградување на природните органски материји (распаднати лисја и друг растителен материјал).

4.1.3 Флокулација

Базените за флокулација се како споени со базените за коагулација. Коагулираната вода од базените за коагулација потоа се влева во следниот процес

на постројката, процесот на флокулација. Флокулацијата е процес на бавно мешање што предизвикува малите коагулирани честички да формираат поголеми честички наречени флокули. Процесот на флокулација овозможува зголемено судирање и контакт помеѓу честичките. Овие судири или контакти помеѓу честичките се резултат на нежно мешање создадено со механички мешалки (или хидраулично мешање). Базените за флокулација се споени со базените за коагулација и содржат механички мешалки со лопатки за мешање. Коагулираната вода поминува низ базените за флокулација каде се врши нежното мешање со што се формираат поголеми честички за полесно отстранување со седиментација и филтрација.



Слика 4.2: Процес на мешање во базените за коагулација и флокулација

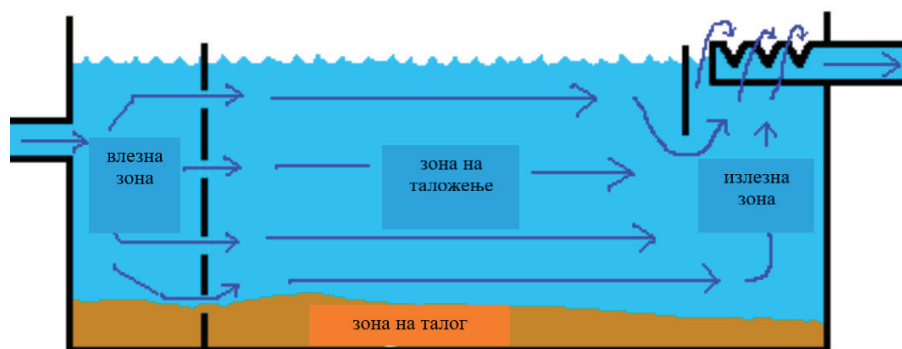


Слика 4.3: Миксери за мешање во флокулациски базени

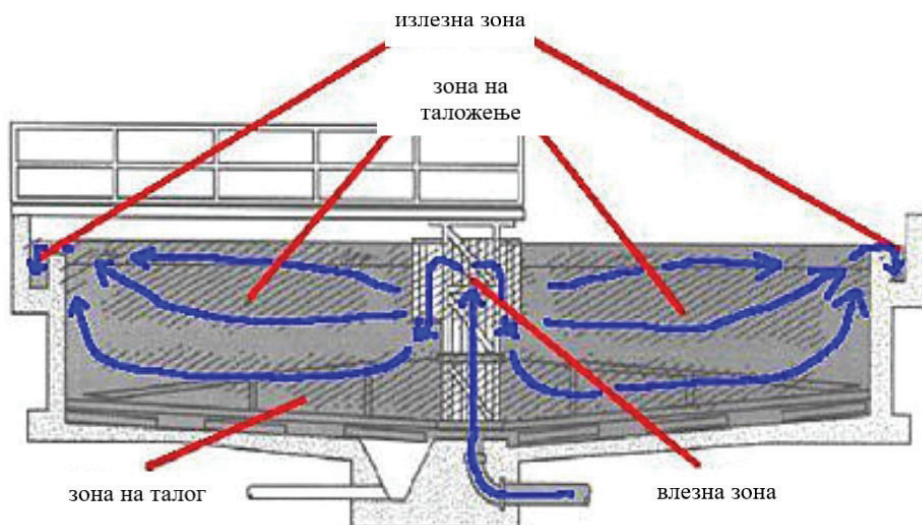
4.1.4 Седиментација

Флокулираната вода потоа се влева во следниот базен на пречистителната станица каде се одвива уште еден главен процес, процесот на седиментација. Целта на процесот на седиментација, односно таложење е да се отстранат суспендираните цврсти материи (честички) кои се погусты (потешки) од водата, со што значително се намалува оптоварувањето на филтрите. Седиментацијата се постигнува со намалување на брзината на водата под брзината на пренос на суспендиран материјал што се таложи, со што ќе се овозможи гравитационските сили да ги отстранат суспендираните честички од водата. Кога водата е во седиментационските базени, суспендираните цврсти материи се движат кон дното на базенот. Овој процес на таложење отстранува скоро деведесет проценти од цврстите материи во водата. Бистрата вода се наоѓа на површината на базенот и оттаму се носи кон филтерот за да бидат отстранети преостанатите десет проценти од цврстите материи.

Седиментационските базени можат да бидат во правоаголна или во кружна форма. Вообичаено кај нив можат да се сретнат следниве четири зони: влезна зона, зона на таложење, зона на талог и излезна зона. На следниве слики се прикажани четирите зони кај двата типа седиментационски базени.



Слика 4.4: Зони на правоаголен таложник



Слика 4.5: Зони на кружен таложник



Слика 4.6: Кружен седиментациски базен

4.1.5 Додавање полимер (флокулација)

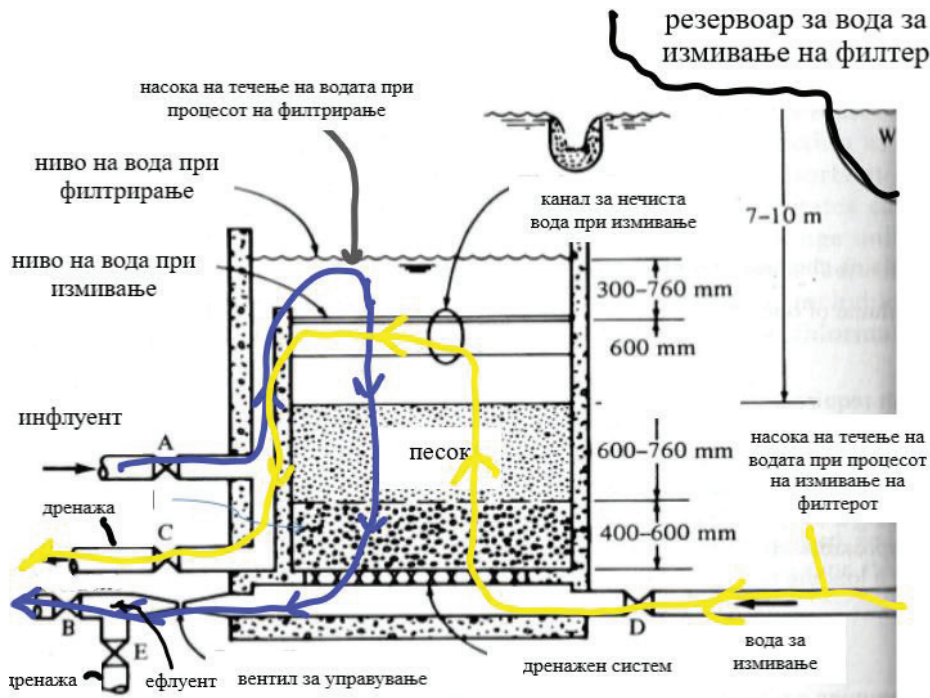
Додавањето полимер пред да започне процесот на филтрација има за цел групирање на тврдите честички во поголеми за полесно да се отстранат во процесот на филтрирање.

4.1.6 Филтрирање преку песочни филтри (или песочни плус филтри со активен јаглен)

Пречистената вода од базенот за седиментација оди во објектот за филтрација. Понекогаш е потребно во водата да се додаде хлор пред да стигне во објектот за филтрација (процес на предхлорирање за да започне процесот на дезинфекција).

Хлорираната вода потоа се носи во објектот за филтрација. Филтрирањето е еден од последните главни процеси што се користи за третирање на водата за пиење. Филтрирањето е процес на поминување вода низ материјал како што е активен јаглен, песок или друга грануларна материја за да се отстранат нечистотиите на честичките кои не се отстранети за време на процесот на таложење. Филтрите вообичаено се состојат од три слоја. Горниот слој е слој на крупен песок (може да содржи и јаглен – антрацит), средниот слој е од песок со средна големина, а најдолниот слој е слој од многу ситен песок од гранат песок. Водата влегува во филтерот од неговата горна страна и преку гравитација поминува низ филтерот надолу (види Слика 4.7). Песочниот филтер функционира како цинковска цедалка и ги зафаќа честичките кои останале во водата од претходните процеси. Кога филтрите ќе се преполнат со честички, операторите ги чистат филтрите со употреба на постапка наречена измивање. При оваа постапка се пушта чиста вода да тече во обратна насока, односно се пушта да тече под притисок од долната страна на филтрите нагоре ослободувајќи ги и транспортирајќи ги заробените честички во песокот нагоре на површината на филтрите (види Слика 4.7). Исто така, се пушта и воздух под притисок со што се флуидизира песокот. Оттаму нечистата вода која ги содржи честичките и другите нечистотии се собира и се носи во корито за одвод. Оваа вода може повторно да биде вратена назад на почетокот на процесот на прочистување на водата.

Водата што се собира од дното на филтрите тогаш се смета дека е доволно пречистена за пиење.



Слика 4.7: Насоки на течење на водата во филтерот при филтрирање и при измивање на филтерот

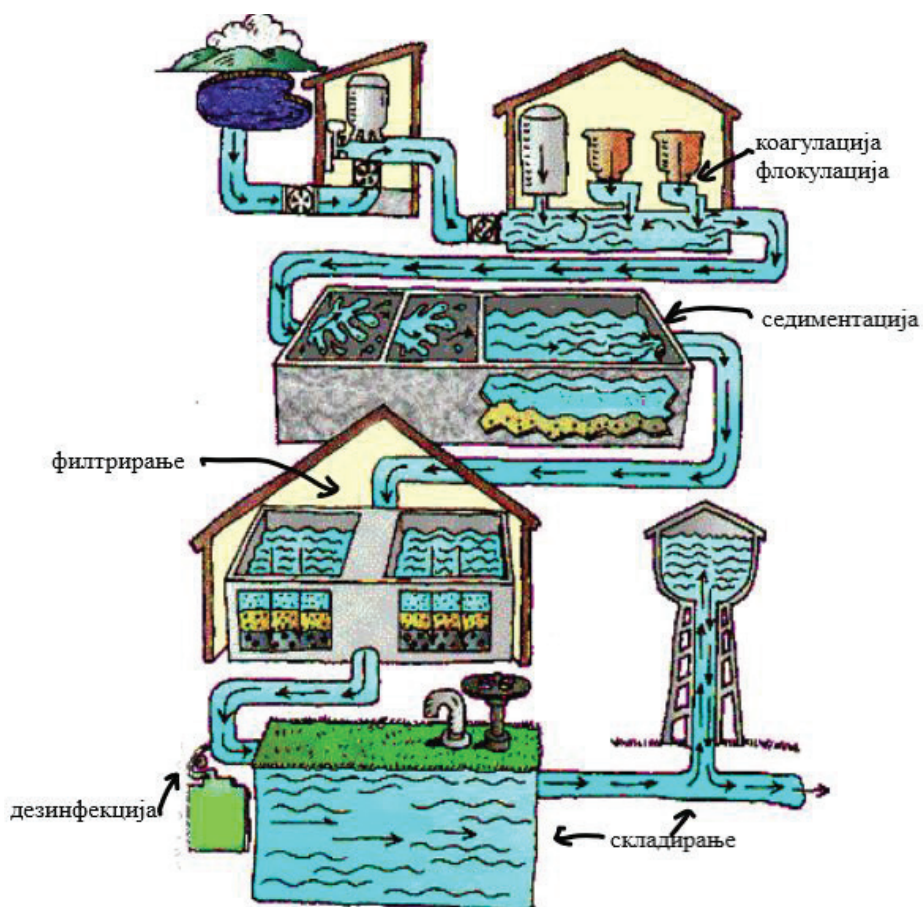
4.1.7 Дезинфекција. Додавање хлор и додавање флуор

Пред водата да ја напушти постројката за пречистување на вода се додава хлор по втор пат (постдезинфекција). Дополнителниот хлор гарантира дека водата останува безбедна за пиење дури и на најоддалечените точки на системот за дистрибуција на вода. Покрај хлорот, во пречистената вода често пати се додава флуор. Тоа се прави бидејќи доколку се пие вода богата со флуор во текот на годините доаѓа до правилен развој на забите, затоа што флуорот ги зајакнува забите и го спречува нивното расипување.

Процесот на дезинфекција е дизајниран да ги убие или да ги деактивира повеќето микроорганизми во водата, вклучително сите патогени организми без разлика дали се од бактерии, вируси или паразити. Патогени организми се микроскопски бубачки во водата што можат да предизвикаат болести, како што се гастроентеритис, тифус, дизентерија, колера и слични.

4.1.8 Складирање

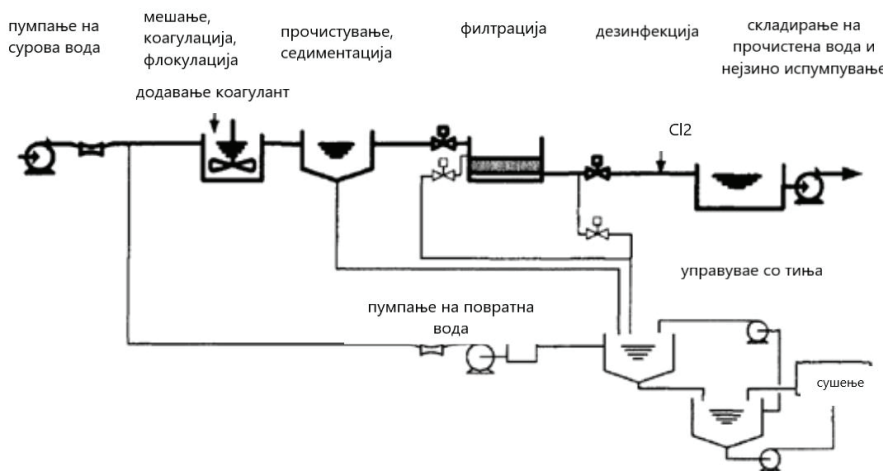
Во последната фаза пред водата да се дистрибуира, се складира во базени наменети за тоа. Оттаму водата се носи до домаќинствата со користење пумпи на системот за дистрибуција.



Слика 4.8: Складирање на водата во базени и кули пред дистрибуција [US water protection agency - EPA]

4.2 Стратегии за управување на поединечни процеси во пречистителни станици за питка вода

Во ова поглавје се обработуваат управувачките стратегии кои се употребуваат за да се раководи со процесот на прочистување на водата во пречистителните станици за питка вода. Како пример ќе биде земена една општа пречистителна станица која е прикажана на Слика 4.9.



Слика 4.9: Пример на генеричка постројка за пречистување питка вода [49]

4.2.1 Управување со пумпите за сурова вода

Протокот е еден од најчесто управуваните параметри на постројките за пречистување. Потребно е протокот низ постројката да се одржува на константно ниво, односно варијациите на протокот низ постројката треба да се минимални, со што би се избегнало влијанието на понатамошните процеси. Кај најголем број постројки за пречистување вода протокот се мери со еден протокомер поставен на самиот почеток со кој се мери инфлуентниот проток. Понекогаш, за да се зголеми редувантноста се поставуваат повеќе протокомери. Други протокомери можат да се постават низ постројката за да се мерат други важни протоци. Вообичаено, операторот е тој кој ја поставува референтната вредност на инфлуентниот проток. Таа станува референтна влезна вредност во контролерот кој управува со протокот. Во случаи каде што протокот може да биде постигнат гравитациски, контролерот управува со отвореноста на влезниот вентил на постројката за да управува со инфлуентниот проток

во постројката. Во останатите случаи се користат пумпи за да се исцрпи водата од резервоарот на сурова вода и се донесе во пречистителната станица. Овие пумпи можат да бидат од два типа, пумпи со константна брзина и пумпи со променлива брзина. Пумпите со константна брзина вообичаено се управуваат секвенционално, што значи дека кај ваквите системи протокот се менува степенесто (отскочно). Понекогаш пумпите со константна брзина се комбинираат со пумпи со променлива брзина или, пак, со пригушни вентили за да се постигне прифатливо мазно покачување/смалување на протокот. Затоа често пати управувањето со пумпите за сурова вода вклучува секвенционирање на пумпите, како и управување со брзината на вртење. Вообичаено се користат *PI* или *PID* контролери на протокот за да се приспособи брзината на онлајн пумпите и да се одржува протокот низ постројката на константно ниво. Секвенционалното управување врши редоследно вклучување и исклучување на пумпите според барањата за потребниот проток.



Слика 4.10: Пумпна станица за сурова вода на планината Eagle, Тексас, САД

4.2.2 Управување со додавање коагуланти

Коагуланти се такви хемикалии кои се додаваат во водата за да им се помогне на ситните честички да се групираат во поголеми честички – флокули (процес што се вика флокулација) кои имаат поголема тежина и полесно ќе се таложат во процесот на седиментација кој следува. Коагулантните хемикалии се додаваат во водата со помош на волуменски пумпи со променлив проток, со корис-

тење на *feedforward* управување на протокот или, пак, на протокот и заматеноста. Ваквото управување е доста ефикасно и едноставно, бидејќи количеството на додадена хемикалија во водата се одредува директно според измерениот инфлуентен проток, односно заматеност на водата. Исто така, може да се користи управување со повратна врска по инфлуентниот проток. Кај волуменските пумпи количеството (протокот) на додадената хемикалија најчесто се менува со менување на ексцентрицитетот или, пак, наклонетоста на дискот на пумпата. Постојат и варијанти кај кои количеството додадена хемикалија се менува со менување на брзината на вртење на дотурната пумпа. Понекогаш се врши комбинирање на *feedforward* управување и управување со повратна врска на тој начин што главното дозирање е според измерениот инфлуентен проток со користење на *feedforward* управување, додека дополнително се вклучува и управување со повратна врска по заматеноста на инфлуентната вода за да се коригира додаденото количество коагулант. Види Слика 2.6 каде што е дадено ваквото комбинирано управување. Количеството на додадена хемикалија за коагулација, исто така, се мери со користење протокомер.

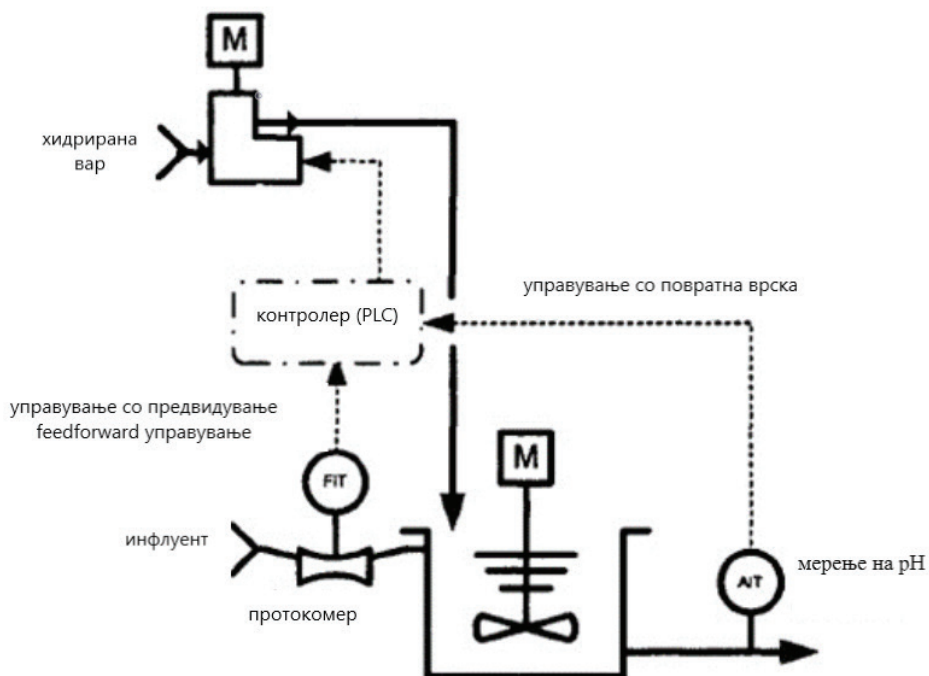
4.2.3 Управување со pH

Понекогаш е потребно да се изврши корекција на pH вредноста на водата со цел подобрување на отстранувањето на неорганските соединенија од водата, како што се минералите или тешките метали. Исто така, корекција на pH е потребна за да се овозможи соодветна коагулација кај ниско алкалните води.

Заради тоа се додаваат хемикалии кои или ја намалуваат или ја зголемуваат вредноста на pH на водата. Кога е потребно да се направи подигнување на pH вредноста најчесто се додава хидрирана вар (Calcium Hydroxide – $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Се добива кога ќе се хидрира обична вар (калциум оксид – CaO) поради тоа што е евтина и достапна. Или, пак, се додава каустична сода (натриум хидроксид – NaOH), која е полесна за ракување, управување и додавање, но значително поскапа. Кога е потребно да се намали вредноста на pH се додава некоја киселина (најчесто тоа е сулфурна киселина – H_2SO_4 поради нејзината достапност и цена) или, пак, се додава јаглерод диоксид.

Управувањето со pH е високонелинеарно и затоа често пати се користи адаптивно управување за да се постигнат подобри резултати. Исто така, управувањето со вредноста на pH на водата може да се биде од комбиниран тип, *feedforward* управување комбинирано со управување со повратна врска. Во тој случај, како примарно управување се користи *feedforward* управување со кое според измерениот инфлуентен проток низ постројката се нагодува главниот

додаток на хемикалијата, додека управувањето со повратна врска по измерената постигната вредност на рН се користи како корекциско управување со кое се врши fino нагодување на додадената хемикалија. Комбинираното управување е прикажано на Слика 4.11 и Слика 2.6.



Слика 4.11: Комбинирано управување со рН

4.2.4 Управување со флокулацијата и процесот за мешање

Управувањето со опремата за мешање при процесот на флокулација вообичаено е лимитирано на обично вклучување и исклучување на опремата за мешање. Тоа може да биде направено рачно или, пак, автоматски преку системот за автоматско управување.

Оптималната флокулација бара нежно мешање со соодветен интензитет на агитација, како што е дефинирано од проектираната вредност. Брзините на механичките мешалки вообичаено се управуваат за да се овозможи приспособување на нивото на агитација.

4.2.5 Управување при процесот на седиментација

Во процесот на седиментација нема потреба од управување со хидрауликата (протокот) низ базенот, бидејќи овој проток е ограничен со вкупниот влезен проток во постројката кој е нагоден така за да не дојде до прелевање во ниту еден процес во постројката. Собирањето на талогот се врши со помош на механички стругалки или гребла, кои рачно се вклучуваат на локалната контролна единица или, пак, преку системот за автоматско управување. Потоа собраниот талог се отстранува со отворање на испусниот вентил и вклучување на пумпата за отстранување талог која се остава да работи одреден временски период. Притоа, потребно е системот за управување и мониторинг да овозможува набљудување на позицијата на вентилите, состојбата на пумпата и моторите.

4.2.6 Управување со протокот низ филтерот

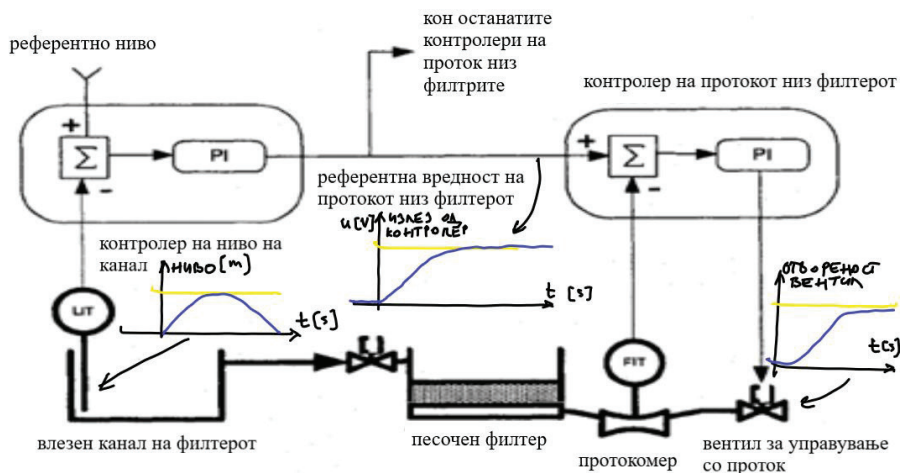
Бројот на филтри кој е потребен за да се изврши ефикасна филтрација на целокупниот проток низ постројката е зависен од големината на овој проток и оптималниот проток за еден филтер.

Филтрите кои работат со константен проток се опремени со контролери кои вршат управување со протокот низ филтерот нагудувајќи го протокот низ филтерот автоматски според големината на влезниот инфлуентен проток. Најчесто користен метод е методот на управување со протокот со користење каскадни нивоа (види Слика 4.12). Измерената вредност на нивото на влезниот канал на филтерот се носи како влезен сигнал во PI контролерот на нивото. Овој контролер произведува излезен сигнал кој се користи за да се нагоди референтниот проток на индивидуалниот контролер на протокот низ секој поединечен филтер. Контролерите на протокот низ секој индивидуален филтер го одржуваат протокот низ секој филтер со користење на PI контролер со повратна врска по протокот измерен на излезот од филтерот со користење ефлуентен протокомер. Доколку се зголеми целокупниот проток низ постројката, нивото во влезната комора на филтерот се зголемува со што се јавува грешка помеѓу референтно зададеното ниво и измереното ниво. Оваа грешка прави контролерот да реагира на тој начин што го зголемува сигналот кон контролерот на протокот низ филтерот. Со ова се зголемува и референтната вредност на контролерот на протокот низ филтерот, кој дејствува на тој начин што ја зголемува отвореноста на излезниот вентил од филтерот со што се зголемува и излезниот проток од филтерот, односно контролерот дозволува низ филтерот да протекнува поголема количина на вода. Со ова нивото на водата во

влезната комора на филтерот опаѓа, со што грешката помеѓу референтната вредност на нивото на водата во влезната комора и измерената вредност на нивото се сведува на нула. Интегралната компонента на ниво контролерот ја одржува зголемената вредност на референтниот проток, односно бидејќи отвореноста на испусниот вентил од филтерот е зголемена, зголемен е и протокот низ филтерот. Управувањето со нивото може да биде и чисто пропорционално доколку може да се дозволи нивото на каналот да се зголеми неколку сантиметри при максимален проток низ постројката.

Доколку се користи *PI* управување со нивото, тогаш е потребно да се користи антипобег (*anti-windup*) стратегија, со што би се принудил протокот низ филтерот да се сведе на нула при исклучување на постројката, како и одржување минимален проток при пуштање на постројката во работа.

Максималната вредност на протокот низ филтерот е детерминирана од максимално дозволената вредност на протокот од производителот на филтерот.



Слика 4.12: Управување со проток низ филтер

4.2.7 Управување со измивањето на филтерот

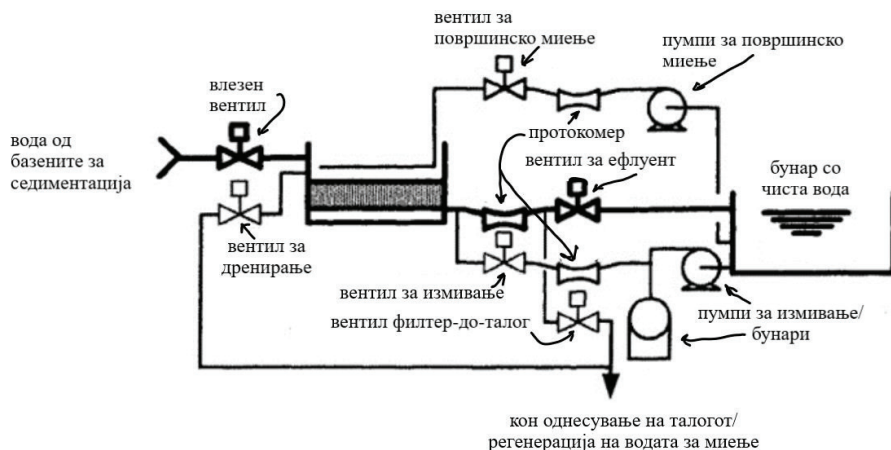
Со текот на времето, при работењето, песочните филтри се запущуваат со малите честички кои тие ги отстрануваат од водата, па во одреден момент е потребно да се направи нивно измивање. Тоа се прави на тој начин што се пушта вода под притисок во обратна насока на нормалното течење на водата

низ филтерот. Индикација дека е потребно да се направи измивање на филтрите се следниве показатели:

- » Висока загуба на притисок (ниво) при течење на водата низ филтерот (филтри со константен проток);
- » Мал проток (филтри со променлив проток);
- » Изминато работно време;
- » Зголемена заматеност на истекот (ефлуентот);
- » Зголемен број на честички во ефлуентот;
- » Однапред определен редослед на измивање;
- » Мислење на операторот.

Зголемената заматеност на ефлуентот може да биде предизвикана и од други фактори освен неправилното работење на филтерот, како, на пример, несоодветно додавање коагулант во водата, така што заматеноста треба да се гледа како комбиниран фактор со други параметри на филтрирање за да се иницира измивање. Штом ќе се одреди дека филтерот има потреба од измивање, се отпочнува со процедурата за негово автоматско измивање.

Измивањето зависи од типот на филтерот, но вообичаено се врши со секвенционално управување. Типична шема на елементи вклучени во процесот на измивање е прикажана на Слика 4.13 (на оваа слика не се покажани инструментите за мерење на квалитетот на водата).



Слика 4.13: Шема на поставеност на уредите што се користат при измивање филтер

Пример на процедура на измивање филтер е следнава:

1. Се затвора влезниот вентил на филтерот. Со тоа се дозволува нивото на водата во филтерот да падне на едно однапред дефинирано ниво по што излезниот (ефлуентен) вентил се затвора.
2. Се отвора дренажниот вентил, се стартува пумпата за миеење на површината и се отвора вентилот за површинско миеење. После одредено време се стартува пумпата за измивање и пополека се отвора вентилот за измивање до минимално ниво на отвореност.
3. После одредено време делумно се затвора вентилот за површинско миеење, со што се намалува површинското миеење. Тогаш, вентилот за измивање полека се отвора до максимален проток и така стои отворен одредено време за потоа повторно да се приотвори на минимална отвореност.
4. Се затвора вентилот за површинско миеење. Се затвора вентилот за дренарање и се исполнува филтерот со чиста вода за измивање.
5. Се затвора вентилот за измивање.
6. По полнењето, филтерот го започнува циклусот филтер-до-талог. Пополека започнува отворањето на влезниот вентил и се отвора вентилот филтер-до-талог. Започнува течењето на водата низ филтерот и тоа трае одредено време или, пак, сè дури не се постигне одреден квалитет на водата, измерено од турбидометрите или, пак, бројачите на честичи. Во зависност од измерениот квалитет филтерот потоа се враќа во редовно функционирање или, пак, доколку квалитетот не задоволува филтерот не се пушта во редовна работа.

Кај некои постројки оваа постапка на измивање на филтерот е мануелно управувана, вообичаено од управувачката конзола сместена до самиот филтер од каде што операторот може визуелно да ја контролира целата постапка. Автоматизацијата на постапката за измивање на филтрите е комплексна операција, но зачувува голем дел од времето на операторот. Автоматизацијата на секвенцата на измивање на филтрите и нивниот редослед на измивање може да го минимизира времето во кое постројката е надвор од функционирање заради измивање на филтрите. Дополнително, правилното програмирање на секвенцата на измивање мора да ги земе предвид и сите испади кои можат да се случат во текот на постапката на измивање. Инструменти како што се, на пример, гранични прекинувачи на вентилите и протокомери се користат во секвенци управувани од тврди реално-временски контролери за да се потврди правилното извршување на секој чекор од секвенцата и да се одредат чекорите при кои настанал испад.

Доколку е потребно да се постигне константно ниво на квалитет на водата при непроменети услови на процесот, филтерот вообичаено се чисти за точно определено време. За секој случај можат да бидат поставени мерачи на заматеноста за да се овозможи автоматски прекин на дотур на вода за измивање, штом е постигнат саканиот квалитет.

4.2.8 Управување со дотурот на хлор при процесот на дезинфекција

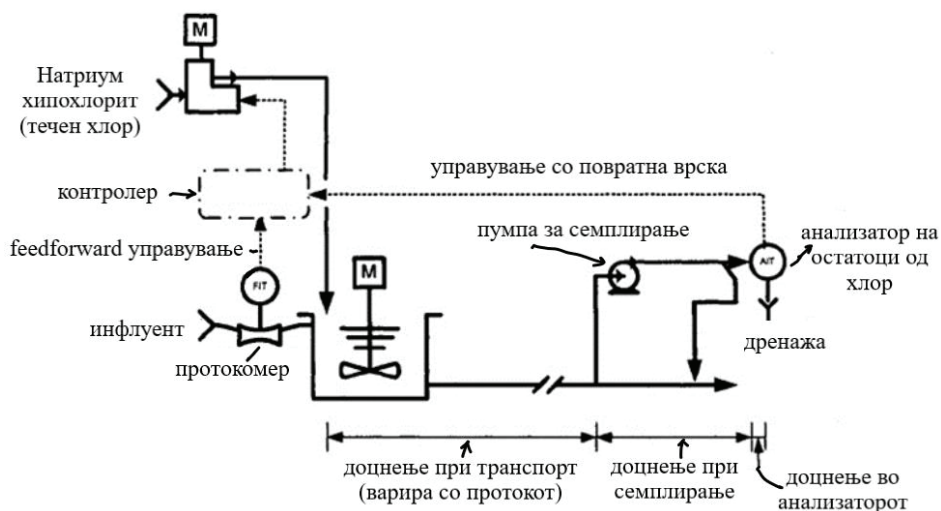
Најчесто користено средство за дезинфекција во процесот на пречистување вода е хлорот. Кога протокот низ постројката е константен, а квалитетот на инфлуентната вода е конзистентен, хлорирањето може да се врши со мануелното управување на дотурениот хлор [49]. Сепак, вообичаено е потребно да се обезбеди одредено ниво на автоматско управување со дотурот на хлор. За да се изврши правилна дезинфекција, потребно е да се овозможи барем минимално време за контакт на средството за дезинфекција и водата. Хлорот им е познат на повеќето луѓе, бидејќи се користи во сите комунални системи за питка вода во Скопје.

Најчесто дотурот на хлор се управува со користење на *feedforward* управување, односно со управување на соодносот на дотурен хлор спрема протокот на вода. Со ова се овозможува автоматско приспособување на дотурот поради промена на големината на протокот. Сепак, ваквото дотурање хлор не ја зема предвид промената на квалитетот на суровата вода. За да се приспособи дотурот на хлор кон промената на квалитетот, се врши мануелно приспособување или, пак, автоматско приспособување (опишано подолу). Протокот во различни делови од постројката може да варира поради процесот на измивање, внатрешното искомистување на дел од водата, и поради времето потребно за промените на протокот да пропагираат низ целата постројка. Заради ова, хлоринацијата треба да биде управувана со користење протокомер поставен што е можно поблиску до уредот за дотур на хлор. Со ова би се овозможило што е можно поточно одредување на потребниот сооднос на хлор и вода.

Константен сооднос на хлор на местото на инјектирање не обезбедува константно распаѓање на хлорот или, пак, конзистентно време на контакт. Количеството на хлор е зависно од квалитетот на водата, како и од количеството на сончева светлина кои најчесто не се менуваат брзо. За да се опфати ова, потребно е да се има автоматско управување со остаток од хлор за да се обезбеди подобар квалитет. Дотурот на хлор е автоматски приспособен врз основа на измерените вредности на остаток од хлор и на референтно нагодените вредности од операторот. Доколку измерените вредности на остаток од хлор

отстапуваат од оние кои се референтно зададени од операторот, дотурот на хлор се намалува. Обратно, доколку измерените вредности на остаток од хлор се помали од референтните, количината на дотурен хлор се зголемува.

Управувањето со дотур на хлор е со повратна врска и мора да го зема предвид процесното доцнење. Процесното доцнење е времето помеѓу направената промена во процентот на дотурен хлор и измерената вредност на остаток од хлор. Процесното доцнење вклучува три елементи. Првиот елемент е доцнењето поради хидрауличниот транспорт, помеѓу точката на додавање хлор и точката на мерење. Ова доцнење е инверзно пропорционално на протокот низ постројката. Точката на мерење мора да биде доволно далеку од точката на додавање хлор за да се овозможи мешање на хлорот со водата. Втор елемент е доцнењето во линијата на семплирање. Ова доцнење се јавува поради разликата на точката на земање примерок и анализаторот. Ова доцнење е зависно од протокот низ анализаторот, дијаметарот и должината на линијата до анализаторот. Доколку анализаторот е поставен далеку од точката на семплирање, може да се користи пумпање во јамка за да се намали ова време на доцнење. При ваквото анализирање, голем дел од примерокот е вратен назад во процесот (види Слика 4.14). Трет елемент е времето потребно за да се направи анализата во анализаторот.



Слика 4.14: Управување со хлорирањето и доцнења кои се јавуваат во процесот

За да се земе предвид доцнењето во процесот, управувањето со повратна врска мора да биде нагодено да реагира полека во споредба со доцнењето во процесот, инаку ќе се јави нестабилност во управувачката јамка. Со забавувањето на одзивот, перформансите на контролерот се намалуваат. Затоа, доколку процесот има големо доцнење, перформансите на контролерот можат да се намалат толку многу што влијанието на контролерот ќе стане безначајно. Затоа, често пати не се користи управување со повратна врска каде што мерењата на остатоците од хлор се прават премногу далеку од местото на апликација на хлорот. Идеално, целокупното доцнење на процесот не треба да биде поголемо од 3 до 5 минути. Ова може да се оствари со употреба на повеќе точки на семплирање.

Иако управувањето со повратна врска по квалитетот на водата и протокот може да се користи самостојно, вообичаено ова управување се комбинира со *feedforward* управување со дотур на хлор во зависност од влезниот проток. Тогаш, примарно управување е *feedforward* управувањето на хлорирањето кое реагира мошне брзо на промените на протокот. Фино нагодување на дотурот на хлор се прави со употреба на управување со повратна врска според анализата на остатоците на хлор во водата (види Слика 4.14). Друг пристап е да се користи *feedforward* управување заедно со управување со повратна врска од два анализатори на остатоци на хлор. Првиот анализатор се поставува на 2-3 минути од точката на дотур на хлор. Овој анализатор се користи во стандардно *PI* управување со повратна врска. Вториот анализатор се поставува на излез од контактниот базен и тој се користи за да се нагоди референтната точка на вториот контролер.

4.2.9 Управување со талог и со повратна вода

Обработката на талогот може да се подели на три примарни процеси: здебелување, одбезводнување, сушење. Секој процес има различни барања.

Опремата која се користи при механичкото одбезводнување, како што се филтер преси и центрифуги, е снабдена со локални панели со кои се управува со опремата и обезбедува едноставен интерфејс во централниот управувачки систем на постројката. Дел од оваа опрема како што се, на пример, филтер пресите работат во мешан а не во континуален мод на управување. Поради ова е потребна координација со останатите процеси во постројката.

Во примерот прикажан на Слика 4.1 се користи седиментациски базен, гравитационен здебелувач и плочи за сушење. Седиментацискиот базен и грави-

тациониот здебелувач се управуваат на ист начин како и седиментациските базени за чиста вода опишани во претходните поглавја, со гребла кои работат континуално и отстранувачи на талог базирани на време. Плочите за сушење се секвенционираат за да се пополнуваат по некој ред, при што секоја плоча се исполнува за одредено време. Наредбите за испирање на линиите можат да бидат рачни или иницирани од операторот.

Испумпувањето на повратната вода се врши на база на висината на нивото во резервоарите од кои се испумпува. Пумпите се секвенционираат така што секоја од нив работи ист број на часови.

4.2.10 Управување со пумпите за пречистена вода

Пумпите за пречистена вода можат да бидат управувани рачно или автоматски во зависност од притисокот во дистрибуцискиот систем или, пак, во зависност од нивото во резервоарот. Вообичаено се користат повеќе пумпи кои автоматски се вклучуваат во зависност од бараниот притисок во системот.

Доколку се користат пумпи со променлива брзина, нивната брзина се управува со *PI* или *PID* управување.

4.2.11 Управување со стартување и гасење на постројката

Кај мали пречистителни станици, стартување на постројката и гасење на постројката може да биде направено со рачно вклучување на опремата, приспособување на додавачите на хемикалии и отворање и затворање на вентилите. Кај средно големите и кај големите пречистителни станици за питка вода овие операции се прават автоматски, со што управувањето на постројката е возможно да биде направено со минимален број на оператори. Дополнително, автоматското гасење на постројката при итни ситуации е од исклучително значење особено кога има ситуации како што се преливање или, пак, испад од електричната енергија.

4.2.12 Мониторинг на потрошувачката на електрична енергија

Потрошувачката на електрична енергија е еден од главните трошоци во пречистителните станици за питка вода. Системите за мониторинг и управување на постројките за пречистување би можеле да ги известат операторите за периодите на скапа струја за да можат операторите да премат соодветни дејствија во насока на намалување на потрошувачката во пиковите на скапа

струја, доколку е тоа возможно. Исто така, системот за мониторинг на електричната енергија може да се искористи за да се иницира итно затворање на постројката доколку дојде до прекин со снабдувањето на електрична енергија или, пак, иницирање на системите за резервно снабдување со електрична енергија.

5

**Системи за управување
и мониторинг на енергетска
постројка – Хидроцентрала**

5 Системи за управување и мониторинг на енергетска постројка – Хидроцентрала

Преглед

SCADA системите се во самиот врв на системот за управување и мониторинг на една хидроцентрала. Ваквите системи овозможуваат аквизиција на податоци, но и централизирано управување и мониторинг со работата на хидроцентралата и нејзината околина. Во ова поглавје ќе бидат разработени сите делови од еден ваков SCADA систем за дигитално управување и мониторинг на работата на хидроцентрала, а на крајот ќе биде анализирана една типична SCADA програма изработена во избран софтвер.

5.1 Опис на одделни елементи од хидроцентрала кои влегуваат во системот за дигитално управување

Дизајнирањето или реконструкцијата на една хидропостројка за производство на електрична енергија опфаќа неколку инженерски дисциплини. Машинскиот аспект го сочинуваат дизајнирањето, производството и селекцијата на турбината и нејзиниот регулатор, разните типови на вентили, лежишта, сензори, сервомотори и друга опрема со која се конвертира хидрауличната енергија во некој друг вид на енергија – механичка. Електричниот аспект ги опфаќа дизајнирањето, производството и селектирањето на генераторот, контролниот систем, разводната опрема (*switchgear*) и друга опрема неопходна произведената механичка енергија да се конвертира во електрична. Градежниот аспект ги опфаќа градежните работи: почнувајќи од хидролошкото студирање на земјиштето, изградбата на браната, електраната, цевководите итн. [2]. Честопати овие дисциплини се испреплетуваат меѓусебно и нивното разграничување е многу тешко. Така, на пример, познавањата на феномените при флуидните течења се карактеристика на машинските инженери, па е многу природно да се претпостави дека тие ќе бидат оние кои ќе дефинираат кои места и величини е потребно да се мерат, притоа знаејќи дека измерените физички величини честопати се претвораат во соодветна електрична величина која понатаму се дигитализира за да се испра-

ти во некој уред за собирање податоци. Поставувањето и изборот на вентилите се, исто така, во областа на машинството, но честопати тие се покренуваат со електромотори управувани од некој дигитален уред. Јадрото на хидрауличната постројка го сочинува склопот турбина-генератор, затоа за да се направи добро регулирање на турбината е потребно да се познаваат основните карактеристики и на генераторите. При конструкциите на турбинските регулатори во минатото се користеле механички сензори за брзината на вртење, а контролните функции на регулаторите ги вршеле механичко-хидраулични елементи. Тие се покажале како доста нестабилни, па биле заменети со регулатори со аналогна електроника за контролната функција со засилувачките сервомотори кои го движат спроводниот апарат. Во денешно време се користи дигитална електроника за извршување на контролната функција на регулаторите. Така, во турбинските регулатори кои порано спаѓаа во елементи од чисто машинската област сега се вметнати дигитални елементи кои ја вршат најбиталната функција на регулаторот: управување со сервомоторите на спроводниот апарат, но и со низа други елементи. Во дигитални контролни елементи спаѓаат микропроцесорите и програмабилните логички контролери (*PLC*) напоени со разни софтверски програми. Тие вршат управување со разни електромотори и сервомотори извршувајќи најразлични алгоритми како што се, на пример, автоматизирано стартување и гасење на турбината, отворање и затворање на оддалечената влезна порта на цевководот итн. Употребата на дигиталните управувачи за автоматско управување во уреди кои се употребуваат во хидроелектраните но и во индустријата а кои порано спаѓаа во чисто машинската струка ја наметнува потребата од нивно подетално запознавање, иако по својата природа дигиталните уреди не се од чиста машинска област. *SCADA* системите се во самиот врв на системот за управување со една хидроцентрала, а тие во себе содржат елементи за собирање податоци, но и елементи со кои се врши централизирано управување и набљудување со работата на хидроцентралата и нејзината околина.

5.1.1 Основни разгледувања

Честопати општите механички дискусии за турбините се ограничуваат на разгледување на некоја вертикална Францис турбина или, пак, на некоја вертикална аксијална машина. Тие дискусии ги опфаќаат структурите со разните водни премини, како што се спиралата, дифузорот, вентилите, спроводниот апарат и турбинскиот ротор, но, исто така, тука спаѓаат и дискусиите кои се однесуваат на регулаторот, турбинските лежишта и заптивање. Тука ќе биде разгледувана една хидроелектрична постројка со вертикална Францис турбина, нејзините карактеристични составни делови, но посебно внимание ќе се посвети на системите за управување, регулаторите и нивните механизми

кои во последно време се исклучиво дигитални, ќе се потенцираат и својствата што треба да ги имаат современите системи за автоматско управување со една турбина, како и насоките во кои треба да се усовршуваат тие системи.

Како карактеристични составни делови на една хидроелектрана кои влегуваат во еден современ систем на управување и супервизија на централа можат да се наведат (види Слика 5.31): влезните всисни структури-решетки, главната влезна порта, доводниот цевковод, спиралата, статорските лопатки, спроводниот апарат, дифузорот, излезните дифузорски порти, турбината, генераторот, лежиштата на турбината и генераторот, разладниот и системот за подмачкување на лежиштата, регулаторот на турбината, па дури и системите за разладување и вентилација на централата и системите за зачувување на околината [2].

5.1.2 Главна влезна порта

Главната влезна порта честопати се смета за последна од линијата елементи за управување со водениот тек (Слика 5.31), односно таа би била последната која би се користела за управување со протокот на централата. Таа може да припадне и во уредите за итно запирање на работата на постројката. Карактеристично за неа е тоа што таа се наоѓа на одредено растојание од електраната, кое, пак, може да достигне и до неколку стотици метри. Уредите за управување со нејзиното отворање и затворање честопати се наоѓаат на самиот терен, близу портата. Поради ова условите за нивно работење и поврзување се отежнати, а треба и да им се обезбеди посебно напојување [2].

Постојат најразлични видови на порти кои главно се разликуваат меѓусебно по изгледот на затвораот и по придвижувачот на затвораот. Таканаречените радијални порти се употребуваат при површинските затворања, а затвораците вообичаено имаат облик на парче цилиндар со хоризонтална оска. Радијалните порти имаат доволно голема тежина да го извршат затворањето под дејство на гравитациските сили, а отворањето се врши со помош на синџири или сајли и систем на валјаци за подигање.

Најчесто употребуван систем за регулирано подигање и спуштање на портите е системот составен од хидрауличен сервомотор и клип. Така, на пример, портите базично се составени од рамна квадратна или кружна челична плоча која целосно го затвора водениот тек, водена во челично или бетонско куќиште, клип и сервомотор, т.е. хидрауличен цилиндар. Овој концепт се применува кај голем број порти, но тие најчесто носат имиња на произведувачите. Вообичаено место за инсталација на портите е предната страна на браните во тунел-

ско окно кое завршува со лежиште за затворабот и поклопец на лежиштето. Тука е прицврстен и хидрауличниот цилиндар кој се придвижува од маслото под притисок од електрични пумпи.

Една таква порта придвижувана од хидрауличен цилиндар ќе биде искористена и во постројката за која ќе биде анализиран SCADA системот.

5.1.3 Турбински вентил

Пред турбината вообичаено постои сферичен или, пак, пеперуткаст вентил (Слика 5.31) [2]. Тој се поставува на доводниот цевковод пред влезот во спиралата. Овој вентил се користи секој пат кога единицата се стопира. Исто така, тој може да послужи за изолација на една единица доколку се работи за централа со повеќе единици кои се снабдуваат со вода од еден доведен цевковод.

Турбинските вентили нормално работат под нула проточни услови и поради тоа имаат еден балансирачки бајпас цевковод, со кој најпрво се изедначуваат притисоците од обете страни на вентилот пред отворање или затворање. Бајпас цевководите вообичаено имаат два посебни вентила, еден рачен и еден автоматски. Автоматскиот служи за нормално работење, додека рачниот се употребува при итни случаи.

Бидејќи турбинските вентили служат и за итно запирање на турбината, тие треба да можат да извршат затворање и при максимален проток кон турбината. Максимален проток може да се појави при максимален турбински учинок, турбински побег или при некоја катастрофа како што е пукање на цевководот. Голем број на турбински вентили можат да бидат употребувани и за регулирање на протокот низ турбината, но, сепак, тоа не е нивна примарна употреба и при нормални услови тие не се користат за тоа, бидејќи предизвикуваат намалување на расположивиот пад, а можат да предизвикаат и турбулентно протекување низ турбината и појава на кавитација.

Дизајнираниот притисок на затворачките турбински вентили мора да го вклучи и најлошиот случај, појавата на струен удар при итно затворање на спроводниот апарат.

Турбинскиот вентил го придвижува хидрауличен сервомотор, најчесто управуван од некој хидрауличен систем каков што е системот за управување со спроводниот апарат. Хидрауличните системи вообичаено завршуваат со еден двојно активирачки цилиндар (отворањето и затворањето на цилиндарот се

хидраулични), но заради упростување може да се користи и хидрауличен цилиндар со единечно дејство наспроти тег.

Турбинскиот вентил е еден од најтешките елементи на централата и честопати е оној кој ја диктира носивоста на кранот во електраната.

Најчесто се употребуваат пеперугастите и сферичните, но постојат и други видови на турбински вентили. Пеперугастите вентили се карактеризираат со снажен, компактен и едноставен дизајн поради што се евтини и често употребувани. Тие се составени од еден диск монтиран на осовина кој ротира во цилиндрично тело. Вообичаено дискот е поставен паралелно со линијата на течење за да овозможува мазно хидраулично течење и ги балансира силите врз вентилот или, пак, е поставен под прав агол за да овозможи целосно затворање. Треба да се има предвид дека овој вентил за разлика од сферичните предизвикува загуби на падот, па поради тоа не се користи при големи падови.

