



УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ – СКОПЈЕ



ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИСКИ
ТЕХНОЛОГИИ

СТУДИЈА

СТРАТЕГИЈА ЗА РЕКОНСТРУКЦИЈА/РЕВИТАЛИЗАЦИЈА НА ПРЕНОСНА МРЕЖА (конечен извештај)

Нарачател: МЕПСО – Скопје

Извршител: ФЕИТ – Скопје

Договор бр.: МЕПСО – Скопје
02-3538/6 од 11.09.2018 година

ФЕИТ – Скопје
05-1400/6 од 11.09.2018 година

Скопје, септември 2019

Нарачател: МЕПСО АД, Скопје

Извршител: Факултет за електротехника и информациски технологии,
Скопје

Наслов на студијата: Стратегија за реконструкција/ревитализација на
преносна мрежа

Број на договор: ФЕИТ: 05-1400/6 од 11.09.2018 година
МЕПСО: 02-3538/6 од 11.09.2018 година

Автори: Проф. д-р Мирко Тодоровски, раководител на тимот
Проф. д-р Драгослав Рајичиќ
Проф. д-р Рубин Талески
Доц. д-р Јорданчо Ангелов
Доц. д-р Јовица Вулетиќ

Декан,
Проф. д-р Димитар Ташковски

СОДРЖИНА

1. Вовед.....	4
2. Преглед на влезните податоци.....	6
2.1. Влезни податоци за надземни водови и кабли.....	6
2.2. Влезни податоци за трансформаторски станици со придружна опрема.....	7
3. Организација на податоците во база на податоци.....	9
4. Ревизија на подлогите за планирање.....	11
5. Дефинирање на ранг листа со елементи кандидати за зафат.....	12
5.1. Податоци во базите.....	12
5.2. Критериуми за рангирање.....	12
6. Краток осврт на особености на некои типови спроводници за надземни водови.	15
7. Оптимален избор на распоредот за извршување на зафати.....	21
7.1. Постапка за одредување на распоред за зафати.....	21
7.2. Инвестициски коефициенти.....	23
7.3. Оптимизациска функција и ограничувања.....	23
7.4. Алгоритам за оптимален избор на водови.....	23
8. Резултати.....	26
8.1. Дефинирање групи водови.....	26
8.2. Резултати за групите водови.....	29
8.3. Промена на ранг на водови по периоди.....	42
8.4. Распоред на зафати добиен со оптимизациска постапка.....	47
8.5. Трансформаторски станици со придружна опрема.....	51
8.6. Основно за подготвителните активности за зафат.....	59
8.7. Конечен распоред на зафати.....	63
9. Заклучок.....	67
10. Литература.....	73
11. Прилози.....	Error! Bookmark not defined.
11.1. Прилог 1.....	Error! Bookmark not defined.
11.2. Прилог 2.....	Error! Bookmark not defined.
11.3. Прилог 3.....	Error! Bookmark not defined.
11.4. Прилог 4.....	Error! Bookmark not defined.
11.5. Прилог 5.....	Error! Bookmark not defined.
11.6. Прилог 6.....	Error! Bookmark not defined.

1. ВОВЕД

Имајќи предвид дека поголем број од водовите на преносната мрежа во Македонија се изградени пред 40–50 години може да се очекува дека по 2020-та година голем број водови ќе бидат кандидати за реконструкција/ревитализација¹. При тоа, освен староста на водовите, при изборот на редоследот за зафати на водовите треба да се води сметка и за нивното значење за сигурноста во работата на преносната мрежа. Следователно, во оваа студија фокусот ќе биде насочен на два клучни фактори и тоа:

- изработка на база на податоци со информации за состојбата на функционалните компоненти на преносните водови од каде ќе произлезе оценка за состојбата и ургентноста за зафати на одделни водови, со што ќе се добие приоритетна листа на зафати и
- дефинирање на методологија во која преку оптимизациска постапка ќе се креира распоред на зафати распределени во карактеристични периоди (2025–2030, 2030–2035 и 2035–2040 година), при што ќе се води сметка за што е можно порамномерен распоред на зафатите со уважување на сите сигурносни критериуми за работа на преносната мрежа.

При одредувањето на оптималните распореди за зафати за сите дефинирани периоди ќе се разгледуваат повеќе карактеристични работни режими (зима/лето, минимално/максимално оптоварување и различни сценарија за развој на преносната мрежа и изворите) за кои ќе се бара исполнување на сигурносниот критериум $N-1$ за работа на мрежата, а ќе се води сметка и за веќе започнатите или планирани зафати.

Изборот на оптимален распоред на зафати, при веќе дефинирана приоритетна листа, е комбинаторен проблем. Постојат современи оптимизациски постапки со чија примена може да се најде глобално оптимално решение во случај кога функцијата на цел и ограничувањата се конвексни. За жал, комплетниот модел на преносната мрежа е нелинеарен и неконвексен така што ќе биде потребна примена на соодветна линеаризација за да може успешно да се применат методите од класата на мешано-целобројно линеарно програмирање. Ваквиот пристап е неизбежен, затоа што во денешно време сè уште не постојат методи за мешано-целобројно нелинеарно програмирање што се применливи за проблеми со големи димензии. Сепак, нелинеарниот модел на преносната мрежа ќе може да биде уважен при оптимизацијата преку итеративна постапка, а во најмала мерка може да биде користен за проверка на добиеното оптимално решение. Како резултат од студијата ќе произлезе јасно дефиниран план за извршување на зафатите.

Во студијата ќе се користат податоци собрани од соодветните служби на МЕПСО. Податоците ќе бидат составен дел од базата на податоци, а освен тоа ќе се користат и релевантни стратешки документи, како што се: стратегии за развој на преносната мрежа, стратегии за развој на електроенергетскиот сектор (т.е. за изворите на електрична енергија приклучени на преносната мрежа), стратешки

¹ За поедноставна формулација, читливост и следење на текстот, терминот „зафат“ ќе се користи како синоним за терминот „реконструкција/ревитализација“.

развојни планови за дистрибутивната мрежа и соодветни законски акти од областа на преносот на електрична енергија.