Сферичните вентили имаат тело обликувано како шуплива сфера со бандажи или други врски за монтирање на вентилот во цевководот. Телото е направено од две или повеќе секции споени со бандажи со завртки за да може роторот да се вади и става. Роторот е во форма на топка и има цилиндрична дупка низ нејзиниот центар, а од нејзините страни е поддржана на две ротирачки осовини. Во отворена позиција роторскиот отвор е паралелен на протокот и водениот тек поминува низ него со минимални загуби. За да се затвори вентилот, роторот на вентилот се завртува за 90 степени од оската на роторскиот отвор.

Честопати можат да се видат конструкции кои содржат два вентили од кои едниот служи како работен, а другиот е за поддршка и се користи при сервисирање на работниот.

Во нашиот пример на постројка ќе биде користен еден пеперуткаст вентил (Слика 5.31).

5.1.4 Генератор

Генераторот вообичаено се сврстува во електроелемент, но тој содржи голем број на механички компоненти. Механичките компоненти на генераторот ги вклучуваат: лежиштата и системот за подмачкување, потпирачите на лежиштата, статорската рамка, роторскиот пајак и раб, плочите за кочници и котви, воздушното куќиште, воздушното ладење, кочниците и нивните цилиндри (Слика 5.31).

Кај генераторите со вертикално вратило за најважна механичка компонента се сметаат потпорните лежишта. Вообичаено се употребуваат двонасочно водени лежишта доколку генераторскиот ротор е потпрен од горната страна (обесен генератор) и еднонасочно водени лежишта доколку роторот е потпрен одоздола (чадор генератор). Кај хоризонталните единици, исто така, постои потпорно лежиште за да се неутрализираат аксијалните сили од турбината. Потпорните лежишта мора да издржат подолг период на работа со минимално одржување. Поради ова флуидот кој се користи за подмачкување мора да биде адекватно изладен, без контаминации, и да има високи мазиви својства низ целата температурна област на работење. Исто така, тој треба да има високи изолациски особини. Системот за управување и супервизија треба да ја надгледува температурата на лежиштата, бидејќи зголемените температури над нормалната работна температура се показател за неправилно работење на постројката и оштетување на лежиштата. Лежиштата спаѓаат во потрошен материјал, па пожелно е да се чуваат како резервни делови со што се заштедува на време при нивно менување.

Најголем дел од вертикалните генератори се опремени со системи за подмачкување на лежиштата што имаат високопритисни пумпи за создавање висок притисок во системот за подмачкување, бидејќи треба да создадат еден тенок маслен филм од неколку микрометри во лежиштето при ниските брзини на турбината, т.е. при стартување на турбината и при нејзино запирање.

Ладењето на статорот и роторот на генераторот е критично за одржување на работните температури на сврзните и конструкциските материјали. Честопати кај малите единици ладењето е од амбиенталниот околн воздух. Новите генератори се опремени со воздушни куќишта и воздух-вода разменувачи на топлина, кои го користат рециркулаторскиот воздух помеѓу статорот и роторот. Циркулацијата низ генераторот најчесто се постигнува со помош на перки монтирани на роторот. Зголеменото ладење може да предизвика создавање кондензација што може да предизвика оштетување на генераторот. Поради ова се наметнува фактот дека генераторската температура, исто така, треба да биде надгледувана од системот за управување и супервизија.

Хидрогенераторите се опремени со систем за кочење. Системот за кочење треба да обезбеди намалување на брзината на единицата, како и мирување на единицата при истекување на спроводниот апарат. Вообичаените дизајни користат кочнички папучи монтирани на клип на некој цилиндар кои кочат наспроти кочен прстен монтиран на роторот. Цилиндрите најчесто се напојувани со масло од маслениот систем на сервомоторот на спроводниот апарат.

Кочниците се вклучуваат при 40 % од целосната брзина при запирање на единицата.

Генераторите се опремени и со систем за подигнување, кој се користи за подигнување на машинските ротирачки делови на одредено растојание доволни за промена или нагодување на потпорните лежишта или, пак, за намалување на притисокот врз потпорните лежишта при стопирани единици.

5.1.5 Регулатори

Регулаторот служи за промена на протокот низ хидрауличната турбина со цел за одржување на брзината на единицата и фреквенцијата на системот. Исто така, тој го одржува балансот помеѓу водениот инпут во турбината и бараната моќност на системот [2].

Основните функции на регулаторот на хидраулична турбина кога управува со единица директно поврзана на АС систем се:

- » Одржување и приспособување на брзината на единицата пред единицата да се поврзе на мрежата;
- » Одржување на фреквенцијата на системот по синхронизацијата, со помош на нагодувања на турбинскиот учинок;
- » Кога работи во систем паралелно со други единици да го распредели оптоварувањето помеѓу другите единици според планираниот начин, а како одговор на грешката во фреквенцијата на системот;
- » Да го нагоди учинокот на турбината како одговор на командите на операторот;
- » Да ја заштити единицата од неконтролиран побег како резултат од нагло губење на електричното оптоварување или, пак, да иницира за отворање на единицата поради појава на абнормални услови.

Регулаторот е клучна компонента во инсталации каде имаме автоматско стартување и запирање на единицата. Доколку се работи за изолиран систем со една генераторска единица, регулаторот управува и со фреквенцијата. Доколку се работи за голем систем, регулаторот може да се користи за да се поклопат фреквенциите на системот за синхронизација, за да се регулира оптоварувањето на единицата и придонесува за управување со фреквенцијата на системот.

Во основа регулаторите можеме да ги сместиме во три групи: механичко-хидраулични, аналогно-електронички и дигитални регулатори. Механичко-хи-

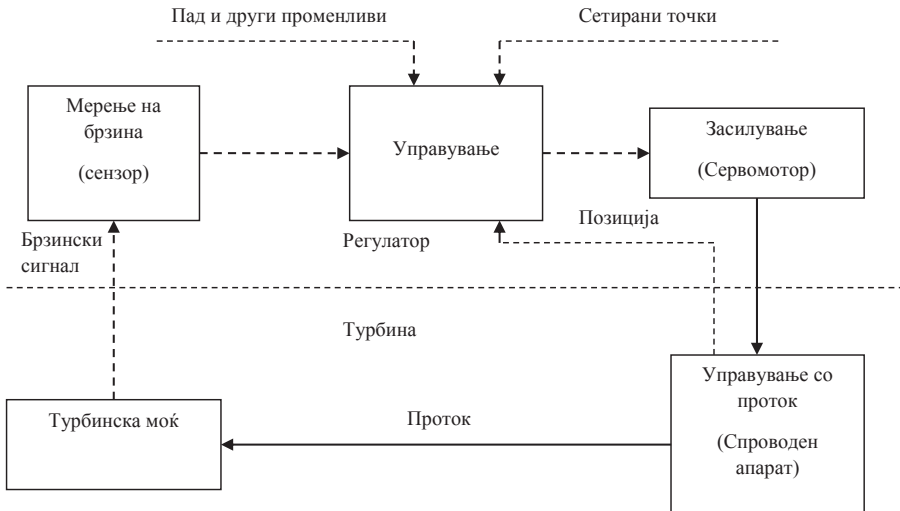
драуличните регулатори се најпрво развиените регулатори. Тие регулатори користат хидраулично засилување како функција од детектираната брзина за да обезбедат сила која го управува протокот низ турбината. Кога регулаторот ќе детектира дека посакуваната брзина опаѓа, го отвора спроводниот апарат, а со тоа се зголемува моќноста на турбината. Кога ќе се зголеми брзината спроводниот апарат се подзатвора за да се намали моќноста на турбината. Со ова спроводниот апарат се позиционира пропорционално на промените на брзината предизвикани од промените на оптоварувањето. Кога една ваква единица ќе се поврзе на мрежата, резултантните промени на турбинскиот излез придонесуваат за вкупната нестабилност на фреквенцијата на целиот систем.

Како нивна замена се појавија регулаторите со аналогна електроника. Тие ја користат аналогната електроника за да ја извршуваат управувачката функција која кај претходните регулатори се вршеше механички. Овие регулатори обезбедуваат електронско *PID* дејство со што се подобри управувањето, а полугите и цилиндрите кои предизвикуваа осцилаторни движења беа исфрлени.

Трета генерација на регулатори се дигиталните кои користат микропроцесори, програмабилни логички контролери (*PLC*) и софтверски програми за да ја извршуваат управувачката функција. Овие регулатори можат да обезбедат управување со брзината, оптоварувањето, протокот, нивото на вода или, пак, кој било друг системски параметар со користење најразлични алгоритми.

Основниот принцип на работа на еден регулатор е прикажан на следнава слика и содржи три главни дела [2]:

- » Сензорски елемент за сензирање на турбинската брзина и обезбедува излез кој е пропорционален на брзината.
- » Управувачки елемент кој ја споредува турбинската брзина со посакуваната брзина и произведува излезен сигнал кој ја претставува побаруваната управувачка акција.
- » Засилувачки елемент кој произведува механичка сила потребна за позиционирање на уредите за управување со водениот тек (спроводен апарат, лопатки, игли или дефлектори) како одговор на излезниот сигнал од контролниот елемент.



Слика 5.1: Основен блок-дијаграм на регулатор [2]

5.1.6 Сензор за брзина

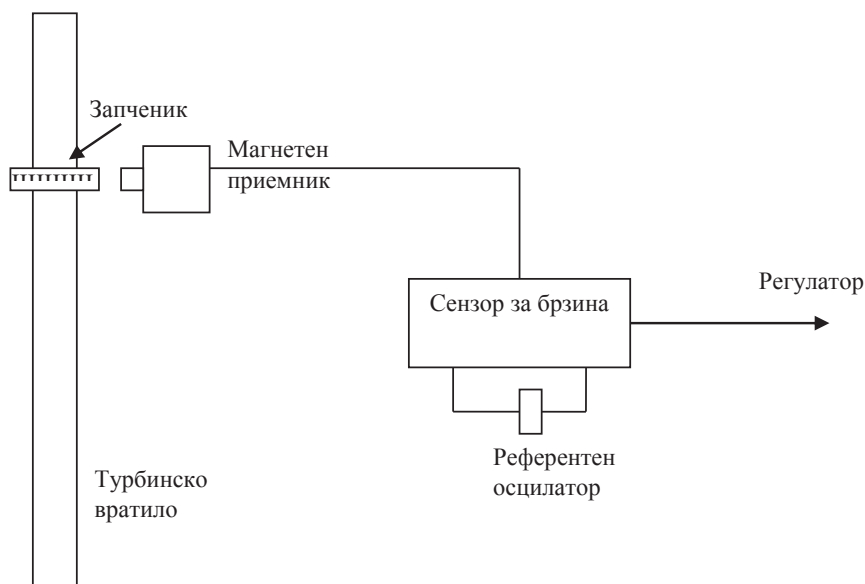
Најстариот механизам за одредување на брзината на турбината е тахометарот. Како што е добро познато, тахометарот во својата основна форма се состои од два тега поставени на краевите од две раце. Тие раце ротираат околу оската на ротација на тој начин што теговите се движат радијално на оската. Со текот на времето овој основен дизајн претрпел низа измени, но основниот принцип на работа е задржан. Тој се користи во механичките регулатори.

Денешните сензори за брзина се електрични. Честопати се користат мали *DC* генератори со постојано магнетно поле чијшто излезен напон е пропорционален на брзината. Карактеристично за аналогните и дигиталните регулатори е тоа што користат сензори за фреквенција. Една од методите што се користи да произведе фреквентен излез пропорционален на брзината го користи излезниот напон од малиот генератор како внес во фреквентно сензитивна мрежа која обезбедува сигнал апроксимативно пропорционален на девијациите во брзината од рамнотежната вредност.

Еден метод на мерење на брзината кој во денешно време е во широка употреба користи запченик и магнетски приемник. Запченикот може да биде поставен на турбинското вратило или, пак, да имаме некое дополнително вратило

и преносник. Излезната фреквенција на приемникот е мерена од сензорот за брзина за да се одреди брзината на вратилото [2].

Во примерот со проектирање на SCADA програма даден во поглавјето 5.4 ќе се користи токму ваков метод за мерење на брзина на турбината.



Слика 5.2: Електронско мерење на брзината

5.1.7 Управување - Дигитално

Дигитално управуваниот регулатор може да ја контролира брзината, излезот на единицата, нивото на вода, или кој било друг параметар на системот кој може да биде измерен од некој трансдјусер, прекинувач или контакт. Главната предност на дигиталниот регулатор е разновидноста и леснотијата со која може да се направат промените. Тој овозможува лесно поврзување со компјутерските системи.

Дигиталниот регулатор може да изврши многу дополнителни управувачки функции кои со механичките а и со аналогните регулатори се невозможни [2]. Дигиталните регулатори ги имаат следниве функции:

- » Управување со брзината и моќноста;
- » Контрола на генераторот: Тие можат да овозможат т.н. VAR управување (Voltage And Reactive Power);

- » Управување со доточните и истечните води;
- » Управуваат со протокот;
- » Управувачки алгоритми: Регулаторите со помош на релиња вршат одредени управувачки алгоритми следени по некој редослед. Па така тие можат да вршат автоматски старт, гасење или, пак, кочење на единицата. Овие алгоритми се најлесно променливи и лесно се дополнуваат со нови во дигиталните регулатори;
- » Далечинско управување: Дигиталните регулатори можат да стартуваат, да стопираат или да променат претходно зададени точки или параметри на регулаторот. Тие можат да испраќаат и да примаат податоци преку комуникациски линкови;
- » Кај дигиталните регулатори со помош на софтверски програми можат да се одржуваат регионите со висока ефективност на работа на единицата, а да се одбегнуваат грубите зони на работа. Податоци за турбината можат да бидат вметнати во тие програми и со тоа да се избегнат зоните на кавитација на турбината;
- » Овозможуваат двојно управување, управување со два сервоцилиндри, како кај каплан турбините потребно е да се изврши поставување на спроводниот апарат и лопатките на роторот на оптимални позиции.

Дигиталните регулатори можат да бидат применети во која било конфигурација поради леснотијата на промената на софтверот. Софтверот кај дигиталните регулатори ги врши функциите на механичките и аналогните регулатори со уреди какви што се управувачки мотори, соленоиди и позициони прекинувачи.

5.1.7.1 Управувачки хардвер – PLC

Управувачкиот хардвер се состои од еден или повеќе засебни PLC уреди. Поради компактност најдобро е да биде едно PLC од познат произведувач за да не би се усложнувала конструкцијата непотребно. Потребно е да се користи модуларно PLC, па така вообичаено имаме една главна процесорска единица и неколку дополнителни аналогни и дигитални влезно/излезни модули.

Софтверот кој се користи за имплементација на алгоритмот зависи од произведувачот. Тој може да биде команден, скалест или, пак, во последно време се применува графички, т.е. блоковен тип. Алгоритмите се одвиваат во реално време со временски чекори од 5 до 15 ms, зависно од произведувачот [41].

Еден ваков регулатор овозможува изведување на сите функции на турбинска регулација потребни за работа на агрегатот, како и автоматско стартување

на агрегатот на називниот број на вртежи, автоматска синхронизација и приклучување на мрежа и оптоварување на зададената снага. Исто така, регулаторот има можности за промена на режимите на работа: мрежно или самостојно, рачно или автоматско. Во него се вградени и различни заштити, како што се: заштита од побег, индикации за неисправност на вентилот за брзо затворање и индицирање на некорелираност помеѓу големината на отвореноста на спроводниот апарат и моќноста на агрегатот [41].

Еден просечен регулатор ги има следниве квалитативни карактеристики: овозможува статичка грешка на хидрауличниот цилиндар помала од 0,4 %, статичка грешка на бројот на вртежи во празен од (без оптоварување) помала од 0,4 % и статичка грешка на регулираната снага да не преминува преку 0,25 % [41].

5.1.8 Електрохидрауличен состав

Електрохидрауличниот состав се состои од: уреди за напојување со хидраулична енергија и цевковод (означени на Слика 5.3 со 1, 2 и 3), управувачки хидраулични компоненти (4, 5, 6, 9, 10, 11) и извршен орган – сервомотор (7 и 8) [41].

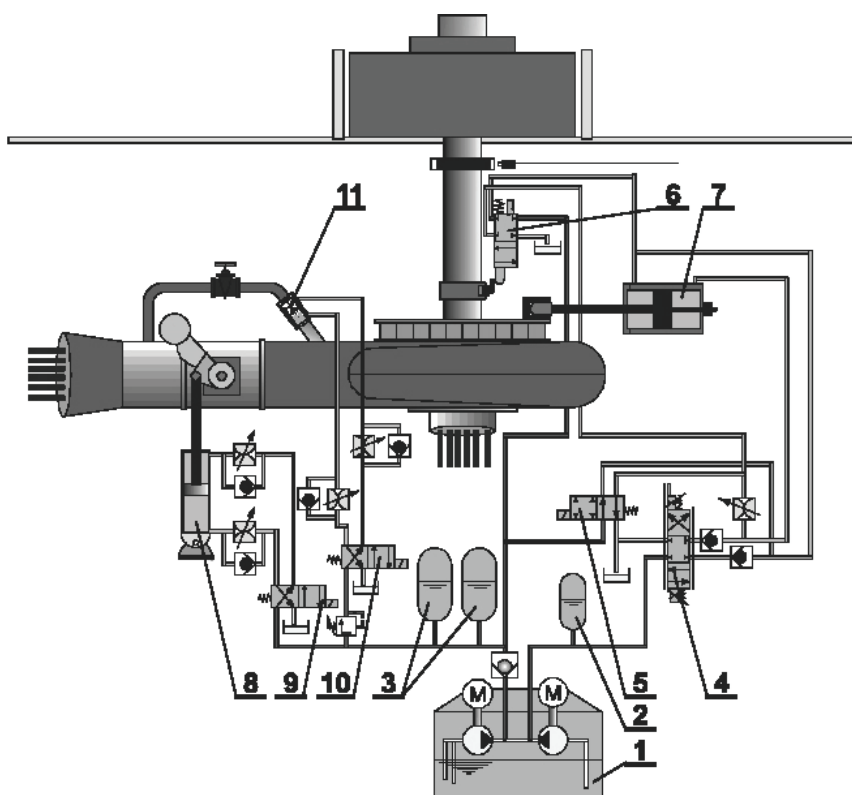
Хидрауличните пумпи го создаваат притисокот во системот за напојување со хидраулична енергија. Постарите системи на регулатори работат со мали притисоци, од 1000 до 2000 кРа. Новите работат со повисоки притисоци (околу 7000 кРа), со што е овозможена примена на помали вентили, акумулатори, цевки и сервомотори за да ги постигнат истите цели, а бидејќи се помали тоа значи дека се и поевтини [2].

Главните делови на стандардно напојување со хидраулична енергија се две пумпи со променлив проток, од кои едната е главна, другата е помошна и два, односно три мембрански акумулатори (еден за потсистемот за управување на турбината и два за останатите потсистеми) за смалување на вршните притисоци и акумулирање енергија [41]. Акумулаторите на притисок (позиција 2 и 3) овозможуваат регулаторот да работи и кога притисните пумпи не работат. Со тоа се овозможува затворање на турбинската постројка во итни случаи при откажување и на двете пумпи. Општо, акумулаторот треба да биде така дизајниран минималниот притисок во нив да овозможува затворање-отворање-затворање на сервомоторот при исклучени пумпи. Прекинувачи за минимален и максимален притисок во системот ги покренуваат и ги запираат пумпите. Пумпите црпат масло од резервоарот за масло, кој вообичаено е дизајниран да прифати поголема количина масло од максимално потребното. Прекинувачи за ниво на течност се користат за да се индицира падот на нивото под

минималното. Дополнителна опрема на овој систем е системот за загревање или ладење на маслото до работната температура на системот за регулација, доколку за тоа има потреба.

На Слика 5.3 можат да се видат следниве компоненти: 1. Резервоар со главна и помошна пумпа, 2. и 3. Акумулатори, 4. Пропорционален распоредник на спроводниот апарат, 5., 6., 9., 10. и 11. Распоредници, 7. и 8. Извршен орган – сервомотор.

Управувачкиот хидрауличен дел на составот се состои од електрохидраулични вентили стандардно изведени и еден пропорционален распоредник (4) со вграден давач на одот на главниот клип на распоредникот [41]. Позицијата на главниот клип на пропорционалниот распоредник е регулирана со помош на електричен соленоид, а поместувањето на клипот е пропорционално на големината на протокот на излез од пропорционалниот вентил.

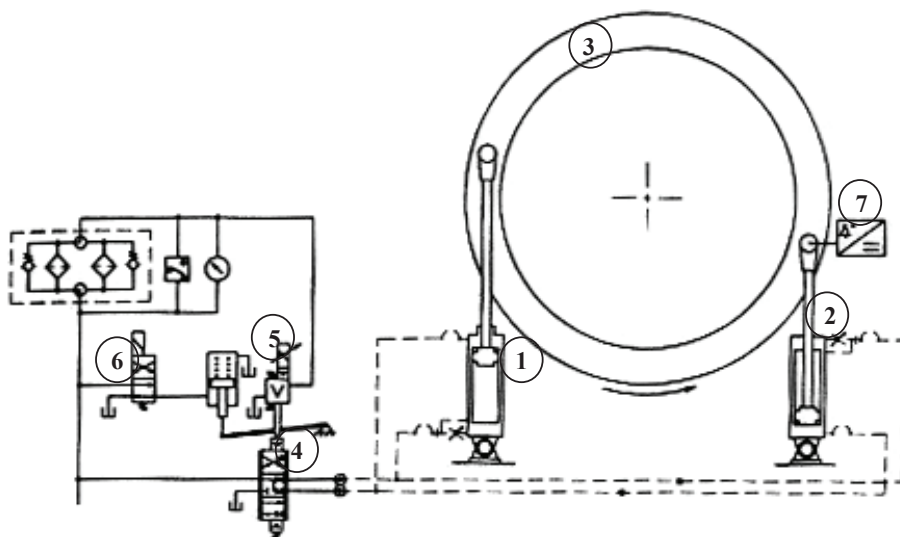


Слика 5.3: Практична изведба на електрохидрауличен состав [26]

Притисокот обезбеден од притисниот систем на регулаторот преку трипозициониот пропорционален вентил овозможува управување со прстенот на спроводниот апарат. Дополнителното fino филтрирање на повратокот и системот за итни случаи обезбедуваат заштита на турбината. На Слика 5.4 е прикажан и давачот на позиција.

На Слика 5.4 можат да се видат следниве компоненти: 1. и 2. Сервомотори, 3. Спроводен апарат, 4. Пропорционален распоредник, 5. Електрохидраулично поместување на клипот на пропорционалниот распоредник, 6. Распоредник, 7. Давач на позиција на сервомотор.

Извршниот орган е сервомотор, т.е. хидрауличен цилиндар (7) од Слика 5.3 кој има давач на одот на клипот. Со помош на овој сигнал се затвора регулационата повратна врска за позицијата на спроводниот апарат [41].



Слика 5.4: Управувачка хидраулика на сервомотор [2]

5.1.8.1 Хидрауличен цилиндар – Сервомотор и негово влијание во системот за управување со ХЕЦ

Транзиентни услови по дефиниција се појавуваат при која било промена на протокот низ турбината. Природата и интензитетот на транзиентите зависи од севкупните карактеристики на хидроцентралата – вклучувајќи го и типот и карактеристиките на регулаторот. Лошо воден регулатор може да предизвика сериозни осцилации на притисок и моќност во системот и сериозни опасности за централата.

Примарен регулатор на проток е спроводниот апарат. Спроводниот апарат е одговорен за нагло запирање, промена на оптоварувањето и нагло отворање. Доколку уредите за регулација на проток не си ја завршат работата со затворање на турбината, тогаш турбинските вентили ја преземаат улогата на затворачи за да се спречи оштетувањето на турбинските уреди.

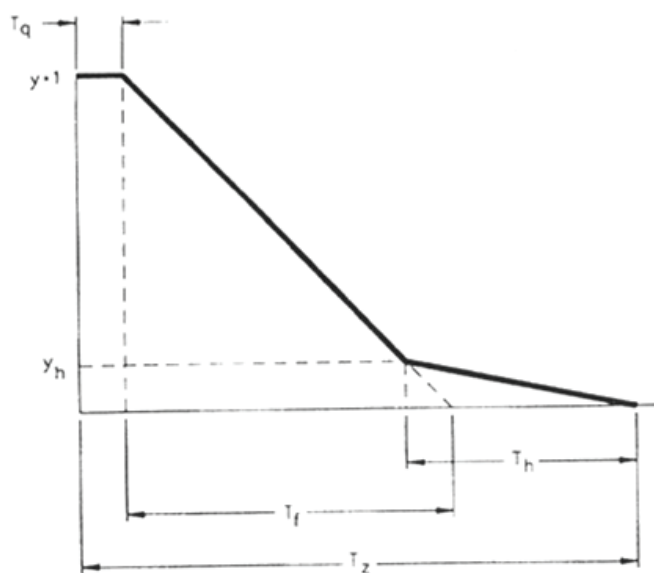
Наглото затворање и отворање на спроводниот апарат е од основно значење за анализата на транзиентните услови.

Наглото затворање е важна операција која предизвикува високи притисоци и напрегања во системот. Доколку затворањето е извршено премногу бргу, зголемувањата на притисоците би биле премногу големи, доколку е извршено премногу бавно ротирачките делови би добиле неприфатливо големи брзини. Поради ова мора да се најде некое оптимално решение. Глобалниот систем за управување мора да го има имплементирано во себе оптималниот начин на управување, вклучувајќи го и наглото затворање како посебен алгоритам и треба да внимава дали тој исправно се спроведува.

Вообичаено наглото затворање на спроводниот апарат се иницира по нагло излегување на постројката од мрежа, т.е. по снемивање на оптоварување на постројката, а со цел да се спречи турбината да ја зголеми својата брзина до брзини на побег.

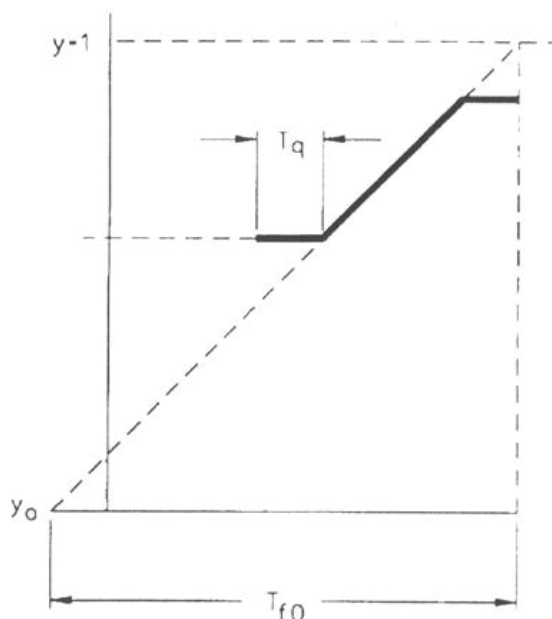
Како што е прикажано на Слика 5.5 ова се постигнува со нагло поместување на клипот на сервомоторот. На оваа слика е прикажано релативното поместување на клипот, y , во текот на времето за типичен сервомотор при операцијата на нагло затворање од позиција на целосно оптоварена постројка. На сликата можеме да ги видиме следните параметри карактеристични за секој сервомотор: T_q = мртво време на сервомоторот, T_f = минимално време на затворање од целосно отворена позиција, T_h = време на пригушување (аморти-

зирање, ублажување на ударот), T_z = тотално време на затворање. Клипот на сервомоторот се поместува со максимална брзина сè додека не се постигне транзиентната позиција, y_h . Вредноста на мртвото време вообичаено се движи од 0,2 до 0,7 секунди. Транзиентната позиција y_h е помеѓу 0,05 и 0,2. Истиот облик на кривата прикажана на оваа слика е валиден и при затворање од позиција на делумно оптоварување [2].



Слика 5.5: Нагло затворање на сервомотор од позиција на целосно оптоварена постројка

Нагло отворање е дадено на Слика 5.6. Доколку отворањето се изврши премногу нагло, тогаш е можно да се создадат разни вакууми, кои предизвикуваат оштетувања на постројката и го загрозуваат нејзиното функционирање. На сликата можат да се видат типичните параметри на еден сервомотор важни за неговото функционирање при нагло отворање. Тие се: T_q = мртво време на сервомоторот, T_{fo} = минимално време на отворање од затворена ($y=0$) до целосно отворена ($y=1$) позиција. Вредноста на мртвото време е исто како и при наглото затворање и се движи во граници од 0,2 до 0,7 секунди. Вредноста на T_{fo} мора да се пресмета, вообичаено со претпоставка да не се појави вакуум кој може да ги оштети цевководите [2].



Слика 5.6: Нагло отворање на сервомотор од спроводен апарат

5.1.9 Регулиран состав

Хидроенергетската единица е составена од турбина со соодветен цевковод и синхрон генератор. Основни податоци битни за турбинската регулација се: називниот пад H_B (m), називниот проток Q_B (m^3/s), должината на притисниот цевковод L_c (m), базната моќност на генераторот P_B (MW), називната брзина ω_B (min^{-1}), називната фреквенција на генераторот $f=50Hz$, и инерцијален момент на роторот Jm (kgm^2) [41].

Карактеристиките на регулаторите во голема мера зависат од: типот на турбината, моментот на инерција на составот турбина-генератор, инерцијата на водениот столб и карактеристиката на оптоварувањето.

Кај Францис турбината регулаторот управува со позицијата на спроводниот апарат. Кај Каплан турбината, освен позицијата на спроводниот апарат, потребно е да се управува и со позицијата на лопатките на турбината. Пелтон турбината, пак, се управува со позицијата на иглата и со позицијата на дефлекторот.

Во системот турбина-генератор во текот на времето оптоварувањето на генераторот (претставено со моментот на генераторот M_G) се менува. Во некои моменти обртниот момент што го развива турбината M_T може да е поголем или, пак, помал од моментот кој му е потребен на генераторот. Разликата на овие два момента ($M_T - M_G$) доколку $M_T > M_G$ ќе се троши на забрзување на обртните маси поставени на заедничка осовина [6][15]. Ако е J момент на инерција на обртните маси на турбината и генераторот, тогаш од динамичката рамнотежа на инерцијалниот момент на ротирачките маси $J(dw/dt)$, а врз база на законот за промена на количеството на движење следува:

$$J(dw/dt) = M_T - M_G \quad (4.1)$$

Каде што ω е агловата брзина на роторот на турбината. Од равенката се гледа дека со промена на моментот на генераторот се променува и фреквенцијата на електричната енергија што се произведува. Во случај кога $M_T > M_G$ доаѓа до забрзување, т.е. (dw/dt) е поголемо од 0, а кога $M_T < M_G$, (dw/dt) е помало од 0, па следува забавување.

Мокноста на турбината можеме да ја изразиме на следниов начин:

$$N_T = M_T \omega = H h r g Q, \quad (4.2) \text{ оттука следува:}$$

$$M_T = (H h r g Q) / \omega \quad (4.3)$$

Од последната равенка се гледа дека моментот на турбината зависи право-пропорционално од протокот низ турбината (односно, од отвореноста на спроводниот апарат), а обратно пропорционално на агловата брзина. Доколку ω го одржуваме константно и под претпоставка дека падот H е непроменлив, тогаш од равенката гледаме дека моментот на турбината можеме да го управуваме само со промена на протокот, т.е. со промена на отвореноста на спроводниот апарат.

Од равенката (1) се гледа дека многу важен параметар на составот турбина-генератор е масениот момент на инерција MD^2 (kgm^2) [2]. Големината на машинскиот инерцијален момент влијае на големината на моменталната промена на брзината, предизвикана од промена на оптоварувањето. Со промената на оптоварувањето на единицата се менува ротационата кинетичка енергија. Кинетичката енергија е пропорционална на масениот момент на инерција помножен со брзината на вртење. Според тоа колку е поголем масениот момент на инерција, толку е помала промената на брзината потребна

да ја апсорбира зададената варијација на енергијата. Овој ефект е познат како ефект на замаец.

Колку е поголем замајниот момент толку повеќе време имаат уредите за управување со вода, спроводниот апарат, да реагираат на соодветен начин. Брзината на единицата, типот на генераторот и типот на турбината го фиксираат моментот на инерција. Големи промени на MD^2 може да чинат многу. Големината која се користи за да се измери ефектот на замаецот е механичкото време на стартување вообичаено обележано со T_m . T_m е време потребно машината да забрза од мирување до предодредената брзина со апликација на одредениот обртен момент на одредената моќност.

Инерцијата на водениот столб и волуменот на водата, исто така, влијаат врз работата на регулаторот. Кога регулаторот ќе побара одредена промена на позицијата на уредите за регулација на водата, потребно е одредено време за да се развие потребната торзија. Инерцијата на водата има на располагање ограничена сила за да ја забрза водата на новозададениот проток. Расположивиот пад ја одредува големината на таа сила.

Затоа, доколку оптоварувањето е нагло може да предизвика штета со тоа што ќе побара од регулаторот нагло отворање на спроводниот апарат, побрзо од тоа што водата може да забрза. Во текот на овој период на недостиг на торзионен момент (што го обезбедува водата протекнувајќи низ турбината) турбината ќе забави. Ситуацијата дополнително може да се усложни доколку оптоварувањето се намали со што и отворот на спроводниот апарат ќе се намали, но тоа нема да предизвика значајни промени на протокот. Поради ова, брзината на протокот низ турбината моментално ќе се зголеми со што ќе предизвика зголемување на обртниот момент, наместо бараното намалување. Терминот што се користи за мерење на инерцијата на водата е време за стартување на водата T_w . T_w е дефинирано како време потребно водата во цевководниот систем да забрза од мирување на одредената брзина при одреден пад [2].

Оптоварувачките карактеристики (Load Characteristics) на системот кој се напојува со енергија, т.е. на кој му се предава произведената електрична моќност, се важни за одредување на глобалната стабилност на системот. За жал, вообичаено околу нив не може да се стори ништо, па тие мораат да се земат предвид такви какви што се при дизајнирање на управувањето.

Генераторите со константна екситација произведуваат напон директно пропорционален на брзината. Еден таков генератор кој напојува отпорничко оп-

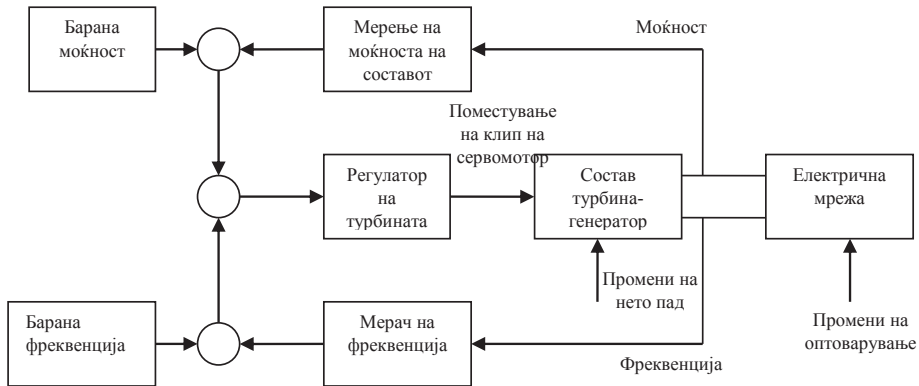
товарување (светилка) би имал излезна моќност пропорционална на квадрат од брзината и баран обртен момент, торзија, директно пропорционален на брзината [2]. Тоа значи дека ваквото оптоварување има позитивно пригушување. Модерните генератори имаат брзи напонски регулатори кои ги компензираат промените во брзината и го одржуваат константен напонот на системот. Во ваков случај излезната моќност ќе остане константна, бидејќи нема промени на напонот. Бидејќи моќноста е пропорционална на производ од брзината и торзиониот момент, намалувањето на торзиониот момент ќе биде придружено со зголемување на брзината, со што ќе се појави негативно пригушување. Системите со мало пригушување покажуваат поголема нестабилност, што значи управувачкиот регулатор треба да изврши многу поголемо стабилизирачко влијание. Според тоа треба да имаме предвид дека другите управувачки уреди, како што се регулаторите на напон и регулаторите на притисок а кои дејствуваат на ист управуван систем, можат да имаат негативно дестабилизаторско влијание на системот за регулација на брзината.

Турбинскиот регулатор е само еден од елементите во хиерархијата на управувачки елементи кои дејствуваат во повеќекратниот управувачки систем составен од напонски регулатори, стабилизатори на моќност итн. Секој од овие системи дејствувајќи самостојно на системот обезбедува стабилност, но нивна комбинација предизвикува нестабилности. Решение на овој проблем се наоѓа со одредување на величината за која е потребна најточно управување (да речеме брзината) и креирање на управување најточно и најбрзо што е можно за таа величина, а сметајќи ги останатите величини за константни. Потоа управувањата на секундарните променливи намерно се прават значително бавно за претпоставката за константни вредности да е задоволително точна.

Промената на обртниот момент со промената на брзината го карактеризира отпорничкото оптоварување, опишано претходно, но постои и друг тип на оптоварување, синхронно. Во овој случај, торзиониот еквилибрум не е воспоставен само кон синхроната брзина, туку постои и дополнителна торзија која е зависна од релативната позиција на роторот на алтернаторот кон синхроното поле. Оваа анализа не е во склопот на нашето разгледување.

5.1.10 Принцип на работење на дигитален регулатор

5.1.10.1 Општ принцип на работа на регулатор за автоматска регулација на фреквенција и снага кај турбина



Слика 5.7: Принцип на автоматска регулација на фреквенција и снага на составот турбина – генератор [42]

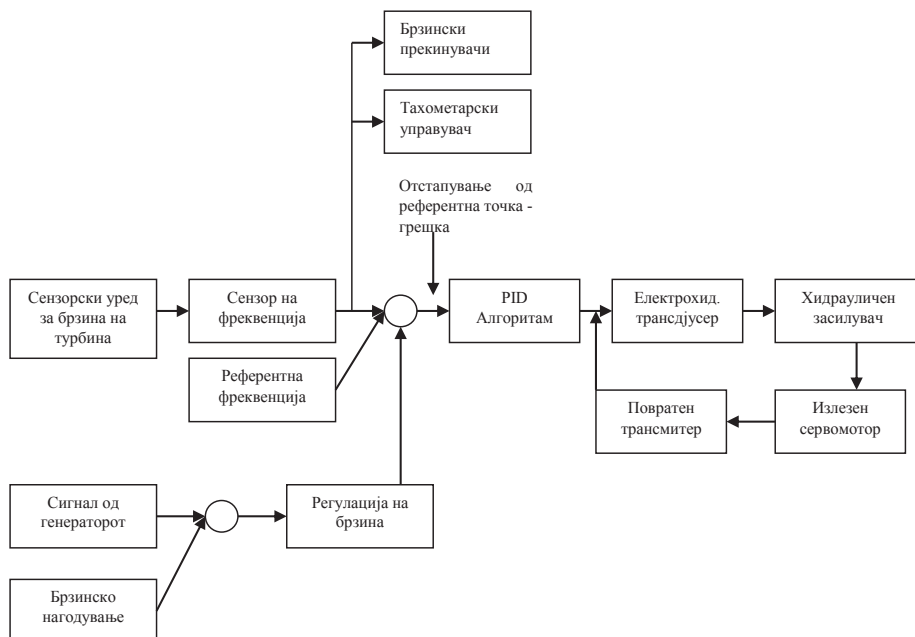
На Слика 5.7 и Слика 5.8 е прикажан основниот принцип на работа на автоматската регулација на фреквенцијата и моќноста на еден турбински регулатор. Од сликата се гледа дека турбинскиот регулатор има два основни круга на регулација:

- » регулационен круг на фреквенцијата (или брзината на вртење);
- » регулационен круг на моќност.

За време додека составот не е приклучен на електричната мрежа, моќноста е нула, па е активен само регулациониот круг за регулација на фреквенцијата. Кога постројката ќе ја приклучиме на мрежата, тогаш фреквенцијата е диктирана од мрежата. Регулациониот круг на моќност во составот за регулација на единицата овозможува регулација на моќноста која ја произведува составот турбина – генератор. Кога фреквенцијата и снагата ќе се урамнотежат, суматорот помеѓу нив има сигнал нула.

Без разлика кој тип на сензорски уред за брзина ќе се користи (тахометар или електронски), неговиот излезен сигнал претставува влез за сензорот за фреквенција на единицата. Нагодувањата на брзината претставуваат друг влез (Слика 5.8). Повратниот сигнал од генераторот се комбинира со овие

влезови за да обезбеди регулација. *PID* алгоритмот го пресметува сигналот на грешка и создава електричен сигнал за електрохидрауличниот трансдјусер. Електрохидрауличниот трансдјусер е првиот управуван вентил. Моторот на трансдјусерот го конвертира електричниот сигнал во хидраулично течење помеѓу пилот-вентилот и распоредникот за да ги помрдне сервомоторите [2].

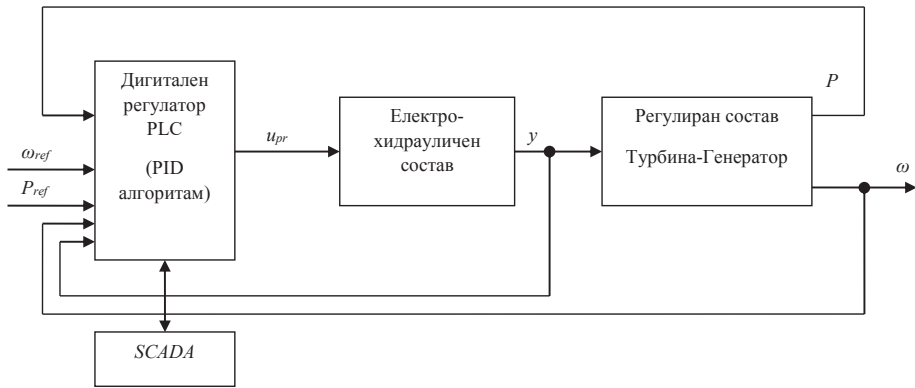


Слика 5.8: Блок-дијаграм на типичен дигитален регулатор [2]

Наместо механички повратен сигнал, трансмитерот ги надгледува позициите на сервомоторот и обезбедува повратен сигнал за електрониката на системот. Одовде, дигиталното управување ги извршува истите електронски функции како и аналогното, но со многу помалку елементи. Дигиталното управување обезбедува стабилност и брз одговор и нуди многу поголеми подобрувања со помош на софтверот.

5.1.10.2 Функционален приказ на реален дигитален регулатор за автоматска регулација на фреквенција и снага на составот турбина - генератор

Врз основа на направени споредби од повеќе реално изведени регулатори [41] [42] [2], направен е функционален приказ на основните составни делови на дигитален регулатор со цел да се види неговата поврзаност со SCADA системот.



ω - Број на вртежи

ω_{ref} - Референтен број на вртежи

P - Моќност на генераторот

P_{ref} - Референтна моќност

u_{pr} - Напон за поместување на пропорционалниот разводник

y - Поместување на клипот на сервомоторот

Слика 5.9: Функционален приказ и основни составни делови на реален дигитален регулатор

Од Слика 5.9 можеме да видиме дека во дигиталниот регулатор (PLC) има неколку влезови. Овие влезови можеме да ги сврстиме во два вида. Едните влезови претставуваат референтни вредности на снагата P_{ref} и брзината на вртење (фреквенцијата) ω_{ref} , а вторите претставуваат повратни сигнали од моќноста P и брзината на вртење ω на генераторот, како и повратен сигнал од положбата на сервомоторот на спроводниот апарат. И овде како и на Слика 5.7 можеме јасно да видиме дека принципот на два регулациони круга, регулационен круг на фреквенција и регулационен круг на моќност, е запазен. Доколку се јави девијација помеѓу референтниот/бараниот и повратниот сигнал, тогаш се употребува PID алгоритмот врз произведената грешка со што се пресметува колку и во која насока треба да се помести сервомоторот на

спроводниот апарат. Во тој случај од *PLC* уредот излегува електричен сигнал u_{pr} кон електрохидрауличниот состав, соодветен на бараното поместување u . Во електрохидрауличниот состав тој електричен сигнал се прифаќа од првиот електрохидрауличен трансдјусер, електрохидрауличен пропорционален распоредник, кој електричното движење на моторот го претвара во хидраулично течење кон сервомоторот. Со поместување на сервомоторот се менува и протокот, т.е. моќноста. Значи, трет регулационен круг е регулациониот круг на положбата на сервомоторот. Со него се остварува проверка дали регулаторот ја постигнал бараната положба на сервомоторот. Од оваа слика може да се види дека дигиталниот регулатор овозможува комуницирање со надреденото ниво на управување –*SCADA*.

Електронските и хидрауличните делови на дигиталниот регулатор функционираат на дигитален принцип. Електронските делови ја мерат фреквенцијата на генераторот кој е покренуван од турбината, поместувањето на хидрауличниот цилиндар на спроводниот апарат (а со тоа и моќноста на турбината), ги даваат сетпоинтот и сабсетпоинтот на фреквенцијата со некоја негативна косина спрема моќноста на турбината, ја пресметуваат девијацијата на тие фреквенции, ја засилуваат (по *PID* закон) оваа девијација и предаваат логички управувачки сигнал $+1/0/-1$ на намотките на хидрауличните вентили.

На Слика 5.9 се прикажани и основните составни делови на еден дигитален регулатор групирани по принципот на следење на информациите, а тие според оваа слика се:

1. Управувачки хардвер – *PLC* напоен со соодветен софтвер
2. Електрохидрауличен состав
3. Регулиран состав

5.2 Подготвителни чекори при дизајнирање на *SCADA* систем за управување со хидротурбина

SCADA системите претставуваат врв на супервизорното управување. Поради тоа пред да се програмира *SCADA* програмата мора да бидат извршени низа подготвителни постапки, а програмата на самиот крај ги обединува сите елементи од системот ХЕЦ. *SCADA* програмите можат да имаат своја улога и при дизајнирањето на управувањето за симулација и увидување на можните грешки во управувачките алгоритми. За да се овозможи што е можно пореална симулација на динамиката на турбината, се употребуваат теоретски математички модели на системите комбинирани со податоци добиени од лабораториски испитувања. Чекорите на

програмирање SCADA програма за управување со хидротурбина започнуваат со математичко моделирање, а завршуваат со самата имплементација во постројката, при што се вршат последните приспособувања и нагодувања.

5.2.1 Математичко моделирање

Целокупниот систем на управување се дели на неколку потсистеми. За секој потсистем се користи соодветен математички модел. Првиот чекор во дизајнирањето е анализа на моделите со цел да се добијат информации за динамиката на системот. Моделите понатаму се искористуваат за синтеза на регулаторот и во дефинирањето на алгоритмите за детекција на грешки. Исто така, моделите можат да се искористат при тестирање на функционалноста на регулаторот. Општо, нелинеарни модели се користат при анализите, а линеаризирани модели се користат при синтеза на регулаторот [26].

Посебни потсистеми на целосниот систем се:

1. Хидрауличен систем за позиционирање: постојат готови модели кои можат да се искористат при анализата на динамиката на хидрауличниот систем за позиционирање, вклучувајќи го притисокот и протокот низ одредени компоненти (пропорционален вентил, хидрауличен цилиндар,...). Исто така, постојат развиени модели кои можат да се искористат за симулација на кинематиката на системот за позиционирање. Модел на хидрауличен систем за позиционирање и начин на негово управување се изучува во предметот Управување со хидраулични системи на Машинскиот факултет во Скопје.

Позицијата на пропорционалниот вентил е во функција од излезниот напон од регулаторот. Позицијата на сервомоторот е одредена функција од позицијата и брзината на пропорционалниот вентил, а со тоа таа е во функција од излезниот напон од регулаторот. Оваа функционална зависност многу варира во зависност од производителите на хидрауличниот состав за позиционирање на сервомоторот.

2. Динамика на доводниот цевковод: може да биде опишана со помош на параметарски модел адекватен за анализа на динамиката на цевководот преку должински димензии. Доколку се земат предвид загубите во цевководот, тогаш и тие треба да бидат вклучени во моделот. Типична карактеристика на управуваниот систем со вклучено влијание на динамиката на цевководот е нон-минимум фазно однесување.

Динамичките појави во притисниот цевковод можат да се опишат со следниве равенки [41]:

$$\dot{q}_{TC} = -\frac{1}{T_w}(h_{TC} - h_{VS} - h_{STAT} + h_{GTC})$$

$$\dot{h}_{TC} = -k(q_T - q_{TC})$$

$$h_{GTC} = k_{TC}|q_{TC}|q_{TC}$$

(4.4)

Ознаките што се користени во овие равенки го имаат следново значење: q_T – проток на излез од притисниот цевковод, q_{TC} – проток на влез во притисниот цевковод, h_{GTC} – пад на притисокот поради загуби во цевководот, h_{STAT} – стационарен притисок, h_{TC} – динамички притисок на излез од цевководот, h_{VS} – притисок на водната комора, k и T_w – коефициенти кои зависат од должината на цевководот, напречниот пресек на цевководот, протокот и називната притисна висина, k_{TC} – коефициент на падот на притисокот поради загуби во цевководот.

3. Водната турбина е претставена со две статички нелинеарни функции: проток и моќност [41].

$$q_T = \sqrt{h_{TC}} A_t y$$

$$P_m = (q_T - q_{NL})h_{TC}$$

(4.5)

Каде што A_t претставува т.н. засилување на турбината, q_{NL} – проток при празен од на турбината, y – отвореност на спроводниот апарат.

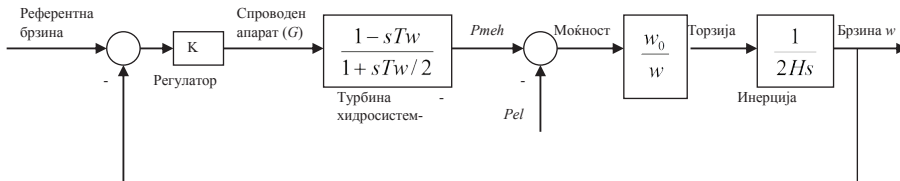
Овде можат да се користат модели сугерирани од *IEEE Working Group*.

Роторот на турбината во интеракција со оптоварувањето на мрежата може да биде опишан со систем од прв ред доколку системот работи изолирано, додека модели од втор и повисок ред се користат за да се прикаже работата на системот поврзан на мрежа со осцилации на моќност [41].

$$\dot{\omega}_N = \frac{1}{T_m \omega_N} (P_m - P_{el})$$

(4.6)

Каде што W_N е кружната брзина на агрегатот, T_m – механичка временска константа која зависи од моментот на инерција на роторот, базната снага на генераторот и називната брзина на турбината, P_m – механичка снага на турбината, P_{el} – електрична снага на агрегатот.



Слика 5.10: Линеарен модел на хидраулична турбина и регулација на брзината кај изолирано оптоварување на турбина [43]

5.2.2 Синтеза на контролер

Главни управувачки врски кои мораат да се реализираат се управувањето со брзината, управувањето со активната моќност и управувањето со системот за позиционирање на хидрауличниот цилиндар. Дополнителни управувачки кругови можат да бидат управувањето со нивото на вода и управувањето со протокот.

Системот за позиционирање на цилиндарот е секогаш активен, додека останатите системи работат во различни модови.

Од системот за позиционирање на цилиндарот се бара голема точност при статичката состојба и добро следење на референците, бидејќи другите управувачки повратни врски (управување со брзината) зависат од системот за позиционирање, т.е. тој е внатрешна повратна врска. Еден од најчестите проблеми кој се јавува во овој систем е појавата на мртва зона во системот на засилување (го вклучува и прстенот на регулаторот).

Управувањето со брзината има повеќе задачи. При стартување на единицата да ја донесе брзината на номинална и да ја следи референтно зададената. Во изолирана работа на турбината управувачот со брзина треба да ги компензира оптоварувањата. Параметрите на контролерот се разликуваат во зависност од модовите на работа со цел да се постигнат оптимални работни квалитети.

Задачата на управувањето со активната моќност е да ја контролира електричната моќност кога единицата е поврзана на мрежа.

$$y_{ref} = \left(K_{p1} + \frac{K_{i1}}{s} + \frac{K_{d1}s}{T_{d1}s + 1} \right) (\omega_{ref} - \omega) \quad - PID \text{ регулатор}$$

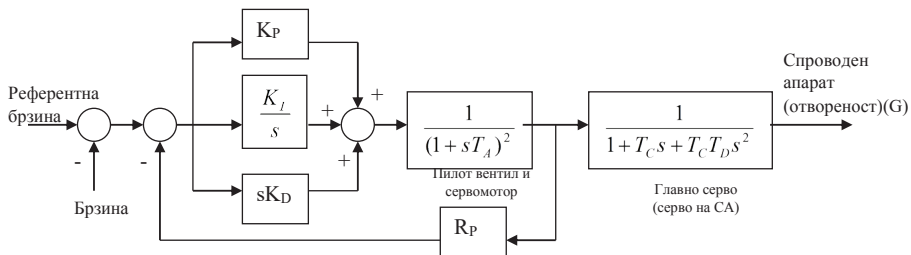
$$y_{ref} = \left(K_2 P_{ref} + K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s} \right) (P_{ref} - P) \quad - PI \text{ регулатор}$$

(4.7) [41]

PID регулатор се користи при подигање на турбината на називна брзина, т.е. при изолирана работа. Со овој регулатор и добро избрани параметри се обезбедува стабилност без да се натера хидрауличниот цилиндар во заситување. *PI регулатор* може да се користи при работа на агрегатот во мрежа. Со овој регулатор се овозможува преодните појави да се одвиваат без надвишување на снагата и со минимални динамички промени во притисниот цевковод. *PID* и *PI* контролерите се обработени во поглавјето 3.1.4.

Синтеза на контролерот се прави со добро познати методи какви што се имплементација на полови, оптимизација на одредена функција итн.

Параметрите на контролерот можат да бидат предодредени за различни работни модови и работни точки (да речеме за различни падови).



Слика 5.11: *PID регулатор со вклучена динамика на пилот-вентилот и сервомотор и главниот сервомотор*

Константите K_p , K_i и K_d претставуваат пропорционално, интегрално и диференцијално засилување. Константите T_A , T_c и T_d се временски константи на пилот-сервото и главното серво, соодветно. R_p претставува перманентно пригушување (*Permanent Droop*) [43]. Влијанието на константите врз излезот од контролерот е обработено во поглавјето 3.1.4.

5.2.3 Дефинирање мерни места и инструменти, управувачки единици (PLC), редоследна логика, управувачки алгоритми, грешки и аларми

За да се состави една SCADA програма, мора да имаме претходно јасно дефинирани влезно/излезни сигнали (мерни места и инструменти, актуатори и мотори) на PLC и SCADA ниво. Редоследната логика и управувачките алгоритми го дефинираат начинот на функционирање на целиот систем на управување, па поради тоа тие треба да бидат видливи и во SCADA програмата. Можните грешки и аларми во системот кои се важни треба претходно да се знаат за да се внесе нивната логика при програмирањето на SCADA програмата. Стартната и стоп логика за различни услови и во различни модови на работа, рачно или автоматски треба да биде претходно дефинирана. Алгоритмите за детекција на грешки користат логички или математички модели на потсистемите и компонентите на управувачкиот систем за да генерираат сигнали корисни за операторите. Алгоритмите се имплементираат во микроконтролери (PLC) кои работат во реално време (*real-time*). Графички ориентирани програмски модули се многу флексибилни и функционални.

5.2.4 Преттест со симулација

Пред системот за управување да биде имплементиран во електраната корисно е да бидат направени преттестови на системот за управување за да се докаже функционалноста на системот. Тоа може да се направи ако вистинскиот хардвер на системот за управување е поврзан со вистинскиот систем на хидраулично засилување. Единицата е заменета со *real-time* математички модел имплементиран во некоја програма. Ваквото тестирање се одвива во реално време и се нарекува *hardware-in-the-loop* тестирање. Тоа се обработува посебно во предметот Реално-временски системи и симулации кој се предава на Машинскиот факултет во Скопје.

5.2.5 Имплементација во електраната

Откако ќе поминат сите преттестови и хардверот е имплементиран во електраната, потребно е да се направи тестирање на системот за управување во вистинските услови. При тоа е потребно да се извршат различни мерења и да се следи динамичкото однесување на системот за да се потврди исправноста на системот за управување, а доколку е потребно можат да бидат извршени и извесни промени.

5.3 Опис на хардвер, мрежи и протоколи за SCADA систем за управување и супервизија со ХЕЦ

5.3.1 Основни препораки при избор на PLC единици, изработка на мрежа и дефинирање протокол за управување со ХЕЦ

При избор на контролерите е битно да се обрне внимание на можноста за нивно лесно поврзување со сензорите и мерните кругови битни за нивната работа преку стандардни дигитални и аналогни влезно-излезни единици.

Контролерите треба да се хардверски и софтверски модуларно структурирани за да се овозможи евентуална надградба или воведување нови функции.

Најголем дел од функциите на управување и регулација треба да се решат програмски (софтверски). Тоа значи дека програмски треба да се решат функциите на стартување и запирање на агрегатот, како и потребните регулационски алгоритми.

Од самиот регулатор, пак, се бара лесно приклучување на LAN, што упатува на тоа дека е потребно да се користи стандарден индустриски ETHERNET за комуникација со наредените системи.

Освен функцијата на управување со електраната, од системот за управување се бара да обезбеди и разни функции на заштита (на пример, заштита од побег, заштита од падот на притисокот во хидрауличниот систем итн.).

Системот за управување треба да овозможува лесни и едноставни интервенции во вградените алгоритми и функции, па поради тоа треба да се изберат софтверски алатки кои се лесни и едноставни за употреба.

Меѓусебното поврзување на регулаторите и мерните претворувачи, како и целиот LAN препорачливо е да биде изведен со оптички кабли со што се смалува можноста за влијание на пречките и се зголемува брзината на работа на целиот информатички состав.

5.3.2 PLC контролери од познати произведувачи

5.3.2.1 ABB CS-31 систем

ABB Procontic CS 31 [13] системот е дизајниран за да изврши упростување на имплементацијата и каблирањето. Тој е интегриран приватен (не е отворен

кон другите производители) систем наменет за автоматизација на сложени системи. *CS 31* е составен од следниве елементи (Слика 5.12):

- » централна единица, затворена во компактно куќиште;
- » далечински влезно/излезни *plug-in* единици, кои лесно се преместуваат;
- » едноставно каблирање со двожилен кабел (*RS 485*), кој се користи за поврзување на централната единица со влезно/излезните далечински единици.

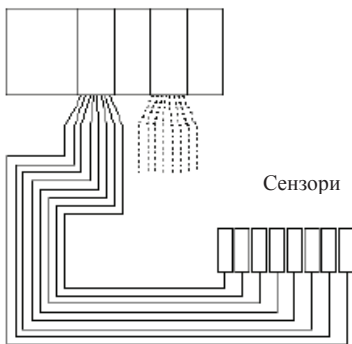
I. Опис на системот

Системот *ABB CS 31* претставува децентрализиран систем на автоматско управување со што се овозможува:

- » Централната единица може да биде монтирана на управувачкиот панел;
- » Влезно/излезните единици можат да бидат монтирани локално до самите сензори и актуатори.

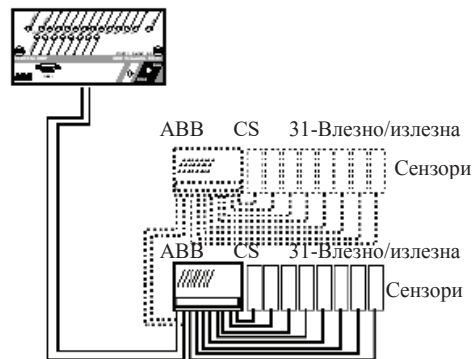
Како пример може да се истакне поврзувањето на централната единица за далечинските единици сместени некаде на линијата за производство. Со овој систем се овозможува намалување на цената на чинење на каблирањето и до 80 % (Слика 5.12).

PLC со влезно/излезни модули



а)

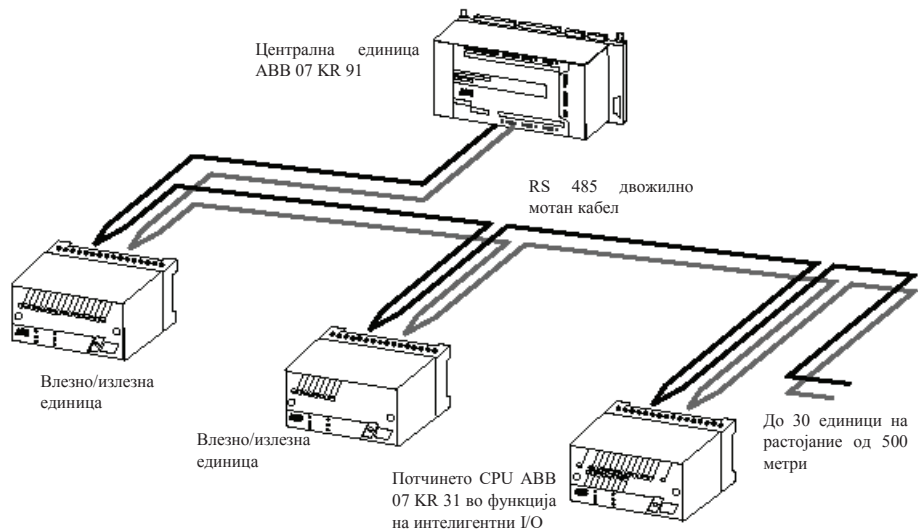
ABB CS 31-Централна станица



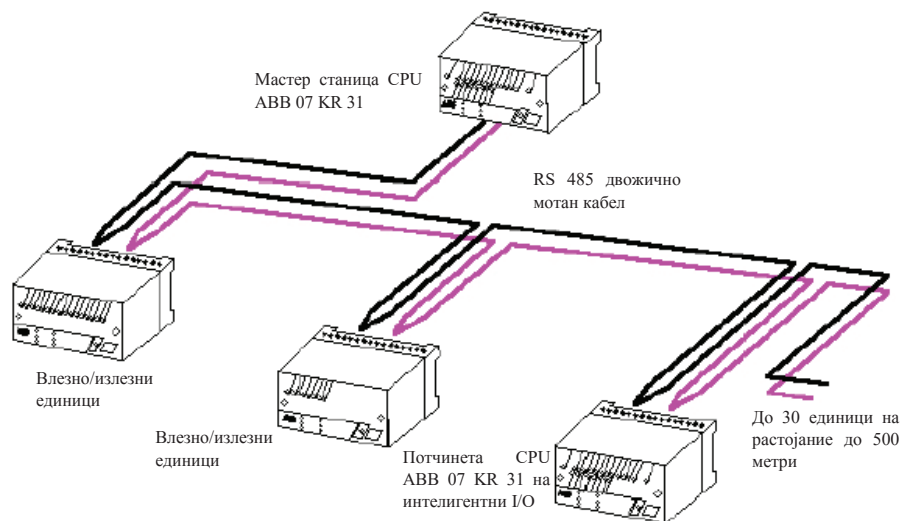
б)

Слика 5.12: а) Конвенционално каблирање на сензорите со PLC уред
б) Упростено каблирање со *ABB CS 31* систем

II. Примери на конфигурации со ABB CS 31



Слика 5.13: Пример на комплексно процесирање со децентрализиран систем



Слика 5.14: Пример на конфигурација на едноставен процес со интелигентни влезно/излезни единици

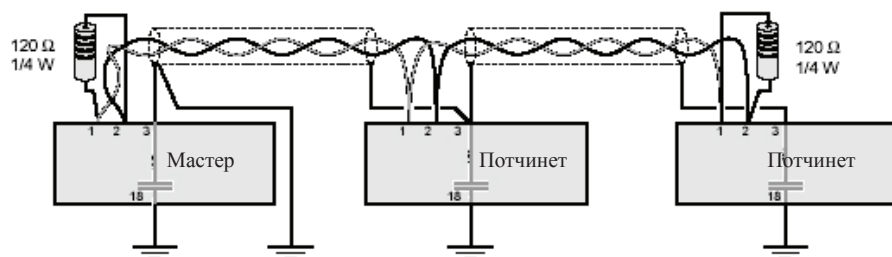
III. Карактеристики и придобивки на **ABB CS 31**

Како главни придобивки на овој систем можат да се наведат: редуција на трошоците за каблирање (дизајнирање, материјали и време на проверка), конфигурабилни влезно/излезни единици, зголемени дијагностички функции, лесно инсталирање на нови единици и тоа во време на работење на системот, едноставно програмирање бидејќи сите далечински влезно/излезни канали се конфигурираат како тие да се централизирани, далечинските влезно/излезни единици се интегрален дел а не дополнителна единица, програмабилна сериска комуникациска (*RS 232*) конекција за модем, печатач, операторски дисплеј итн.

Системот *CS 31* е базиран на два типа на централни единици: единиците какви што се *07 KT 93* со кои се дизајнираат комплексни апликации со високи нивоа на функционалност (манипулација со податоци, *PID* регулација итн.), и вториот тип се единиците *07 KT 31* со кои се изведуваат помали децентрализирани апликации со добар сооднос на Цена/Перформанси.

Системот *CS 31* има зголемени дијагностички функции. За таа цел секоја од далечинските единици содржи микропроцесор кој е посветен на менаџирање на влезовите и излезите и дијагностика. Дијагностицирањето се врши со помош на тест-копчето кое се наоѓа на предната страна од далечинската единица, а резултатите се прикажуваат на лед диодите кои го сигнализираат статусот на влезовите/излезите. Резултатите од дијагностицирањето можат да се вметнат во *SCADA* програмата и со тоа да се овозможи ефективен менаџмент со грешките.

Сите далечински единици се лесно заменливи, дури и при процес во работење. Системот може да се состои од неколку централни единици, но само една од нив е мастер, а сите други се потчинети. Доколку комуникацијата помеѓу нив се прекине или мастер единицата се расипе, индивидуалните потчинети единици продолжуваат со работење. *CS 31* бас претставува *RS 485* сериска линија и оклопен замотан двожилен кабел. *CS 31* бас е мастер-потчинет бас. Тоа значи само една мастер единица може да е присутна на еден бас. Мастер станицата најчесто е сместена на крај од басот, но може да биде и некаде во средината. Максималната раздалеченост помеѓу далечинските единици е 500 метри.



Слика 5.15: Најчеста местоположба на мастер станицата

Како основни податоци за една CPU единица од типот 07 KT 93 можат да се наведат: 14 K flash EPROM, два програмабилни RS 232 портови, RS 485 системски бас, real time часовник, функции од повисок ред PID, ARCNET комуникација вградено, 24 дигитални влеза и 16 излеза, 24 V DC напојување итн.

5.3.2.2 S7 400 Систем – Основни разгледувања

S7 400 е програмабилен контролер произведен од фирмата **Siemens**. Речиси секоја автоматизација може да се изврши со помош на соодветен сет од S7 400 компоненти [44].

I. Компоненти на Siemens S7 400

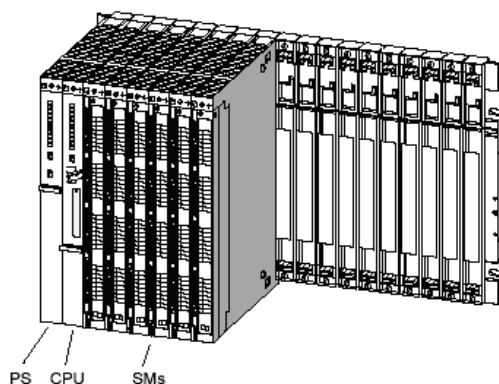
S7 400 претставува модуларен програмабилен контролер и негови компоненти се:

- » Куќиште: Постојат три вида на куќиште: универзално куќиште, централно куќиште и експанзиционо куќиште. Функцијата на куќиштето е да обезбеди механичко и електрично поврзување помеѓу модулите на S7 400;
- » Модули за напојување (PS): Нивната функција е да извршат конвертирање на мрежната струја од 220 V AC или 24 V DC во 5 V DC или 24 V DC работни напони кои се потребни за да се напојува S7 400;
- » CPU Централна процесорска единица: Нејзината функција е да ја извршува корисничката програма, како и да комуницира со другите централно процесорски единици или уреди за програмирање преку мултипоинт интерфејс;
- » Мемориски картички: Имаат задача да ја зачуваат корисничката програма и параметри;

- » Сигнални модули (*SM*): Постојат неколку вида на сигнални модули: модули за дигитални влезови, модули за дигитални излези, модули за аналогни влезови и модули за аналогни излези. Нивната задача е да обезбедат интерфејс помеѓу *PLC* уредот и процесот;
- » Интерфејс модули: Нивната функција е да обезбедат меѓусебно поврзување на различните куќишта присутни на мрежата;
- » Канал за кабли: Се користи за рутирање на каблите и како вентилација;
- » *PROFIBUS* бас кабли и кабли за поврзување на уредите за програмирање: служат за поврзување на *CPU* единицата со уредите за програмирање;
- » *PROFIBUS* бас терминал: Служи за поврзување на *S7 400* за другите *S7 400* уреди или уреди за програмирање;
- » *RS 485* репетитори: Нивната функција е да ги засилуваат податочните сигнали на бас линиите и ги поврзуваат бас сегментите;
- » Уред за програмирање или *PC*: служи за програмирање, нагудување, отстранување на грешките и назначување на параметрите од *S7 400*.

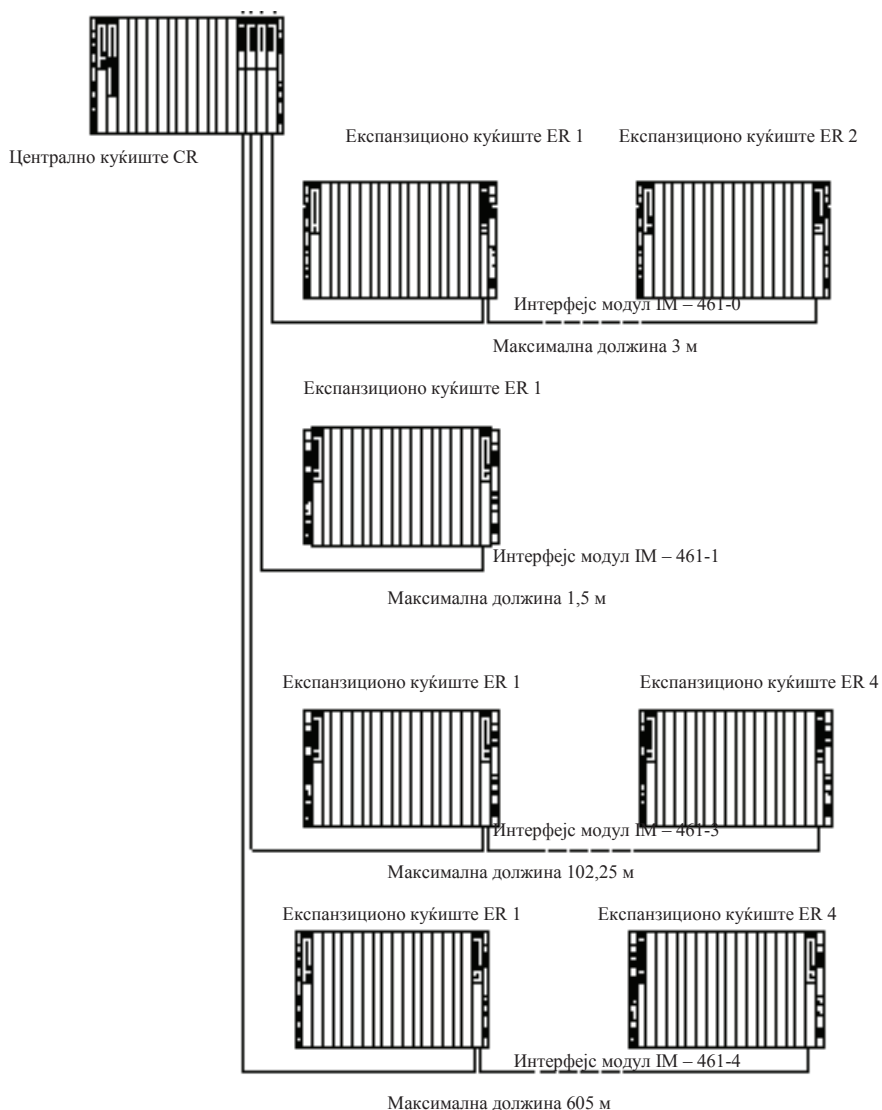
S7 400 програмабилниот контролер се состои од централно куќиште (*CR*) и едно или повеќе експанзициони куќишта (*ER*), доколку е потребно. *ER* се користи кога нема доволно слотови во *CR* за да се реализира апликацијата, или, пак, кога сакаме сигналните модули да бидат инсталирани во непосредна близина на процесот кој треба да се автоматизира. Кога се користат *ER* потребно е да се употребат модули за интерфејс, и тоа интерфејс модули за испраќање се инсталираат во *CR*, а интерфејс модули за прифаќање се инсталираат на секое *ER*.

Куќиштето кое ја содржи *CPU* единицата е познато како централно куќиште (*CR*), додека куќиштата кои содржат различни други модули во системот и се поврзани за централното куќиште се експанзиционите куќишта (*ER*).



Слика 5.16: Siemens *S7 400* централно куќиште со 18 слотови

За да се поврзе едно или повеќе *ER* за *CR*, мора да се инсталира барем еден интерфејс модул за испраќање. Модулите за испраќање имаат два приклучоци. На секој од тие два приклучоци може да се прикачи синцир од четири *ER*. Постојат различни типови на интерфејс модули, но во основа можеме да ги сврстиме во модули за локална и далечинска употреба.



Слика 5.17: Начини на поврзување на централното куќиште и експанзионите куќишта

II. Мрежно работење со Siemens S7 400

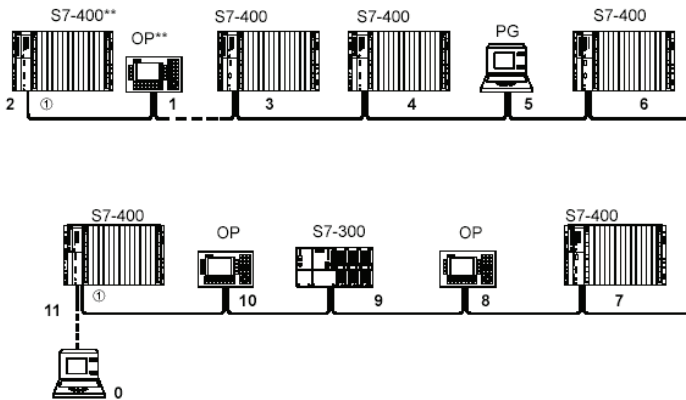
Постојат повеќе начини на формирање мрежа со сименсовите S7 400 уреди.

Еден начин веќе беше дискутиран претходно-со помош на експанзициони куќишта.

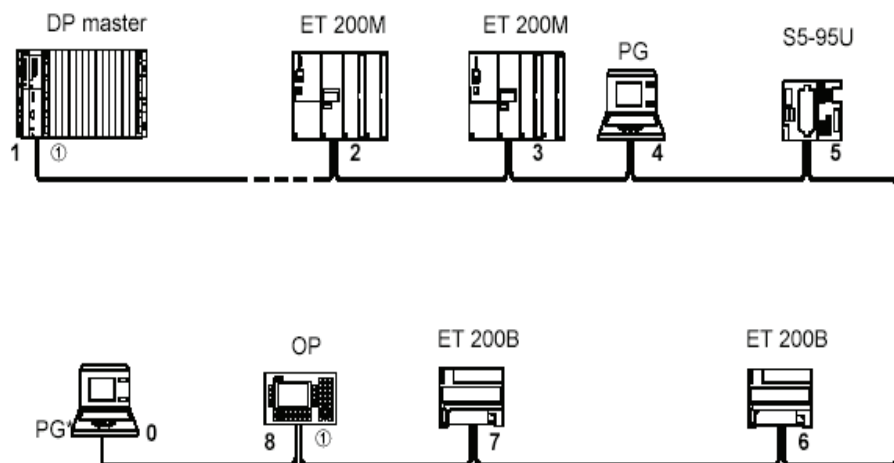
Вториот начин да се формира мрежа е со користење на далечински влезно/излезни системи. Влезно / излезните системи какви што се сименсовите уреди: ET 200M, ET 200 U/I/C и сите PROFIBUS DP потчинети уреди, работат во стандарден логички распоред за далечински В/И. Овие В/И далечински уреди се директно поврзани со CPU единицата преку PROFIBUS DP.

Трет начин на формирање мрежа се однесува на формирањето мрежа помеѓу неколку индивидуални S7 400 програмабилни контролери. Два или повеќе S7 400 уреди можат да формираат мрежа и да комуницираат меѓусебно со помош на мултипоинт интерфејс на CPU единицата. За да комуницираат S7 400 единиците, нивните CPU мораат да бидат меѓусебно поврзани со помош на PROFIBUS DP кабли преку нивниот интерфејс за мултипоинт комуницирање. За таа цел се користат бас конектори или PROFIBUS DP RS 485 бас терминали.

S7 400 има интегрирано два интерфејса: мултипоинт интерфејс, со кој се поврзува на мултипоинт конфигурирана мрежа и PROFIBUS DP интерфејс, со кој се поврзува на PROFIBUS DP мрежа. Со користење на Simatic Net CP Ethernet се поврзува на индустриски Ethernet, а со Simatic Net CP PROFIBUS за PROFIBUS DP мрежа. Со помош на оптичките бас терминали можеме S7 400 да го претставиме како една PROFIBUS DP точка и да го поврземе на оптичка мрежа.



Слика 5.18: Пример на MPI мрежа



Слика 5.19: Пример на PROFIBUS DP мрежа

Максималната должина на еден сегмент (може да содржи 32 уреди) при *MPI* мрежа е 50 m при максимална брзина од 12 *Mbps*, а максималната должина на еден сегмент при *PROFIBUS DP* мрежа е 1 000 m при брзини од 187,5 *Kbps*, а максимална брзина од 12 *Mbps* на пренос на податоци се постига при должини од 100 m.

Разликата помеѓу овие две мрежи, мрежата *MPI* и *PROFIBUS DP*, е во тоа што *PROFIBUS DP* функционира на принципот мастер – потчинет, додека *MPI* се состои претежно од единици со иста важност кои комуницираат меѓусебно.

III. Адресирање

За да се управува некој процес, сите канали (влезни и излезни) од сигналните модули мораат да добијат соодветни адреси. Мора да биде воспоставено уникатно обележување помеѓу географската физичка локација на каналот и адресата на каналот во корисничката програма. Географската адреса на одреден канал е перманентно обележана и таа се состои од тоа: во кое куќиште е инсталиран сигналниот модул, во кој слот е сместен сигналниот модул и кој канал од сигналниот модул е адресиран. Логичката адреса на модулот, а поради тоа и на каналот, е слободно избрана. Таа се користи во програмата за да се адресира (т.е., да се прочита или за да се запише нешто) одреден влез или излез. Физичката локација на дефинираниот модул не е потребно да се знае за време на програмирањето. Поврзување помеѓу логичката и географ-

ската адреса се врши со помош на софтверот за програмирање на логичките контролери, а во случајот тоа е добро познатиот сименсов *STEP 7*. Значи, адресирањето може да се изврши во два чекора и тоа најпрво се одредува географската адреса на каналот од неговата локација во целата конфигурација и назначување логичка адреса на географската адреса во програмата *STEP 7*.

IV. Комуникациски системи кои се користат во сименсовите мрежи

Современите високобрзински комуникациски системи се базираат на комуникациски системи какви што се локалните мрежи *LAN*. Тие можат да бидат имплементирани на неколку начини: електрично, оптички или со комбинација електрично-оптички.

SIEMENS како една од водечките компании за производство на опрема за автоматизација со широк спектар на автоматски уреди има создадено сопствен систем за комуникација кој се нарекува *SIMATIC NET*. Овој комуникациски систем се базира на национални и интернационални стандарди според *ISO/OSI* референтни модели. *SIMATIC NET* вклучува:

- » Комуникациска мрежа составена од трансмисиска медија, медиум и трансмисиски компоненти и соодветни трансмисиски техники;
- » Протоколи и сервиси за трансмисија на податоците помеѓу уредите споменати погоре;
- » Модули во програмабилните логички контролери (или компјутер) кои воспоставуваат конекција со комуникациската мрежа. Тоа се модули кои уште се нарекуваат комуникациски процесори *CP*.

SIMATIC NET комуникациските системи се базираат на следниве комуникациски мрежи:

- » *AS* интерфејс: со помош на актуатор-сензор интерфејсот *SIMATIC NET* овозможува формирање мрежа и автоматизација на најниското автоматско ниво со поврзување на бинарните актуатори и сензори за програмабилните контролери со помош на *AS* бас кабел;
- » *PROFIBUS*: комуникациска мрежа наменета за ќелии и теренски единици која се подложува на *PROFIBUS* стандардот со најчеста техника мастер – потчинет. Оваа мрежа работи со испреплетен пар (*twisted pair*) или фибер-оптички кабел;
- » Индустриски Ethernet: комуникациска мрежа наменета за ќелиската област која користи *baseband* технологија со *IEEE 802.3* стандард и *CSMA/CD* медиумски пристап. Оваа мрежа работи со брзина од *10 Mbps* со триак-

сијални кабли, стаклени фибер-оптички кабли и обложени (*twisted pair*) двојичени испреплетени кабли;

- » Брз индустриски *Ethernet*: комуникациска мрежа со брзина од 100 *Mbps*. Оваа мрежа работи со стаклени фибер-оптички кабли или со обложени испреплетени двојичени кабли.

V. Комуникација во индустриска околина – Индустриски *Ethernet*

Побарувањата од комуникација во индустриска околина значајно се разликуваат од оние во канцелариски комуникации. Индустриската околина влијае на сите аспекти на комуникација, какви што се активните и пасивните мрежни компоненти, прикачените автоматски уреди (*PC, PLC, RTU* итн.), мрежните топологии и концепти, пристапноста, протоколот на податоци, условите на околината итн. Мрежните протоколи за индустриска комуникација се оптимизирани за специјалните услови, па така класичните протоколи како што е *TCP/IP* сега може да се применат во процесното управување.

Индустрискиот *Ethernet*, специјално дизајниран *Ethernet* за индустријата ги користи постоечките стандарди на *Ethernet* мрежни стандарди *IEEE 802.3* со мали и корисни измени за да може да се користи во индустриски комуникации. Првиот индустриски *Ethernet* користел коаксијален кабел (остаток од office *Ethernet*) како трансмисиски медиум, а подоцна е воведен триаксијалниот кабел и е добиен стандардот *SINEC H1*. Во последно време трансмисијата преку фибер-оптички кабли и испреплетени двојичени кабли, како и воведувањето на брзиот *Ethernet*, ја зголемија брзината на пренос на податоци и до 10 пати. Кај класичниот 10 *Mbps Ethernet* најголемиот распон до кој може мрежниот протокол да комуницира без грешки е 4520.

Индустрискиот *Ethernet* може да се формира со индустриски испреплетени двојични кабли (*10BASE-T*) или, пак, на фибер-оптички кабли. Индустриски испреплетени двојични кабли (*10BASE-T*) се базираат на стандардот *IEEE 802.3i*, а мрежата работи со брзина од 10 *Mbps*. Трансмисиски медиум е обложен кабел со два пара испреплетени жици со карактеристична импеданса од 100 ома, на чии краеве има *RJ-45* конектори. Врските помеѓу две електрично активни компоненти се од крај до крај, што значи дека секогаш има директен линк помеѓу елементот кој испраќа сигнали (на пример, *PC, PLC*) и мрежната компонента (*HUB, SWITCH*), која има улога да го регенерира примениот сигнал и да го дистрибуира до сите излезни портови. Во *Simatic Net* индустриски *Ethernet* оваа задача на *hub* ја имаат електричните линк модули (*ELM*), оптичките линк модули (*OLM*), оптичките свич модули (*OSM*) и електричните свич модули (*ESM*).

Максимална должина помеѓу мрежната компонента и мрежната точка е 100 м.

Фибер-оптичката варијанта на мрежно поврзување се базира на стандардот од *IEEE 802.3i* наречен *10BASE-FL*. Трансмисиони медиум е фибер-оптички кабел со стаклени влакна од типот 62.5/125 или 50/125 микрометри. Фибер-оптичките линкови секогаш се поврзувања од типот од крај до крај помеѓу две активни компоненти. Тоа значи дека секогаш постои директно поврзување помеѓу мрежните компоненти и порт од друга мрежна компонента. Една мрежна компонента е одговорна за регенерирање на примените сигнали и нивно дистрибуирање на излезните портови. Во *Simatic Net* индустриски *Ethernet* оваа задача ја имаат оптичките линк модули (ELM).

VI. Пример на индустриски *Ethernet* со употреба на сименсови компоненти

На Слика 5.20 е прикажан пример на комбинација од различни топологии и генерации на продукти за формирање индустриски *Ethernet*.

» Мрежа 1

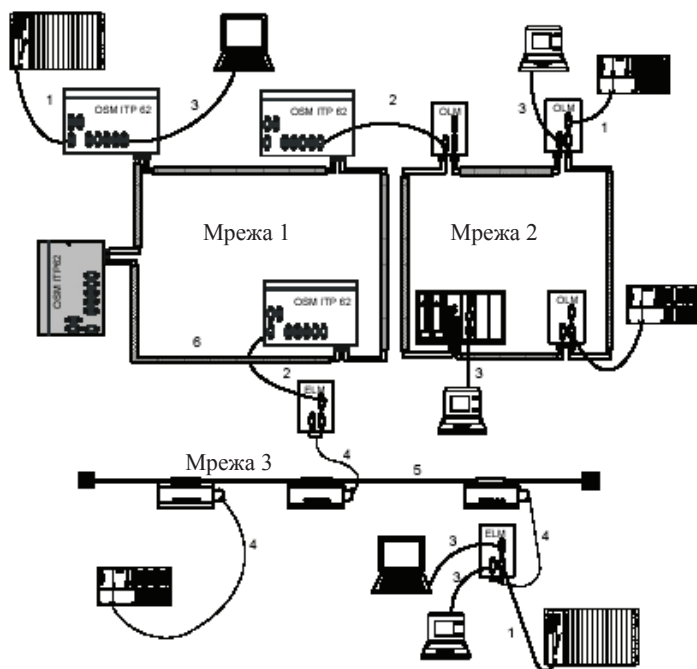
Во високобрзинската мрежа 1, четири *OSM* свичови формираат круг со брзина од 100 *Mbps*. Доколку се употребат соодветни активни мрежни елементи за автоматизација, во тој случај портовите на *OSM* свичовите наменети за испреплетени двојжичени кабли, исто така, можат да функционираат на 100 *Mbps*. Бидејќи *OSM* елементите работат како свичови, при конфигурирање на мрежата се земаат предвид максималните дозволени должини (100 метри за испреплетени двојжилни кабли и 3 000 метри за фибер-оптички кабли).

» Мрежа 2

Мрежата 2, исто така, формира круг. *OLM* модулот и ѕвездениот спојник работат на 10 *Mbps* со етернет пристап на медиумот за пренос. Максималната должина на индивидуалните конекции помеѓу два порта е лимитирана на 100 м за испреплетен пар и 3 100 м за фибер-оптички конекции помеѓу два *OLM*.

» Мрежа 3

Мрежата 3 претставува мал систем кој постоел со години и кој е базиран на триаксијален кабел. *Simatic Net ELM* овозможува овој систем да биде поврзан за модерна голема мрежа со свичинг технологија.



Слика 5.20: Пример на мрежа со современ индустриски Ethernet

На Слика 5.20 е прикажан пример на мрежа со современ индустриски Ethernet. Негови составни делови се: 1. ITP стандард 9/15, 2. TP XP кабел, 3. TP кабел 9/RJ 45, 4. 727-1 кабел, 5. триаксијален кабел, 6. оптички кабел.

5.3.2.3 Споредба, предности и недостатоци на дискутираните системи сименсовиот S7 400 и ABB CS 31 системот

Сименсовиот S7 400 систем претставува моќен модуларен систем. Со него можат да се реализираат сите типови на процесни апликации. Овој систем се карактеризира со голем степен на доверба. Поради ова со нив се изведуваат апликации за кои се потребни големи брзини на обработка на податоците и висок степен на сигурност, какви што се динамичките турбински системи. Поради ова овие системи се и едни од најскапите. Нивна главна предност е големиот избор на мрежни решенија со кои можат да се изведуваат сите можни апликации, како и тоа што спаѓаат во отворени системи, т.е. овозможуваат поврзување со стандардни протоколи и каблирање. Како една негативност може да се наведе големиот број на правила, кои треба да се почитуваат при

формирањето на мрежата, наметнати од производителот и покрај тоа што спаѓа во отворени системи.

ABB CS 31 системот има сосема задоволителни карактеристики за да биде употребен и во најсложените системи за процесно управување. Тој претставува затворен систем на еден производител. *ABB CS 31* системот е децентрализиран систем со лесно, упростоено и едноставно за разбирање поврзување помеѓу централната единица и влезно/излезните модули. Едноставно формирање систем и неговата цена на чинење претставуваат негова главна предност.

5.4 Блок-дијаграм на типичен систем за управување со ХЕЦ

Врз база на реален пример [21] и врз база на консултираната литература [1] [2], креирани се Слика 5.21 и Слика 5.22.



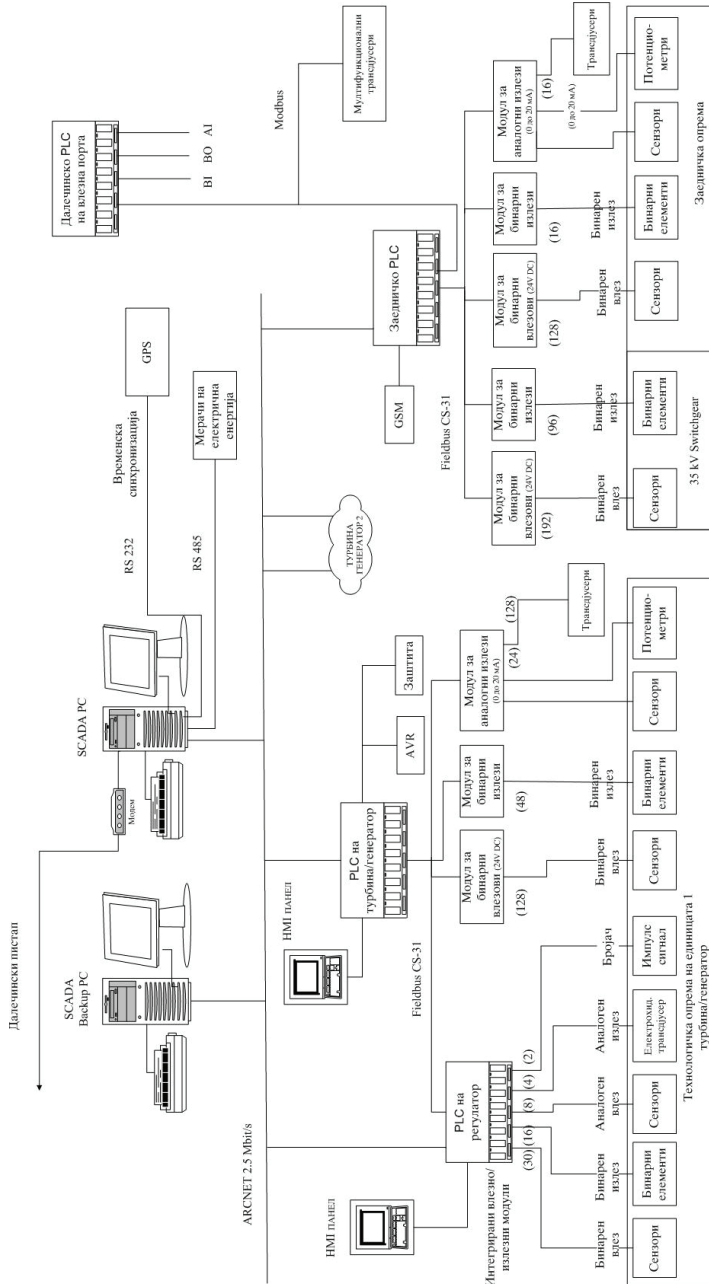
Слика 5.21: Нивелираност на системот за управување со ХЕЦ

Системот за управување се состои од две управувачки нивоа (Слика 5.21). Првото, пониското ниво на управување го сочинуваат *PLC* контролерите. Тие ги собираат сигналите кои доаѓаат од управуваниот систем, ги обработуваат и испраќаат управувачки сигнали кон извршните органи – соленоиди и мотори. Второто, супериорно ниво е *SCADA* нивото. Тука се собираат и се обработуваат сите поважни информации, се набљудува работата на постројката и може да се испраќаат управувачки сигнали од страна на операторите.

Системот за управување се базира на *PLC* контролери поврзани со *PC* компјутери опремени со *SCADA* софтвер. Блок-дијаграм на еден систем за управување е прикажан на Слика 5.22 [21].

Од блок-дијаграмот на Слика 5.22 се гледа дека систем за управување со мала хидроцентрала вообичаено се состои од:

- » Едно засебно *PLC* за секоја единица кое ќе ја врши функцијата на управување со единицата и координирање на сите елементи на единицата. Тоа се нарекува единично *PLC*. Тоа се поврзува со *AVR* и со мултифункционалната заштита на генераторот со некој податочен линк како што е *MODBUS* и е снабдено со *HMI* (*Human Machine Interface*) преку кое може да се врши локално управување;
- » Функцијата регулатор може да биде сместена во посебно *PLC* на таа управувачка единица, регулаторско *PLC*. Неговата функција е да ги извршува контролните кругови на управувањето со моќноста и брзината на единицата и поместувањето на спроводниот апарат. Снабдено е со *HMI* преку што се врши локално управување и репрограмирање;
- » Едно заедничко *PLC* посветено на заедничките дополнителни сервиси на централата и на *switchgear*. Тоа не мора да има *HMI*, бидејќи сите дополнителни функции можат да се вршат преку *SCADA* софтверот на *PC* со кој е во директен контакт;
- » Едно далечинско *PLC* за управување со влезната порта и со снабдувањето со вода сместено на браната, надвор од централата. Тоа комуницира со заедничкото *PLC* преку *MODBUS* [21] (или, пак, со *PROFIBUS-fms* [26]) или некој друг побавен податочен линк. Брзината на овој линк е мала 1,5 Mbit/s, но е доволна со оглед на малиот број податоци што треба да се пренесуваат преку него;
- » *SCADA* нивото се состои од еден или повеќе *PC* компјутери и може да биде поврзано со модем со надворешноста, т.е. со *DCS* систем (*Distribution Control System*). Оптимално е да има два компјутера од кои едниот ги врши сите функции, додека другиот служи за *backup*. Тие се снабдуваат со електрична енергија преку *UPS* за да можат да продолжат да функционираат од 30 до 60 минути и без електрична енергија. За бележење на податоците имаат печатач и *CD* режач. Модемското поврзување со надворешноста овозможува низа предности, меѓу кои и надворешна интервенција и откривање грешки без присуство на оператор за сервисирање и одржување. *PC* може да биде поврзано преку сериски линк за мерачи на моќност на мрежата и со *GPS* ресивер за временска синхронизација;



Слика 5.22: Блок-дијаграм на типичен систем за управување со XECC

- » Комуникацијата меѓу самите *PLC* и помеѓу нив и *SCADA PC* се врши со некој побрз линк, како што е *ARCNET* со брзина 2,5 Mbit/s [21]. Или, пак, со стандардниот индустриски *ETHERNET* чија брзина е 10 Mbit/s [26]. Овој тип на линк овозможува еднолично поврзување на *PLC* нивото и *SCADA* нивото.

Единичното и регулаторското *PLC* се сместуваат во близина на единицата, во машинската хала. *SCADA* системот и заедничкото *PLC* можат да сместат во за-себна просторија наречена соба за управување (*control room*). Комуникациските линкови треба да бидат заштитени од електрични влијанија какви што се различните електрични празнења, напонски удари итн.

5.5 Хиерархија на функции на типичен систем за управување со ХЕЦ

Управувачките функции на системот за управување можат да се нивелираат хиерархиски во три нивоа на управување:

5.5.1 Прво ниво на управување – локално мануелно управување

Првото ниво на управување овозможува локално мануелно управување на една единица од контролните табли на единицата, т.е. од *HMI* терминалот на единичното *PLC*. За да се овозможи доверба и сигурност во работењето, при мануелното управување за важните управувачки кола се дефинирани блокирачки технолошки услови за да се спречат евентуалните грешки при неточните мануелни команди. На пример, блокирачки услови се употребуваат при исклучувачките операции. Истите тие блокирачки кола се употребуваат и за команди од повисоките нивоа на управување. Освен ова, локални тест копчиња се потребни за тестирање на помошните елементи на единицата при тестирање и одржување на единицата. Локалното мануелно управување се користи претежно во процедурите за тестирање и одржување, но тоа, исто така, овозможува мануелно управување на опремата независно од автоматизираните процедури. Автоматскиот начин на работа е предвиден како основен мод на работење и тој се овозможува во второто и третото ниво на управување [21].

Единичното и заедничкото *PLC* е потребно да бидат активни постојано дури и при локалните мануелни процедури, бидејќи *PLC* ги надгледува работните услови на технолошката опрема и ја штити опремата од абнормални услови на работа. *PLC* вршат перманентно собирање податоци од технолошката опрема кои се потребни за автоматски мониторинг функции, како и понатамошно обработка на податоците. Автоматските мониторинг функции ја сти-

тат опремата од работење во опасни услови како што се: високи температури, премногу високи или ниски притисоци на маслото и ги намалуваат опасностите за нејзино оштетување. Така, на пример, единичното *PLC* ја надгледува единицата со помош на сензори (проток, ниво на масло, притисок, температура итн.) и на тој начин создава систем на заштита од механички дефекти. Според тоа, функционирањето на единичното *PLC* е од есенцијално значење за работењето на единицата. Ова наведува на потребата од користење на *PLC* контролери од реномирани произведувачи (*Siemens, ABB,...*).

Освен заштитата што ја овозможува единичното *PLC*, неколку механички и сите електрични дефекти влијаат директно на заштитните уреди, независно од функционирањето на *PLC*, што ни овозможува сигурносно прекинување и гасење на единицата и во абнормални услови кога неколку дефекти ќе се појават симултано.

Системот за управување е базиран на *DC* управувачки напон. Загубата на главниот управувачки напон резултира со итно исклучување на единицата. Затворањето на спроводниот апарат автоматски се спроведува, се затвора турбинскиот вентил, генераторскиот прекинувач прекинува.

5.5.2 Второ ниво на управување – Автоматско управување

Второто ниво на управување е претставено со автоматскиот мод на работење на програмираните логички контролери (*PLC*), кои се посветени на управување со групи на технолошки поврзана опрема (единиците на електраната, заедничката опрема итн.). Како главен пример на автоматскиот мод на работа се автоматските секвенци на стартување и гасење на единицата. Алгоритмите на автоматските секвенци се прикажани во поглавје 5.9.2 и поглавје 8.

Сите функции на автоматско управување за автоматизирано сигурносно работење на опремата се имплементирани во *PLC*, како што следува:

- » Аквизиција на податоци и супервизија на работењето (електрични и температурни мерења);
- » Алармирање и сигнализирање;
- » Автоматски старт, нормално гасење, контролирано гасење и електрично кочење на единицата.

Алармите и работниот статус, мерните и мониторинг информации се прикажуваат на *HMI* терминал на единичниот *PLC*.

Автоматските функции имплементирани во единичното *PLC* се независни од функционирањето на *SCADA* опремата на третото ниво на управување. Тоа значи дека единицата може да функционира независно од компјутерската опрема на третото управувачко ниво, со сите функции на безбедно и автоматско работење.

Независноста од *SCADA* компјутерите овозможува автоматско управување на единиците преку управувачките табли на единиците, а со користење директен пристап до единичното *PLC* преку *HMI* терминали и локалните управувачки уреди лоцирани на управувачката табла во машинската сала близу до работните единици. Управувачкиот систем на единицата комуницира со екситацискиот систем (*AVR*).

Податочниот комуникациски линк помеѓу самите *PLC* (на пример, помеѓу единичното и заедничното *PLC*) се користи за ефективно управување и супервизија на системот, додека податочниот линк со *AVR* и заштитата на генераторот повеќе се наменети за мониторинг.

Деталната логика на работење на единицата и нејзините придружни елементи се дефинираат со управувачки алгоритми по кои се програмираат програмабилните логички контролери. Тие се програмираат со користење соодветен апликациски софтвер. Пожелно е да се изработат функционални блок-дијаграми за изработената програма за да се овозможи лесно одржување и изменување.

5.5.3 Трето ниво на управување – *SCADA* ниво

Третото управувачко ниво го овозможува *SCADA* компјутерската опрема. Ова ниво ни овозможува целосно управување и супервизија на електраната од една контролна соба сместена во електраната, како и модемска комуникација со надворешноста. *SCADA* управувачкото ниво е составено од два компјутери (еден работен и еден за *backup*) и нивните периферијали какви што се: монитор, тастатура, глушец и печатачи. Архивирање на податоците може да се прави на *CD* или *DVD* [21]. *SCADA* програмерите изработуваат програма која црпи податоци од *PLC*, ги обработува и така обработени им ги презентира на операторите [1]. На екранот може графички да се види работата на целата постројка, да се донесат решенија на база на присутните аларми и историја на податоци или, пак, да се смени некоја зададена вредност на варијабилите.