2. ПРЕГЛЕД НА ВЛЕЗНИТЕ ПОДАТОЦИ

За потребите на студијата, МЕПСО беше обврзан да ги обезбеди сите потребни влезни податоци. Влезните податоци се структурирани во две главни категории:

1. надземни водови и кабли и
2. трансформаторски станици (со придружни елементи).

Податоците треба да послужат за организирање и изготвување на соодветна база на податоци. Тие ќе бидат искористени при изработка на студијата.

2.1. Влезни податоци за надземни водови и кабли

Податоците содржат низа релевантни информации за типот, карактеристиките, градбата и тековната состојба на елементите на преносната мрежа.

2.1.1 Надземни водови

Влезните податоци за секој од надземните високонапонски водови содржат информации за:

- номинално напонско ниво,
- должина на трасата,
- тип на спроводници и номинална плоштина на напречниот пресек,
- најголема трајно дозволена струја,
- тип на изолација,
- тип и број на столбови,
- година на пуштање во погон или последна реконструкција,
- моментална состојба на водот.

За секој од водовите е наведено номиналното напонско ниво, изразено во киловолти (kV).

Должините за трасите се дадени во километри (km). Оваа информација се однесува за надземни водови на територијата на Македонија. Кај интерконективните водови е дадена вкупната должина на секој од водовите, како и должина на дел од трасата што поминува низ територијата на Македонија.

Спроводниците кај надземните водови се претежно од алуминиум зајакнат со челично јадро (стара ознака на типот е ACSR, додека според важечкиот MKC EN 50182:2010 новата ознаката е AL1/ST1A), а кај некои од водовите се користени и спроводници од типот GTACSR и AHLJ. За секој од водовите е позната:

- најголема трајно дозволена струја (изразена во амperi),
- надолжна активна отпорност (изразена во Ω/km),
- надолжна реактанција (изразена во Ω/km) и
- напречна сусцептанција (изразена во $\mu\text{S}/\text{km}$).

Изведбата на надземните високонапонски водови е реализирана со челично-решетки (едносистемски или двосистемски) или армирано бетонски столбови. За секоја од трасите е даден бројот на столбови по тип/производител и вкупниот број на столбови. За секој од столбовите е позната фазната изолација (тип на

изолаторска верига), а за секоја од трасите е дадена и информација за заштитното јаже².

За секој надземен вод е позната годината на пуштање во работа, како и годината/те на извршени зафати. За моменталната состојба на водовите е приложена описна информација.

2.1.2 Енергетски кабли

Влезните податоци за енергетските високонапонски кабли содржат информации за:

- номинално напонско ниво,
- тип на енергетски кабел,
- материјал на спроводници и плоштина на нивниот напречен пресек.

Преносната мрежа на Македонија вклучува и енергетски кабли со изолација од вмрежен политилен, а спроводниците се изработени од алуминиум (Al) со различни плоштини на напречниот пресек. За секој од каблите се дадени следниве параметри:

- најголема трајно дозволена струја (изразена во ампери),
- надолжна активна отпорност (изразена во Ω/km),
- надолжна реактанција (изразена во Ω/km) и
- напречна susceptанција (изразена во $\mu\text{S}/\text{km}$).

2.2. Влезни податоци за трансформаторски станици со придружна опрема

Секоја трансформаторска станица претставува јазол во електроенергетски систем (ЕЕС) и содржи повеќе елементи, како што се:

- одводници на пренапони (ОП),
- напонски мерни трансформатори (НМТ),
- струјни мерни трансформатори (СМТ),
- комутациона опрема (КО),
- енергетски трансформатори (ЕТ).

За секој одводник на пренапон се познати следните податоци: локација на поставување (извод), тип, производител, година на производство/пуштање во работа.

За мерните трансформатори е познато: локација на поставување (извод и поле), тип, производител, година на производство и фабрички број.

Комутационата опрема се состои од: раставувачи (РС) и прекинувачи (ПР). За поголемиот дел од раставувачите е дадена информација за: локација на поставување (извод и поле), тип, производител, година на производство/пуштање во работа, номинален напон, номинална струја, ударна струја, вид на погон и моментална состојба на раставувачот.

² Терминот „заштитно јаже“ има исто значење како и терминот „заштитен спроводник“.

За прекинувачите е познато: локација на поставување (извод и поле), тип, производител, година на производство/пуштање во работа, номинален напон, номинална струја, номинална расклопна струја, вид на погон, медиум за гасење на електричен лак (SF₆, масло, воздух), начин на работа (еднополен или трополен) и моментална состојба на прекинувачот.

За енергетските трансформатори е наведена сопственоста, како и: локација на поставување (т.е. трансформаторска станица), вид на трансформатор (трансформатор или автотрансформатор), бројна состојба, производител и фабрички број, година на производство/пуштање во работа, номинални напони, номинални струи, номинални моќности, вид на ладење и степен на изолација, загуби во железо и бакар, напони на куса врска, шема и група на соединување и регулациона преклопка (тип, производител, фабрички број, број на степени, вид на погон, година на производство).

3. ОРГАНИЗАЦИЈА НА ПОДАТОЦИТЕ ВО БАЗА НА ПОДАТОЦИ

За потребите на студијата (според условот од тендерската документација), екипата од Факултетот за електротехника и информациски технологии (Консултант) беше задолжена да изработи база на податоци. Базата треба да ги опфати сите составни елементи (надземни и кабелски водови, трансформаторски станици и придружни елементи) и истата база да послужи, како основа за некои други видови анализи во иднина. Следствено, од базата на податоци се бара да биде прегледна и да може лесно да се надградува.

Базата на податоци е изработена во Excel, што на почетокот е користен како медиум за прибирање податоци. По комплетирањето на податоците базата ќе биде трансформирана во централизирана SQL база која ќе биде поставена на сервер, така што таа ќе биде единствена и промените што ќе ги прави еден корисник ќе бидат видливи за сите. Базата е организирана во повеќе табели, со кои се опфатени сите компоненти неопходни за да се опише еден надземен вод, кабел или трансформаторска станица.