SCADA компјутерот ги чува сите податоци во своја дата база. Доколку има потреба дел од податоците (вообичаено логирање на оператори и аларми), перманентно можат да бидат испишувани на некој матричен печатач.

Системот за заштита и итно запирање работи автоматизирано и постојано ја заштитува опремата од дефекти. Единицата автоматски се гаси доколку системот за заштита открие некоја грешка. Единицата се гаси и доколку се открие грешка во самиот систем на заштита, бидејќи не е безбедно единицата да работи без соодветна заштита. Овој систем може да работи независно од работењето на *PLC* контролерите.

5.6 Управувачки функции и работни модови на системот за управување според нивото на управување

5.6.1 Управувачки функции и работни модови на *PLC* ниво

А. Управувачки функции и работни модови на единичното *PLC*

Системот на управување овозможува единиците, односно централата да работи со висок степен на корисно дејство, односно со оптимално оптоварување под зададени услови со одржување на бараните работни параметри (на пример, промена на падот, факторот на моќност итн.). Единицата се оптоварува според бараната вредност на протокот или други работни променливи (активна моќност, нето пад), зависно од селекцијата. Реактивната моќност на генераторот се контролира со помош на заедничкиот контролер (заедничкото *PLC*) и системот на екситација според бараната вредност на факторот за моќност или напонот на мрежата, зависно од селекцијата.

Можни модови на работа на второто ниво на управување можат да бидат:

- » автоматски,
- » чекор-по-чекор,
- » автоматски неактивен.

Во автоматскиот мод на работа операторот само дава команда за стартување на одреден програмиран редослед на извршување операции (на пример, стартување на единицата). Понатамошна интервенција на операторот не е потребна за нормално извршување на целосниот редослед. Автоматскиот мод на работа е основниот мод на работа на единицата.

Чекор-по-чекор модот го извршува програмскиот редослед по чекори, кои се дефинирани со управувачкиот алгоритам. Секој пат кога одреден чекор ќе биде подготвен за извршување, операторот дозволува чекорот да продолжи со потврдна команда. Овој мод на работа се користи при процедурите на проверка или при тестирање на опремата.

Автоматскиот неактивен мод овозможува да ја управуваме единицата мануелно со поддршка на програмабилните логички контролери *PLC*. Во овој мод, автоматските команди се блокирани, но индикцијата на логичките услови е активна. Операторот може да ја стартува единицата со мануелни команди до моторите, соленоидите итн., со помош на *HMI*. Овој мод е корисен при основното тестирање, нагодувањето на сензорите и тестирањето на процедурите за откривање дефекти.

Б. Управувачки функции и работни модови на заедничкото PLC

Ова заедничко *PLC* се користи за процесирање на сигналите кои доаѓаат од заедничката опрема на сите единици и на другата опрема во електраната која треба да се набљудува и да се управува, вклучувајќи го *switchgear*. Тоа е опремено со софтвер за управување со моќност.

Единиците можат да се управуваат единечно или заеднички, онака како што е селектирано од страна на операторот на *SCADA* нивото.

5.6.2 Управувачки функции и работни модови на SCADA мастер станицата – SCADA ниво

Следниве управувачки функции можат да се изведат од *SCADA* работната станица во собата за управување:

- » Автоматски старт/стоп на индивидуалните единици (преку единичните *PLC* контролери);
- » Индивидуално нагодување на оптоварувањето на станиците (активно и рективно оптоварување);
- » Итно гаснење/контролирано гаснење на индивидуалните станици;
- » Заедничко управување со единиците (преку единичното и заедничкото *PLC*);
- » Управување со 35 kV прекинувачи на кола (*on/off*), вклучувајќи ја и автоматизираната синхронизација (преку заедничкото *PLC*);
- » Управување со заедничката помошна опрема во електраната (преку заедничкото *PLC*).

На *SCADA* нивото целата опрема на централата се прикажува со слики и со моменталниот статус на опремата, како и приказ на дел од мерените аналогни и дигитални сигнали. Исто така, преку влегување во разни прозорци се овозможува директно управување со опремата. Бинарните сигнали кои се од опера-

циско значење се снимаат на хард дискот во операциски дневник. Одредени аналогни сигнали се проверуваат дали се на своите гранични вредности, а сигналите кои си ги надминале своите граници се презентираат како аларми и на екранот и во алармниот дневник. Алармните и дефектните сигнали треба да бидат јасно одделени на мониторот и на операцискиот дневник од операциските сигнали.

SCADA нивото ни овозможува лесна комуникација со надворешноста. Тоа ни остава простор да овозможиме далечинско дијагностицирање на проблемите. Така, на пример, доколку се појави дефект кој локалните специјалисти не можат да го решат, постои можност компјутерот со SCADA информациите да биде модемски поврзан со надворешната поддршка за дијагностицирање, решавање и отстранување на проблемот. Преку SCADA нивото се доаѓа во допир со сите PLC уреди од PLC нивото кои со SCADA компјутерот се поврзани со *Ethernet* (или *ARCNET*) врска [21].

5.7 Карактеристики на елементите на типичен систем за управување со мала ХЕЦ

5.7.1 Управувачка табла на турбинска единица

Системот за управување со единицата вообичаено се сместува во ормар за управување со единицата (Т1) каде што се инсталираат електронските и помошните уреди за управување со турбинската единица. Тоа се:

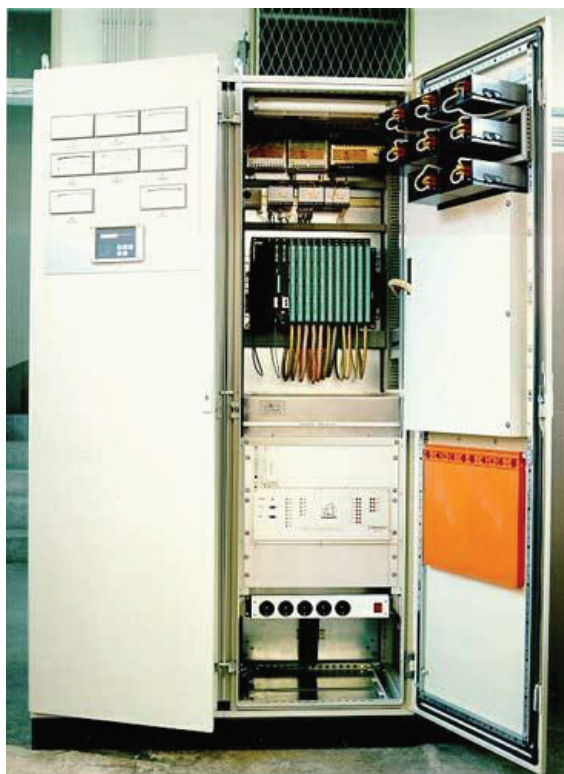
- » Единичното PLC со придружните влезно/излезни и комуникациски модули;
- » Дигиталниот турбински регулатор на единичното PLC;
- » Дигиталната заштита на генераторот;
- » Кондиционер на аналогните сигнали;
- » Помошни релиња и контактори;
- » Напојување за системот за управување.

5.7.1.1 Единично PLC

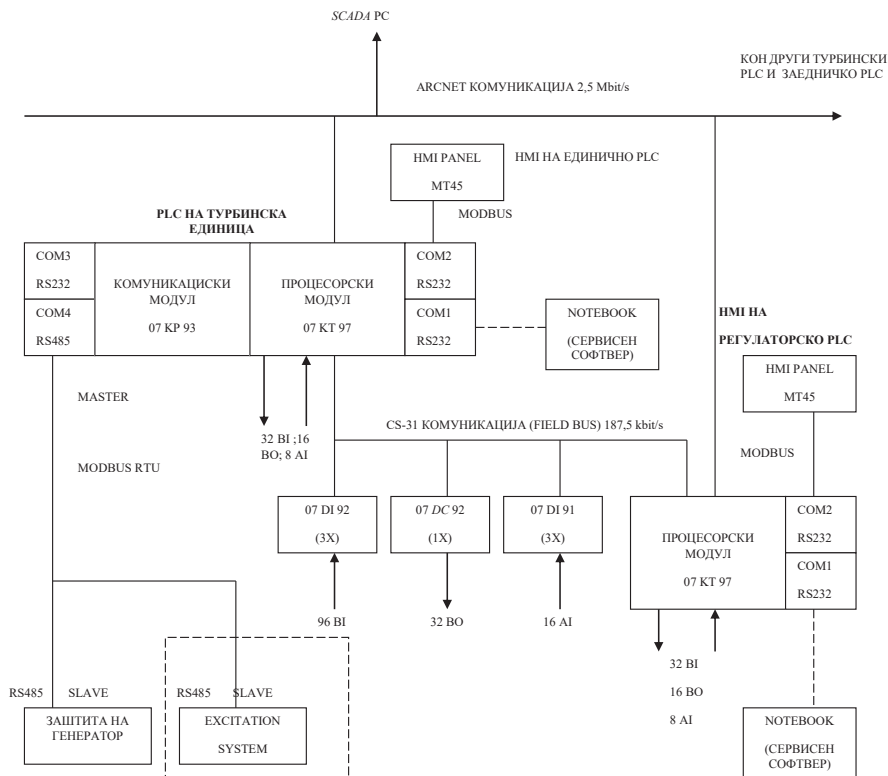
Во разгледуваниот пример [21], единичното PLC, од типот на ABB 07 КТ 97 ARCNET, е опремено со CPU модул, со соодветен комуникациски интерфејс (*Ethernet*, *Arcnet*) за SCADA, сериски порт за MODBUS комуникација со AVR (екситациски систем) и заштита на генераторот и со *fieldbus CS-31* за комуникација со влезно-излезните модули и *slave PLC* (види Слика 5.24).

За да се задоволат барањата на една мала централа на прикажаниот пример, секое единично *PLC* е опремено со 128 бинарни влезови (влезови од сензорите и управуваните уреди), 48 бинарни излези (управувачки и сигнални излези) и 24 аналогни влезови (сигнали од сензорите и сензорите). Аналогните влезови можат да процесираат *DC* струјни сигнали (од 4 до 20 *mA*), сигнали од *Pt100* температурни сензори итн. Изолирачки релеи за бинарните излези се потребни да се монтираат на таблата *T1* за управување со помошните уреди, соленоиди итн., на 110 *V DC* или 230 *V AC* напон. Напојувањето на *PLC* е од посебно дизајнираното напојување на системот за управување и работи на 24 *V DC* напон. Напојувањето на системот за управување се снабдува со напон од *AC* и *DC* извори, со што се обезбедува напојување за *PLC* и за нивните периферијални уреди [21].

Ормарот за управување се состои од едно куќиште, со една или две врати за да се овозможи лесен пристап до неговите внатрешни делови заради тестирање и одржување. Сместен е во машинската хала близу до работната единица (Слика 5.23).



Слика 5.23: Фотографија на внатрешноста од управувачко ормарче за турбинска единица [41]



Слика 5.24: Блок-дијаграм на единично PLC со неговите периферни уреди [21]

5.7.1.2 Основни податоци за регулаторот – Регулационо PLC

Како пример е земено *ABB PLC* од типот *07 KT 97 ARCNET* (со исти процесор како и единичното PLC) [21].

Дигиталниот регулатор (и единичното PLC) вообичаено е опремен со алфанумерички управувачки терминал (HMI) со копчиња и LCD дисплеј, со што се овозможува управување со регулаторот на локално ниво од самата машинска соба. Тоа овозможува мониторинг на регулаторот, нагодувања на параметрите на регулаторот, индикација на работните стадиуми, алармирачки и дефекциони сигнали итн.

Сигналот од сензорот за број на вртежи до регулаторот доаѓа во пулсирачки облик. Поради тоа е потребно да се користат дигитално/аналогни конвертори

кои се поставуваат пред *PLC* уредот. Овие конвертори се користат, исто така, и при мерењето на фреквенцијата на мрежата која се користи како споредувачка вредност за дефинирање на брзината при синхронизацијата.

Софтверот на турбинскиот регулатор може да се подели во четири базични групи:

- » системски софтвер на управувачкиот систем;
- » апликациски софтвер на регулаторот;
- » визуализиран софтвер на терминалот (*HMI*);
- » софтверски пакет за параметризација.

Вообичаени влезови во регулаторот се аналогни сигнали. Алгоритмите на регулаторот ги обработуваат (процесираат) овие сигнали заедно со надворешните сигнали и команди од терминалот или комуникацискиот линк и создаваат управувачки сигнали. Резултатите од ова процесирање се користат како влезови во надворешни електронски уреди. Уредите ги адаптираат овие сигнали за електрохидрауличните конвертори.

Регулаторот содржи алгоритми за следниве задачи:

- » мерење на брзината и проценување на граничните брзини;
- » генерација на регулационите константи;
- » промена на параметрите на регулаторот во зависност од работната точка;
- » синхронизација на брзината;
- » регулација на брзината, отвореноста, протокот или активната моќност;
- » корекција на одредени променливи во зависност од работните барања, на пример: урамнотежување на фреквенцијата, регулација на падот, дијагностицирање на управувачкиот систем и периферната опрема итн.

Самиот регулатор може да има три основни мода на работа. Основниот мод на работа му е автоматски, при што тој добива наредби од супериорното ниво на управување *SCADA*, преку комуникацискиот линк.

Втор мод на работа му е мануелното управување со регулаторот, при што тој добива наредби од локалниот *HMI*. Терминалот ни дозволува промена на модовите на работење, управување со регулаторот за време на стартување и гасење, внесување вредности на регулираните променливи и нагодување на основните параметри на регулаторот. Тој, исто така, може да ги прикажува вредностите на мерните променливи и дефектите на регулаторот со време на нивно појавување.

Трет мод на работење е сервисниот со директно управување на елементите при нивно тестирање и нагодување.

Единичното *PLC* преку *MODBUS* линк е во директен контакт со системот за екситација и со системот на генераторска заштита. Системот за екситација и системот на заштита на генераторот имаат многу функции кои не се област на интересирање на ова истражување. Меѓу другото, системот за екситација треба да врши автоматска екситација на генераторот, автоматско напонско споредување на генераторскиот напон со оној на мрежата (пред синхронизацијата), напонска регулација, автоматска синхронизација, екситација на електричното кочење, заштита од напонски удар итн. Системот на заштита се состои од мултифункционални дигитални заштитни релиња и служи за генераторска заштита и заштита на главниот напонски трансформатор.

5.7.2 Заеднички систем за управување

5.7.2.1 Заедничка управувачка табла и заедничко *PLC*

Заедничкиот управувачки и заштитен систем се поставува на заедничка управувачка табла (Т2) каде што се инсталирани неопходните електронски и помошни уреди како што следува[21]: заедничко *PLC* со своите влезно/излезни модули вклучувајќи ги и помошните релиња и контактори, заедничкиот синхронизаторски сет за 35 kV напојувања, дигитална заштита од струен удар за 35 kV напојувања и 10 kV напојување, ресивер за временско синхронизирање (*GPS*), прекунапонски граничници за АС напојните кола и комуникациски линкови.

5.7.2.2 Заедничко *PLC*

Заедничкото *PLC* е опремено со *CPU* модул, со соодветен комуникациски интерфејс (*ARCNET*) за *SCADA*, сериски порт за *MODBUS* комуникација со мултифункционални ензори и со *FIELDBUS CS-31* за комуникација со влезно/излезните модули и останатите *PLC* [21].

За да се задоволат барањата на една мала централа, заедничкото *PLC* е опремено со најмалку 128 бинарни влезови 24 V DC (влезови од сензорите и управуваните уреди), 16 бинарни излези 24 V DC (управувачки и сигнални излези) и 16 аналогни влезови (сигнали од сензорите и сензорите).

Освен овие влезно/излезни модули кои се монтирани на заедничката управувачка табла Т2, во ормарчето можат да се постават и дополнителни влезно/

излезни модули кои ќе се монтираат на друго место. Така, на пример, ќе бидат потребни 192 бинарни влезови 24 V DC (влезови од сензорите и управуваните уреди), 96 бинарни излези 24 V DC (управувачки и сигнални излези) за управување со 35 kV *switchgear* кои се поставуваат на друга табла.

Аналогните влезови можат да процесираат DC струјни сигнали (од 4 до 20 mA), сигнали од Pt100 температурни сензори итн. Изолирачки релеи за бинарните излези се потребни да се монтираат на таблата T1 за управување со помошните уреди, соленоиди итн., на 110 V DC или 230 V AC напон.

Напојувањето на PLC е од посебно дизајнираното напојување на системот за управување и работи на 24 V DC напон. Напојувањето на системот за управување се снабдува со напон од AC и DC извори со што се обезбедува напојување за PLC и за нивните периферијални уреди [21].

Таблата за управување се состои од едно куќиште – ормарче, со една или две врати за да се овозможи лесен пристап до нејзините внатрешни делови заради тестирање и одржување и е сместена во собата за управување.

5.7.3 Програмабилен логички контролер за влезната порта

Ова PLC се инсталира на самата брана кај што е постројката за влезната порта. Задачата на ова PLC е локално управување и аквизиција на податоци за надредениот систем, системот за управување на централата [21].

За да се задоволат барањата на нашиот пример, локалното PLC за управување со влезната порта има CPU единица со сериски комуникациски модул, за комуникација со заедничкото PLC (MODBUS протокол) преку оптички кабел. Тоа треба да биде опремено со најмалку 32 бинарни влезови 24 V DC (влезови од сензорите и управуваните уреди), 16 бинарни излези 24 V DC (управувачки и сигнални излези) и 8 аналогни влезови (сигнали од сензорите и сензорите).

Тоа PLC заедно со своите додатоци, помошни релиња итн. треба да бидат сместени на една локална управувачка табла T3. За локално управување ќе се користат сигнални ламби и копчиња монтирани на таблата T3 и поврзани со ова PLC [21].

5.7.4 Систем за супервизорно управување и аквизиција на податоци

Системот за супервизорно управување и аквизиција на податоци – SCADA го претставува највисокото ниво на управување со централата. SCADA опремата

овозможува сеопфатно управување и супервизија на централата од собата за управување, вклучувајќи ја и модемската (или некој друг начин) комуникација со надворешноста, т.е. со некој друг центар за управување од повисоко ниво.

SCADA нивото се состои од еден или повеќе PC компјутери со целокупна периферна опрема (Слика 5.22). Оптимално е да има два компјутери од кои едниот ги врши сите функции, додека другиот служи за *backup*. Тие се снабдуваат со електрична енергија преку UPS за да можат да продолжат да функционираат од 30 до 60 минути и без електрична енергија. За бележење на податоците имаат печатач и CD режач. Модемското поврзување со надворешноста овозможува низа предности, меѓу кои и надворешна интервенција и откривање грешки без присуство на оператор за сервисирање и одржување. PC може да биде поврзано преку сериски линк за мерачи на моќност на мрежата и со GPS приемник за временска синхронизација [21].

Ова ниво ни дава можност да ја надгледуваме електричната заштита, па така сите електрични заштити што се извршиле ќе бидат логирани на работниот, алармниот и дефектниот дневник на SCADA програмата.

5.8 Мерни места, инструменти и нивни ознаки во SCADA програма

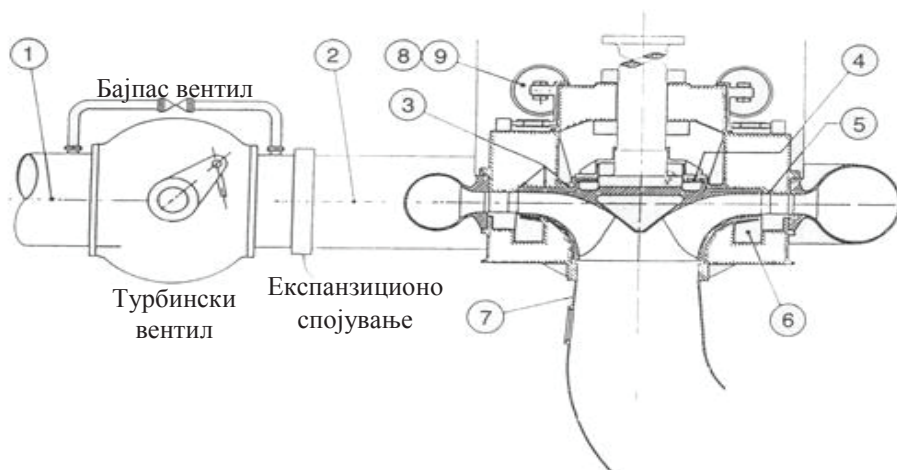
5.8.1 Сензори и мерни места

Сензорите се уреди кои ги претвораат физичките квантитети во еквивалентни сигнали, вообичаено електрични, за мерни и други цели. Типични сензори кои се употребуваат во глобалниот систем за управување со една хидроцентра и кои се дел од SCADA системот за управување се [2]:

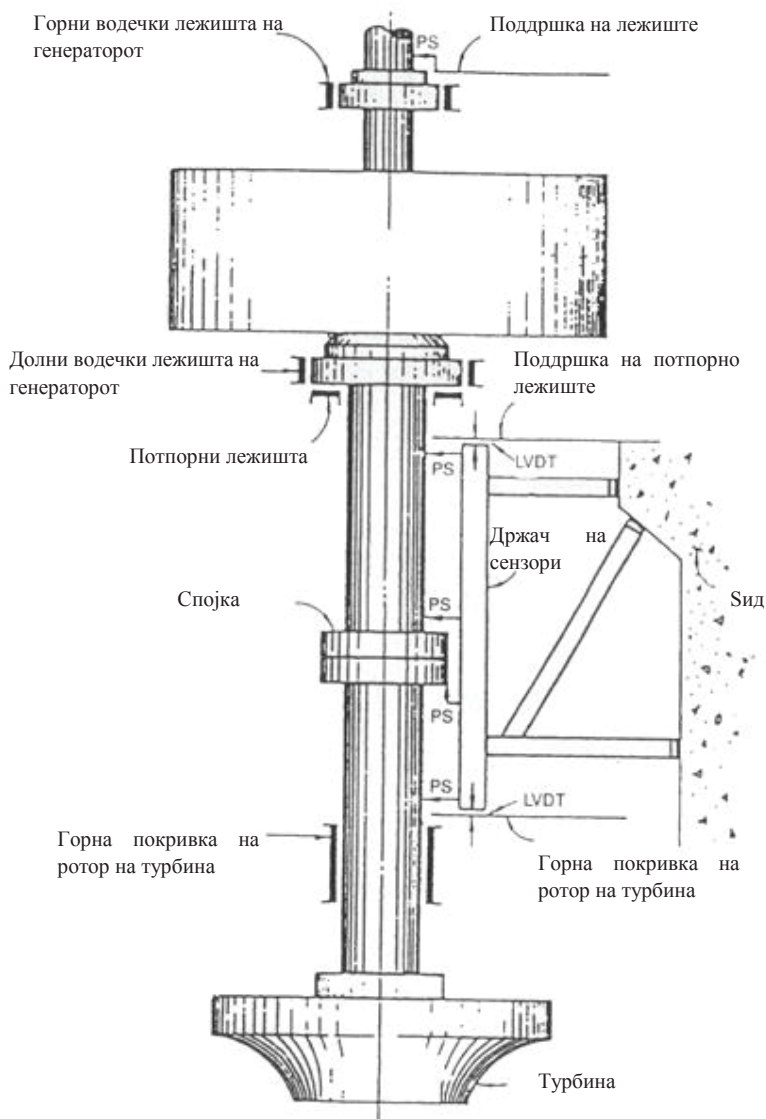
- » Сензори за притисок со кои се надгледуваат сите критични притисоци во турбинските водни премини, водниот систем за ладење, хидрауличниот агрегат на сервомоторот, и опремата за компримирање воздух. Типични места на кои се поставуваат се прикажани на Слика 5.25;
- » Сензори за мерење на вибрациите на вратилото, поместувањето и истрошеноста. Типични места на кои се поставуваат се прикажани на Слика 5.26;
- » LVDT и линеарни потенциометри за мониторинг на структурните дефлекции и сервомотори, спроводниот апарат и ротационите турбински вентили. Дефлекциските сензори се прикажани на Слика 5.26;
- » Тахометарски уреди за мерење на брзината на единицата;
- » Сензори за мерење на моќност на генераторскиот излез;

- » Напонски мерни мостови за да се мерат напрегањата на материјалите во цевководите, турбинските поклопци и генераторските потпирачи;
- » Температурни сензори за мерење на температурата на лежиштата, ладилната вода и воздух и структурните делови;
- » Електрични контакти за да се индицираат настани какви што се старт и стоп сигнали, отворени и затворени позиции на вентили и други уреди и одредени состојби во алгоритмите на автоматското управување;
- » Протокомери за мерење на протокот итн.

Кондиционерите на сигналите од сензорите се потребни и се употребуваат за да се изврши совпаѓање на излезните сигнали од сензорите со влезните сигнали во PLC уредите или, пак, во PC картичките за обработка на сигнали и управување.



Слика 5.25: Типични локации на сензорите за мерење притисок



Слика 5.26: Локации на вибрациските и сензорите за дефлекција на единицата [2]

На Слика 5.25 можат да се видат локации на мерачи на притисок со кои се мерат следниве притисоци: 1. Притисок во доведен цевковод, 2. Притисок во спирала, 3. Притисок на горна покривка на роторот, 4. Воедначување на притисокот во комората, 5. Притисок на врв од роторот, 6. Притисок на долен об-

рач, 7. Притисок во дифузор, 8 и 9. Притисок во сервомотор при отворање и затворање на спроводен апарат [2].

5.8.2 Сензори, мотори и соленоиди

Во Табела 5.1, Табела 5.2, Табела 5.3 и Табела 5.4 од ова поглавје се означени голем дел од сензорите кои ќе бидат прикажани во компјутерската апликација за симулација на работата на хидроцентрала дадена во поглавјето 5.11. Главно се работи за дигитални сензори и актуатори какви што се: Граничните прекинувачи (ГП), Притисните прекинувачи (ПП), Ниво прекинувачи (НП), Стартери на електромотори (М) и Соленоиди (С), но има и аналогни: Термометри (Т), Протокомери (ПМ) итн. Во првата колона се дадени називите на сензорите, во втората типот на сензорот, а во последната колона се дадени ознаките во SCADA програмата. Ознаките во последната колона од табелите се составени од букви (кратенки од сензорите и актуаторите) и бројки (првата бројка го означува бројот на сензорот, а втората бројка ја означува местоположбата). Така, на пример, ознаката ГП 2.1 значи дека се работи за граничен прекинувач број 2 кој се наоѓа на влезната порта (означена со број 1 во Табела 5.1: Сензори, мотори и соленоиди на влезната порта).

1. Влезна порта (ВП) во цевководот

Опис на сензорот	Тип на сензор диг/ аналог	Ознака (скратеница)
Граничен прекинувач: ВП затворено	дигитален	ГП 1.1
Граничен прекинувач: ВП полнење	дигитален	ГП 2.1
Граничен прекинувач: ВП пумпање старт	дигитален	ГП 3.1
Граничен прекинувач: ВП отворено	дигитален	ГП 4.1
Притисен прекинувач: притисок зад ВП (L1 = [kPa])	дигитален [MPa]	ПП 1.1
Електромотор на пумпата 1 на хидрауличниот агрегат на влезната порта	моќност [kW]	М 1.1
Електромотор на пумпата 2 на хидрауличниот агрегат на влезната порта	моќност [kW]	М 2.1
Соленоид на распоредникот на ВП	U = [V] DC, P=[W]	С 1.1
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на ВП	дигитален	НП 1.1

Табела 5.1: Сензори, мотори и соленоиди на влезната порта

2. Цевковод

Опис на сензорот	Тип на сензор диг/ аналог	Ознака (скратеница)
Воден проточен прекинувач: прекумерен проток во цевководот $H1 = [m^3/s]$	дигитален	ВПП 1.2
Термометар: температурата на водата во доводниот цевковод	аналоген од - до $[^{\circ}C]$	Т 1.2
Протокомер: протокот низ доводниот цевковод $H1 = [m^3/s]$, $H2 = [m^3/s]$	аналоген од - до $[m^3/s]$	ПМ 1.2

Табела 5.2: Сензори, мотори и соленоиди на притисниот цевковод

3. Турбински вентил (ТВ) и регулатор (Р)

Опис на сензорот	Тип на сензор диг./ аналог.	Ознака (скратеница)
Граничен прекинувач: ТВ затворено	дигитален	ГП 1.3
Граничен прекинувач: ТВ отворено	дигитален	ГП 2.3
Граничен прекинувач: бајпас на ТВ затворено	дигитален	ГП 3.3
Граничен прекинувач: бна ТВ отворено	дигитален	ГП 4.3
Притисен прекинувач: притисок зад ВП ($L1 = [kPa]$)	дигитален $[MPa]$	ПП 1.3
Електромотор на пумпата 1 на хидрауличниот агрегат на регулаторот	$P = [kW]$	М 1.3
Електромотор на пумпата 2 на хидрауличниот агрегат на регулаторот	$P = [kW]$	М 2.3
Соленоид на сигурносната тежина	$U = [V]$ DC, $P = [W]$	С 1.3
Соленоид на пропорционалниот распоредник за спроводниот апарат - затворено	$U = [V]$ DC, $P = [W]$	С 2.3
Соленоид на пропорционалниот распоредник за спроводниот апарат - отворено	$U = [V]$ DC, $P = [W]$	С 3.3
Соленоид на распоредникот на кочниците	$U = [V]$ DC, $P = [W]$	С 4.3
Соленоид на распоредникот на турбинскиот вентил	$U = [V]$ DC, $P = [W]$	С 5.3
Соленоид на распоредникот на бајпасот	$U = [V]$ DC, $P = [W]$	С 6.3

Притисен прекинувач: пумпа на хидрауличниот агрегат на регулаторот on/off, L1=[MPa], H1= [MPa]	дигитален, [MPa]	ПП 2.3
Притисен прекинувач: низок притисок во хидрауличниот агрегат на регулаторот, L1=[MPa], H1=[MPa]	дигитален, [MPa]	ПП 3.3
Притисен прекинувач: гушење на филтерот на спроводниот апарат	дигитален	ПП .3
Притисен прекинувач: притисок во кочниците, L1=[MPa]~[MPa]	дигитален, [MPa]	ПП 4.3
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на спроводниот апарат	дигитален	НП 1.3
Термометар: температурата на водата во резервоарот на хидрауличниот агрегат	PT100 0 ~ 100 C	T 1.3
Брзински сензор L4=0 %, L3=30 %, L2=80 %, L1=95 %, H1=130 %,	C 0 ~200 %	БС 1.3
Позиционен сензор: сервомотор на спроводниот апарат	аналоген, од - до [mm]	ПС 1.3
Граничен прекинувач: сигурносна тежина затворено	дигитален	ГП 5.3
Граничен прекинувач: спроводен апарат затворено	дигитален	ГП 6.3
Термометар: температурата на водечкото лежиште H1=[°C], H2=[°C]	PT100 0 ~ 100 [°C]	T 2.3
Термометар: температурата на резервоарот на водечкото лежиште H1=[°C], H2=[°C]	PT100 0 ~ 100 [°C]	T 3.3
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на водечкото лежиште	дигитален	НП 2.3

Табела 5.3: Сензори, мотори и соленоиди на турбинскиот вентил и регулатор

4. Генератор

Опис на сензорот	Тип на сензор диг/ аналог	Ознака (скратеница)
Електромотор на инјектирачката пумпа на потпорното лежиште	[kW]	M 1.4
Притисен прекинувач: притисок во сегментите на потпорното лежиште	дигитален	ПП 1.4

Граничен прекинувач: механичките кочници ослободени	дигитален	ГП 1.4
Термометар: температурата на потпорното лежиште $H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 1.4
Термометар: температурата на резервоарот на потпорното лежиште $H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 2.4
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на водечкото лежиште	дигитален	НП 1.4
Термометар: температурата на горното водечко лежиште $H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 3.4
Термометар: температурата на резервоарот на горното водечко лежиште $H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 4.4
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на горното водечко лежиште	дигитален	НП 2.4
Термометар: температурата на долното водечко лежиште $H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 5.4
Термометар: температурата на резервоарот на долното водечко лежиште $H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 6.4
Ниво прекинувач: ниско ниво на масло во резервоарот на долното водечко лежиште	дигитален	НП 3.4
Термометар: температура на намотките на генераторот $L1, L2, L3 > H1=[^{\circ}C]$, $H2=[^{\circ}C]$	PT100 0 ~ 100 [$^{\circ}C$]	T 7.4

Табела 5.4: Сензори, мотори и солениоди на генератор

5.9 Дефинирање на алгоритми на управување

Придобивките од примена на SCADA системите се многубројни, но како една од главните придобивки се смета автоматизацијата на процесите. Компјутеризираното супервизорно управување овозможува лесно вметнување на алгоритми на управување. SCADA апликацијата за симулација која е прикажана во следните поглавја (поглавје 5.12) следи однапред зададени алгоритми на однесување, слично како и реалните SCADA апликации [21], со цел најрепрезентативно да ги прикаже процесите кои се одвиваат во една хидроцентрала. Поради тоа, во ова поглавје ќе биде даден пример како се дефинира управувачки алгоритам (поглавје 5.9.2), а целосните управувачки алгоритми се дадени во поглавје 8.

5.9.1 Мануелно управување

За да се обезбеди сигурност во работењето, сите електромотори и соленоиди треба да бидат опремени со мануелно управување – копчиња за тестирање (на пример, ако го притиснеш копчето – електромоторот се вклучува, а ако го испуштиш – електромоторот се исклучува).

5.9.2 Пример на алгоритам за управување со турбинскиот вентил

5.9.2.1 Турбински вентил – Почетна состојба

- » Турбински вентил затворен (ГП 1.3 ON и ГП 2.3 OFF).
- » Бајпасот на турбинскиот вентил затворен (ГП 3.3 и ГП 4.3 OFF).
- » Соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил исклучен (С 5.3 OFF).
- » Соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил исклучен (С 6.3 OFF).

5.9.2.2 Бајпас на турбинскиот вентил – Отворање

- » Вклучување на соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил (С 6.3 ON).
- » Бајпасот на турбинскиот вентил отворен за 20 секунди (ГП 4.3 ON), ако не FAILURE – бајпасот на турбинскиот вентил не е отворен.

5.9.2.3 Бајпас на турбинскиот вентил – Затворање

- » Исклучување на соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил (С 6.3 OFF).
- » Бајпасот на турбинскиот вентил затворен за 20 секунди (ГП 3.3 ON), ако не FAILURE – бајпасот на турбинскиот вентил не е затворен.

5.9.2.4 Турбински вентил – Проверка на притисок зад турбински вентил

- » Притисокот зад турбинскиот вентил е присутен за 3 минути (ПП 1.3 ON), ако не FAILURE притисок зад турбинскиот вентил не е присутен.

5.9.2.5 Турбински вентил – Отворање

- » Доколку притисокот зад турбинскиот вентил не е присутен (ПП 1.3 OFF), стартувај го алгоритмот 4.10.3.2 за отворање на бајпасот на турбинскиот вентил и алгоритмот 4.10.3.4 за проверка на притисокот зад турбинскиот вентил.

- » Вклучување на соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил (С 5.3 ON).
- » Отворањето на турбинскиот вентил е во прогрес.
- » Турбинскиот вентил е отворен за 40 секунди (ГП 2.3 ON), ако не FAILURE – турбинскиот вентил не е отворен.
- » Ако бајпасот на турбинскиот вентил е отворен (ГП 4.3 ON), стартувај го алгоритмот 4.10.3.3 за затворање на бајпасот на турбинскиот вентил.

5.9.2.6 Турбински вентил – Затворање

- » Исклучување на соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил (С 5.3 OFF).
- » Затворањето на турбинскиот вентил е во прогрес.
- » Турбинскиот вентил е затворен за 40 секунди (ГП 1.3 ON), ако не FAILURE – турбинскиот вентил не е затворен.

5.10 Изведување равенки потребни за симулациона SCADA програма

Со цел да се направи симулациона SCADA програма, во следните две поглавја е извршена анализа на основните параметри на една хидроцентрала, а потоа се изведени зависности на главните параметри.

5.10.1 Основни параметри на хидроцентрала

Основните податоци за една ХЕЦ потребни да се изработи SCADA програма за симулација на реален систем се дадени Табела 5.5.

Оптимален проток	28,5 m ³ /s
Оптимален напор	81 m
Моќност на турбината при оптимална работа	28 MW
Моќност на генераторот при оптимална работа	31 MVA
Отвореност на спроводниот апарат при оптимална работа	80 %
Максимален проток	37 m ³ /s
Максимален напор	91,7 m
Максимална моќност на турбината	28 MW
Максимална отвореност на спроводен апарат	100 %
Геодетска висина	94,7 m
Дијаметар на притисен цевковод	4,5 m
Должина на притисен цевковод	330 m
Коефициент на загуби низ цевковод	0,0013

Табела 5.5: Основни параметри на ХЕЦ Шпиље

5.10.2 Изведени зависности на основните параметри

Врз основа на лабораториски мерења за големината на протокот и моќноста во зависност од отвореноста на спроводниот апарат, дадени во Табела 5.6, добиени се податоци за реална централа (Табела 5.7).

No	A0	A0 pu	Q [m ³ /s]	Y[J]	P [W]
1	1,8	0,9	0,4843	116,54	46,275
2	1,7	0,85	0,4681	116,87	46,134
3	1,6	0,8	0,4473	116,38	44,799
4	1,5	0,75	0,4277	116,42	43,633
5	1,4	0,7	0,4083	116,73	42,289
6	1,35	0,675	0,3957	115,73	41,062
7	1,3	0,65	0,3875	116,63	40,761
8	1,25	0,625	0,3766	116,69	39,808
9	1,2	0,6	0,3632	115,46	38,266
10	1,15	0,575	0,3534	115,71	37,39
11	1,1	0,55	0,3392	116,31	36,181
12	1,05	0,525	0,3231	116,03	34,341
13	1	0,5	0,3097	116,82	32,822
14	0,9	0,45	0,2806	116,49	29,165
15	0,8	0,4	0,2492	116,01	25,338
16	0,7	0,35	0,2189	114,99	21,554
17	0,6	0,3	0,19	115,91	18,033
18	0,5	0,25	0,16	116,49	13,19

Табела 5.6: Лабораториски мерења за ХЕЦ Шпиље

No	Hp (m)	Hp pu	Qp (m ³ /s)	Qp pu	Pp(MW)	Pp pu	Pp pu %	Qp pu %	A0 pu %
1	75,5	0,797	39,440	1,066	24,54	0,876	87,64	106,59	90
2	75,7	0,799	38,130	1,031	24,448	0,873	87,31	103,05	85
3	75,4	0,796	36,430	0,985	23,729	0,847	84,75	98,46	80
4	75,4	0,796	34,830	0,941	23,102	0,825	82,51	94,14	75
5	75,6	0,798	33,250	0,899	22,385	0,799	79,95	89,86	70
6	75	0,792	32,230	0,871	21,749	0,777	77,68	87,11	67,5
7	75,5	0,797	31,560	0,853	21,569	0,770	77,03	85,30	65
8	75,6	0,798	30,670	0,829	21,082	0,753	75,29	82,89	62,5
9	74,8	0,790	29,590	0,800	20,243	0,723	72,30	79,97	60
10	74,9	0,791	28,780	0,778	19,797	0,707	70,70	77,78	57,5

11	75,3	0,795	27,630	0,747	19,138	0,684	68,35	74,68	55
12	75,1	0,793	26,320	0,711	18,183	0,649	64,94	71,14	52,5
13	75,7	0,799	25,230	0,682	17,366	0,620	62,02	68,19	50
14	75,4	0,796	22,860	0,618	15,436	0,551	55,13	61,78	45
15	75,1	0,793	20,300	0,549	13,417	0,479	47,92	54,86	40
16	74,5	0,787	17,830	0,482	11,419	0,408	40,78	48,19	35
17	75,1	0,793	15,480	0,418	9,564	0,342	34,16	41,84	30
18	75,4	0,796	13,030	0,352	7,022	0,251	25,08	35,22	25

Табела 5.7: Вредности на параметрите за систем прототип изведени од лабораториски мерења на модел систем

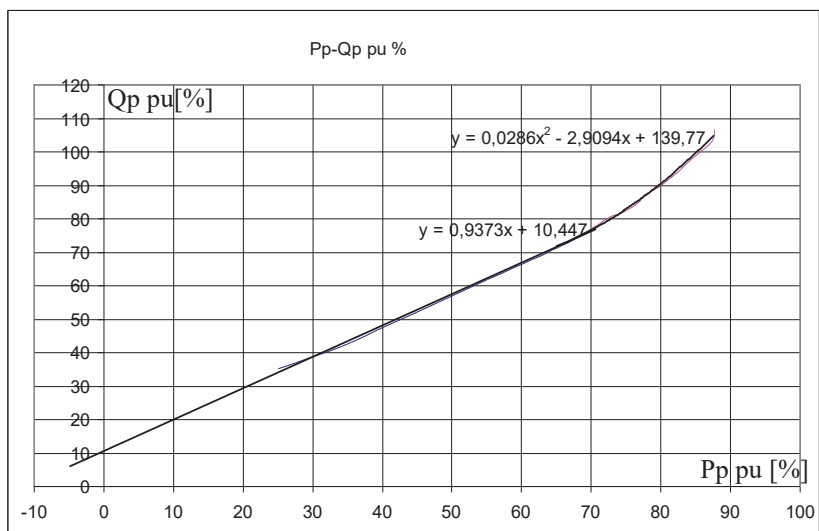
Во Табела 5.7 се дадени и единичните (*per unit*) вредности на големините: H – геодетска висина, P – моќност, A_0 – отвореност на спроводен апарат и Q – проток, кои најчесто се користат при цртањето на графици на зависности. Тие се добиваат со делење на одредена измерена величина при некоја отвореност на спроводниот апарат со максималната. Максимална моќност на турбината е 28 MW , максимален проток е $37\text{ m}^3/\text{s}$ и геодетска висина $94,7\text{ m}$, максимален од на спроводниот апарат е 2 m . Со цел овие вредности да се направат што е можно појасни за отчитување во *SCADA* апликацијата, единичните вредности се претставени во процентуален облик.

Со помош на овие експериментални вредности се направени графици на зависности на протокот и отвореноста на спроводниот апарат од бараната моќност на турбината (Слика 5.27 и Слика 5.28). Од графицице се гледа дека кривата на зависност на експерименталните вредности најдобро се опишува со праволиниската зависност до 70 %, а потоа интерполацијата е направена со крива од втор ред. Добиените равенки на криви од прв и втор ред ќе бидат внесени во програмата и ќе послужат како изворни сигнали за видливи објекти.

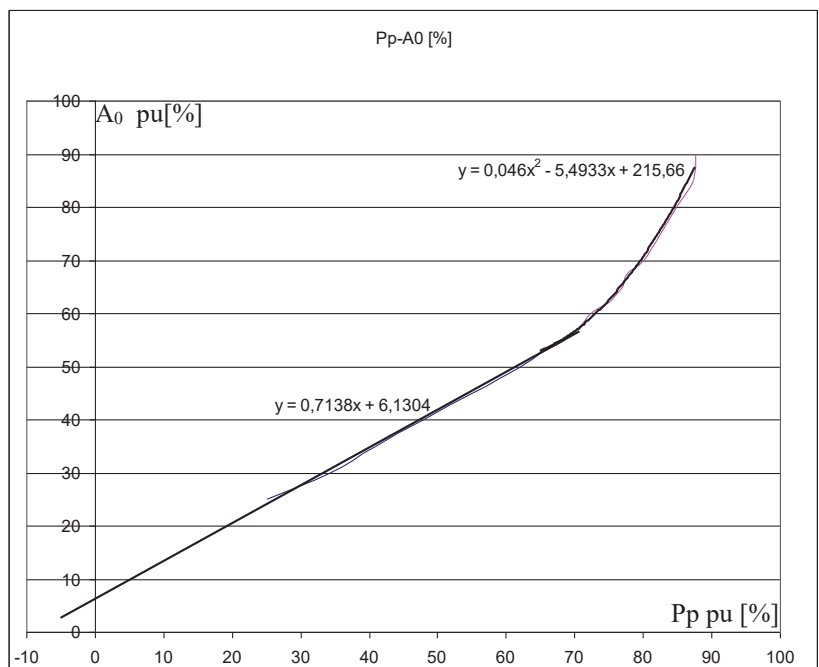
$$\begin{aligned}
 y_{Q_p} &= 0.286x_{P_p}^2 - 2.9094x_{P_p} + 139.77 \\
 y_{Q_p} &= 0.9373x_{P_p} + 10.447 \\
 y_{A_0} &= 0.046x_{P_p}^2 - 5.4933x_{P_p} + 215.66 \\
 y_{A_0} &= 0.7138x_{P_p} + 6.1304
 \end{aligned}$$

(4.8)

Каде што: Y_{Q_p} = проток низ турбина, x_{P_p} = барана моќност на турбината, y_{A_0} = отвореност на спроводниот апарат.



Слика 5.27: Потребен проток во зависност од бараната снага на турбина



Слика 5.28: Потребна отвореност на спроводниот апарат во зависност од бараната снага на турбина

5.11 Изработка и опис на SCADA компјутерска апликација за симулација на систем за управување со ХЕЦ

5.11.1 Структура на SCADA апликација за симулација

Од реалните примери разгледани во претходните поглавја можевме да видиме дека комуникацијата на SCADA апликацијата со PLC е овозможена преку комуникациски сервери на кои се инсталирани драјвери за контролерите (PLC) [21]. Комуникацијата со контролерите се врши преку некој индустриски протокол, како што е индустриски Ethernet (SINEC H1), преку фибер-оптички кабли или, пак, е користен ARCNET протоколот (2.5 Mbit/s) како на Слика 5.22. PLC уредите од другата страна се поврзани со сензори и актуатори од кои во реално време ги добиваат сите податоци и ги испраќаат до SCADA компјутерската апликација. За изработка на SCADA апликацијата може да се користат специјализирани пакети за програмирање на супервизорно управување, но програмата може да се изработи и во некој програмски јазик како што е тоа C++ и др.

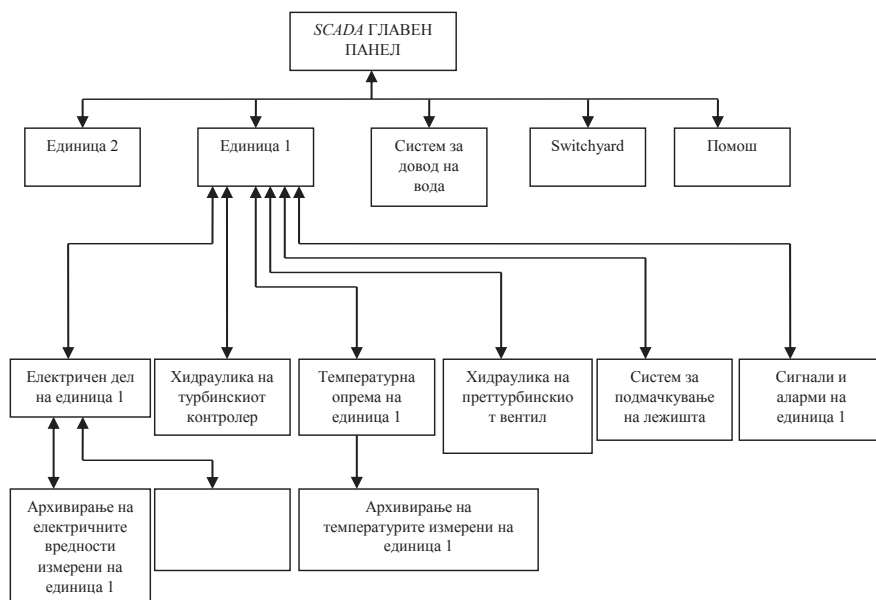
Постојат повеќе специјализирани програми за SCADA програмирање: LOOKOUT (*National instruments*), FIX32 (*Intellution*), ITOUCH (*Wanderware*) итн. За изработка на симулационата програма е одлучено да се користи програмата LOOKOUT на *National Instruments* поради едноставноста на работењето во програмата и големата Web поддршка и помош.

Врз база на извршените анализи и можности е моделирана симулациона SCADA апликација за управување со ХЕЦ, која ја симулира работата на една реална централа и може да служи за анализа на централа. Таа своите податоци не ги аквизира од реален систем, туку од виртуелно креирани објекти: равенки (изрази) на зависности, прекинувачи, потенциометри итн. Зависностите се добиват врз база на мерења извршени на реален систем и се дадени во претходното поглавје (равенки 4.8). Со оваа SCADA апликација за симулација не се опфатени преодните режими и динамичките однесувања на потсистемите. Динамичките однесувања во специјализиран SCADA софтвер тешко се симулираат, па затоа најдобро е да се користи некоја надворешна потпрограма (изработена со друг софтвер, како што е *Matlab*) што би ги симулирала динамичките однесувања на потсистемите (доводниот цевковод, турбината, PID регулаторот) прикажани со равенките 4.4, 4.5, 4.6, и 4.7.

Една типична апликација е составена од затворени логички целини кои ги прикажуваат процесите што се одвиваат во централата. Тие се претставени на посебни контрол панели за супервизорно управување. Една SCADA апликација

за управување со хидроцентрала може да содржи педесетина управувачки панели, а секој од нив претставува дел од управуваниот процес. Структурата на управувањето на SCADA апликацијата е пирамидална. На врвот се наоѓа т.н. главен (*main*) панел кој му ги прикажува основните информации на операторот (под нормални работни услови). Од овој панел операторот може да оди понатаму до панелите кои ги претставуваат турбинските единици. Структурата на SCADA апликацијата е прикажана на Слика 5.29 [41].

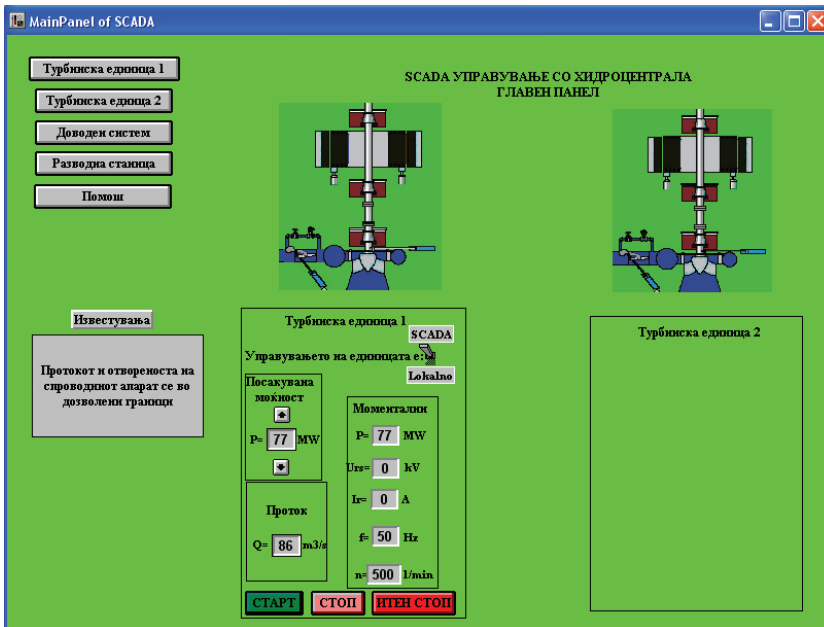
Изработени се три основни панели: главен панел, единичен панел – панел на една турбинска единица, панел на хидрауликата на турбинскиот контролер и неколку помошни панели. Преку овие панели се прикажуваат главните алгоритми на автоматско работење (дадени во поглавје 8) во хидроцентралата: стартување, стопирање и стационарно работење. Исто така, на нив можеме да ги следиме промените на основните параметри во текот на времето при пуштање на постројката во работа (моќноста, протокот, број на вртежи и отвореноста на спроводниот апарат), како и промените на состојбата на одреден број сензори и актуатори (дефинирани во поглавје 5.9.2 и поглавје 8). Програмата дава можност за следење на стационарните промени на основните параметри при промена на некоја од нив од страна на операторот, притоа прикажувајќи реални вредности следејќи ги равенките 4.8.



Слика 5.29: Управувачка структура на SCADA апликација [41]

5.11.2 Главен панел

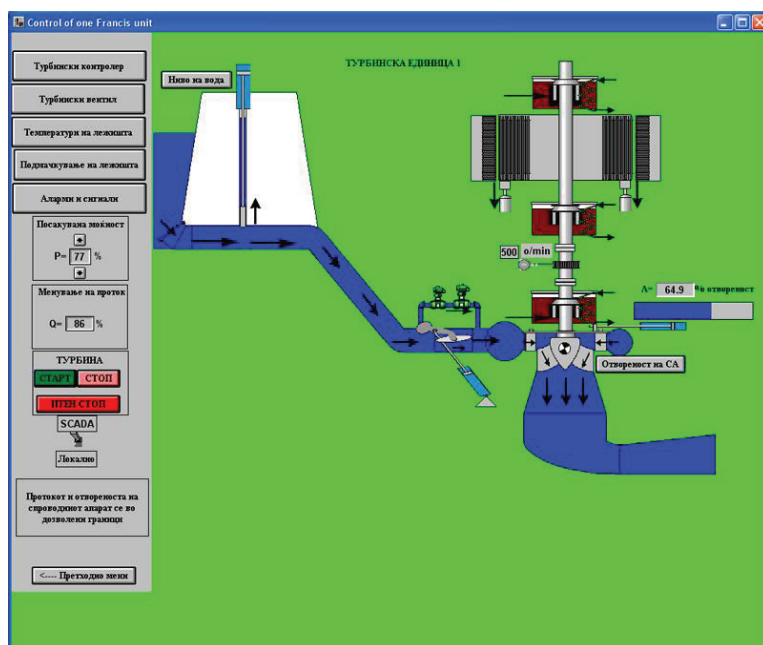
Главниот панел на SCADA апликацијата за симулација претставува врв на апликацијата и влезно пано за другите панели кои ги претставуваат поедините единици и процесите кои тие ги извршуваат. Главното пано е прикажано на Слика 5.30. Со помош на копчиња поставени на горната лева страна се врши селектирање на процесите кои се управуваат. Со притискање на некое од тие копчиња, операторот оди подлабоко во управуваниот процес за да види детали од селектираниот процес. Селектирањето на единиците освен со овие копчиња може да биде и директно со притискање на сликата која ја претставува единицата. На главниот панел се прикажани и основните вредности на променливите кои се важни за работење на единиците. Од овде операторот може да ја стартува работата на единицата со притискање на копчето СТАРТ, да управува со моќноста што треба да се произведе од единицата со зголемување или намалување на вредноста преку потенциометарските стрелки, или, пак, може да ги запре единиците со притискање на копчето СТОП/ИТЕН СТОП. Од главниот панел SCADA апликацијата се разгранува на пет фундаментални гранки на процесот, како што веќе е прикажано на Слика 5.29 до кои се пристапува со копчињата поставени горе лево, но тука е изработен само панелот на турбинската единица 1.



Слика 5.30: Главен панел на SCADA апликацијата за управување со централа

5.11.3 Управувачка структура на една единица

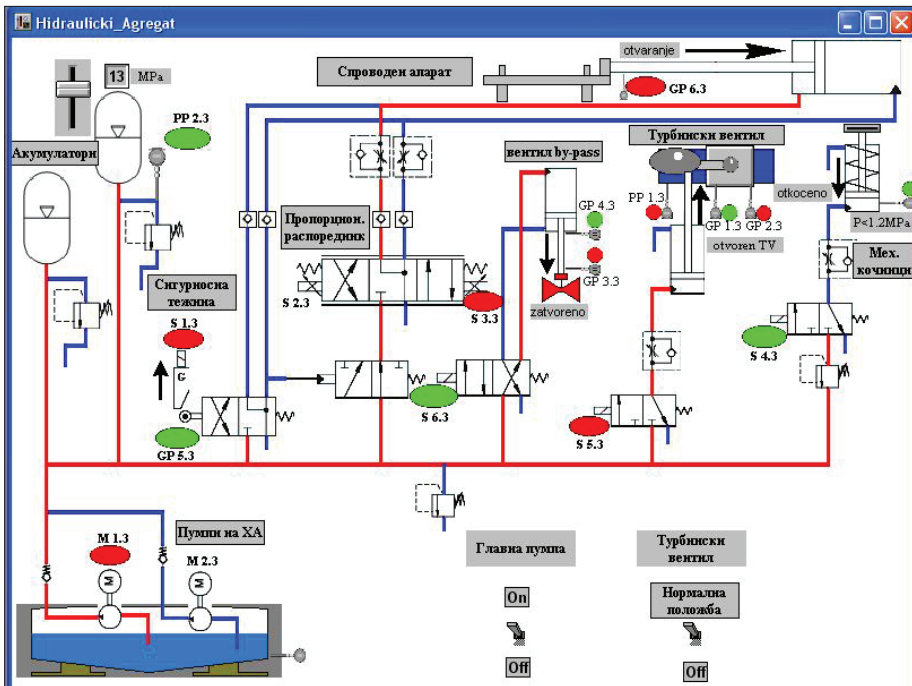
Управувачката структура на една од единиците е дадена на Слика 5.31 каде што е претставен управувачкиот панел на единицата. **Целиот софтвер е изведен на македонски јазик и кирилично писмо.** Одредени делови од процесот се прикажани со графички објекти со цел да му се олесни на операторот при управувањето на процесот. Објектите со нивните анимации и промена на состојбата (на пр., промена на состојбата на вентилите) ги прикажуваат работните состојби на некои од важните делови на таа единица. Доколку е потребно да се оди подлабоко во процесот, тогаш тоа е можно да се направи со притискање на копчињата кои ги активираат посакуваните панели, па операторот може да ги види управувањата кои му се достапни за тој процес и од тоа ново ниво. Исто така, тој од овде може да врши вклучување и исклучување на единицата, менување на начинот на работа на единицата, да се управува со моќноста што треба да се произведе од единицата итн. Единичниот панел се разгранува на пет фундаментални гранки, како што е прикажано на Слика 5.31 до кои се пристапува со копчињата поставени горе лево. Изработен е само панелот на турбинскиот контролер, т.е. неговиот хидрауличен дел прикажан на Слика 5.32 и до него може да се пристапи преку копчето Турбински контролер.



Слика 5.31: Управувачки панел на турбинската единица 1

5.11.4 Управувачка хидраулика на турбинскиот контролер

Со избирање на копчето Турбински контролер од главното мени на една турбинска единица можеме да ја набљудуваме и да ја управуваме работата на турбинскиот контролер. При процесот на запирање и пуштање во работа на единицата можеме јасно да видиме кои елементи се под притисок, кои вентили се отворени а кои затворени, дали на време се отвораат/затвораат, дали го запазуваат редоследот итн., т.е. да видиме дали контролерот функционира според пропишаните алгоритми на работа наведени во поглавјето 8. Тука се прикажани голем број од мерните места, инструменти, актуатори и сервомотори дадени во поглавјето 5.8.1.

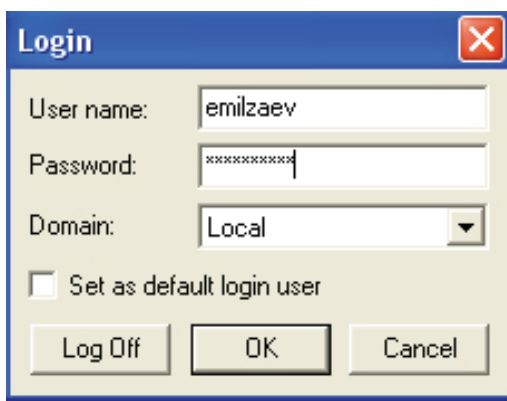


Слика 5.32: Управувачки панел на хидрауличниот агрегат на турбинскиот контролер

Со помош на прекинувачот за главната пумпа можеме да ја вклучиме/исклучиме главната пумпа на хидрауличниот систем или, пак, можеме да извршиме затворање на турбинскиот вентил со прекинувачот за турбински вентил, доколку има итна потреба за исклучување од работа на единицата. Промената на состојбата на одреден елемент: за вклучување на соленоидите на распоредниците, за вклучување на некој прекинувач, за цевка и сад под притисок – се

означуваат со црвена боја, и обратно за исклучување се означуваат со зелена боја, односно цевките кои не се под притисок со сина боја. Со помош на стрелки јасно можеме да ја видиме насоката на движење на сервомоторите. За да му се олесни работата на операторот и за да може полесно да ја следи работата на одредени елементи, кои се од голема важност за операторот, освен што нивната состојба се означува со соодветна боја и со стрелки, на операторот му се нуди и текстуално известување (на македонски јазик, кирилица) за состојбата во која се наоѓаат. На пример, за турбинскиот вентил тој добива известување: ЗАТВОРЕН ТВ – кога вентилот е затворен, ОТВОРАЊЕ НА ТВ – кога вентилот е во фаза на отворање, ОТВОРЕН ТВ – кога вентилот е отворен. Доколку некоја од овие фази не биде извршена во пропишан временски период, тој ќе биде алармиран.

5.12 Презентација на работење и можности на SCADA компјутерска апликација за симулација на ХЕЦ



При вклучување на апликацијата најпрво треба да внесеме корисничко име и лозинка. Во зависност од тоа за кој корисник се работи, дали корисникот е администратор или, пак, некој кој нема право да донесува одлуки туку само да набљудува, апликацијата му доделува соодветно ниво на сигурност, му скратува или му додава можност за менување на параметрите. Понатамошните раз-

гледувања ќе се однесуваат на корисник со администраторски права, т.е. сите можности на апликацијата ќе ни бидат на располагање.

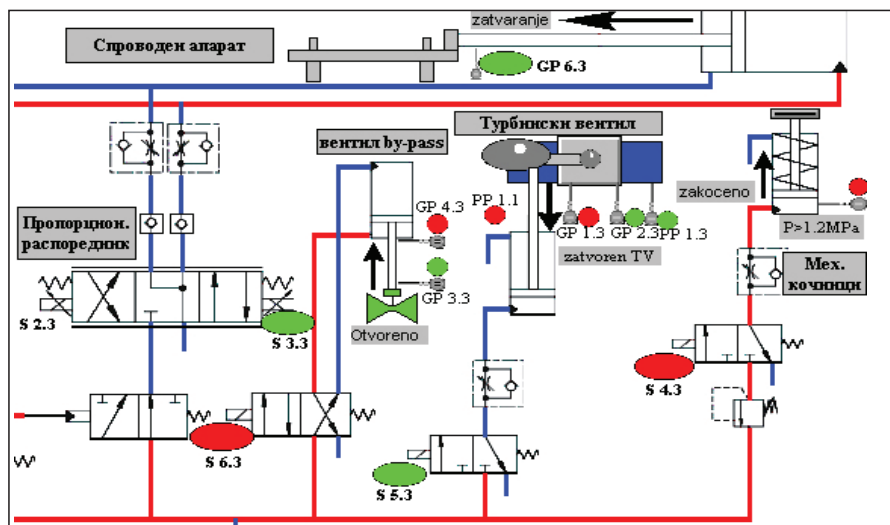
Откако апликацијата ќе се стартува, автоматски ни се отвора прозорецот на главниот панел. Од главниот панел, преку копчињата поставени на горната лева страна можеме да навлеземе во пет потпроцеси на електраната. Тука ни се видливи двете турбински единици, можеме да избереме во каков мод на работење ќе функционираат единиците: рачно или автоматски, можеме да видиме како со менување на посакуваната моќност се менуваат протокот и отвореноста на спроводниот апарат. Тука ни се достапни трите основни команди: СТАРТ, СТОП, ИТЕН СТОП на единиците. Со притискање на копчето Турбинска единица 1, или, пак, со покажување и кликање на самата единица,

целосно ќе ја набљудуваме и ќе ја управуваме работата на единицата 1, т.е. ќе го отвориме паното за управување со турбинската единица 1 (Слика 5.30).

На паното за управување со една турбинска единица видлива ни е постројката од браната па сè до дифузорот на турбината (Слика 5.31). Тука ни се видливи во напречен пресек: горното ниво на акумулацијата, браната, влезната порта, притисниот цевковод, турбинскиот вентил, бајпас цевководот и вентилот, сифонот, дифузорот, спроводниот апарат, турбината, генераторот, лежишта, системот за подмачкување на лежишта, системот за ладење на лежишта, механичките кочници на генераторот итн. опишани во поглавјето 5.1. Исто како и од главното (основно) пано, така и од ова единично пано можеме да извршиме стартување и запирање на една единица, можеме да ги менуваме протокот и отвореноста на спроводниот апарат во зависност од посакуваната снага, можеме да го видиме бројот на вртежи на турбината, можеме да видиме дали некој сервомотор не си ја извршил задачата итн. Оттука можеме да навлеземе подлабоко во поедини процеси и да ја набљудуваме и да ја управуваме работата со поедини елементи. Така, на пример, со притискање на копчето Турбински контролер можеме одблизу да ја набљудуваме работата на хидрауличниот агрегат за турбинската единица.

На почетокот целата постројка е во состојба на мирување. Доколку се наоѓаме во автоматскиот мод на работење, со притискање на копчето СТАРТ, единицата отпочнува со работење и отпочнуваат да се извршуваат алгоритмите на СТАРТУВАЊЕ опишани во поглавје 8.1.11:

- » Најпрво се подига влезната порта и отпочнува полнењето на притисниот цевковод. Полнењето на цевководот во оваа апликација се извршува за 30 секунди (на реален систем му требаат неколку минути). Кога сензорите за притисок во притисниот цевковод ќе дадат сигнал за постигнат притисок пред турбинскиот вентил (ПП1.1 ON), се вклучува главната пумпа на хидрауличниот агрегат на турбинската единица (M1.3) и после 5 секунди се постигнува потребниот притисок во хидрауличниот систем. Работата на хидрауличниот систем на турбинскиот контролер може да се набљудува на посебно пано за хидрауличниот агрегат, Слика 5.32.
- » После 35 секунди, може да отпочне отворањето на бајпасот на турбинскиот вентил (се вклучува соленоидот Сб.3 на распоредникот на бајпасот, т.е. поцрвенува), кое трае 10 секунди после што треба да добиеме сигнал од ГП 4.3 дека бајпасот е отворен, Слика 5.33 (тој се активира и ја менува бојата од зелена во црвена).



Слика 5.33: Состојба на вентилите и соленидите во четириесет и петтата секунда

- » Од моментот кога солениодот С6.3 ќе се вклучи на распоредникот на байпасот, па сè до изедначување на притисокот пред и после турбинскиот вентил, изминуваат 90 секунди, после што се вклучува притисниот прекинувач ПП1.3 (во апликацијата станува црвен).
- » Условите за да се отпочне со отворање на турбинскиот вентил се исполнуваат за 125 секунди, после кои се вклучува солениодот С5.3 на турбинскиот распоредник и започнува отворањето на турбинскиот вентил. Отворањето на турбинскиот вентил трае 20 секунди, после кои би требало да добиеме сигнал од ГП2.3 дека турбинскиот вентил е отворен (во апликацијата најпрво солениодот С5.3, а после 20 секунди и ГП2.3 поцрвенуваат, а операторот добива и текстуално известување за состојбата на вентилот).
- » Откако ќе се отвори турбинскиот вентил, започнува процесот на затворање на вентилот на байпасот, солениодот С6.3 се исклучува (станува зелен), а после 10 секунди вентилот на байпасот е затворен (ГП3.3 ОН-поцрвенува).
- » После изминати 146 секунди е потребно да се отвори и вентилот на водниот систем за ладење на маслото за подмачкување на лежиштата.
- » Механичките кочници започнуваат да се ослободуваат од притисок после изминати 147 секунди од почетокот на стартниот алгоритам, со исклучување на солениодот С4.3 (кој до тоа време бил вклучен). Прити-

- сокот во сервомоторот на кочниците треба да се ослободи за 30 секунди (ПП4.3 OFF-позеленува), по што роторот на турбината е слободен и може да се врти (изминати се 177 секунди од почетокот на алгоритамот).
- » Системот за подмачкување се иницира во 178 секунда, со вклучување на инјектирачката пумпа на потпорното лежиште.
 - » Отворањето на спроводниот апарат започнува со подигање на сигурносната тежина (се вклучува соленоидот С1.3 кој ја подига за една секунда) во 180 секунда.
 - » Во 180 секунда се вклучува регулаторот на брзина. Управувањето со брзината има повеќе задачи: при стартување на единицата да ја донесе брзината на номинална и да ја следи референтно зададената, во изолирана работа на турбината, управувачот со брзина треба да ги компензира оптоварувањата. Параметрите на контролерот се разликуваат во зависност од модовите на работа со цел да се постигнат оптимални работни квалитети. Задачата на управувањето со активната моќност е да ја контролира електричната моќност кога единицата е поврзана на мрежа. *PID* регулатор се користи при подигање на турбината на називната брзина, т.е. при изолирана работа. *PI* регулатор може да се користи при работа на агрегатот во мрежа.
 - » Регулаторот треба да овозможи отворање на спроводниот апарат со брзина од 3 % во секунда. Тоа значи дека за да се отвори спроводниот апарат 80 % (работна отвореност) потребни се минимум 27 секунди.
 - » Единицата ќе ја постигне називната брзина на вртење (во нашиот случај 500 вртежи во минута) за 210 секунди, по што може да настапи поврзување на единицата на мрежа.

Сета оваа редоследна логика можеме да ја видиме на единичниот панел и на панелот на хидрауличниот агрегат на турбинскиот регулатор. Од главниот панел и од единичниот панел можеме да извршиме поставување на посакувана моќност на турбината. Врз основа на извршени лабораториски мерења за модел турбина на турбината Шпиље се добиени равенки (поглавје 5.10.2) според кои со поставување одредена вредност на моќноста можеме да видиме колкав ќе биде протокот и отвореноста на спроводниот апарат на реалниот систем. Сето тоа е вметнато во процентуален облик во апликацијата. Од единичниот панел можеме да извршиме влегување во неколку други панели, на пример, панел за менување на нивото на водата во горниот резервоар, панел за рачно менување на отвореноста на спроводниот апарат итн.

5.12.1 Поврзување на контролните објекти (видливи слики) со изразите на зависности (влезни сигнали)

Она што е специфично за овде изведената SCADA апликација е тоа што таа нема допир со реален систем. Сите делови на реалниот систем кој е претставен се изведуваат со виртуелни објекти. Објектите меѓусебно се поврзуваат со изрази на зависности (*expressions*) и функционираат врз база на однапред дефинирани алгоритми. Објекти кои создаваат контролни (излезни) сигнали можат да бидат: потенциометри, прекинувачи, притисни копчиња итн. Овие сигнали претставуваат влезови во изразите на зависности кои својот видлив излез можат да го претстават во неколку облици: нумерички (со бројки), логички (со некој графички приказ) или, пак, текстуален. На тој начин се врши програмирање на апликацијата. Овие изрази на зависности понекогаш знаат да бидат многу сложени. Еден таков израз е изразот со кој се дава зависноста на протокот од посакуваната снага (равенки 4.8):

***if(Switch3On_Off_na_SA_racno_upravanje,-0.0061*Pot1OtvorenostNaSA^2+
+1.8167*Pot1OtvorenostNaSA-7.1553,if(\\.\MainPanel\Pot1BaranaSnaga
<70,0.94*(\\.\MainPanel\Pot1BaranaSnaga)+10.447,0.0286*(\\.\MainPanel\
Pot1BaranaSnaga)^2-2.9*(\\.\MainPanel\Pot1BaranaSnaga)+139.77))***

Излезот од овој израз е нумерички, а тој се формира според полиномски израз врз база на следниве влезни сигнали: логичкиот излез од прекинувачот со кој се дефинира функционирањето на спроводниот апарат, потенциометарот на спроводниот апарат и потенциометрот на бараната снага.



6

**Системи за континуиран
мониторинг на квалитетот
на површинските води**

6 Системи за континуиран мониторинг на квалитетот на површинските води

Преглед

Со цел да можеме да го прикажеме квалитетот на површинските води на начин кој е разбирлив за широките народни маси, а на база на мерења кои се прават на лице место најчесто се користи индекс за квалитет на вода (water quality index (WQI)) [52]. Во ова поглавје е даден начин на развој на еден таков индекс, како и систем за мониторинг и управување кој се користи при мерењата. Индексот служи за реално-временско одредување на квалитетот на водата и е развиен од страна на Институтот за идраулично инженерство и автоматика на Машинскиот факултет – Скопје, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје. Реално-временското одредување на квалитетот побарува користење параметри кои можат да се мерат во реално време.

6.1 Индекс за квалитет на вода – Вовед

Квалитетот на водата вообичаено се дефинира со анализа на физичките, хемиските и биолошките карактеристики на водата. Политичарите и менаџерите кои имаат власт да донесуваат одлуки вообичаено немаат доволно обука за да ги разберат традиционалните стручни прегледи на податоците за квалитетот на водата. Индексот на квалитетот на водата има за цел да даде оценка за квалитетот на водата изразена во само една бројка, редуцирајќи ги сите параметри за квалитет на вода во еден едноставен индекс-број, со што се овозможува лесно толкување на податоците кои се мониторираат. Стручните луѓе кои професионално се грижат за квалитетот на вода се спротивставуваат на прикажување на квалитетот на водата според единствени индекси и има многу причини резултатите за квалитет на вода добиени преку индекс да се користат со претпазливост. Професионалците за квалитет на вода обично претпочитаат да не даваат одговор отколку да дадат несовршен одговор што може да доведе до недоразбирање. Употребата на индекс можеби не е најдобриот начин да се разбере големата слика за квалитетот на вода, но за многумина тоа е единствениот начин. Имајќи ги предвид претходните дискусии, *WQI* мора да се користи претпазливо, земајќи предвид дека *WQI* има ограничувања. Со

други зборови, *WQI* сумира големи количини на податоци за квалитетот на водата во едноставни термини (на пример, квалитетот е одличен, добар, лош, итн.) и се користи заради известување на јавноста и менаџментот на разбирлив и едноставен начин, но треба да се користи со претпазливост и да се има предвид дека ваквиот начин има ограничувања и недостатоци.

Формулирани се бројни индекси за квалитет на вода низ целиот свет. Такви примери се Индексот за квалитет на вода на Националната фондација за санитација на САД (*NSFWQI*), Канадскиот совет на министри за индекс на квалитет на вода во животната средина (*CCMEWQI*) [60], Индексот на квалитет на вода во Орегон (*OWQI*) [55] и Индексот на квалитетот на водата во Малезија [82]. **Овие индекси се засноваат на споредба на измерените вредности на параметрите за квалитетот на водата со оние вредности кои се дефинирани од регулаторните стандарди и даваат оценка за квалитетот на водата изразена во една бројка, една единствена вредност со која се претставува квалитетот на водата, слично на тоа како што се претставува квалитетот на воздухот.** Нивната математичка структура, множеството параметри, пресметката и формулите за агрегација се различни.

За да се направи пресметка и прикажување на *WQI* во реално време, за разлика од обичниот *WQI* кој се пресметува според потреба откако ќе се стават на располагање сите параметри, освен опрема за мерење, потребна е дополнителна опрема за кондиционирање, складирање и пресметување на податоците. Погоден систем за ова е *SCADA* системот. Системот за надзорно управување и аквизиција на податоци *SCADA* може да се користи на тој начин што сите податоци ќе бидат собирани од инструментите за мерење и ќе бидат испраќани на сервер во централната мониторинг станица каде што ќе се вршат пресметките. Кај *SCADA* системот, кој се опишува овде, сите сигнали од сензорите прво се кондиционираат со употреба на *PLC*, потоа се зачувуваат во локален компјутер кој е сместен на самото мерно место, а потоа се испраќаат до серверот кој е сместен на далечна локација. Локалниот компјутер, како и серверот, имаат можност за пресметување на реално временски *RT WQI*.

Дефинирање на квалитетот на површинските води и некои стандарди за површинските води се дадени во поглавје 6.2. Горенаведените *WQI* се анализирани во поглавјето 6.3. Развиен е и Македонски реално-временски индекс за следење на квалитетот на водата во реките во реално време, даден во поглавјето 6.4. Автоматските фиксни и преносни станици за следење на квалитетот на водата во реално време на речните води се опишани во поглавје 6.5. *SCADA* системот е даден во поглавјето 6.5.2. Заклучоците се дадени во поглавје 6.5.2.5.

6.2 Квалитет и стандарди за површинска вода

6.2.1 Квалитет на површинските води

За да го изразиме квалитетот на површинските води со општи термини, се користат мерливи параметри со цел да се опишат физичките, хемиските и биолошките својства на водата.

1. Физички мерења

Физичките мерења се однесуваат на мерење на температура на водата, длабочина, проток и заматеност. Сите овие параметри се користат при анализата на начинот на транспортирање и мешање на загадувачите во водната средина и влијаат на барањата за создавање живеалишта за риби и други водни живи животни. На пример, многу риби имаат многу специфични температурни барања и не можат да толерираат премногу топла вода.

2. Биолошки и хемиски мерења

Повеќето хемиски тестови на водата ја мерат концентрацијата на одредена хемикалија во водата, дефинирана како милиграми хемикалија на литар вода (mg/l). Хемиските и биолошките параметри може да се класифицираат во две групи. Првата група ја сочинуваат основните параметри кои се мерат во скоро сите студии. Втората група ја сочинуваат дополнителните параметри важни за специфичниот проблем (нафтени производи, метали, индустриски хемикалии, пестициди и хербициди). Следниве основни параметри се мерат во скоро сите студии:

Растворен кислород (анг. *DO- Dissolved Oxygen*): Растворен кислород е параметар со кој се мери концентрацијата на кислород растворен во вода, изразен во милиграми кислород на литар вода (mg/l). *DO* е важен параметар со кој се мери колку одредена вода е здрава за живот, бидејќи организмите кои живеат во вода го добиваат целиот кислород од водата. Здравите води обично имаат нивоа на *DO* од 8 mg/l или повисоко.

Биолошка потреба од кислород (БПК или анг. *BOD- Biological Oxygen Demand*): Со БПК се мери колку кислород трошат бактериите додека ги распаѓаат загадувањето и органските материји во водата. Се мери со набљудување на тоа колку се намалува нивото на растворен кислород во затворен примерок на вода во период од 5 дена.

Колиформни бактерии: Колиформни бактерии се бактерии кои растат во дигестивниот тракт на луѓето и другите топлокрвни животни и укажуваат на присуство на вода од канализација и други извори на фекално загадување. Тие се мерат со броење на бројот на бактериски колонии кои растат во примерок од 100 милилитри вода (# / 100 ml). Извори на загадувачи со колиформни бактерии на површинските води се разни типови на отпадни води кои се испуштаат директно во реките и езерата, но, исто така, површинските води се загадуваат и со испуштање вода од септички јами на луѓе и домашни животни, како и од дивниот животински свет. Така, на пример, доколку бројот на колиформни бактерии е поголем од 200 # / 100 ml се смета дека водата не е безбедна за пливање.

Нитрат (NO_3) и фосфат (PO_4): Нитратите и фосфатите се хранливи материи кои доаѓаат и од природни извори и од човечки активности (ѓубрива, детергенти, отпадни води). Овие хранливи материи ја одредуваат продуктивноста на водата и до некаде се потребни за да се обезбеди добро водно живеалиште. Сепак, загадувањето со ѓубриво, детергенти и отпадна вода може да предизвика прекумерно присуство на хранливи материи. Премногу нитрат или фосфат предизвикува алгите да растат неконтролирано, намалувајќи ја светлината и кислородот за рибите.

pH: pH е мерка за киселост на водата и е важна за разбирање на хемискиот биланс на водата. Скалата за pH има опсег од 1 до 14, при што 7 е неутрална вредност, додека вредностите под 7 укажуваат на кисела состојба, а над 7 базична состојба. pH е силен показател за растворливоста и достапноста, како на хранливите материи така и на загадувачите. Повеќето природни води имаат pH вредност близу 7, во зависност од локалната геохемија. Во таквите води многу ниска pH вредност (помалку од околу 6) може да укажува на посебни услови како, на пример, присуство на кисел дожд, индустриски загадувачи или отпадни води од рудник.

3. Биолошки индикатори

Нашето разбирање за потребите на водниот жив свет е нецелосно, а хемиското тестирање на вода не ни кажува сè за тоа дали одредено водно тело е соодветно за живеалиште. Алтернативен пристап е да се измери изобилството, разновидноста и здравјето на различни видови водни растенија и животни. Потоа, овие податоци се анализираат за да се добие индикатор за квалитетот на водата.

Наједноставниот биолошки пристап е тестирање за токсичност. Ова вклучува поставување група на мали животни во примерок од вода и набудување колку умираат или се разболуваат. Ова најчесто се прави со водени болви и мали риби. Тестирањето на токсичност обезбедува корисни, но тешко разбирливи податоци. Условите во лабораторискиот примерок се доста различни од теренските услови, а на крајот од тестот се знае само дали животното умрело, но не се знае што го убило. Сепак, тестирањето за токсичност е корисна проверка на резултатите од хемиските испитувања, особено ако има токсичен загадувач во водата што не е вклучен во хемиската анализа на водата.

Друг биолошки пристап е да се измерат броевите и видовите на макробезрбетници пронајдени во водата на некоја река или поток. Макробезрбетници се водни инсекти, ларви на инсекти, ракови и други помали животни кои својот живот го поминуваат во вода. Знаеме дека различни видови безрбетници можат да толерираат различни нивоа на загадување на водата и ова знаење може да се искористи за да се измери квалитетот на водата. На пример, вода што има многу ларви од пролетници и ларви од едnodневки би имала многу висок квалитет на вода, додека вода што има само газиводи и водни полжави има слаб квалитет на вода. Исто како и тестот за токсичност, и овој метод не кажува зошто се присутни или отсутни одредени водни животни, но може да помогне да се идентификуваат проблеми и да предизвика потреба од понатамошни хемиски и други испитувања.

6.2.2 Македонски стандарди за квалитет на вода

Основен законски пропис со кој е уредена оваа област води е Законот за водите („Службен весник на РМ“ бр. 87/08, 6/09, 161/09, 83/10, 51/11, 44/12, 23/13 и 163/13) и подзаконските акти донесени врз основа на Законот за води. Законот за водите е рамковен закон кој ги регулира основните принципи и начела за управување со водните ресурси. Овој закон ги опфаќа прашањата кои се однесуваат на површинските води, вклучувајќи ги и постојаните водотеци или водотеците во кои повремено тече вода, езерата, акумулациите и изворите, подземните води, крајбрежното земјиште и водните живеалишта и нивното управување, вклучувајќи ги и распределбата на водите, заштитата и зачувувањето на водите, како и заштитата од штетното дејство на водите; водостопанските објекти и услуги; организациската поставеност и финансирањето на управувањето со водите, како и условите, начинот и постапките под кои можат да се користат или да се испуштаат водите.

Уредбата за категоризација на водотеците, езерата, акумулациите и водните ресурси (Службен весник на РМ од 31 март 1999 бр.18 - стр. 1165) го утврдува квалитетот на водата според посебните класи на вода во водните тела, езерата, акумулациите и подземните водни ресурси. Според оваа Уредба, постојат 5 класи на вода. **Ова е особено погодно за поедноставено прикажување на резултатите од реално-временските мерења. Поради тоа оваа класификација ќе биде користена како основа за приказ на квалитетот на површинските води во форма на Индекс за квалитетот на вода.** Заради поедноставен преглед на класите, нивен краток опис, целосен опис и за што може да се користат е дадена во форма на табела.

Класа	Краток опис	Опис	За што може да се користи:
I Класа (прва класа)	Многу чиста	Класа многу чиста, олиготрофична вода, која во природна состојба со евентуална дезинфекција може да се употребува за пиење и за производство и преработка на прехранбени производи и претставува подлога за мрестење и одгледување благородни видови на риби - салмониди. Пуферниот капацитет на водата е многу добар. Постојано е заситена со кислород, со ниска содржина на нутриенти и бактерии, содржи многу мало, случајно антропогено загадување со органски материи (но не и неоргански материи);	- за пиење, - за производство и преработка на прехранбени производи - подлога за мрестење и одгледување благородни видови на риби - салмониди
II класа (втора класа)	Малку загадена (мезотрофична вода)	Класа малку загадена, мезотрофична вода, која во природна состојба може да се употребува за капење и рекреација, за спортови на вода, за одгледување други видови риби (циприниди), или која со вообичаени методи на обработка - кондиционирање (коагулација, филтрација, дезинфекција и слично), може да се употребува за пиење и за производство и преработка на прехранбени производи. Пуферниот капацитет и заситеноста на водата со кислород, низ целата година, се добри. Присутното оптоварување може да доведе до незначително зголемување на примарната продуктивност;	- за капење и рекреација, - за спортови на вода, - за одгледување други видови риби (циприниди), - за добивање питка вода доколку се прочисти со вообичаени методи на обработка (коагулација, филтрација, дезинфекција и слично),

III класа (трета класа)	Умерено еутрофична (Умерено загадена)	Класа умерено еутрофична вода, која во природна состојба може да се употребува за наводнување, а по вообичаените методи на обработка (кондиционирање) и во индустријата на која не ѝ е потребна вода со квалитет за пиење. Пуферниот капацитет е слаб, но ја задржува киселоста на водата на нивоа кои сè уште се погодни за повеќето риби. Во хиполимнионот повремено може да се јави недостиг на кислород. Нивото на примарната продукција е значајно, и може да се забележат некои промени во структурата на заедницата, вклучувајќи ги и видовите на риби. Евидентно е оптоварување од штетни супстанции и микробиолошко загадување. Концентрацијата на штетните супстанции варира од природни нивоа до нивоа на хронична токсичност за водениот живот.	- за наводнување, - по вообичаените методи на обработка (кондиционирање) и во индустријата на која не и е потребна вода со квалитет за пиење.
----------------------------	--	---	--

IV класа (четврта класа)	Силно еутрофична (Загадена вода)	Класа силно еутрофична, загадена вода, која во природна состојба може да се употребува за други намени, само по одредена обработка. Пуферниот капацитет е пречекорен, што доведува до поголеми нивоа на киселост, а што се одразува на развојот на подмладокот. Во епилимнионот се јавува презаситеност со кислород, а во хиполимнионот се јавува кислороден недостиг. Присутно е „цветање“ на алги. Зголеменото разложување на органски материи, истовремено со стратификацијата на водата, може да повлече анаеробни услови и убивање на рибите. Масовни седишта на толерантни видови, популации на риби и бентосни организми, може да бидат погодени. Микробиолошкото загадување не дозволува оваа вода да се користи за рекреација, а штетните супстанции испуштени или ослободени од талогот (седиментот - наслагите), може да влијаат на квалитетот на водениот живот. Концентрацијата на штетни супстанции може да варира од нивоа на хронична до акутна токсичност за водениот живот;	- не смее да се користи за пиење или рекреација - може да се употребува за други намени, само по одредена обработка.
-----------------------------	---	---	---

V класа (петта класа)	Многу загадена	Класа многу загадена, хипертрофична вода, која во природна состојба не може да се употребува за ниедна намена. Водата е без пуферен капацитет и нејзината киселост е штетна за многу видови на риби. Големи проблеми се јавуваат во кислородниот режим, презаситеност во епилимнионот и сиромашност со кислород, која доведува до анаеробни услови, во хиполимнионот. Разложувачите се доминантно застапени во однос на произведувачите. Риби или бентосни видови не се јавуваат постојано. Концентрацијата на штетни супстанции ги надминува акутните нивоа на токсичност за водениот живот.	- не може да се употребува за ниедна намена
-----------------------------	-------------------	---	---

Табела 6.1: Класификација на водните површини

Од Уредбата за категоризација на водотеците, езерата, акумулациите и водните ресурси (1999) се отчитани и се прикажани табеларно (Табела 6.2) граничните вредности на одредени параметри кои би можеле да се користат при одредувањето на Индексот за квалитет на вода.

	Единица	I класа	II класа	III класа	IV класа	V класа
DO	mg/l	>8	6-8	4-6	3-4	<3
Ph		6,5-8,5	6,3-6,5	6-6,3	5,3-6	<5,3
TSS	mg/l	<10	10-30	30-60	60-100	>100
Заматеност	NTU	<0,5	0,5-1	1.1-3	>3	>3
COD	mg/l	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	>20
BOD	mg/l	<2	2-4	4-7	7-15	>15
NH ₄	mg/l	0,02	0,02	0,5	0,5	>0,5
TP	mg/l	<0,004	0,004-0,007	0,007-0,01	0,01-0,05	>0,05
NO ₃	mg/l	10	10	15	15	>15

Табела 6.2: Гранични вредности на одредени параметри според класата на водата

6.3 Анализа на индекси за квалитет на вода кои постојат во светот

Со цел правилно да се идентификуваат параметрите што ќе бидат вклучени во македонската верзија на Индексот за квалитет на вода (македонски *WQI*) во следното поглавје е направена анализа на најрепрезентативните *WQI*.

6.3.1 Индекс за квалитет на вода на американската национална фондација за санитација (*NSFWQI*)

Во раните 70-ти години на минатиот век, Американската националната фондација за санитација (*National Sanitation Foundation*), во соработка со над 100 експерти за квалитет на вода, изработила стандарден индекс за мерење на квалитетот на водата. Овој индекс, познат како Индекс за квалитет на вода или *WQI*, се состои од девет параметри за да се утврди квалитетот на водата. Овие девет параметри се: температура, рН, заматеност, вкупни цврсти материи, растворен кислород, биохемиска побарувачка на кислород, фосфати, нитрат и фекални колиформни бактерии. Вредноста на квалитетот на водата (или *Q*-вредноста) што одговара на добиените податоци од мерењето се одредува од табела (или графикон) за секој од деветте параметри. Откако ќе се утврди *Q*-вредноста за соодветниот параметар, таа вредност се множи со соодветен тежински фактор. Тежинските фактори на параметрите се одредени според нивната релативна важност за целокупниот квалитет на водата. Резултантните вредности за сите девет параметри се собираат и се користат за да се измери здравјето на изворот на водата користејќи ги следниве изрази за квалитет на вода: одлична, добра, средна (просечна), слаба, лоша.

Индексот на квалитетот на водата на Националната фондација за санитација (*NSFWQI*) е најпочитуваниот и најкористениот индекс за квалитет на вода во САД. Сепак, овој Индекс е критикуван затоа што не го претставува соодветно квалитетот на водата во сите области на САД. Структурата на Индексот е базирана на „Една големина што одговара на сите“ предизвикува да се занемарат некои регионални проблеми со квалитетот на водата кои не се земаат при одредувањето на вкупната вредност на индексот.

Така во Ајова, *WQI* се пресметува со употреба на осум вообичаени параметри за квалитетот на водата (растворен кислород, фекални колиформни бактерии, рН, 5-дневен БПК, вкупен фосфор, нитрат-азот, заматеност и вкупно растворени цврсти материи). Вредностите се движат од 0 до 100, а реките се класифицираат како лоши (0-25), слаби (25-50), средни (50-70), добри (70-90) или одлични (90-100).

Најголем недостаток на овој Индекс за квалитет на вода е во тоа што тој не забележува кога некој фактор има екстремно ниска вредност.

6.3.2 Индекс на квалитет на вода кој се употребува во Орегон, САД (*OWQI*)

Орегонскиот Индексот за квалитет на вода (*OWQI*) е единствен број што го изразува квалитетот на водата со интегрирање на мерењата на осум параметри на квалитетот на водата (температура, растворен кислород, биохемиска побарувачка на кислород, pH, амонијак + нитрат азот, вкупен фосфор, вкупни цврсти материи и фекални колиформни бактерии). Неговата цел е да обезбеди едноставен и концизен метод за изразување на квалитетот на амбиенталната вода на површинските води во Орегон кои можат да се користат за општа рекреативна употреба, вклучувајќи риболов и пливање. Индексот им овозможува на корисниците лесно да ги толкуваат податоците. *OWQI* го подобрува разбирањето на општите проблеми со квалитетот на водата, комуницира статус на квалитет на вода и иницира потреба за заштитни мерки. *OWQI*, првично е развиен во 70-тите години на минатиот век, а е ажуриран подоцна врз основа на подобро разбирање за однесувањето на квалитетот на водата. Оригиналниот *OWQI* е моделиран според *NSF WQI*. И двата индекси користат логаритамски трансформации за да ги претворат резултатите од квалитетот на водата во вредности на подиндекси. Логаритамските прикази се добри бидејќи работат на тој начин што промената во големината на пониските нивоа на загадување има поголемо влијание од еднаквата промена на големината на повисоките нивоа на загадување. Модификацијата на оригиналниот индекс е направена на следниов начин:

1. Оригиналниот *OWQI* користел аритметичка средна функција,
2. *NSF WQI* користел геометриска средна функција,
3. Уште поголемо подобрување на резултатите може да се постигне доколку се користи формулата за хармонична коренова средна вредност, како метод за агрегирање на резултатите од подиндексот. Оваа формула овозможува да се земе предвид најоштетената променлива на тој начин што таа ќе има најголемо влијание врз индексот на квалитет на водата и овозможува различните променливи на квалитетот на водата да имаат различно значење за целокупниот квалитет на водата во различно време и локација.

6.3.3 Индекс за квалитет на вода на канадски совет на министри за животна средина (*CCME WQI*)

Индекс за квалитет на вода (*WQI*) на Канадски совет на министри за животна средина (*Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME*) функционира на поинаков начин од претходно разгледуваниот *NSF WQI*. Како потсетување, *NSF*

WQI функционира на тој начин што ги нормализира измерените вредности на параметрите со користење на стандардни криви, додека, пак, канадскиот Индекс ги споредува измерените параметри со нивни репер вредности, каде што како репер може да се земат вредности од стандардите за квалитет на вода или, пак, некоја специфична концентрација на соодветната локација. Ова му дава предност на канадскиот Индекс, бидејќи со мали измени може да се приспособи да биде употребуван во различни земји и подрачја. За да се категоризира квалитетот на водата со помош на канадскиот индекс, предложени се четири категории: одличен, добар, слаб и лош.

CCME Индексот за квалитет на вода (*WQI*), како и сите останати индекси за квалитет на вода, не е наменет за да ја замени детална анализа на податоците за мониторинг на животната средина, ниту, пак, треба да се користи како единствена алатка за управување со водни тела [60]. Тој обезбедува општ преглед на еколошките карактеристики на водата. Предностите на индексите за квалитет на вода е во тоа што тие овозможуваат претставување на низа мерења на различни параметри со еден единствен број, можност за комбинирање на повеќе мерења кои секои посебно се изразени во различни мерни единици во една единствена метрика и олеснување на комуникацијата на резултатите. Недостатоците на индексите вклучуваат губење на информации за поединечните измерени параметри, губење на информации за интеракции помеѓу параметрите и недостаток на преносливост на индексот за различни типови на екосистеми. *CCME WQI* не е наменети за замена на деталната проценка на квалитетот на водата кој се добива со конвенционални методи за проценка на квалитетот на водата, туку *WQI* им овозможува на не стручњаците да ги разберат податоците при мерењата на квалитет на водата. Бројот произведен од Индексот овозможува измерениот квалитет на водата на едно место да може да се спореди со измерениот квалитет на водата на друго место. Притоа, податоците кои се добиваат од *WQI* за измерените вредности на квалитетот на вода не треба да се користат при носење одлуки дали одреден воден тек треба да се прочистува или не, туку тие се индикација дека е потребна понатамошна истрага за потенцијални проблеми.

Индексот на квалитетот на водата (*WQI*) на Канадскиот совет на министри за животна средина (*CCME*) овозможува да се оцени квалитетот на површинските води заради заштита на водниот жив свет (на пример, риби, школки и растенија) со користење специфични упатства. Така, на пример, во Канада до 2005 година се поставени 345 станици за земање примероци лоцирани во Јужна Канада кои ги исполнуваат стандардите за квалитет на податоците потребни за да се пресмета Индексот за квалитет на вода.

Кај канадскиот Индекс, бројот на параметри што треба да се измерат го одредува експерти за квалитет на вода. Овие параметри одговараат на различни мерења направени на станиците (на пример, рН, фосфор, нитрат и сл.) и варираат од една до друга станица. Протоколот за земање проби **бара најмалку четири параметри измерени од примерок земен најмалку четири пати**. Не е поставен максимален број параметри или примероци. Видот и бројот на параметри и примероци што се користат за пресметка на *WQI* се остава да биде одлука на специјалистот за вода. Сепак, специјалистот мора да ја искористи својата професионална проценка за да се осигура дека наодите ќе го рефлектираат квалитетот на водата во даденото водно подрачје што е можно попрецизно. За секој параметар експертите за квалитет на вода воспоставуваат едно или повеќе упатства што треба да се почитуваат. Овие упатства за квалитетот на водата се нумерички вредности што ги дефинираат физичките, хемиските, радиолошките или биолошките карактеристики на водата што не можат да се надминат без да предизвикаат штетни ефекти.

6.3.4 Индекс за квалитет на вода базиран на четири основни параметри

Федерацијата на пацифичките стримкипери во Канада (*The Pacific Streamkeepers Federation*) користи Индекс за квалитет на вода на база на само 4 основни параметри, изведен од Националниот индекс за квалитет на вода. Начинот на собирање на семплови и одредување на индексот е опишан во прирачник [53]. Ваквиот индекс потоа може да се искористи за споредување на квалитетот на водата во различни реки или во различни позиции на истата река. Овој редуциран Индекс за квалитет на вода ги зема предвид мерењата за следниве 4 основни параметри: **температура, рН, растворен кислород и заматеност**. Националните индекси за квалитет на вода вообичаено ги вклучуваат и следниве параметри: фекални колиформни бактерии, БПК, вкупни цврсти материји, фосфат и нитрат, кои при пресметките на редуцираниот индекс на квалитет не се земаат предвид.

6.3.5 Индекс за квалитет на вода на државата Вашингтон, САД

Индексот за квалитет на вода (*WQI*) на државата Вашингтон, односно на нејзиниот Оддел за екологија, како и другите индекси за квалитет на вода дава делумна претстава за квалитетот на површинската вода. Тој Индекс, исто така, се претставува со еден единствен број што се движи од 1 до 100; каде што поголем број е показател за подобар квалитет на водата. За параметрите како што се, на пример: температура, рН, фекални колиформни бактерии и растворен кислород, Индексот изразува резултати во однос на потребните нивоа за

одржување корисни употреби (врз основа на критериумите во Стандардите за квалитет на вода во Вашингтон, WAC 173- 201A). За параметрите како што се, на пример: хранливи материи и талог, каде што стандардите не се специфични, резултатите се изразуваат во однос на очекуваните услови во даден екорегин. Повеќе параметри се комбинираат и резултатите се собираат со текот на времето за да се добие единствен резултат за секоја станица (точка на семплирање). Општо, станиците со Индекс оценка од 80 и повеќе ги исполнуваат очекувањата за квалитетот на водата и се од „најмала загриженост“, резултатите со оценка од 40 до 80 укажуваат на „маргинална загриженост“, а квалитетот на водата на станиците со оценки под 40 не ги исполнуваат очекувањата и се од „најголема загриженост“.

6.4 Развој на индекс за квалитет на вода за следење на квалитетот на површинските води во реално време

Со анализа на постоечките Индекси за квалитет на површинска вода (*WQI*) опишани во претходните поглавја може да се види дека во *WQI* ширум светот се вклучени широк спектар на параметри. Тие вклучуваат од 4 до 15 параметри. Обично, бројот на вклучени параметри го зголемува квалитетот на *WQI* во смисла дека може полесно да се локализира и специјализира.

Најчести параметри кои се корист за пресметување на *WQI* во реално време се: pH, специфична спроводливост, температура и DO [54].

Развојот на Индекс за квалитет на вода (анг. *Water Quality Index – WQI*) за следење на квалитетот на површинските води во реално време се одвива во следниве 4 фази:

1. Одредување (избор) на параметри и нивни тежински фактори,
2. Сведување на мерните единици на параметрите за квалитет на водата на иста скала,
3. Одредување (избор) на формула за пресметка на индексот,
4. Воспоставување домен на употреба.

6.4.1 Избор на параметрите и нивните тежински фактори

Еден начин за избор на параметри кои ќе бидат вклучени во *WQI* е даден во поглавјето за *NSFWQI* и во [55]. Таму, параметрите за квалитетот на водата се избираат со употреба на методот Делфи, според кој изборот се прави на тој начин што се спојуваат мислењата на разни експерти. За време на развојот на овие *WQI*, одржана е конференција на која разни експерти за квалитет на вода

го искажале своето мислење за тоа кои параметри треба да влезат во индексот и кои треба да бидат нивните тежински фактори, а потоа со користење на методологијата на Делфи е направен соодветен избор на параметри и нивни тежински фактори. Така, на пример, за *WQI* на покраината Орегон во Америка како основни се избрани овие 6 параметри: заситеност со растворен кислород, биохемиска побарувачка на кислород, рН, вкупни цврсти материи, амонијак (NH₃)⁺ нитратен азот (NO₃-N) и фекални колиформни бактерии. Во меѓувреме, *WQI* на Орегон е изменет и се додадени уште 2 параметри: температура и вкупен фосфор. И двата гореспоменати индекси за квалитет на вода користат логаритамски трансформации за да ги претворат резултатите од мерењето на параметрите за квалитетот на водата во соодветни вредности на нивни подиндекси.