Табелите содржат информации за трансформаторските станици и полињата од кои почнуваат и завршуваат водовите, како и податоци за затезните полиња и одделните столбови во нив. За секој вид на опрема (столб, јаже, изолатор и др.) дефинирани се табели со типски компоненти, во кои се дадени основни податоци за нив, а кои се од интерес за студијата. Овозможено е и вметнување на целокупната каталожка документација со која се располага за одреден типски елемент.

За пополнување на базата, од страна на Консултантот, беа изработени *excel* - табели, што беа доставени до МЕПСО за нивно пополнување. Врз основа на овие влезни табели, и влезните податоци што претходно беа доставени до Консултантот, ќе се изврши пополнување на базата.

Се препорачува базата на податоци редовно да се ажурира и дополнува за да може да се примени за изработка на рационални планови за извршување на зафати на примарната опрема.

Пред да се изврши пополнување на базата, направена е проверка на влезните податоци со примена на софтверско решение. На тој начин се овозможува избегнување на потенцијални проблеми што можат да произлезат од лоши (несоодветни) влезни податоци. На слика 1 е прикажан излезот од проверката, во кој се дадени локациите каде се пронајдени грешки во влезните податоци.

Sheet	Row	Column	Value	Link
Патека	2018-10-30			
Датотека	dv+ts_30.10.2018.xlsx			
dalekuvodi	16 C		TS JEGUNOVCE	TS JEGUNOVCE
dalekuvodi	46 D		TS JEGUNOVCE	TS JEGUNOVCE
dalekuvodi	55 C		TS M.KAMENICA 110	TS M.KAMENICA 110
dalekuvodi	68 D		TS GENERAL JANKOVIC 110	TS GENERAL JANKOVIC 110
dalekuvodi	91 D		TS VRANJE 400	TS VRANJE 400
polinjaTS	115 C		110_SVPETKA	110_SVPETKA
polinjaTS	116 C		110_SVPETKA	110_SVPETKA
polinjaTS	138 C		110_GORCEPETROV	110_GORCEPETROV
polinjaTS	139 C		110_GORCEPETROV	110_GORCEPETROV
polinjaTS	140 C		110_GORCEPETROV	110_GORCEPETROV
polinjaTS	141 C		110_GORCEPETROV	110_GORCEPETROV
polinjaTS	156 C		110_KRIVAPALANKA	110_KRIVAPALANKA
polinjaTS	157 C		110_KRIVAPALANKA	110_KRIVAPALANKA
polinjaTS	158 C		110_KRIVAPALANKA	110_KRIVAPALANKA

Слика 1. Приказ на корекција на влезни податоци

Базата на податоци ќе овозможи повеќе-кориснички пристап до нејзините податоци, но измена или дополнување на податоците ќе биде овозможено само на корисник со администраторски привилегии. Секоја измена ќе биде запишана во посебна табела за запис на настани. На секој запис, што ќе биде регистриран, ќе му биде доделен единствен идентификационен број (ID), а воедно ќе биде заведен и датумот и времето на новиот запис (datum), како и корисникот кој го направил записот (username). На слика 2 е прикажана организираноста на табелата на записи на настани во базата на податоци.

Table	Field	TypeSQL	Opis
	id	integer	recordID; unique; autoincrement
	datum	datetime	Датум и време на последно запишување на рекордот во база
	username	nvarchar(max)	Domain\user на корисникот што направил последна промена

Слика 2. Приказ на табела за записи на настани

Краток опис на секоја табела и подетално упатство за користење и ажурирање на базата на податоци е дадено во Прилог **Error! Reference source not found..**

4. РЕВИЗИЈА НА ПОДЛОГИТЕ ЗА ПЛАНИРАЊЕ

За потребите на студијата, МЕПСО беше задолжен да ги обезбеди сите потребни влезни податоци, вклучително и податоците за претходно изработени студии и анализи чија содржина е од интерес за предметната студија за зафати во преносната мрежа.

Од страна на МЕПСО беа доставени неколку студии, и тоа:

- Студии за прогноза на биланс на ЕЕ и моќност за долгорочен период и анализа за адекватност на преносната мрежа на Република Македонија,
- Концепти за развој на преносната мрежа по одделни региони за долгорочен период,
- Студија за проценка на вкупните трошоци за интегрирање на ОИЕ во ЕЕС на Македонија,
- Студија за ефикасно управување со работата на енергетските трансформатори со цел заштеда на електрична енергија.

Во Прилог **Error! Reference source not found.** е прикажан подетален осврт кон „Студија за прогноза на биланс на ЕЕ и моќност за долгорочен период и анализа за адекватност на преносната мрежа на Република Македонија“. Во прилогот, цитати од студијата се наведени со сина боја, додека согледувањата поврзани со тие цитати се наведени со црна боја.

Во Прилог **Error! Reference source not found.** пак, е прикажан подетален осврт кон „Студија за концептите за развој на преносната мрежа по одделни региони за долгорочен период“. Повторно и тука, цитати од студијата се наведени со сина боја, додека согледувањата поврзани со тие цитати се наведени со црна боја. Од согледувањата може да се констатираат три категории на разгледувани проблеми во мрежата.

Првата категорија опфаќа анализи поврзани со ангажираноста на ТЕТО, начинот на поврзување на централата (надземен вод, кабелски вод, паралелни секции и сл.) и третман на струите од куси врски (секционирање на собирници).

Втората категорија опфаќа анализи поврзани со работата и ангажираноста на РЕК Осломеј. Притоа, се нагласува дали и со колкава моќност ќе работи централата. Понатаму, се разгледуваат аспекти за зајакнување на преносниот капацитет на мрежата во северо-западниот регион заради преоптоварувања, старост на мрежата и евакуација на производството од постоечките извори во непосредна близина (изворите од шарскиот слив, ХЕЦ Шпиље, ХЕЦ Глобочица, ХЕЦ Козјак и ХЕЦ Св. Петка), како и новоизградените извори (ХЕЦ Бошков мост, ХЕЦ Шпиље 2).

Во третата категорија се анализираат состојби поврзани со неколку под категории на проблеми, меѓу кои: напојување на централното градско подрачје на град Скопје (избор и тип на вод, напуштање/задржување на траси и сл.), внимателно разгледување на состојбите со напојување на поголеми потрошувачи преку радијални отцепи во преносната мрежа и потенцијално врзување на напојувањето во прстен (ако постои системска оправданост?) и конечно, внимателно разгледување на состојбите поврзани со ниски напони во источните делови на Македонија и начини на нивно решавање (поставување на компензатор или зајакнување на преносниот капацитет на мрежата).

5. ДЕФИНИРАЊЕ НА РАНГ ЛИСТА СО ЕЛЕМЕНТИ КАНДИДАТИ ЗА ЗАФАТ

5.1. Податоци во базите

Имајќи предвид дека дефинираната структура на базата на податоци е премногу детална и за нејзиното комплетно пополнување е потребно време што е подолго од периодот потребен за завршување на студијата, мораше да се пристапи кон пополнување на скратена верзија на базата на податоци. Во пократката верзија на базата има доволно податоци за да се дефинира ранг листа со елементи кандидати за зафат, која потоа би се користела во постапката за избор на оптимален распоред на зафатите.

За таа цел во базата се пополнети следните табели со соодветни колони што се наведени во загради (во секоја табела има и колони со забелешки што се опционални и не се наведени тука), и тоа:

- **trafostanici** (sifra, sifraPSSE, nomNapon, imeTrafostanica) – внесени се податоци за 129 трафостаници од кои 113 се на 110 kV, 1 е на 150 kV, 2 се на 220 kV и 13 се на 400 kV. За сите нив внесени се и шифрите по кои тие се препознаваат во моделите на мрежата правени во PSSE;
- **polinjaTS** (sifra, trafostanica, imePole) – внесени се податоци за 512 полиња во трансформаторските станици од кои 451 поле се на 110 kV, 3 полиња на 150 kV, 8 полиња на 220 kV и 50 полиња на 400 kV;
- **prekinuvaci** (sifraPole, nomStruja, rasklopnaStruja, godinaPogon, godinaRemont) – внесени се податоци за 355 прекинувачи, при што покрај наведените податоци кои се неопходни за студијата внесени се и дополнителни податоци како што се: производител, тип, вид на погон, медиум за гаснење на лакот, начин на работа и циклус на операции;
- **rastavuvaci** (sifraPole, nomStruja, udarnaStruja, godinaPogon, godinaRemont) – внесени се податоци за 873 раставувачи, но не се пополнети податоците за sifraPole така што е неможно да се направи поврзување на раставувачите со соодветните прекинувачи и надземни водови;
- **dalekuvodi** (sifra, pocTS, krajTS, nomNapon, polePocTS, poleKrajTS, sostojba, Столбови, Спроводно јаже, Заштитно јаже, Изолација, godinaPogon, godinaRevitalizacija) – ова е клучна табела за потребите на студијата. Во неа се внесени податоци за 132 вода, од кои 107 се во сопственост на МЕПСО, а 94 се предмет на анализа во оваа студија;
- **ispadiDV** (vod, datum, godina, prosek, ispadi, traenje) – внесени се податоци за 517 испади на водовите во периодот од 2015 до 2018 година.

5.2. Критериуми за рангирање

Рангирањето на елементите кандидати за зафат ќе се прави преку дефинирање на еквивалентна оценка за секој од водовите, која во себе содржи информација за моменталната состојба на водот ($E_{\text{состојба}}$) и неговото системско значење ($E_{\text{значење}}$). Следователно, еквивалентна оценка за водот l се добива со користење на равенството

$$E_l = E_{l \text{ состојба}} + E_{l \text{ значење}}.$$

Оценката за моменталната состојба на водот l (т.е. $E_{l \text{ состојба}}$) е дефинирана преку две оценки E_{l1} и E_{l2} . Во оценката E_{l1} е земена предвид староста на водот и неговата техничка исправност. Најголемата вредност на оваа оценка може да изнесува 3, а најмалата 1, при што поголема вредност на оценката значи полоша состојба и обратно. Како параметри за формирање на оценка E_{l1} за водот l ќе се користат следните показатели:

- O_{1l} оценка за состојбата на столбови на водот,
- O_{2l} оценка за состојбата на фазните јажиња на водот,
- O_{3l} оценка за состојбата на заштитно јаже на водот,
- O_{4l} оценка за состојбата на изолација на водот.

Овие показатели, заедно со соодветни тежински коефициенти ја формираат оценката на следниот начин:

$$E_{l1} = k_1 \cdot O_{1l} + k_2 \cdot O_{2l} + k_3 \cdot O_{3l} + k_4 \cdot O_{4l}.$$

Коефициентите k_1 , k_2 , k_3 и k_4 употребени во релацијата за пресметка на E_{l1} зависат од значењето на одделните делови од водот за неговото правилно функционирање, што може да се искаже како пропорционален дел од цената на водот. На состанокот одржан на 27.02.2019 година во МЕРСО се усвоени следниве вредности за коефициентите: $k_1 = 0,5$; $k_2 = 0,25$; $k_3 = 0,15$ и $k_4 = 0,1$.

Оценката за моменталната состојба на водот се дооформува преку оценката E_{l2} , со која е земена предвид нерасположивоста на водот во изминатиот период. За определување на оваа нерасположивост најнапред, за секој вод l , се пресметува

$$E_{l2}^0 = \frac{T_{\text{испад},l}}{T_{\text{сите испади}}},$$

каде што се:

- $T_{\text{испад},l}$ вкупен годишен број на часови во кои водот l е испаднат во разгледуваните години наназад
- $T_{\text{сите испади}}$ вкупна годишна сума на часови во кои имало испади на некој од водовите кандидати за зафати во разгледуваните години наназад.

Потоа, од сите пресметани вредности на E_{l2}^0 се определува најголемата, означена со $\max_l E_{l2}^0$.