Параметрите кои ќе бидат вклучени во македонскиот Индекс за квалитет на вода *WQI* за приказ на квалитетот на вода во реално време се добиени со користење на методот на Делфи, но притоа не се користени мислења на експерти, туку е направена анализа на веќе постоечките и докажани *WQI* дадени во Табела 6.3. Критериумите што се користат за избор на параметри се следниве:

- 1) Да биде вклучен/присутен во повеќе од половина од разгледаните *WQI*,
- 2) Можност да се измери во реално време (директно или индиректно).

	Параметри за одредување на квалитет на вода	NSF индекс	Oregon WQI	Brantas река - Indonesia	Razi Univ. Iran	Malaysia WQI	Minnesota WQI	Indiana WQI	Iowa WQI	Сума	Исполнет критериум за RT WQI
1	Растворен кислород (DO)	X	X	X	X	X	X	X	X	8	да
2	рН	X	X	X	X	X	X	X	X	8	да
3	Биохемиската потреба од кислород (BOD) (5-дена)	X	X			X		X	X	5	да
4	Промена на температура (1,6km возводно)	X								1	не
5	Вкупен фосфат	X	X					X	X	4	не
6	Нитрат NO ₃ / Нитрит (NO ₂ -)	X			X		X	X	X	5	да
7	Заматеност	X		X			X	X	X	5	да
8	Вкупно цврсти материи	X	X		X	X		X	X	6	да
9	Фекални колиформни бкт.	X	X					X	X	4	не
10	Температура		X	X	X		X	X		5	да
11	Амонијак (NH ₃) / NH ₃ -N		X	X	X	X	X			5	да
12	Електрична спроводливост			X	X		X			3	не
13	Ортофосфат (PO ₄)			X	X					2	не
14	Хемиската потреба од кислород (COD)				X	X				2	не

Табела 6.3: *WQI* во светот и нивните параметри

Анализирајќи ја Табела 6.3, користејќи ги горенаведените критериуми, следниве 8 параметри се кандидати за да бидат вклучени во индексот за квалитет на вода со кој може да се одреди квалитетот на површинските води во реално време: растворен кислород, pH, BOD, NO₃, заматеност, вкупни цврсти материи, температура и NH₃. Со оглед на тоа дека голем дел од овие параметри се еднакви со оние кои ги предлага Индексот за квалитет на вода на Орегон, Америка, одлучено е да како основа за македонскиот Индекс за квалитет на вода се користи Индексот за квалитет на вода на Портланд, Орегон во САД, чијшто развој и примена се опишани во [55].

Заради упростување е предложено во македонскиот WQI за разлика од оној на Портланд OWQI да се користи параметарот за температурата, а не параметарот за промена во температура како што е тоа во OWQI. Тежинскиот фактор ја зема предвид важноста на параметарот во водниот екосистем. Македонскиот Индекс за квалитет на вода ги вклучува следниве физички, хемиски и биолошки параметри:

ПАРАМЕТРИ	Тежински фактор (W)
1. DO [% Сатурација]	0,18
2. Температура [°C]	0,11
3. pH [U pH]	0,12
4. BOD [mg/l]	0,12
5. Заматеност [NTU]	0,09
6. NO ₃ -N или NH ₄ -N [mg/l]	0,11
7. Вкупен фосфор или PO ₄ [mg/l]	0,10
8. E. coli или Fecal Coliforms [CFU/100ml] или SAC254 (s::can)	0,17

Параметрите од 1 до 5 се сметаат за базични параметри и може да се користат за скратена пресметка на Индексот за квалитет на вода, особено кога се прават реално-временски пресметки на индексот за квалитет на вода *WQI*, бидејќи се лесно мерливи со користење на широко-достапни инструменти и може да се измерат во реално-време при он-сајт мерења. Тие ја даваат основата за пресметката на *WQI*, односно Индексот не треба да се пресметува доколку некој од овие параметри недостасува. Параметрите од 6 до 8 го комплетираат Индексот за квалитет на вода, но се дозволува пресметка на Индексот и кога некој од овие параметри недостасува. Параметарот E. Coli се пресметува во ла-

4. BOD [mg/l]	$=IF(B7="";"NM";IF(B7<0;"ERR";IF(B7<30; 2,34099938989894E-06*B7^6 - 0,00022214828759981*B7^5 - 0,00784791328915802*B7^4 + 0,120683917172016*B7^3 - 0,509524519829029*B7^2 - 7,58366372497312*B7 + 97,6255511774702; IF(B7=30; -2,34099938989894E-06*B7^6 + 0,00022214828759981*B7^5 - 0,00784791328915802*B7^4 + 0,120683917172016*B7^3 - 0,509524519829029*B7^2 - 7,58366372497312*B7 + 97,6255511774702; IF(B7>30; 2))))))$
5. Заматеност [NTU]	$=IF(B8="";"NM";IF(B8<0;"ERR";IF(B8<100; 5,14705882393731E-10*B8^6 + 1,17552790352554E-07*B8^5 - 6,89196832492911E-06*B8^4 - 0,000260476655824959*B8^3 + 0,0461429247295655*B8^2 - 2,52553304584762*B8 + 96,9874537419573; IF(B8=100;-5,14705882393731E-10*B8^6 + 1,17552790352554E-07*B8^5 - 6,89196832492911E-06*B8^4 - 0,000260476655824959*B8^3 + 0,0461429247295655*B8^2 - 2,52553304584762*B8 + 96,9874537419573; IF(B8>100; 5))))))$
6. NO ₃ -N или NH ₄ -N [mg/l]	$=IF(B10="";"NM";IF(B10<0;"ERR";IF(B10<2; 12,321069721329*B10^4 + 54,0470740880701*B10^3 - 73,47623222119*B10^2 + 6,93214909692324*B10 + 97,816818775812; IF(B10<20; 0,000175270428069196*B10^4 + 0,00307174014734368*B10^3 + 0,21617336676968*B10^2 - 7,34174058882788*B10 + 65,8577957058549; IF(B10=20; 0,000175270428069196*B10^4 + 0,00307174014734368*B10^3 + 0,21617336676968*B10^2 - 7,34174058882788*B10 + 65,8577957058549; IF(B10>20; 1))))))$
7. Вкупен фосфор или PO ₄ [mg/l]	$=IF(B9="";"NM";IF(B9<0;"ERR";IF(B9<0,1; 3818,50533807828*B9^2 + 34,19928825622*B9 + 98,22953736655; IF(B9<0,4; 250,000000000004*B9^2 - 215,000000000001*B9 + 83; IF(B9<3; 1,7769523572*B9^4 - 14,93199539525*B9^3 + 48,76939791778*B9^2 - 77,86535904492*B9 + 60,88864660144; IF(B9=3; 1,7769523572*B9^4 - 14,93199539525*B9^3 + 48,76939791778*B9^2 - 77,86535904492*B9 + 60,88864660144; IF(B9>3; 5))))))$
8. E. coli или Fecal Coliforms [CFU/100ml] или SAC254 (s::can)	$=IF(B11="";"NM";IF(B11<0;"ERR";IF(B11<2; 97; IF(B11<165; -10,4002535714758*LN(B11) + 89,21037447795; IF(B11<7564; -5,55824236378724*LN(B11) + 59,4084410179226; IF(B11<96127; -2,37511922427945*LN(B11) + 31,0364682671152; IF(B11=96127; -2,37511922427945*LN(B11) + 31,0364682671152; IF(B11>96127; 2))))))$

Табела 6.4: Равенки за пресметка на подиндекси

6.4.3 Интерпретација на македонскиот реално-временски индекс за квалитет на вода

Македонскиот Индекс за квалитет на вода *WQI* ги сумира информациите од повеќе параметри за квалитетот на водата во една вредност (од 0 до 100,0 е минимум (лош квалитет) 100 е максимум (најдобар квалитет)). Користејќи *WQI*, многу е лесно да се споредат податоците за квалитет на вода од различни реки. *WQI* може да се искористи и за да се следи трендот на квалитетот на речната вода во текот на времето на една локација.

Квалитетот на водата според резултатот на *OWQI* е одделен во 5 категории [55] прикажани во Табела 6.5:

Категорија	Краток опис за квалитетот	Интервал
I категорија	Одличен	90-100
II категорија	Добар	70-89
III категорија	Среден	50-69
IV категорија	Лош	25-49
V категорија	Многу лош	0-24

Табела 6.5: Интервали на вредноста на квалитетот на водата (проценти)

Бидејќи македонското законодавство, исто така, препознава 5 (пет) категории на површински води, направена е категоризација со аналогно изедначување на категориите и нивните кратки описи. Тоа е дадено во Табела 6.6.

Бидејќи македонското законодавство има други гранични вредности за параметрите различни од оние на Орегон, САД, направена е соодветна промена на равенките за да одговараат на категориите вода дефинирани во Уредбата за категоризација на водотеците, езерата, акумулациите и водните ресурси, дадени во Табела 6.4.

Категорија	Краток опис за квалитетот во <i>OWQI</i>	Краток опис за квалитетот во македонскиот <i>WQI</i>	интервал
I категорија	Одличен	Многу чиста	90-100
II категорија	Добар	Малку загадена (мезотрофична вода)	70-89

III категорија	Среден	Умерено еутрофична (Умерено загадена)	50-69
IV категорија	Лош	Силно еутрофична (Загадена вода)	25-49
V категорија	Многу лош	Многу загадена	0-24

Табела 6.6: Аналогно изедначување на категориите и нивните кратки описи

6.4.4 Пресметка на македонскиот индекс за квалитет на вода

6.4.4.1 Пресметка на индексот за квалитет на вода кога се присутни сите параметри

Пресметката на индексот кога се присутни сите параметри ќе се врши со следнава равенка:

$$WQI = \sum_{i=1}^8 SI_i \cdot W_i$$

Пример:

$$\begin{aligned} WQI &= \sum_{i=1}^8 SI_i \cdot W_i = SI_{DO} \cdot W_{DO} + SI_t \cdot W_t + SI_{pH} \cdot W_{pH} + SI_{tur} \cdot W_{tur} + SI_{BOD} \cdot W_{BOD} + SI_{NO_3} \cdot W_{NO_3} + \\ &SI_{TP} \cdot W_{TP} + SI_{Coli} \cdot W_{Coli} = SI_{DO} \cdot 0,18 + SI_t \cdot 0,11 + SI_{pH} \cdot 0,12 + SI_{tur} \cdot 0,09 + SI_{BOD} \cdot 0,12 + SI_{NO_3} \cdot 0,10 + \\ &SI_{TP} \cdot 0,11 + SI_{Coli} \cdot 0,17 \\ WQI &= 98 \cdot 0,18 + 100 \cdot 0,11 + 88 \cdot 0,12 + 79 \cdot 0,09 + 36 \cdot 0,12 + 91 \cdot 0,10 + \\ &50 \cdot 0,11 + 23 \cdot 0,17 = 69,2 \\ WQI &= 69,2 \end{aligned}$$

Според овој резултат, индексот за квалитет на вода ќе биде $WQI=69,2$ со што водата спаѓа во трета III категорија – Умерено еутрофична.

6.4.4.2 Пресметка на индексот за квалитет на вода кога некои параметри отсуствуваат

Пресметка на индексот за квалитет на вода кога некои параметри отсуствуваат се прави според следнава равенка:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n SI_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Строго се препорачува да се користат барем првите пет параметри при пресметката на индексот заради постигање минимална точност.

Кога одреден параметар недостасува, потребно е да се направи приспособување на индексот. Тоа приспособување на индексот се прави со помош на сумата од тежинските фактори на параметрите кои се присутни. Сумата на присутните параметри помножена со нивните тежински фактори се дели со сумата на тежинските фактори, како што е направено во дадениот пример:

Пример:

$$\begin{aligned} WQI^* &= \sum_{i=1}^5 SI_i \cdot W_i = SI_{DO} \cdot W_{DO} + SI_t \cdot W_t + SI_{pH} \cdot W_{pH} + SI_{tur} \cdot W_{tur} + SI_{BOD} \cdot W_{BOD} = \\ &SI_{DO} \cdot 0,18 + SI_t \cdot 0,11 + SI_{pH} \cdot 0,12 + SI_{tur} \cdot 0,09 + SI_{BOD} \cdot 0,12 \\ WQI^* &= 98 \cdot 0,18 + 100 \cdot 0,11 + 88 \cdot 0,12 + 79 \cdot 0,09 + 36 \cdot 0,12 = 50,63 \\ W^* &= W_{DO} + W_t + W_{pH} + W_{tur} + W_{BOD} = 0,18 + 0,11 + 0,12 + 0,09 + 0,12 = 0,62 \\ WQI &= \frac{WQI^*}{W^*} = \frac{50,63}{0,62} = 81,66 \end{aligned}$$

Пресметан е индекс за квалитет на вода $WQI=81,66$ што ја става водата во II категорија – Малку загадена.

6.4.4.3 Ограничености и област на примена

Индексот за квалитет на вода не може да се користи за да се одреди квалитетот на водата за специјална намена како што е, на пример, дали е водата за пиење или не. Односно, не треба да се користи за да се даде конечен заклучок за квалитетот на водата без да се земат предвид сите хемиски, биолошки и физички податоци кои се мерат при класичните начини на одредување на квалитетот на водата, туку тој дава насоки и лесно детектира промени во квалитетот на вода.

Овде презентираниот индекс за квалитет на вода е пресметан со равенката за аритметичка прогресија. Ваквиот начин на пресметка не е сензитивен кога еден од параметрите има исклучително ниска вредност и укажува на низок квалитет на водата. Со други зборови, индексот може да покажува прифатлив квалитет на водата, иако еден од параметрите е под дозволените граници. Со тоа ваквиот начин на пресметка знае да скрие неприфатливи вредности на еден или повеќе параметри. За да се избегне ова, индексот за квалитет на вода треба секогаш да се користи со претпазливост.

6.5 Автоматизиран систем за мерење на квалитетот на водата во реално време

6.5.1 Вовед

Како што видовме во претходните поглавја квалитетот на водата е дефиниран со параметри кои ги опишуваат физичките, хемиските и биолошките карактеристики на водата. Испитувањата на сите овие параметри на класичен начин се прави на тој начин што се земаат примероци од вода, се носат во лабораторија и потоа во лабораторијата се вршат голем број тестови со цел да се откријат загадувачите или абнормалностите во квалитетот на водата. Понекогаш, периодот помеѓу земањето примероци од водата и пристигањето на резултатите од испитувањата може да биде долг и по неколку недели, па дури и месеци, во кој период загадувањето и квалитетот на водата во реката можат драстично да се променат. Неколку параметри на водата (како растворен кислород, спроводливост, рН, заматеност, температура, проток, притисок и други) може да се измерат на лице место со користење соодветна инструментација и без да се земаат примероци и да се носат во лабораторија. Овој тип на мерења на дневна основа може да биде скап, бидејќи треба да бидат спроведени од квалификувани лица, особено ако соодветните мерни места покрај реката се на поголемо растојание од урбаните области. Самите мерења не траат долго туку само неколку минути или часови. Постапувањето опрема за мерење на самото место (без градење стационарна мерна станица) и нејзиното оставање без надзор, исто така, не е соодветна опција, бидејќи опремата може да биде украдена или оштетена. Затоа, вообичаен начин за континуално мерење е со онлајн мониторинг станица. Таквата мониторинг станица е стационарна и е потребно да се изгради на самото место каде што е инсталирана опрема за мерење со што опремата се заштитува, но тогаш е потребно водата од реката да се испумпа до станицата каде што се вршат сите мерења. Потоа, водата се враќа назад во реката. Дури и во овој случај е потребно да има една личност која редовно, барем неколку пати во еден месец, ќе оди во станицата и ќе ги прочита сите податоци од инструментите, со цел да ги обработи и да ги спореди со лабораториските мерења. Податоците повторно се обработуваат и се ставаат на располагање со задоцнување. Исто така, хемикалиите во аналитичките инструменти поставени во ваквите станици треба постојано да се надополнуваат со хемикалии. Со цел информациите за какви било промени во квалитетот на водата веднаш да се откријат и навремено (ефикасно) да се реагира, а со тоа да се детектираат какви било намерни или ненамерни истурања на отровни мате-

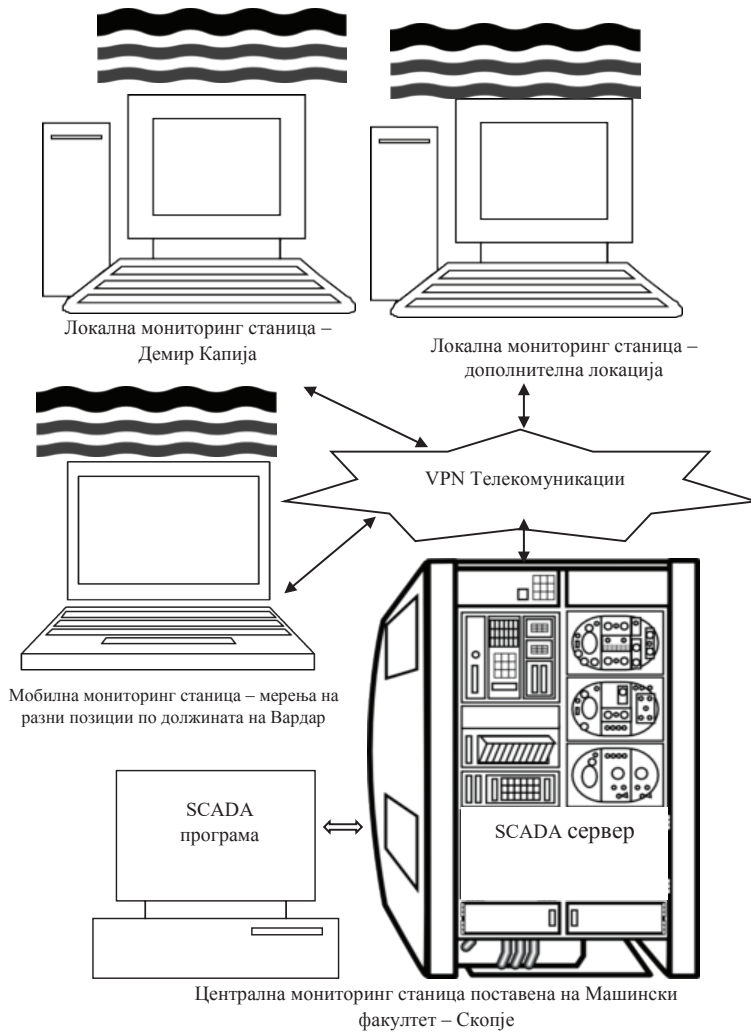
рии или загадувачи, потребно е реално-временско мерење и испраќање на податоците од мерната опрема до централната мониторинг станица.

Во ова поглавје е опишано решение на овој проблем со користење систем за супервизорно управување и аквизиција на податоците (*SCADA*). *SCADA* системите се централизиран компјутерски системи за управување и мониторинг кои се користат во индустријата за следење и управување на процесите и постројките [56] [57] [58]. Воведување *SCADA* систем за следење на квалитетот и квантитетот на параметрите на речната вода дава можност за континуиран мониторинг и зачувување на податоците. Со ова се овозможува откривање на долгорочни промени во квалитетот на водата, идентификација на постојните и новопојавените проблеми со квалитетот на водата и се помага на толкувањето на квалитетот на водата од испитувањата направени со земање примероци. Истражувањата во оваа област се современи [61] [6].

Друг проблем што се појавува е како да се даде разбирливо значење на сите податоци собрани во реално време од мерната станица. За да се дефинира квалитетот на речната вода врз основа на достапните параметри мерени на лице место, најчесто се користи индекс за квалитет на површинските води (*WQI*) [55], [59], [60] опишан во претходните поглавја. Таму е опишана постапката на развој и примена на *WQI* за следење на квалитетот на водата на реките во државата и се користи во системот за мерење во реално време опишан во ова поглавје.

6.5.2 Опис на *SCADA* системот

Овој *SCADA* систем е опишан во трудот [84], а е ставен во употреба во рамки на проектот *MIRVAX* [83]. Системот има можност за мерење и зачувување на физичките, хемиските, биолошките и хидрауличните параметри на реката Вардар. Следниот дијаграм (Слика 6.1) ја претставува структурата на *SCADA* системот.



Слика 6.1: SCADA систем за мерење и мониторинг на квалитетот на водата во реката Вардар [84]

Како што може да се види на Слика 6.1, SCADA системот за реално временско мерење и мониторинг на квалитетот на реката Вардар се состои од една централна мониторинг станица (CMS), една локална мониторинг станица (LMS) и неколку мобилни мониторинг станици (MMS). Сите тие се опремени со адекватна опрема за мерење и комуникација. Локалната станица е дополнително опремена со опрема за набљудување.

6.5.2.1 Централна мониторинг станица

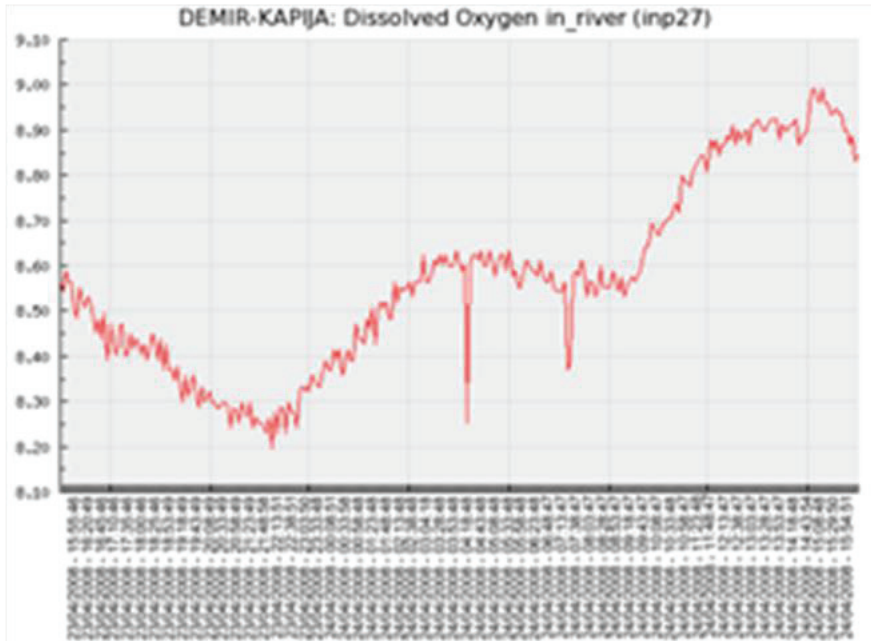
Централната мониторинг станица е лоцирана на Машинскиот факултет во Скопје. Се состои од SCADA сервер и сервисна станица со PC интерфејс. Целокупниот потребен SCADA и комуникациски софтвер е инсталиран на овој сервер (19 inch industrial rack, main CPU hot-swap type unit, 14-bay hot-swap HDD controller, главен комуникациски модул, комуникациски рутер). CMS е главен координациски и супервизорски центар и е срцето на целокупната SCADA платформа. Таа ги собира сите измерени податоци од локалните и мобилните станици, врши анализа и приказ на податоците, прикажува аларми и други статусни податоци за сите станици и параметри. Главната SCADA програма врши брза дијагностика на сите пристигнати сигнали и податоци, го проверува квалитетот на тие податоци, ги зачувува на соодветни локации на хардверот за складирање. Главниот сервер ги зачувува сите податоци, сигнали и пораки во адекватни фајлови, формирајќи по еден засебен фајл за секој поединечен ден. Во овој фајл секоја линија детално ги опишува настаните, дава датум и време на појавување и ја опишува акцијата која била преземена од самиот сервер или, пак, оператор. SCADA софтверот ги процесира податоците кои пристигнуваат од локалните единици и обезбедува приказ разбирлив за операторите во форма на дијаграми за секој измерен параметар.

6.5.2.2 SCADA Софтвер

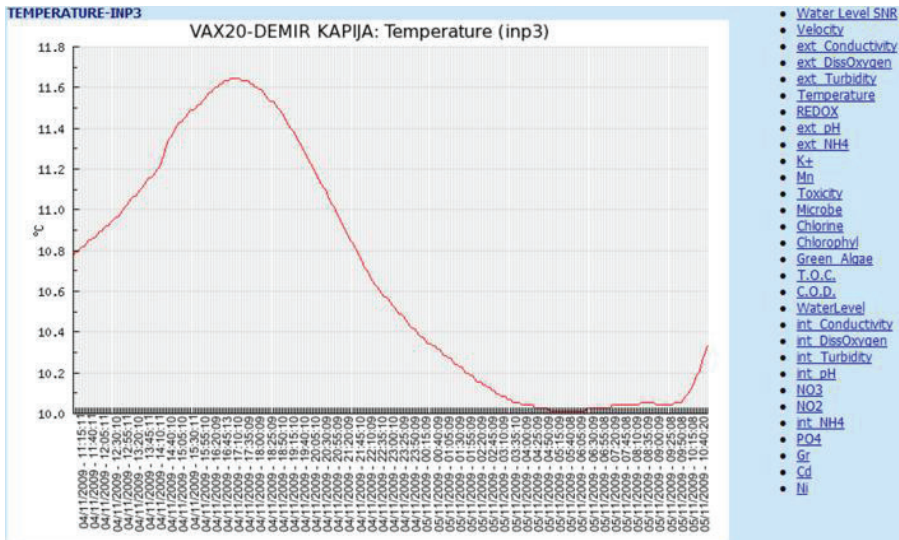
Пристап до SCADA софтверот може да се добие на следниве начини:

- 1) Директно преку PC интерфејсот на самиот сервер;
- 2) Од операторско PC поставено на локалната мрежа;
- 3) Преку интернет.

Пристапот на серверот се одобрува со авторизација. Откако операторот ќе добие пристап најпрво се добива интерфејс преку кој може да се избере дали сака преглед на податоците од последните мерења или, пак, сака графички приказ за одреден период кој самиот го дефинира. Исто така, возможно е да се комбинираат мерења од различни станици за да се направи споредба на податоците. Начинот на графички приказ е прикажан на Слика 6.2 и Слика 6.3.



Слика б.2: Приказ на измерени вредности за параметарот растворен кислород (DO)



- [Water Level SNR](#)
- [Velocity](#)
- [ext_Conductivity](#)
- [ext_DissOxygen](#)
- [ext_Turbidity](#)
- [Temperature](#)
- [REDOX](#)
- [ext_pH](#)
- [ext_NH4](#)
- [K+](#)
- [Mn](#)
- [Toxicity](#)
- [Microbe](#)
- [Chlorine](#)
- [Chlorophyl](#)
- [Green Algae](#)
- [T.O.C.](#)
- [C.O.D.](#)
- [WaterLevel](#)
- [int_Conductivity](#)
- [int_DissOxygen](#)
- [int_Turbidity](#)
- [int_pH](#)
- [NO3](#)
- [NO2](#)
- [int_NH4](#)
- [PO4](#)
- [Sr](#)
- [Cd](#)
- [Ni](#)

Слика б.3: Приказ на измерени вредности за параметарот температура

6.5.2.3 Локална мониторинг станица

Локалната мониторинг станица претставува станица за континуиран мониторинг и е лоцирана близу градот Демир Капија. Има метална конструкција, некој тип на нерѓосувачки ISO контејнер со димензии 12 m x 2,5 m x 2,5 m. Сместен на отворно небо, контејнерот е изолиран и опремен со клима-уред.



Слика 6.4: Потопени сензори и мерни уреди кои се користат за реално-временско мерење на параметрите за квалитет и квантитет на водата

Опремата која е сместена во локалната мониторинг станица може да се подели на два типа: мерна опрема и опрема за автоматизирана работа. Опремата за мерење е составена од три типа на инструменти:

1. Реално-временски (онлајн) мерни инструменти, кои се директно потопени во реката како што е прикажано на Слика 6.4. Со овие инструменти се мерат следниве параметри: растворен кислород, спроводливост, pH, заматеност, редуцирана оксидација, температура, сензори за јони на амониум и калиум.
2. Реално-временски (онлајн) мерни инструменти, кои се поставени внатре во самата LMS. Со овие инструменти се мерат следниве параметри: хидростатски притисок (се користи за да се одреди нивото на реката), растворен кислород, pH, спроводливост и температура.
3. Онлајн аналитички инструменти, сместени, исто така, внатре во самата LMS. Со нив може да се мерат следниве параметри: нитрат, нитрит, фосфат, вкупен органски јаглерод, заматеност и токсичност.

Покрај опремата за мерење има и помошна опрема. Тука спаѓа опремата за пумпање на водата со која водата од реката се доведува во станицата каде што се прават потребните мерења и потоа водата се испумпува назад во реката. Исто така, инсталирана е и опрема за сонарско мерење на нивото на водата во реката која е поставена надвор од станицата врз решетките од нерѓосувачки челик, а има и уред за автоматско земање и складирање семплови со кои се земаат семплови вода во одредени периоди, како и опрема за мерење на температурата внатре и надвор од станицата.

Целата оваа мерна опрема и нејзината помошна опрема се управувани со помош на еден систем за автоматизација базиран на индустриско *PLC* (Слика 6.5).



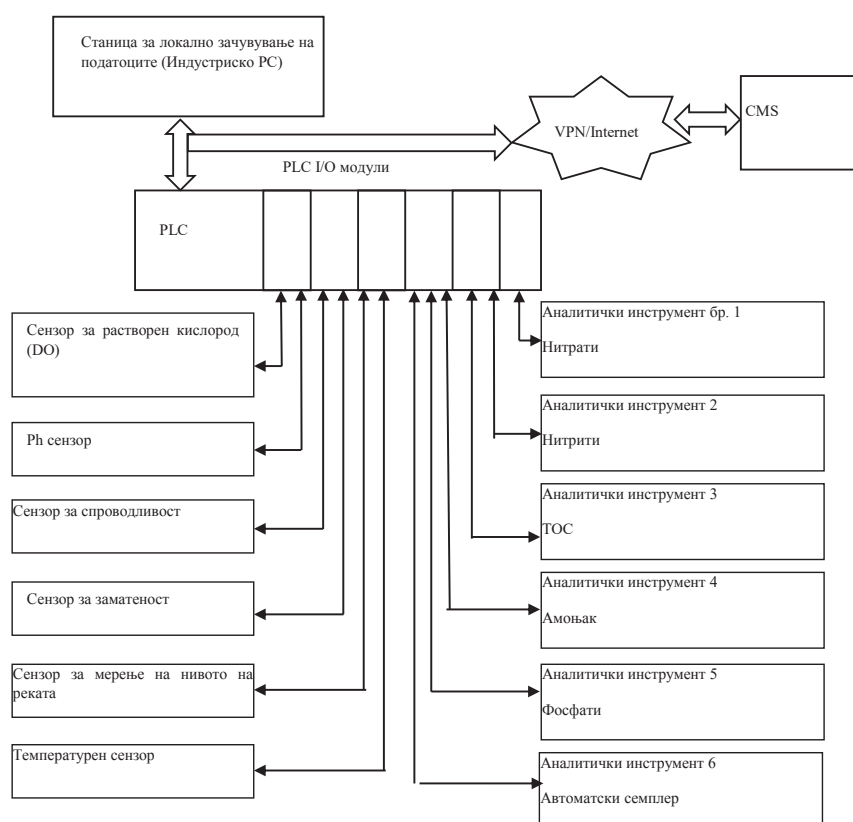
Слика 6.5: Локална мониторинг станица автоматизирана со *PLC*

6.5.2.4 Систем за автоматизација на работата во станицата базиран на *PLC*

Срцето на системот за автоматизација на локалната станица е индустриско *PLC*. Системот е поврзан со сите аналитички инструменти и уреди за мерење и прима мерни сигнали, податоци за анализа и калибрација, информации за статусот на опремата и аларми, ги напојува и пренесува управувачки сигнали

за регулирање на работењето на инструментите и го одредува нивниот функционален статус. Сите мерни уреди испраќаат податоци, сигнали и аларми до PLC системот за автоматизација во различни форми и типови. Унифицираниот софтвер за автоматизација на PLC извршува брза дијагностика на овие сигнали, ги обработува, ги кодифицира и ги пренесува до CMS преку соодветниот модуларен телекомуникациски систем. Системот за автоматизација, исто така, ги зачувува овие сигнали и податоци во својата база на податоци за пододнежна употреба. Потоа, системот за автоматизација ги пренесува горенаведените сигнали и податоци на интегрираниот логер на податоци заснован на PC компјутер, заради логирање и зачувување на резервна копија.

Дијаграмот на Слика 6.6 ја прикажува интерконекцијата и организациската структура на PLC системот за автоматизација.



Слика 6.6: Интерконекциска и организациска структура на PLC автоматизиран систем [84]

Телекомуникациски систем

Задача на телекомуникацискиот систем е да ја поврзе локалната станица со *CMS*, преку *VPN* и интернет. Ова се постигнува со специфични телекомуникациски команди што ги извршува телекомуникацискиот софтвер инсталиран во телекомуникацискиот модул интегриран на автоматскиот *PLC* систем, со цел да се изврши фаза на пренос на податоци. Се разбира, ваквиот пренос е со повратна информација за успешноста, така што се спречува губењето на податоци за време на преносот. Целата оваа процедура на пренос трае приближно 10 секунди.

Телекомуникацискиот систем се состои од следново: *PLC* комуникациски модул, телекомуникациски модем, надворешна антена за *GSM* комуникација (Слика 6.7) и соодветен софтвер за комуникација.



Слика 6.7: Надворешна антена за *GSM* комуникација

6.5.2.5 Заклучок

Вообичаен начин за да се дефинира квалитетот на некоја површинска вода (на пр., реката) е да се извршат голем број лабораториски тестови со цел да се открие какво било загадување и абнормалности на параметрите. Временското доцнење помеѓу земањето примероци од вода и резултатите може да биде со недели, па дури и месеци во кој период загадувањата и квалитетот на вода-

та можат драстично да се променат. Употребата на мерни инструменти за мерење на параметрите на лице место не го решава овој проблем, бидејќи повторно е потребно посветено специјализирано лице за собирање и обработка на податоците. Со цел да се надминат овие проблеми и да се изврши презентација на собраните податоци на разбирлив начин се користи индекс за квалитет на вода *WQI*. Исто така, дизајниран е и имплементиран *SCADA* систем за следење на квалитетот на водата во реално време. Овој *SCADA* систем има можност за мерење и анализа на широк опсег на параметри на реката Вардар. Системот се состои од СМС лоцирана на Машинскиот факултет во Скопје, една стационарна локална станица *LMS* лоцирана на брегот на реката кај градот Демир Капија и неколку ММС. Сите се опремени со соодветна опрема за мерење и комуникација. *LMS* е опремена со опрема за мерење во реално време (уред за мерење на хидростатички притисок, растворен кислород, спроводливост, рН, заматеност, редуцирана оксидација, температура, јони на амониум и калиум) и онлајн аналитички инструменти инсталирани во внатрешноста на *LMS* (интернет-аналитички инструменти за мерење нитрат, нитрит, фосфат, вкупен органски јаглерод, заматеност и токсичност). Дополнително, има опрема за пумпање на речната вода до *LMS* (внесување на реката во *LMS*), потребна за анализа на параметрите во внатрешноста на *LMS*. Работата на сите овие инструменти е автоматизирана со употреба на индустриски *PLC*.

Податоците собрани од сите оддалечени станици во реално време (локални и мобилни) континуирано се испраќаат до *CMS* за понатамошна анализа. Оваа *SCADA* платформа дава можност за моментално откривање на какви било промени во квалитетот на водата, откривање абнормални испуштања во водата и ефективно реагирање, континуирано зачувување податоци (откривање на подолгорочните промени во квалитетот на водата), идентификување на постојните или нови проблеми со квалитетот на водата и поддршка во толкувањето на набљудувањата за квалитетот на водата добиени со земање семплови.



**Влијание на глобалните
и ЕУ политиките врз
животната средина**

7 Влијание на глобалните и ЕУ политиките врз животната средина

Важноста на берлинскиот процес и европскиот еколошки договор за животната средина

Преглед

Во ова поглавје се дава преглед на темите од Берлинскиот процес и Европскиот еколошки договор (*Green Deal*) кои се однесуваат на животната средина.

Берлинскиот процес е иницијатива за соработка, која има за цел да ги зајакне врските помеѓу Западен Балкан (ЗБ) и определени земји членки на ЕУ, како и да ја подобри регионалната соработка помеѓу самите земји од ЗБ во обласите на инфраструктурен и економски развој.

7.1 Стратегија за заштита на животната средина

7.1.1 Биодиверзитет – Потреба за итно дејствување

Од големите дождовни шуми во светот до мали паркови и градини, од син кит до микроскопски габи, биодиверзитетот претставува извонредна разновидност на живот на Земјата. Ние луѓето сме дел од него и целосно сме зависни од овој синџир на живот: ни дава храна што ја јадеме, ја филтрира водата што ја пиеме, и го подобрува воздухот што го дишеме. Природата е исто толку важна за нашето ментално и физичко здравје. Во нашите животи ни е потребна природата.

Пандемијата на ковид-19 ја прави потребата за заштита и обновување на природата уште поинтензивна. Пандемијата е подигнување на свеста за врските помеѓу сопственото здравје и здравјето на екосистемите. Ова го одразува фактот дека ризикот од појава и ширење на заразни болести се зголемува со уништување на природата [63]. Заштита и обновување на биодиверзитетот се клучни за да се спречи појавата и ширењето на идните болести.

Инвестирање во заштита и реставрација на природата ќе биде од клучно значење, исто така, за економско закрепнување во Европа од кризата предизвикана од ковид-19.

Зачувувањето на биолошката разновидност има потенцијални директни економски придобивки за многу сектори во економијата. На пример, зачувување на морските резерви може да го зголеми годишниот профит на индустријата за морски плодови за повеќе од 49 милијарди евра, додека заштитата на крајбрежните мочуришта може да ја спаси осигурителната индустрија со околу 50 милијарди евра годишно преку намалување на загубите од штетите од поплавите [64]. Соодносот на вкупната добивка/трошок на ефективната глобална програма за зачувување на преостаната дива природа низ целиот свет се проценува на помеѓу 1 и 100 [65]. Природни капитални инвестиции, вклучувајќи реставрација на живеалишта богати со јаглерод и земјоделство што не влијае врз климатските промени е признаено дека се меѓу петте најважни политики за фискално закрепнување, кои нудат високи економски мултипликатори и позитивно влијание врз климата [66].

Биодиверзитетот, исто така, е клучен за зачувување на безбедноста на храната во ЕУ и на глобално ниво. Губење на биодиверзитетот се заканува на нашите системи за храна [67], ставајќи ги во опасност безбедноста на храната и исхраната. Петте главни директни двигатели на губење на биодиверзитетот [68] – промени во користењето на копно и море, климатска промена, загадување, прекумерна експлоатација, инвазивни вонземски видови (се видови кои се воведуваат, случајно или намерно, надвор од нивниот природен географски опсег и стануваат проблематични) – придонесуваат кон брзо исчезнување на природата. Во последните четири децении, популацијата на дивниот свет е намалена за 60 %, како резултат на човековите активности [69]. И скоро три четвртини од површината на Земјата се променети [70]. Притоа сместувајќи ја природата во сè помал агол на планетата.

Климатските промени го забрзуваат уништувањето на природниот свет преку суши, поплави и пожари, додека загубата и неодржливото користење на природата се клучни двигатели на климатските промени. Но, исто како што се поврзани проблемите, така се поврзани и решенијата. Природата претставува витален сојузник во борбата против климатските промени [71]. Природата ја регулира климата, и решенија засновани на природата [72], како што се заштита и обновување на мочуриштата, и крајбрежните екосистеми, шуми, пасишта и земјоделски почви ќе бидат од суштинско значење за намалување на емисиите и адаптација на климата. Засадување дрвја и имплементирање на зелената инфраструктура ќе ни помогне во ладењето на урбаните области и ублажувањето на влијанието на природните катастрофи.

Губењето на биодиверзитетот и колапсот на екосистемот се најголемите закани со кои се соочува човештвото во следната декада [73]. Поточно, загубата на биодиверзитетот резултира во намален принос на земјоделските култури, зголемени економски загуби од поплави и други катастрофи и губење потенцијални нови извори на лекови [71].

ЕУ е подготвена да покаже амбиција да ја врати загубата на биодиверзитетот, која ќе се потпира на главната амбиција дека до 2050 година сите екосистеми во светот ќе бидат обновени и соодветно заштитени. Стратегијата има за цел да осигури дека биодиверзитетот на Европа ќе биде на патот кон закрепнување до 2030 година во корист на луѓето, планетата, климата и нашата економија, во согласност со *2030 Agenda for Sustainable Development* (Агендата за одржлив развој до 2030 година) и со целите на Парискиот договор за климатски промени. Поради тоа оваа стратегија бара дејствување од граѓаните, бизнисите, социјални партнери и заедницата за истражување, како и силни партнерства помеѓу локално, регионално, национално и европско ниво. Оваа стратегија е во согласност со амбициите утврдени и поставени во *The European Green Deal*. Врз основа на консултациите со јавноста и идентификација на животната средина, како и социјални и економски влијанија, ќе придонесе во согледувањето дека сите иницијативи ги постигнуваат своите цели на најефикасен и најмалку оптоварувачки начин.

7.1.2 Заштита и обновување на природата во Европската унија

За да се постави биодиверзитетот на патот кон закрепнување до 2030 година, треба да се пристапи кон заштита и обновување на природата. Ова треба да се направи со подобрување и проширување на мрежата на заштитени подрачја и со развивање амбициозен план на ЕУ за обновување на природата.

Сегашната мрежа на законски заштитени подрачја, вклучително и оние под строга заштита, не е доволно голема за да се заштити биодиверзитетот. За добротото на нашето опкружување и нашата економија и за поддршка на закрепнувањето на ЕУ од кризата ковид-19, потребно е да ја заштитиме повеќе природата. Поради тоа е потребно најмалку 30 % од копното и 30 % од морето да бидат заштитени во ЕУ. Ова се дополнителни 4 % за копно и 19 % за морските области во споредба со денес [74]. Како дел од овој фокус на строга заштита, ќе биде од клучно значење да се дефинираат, да се мапираат, да се следат и строго да се штитат сите преостанати примарни и стари шуми [75]. Примарните и старорастежните шуми се најбогатите шумски екосистеми кои го отстрануваат јаглеродот од атмосферата, а истовремено складираат значителни залихи на

јаглерод. Значајни области на други екосистеми богати со јаглерод, како што се тресетили, пасишта, мочуришта, мангрови и ливади од морска трева, исто така, треба да бидат строго заштитени.

Комисијата ќе има за цел да ги договори критериумите и упатствата за дополнителни знаци со земјите членки до крајот на 2021 година.

Земјите членки ќе имаат рок до крајот на 2023 година да покажат значителен напредок во законското одредување нови заштитени подрачја и интеграција на еколошките коридори. Врз основа на тоа, Комисијата ќе процени до 2024 година дали ЕУ е на добар пат да ги исполни своите цели од 2030 година или дали се потребни посилни активности, вклучително и законодавство на ЕУ.

Комисијата ги охрабрува релевантните земји членки да размислат за обезбедување еднакви или еквивалентни правила во како и овие земји и територии.

Заштита на природата: клучни обврски до 2030 година

1. Законски да се заштити минимум 30% од вкупната површина на земјиштето на ЕУ и 30% од морската област на ЕУ и интегрирање на еколошки коридори;
2. Строго заштитете најмалку третината од заштитените области на ЕУ;
3. Ефикасно управување со сите заштитени подрачја, дефинирање на јасни цели и мерки за зачувување и соодветно следење на истите.

За да се врати загубата на биодиверзитетот, светот треба да биде поамбициозен за обновување на природата. ЕУ има план кој ќе помогне во подобрувањето на здравјето на постоечките и новите заштитени подрачја и ќе ја врати разновидноста на природата во сите предели и екосистеми. Ова значи намалување на притисоците врз живеалиштата и видовите. Планот ќе создаде работни места, ќе ги усогласи економските активности со растот на природата и ќе помогне да се обезбеди долгорочна продуктивност и вредност на нашиот природен капитал.

Како чувари на земјата, земјоделците играат витална улога во зачувувањето на биодиверзитетот. Тие се меѓу првите што ги чувствуваат последиците кога ќе се изгуби биолошката разновидност, но, исто така, се и меѓу првите што ги искористуваат придобивките кога таа ќе се врати. Биодиверзитетот им овозможува да ни обезбедат безбедна, одржлива, хранлива и прифатлива храна и им обезбедува приход што им е потребен за да напредуваат и да се развиваат. Во исто време, одредени земјоделски практики се клучен двигател на падот, односно опаѓање на биодиверзитетот. Затоа е важно да се работи со земјоделците за поддршка и стимулирање кон промена на целосно одржливи практики.

Подобрувањето на агроекосистемите ќе придонесе кон справувањето со климатските промени, еколошки ризици и социоекономски шокови, додека се создаваат нови работни места, на пример, во органското земјоделство, руралниот туризам или рекреацијата.

Птиците и инсектите, особено опрашувачите, се клучни индикатори за здравјето на агроекосистемите и се од витално значење за земјоделското производство и безбедноста на храната. Нивниот алармантен пад мора да се промени.

Како што е утврдено во Стратегијата *Farm to Fork*, Комисијата ќе преземе активности за намалување на 50 % од вкупната употреба и ризикот од хемиски пестициди до 2030 година и за 50 % намалување на употребата на поопасни пестициди до 2030 година.

Агроекологијата може да обезбеди здрава храна додека ја одржува продуктивноста, да ја зголеми плодноста на почвата и биодиверзитетот. Органското земјоделство особено има голем потенцијал за земјоделците и потрошувачите. Секторот создава работни места и привлекува млади земјоделци. За да се искористи максимално овој потенцијал, најмалку 25 % од земјоделското земјиште на ЕУ мора да биде органски одгледувано до 2030 година.

Почвата е една од најсложените од сите екосистеми. Таа е живеалиште само по себе и е дом на неверојатна разновидност на организми кои регулираат и контролираат клучни улоги на екосистемот, како плодност на почвата, циклус на хранливи материи и климатска регулација. Почвата е огромно важен неопновлив ресурс, од витално значење за човековото и економското здравје, како и за производство на храна и нови лекови.

Деградацијата на почвата во ЕУ има значителни еколошки и економски последици. Лошото управување со земјиштето, како што се уништувањето на шумите, пасиштата, неодржливо земјоделство и шумарски практики, градежните активности се меѓу главните причини за оваа состојба [76]. Кога се соединети со климатските промени, ефектите од ерозија и загубите на органски јаглерод во почвата стануваат сè поочигледни.

Затоа е од суштинско значење да се засилат напорите за заштита на плодноста на почвата, намалување на ерозијата на почвата и зголемување на органската материја во почвата. Ова треба да се направи со усвојување одржливи практики за управување со почвата, вклучително и како дел од Климатскиот акционен план.

Потребен е значителен напредок и во идентификување на местата на загадена почва, враќање на деградираните почви, дефинирање на условите за нивниот добар еколошки статус, воведување цели за обновување и подобрување на следењето на квалитетот на почвата.

Акцискиот план *The Zero Pollution Action Plan for Air* за нулта загадување за воздух, вода и почва што Комисијата ќе го усвои во 2021 година, исто така, ќе ги разгледа овие прашања.

Шумите се исклучително важни за биолошката разновидност, регулацијата на климата и водата, обезбедувањето храна, лекови и материјали, складирање јаглерод, стабилизирање на почвата и прочистување на воздухот и водата. Шумарите имаат клучна улога во обезбедувањето одржливо управување со шумите и во обновувањето и одржувањето на биодиверзитетот во шумите.

ЕУ мора да ги зголеми квантитетот, квалитетот на своите шуми, особено против пожари, суши, штетници, болести и други закани што може да се зголемат со климатските промени.

Комисијата ќе предложи посветена стратегија за шуми на ЕУ во 2021 година во согласност со нашите пошироки амбиции за биодиверзитет и неутралност на климата. Тоа ќе вклучува патоказ за засадување на најмалку 3 милијарди дополнителни дрвја во ЕУ до 2030 година, со целосно почитување на еколошките принципи. Засадувањето дрвја е особено корисно во градовите, додека во руралните области може да работи добро со агрошума, карактеристики на пејзаж и зголемено складирање јаглерод. Пошумување и садење дрвја за поддршка на биодиверзитетот и обновување на екосистемот ќе бидат промовирани преку стратешките планови на Климатскиот акционен план и Фондовите за политика на кохезија.

Декарбонизацијата на енергетскиот систем е клучна за неутралноста на климата, како и за закрепнување на ЕУ од кризата ковид-19 и долгорочен просперитет. Поодржливо обновливи извори на енергија ќе бидат од суштинско значење за борба против климатските промени и губење на биолошката разновидност. ЕУ ќе даде приоритет на решенија како што се искористување на морската струја, енергијата на ветрот и сончевата енергија, кои придонесуваат за регенерација на рибниот фонд и се поволни за биолошка разновидност и одржлива биоенергија.

Во согласност со Директивата за обновлива енергија, Комисијата, исто така, ќе развие оперативно упатство во 2021 година за новите критериуми за одржли-

вост на енергијата од шумската биомаса [77]. Овој пристап треба да продолжи за сите форми на биоенергија. Употребата на цели дрвја и храна за добиточна храна за производство на енергија – без разлика дали се произведени во ЕУ или увезени – треба да се минимизира.

Потребни се поголеми напори за обновување на слатководните екосистеми и природните функции на реките со цел да се постигнат целите на Рамковната директива за вода. Ова може да се направи со отстранување или приспособување на бариерите што спречуваат минување на мигрантни риби и подобрување на протокот на вода.

Генерално, големи инвестиции во реставрацијата на реките и планините [78] можат да обезбедат голем економски поттик за секторот за обновување и за локалните социоекономски активности како што се туризмот и рекреацијата. Во исто време, овие инвестиции можат да ја подобрат регулацијата на водата, заштитата од поплави, живеалиштата за риби и отстранувањето на загадувањето на хранливите материји.

Од паркови и градини до зелени покриви и урбани фарми, обезбедуваат широк спектар на придобивки за луѓето. Тие го намалуваат загадувањето на воздухот, водата и бучавата, обезбедуваат заштита од поплави, суши и топлотни бранови и одржуваат врска помеѓу луѓето и природата [79].