Оценката E_{l2} може да има најголема вредност 1 и тоа за водот што има најголема нерасположивост, додека останатите водови добиваат вредност пропорционална на нивната нерасположивост во однос на нерасположивоста на водот со најголема нерасположивост. Следователно, за определување на E_{l2} се користи равенката

$$E_{l2} = \frac{E_{l2}^0}{\max_l E_{l2}^0}.$$

Од практични причини оценката за системското значење на водот $E_{\text{значење}}$ покусо ќе ја означуваме со E_{l3} . По основ на системското значење, водот може да

добие највисока оценка 3. Оценката за системското значење на водот е добиена на следниот начин

$$E_{l3} = E_{l3}^N + E_{l3}^{N-1} + E_{l3}^{(N-1)-1},$$

каде што:

E_{l3}^N е големина што има вредност еднаква на единица доколку при врвно оптоварување во ЕЕС и нормален работен режим (во кој сите елементи се расположливи) водот е процентуално најмногу оптоварен. Секој од останатите елементи добива вредност еднаква на односот на процентуалното оптоварување на елементот што се разгледува и процентуалното оптоварување на процентуално најоптоварениот елемент, т.е.

$$E_{l3}^N = \frac{p_l^N}{\max_l p_l^N},$$

каде што p_l^N е процентуална оптовареност на водот l во нормален работен режим.

E_{l3}^{N-1} е големина што има вредност еднаква на единица доколку при врвно оптоварување во ЕЕС испадне елемент чие испаѓање доведува до најголема процентуална оптовареност на разгледуваниот вод. Секој од останатите елементи добива вредност еднаква на односот меѓу процентуалното оптоварување на разгледуваниот елемент и процентуалното оптоварување на најоптоварениот елемент при најлош можен единичен испад, т.е.

$$E_{l3}^{N-1} = \frac{p_l^{N-1}}{\max_l p_l^{N-1}},$$

каде што p_l^{N-1} е процентуална оптовареност на водот во режим на работа со најлош единичен испад кој доведува до најголема оптовареност на водот.

$E_{l2}^{(N-1)-1}$ е големина што има вредност еднаква на единица ако водот, поради негова трајна нерасположивост, доведува до неисполнетост на критериумот $N-1$, додека во случај кога неговиот испад не го нарушува критериумот $N-1$ му се доделува вредност 0.

6. КРАТОК ОСВРТ НА ОСОБЕНОСТИ НА НЕКОИ ТИПОВИ СПРОВОДНИЦИ ЗА НАДЗЕМНИ ВОДОВИ

Во студијата „Концепти за развој на преносната мрежа во одделни региони за долгорочен период“ е предвидено, доколку се јави потреба од извршување зафати на некој вод, да се користат исклучиво следните типови на јажиња:

- За извршување зафати на 400 kV вод:
 - ACSR (Al/Fe) 2x490/65 mm²,
- За извршување зафати на 110 kV вод:
 - 2 x ACSR 240/40 mm² за двосистемски вод,
 - 1 x ACSR 240/40 mm² за едносистемски вод,
 - ACSR 360/57 mm² (во регион на град Скопје),
 - AAAC-Z 324 mm².

Основните карактеристики на погоре наведените комбинирани јажиња ACSR, се дадени во табела 1. Овие карактеристики на јажињата, како такви, се внесени и во мрежните модели обезбедени од страна на МЕРСО, за потребите на оваа студија.

Табела 1. Основни карактеристики за комбинирано јаже ACSR

Тип на јаже	ACSR 150/25	ACSR 240/40	ACSR 360/57		ACSR 490/65
Подрачје на примена	110 kV	110 kV	110 kV		400 kV
Однос Al/Fe	6	6	6		7,7
Номинален пресек, [mm ²]	150/25	240/40	360/57		490/65
Вистински пресек, [mm ²]	148,9/24,2	243,0/39,5	360,1/56,4	360,1/57,4	490,3/63,6
Вкупен пресек, [mm ²]	173,1	282,5	416,5	417,5	553,9
Број/Пречник на Al жици, [br./mm]	26/2,70	26/3,45	26/4,20	26/4,20	54/3,40
Број/Пречник на Fe жици, [br./mm]	7/2,10	7/2,68	7/3,20	19/1,96	7/3,40
Надворешен пречник, [mm]	17,1	21,9	*26,4	26,6	30,6
Маса на јажето, [kg/km]	601	987	/	1 483	1 855
Сила на кинење, [daN]	5 525	8 640	/	12 745	15 310
Отпор при 20 °C, [Ω]	0,1939	0,1188	0,080	0,080	0,05896
Трајно дозволена струја, [A]	488	647	/	824	1 920*

* Најголема трајно дозволена струја за едносистемски вод со сноп од два спроводника по фаза.

Во табела 2 се дадени некои карактеристики за некои од спроводниците што доаѓаат предвид за примена во надземни водови во разгледуваната преносна мрежа. Табела 2 е формирана врз основа на податоците во важечкиот стандард МКС EN 50182:2010.

Табела 2 Податоци за некои спроводници за надземни водови од алуминиум зајакнати со челично јадро (според МКС EN 50182:2010)

Ознака ³	Нова		149-AL1/ 24-ST1A	243-AL1/ 39-ST1A	382-AL1/ 49-ST1A	490-AL1/64- ST1A
	Стара		ACSR 150/25	ACSR 240/40	ACSR 380/50	ACSR 490/65
Плоштина на напречниот пресек	Алуминиум	mm ²	148,9	243,1	381,7	490,3
	Челик	mm ²	24,2	39,5	49,5	63,6
	Вкупно	mm ²	173,1	282,5	431,2	553,8
Број на жици	Алуминиум		26	26	54	54
	Челик		7	7	7	7
Дијаметар на жици	Al	mm	2,70	3,45	3,00	3,40
	Челик	mm	2,10	2,68	3,00	3,40
Дијаметар	Јадро	mm	6,30	8,04	9,00	10,2
	Спроводник	mm	17,1	21,8	27,0	30,6
Маса		kg/km	600,8	980,1	1442,5	1852,9
Најмала сила на кинење		kN	53,67	85,12	121,3	150,81
Активна отпорност*		Ω/km	0,1940	0,1188	0,0758	0,0590
Најголема трајно дозволена струја**	Германија	A	470	645	840	960
	Австрија	A	470	640	840	-
	Македонија***	A	488	647	/	960

* За еднонасочна струја.

** Поради различни климатски прилики во одделни европски држави, за некои од нив во МКС EN 50182:2010 се дадени соодветни вредности за најголема трајно дозволена струја за секој спроводник. Како пример за илустрација, во табела 2 се дадени вредности за Германија и Австрија. Таму за Македонија не се дадени соодветни вредности.

*** Најголемата трајно дозволена струја за секој спроводник е преземена од мрежните модели доставени од МЕРСО.

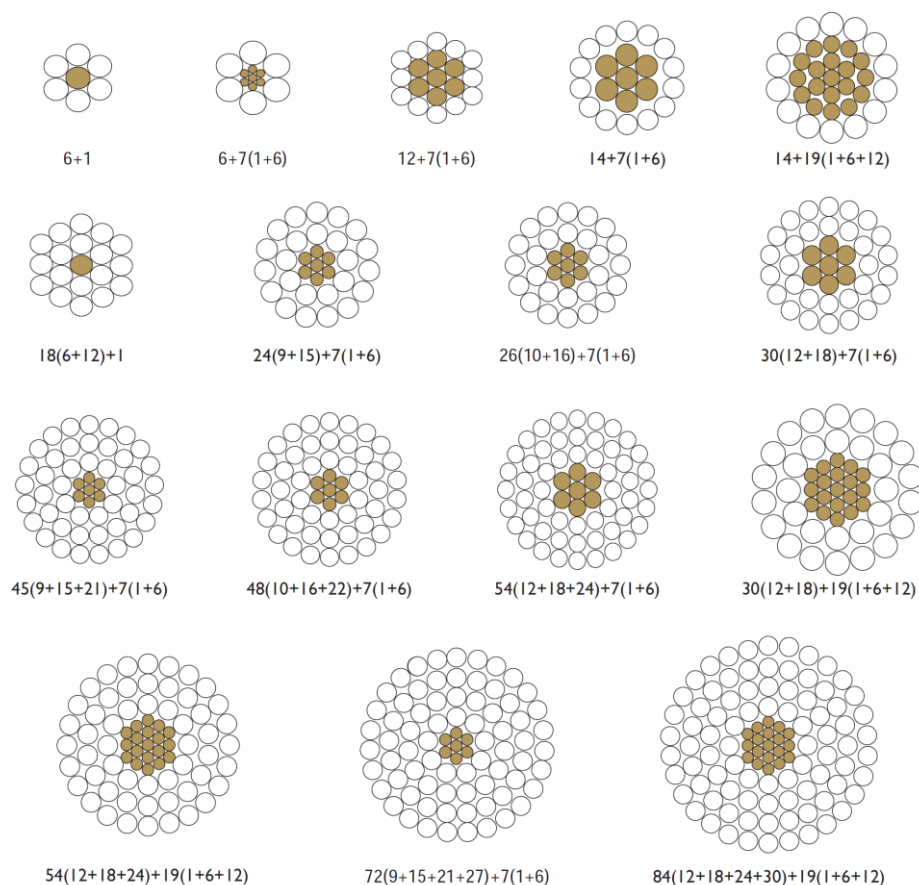
Потребно е да изнесеме две забелешки во врска со стандардот МКС EN 50182:2010 и тоа:

1. Во стандардот не постои спроводник што соодветствува на спроводникот со стара ознака ACSR 360/50.
2. Во табела 2, што се однесува на Австрија, нема податоци за спроводник со ознака 490-AL1/64-ST1A.

На слика 3, сликовито се прикажани некои напречни пресеци на јажиња од типот ACSR. Броевите кои се наведени под секој од напречните пресеци, означуваат број на жили од кои е формиран алуминиумскиот плашт, како и бројот на жили од кои е сочинето челичното јадро. Првично се наведени информациите за алуминиумскиот плашт, а потоа за челичното јадро. Доколку, алуминиумскиот плашт и/или челичното јадро се сочинети од повеќе слоеви, во тој случај, прво е наведен вкупниот број на жили од кои е формиран алуминиумскиот плашт и/или челичното јадро, а во заградата е наведен бројот на жили од кои е сочинет секој од слоевите кои го формираат алуминиумскиот плашт или челичното јадро.

³ Имајќи ја предвид досегашната практика и воспоставените навики, а со цел да се олесни следење на излагањето, во студијава ќе се користат и старите и новите ознаки на спроводниците.

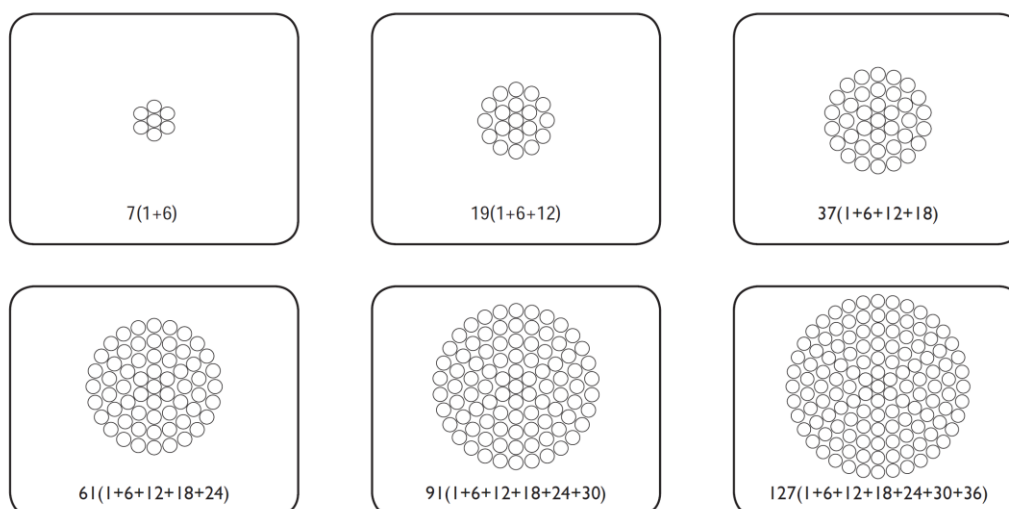
На пример, нека го разгледаме напречниот пресек на комбинираното јаже кое се наоѓа, во вториот ред, на втората позиција, на слика 3 (гледано од лево кон десно). Алуминиумскиот плашт е формиран од вкупно 24 жили, распределени во два слоја и тоа: првиот (внатрешен) слој е формиран од 9 жили, а вториот (надворешен) слој е формиран од 15 жили. Што се однесува за челичното јадро, тоа е сочинето од вкупно 7 жили, исто така, распределени во два слоја: во првиот (внатрешен) слој е поставена една жила, а вториот (надворешен) слој го сочинуваат 6 жили.