Загадувањето е клучен двигател на загубата на биодиверзитетот и има штетно влијание врз нашето здравје и животна средина. Иако ЕУ има солидна законска рамка за намалување на загадувањето, сепак, потребни се поголеми напори. Биодиверзитетот страда од ослободување хранливи материји, хемиски пестициди, фармацевтски производи, опасни хемикалии, урбани и индустриски отпадни води и друг отпад, вклучувајќи легло и пластика. Сите овие притисоци е потребно да се намалат. Комисијата, исто така, ќе ја промовира целта за нула загадување од азотните и фосфорот од ѓубрива преку намалување на загубите на хранливи материји за најмалку 50 %, истовремено осигурувајќи дека нема влошување на плодноста на почвата. Ова ќе резултира во намалување на употребата на ѓубрива за најмалку 20 %.

7.1.3 Меѓународна соработка, соседска политика и мобилизација на ресурси

ЕУ ја зајакнува поддршката за партнерските земји низ целиот свет за постигнување на новите глобални цели, борба против криминалот во животната сре-

дина и справување со двигателите на загубата на биодиверзитетот. ЕУ ќе ги поддржи земјите од Западен Балкан и соседството на ЕУ во нивните напори за заштита на биодиверзитетот. Во целата своја работа, ЕУ ќе ги зајакне врските помеѓу заштитата на биодиверзитетот и човековите права, полот, здравството, образованието, чувствителност на конфликтите, пристап базиран на права, сопственост врз земјиштето и улогата на домородното население и локалните заедници.

7.1.4 Заклучок

Заштита и обновување на биодиверзитетот е единствениот начин да се зачува квалитетот и континуитетот на човечкиот живот на Земјата.

Предложените обврски во оваа стратегија отвораат пат за амбициозни и неопходни промени што ќе обезбедат благосостојба и економски просперитет на сегашните и идните генерации во здрава животна средина.

7.2 Берлински процес: Еколошка агенда на ЕУ за Западен Балкан

Берлинскиот процес (The Berlin Process) е дипломатска иницијатива поврзана со идното проширување на Европската Унија.

Берлинскиот процес е меѓувладина иницијатива за соработка, која има за цел да ги ревитализира мултилатералните врски помеѓу Западен Балкан (ЗБ) и определени земји членки на ЕУ, како и да ја подобри регионалната соработка помеѓу самите земји од ЗБ во обласите на инфраструктурен и економски развој. Ова се смета дека е една од водечките политички иницијативи на СР Германија во југоисточна Европа.

Почнува со првата Конференција за ЗБ во Берлин во 2014 година и продолжува сè до 2020 година во Софија. Оваа иницијатива е донесена во екот на порастот на евроскеприцизмот и носи нова енергија во процесот на проширување на ЕУ.

7.2.1 Клима, енергија, мобилност

Со овој процес, земјите се посветуваат да работат кон целта за 2050 година на јаглеродно неутрален континент заедно со ЕУ преку вклучување на строга климатска политика и реформа на енергетскиот и транспортниот сектор, а особено преку следниве активности:

- » Усогласување со *the EU Climate Law* (Законот за клима на ЕУ) што е донесен со визија за постигнување на климатска неутралност од 2050 година;
- » Поставување енергетски и климатски цели за 2030 година во согласност со рамката на Енергетската заедница и законодавството на ЕУ, како и развој и спроведување интегрирани енергетски и климатски планови со јасни мерки дизајнирани за намалување на емисиите на стакленички гасови во економиите на Западен Балкан преку интегрирање на климатските активности во сите релевантни секторски политики;
- » Подготвување и спроведување стратегии за приспособување на климата за да се зголеми еластичноста/отпорноста преку инвестициите на *climateproofing* (климатска изолација) и да се обезбеди поголема интеграција на адаптацијата на климатските промени со намалување на ризикот од катастрофи;
- » Усогласување со *EU Emissions Trading Scheme* (Шема за трговија со емисии во ЕУ), како и да се работи кон воведување други *carbon pricing instruments* (инструменти со кои ги доловуваат надворешните трошоци за емисии на стакленички гасови) со цел да се промовира декарбонизација во регионот;
- » Зголемување на можностите за решенија засновани врз природата за ублажување и приспособување кон климатските промени;
- » Со оглед на започнувањето на *European Climate Pact* (Европскиот пакт за клима), размислете за развој на сличен механизам во регионот или можностите на регионот да учествува во оваа иницијатива;
- » Прегледување и ревидирање, каде што е потребно, на целото релевантно законодавство за поддршка на прогресивната декарбонизација на енергетскиот сектор и обезбедување на целосно спроведување, особено преку Енергетската заедница;
- » Приоритет на енергетската ефикасност и нејзино подобрување во сите сектори;
- » Поддржување на шемите за реновирање приватни и јавни згради, обезбедување соодветно финансирање и целосно спроведување на *Energy Performance of Building Directive* (Директивата за енергетски перформанси на зградите);
- » Зголемување на употребата на обновливи извори на енергија и обезбедување на потребните услови за инвестирање, во согласност со законодавството и целта на ЕУ и *Energy Community acquis* (Законодавство на енергетската заедница);
- » Настојување да се намалат и постепено да се исфрлат субвенциите за јаглен, строго почитувајќи ги правилата за државна помош;

- » Активно учество во иницијативата *Coal Region in Transition* за Западен Балкан;
- » Развивање програми за справување со енергетската сиромаштија и планови за финансирање за реновирање на домаќинствата и обезбедување основни животни стандарди;
- » Поддршка на развој на *smart* (паметна) инфраструктура, промовирање и поттикнување на иновативни технологии и зајакнување на *intra-regional* (интра-регионална) соработка што ја демонстрира иницијативата *Green Lanes/Corridors*;
- » Спроведување регионален акционен план за железнички реформи одобрен од регионалните партнери во 2020 година;
- » Дефинирање на коридорите на железничкиот и воден транспорт и целокупната стратегија за пренасочување/префрлање на сообраќајот кон еколошки начин;
- » Обезбедување имплементација на техничките стандарди на ЕУ и дигитализација на сите начини на транспорт;
- » Активна поддршка за спроведување на регионалниот акционен план за олеснување на транспортот, вклучително и места на премин што ги поврзуваат економиите на Западен Балкан, насочувајќи се кон ефикасни транспортни операции што ќе придонесат за намалување на емисиите на CO₂;
- » Спроведување на акциониот план за безбедност на патиштата, како и акциониот план вклучувајќи одржување и издржливост на патиштата и интелегентни системи за транспорт;
- » Развивање и спроведување планови за отпорност на клима за транспортните мрежи на економиите од Западен Балкан, и промовирање на подготовка и спроведување на планови за одржливо урбана мобилност за урбаните средини во Западен Балкан, како и
- » Дефинирање и спроведување одржливи решенија за мобилност на регионално ниво, вклучувајќи планови за распоредување алтернативни горива и изградба на станици за полнење гориво.

7.2.2 Кржвна економија

Берлинскиот процес се залага за процесот на транзиција/премин од линеарна во циркуларна (кржвна) економија, потполно свесни за потребата од систем за истражување и иновации за поддршка на оваа транзиција. Со цел понатаму да се придонесе на овој начин во заштита на животната средина и минимизирање на количината отпад генериран во регионот, се предвидуваат следните активности:

- » Интегрирање на Западен Балкан во индустриските синџири на снабдување на ЕУ со:
 - Преземање одлучни активности за подобрување на одржливоста на примарното производство на суровини;
 - Примена на пристап на индустриски екосистем за да се постигне еколошки одржливо, избалансирано економско закрепнување низ целиот регион, особено за клучните индустриски екосистеми за иднината, како што се обновлива енергија, дигитална, мобилност; и индустриски сектори интензивни на ресурси како што се: туризам, текстил, транспорт – автомобилска и енергетски интензивна индустрија;
- » Развивање стратегии за кржвна економија гледајќи го целиот животен циклус на производите, превенција на отпадот, современо управување и рециклирање отпад, повторна употреба, поправка и репроизводство;
- » Да се направи понатамошен напредок во изградба и одржување на инфраструктурата за управување со отпад во градовите и регионите;
- » Дизајнирање и спроведување иницијативи насочени кон потрошувачите, подигање на свеста на граѓаните за отпад, одделно собирање и одржлива потрошувачка;
- » Склучување и спроведување регионален договор за спречување на загадувањето со пластика, вклучително и конкретно решавање на приоритетното прашање на морските отпадоци;
- » Понатамошно спроведување на стратегии *Smart Specialisation* (Паметна специјализација), агенди за трансформација засновани на места, водени од иновации за одржливост.

7.2.3 Намалување на загадувањето

Намалувањето на загадувањето на воздухот, водата и почвата на Западен Балкан е заеднички интерес што произлегува од примарната грижа за здравјето на нашите граѓани. Затоа е потребно обврзување на следниве активности:

- » Финализирање на процесот *Ratification of Convention on Long-range Transboundary Air Pollution* (Ратификација на Конвенцијата за далеку-сежно прекугранично загадување на воздухот) и нејзините протоколи (вклучително и амандмани) во сите економии на Западен Балкан;
- » Развивање и спроведување стратегии за квалитет на воздухот и зголемување на внесот на најдобри достапни техники во согласност со Директивата за индустриски емисии;
- » Воспоставување соодветен систем за следење на квалитетот на воздухот, вклучително и преку акредитација на мрежите за следење на квалитетот на воздухот;
- » Спроведување релевантното законодавство на ЕУ поврзано со водата *EU Water Framework Directive* (Рамковна директива на ЕУ за вода), *Urban Waste Water Treatment Directive* (Директива за третман на урбани отпадни води) и *Nitrates Directive* (Директива за нитрати);
- » Модернизирање на инфраструктурата за следење на водата и достигнување добар статус на сите водни тела;
- » Изградба на потребната инфраструктура за третман на отпадни води;
- » Интегрирање на заштита на почвата и во други области на политиката и воспоставување регионално партнерство со цел да се подобри размената на знаење и да се идентификуваат примери на најдобра пракса за заштита на почвата од загадување и деградација;
- » Подготвување и потпишување регионални договори за загадување на воздухот и водата (*transboundary pollution* – прекугранично загадување).

7.2.4 Одржливо земјоделство и производство на храна

Берлинскиот процес се обврзува на активности кон обезбедување трансформација на земјоделскиот сектор, минимизирање на неговото негативно влијание врз животната средина и климата и зачувување на прифатлива и здрава храна за граѓаните на Западен Балкан и извозните пазари, особено преку следниве активности:

- » Усогласување на земјоделско-прехранбениот (*agri-food* – агрохрана) сектор и примарното производство со стандардите на ЕУ за безбедност на храната, здравјето на растенијата и животните, животна средина и решавање на отпадните води, ѓубриво и управување со отпад;
- » Зајакнување на официјалните санитарни контроли на целиот синџир на храна и подобрување на следењето и означувањето на прехранбените производи за да се осигура безбедноста на храната, да се подобри информирањето на потрошувачите;

- » Промовирање на еколошко и органско земјоделство и намалување на синтетички хемиски производи што се користат во производството на храна: пестициди, ветеринарни лекови и ѓубрива;
- » Соработка со научни, образовни, деловни и земјоделски стопанства за да се олесни трансферот во иновативни и еколошки технологии и земјоделски методи;
- » Осмислување активности за намалување на отпадот во руралните и крајбрежни области (како, на пример, покрај патиштата, реките итн.);
- » Интензивирање на напорите за одржлив развој на руралните области со имплементација на *LEADER*, модернизација на физичките средства на фармите, диверзификација на економијата и мерки за рурална инфраструктура според *IPARD*;
- » Поддршка на инвестициите во производство и технологии на обновлива енергија, како и намалување на емисиите и приспособување кон мерките за климатски промени во земјоделството.

7.2.5 Биодиверзитет

Берлинскиот процес обврзува работа на дефинирање на рамката за биодиверзитет по 2020 година и развој на долгорочна стратегија за запирање на загубата на биодиверзитет, заштита и обновување на екосистемите и изобилството на биолошка разновидност, особено преку следниве активности:

- » Развивање и спроведување Стратешки план за биолошка разновидност во Западен Балкан 2030 година, вклучително и средства за заедничко спроведување, следење и известување;
- » Подготвување планови за заштита и обновување на природата, вклучително и за морските области;
- » Развивање и спроведување План за обновување на шумите на Западен Балкан;
- » Анализа на придобивките на биолошката разновидност на решенија засновани на природата и можности за нивно интегрирање во развојот на климатските и други планови;
- » Зајакнување на механизмите за регионална соработка и стратешко планирање за зачувување на биодиверзитетот и имплементација на обврските во согласност со Конвенцијата за биолошка разновидност. Зајакнување на соработката со Конвенцијата на Обединетите нации Рио здружување на напорите за подготовка на регионална позиција на глобалната агенда за биодиверзитет по 2020 година во согласност со стратешките цели на ЕУ;

- » Размена на знаење, вклучувајќи собирање, управување и достапност на информации за биодиверзитетот и зачувување на природата, зајакнување на партнерството меѓу истражувачките центри на Западен Балкан и ЕУ и постојните платформи и истражување опции за формирање центар за биодиверзитет на Западен Балкан.

За да се постигнат овие цели на координиран, одржлив и ефикасен начин, потребно е:

- » Подобрување на меѓусекторското управување и поддршка на интегрирањето во *green* (еколошка) и транзицијата на ниска употреба на јаглерод, вклучувајќи ја и реформата на јавната администрација, јавниот финансиски менаџмент, економските реформи, програма и мобилизација на сопствени ресурси;
- » Развивање програми и преземање неопходни активности за зголемување на административните капацитети за имплементација на *Green Agenda* (Еколошката агенда) за Западен Балкан за следење, унапредување и спроведување на усогласеноста со еколошките обврски и обезбедување ефективни механизми за учество на јавноста, до информации, пристап до правда за прашања од животна средина и известување за животната средина;
- » Активно учество во тековните пан-европски мрежи Хоризонт 2020 и Хоризонт Европа, регионални организации, макрорегионални стратегии и други релевантни иницијативи;
- » Развивање план за специфична економија и регионални активности за подигање на свеста во сите пет столба, вклучувајќи и одразувајќи ја *Green Agenda* (Еколошката агенда) за Западен Балкан во реформите на образовните системи [80].

7.3 Европски Еколошки Договор (The European Green Deal)

Климатските промени и деградацијата на животната средина се егзистенцијална закана за Европа и светот. За да се надминат овие предизвици, на Европа ѝ е потребна нова стратегија за раст насочена кон тоа Унијата да стане модерна и конкурентна економија, која ефикасно ќе ги искористува ресурсите и во која:

- » нема да има нето-емисии на стакленички гасови до 2050 година;
- » економскиот раст нема да зависи од употребата на ресурсите;
- » ниту една личност и ниту едно место нема да е запоставено.

The European Green Deal е план за да се постигне одржливоста на економијата на ЕУ. Ова може да се направи со претворање на климатските и еколошките

предизвици во можности и правејќи праведна транзиција за секого.

The European Green Deal обезбедува план за:

- » зајакнување на ефикасната употреба на ресурсите со преминување во чиста, кружна економија,
- » враќање на биодиверзитетот и намалување на загадувањето.

Планот ги опишува потребните инвестиции и достапните средства за финансирање. Тој објаснува како да се обезбеди праведна и инклузивна транзиција.

ЕУ има за цел да биде климатски неутрална во 2050 година. За постигнување на оваа цел ќе бидат потребни активности од сите сектори на економијата, вклучувајќи:

- » инвестирање во еколошки технологии
- » поддршка за иновации во индустријата
- » воведување почисти, поевтини и поздрави форми на приватен и јавен транспорт
- » декарбонизација на енергетскиот сектор
- » подобрување на енергетската ефикасност на зградите
- » работа со меѓународни партнери за подобрување на еколошките стандарди ширум светот.

ЕУ, исто така, ќе обезбеди финансиска поддршка и техничка помош, да им помогне на оние кои се најмногу погодени од преминот кон еколошка економија (*green economy*).

„The European Green Deal“ е договор за подобрувањето на интересите и благосостојбата на луѓето чија цел е да се направи Европа климатски неутрална и да се заштитат природните живеалишта а со тоа се придонесува за доброто на луѓето, планетата и економијата. Никој нема да биде заборавен.

ЕУ :



Ќе стане климатски неутрална до 2050



Заштита на животот на човекот, животни и растенија со намалување на загадувањето



Ќе помогне на компаниите да станат светски лидери во чисти производи и технологии



Ќе помогне во обезбедувањето праведна и инклузивна промена

„The European Green Deal е нашата нова стратегија за раст. Тоа ќе ни помогне да ги намалиме емисиите додека создаваме работни места“

Урсула фон дер Лајен, претседател на Европската комисија



„Ние нудиме инклузивен премин кон зелената економија, да помогнеме во подобрувањето на благосостојбата на луѓето и да обезбедиме здрава планета за идните генерации“

Франс Тимерманс, извршен заменик претседател на Европската комисија



93%

од Европејците ги гледаат климатските промени како сериозен проблем



93%

од Европејците имаат превземено барем една акција за справување со климатските промени



79%

се согласуваат дека преземањето акции за климатските промени ќе доведуваат до иновации

КЛИМА

ЕУ ќе биде климатски неутрална до 2050 година. За постигнување на оваа цел, потребни се серија на иницијативи што ќе ја заштити животната средина и ќе ја поттикне зелената економија.

ЕНЕРГЕТИКА

Декарбонизација на енергетскиот сектор



Производството и употребата на енергијата претставува повеќе од

75% од емисиите на

стакленичките гасови во ЕУ

ШТО ЌЕ СЕ
НАПРВИ ?

ИНДУСТРИЈА
Поддршка на индустријата за иновации и трансформирање во светските лидери на зелена економија

Европската индустрија користи само **12%** рециклирани материјали

МОБИЛНОСТ
Воведување на почисти, поевтини и поздрави форми на приватен и јавен транспорт

Транспортот претставува **25%** од емисиите



Европскиот зелен договор ќе ја подобри благосостојбата и здравјето на граѓаните и идните генерации.



Ако не преземеме мерки за климатските промени, во текот на животот на нашите деца, ЕУ ќе биде сведок на :



Загадување

▲ 400,000
предвремени смртни случаи
 годишно, поврзани со загадувањето на воздухот.

Извор: Европска агенција за животна средина, Квалитет на воздухот во Европа-Извештај за 2019 [Air quality in Europe - 2019 report](#)



Топлина и суша

▲ 90,000
СМРТНИ СЛУЧАИ ГОДИШНО
 како резултат од топлина¹

▲ 660,000
ДОПОЛНИТЕЛНИ БАРАЊА ЗА
ДОДЕЛУВАЊЕ АЗИЛ годишно
 во ЕУ при зголемување на
 температурата за 5 C²

▲ 16%
ОД ВИДОВИТЕ ЌЕ ВИДАТ
ИЗЛОЖЕНИ НА ФИЗИК ОД
ИСТРЕБУВАЊЕ при зголемување
 на температурата за 4,3C¹

Извор: [1] Заеднички истражувачки центар на Европската комисија, PESETA IV, што треба да се објави; [2] A. Misirlian & W. Schlanker, Asylum applications respond to temperature fluctuations, Science, Vol. 358, Issue 6370, pp. 1610-1614, 2017; [3] IPBES 2019, [Global Assessment](#) (Глобална процена)



ВОДА И ПОПЛАВИ

▲ 40%
ПОМАЛКУ ДОСТАПНА
ВОДА во јужните
 региони на
 Европската Унија

▲ Половина милион
Луѓе, изложени на речни
 поплави секоја година

▲ 2.2 МИЛИОН
ЛУЃЕ изложени на
 крајбрежни поплави
 секоја година

Извор: Заеднички истражувачки центар на Европската комисија, PESETA IV, што треба да се објави



ЕКОНОМИЈА

▲ 190 МИЛИЈАРДА ЕВРА
ГОДИШНО проектирани за со
 зголемување на просечната
 глобална температура од 3 °C

Извор: Sarteig и др., 2014 г.;
 Климатски влијанија во Европа,
 Заеднички истражувачки центар
 на Европската комисија, проект
 PESETA II

▲ Бројот на луѓе во светот, изложени на
 ризик да ги напуштат своите домови
 поради поплавување од реките може
 да се исклучат на вкупно
50 МИЛИОНА годишно

Извор: Центар за следење на исушување,
 Assessing the impacts of climate change
 on flood displacement risk, 2019

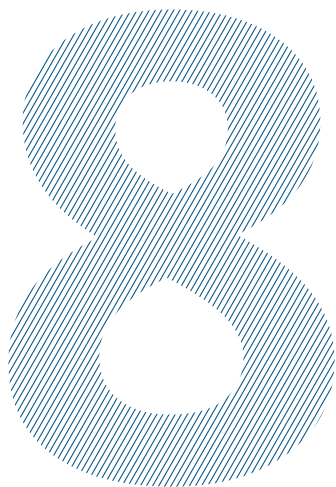
▲ Климатските промени може да доведат до
20% пораст на цените на храната
 во 2050 година

Извор: COACC, The economic cost of climate
 change in Europe, 2018

▲ Економските трошоци за смртност
 поврзани со топлина може да
 изнесуваат повеќе од
40 милијарди евра годишно

Колку подолго чекаме, толку
 потешко се постигнуваат целите
 за пониски температури и толку
 се поскапи потребните напори.





Додаток 1

8 Додаток 1

8.1 Алгоритми за управување на хидроцентрала

8.1.1 Влезна порта

8.1.1.1 Влезна порта – Почетна состојба

- » Влезната порта е затворена (ГП 1.1 ON, ГП 2.1 и ГП 3.1 и ГП 4.1 OFF).
- » Електромоторите на пумпите 1 и 2 на хидрауличниот агрегат се стопирани (М 1.1 и М 2.1 OFF).
- » Соленоидот на распоредникот на влезната порта е без напон (С 1.1 OFF).
- » Ниско ниво на масло во резервоарот не е индицирано (НП 1.1 OFF).

8.1.1.2 Влезна порта – Отворање

- » Турбинскиот вентил на двете единици затворен (ГП 1.3 ON, ГП 2.3 OFF), централата непотопена.
- » Вклучување на електромоторите на пумпите 1 и 2 на хидрауличниот агрегат (М 1.1 и М 2.1 ON).
- » Позицијата на полнење е достигната за 20 секунди (ГП 2.1 ON), а ако не *FAILURE* – позицијата на полнење на влезната порта не е достигната.
- » Запри ги двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 OFF).
- » Полнењето на цевководот е во прогрес.
- » Притисокот во потисниот цевковод е достигнат за 3 минути (ПП1.1 ON), а ако не *FAILURE* – цевководот не е наполнет.
- » По три минути стартувај ги двата електромотори 1 и 2 (М 1.1 и М 2.1 ON).
- » Влезната порта на цевководот е отворена за 15 минути (ГП 4.1 ON), ако не *FAILURE* – влезната порта не е отворена.
- » Стоп на двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 OFF).

8.1.1.3 Влезна порта – Пумпање во отворена позиција

- » Позицијата отворено на влезната порта е напуштена (ГП 4.1 OFF).
- » Позицијата за пумпање е достигната (ГП 3.1 ON).
- » Стартување на двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 ON).
- » Влезната порта на цевководот е отворена за 30 секунди (ГП 4.1 ON), ако не *FAILURE* – влезната порта не е отворена.
- » Стоп на двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 OFF).

8.1.1.4 Влезна порта – Затворање

- » Стоп на двата електромотори (М 1.1 и М 2.1 OFF).
- » Вклучување на соленоидот на распоредникот на влезната порта (С 1.1 ON).
- » Влезната порта е затворена за една минута (ГП 1.1 OFF), ако не *ALARM* - влезната порта не е затворена.
- » Исклучување на соленоидот на распоредникот на влезната порта (С 1.1 OFF).

8.1.2 Турбински вентил

8.1.2.1 Турбински вентил – Почетна состојба

- » Турбински вентил затворен (ГП 1.3 ON и ГП 2.3 OFF).
- » Бајпасот на турбинскиот вентил затворен (ГП 3.3 и ГП 4.3 OFF).
- » Соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил исклучен (С 5.3 OFF).
- » Соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил исклучен (С 6.3 OFF).

8.1.2.2 Бајпас на турбинскиот вентил – Отворање

- » Вклучување на соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил (С 6.3 ON).
- » Бајпасот на турбинскиот вентил отворен за 20 секунди (ГП 4.3 ON), ако не *FAILURE* – бајпасот на турбинскиот вентил не е отворен.

8.1.2.3 Бајпас на турбинскиот вентил – Затворање

- » Исклучување на соленоидот на распоредникот на бајпасот на турбинскиот вентил (С 6.3 OFF).
- » Бајпасот на турбинскиот вентил затворен за 20 секунди (ГП 3.3 ON), ако не *FAILURE* – бајпасот на турбинскиот вентил не е затворен.

8.1.2.4 Турбински вентил – Проверка на притисок зад турбински вентил

- » Притисокот зад турбинскиот вентил е присутен за 3 минути (ПП 1.3 ON), ако не *FAILURE* притисок зад турбинскиот вентил не е присутен.

8.1.2.5 Турбински вентил – Отворање

- » Доколку притисокот зад турбинскиот вентил не е присутен (ПП 1.3 OFF), стартувај го алгоритмот 4.10.3.2 за отворање на бајпасот на турбински-

от вентил и алгоритмот 4.10.3.4 за проверка на притисокот зад турбинскиот вентил.

- » Вклучување на соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил (С 5.3 ON).
- » Отворањето на турбинскиот вентил е во прогрес.
- » Турбинскиот вентил е отворен за 40 секунди (ГП 2.3 ON), ако не FAILURE – турбинскиот вентил не е отворен.
- » Ако бајпасот на турбинскиот вентил е отворен (ГП 4.3 ON), стартувај го алгоритмот 4.10.3.3 за затворање на бајпасот на турбинскиот вентил.

8.1.2.6 Турбински вентил – Затворање

- » Исклучување на соленоидот на распоредникот на турбинскиот вентил (С 5.3 OFF).
- » Затворањето на турбинскиот вентил е во прогрес.
- » Турбинскиот вентил е затворен за 40 секунди (ГП 1.3 ON), ако не FAILURE – турбинскиот вентил не е затворен.

8.1.3 Хидрауличен агрегат на регулаторот на брзина (ХАРБ)

Пумпите 1 и 2 на хидрауличниот агрегат се поврзани паралелно 1+1 (електромотори М 1.3 и М 2.3) (само една пумпа може да биде вклучена), важноста (главна и споредна пумпа) се вклучува рачно или автоматски дури и при работни услови.

Хидрауличниот агрегат е опремен со воздушни акумулатори. Работниот притисок на маслото во хидрауличниот агрегат е одржвано со притисен хистерезис (од L1 до H1) од страна на притисниот прекинувач за пумпите on/off (ПП 2.3).

8.1.4 ХАРБ – Почетна состојба

- » Двете пумпи се исклучени (М 1.3 и М 2.3 OFF).
- » Ниско ниво на масло во резервоарот не е индицирано (НП 1.3 OFF).

8.1.4.1 ХАРБ – Пумпање

- » Кога притисниот прекинувач on/off за пумпите е on (ПП 2.3 ON), вклучи ја главната пумпа на ХАРБ (М 1.3 или М 2.3 ON).
- » Кога притисниот прекинувач on/off за пумпите е off (ПП 2.3 OFF), исклучи ја главната пумпа на ХАРБ (М 1.3 или М 2.3 OFF).

8.1.4.2 ХАРБ – Подигање на сигурносната тежина

- » Вклучи го солениодот на сигурносната тежина (С 1.3 ON).
- » Сигурносната тежина е подигната за 1 секунда (ГП 5.3 OFF), ако не FAILURE – сигурносната тежина не е подигната.

8.1.4.3 ХАРБ – Спуштање на сигурносната тежина

- » Исклучи го солениодот на сигурносната тежина (С 1.3 OFF).
- » Сигурносната тежина е спуштена за 1 секунда (ГП 5.3 ON), ако не ALARM – сигурносната тежина не е спуштена.
- » Спуштена сигурносна тежина = стартна состојба.

8.1.4.4 ХАРБ – Проверка на затвореноста на сигурносната тежина

- » Доколку спроводниот апарат не е затворен за 5 секунди (ГП 6.3 OFF), ALARM – спроводниот апарат не е затворен.
- » Доколку алармот дека бајпасот на турбинскиот вентил не е затворен и алармот дека спроводниот апарат не е затворен се активни, тогаш FAILURE – спроводниот апарат и бајпасот на турбинскиот вентил не се затворени.

8.1.5 Механичко кочење

8.1.5.1 Механичко кочење – Кочење

- » Вклучи го солениодот на распоредникот на кочниците (С 4.3 ON).
- » Притисокот во кочниците е присутен за една минута (ПП 4.3 ON), ако не ALARM – притисокот во кочниците не е присутен.

8.1.5.2 Механичко кочење – Ослободување

- » Исклучи го солениодот на распоредникот на кочниците (С 4.3 OFF).
- » Притисокот во кочниците е ослободен за една минута (ПП 4.3 OFF), ако не FAILURE – притисокот во кочниците не е ослободен.
- » Кочниците се ослободени за 2 минути (ГП 1.4 ON), ако не FAILURE – кочниците не се ослободени.

8.1.5.3 Механичко кочење – Спонтано стартување

- » Кога единицата не работи и ќе постигне брзина $>0\%$ од називната (rated) брзина ($\omega > 0\%$, БС 1.3 L4 OFF), стартувај го алгоритмот 4.10.5.1 за меха-

ничко кочење и алгоритамот 4.10.4.2 за пумпање во ХАРБ и алгоритамот 4.10.6.3 за исклучување на пумпите за инјектирање на масло во носечкото лежиште - алармирај ALARM спонтано механичко кочење отпочна.

- » Кога 0 % од називната брзина ќе се постигне ($\omega=0\%$, БС 1.3 L4 ON) и алармот за спонтано стартување ќе се прекине, по 10 минути стопирај го алгоритамот 4.10.4.2 за пумпање во хидрауличниот агрегат.

8.1.6 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште

8.1.6.1 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – стартна состојба

- » Инјектирачката пумпа на потпорното лежиште е стопирана (М 1.4 OFF).

8.1.6.2 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – Стартување

- » Вклучи го електромоторот на инјектирачката пумпа на потпорното лежиште (М 1.4 ON).
- » Притисокот на маслото во група на сегменти е достигнат за 10 секунди (ПП 1.4 ON), ако не FAILURE – притисок во група на сегменти не е присутен.
- » Кога 0 % од називната брзина е премината ($\omega>0\%$, БС 1.3 L4 OFF), притисните прекинувачи на групата сегменти повеќе не се проверуваат ПП 1.4.
- » Кога 95 % од називната брзина е постигната ($\omega=95\%$, БС 1.3 L1 ON), исклучи ја инјектирачката пумпа (М 1.4 OFF).

8.1.6.3 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – Исклучување

- » Кога брзината ќе падне под 95 % ($\omega<95\%$, БС 1.3 L1 ON) или, пак, синхронизирачкиот струен прекинувач е исклучен, вклучи ја инјектирачката пумпа на потпорното лежиште.
- » Кога 0 % од називната брзина ќе се постигне ($\omega=0\%$, БС 1.3 L4 ON), исклучи ја инјектирачката пумпа на потпорното лежиште.

8.1.7 Вода за ладење

8.1.7.1 Вода за ладење – Стартна состојба

- » Вентилот на водата за ладење е затворен.

8.1.7.2 Вода за ладење – Отворање

- » Вклучи го електромоторот на вентилот за отворање на цевководот на ладилната вода.

- » Вентилот за ладилната вода е отворен за 1 минута, ако не FAILURE – вентилот на ладилната вода не е отворен.
- » Исклучи го електромоторот од вентилот на ладилната вода.
- » Откако вентилот на ладилната вода ќе се отвори, сите притисни и проточни прекинувачи дефинирани во 4.11.2 се проверуваат.

8.1.7.3 Вода за ладење – Затворање

- » Овој алгоритам е супериорен во однос на оној за отворање.
- » Кога 0% од називната брзина е постигната, вклучи го електромоторот на вентилот за ладилната вода за затворање, сите притисни и проточни прекинувачи дефинирани во 4.11.2 се проверуваат.
- » Вентилот на ладилната вода се затвора за 1 минута, ако не ALARM – вентилот на ладилната вода не е затворен.
- » Исклучи го електромоторот на вентилот на ладилната вода.

8.1.8 Истечни води – Истекување

Пумпите 1 и 2 на истечните води се поврзани 2+0, важноста (главна и споредна) се променува рачно или автоматски дури и при работни услови. Електромоторите се стартуваат со задоцнување од 10 секунди. Алгоритмите за истечните води континуално се активни.

8.1.8.1 Истечни води – Стартна состојба

- » Пумпите на истечните води се стопирани.

8.1.8.2 Истечни води – Пумпање

- » Кога ќе се постигне третото ниво во јамата за истечните води, вклучи ја главната пумпа.
- » Кога ќе се постигне четвртото ниво во јамата за истечните води, вклучи ја секундарната пумпа.
- » Кога ќе се достигне второто ниво во јамата за истечните води, исклучи ја секундарната пумпа.
- » Кога ќе се постигне првото ниво во јамата за истечните води, исклучи ја главната пумпа.

8.1.8.3 Истечни води – Секундарно пумпање

- » Кога ќе се постигне петтото ниво во јамата за истечните води, вклучи ги двете пумпи.

- » Кога ќе се постигне второто ниво во јамата за истечните води, исклучи ја секундарната пумпа.
- » Кога ќе се постигне првото ниво во јамата за истечните води, исклучи ја главната пумпа.

8.1.8.4 Истечни води – Итно пумпање

- » Кога зградата на централата е потопена, вклучи ги двете пумпи.
- » Кога ќе се постигне второто ниво во јамата за истечните води, исклучи ја секундарната пумпа.
- » Кога ќе се постигне првото ниво во јамата за истечните води, исклучи ја главната пумпа.

8.1.9 Зграда на хидроцентралата

8.1.9.1 Зграда на хидроцентралата – Влез

- » Кога ќе се отвори влезната врата на зградата на централата а влезен код не е внесен во рок од 3 минути, ALARM – Забранет влез во централата.
- » Кога ќе се внесе безбедносниот код, исклучи ја сигурносната опрема на зградата на централата.

8.1.9.2 Зграда на хидроцентралата – Излез

- » Кога ќе се внесе безбедносниот код, а влезната врата на зградата на централата не е затворена во рок од 3 минути, ALARM – Погрешно напуштање на централата.
- » Кога ќе се внесе безбедносниот код, вклучи ја сигурносната опрема на зградата на централата.

8.1.9.3 Електрично кочење

- » Електричната заштита на генераторот работи со сет на параметри за електрично кочење.
- » По исклучување на синхронирачкиот автоматски прекинувач QM1 при процесот на исклучување на постројката, провери ја струјата на роторската и статорска струја дали е 0 и вклучи го прекинувачот за електрично кочење QM241.
- » Возбуди ја проектираната статорска струја, одржувај ја проектираната статорска струја цело време за време на електричното кочење (при опаѓачка брзина).

- » Кога ќе се постигне 0 % од проектираната брзина, исклучи ја возбудата и исклучи го прекинувачот за електрично кочење.
- » Кога електричното кочење нема да помине во најдобар ред и прекинувачот на електричното кочење е исклучен, вклучи ја повторно електричната заштита на генераторот за да се постават повторно сите параметри за нормално работење.

8.1.10 Единицата подготвена за стартување

- » Нема активни дефекти и аларми.
- » Влезната порта отворена, алгоритам 4.10.2.2 Влезна порта – отворање.
- » Притисок во цевководот е присутен (ПП 1.1 ON).
- » Турбинскиот вентил затворен, алгоритам 4.10.3.1 Турбински вентил – Стартна состојба.
- » Бајпасот на турбинскиот вентил затворен, алгоритам 4.10.3.1 Турбински вентил – Стартна состојба.
- » Сигурносна тежина спуштена, алгоритам 4.10.4.4 ХАРБ – Сигурносна тежина спуштена.
- » Спроводен апарат затворен, алгоритам 4.10.4.5 ХАРБ – Проверка на тоа дали спроводниот апарат е затворен.
- » Вентилот на ладилната вода затворен, алгоритам 4.10.7.1 Вода за ладење- почетна состојба.
- » Пумпата за потпорни лежишта е исклучена, алгоритам 4.10.6.1 Инјектирчката пумпа на турбинскиот вентил - стартна состојба.
- » Електричните услови – стартни услови (нема да бидат дискутирани).

8.1.11 Стартување на единицата

ЧЕКОР 1

- » Стартување на часовникот за мерење на поминатото време.
- » Стартување на алгоритамот 4.10.4.2 ХАРБ – пумпање.
- » Низок притисок на маслото во ХАРБ (ПП 3.3) не се проверува сè дури сензорот за притисок ПП 3.3 не се исклучи.
- » Стартување на алгоритамот 4.10.3.2 Бајпас на турбински вентил – отворање (услов потребен за да се стартува ЧЕКОР 2).
- » Стартување на алгоритамот 4.10.7.2 Вода за ладење – отворање (услов потребен за да се стартува ЧЕКОР 5).
- » Стартување на алгоритамот 4.10.5.2 Механичко кочење – ослободување (услов потребен за да се стартува ЧЕКОР 4).

ЧЕКОР 2

- » Стартување на алгоритмот 4.10.3.4 Турбински вентил – Проверка на притисокот зад вентилот (услов потребен за стартување на ЧЕКОР 3).
- » Стартување на алгоритмот 4.10.6.2 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – стартување (услов потребен за стартување на ЧЕКОР 4).

ЧЕКОР 3

- » Кога притисниот прекинувач за пумпање во ХАРБ ќе се исклучи (ПП 2.3 OFF), стартување на алгоритмот 4.10.3.5 Турбински вентил – отворање (услов потребен за да се изврши чекор 4).

ЧЕКОР 4

- » Стартување на алгоритмот 4.10.4.3 ХАРБ – Подигање на сигурносната тежина (услов за да се изврши ЧЕКОР 5).

ЧЕКОР 5

- » Стартување на турбинскиот регулатор.

ЧЕКОР 6

- » Кога ќе се постигне 80 % од називната брзина (rated) (БС 1.3 L2 ON), вклучи го возбудувачот (exciter).

ЧЕКОР 7

- » Кога ќе се постигне 95 % од номиналната брзина (БС 1.3 L1 ON), вклучи го синхронизирањето кое ги вклучува нагодувањата на напонот и брзината.

ЧЕКОР 8

- » Вклучи го фазниот автоматски прекинувач QM1.
- » Крај на часовникот за мерење на изминато време.
- » ТУРБИНАТА РАБОТИ НОМИНАЛНО.

Доколку опфатеното време за стартување на турбината е поголемо од 5 минути, тогаш *FAILURE* – времето за стартување на турбината измина.

8.1.12 Нормално затворање на единицата

ЧЕКОР 1

- » Стартување на часовникот за мерење на изминато време.
- » Исклучување на активната и реактивната моќност.

ЧЕКОР 2

Откако ќе се исклучи синхронизирачкиот автоматски прекинувач *QM1*:

- » Стартување на алгоритмот 4.10.6.3 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – гаснење.
- » Стартување на алгоритмот 4.10.4.4 ХАРБ – спуштање на сигурносна тежина.
- » Стартување на алгоритмот 4.10.4.5 ХАРБ – Проверка на затвореноста на спроводниот апарат.

ЧЕКОР 3

- » Стартување на алгоритмот 4.10.3.6 Турбински вентил – затворање.
- » Стартување на алгоритмот 4.10.10 Електрично кочење.

ЧЕКОР 4

- » Доколку електричното кочење не се изврши и 30 % од номиналната брзина е достигната (БС 1.3 L3 ON), стартување на алгоритмот 4.10.5.1 Механичко кочење – кочење.

ЧЕКОР 5

- » Кога ќе се постигне 0 % од номиналната брзина (БС 1.3 L4 ON) и електричното кочење ќе се изврши, стартувај го алгоритмот 4.10.5.1 Механичко кочење – кочење.

ЧЕКОР 6

- » Стартување на алгоритмот 4.10.7.3 Вода за ладење – затворање.
- » Крај на часовникот за мерење на изминато време.
- » ЕДИНИЦАТА Е ПОДГОТВЕНА ЗА СТАРТУВАЊЕ.

Доколку изминатото време за извршување на постапката на затворање надмине 5 минути, тогаш *ALARM* – времето за затворање на постројката е изминато.

8.1.13 Итно затворање на единицата

ЧЕКОР 1

- » Стартување на часовникот за мерење на изминатото време.
- » Стопирање на регулаторот на турбината.
- » Исклучување на прекинувачот за деекситација.
- » Исклучување на синхронизацискиот автоматски прекинувач QM1.
- » Стартување на алгоритмот 4.10.4.4 ХАРБ – спуштање на сигурносна тежина.
- » Стартување на алгоритмот 4.10.6.3 Инјектирачка пумпа на потпорното лежиште – гаснење.

ЧЕКОР 2

- » Стартување на алгоритмот 4.10.3.6 Турбински вентил – затворање.

ЧЕКОР 3

- » Доколку нема активен електричен FAILURE, итното затворање продолжува со ЧЕКОР 3 од нормалното затворање.
- » Доколку има активен електричен FAILURE, итното затворање продолжува со ЧЕКОР 4 од нормалното затворање.

Доколку изминатото време е поголемо од 5 минути, тогаш *ALARM* времето предвидено за итно затворање на единицата измина.

Трет начин на затворање на единицата е итно затворање на единицата со спуштање на влезната порта. Тоа се реализира со симултано отпочнување на постапката 4.10.13 за итно затворање на единицата и стартување на алгоритмот 4.10.2.4 Влезна порта – затворање.

8.1.14 Мирување на единицата

Откако ќе поминат 10 минути од гаснење на единицата:

- » Стопирај го алгоритмот 4.10.4.2 ХАРБ – Пумпање.
- » Низок притисок во резервоарот на ХАРБ повеќе не се проверува (ПП 3.3).
- » Стартување на алгоритмот 4.10.5.2 Механичко кочење – ослободување.
- » МИРУВАЊЕ.



Додаток 2

9 Додаток 2

9.1 Примери за реализирана симулација на SCADA систем

9.1.1 Пример 1

Да се направи симулација изработена во **NI Lookout** на системот даден на сликата. Пумпата има капацитет од $Q[m^3/s]$. Резервоарот има напречен пресек D , а максималното дозволено ниво на вода во него е $H_{\max} = 0\text{ m}$. По достигнување на максималното ниво пумпата мора да се исклучи од работа, да се отвори вентилот V_1 и да започне празнењето на резервоарот А. Кога резервоарот А ќе се испразни на минималното ниво од $H_{\min} = 5\text{ m}$, вентилот V_1 треба да се затвори, вентилот V_2 да се отвори, а пумпата повторно да се вклучи во работа сè додека нивото на резервоарот А не го достигне максималното ниво. Вентилот V_2 да биде отворен сè додека од резервоарот В не истече волумен $V[m^3]$.

Потребни вредности: $Q = 1\text{ m}^3/s$, $D = 1,2\text{ m}$, $V = 3\text{ m}^3$, $d_2 = 50\text{ cm}$,

$\lambda^2 = 0.025$, $l_2 = 15\text{ m}$, $\xi_{V_2} = 3$, $H_1 = 12\text{ m}$

Пресметка на потребните величини:

- Време на почетно полнење на резервоарот А кога е вклучена пумпата:

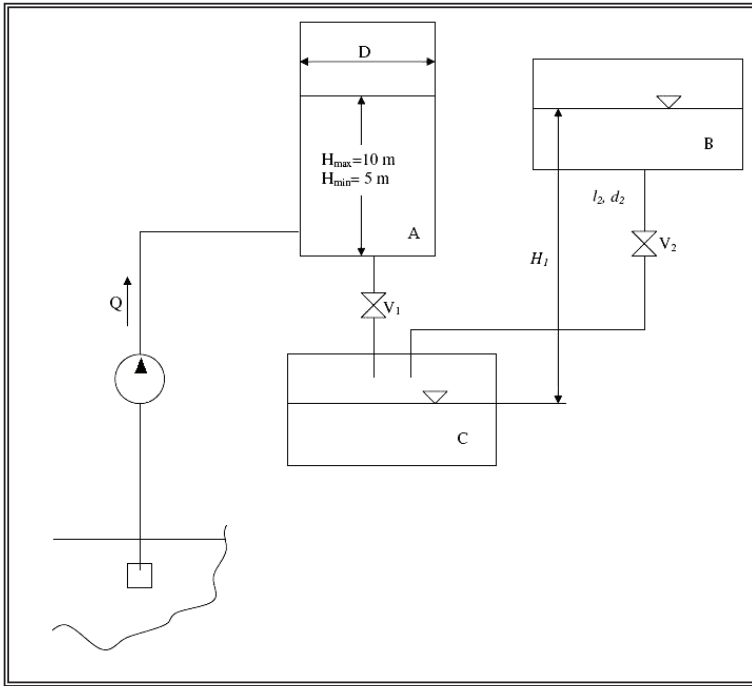
$$Q = 1\text{ m}^3/s, D = 1,2\text{ m};$$

$$Q = \frac{V_1}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{V_1}{Q};$$

$$V_1 = A_1 \cdot H = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 10 = 11,3\text{ m}^3;$$

$$t_1 = \frac{V_1}{Q} = \frac{11,3}{1} = 11,3[\text{sec}]$$

Забелешка: За време на празнење на резервоарот А до минималната висина $H_{\min} = 5\text{ m}$, како и време за повторно полнење до максималната висина, е усвоено да биде половина од времето потребно за полнење на А, односно 5,6[sec].



- Време на истекување на волумен $V=3\text{m}^3$ од резервоарот В кон С:

$$\frac{p_{at}}{\rho g} + H_1 = \frac{p_{at}}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \left(\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \xi_{V_2} \right) ;$$

$$H_1 = \frac{v_2^2}{2g} \left(\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \xi_{V_2} \right) ;$$

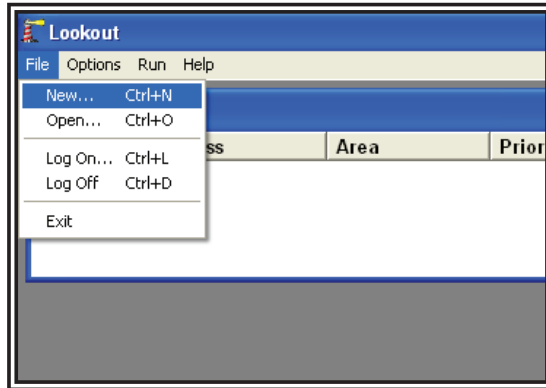
$$v_2 = \sqrt{\frac{2gH_1}{\xi_{V_2} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 12}{3 + 0,025 \frac{15}{0,5}}} = 7,9[\text{m/s}] ;$$

$$Q_2 = v_2 A_2 = v_2 \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 7,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 1,55[\text{m}^3/\text{s}] ;$$

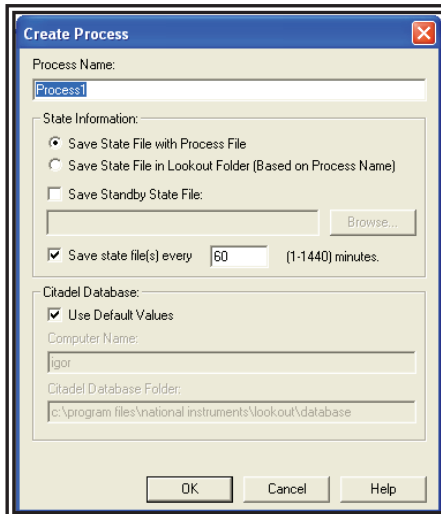
$$t_2 = \frac{V}{Q_2} = \frac{3}{1,55} = 1,9[\text{sek}]$$

Упатство за изработка на симулација во NI Lookout

Симулацијата е изработена во програмскиот пакет на *National Instruments* – *Lookout*. Откако ќе ја отвориме програмата за изработка на нова контролна табла, потребно е да се одбере: “File > New”.

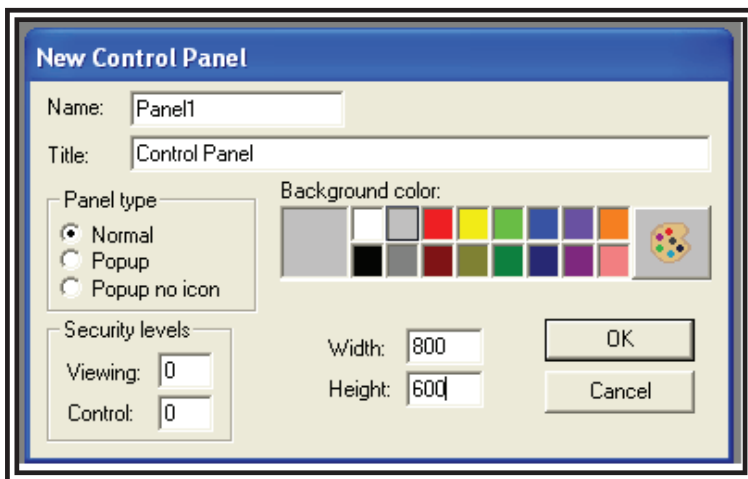


Во наредниот прозорец “Create Process” ни се нуди можност да го внесеме името на процесот кој се контролира/симулира.



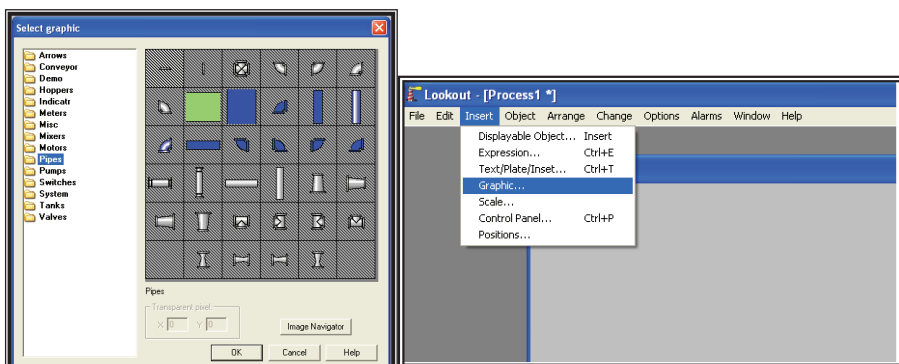
Откако ќе притиснеме на ОК, продолжуваме со прозорецот “New Control Panel” каде што можеме да ги нагудуваме изгледот и големината на контролната табла. Овде се задава името на контролната табла, заднинската боја, типот на панелот, безбедносни вредности и димензиите на панелот кои треба вни-

мателно да се нагодат за да може програмата да се прикажува и на постари монитори со помала резолуција. Како препорака е стандардната резолуција 800x600 која е избрана и за оваа симулација.