Слика 3. Изглед на пресек на јаже од типот ACSR

На слика 4 се прикажани некои од пресеците на јаже од типот AAAC. Како што наведува ознаката на самото јаже, AAAC (All Aluminium Alloy Conductors), сите жили од кои е формирано јажето се изработени од истороден материјал. Бројните ознаки кои се забележуваат под секој од напречните пресеци, на слика 4, го означуваат вкупниот број на жили од кои е формирано јажето, а во заградата се наведени броевите на жили од кои е сочинет секој од слоевите што го формираат јажето.

На пример, нека го разгледаме пречниот пресек на јажето кое се наоѓа, во првиот ред, на втората позиција, на слика 4 (гледано од лево кон десно). Според ознаката може да се забележи дека ова јаже е формирано од вкупно 19 жили, распределени во 3 слоја. Во првиот (внатрешен) слој е поставена една жила, во вториот (средишен) слој е сочинет од 6 жили и третиот (надворешен) слој е формиран од 12 жили.

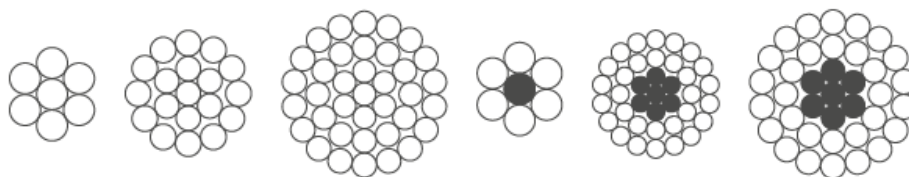


Слика 4. Изглед на пресек на јаже од типот АААС

Генерално, јагето од типот АААС содржи мал процент (ска. 0,6 %) на силициум и магнезиум, кои придонесуваат кон подобрување на неговите карактеристики во однос на основната изведба на јаже од типот АСРС. Присуството на овие елементи му овозможува скоро двојно поголема издржливост на алуминиумот во однос на алуминиумот ЕС 1350, а скоро за 20 % се полесни од јажиња од типот АСРС со ист еквивалентен дијаметар.

Јаже од типот АААС се одликува со висока отпорност на атмосферска корозија, што го прави погоден за користење во индустриски области или во области блиску до море. Површината на јагето е значително потврда во однос на алуминиумот ЕС 1350. Тоа го прави јагето помалку подложно на оштетување во текот на неговото поставување, што е од особена важност кај ЕНВ (Extra High Voltage) преносната мрежа, каде појавата на корона и радио пречки претставуваат голем проблем.

Во поглед на овесната опрема и алат, овесната опрема за јаже од тип АААС е многу поедноставна, во споредба со овесната опрема кај јажиња од типот АСРС. Бидејќи АААС јажињата се изработени од неферромагнетен материјал во нив не се јавуваат загуби на моќност карактеристични за ферромагнетни материјали.



Слика 5. Споредба на изглед на пресек на јаже од типот АААС и АСРС

Во однос на јаже од тип АСРС, јаже од типот АААС се одликува со подобрени карактеристики, како што се: поголема најголема трајно дозволена струја и можноста за работа на повисоки температури (без значително зголемување на провеси). Бидејќи, јагето од типот АААС е изработено од алуминиумски жили, нема потреба од користење на маст, што не е случај со јажињата од типот АСРС, каде помеѓу челичното јадро и алуминиумскиот плашт се поставува маст. Најчесто, во текот на работниот век на јажиња од типот АСРС маста истекува кон надворешната површина на јагето, со што преодната површина помеѓу челичното јадро и алуминиумскиот плашт се изложува на зголемена корозија, а тоа може да

предизвика оштетување на јажето и негово кинење. Несомнено, постојат разлика во конструкторската изведба на јажињата од типот ACSR и AAAC, а тоа може да се забележи преку напречните пресеци кои се дадени на слика 5.

Најчесто, јаже од типот AAAC со 7 и 19 жили е погодно за изведба на распони што се применуваат кај водовите за низок и среден напон, додека пак изведбата со 37 и 61 жила се погодни за изведба на распони како кај водовите за висок напон. Разликата помеѓу јаже од типот AAAC и јаже од типот AAAC-Z е тоа што жилите кај јаже од типот AAAC-Z се изведени во Z-форма. Тоа му обезбедува поголема компакност, во однос на изведбата со жили со кружен напречен пресек. Ваквата изведба на јажето од типот AAAC-Z му обезбедува и дополнителни електрични предности, во однос на јажето од типот AAAC.



Слика 6. Изглед на пресек на јаже од типот AAAC-Z

Јаже од типот AAAC-Z 324 mm² (слика 6) е формирано од 30 жили, распределени во два сегмента (12+18), со дијаметар на жилите од 3,1 mm (по висина). Номиналната плоштина на напречниот пресек на јажето изнесува 324 mm², додека вистинската плоштина на напречниот пресек на јажето се состои од два сегмента и тоа: плоштина на напречен пресек на жилите со кружен напречен пресек од 52,83 mm² и плоштина на напречен пресек на жилите со Z-форма од 271,14 mm². Вкупната вистинска плоштина на напречен пресек на јажето изнесува 323,97 mm².