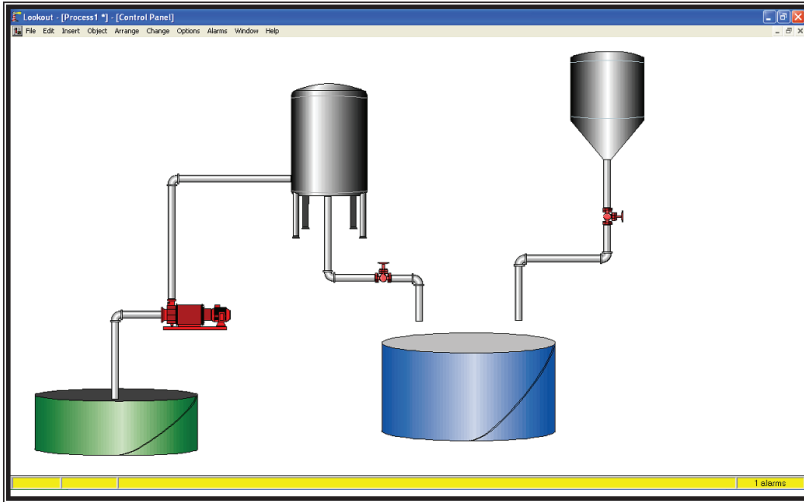


Со тоа е креирана новата контролна табла и сега на неа ќе бидат поставени сликовито сите елементи од хидрауличната инсталација кои се контролираат и надгледуваат.

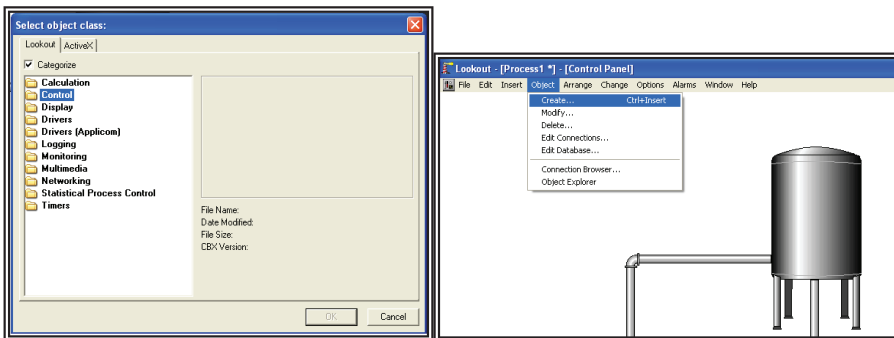
Во горниот дел од програмата се наоѓа менито "Insert > Graphic" каде што можат да се најдат најразлични готови графички компоненти како што се: резервоари, цевки и колена, пумпи, вентили и др. Постои можност и сами да нацртаме некоја компонента што ни е потребна, меѓутоа сега за симулацијата се користени само оние кои се нудат како готови.



Овде треба да се запази редоследот на процесот и неговиот изглед. Сите компоненти кои ќе се одберат треба така да се распоредат за да даваат визуелна сличност со процесот кој се управува. Во нашиот случај контролната табла треба да изгледа слично како на цртежот од задачата, односно како на сликата долу:

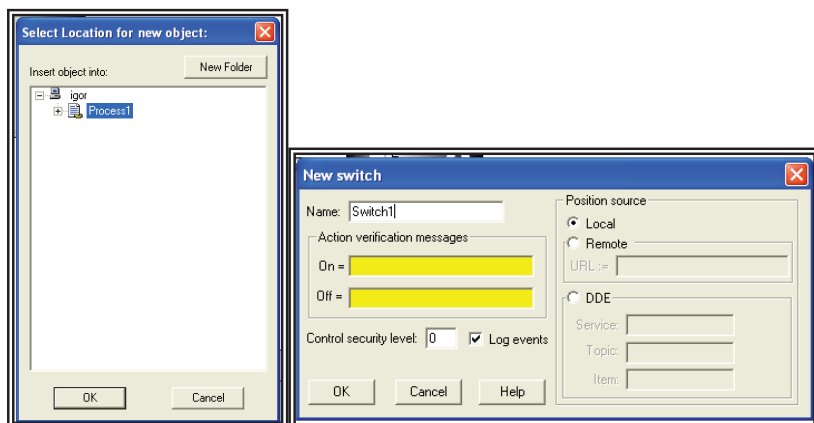


Сега се креира “Switch” од менито “Object > Create” кој ќе го користиме како тастер за стартување на пумпата, односно процесот. Од менито “Select object class” избираме “Control > Switch”.

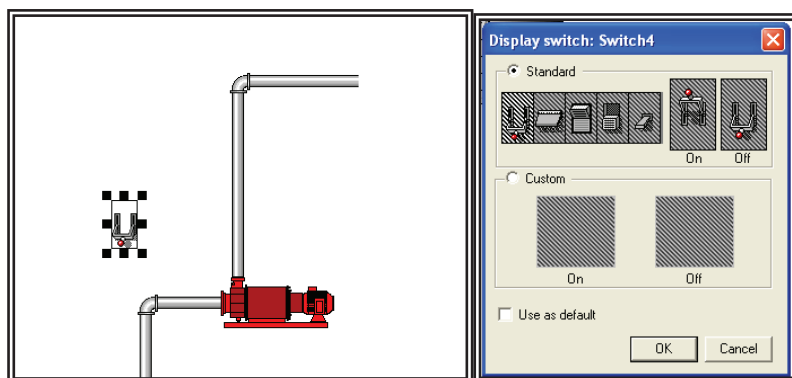


Откако сме притиснале на “Switch” се отвора менито “Select Location for new object” каде што треба да селектираме каде сакаме да биде креиран објектот. Селектираме “Process1” и продолжуваме на ОК каде треба да го внесеме името на објектот. Овде се наоѓаат две жолти полиња после “On” и “Off” каде што можеме да напишеме некое прашање кое ќе биде поставувано секогаш кога ќе

сакаме да го стартуваме или да го стопираме процесот. Текстот треба да биде напишан во наводници.

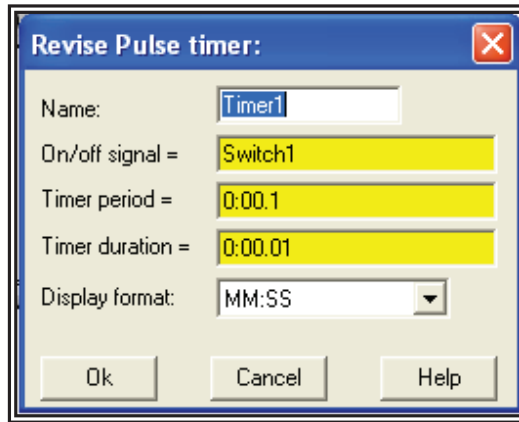


Во наредното мени се избира изгледот на објектот во делот "Standard". Може да се користи и делот "Custom" каде што се избира слика посебно за On и Off. Откако ќе притиснеме на ОК, се креира објектот и потоа него можеме да го поставеме каде било на панелот.



Ова е комплетната постапка за креирање објект и таа е слична при креирање на секој објект, па поради тоа во наредниот текст нема да биде објаснувана, туку ќе се обрне внимание само на побитните работи.

Бидејќи симулацијата е процес кој се одвива во некое време, треба да се креира објект кој ќе ни дава сигнал за времето. Тоа е објектот "Pulse" кој се наоѓа во Object > Create > Control > Pulse.

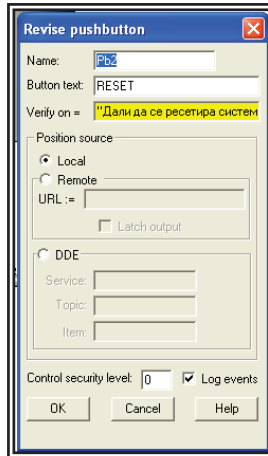


Објектот претставува тајмер кој е така сетиран за на секоја десетинка од секундата да дава сигнал, кој, на пример потоа, може да биде одбројуван од некој бројач. На тој начин е овозможено одредени процеси временски да бидат одвоени или да се случуваат последователно.

На местото на “On/off signal=” стои “Switch1” кое кажува кога да почне тајмерот да дава пулсирачки сигнали. Ова значи дека кога “Switch1” е On, тајмерот се вклучува, во спротивно тој е исклучен и не дава никаков сигнал. За период на кој тајмерот дава сигнал е поставено 0:00.1, што означува дека тајмерот ќе дава сигнал на секоја десетинка од секундата. Времето на траење на сигналот е стоти дел од секундата, што значи дека после тоа тој станува Off, сè додека не помине десетти дел од секундата.

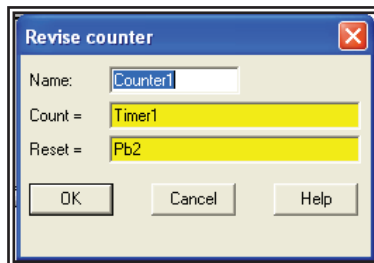
На овој начин сме добиле прецизно одбројување на времето кое ќе ни биде потребно во симулацијата.

Сега ќе креираме “Рестарт” тастер кој ќе го ресетира процесот. Тој се креира во Object > Create > Control > PushButton и во неговото мени треба да се внесе текстот што ќе стои на тастерот “RESET” и, во жолтата линија, прашањето кое ќе ни го поставува секогаш кога ќе го притиснеме тастерот.



Овој тастер, исто така, може да се постави каде било на контролната табла.

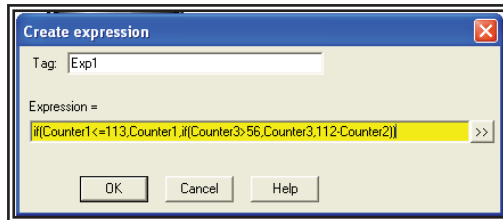
Следно што се креира во симулацијата е бројач кој се креира во Object > Create > Control > Counter. Во менито на бројачот се внесува името на бројачот (во нашиот случај го задржуваме понуденото име), што тој брои и што ќе го ресетира. На местото на "Count=" се внесува "Timer1", што значи дека бројачот ќе ги брои неговите пулсови, а на местото на "Reset=" се внесува "Pb2", што значи дека него ќе го ресетира тастерот "RESET" кој претходно го креиравме.



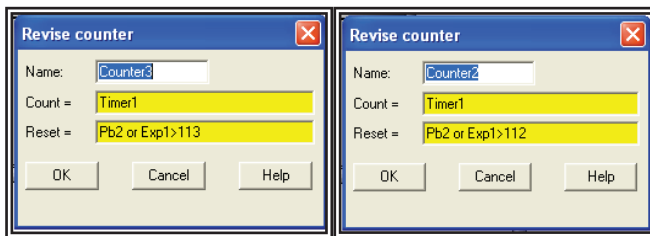
Сега ќе креираме услов (*expression*) кој ќе го поврземе со креираниот бројач. Тој "expression" ќе ни го прикажува полнењето на резервоарот A и него ќе го најдеме во Object > Create > Control > expression. Во неговото мени се внесува името (го користиме понуденото име) и во жолтата линија каде што пишува "Expression =" се внесуваат сите услови (логички код) според кои ќе функционира креираниот објект. Во овој случај таму стои изразот:

if(Counter1<=113,Counter1,if(Counter3>56,Counter3,112-Counter2))

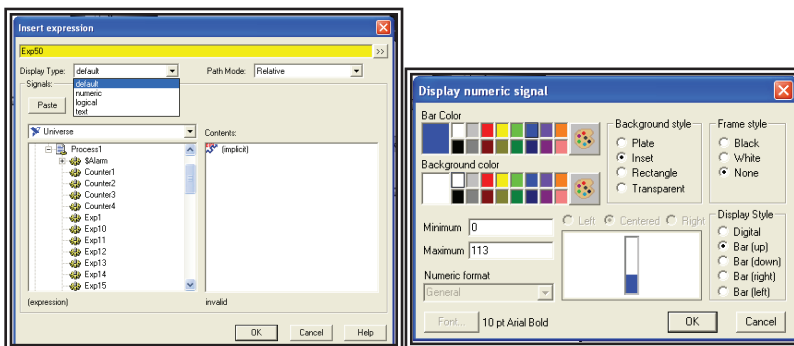
кој подоцна ќе биде анализиран и детално објаснет.



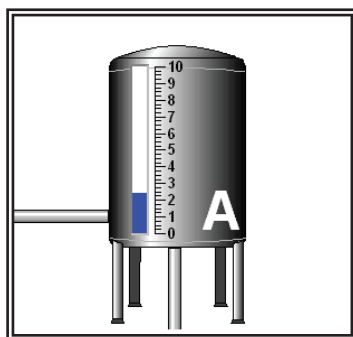
Во овој израз се искористени објектите “Counter2” и “Counter3” кои, исто така, треба да се креираат на истиот начин како што беше презентирано во горниот текст. Овие бројачи добиваат периодични сигнали од објектот “Timer1”, а разликата е во тоа што објектот “Counter2” се ресетира во моментот кога “Pb2 or Exp1>112”, а објектот “Counter3” се ресетира во моментот кога “Pb2 or Exp1>113”. Овде е искористена логичката функција “ИЛИ” која ја има како готова. Објектите се прикажани на следните слики:



Откако ќе притиснеме на OK во менито “Create expression” се отвора ново мени во кое кај “Display Type” треба да стои “Default”. Во наредното мени многу е важно за “Display Style” да се избере “Bar (up)”. За “Bar Color” се избира сина боја, а кај “Background Color” се избира бела боја. Исто така, многу е важно да се внесе за “Maximum” – 113 (поделби на Bar) што фактички ќе ни бидат оние 113 десетинки за кои пресметавме во првиот дел дека ќе ни се потребни за да се наполни резервоарот. Ова е прикажано на сликите:



Откако ќе креираме Вар на ОК, ја нагудуваме неговата големина и го поставуваме кај резервоарот А. Веднаш до Вар можеме да поставиме скала која се наоѓа во менито "Insert > Scale" и на неа треба да е означено од 0 до 10. Исто така, во "Insert > Text" можеме да ги внесеме буквите со кои е означен секој од резервоарите, како што е прикажано на сликата:



Сега ќе дадеме објаснување за изразот кој стои во објектот "Exp1":

if(Counter1<=113,Counter1,if(Counter3>56,Counter3,112-Counter2)).

Тоа претставува логичка функција во која треба да се внесат три параметри, одделени со запирка.

Најпрво се внесува условот кој може да биде исполнет или не, потоа со запирка се одделува и се пишува параметарот за "True", кој ќе се извршува само ако е првиот услов задоволен. Со наредната запирка се означува полето каде што треба да стои параметарот за "False", односно што да се случи ако првиот услов не е исполнет.

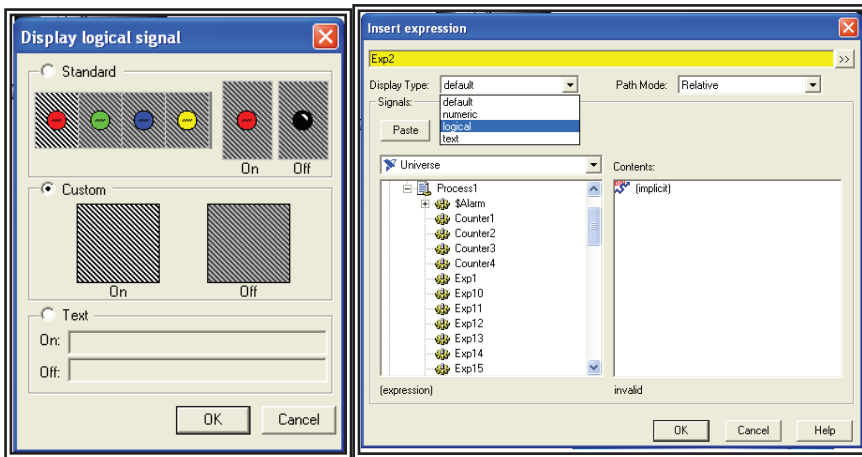
Во овој израз на местото на "False" е поставен нов израз, кој, исто така, треба да ги содржи горенаведените параметри.

- Со овој услов кој е напишан во објектот "Exp1" е овозможен приказ на полнење на резервоарот А, со тоа што, како што беше наведено во задачата, најпрво резервоарот се полни од 0 до максималните 10 метри, а потоа неговото ниво периодично осцилира помеѓу 10 и 5 сè додека не биде прекинат или ресетиран системот.

Следно што треба да се креира се т.н. „живи“ пумпа и цевковод кои го поврзуваат резервоарот А со долниот резервоар од каде што се црпи водата. Тоа се

постигнува со повторно креирање објект во мениот Object > Create > Control > expression. Овде треба за "Display Type" да стои "Logical" што овозможува за исполнет услов да се прикаже зелена пумпа (пумпата работи) а во спротивно - црвена пумпа (пумпата не работи). Во овој објект е напишан условот: **if(Counter1>112 and Counter3<57 or Switch1=off,0,1)** со чија логика се извршува функцијата на „вклучување“ и „исклучување“ на пумпата.

Потоа во наредното мени се штиклира "Custom" и се одбира соодветната слика посебно за "On" и за "Off".



Истото треба да се направи (да се креираат нови expression) и за цевките, колената, стрелките и екранот на кои се испишува (онолку expression колку што има компоненти овој дел од цевната инсталација), кои, исто така, ќе го користат истиот услов како и пумпата и ќе работат заедно со неа.

На истиот начин се изведуваат и вентилот V1 и цевната инсталација која го празни резервоарот A во резервоарот C. Овде, исто така, се креираат толку expression колку што има компоненти, меѓутоа овие го користат условот:

if(Counter1>112 and Counter3<57 or Switch1=off,0,1) кој ја извршува нивната функција.

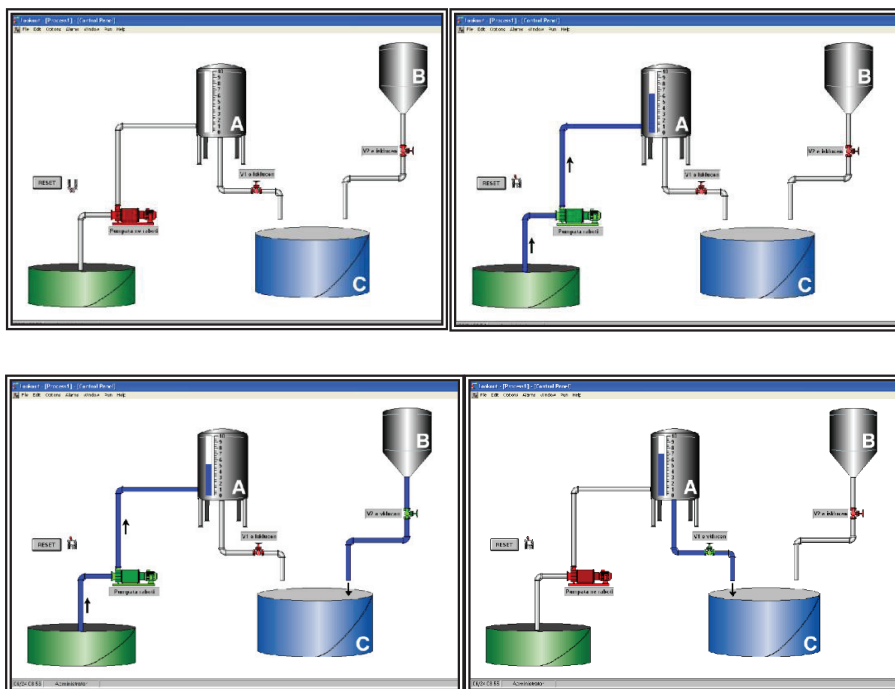
На крај, остана уште да се симулира истекување на одреден волумен V од резервоарот B во C. Ова се изведува едноставно како и во претходниот случај само што овде треба да се креира уште еден бројач, кој, исто така, добива сигнал од објектот "Timer1", меѓутоа за негово ресетирање стои: "Pb2 or Counter3<57".

Во мениот Object > Create > Control > expression се креираат вентилот V2 и цевната инсталација, а како услов кој го користат овие објекти стои:

if(Counter1>113 and Counter3>56 and Switch1=on and Counter4<19,1,0)

на кој со подвлечено е означен делот што кажува дека волуменот V истекува за 19 десетинки од секундата, како што се доби со пресметката во првиот дел.

Конечно симулацијата изгледа вака и таа се стартува со “Ctrl + Space” и со директно кликање на тастерот кој го поставивме на контролната табла.



9.1.2 Пример за реализирана симулација на SCADA систем за супервизија и аквизиција во лабораториска пумпна постројка

Примерот е презентираан во семинарската работа на авторот по предметот Мерни методи, мерења и обработка на податоци од областа хидротехника и автоматика [46] кај проф. д-р Александар Ношпал и на IFAC конференција во Истанбул, Република Турција, 2003 година [47].

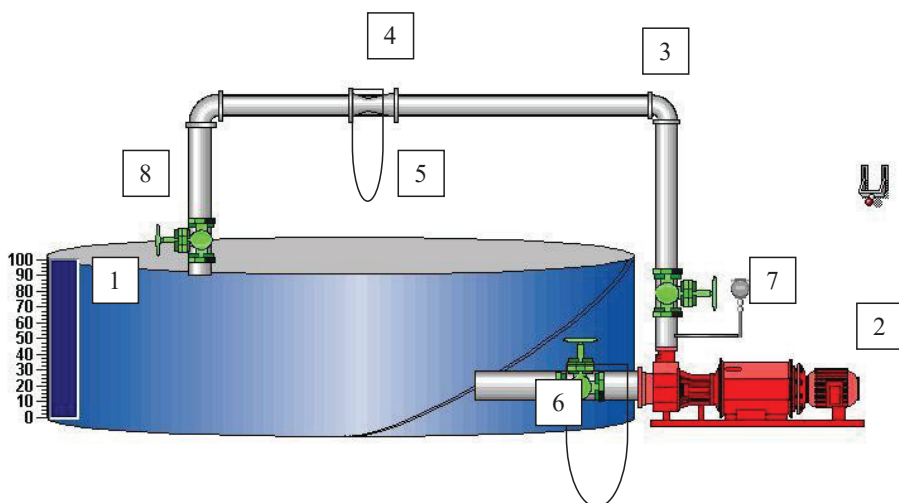
Изработката на програма која во реално време ќе прикажува измерени податоци на компјутерски екран од сензори поставени на лабораториска пумпна инсталација со помош на постоечка аквизициона картичка *NI AT-MIO 16L* не беше во можност да се реализира поради тоа што пристапната евалуациона верзија на избраниот *SCADA* софтвер (*Lookout*) немаше соодветни драјвери за комуникација со картичката. Поради тоа се искористени мерења добиени од лабораториските вежби по предметот Хидраулични пумпи на истата таа лабораториска инсталација, а е изработена програма која овозможува симулација на мерниот систем. Со ова е овозможено студентите поблиску да се запознаат со целиот мерен систем и начинот на лабораториските мерења, а и добивање осет за вредностите што треба да ги добиваат и тоа уште пред да отидат во лабораторијата.

9.1.2.1 Опис на инсталација и методологија на мерења

На следната слика е дадена упростена скица на лабораториската пумпна инсталација. Таа се состои од: челичен резервоар (1), центрифугална пумпа (2) со карактеристики $h=60\text{ m}$, $Q=53\text{ m}^3/\text{h}$, $N=14,9\text{ kW}$, $n=2920\text{ vrt}/\text{min}$, потисен вод (3), мерна бленда (4), U цевка со жива (манометар) (5), U манометар на влез во пумпата (6), манометар на излез на пумпата (7) и вентил за регулирање на протокот поставен на излезот на потисниот вод (8).

Центрифугалната пумпа црпи вода од резервоарот и ја транспортира низ потисниот вод повторно назад во него. За мерење на притисокот на влез на пумпата се користи U цевката (6) која на едната страна има допир со атмосферскиот притисок, на излез притисокот се мери со манометар (7), а за мерење на протокот низ потисниот вод се користи U цевката (5) која го мери падот на притисокот низ мерната бленда (4). Протокот низ системот се регулира со излезниот вентил (8).

Мерењата течат на тој начин што најпрво се отвора вентилот (8) максимално и се вршат отчитувања на манометрите (5,6 и 7), потоа се подзатвора излезниот вентил (8) за одредена вредност и повторно се вршат отчитувања и сè така до максимално затворен вентил.



Слика 9.1: Лабораториска пумпна мерна инсталација

Ознаките на сликата се следни: 1. Челичен резервоар, 2. Центрифугална пумпа, 3. Потисен вод, 4. Мерна бленда, 5. U Цевка со жива (манометар), 6. U Манометар на влез во пумпата, 7. Манометар на излез на пумпата и 8. Вентил за регулирање на протокот поставен на излезот на потисниот вод

Центрифугалната пумпа црпи вода од резервоарот и ја транспортира низ потисниот вод повторно назад во него. За мерење на притисокот на влез на пумпата се користи U цевката (6) која на едната страна има допир со атмосферскиот притисок, на излез притисокот се мери со манометар (7), а за мерење на протокот низ потисниот вод се користи U цевката (5) која го мери падот на притисокот низ мерната бленда (4). Протокот низ системот се регулира со излезниот вентил (8).

Мерењата течат на тој начин што најпрво се отвора вентилот (8) максимално и се вршат отчитувања на манометрите (5,6 и 7), потоа се подзатвора излезниот вентил (8) за одредена вредност и повторно се вршат отчитувања и сè така до максимално затворен вентил.

Од извршените мерења и средување на резултатите се искористени следниве податоци:

Број на мерење	Притисок на влез p_1 [Pa]	Притисок на излез p_2 [Pa]	Проток Q [m ³ /s]
6	98665	701569	0.00171
5	93329	751569	0.0035
4	86658	701569	0.00471
3	80654	651569	0.00592
2	68647	551569	0.00684
1	75318	401569	0.00717

Табела 9.1: Експериментално добиени податоци со лабораториски мерења

Овие податоци се искористени за аналитичко добивање (квадратно приближување) на зависноста p_1 , p_2 и Q од отвореноста на излезниот вентил, кои подоцна ќе бидат искористени во софтверот за симулација на пумпната постројка.

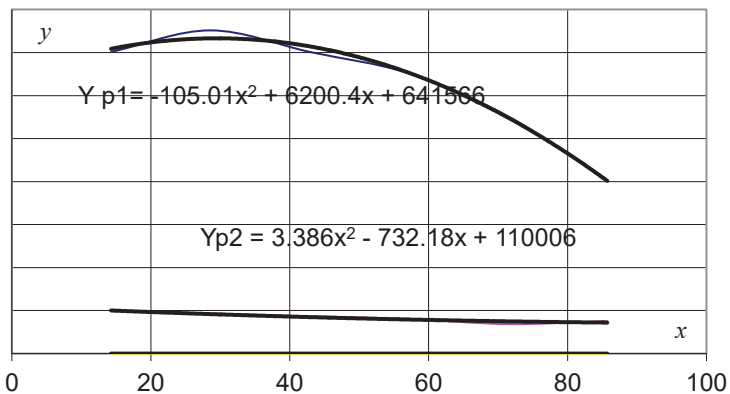
Кривите кои ги претставуваат овие зависности се:

$$Y_{p_1} = 3,386x^2 - 732,18x + 110006 \quad (1)$$

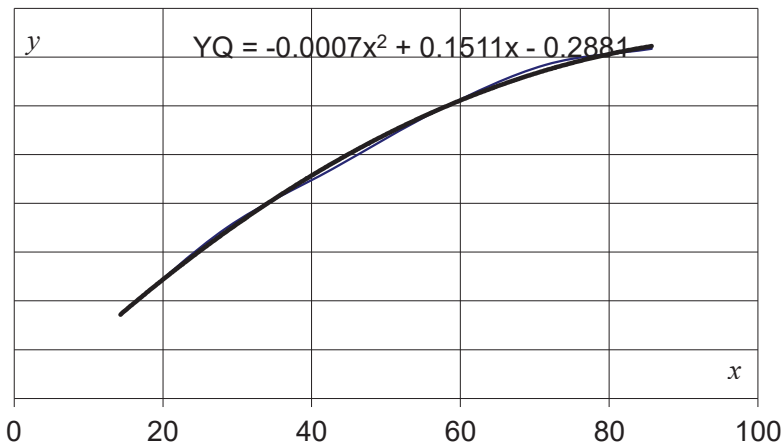
$$Y_{p_2} = -105,01x^2 + 6200,4x + 641566 \quad (2)$$

$$Y_Q = -0,0007x^2 + 0,1511x - 0,2881 \quad (3)$$

Каде што x се движи од 0 до 100 % и ја претставува отвореноста на излезниот вентил.



Слика 9.2: Зависност на кривите Y_{p1} и Y_{p2} од отвореноста на вентилот (8); Y_{p1} = притисок p_1 , Y_{p2} = притисок p_2 , x = отвореност на излезниот вентил (8)



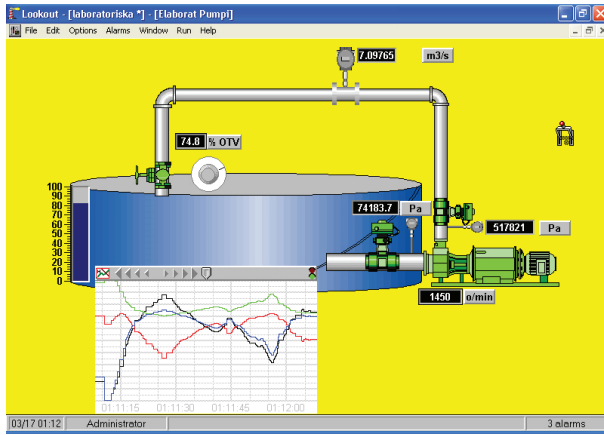
Слика 9.3: Зависност на кривата YQ од отвореноста на вентилот (8); Y_Q = проток, x = отвореност на излезниот вентил (8)

9.1.2.2 Изработка на програма во избран софтвер – LOOKOUT

Еден од најчесто употребуваните комерцијални SCADA софтвери е *Lookout* производ на *National Instruments*. За оваа прилика е избран токму *Lookout* поради пристапната евалуциона верзија и едноставната работа со самиот софтвер. Софтверот содржи голем број на веќе подготвени слики (слики на пумпи, вентили, мерни инструменти итн.), графикони (прикажување на мерењата во текот на времето, прикажување на различни зависности итн.) и објекти (драјвери за различни типови на *PLC*, како што се *National Instruments*, *Siemens*, *Allen Bradley* итн.) кои во голема мера ја олеснуваат работата на програмерите. Овој софтвер може да се користи и за симулација.

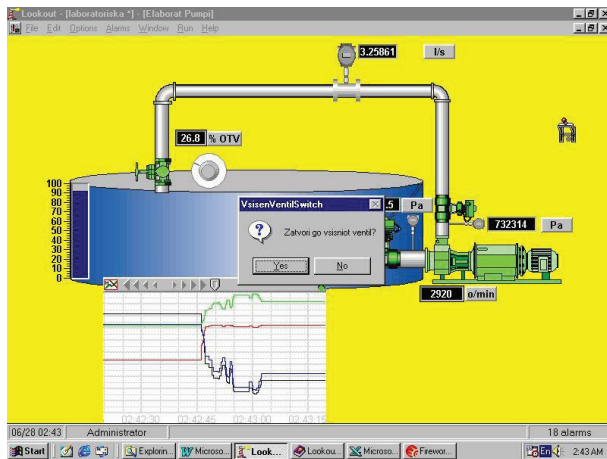
Со помош на овој софтвер е изработена програма за симулација на мерењата во постоечката лабораториска пумпна постројка на МФС.

Програмата е од наједноставен тип и се состои од само еден прозорец. Во прозорецот е прикажана целата мерна инсталација и еден графикон кој ја покажува зависноста на протокот и мерените притисоци во текот на времето. Заради упростување на сликата, мерењето на протокот кој во суштина се мери со падот на притисокот на мерната бленда поставена на потисниот вод е прикажано едноставно со еден протокомер на кој веднаш се отчитува протокот, а истото тоа е направено и со у цевката за мерење на притисокот на влез во пумпата која е заменета со манометар на кој се отчитува влезниот притисок.



Слика 9.4: Главен прозорец (пумпа во работа)

Елементите кои се вклучени (отворени) се прикажани со зелена боја, додека исклучените (затворените) елементи се прикажуваат со црвена боја. За да се вклучи одреден објект во прозорецот, треба да се покаже на него, да се кликне со десниот клик и по поставеното прашање да се одговори потврдно.



Слика 9.5: Главен прозорец (интерактивна работа)

Мерењето може да започне дури откако ќе се вклучи главниот прекинувач и откако ќе се вклучат сите вентили. Со помош на еден потенциометр е прикажана процентуалната отвореност на излезниот вентил. Со негово вртење се менува и отвореноста, а со тоа и протокот, излезниот и влезниот притисок во пумпата.



10

Литература

10 Литература

[1] Stuart A. Boyer "SCADA Supervisory Control And Data Acquisition", ISA- The Instrumentation Systems and Automation Society, January 1999.

[2] ASME Hydro power technical Committee "The guide to hydropower mechanical design", HCI Publications Inc, 1996 USA.

[3] David Bailey and Edwin Wright "Practical SCADA for Industry", Newnes An imprint of Elsevier, 2003.

[4] Johan Park and Steve Mackay "Practical data Acquisition for Instrumentation and Control system", Newnes An imprint of Elsevier, 2003.

[5] E. O. Debelin "Measurement Systems Application and Design", McGraw-Hill, New York, 1990.

[6] D. Debeljkovic, "Dinamika objekata i procesa", Masinski fakultet Beograd, 1983.

[7] Александар Ношпал, „Струјнотехнички мерења и инструменти“, Машински факултет - Скопје, Скопје, 1995.

[8] Michael Wiebe, "A Guide to Utility Automation: Amr, SCADA, and It Systems for Electric Power", PennWell Pub, January 1999.

[9] Gordon Clarke and Deon Reynders "Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems", Newnes, An imprint of Elsevier, 2004.

[10] Gene F. Franklin, J. David Powell, Michael Workman "Digital Control of Dynamic Systems", Addison Wesley, 2000.

[11] Lawrence T. Amy: Automation Systems for control and Data Acqusion, PennWell Publication Co, 1992.

[12] National Instruments "Lookout Operators Manuel", November 2000.

[13] ABB Inc, ABB CS-31 Intelligent decentralize automation system, ABB procontic CS-31, Edition: 11.96 FRCTL.

- [14] IEEE Standard, " Definition, Specification, and Analysis of systems Used for Supervisory Control, Data Acquisition and Automatic Control", Publication ANSI/ IEEE C37.1.
- [15] Tomislav Bundalevski „Mehanika na fluidi“. Mađinski fakultet, Skopje, 1995.
- [16] Real Time SCADA. Issue: Adams Business Media, August, 1999, Copyright 2000 Gale Group.
- [17] W.J. Ackerman, W.R. Block, " Understanding Supervisory Systems", IEEE Computer Applications in Power, Volume 5, Number 4, October 1992.
- [18] Fundamentals of Supervisory Systems, IEEE Tutorial Course, 91 EH0337-6 PWR.
- [19] IEEE Recommended Practice for Master/Remote Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) Communications, IEEE Standard 999-1992.
- [20] B. Butts, " Benchmarking SCADA Package Performance, Control and Instrumentation", IEEE Computer Application in Power, Volume 23, Number 4, April 1991.
- [21] Hydropol "Technical Report for HPP Kalimanci", October 2002.
- [22] Samuel C. Sciacoa, Wayne R. Block "Advanced SCADA Concepts", IEEE Computer application in power, January 1995.
- [23] H. L. Smith, W.R. Block "RTUs Slave for Supervisory Systems", IEEE Computer application in power, January 1993.
- [24] D.J. Gausshell, WR Block " SCADA communications techiques and standards", IEEE Computer application in power, July 1993.
- [25] G.T. Heng " Microcomputer-based remote terminal unit for a SCADA system", Microprocesors and Microsystems 20, 1996, page 39-45.
- [26] M.arvin, V. Koroman, B. Borovic " SCADA in Hydropower Plants", Brodarski Institute, technical documentation, 1998.
- [27] National Instruments: Lookout proces control system, Reference Manuel.
- [28] Fundamentals of Supervisory Systems, IEEE Tutorial Course, 94 EH0392-1 PWR.

- [29] B. Qui, H.B. Gooi " Web – Based SCADA Display Systems for access via Internet, IEEE Transactions in power systems, Volume 15 No.2 May 2000.
- [30] B. Qui, Hoay B Gooi, Y Lui, Eng K Chan " Internet Based SCADA Display System", IEEE Computer Application in Power, 2002.
- [31] John Marcuse, Brand Menz, J. R. Payne "Servers in SCADA applications", IEEE Transactions on industry applications, vol. 33, no 5, September 1997.
- [32] M. F. Aburdane "Computer Simulation of Dynamic Systems" C. Brown Publishers, 1988.
- [33] Micrologic Systems Inc Article "Components of SCADA", <http://www.micrologic.com.ph> , 1998.
- [34] Ian Wiese Article "SCADA Primer", <http://www.iinet.net.au>, 2000.
- [35] National Instruments Article, "Signal Conditioning Fundamentals for Computer-Based data Acquisition System", <http://www.ni.com>
- [36] Sensors Online Article, "It's Time for Sensors to go Wireless", <http://www.sensorsmag.com>
- [37] National Instruments Article, "Sensors", <http://www.ni.com>
- [38] Curtis D. Johnson "Process control instrumentation technology", Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
- [39] National Instruments Article, "Industrial networks – A Technical overview ", <http://www.ni.com>
- [40] Markku Ojala "Fieldbus technology and it's impact on automation systems", <http://www.fieldbus.org>
- [41] Bruno Strah i Ognjen Kuljacha "Nova turbinska regulacija na HE Miljacka", Brodarski institut Zagreb.
- [42] K. Begovik "Hidroenergetski postrojki".
- [43] Working group of prime mover and energy supply "Hydraulic turbine and turbine control models for system dynamic studies", Transactions in Power Systems, Vol. 7, No.1, Feb. 1992.

[44] Siemens Inc, Siemens S7 400 Programmable controller hardware and instalation, Instalation manuel, Edition 12/2002.

[45] J. Jones " How do you get successful SCADA?" Control and Istrumentation, Volume 24, Number 10, October 1992.

[46] Александар Ношпал, предмет „Мерни методи, мерења и обработка на податоци од областа хидротехника и автоматика“.

[47] Emil Zaev, Atanasko Tuneski, "Scada System For Simulation, Acquisition And Monitoring Laboratory Pump Plant", IFAC, Istanbul, Republic of Turkey, 2003.

[48] A. W. W. Association, "Water treatment plant design", Mcgraw-Hill, 2005.

[49] N. P. Cheremisinoff, "Handbook of water and wastewater treatment technologies", Butterworth-Heinemann, 2002.

[50] E. Zaev, "Analysis and design of a supervisory control and data acquisition system for hydroenergetic objects," Master's thesis, "Ss. Cyril and Methodius University", Skopje, Macedonia, 2006.

[51] Brad Garner, "New Sensor Technologies for Real-Time Water Quality Monitoring", MD-DE-DC Water Science Center, 2007.

[52] Oana IONUȘ, "Water quality index - assessment method of the Motru river water quality (Oltenia, Romania)", Journal Annals of the University of Craiova, Series Geography, 2010.

[53] The Pacific Streamkeepers Federation, "The Streamkeepers Handbook. Water Quality Survey, Module 3", <https://www.pskf.ca/mod03/index.html>

[54] Pennsylvania Water Science Center, U.S. Geological Survey, Current Conditions for Pennsylvania: Water Quality <https://waterdata.usgs.gov/pa/nwis/current/?type=quality&group%20Key=basin%20cd>

[55] Curtis G. Cude, "Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness", Journal of the American water resources asssoianion, 2001.

[56] E. Zaev, D. Babunski, et. Al, "Design of optimal SCADA program for automation of HPP" Proceedings of the 9-th international conference on Advanced materials and operations AMO 09 Kranevo, Bulgaria, 2009.

[57] E. Zaev, D. Babunski et al., "Structure of a SCADA Application for Simulation of the Hydropower Plants", Proceedings of the VIII National Conference With International Participation ETAI 2007, Section A, pp 74, Ohrid, R. Macedonia, 2007.

[58] E. Zaev, A. Tuneski, "SCADA System For Simulation, Acquisition And Monitoring Laboratory Pump Plant", IFAC Automatic Systems for Building the Infrastructure in Developing Countries Proceedings, Istanbul, Republic of Turkey, 2003.

[55] Curtis G. Cude, "Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness", Journal of the American water resources association, vol.37, no.1, February 2001.

[59] Curtis G. Cude, "Assessment of Water Quality Index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India", Journal of Human Ecology, p. 153-161, 2009.

[60] Canadian Council of Ministers of the Environment, "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, user's manual", in Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg.

[61] R.M.Bhardwaj, "Guidelines For Real Time Effluent Quality Monitoring System (RTEQMS)", Central pollution control board, 2014.

[62] University of Cyprus, "Real-Time Monitoring System for Water Quality, European Commission CORDIS project", 2015-2016 ongoing project.

[63] Intergovernmental science-policy Platform for Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019), [Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services](#) , pp. 12-13, A.2.

[64] Barbier et al. (2018), [How to pay for saving biodiversity](#) .

[65] Balmford et al. (2002), [Economic reasons for conserving wild nature](#) .

[66] Hepburn et al. (2020), [Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change?](#) , Smith School Working Paper 20-02.

[67] World Economic Forum (2020), [The Global Risks Report 2020](#) .

[68] IPBES (2019), [Summary for policymakers](#), pp. 17-19, B.10-B.14; European Environment Agency (2019), [The European environment – state and outlook 2020](#) .

[69] World Wildlife Fund (2018), [Living Planet Report - 2018: Aiming Higher](#) .

[70] IPBES (2019), [Summary for policymakers](#), p. 4, A4.

[71] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1590574123338&uri=CELEX%3A52020DC0380>

[72] <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>

[73] World Economic Forum (2020), [The Global Risks Report 2020](#) .

[74] Latest EU-27 statistics ([European database of nationally designated protected areas](#)) v. 2019, and [Natura 2000 dataset 'end 2018'](#) .

[75] <https://www.cbd.int/forest/definitions.shtml> ; [Natura 2000 and Forests](#) .

[76] European Environment Agency (2019), [EEA Signals 2019: Land and Soil in Europe](#)

[77] Article 29 of the EU Renewable Energy Directive 2018/2001.

[78] [Fitness Check of the EU Water Legislation](#) (SWD(2019) 439).

[79] [EnRoute project](#),
<https://oppla.eu/groups/enroute/publications-and-deliverables>

[80] <https://berlinprocess.info/wp-content/uploads/2021/02/Leaders-Declaration-on-the-Green-Agenda-for-the-WB.pdf>

[81] Дарко Бабунски и Зоран Марков, „Системи за мониторинг на животната средина - Мониторинг на води“, 2018.

[82] Ministry of natural resources and environment – Malaysia, “Study on the river water quality trends and indexes in peninsular Malaysia”, Water Resources Publication No. 21, 2009.

[83] A. Tuneski, E. Zaev, et al. “Monitoring and Improving the Rivers in the Vardar/Axios Watershed (MIRVAX)”, NATO Science for Peace programe, SfP981877, 2006-2011.

Emil Zaev, Darko Babunski, Atanasko Tuneski, „SCADA System for Real-time Measuring and Evaluation of River Water Quality“, MECO 2016, Bar, Montenegro, 2016.

Резимеа

Резиме (МК)

Учебникот Системи за управување и мониторинг во животната средина е кооперативен и сеопфатен труд на авторите проф. д-р Емил Заев, проф. д-р Зоран Марков и проф. д-р Дарко Бабунски, професори на Институтот за Хидраулично инженерство и автоматика на Машинскиот факултет, при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје наменет за студентите од студиските програми Енергетика и екологија, Автоматизација и управувачки системи и Хидраулично енергетско инженерство на првиот циклус, како и за насоките Sustainable environmental engineering (на англиски јазик) и Автоматика и флуидно инженерство на вториот циклус студии на Машинскиот факултет во Скопје, како и за сите млади и искусни професионалци во областа која иако релативно нова сè повеќе ја наоѓа својата примена во државата како последица на прилагодување на законодавството и регулативата кон постоечката регулатива која се применува во земјите на Европската Унија.

Во поглед на содржината овој учебник е обид да прикаже две наизглед некомпатибилни, променливи, нестабилни и различни научни подрачја, кои се подложни на секојдневни промени на регулативата и политиките, што дополнително ги комплицира меѓусебните односи. Првото подрачје е Системи за мониторинг и управување, кое е дел од поголемото научно подрачје кое ги опфаќа системите за автоматизација. Автоматизацијата е подрачје кое најмногу се користи кај индустриските процеси, при управувањето и мониторингот, но и како алатка за унапредување на постоечките процеси. Процесите во животната средина се процеси кои се наоѓаат во природата и на прв поглед не постои директна врска со системите за управување. Сепак без управувачките системи, процесите за прочистување на животната средина не би биле можни. Овој учебник има за цел да даде преглед на најчесто користените управувачки техники и системи кај процесите во животната средина, при што сериозно помагаат да се одржи животната средина почиста и сите нејзини мерливи и немерливи параметри да се во согласност со новите регулативи, иницијативи и планови. Потребата за ангажирање на системи за управување во животната средина се јавува кај примена на нови техники за прочистување на животната средина, при примена на нови построги регулативи, при намалување на трошоците за примена на нови технологии за одржливост на животната средина, донесување на подобри оперативни и инженерски одлуки, порана детекција на проблеми како и побрза

реакција при итни случаи прилагодени на новите трендови во политиките во Животната средина.

Едно поглавје е посветено на важноста на Берлинскиот процес (како дипломатска, но и иницијатива од областа на животната средина) и Зелениот договор (како иницијатива на Европската унија да ја направи сопствената економија одржлива).

Системите за автоматизација на процесите во животната средина ги опфаќаат следните подрачја: Визуелизација, управување и системи за прилагодување кај водоводните и канализациските мрежи, кај пумпните станици, кај станиците за третман на чиста и отпадна вода. За успешно да се објаснат принципите на системите за автоматизација неопходно е теоретски да се обработат најчесто користените управувачки закони и техники, како и начините на нивна имплементација преку специјализирани контролери како и процесори за широка примена.

Имплементацијата на управувачките алгоритми како и системите за мониторинг на сите параметри кај станица за третман на отпадна вода подетално се прикажани во посебно поглавје со што се опфатени сите процеси кои се од есенцијално значење за квалитетно, ефикасно и оптимално извршување на прочистувањето на отпадните води било да се индустриски или комунални.

Во наредното поглавје се прикажани користените архитектури на управувачките системи, како најчестата супервизиско управување и прибирање на податоци (SCADA), како и различните техники на имплементација на системите за дистрибуирано управување преку некој од постоечките мрежни протоколи.

Системите за мониторинг се опишани преку нивната конфигурација, структура и составни делови, при што посветено е посебно внимание на основната мерна инструментација.

На крајот, но не најмалку важни, се обработени постоечките Индекси за квалитет на вода, при што се предлага креирање на индекс за квалитет на вода прилагоден за локалните услови и закони.

Не се занемарени ни практичните аспекти на имплементацијата на системите за управување и мониторинг во животната средина преку примери на системи кои се веќе имплементирани и функционални.

Авторите се надеваат дека успеаја да ги обработат темите и терминологијата на приемчив начин како за студентите, така и за професионалците од областа и со издавањето на овој учебник на македонски јазик да ја дополнат серијата на издадени учебници и монографии од областа на животната средина преку огромната поддршка на Фондацијата „Конрад Аденауер“ за што изразуваме голема благодарност, со што се унапредува и олеснува процесот на студирање на студиските програми покриени од соодветната научна област.

Summary (ENG)

The textbook *Environmental Control and Monitoring Systems* is a cooperative and comprehensive work of the authors, prof. Dr. Emil Zaev, prof. Dr. Zoran Markov, and prof. Dr. Darko Babunski, professors at the Institute of Hydraulic Engineering and Automation at the Faculty of Mechanical Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, and is intended for students from the study programmes Energy and Ecology, Automation and Control Systems and Hydraulic Energy Engineering in the first study cycle, and for Sustainable Environmental Engineering (in English) and Automation and Fluid Engineering in the second cycle of studies at the Faculty of Mechanical Engineering in Skopje, as well as for all young and experienced professionals in the field, which, although relatively new, is being applied in the country as a result of the adaptation of the legislation and the regulations to the existing regulations applied in the EU countries.

In relation to the content, this textbook is an attempt to present two seemingly incompatible, variable, unstable, and different scientific areas, which are subject to daily changes in regulations and policies, which further complicates the mutual relations. Automation is an area that is mostly used in industrial processes, during management and monitoring, but also as a tool to improve existing processes. Environmental processes are processes that are found in nature, and at first glance, there is no direct connection with control systems. However, without control systems, environmental cleanup processes would not be possible. This textbook aims to provide an overview of the most commonly used control techniques and systems in environmental processes, which help to keep the environment cleaner, and all its measurable and immeasurable parameters in accordance with the new regulations, initiatives, and plans. The need to engage in environmental control systems arises in the application of new techniques for environmental cleanup, in the application of new stricter regulations, in reducing the costs of applying new technologies for environmental sustainability, in adopting better operational and engineering decisions, early detection of problems, as well as faster emergency response adapted to the new trends in environmental policies.

One chapter is devoted to the importance of the Berlin Process (as a diplomatic, but also an environmental initiative) and the Green Deal (as an initiative of the European Union to make its own economy sustainable).

The automation systems of the environmental processes cover the following areas: visualization, control and adjustment systems for water supply and sewerage networks, for pumping stations, for clean and wastewater treatment plants. In order to successfully explain the principles of automatic systems, it is necessary to theoretically present the most commonly used control laws and techniques, as well as the ways of their implementation through specialized controllers as well as processors for common application.

The implementation of control algorithms as well as the monitoring systems of all parameters at the wastewater treatment plant are presented in more detail in a separate chapter, which covers all processes that are essential for quality, efficient and optimal performance of wastewater treatment, whether industrial or communal.

The next chapter presents the used control systems architectures, such as the most common Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), as well as the various techniques for implementation of distributed control systems through one of the existing network protocols.

Monitoring systems are described through their configuration, structure, and components, with special attention paid to basic measurement instrumentation. Last, but not least, the existing water quality indexes are elaborated, proposing the creation of a water quality index adapted to local regulations and laws.

The practical aspects of the implementation of control and monitoring systems in the environment are also presented through examples of systems that are already implemented and functional.

The authors hope that they have managed to elaborate the topics and terminology in a receptive manner for both students and professionals in the field, and they hope that the publication of this textbook in Macedonian would complement the series of published textbooks and monographs in the field of environmental protection, with the great support of the Konrad Adenauer Foundation, for which we express deep gratitude, in promoting and facilitating the study process in the study programmes covered by the relevant scientific field.