Да направиме мала споредба на карактеристиките на јаже од типот AAAC-Z 324 mm² и јаже од типот, на пример, ACSR 240/40 mm²:

- Кај јажето од типот AAAC-Z не постои челично јадро, туку целото јаже е изработено од еднороден материјал.
- Надворешниот дијаметар на јажето од типот AAAC-Z, изнесува 21,7 mm, што е малку помало во споредба со надворешниот дијаметар на јажето од типот ACSR 240/40 mm², што изнесува 21,9 mm.
- Специфичната маса на јажето од типот AAAC-Z 324 mm² е 908 kg/km, додека кај јажето од типот ACSR 240/40 mm² е 987 kg/km. Помалата маса на јажето значи помали товари врз столбовите.
- Силата на кинење на јажиња од типот AAAC-Z 324 mm², изнесува 9 550 daN/mm², а кај јажето од типот ACSR 240/40 mm² таа сила изнесува 8 640 daN/mm².
- Модулот на еластичност на јажето од типот AAAC-Z 324 mm², изнесува 5 600 daN/mm² (модул на еластичност на алуминиум), додека модулот на еластичност на јажето од типот ACSR 240/40 mm², изнесува 7 700 daN/mm² и истиот е добиен преку пресметки (5 600 daN/mm² за алуминиум и 18 000 daN/mm² за челик). Понискиот модул на еластичност, значи дека е

потребна помала сила на затегнување на јажето, како би се постигнал посакуваниот провес во однос на потребната сила на затегнување на комбинираното јаже.

- Јажето од типот AAAC-Z 324 mm² се одликува со 21 % поголема најголема трајно дозволена струја во однос на јажето од типот ACSR 240/40 mm². при амбиентална температура од +40 °C, без делување на ветар, Најголема трајно дозволена струја на јаже од типот AAAC-Z 324 mm² изнесува 780 A⁴, а на јаже од типот ACSR 240/40 mm² изнесува 647 A⁵.

Во погоре наведената студија („Концепти за развој на преносната мрежа во одделни региони за долгорочен период“) е предложено зафатите на водовите, да се изведат со јаже тип ACSR во основна изведба. Ваквиот избор е направен врз основа на критериумот минимална цена.

Истата студија посочува дека, доколку во некој од случаите се утврди дека и покрај ревитализацијата на водот со ваков тип на јаже, нема да биде задоволен некој иден модел на мрежата, во поглед на најголемото трајно дозволена струјно оптоварување, во основен или при N–1 критериум, дури тогаш да се користи јаже од типот AAAC-Z.

Во ова поглавје од студијата се наведени некои од карактеристиките на некои типови на спроводници. Доколку, се земе предвид погорната споредба на дел од карактеристиките на јажињата од типот ACSR и од типот AAAC-Z, новиот тип на јаже AAAC-Z има подобрени карактеристики. Споредбата на јажињата во оваа студија е оскудна, пред се поради фактот дека една ваква сеопфатна анализа опфаќа области кои не се опфатени во оваа студија. Од тука се препорачува изработка на технички документ во кој подетално ќе се покријат сите аспекти и ќе се даде појасна споредба и заклучок во поглед на избор на јаже при ревитализација на секој конкретен високонапонски надземен вод.

Во анализите од оваа Студија се претпоставува дека при реализација на сите зафати на избраните далекуводи се користат спроводни јажиња со дозволена оптоварување од најмалку 150 MVA.

Врз основа на погоре изнесеното, пред да се донесе одлука кое јаже да се користи, потребно е да се направат сеопфатни истражувања и техничко–економска анализа за предностите што ги нуди секое јаже, во однос на локацијата за негово поставување и неговите карактеристики.

⁴ Вредноста за најголемата трајно дозволена струја е преземена од спецификација за јажето AAAC-Z 324 mm², обезбедена од страна на МЕПСО.

⁵ Вредноста за најголемата трајно дозволена струја за јажето ACSR 240/40 mm², е преземена од мрежните модели, обезбедени од страна на МЕПСО.

7. ОПТИМАЛЕН ИЗБОР НА РАСПОРЕДОТ ЗА ИЗВРШУВАЊЕ НА ЗАФАТИ

Во согласност со техничките спецификации за изработка на стратегијата се бара да се оптимизира процесот на зафати на преносните елементи така што ќе се настојува да се постигне рамномерна распределба на инвестиции по периоди/години. При тоа, треба да се води сметка да бидат задоволени критериумите за сигурност во работата на преносната мрежа.

7.1. Постапка за одредување на распоред за зафати

Проблемот на определување на распоредот на зафати на елементите од преносната мрежа ќе го разгледуваме во неколку карактеристични периоди 2025–2030, 2030–2035 и 2035–2040. За секој период ќе бидат зададени повеќе карактеристични работни режими за кои ќе треба да се проверат критериумите за сигурност во работата на мрежата. Карактеристичните работни режими опфаќаат ситуации со различни развојни планови за преносната мрежа и генераторските единици поврзани на неа.

Целото множество елементи на преносната мрежа, што се кандидати за зафат, ќе биде подредено по приоритет за зафат во согласност со оценките на водовите кои се пресметани за три категории од важност за самиот вод и преносната мрежа, и тоа:

- 1) оценка за моменталната состојба на водот, добиена од оценките за состојбата на столбовите, фазните јажиња, заштитно јаже и изолацијата;
- 2) оценка за нерасположивоста на водот, пресметана врз основа на добиените статистички податоци за испадите на водовите и
- 3) оценка за системската важност на водот, пресметана според оптовареноста во нормален работен режим, најголемата оптовареност во работен режим со единични испади, т.е. при најлош испад и влијанието на испадот на водот врз исполнетоста/неисполнетоста на критериумот $N-1$.

Бидејќи за секој од трите периоди 2025–2030, 2030–2035 и 2035–2040 моделите на преносната мрежа се различни, водовите добиваат различни оценки за нивната системска важност, што значи дека ранг листата за приоритет на зафати ќе биде променлива по периоди. Од податоците во скратената верзија на базата и од мрежните модели се пресметани оценки на водовите за секој од трите периоди, кои потоа се внесени во базата.

Од оценките на водовите во трите периоди се формираат три ранг листи на водови за зафати кои ќе ги означиме со L_1 , L_2 и L_3 , при што во нив водовите се подредени по приоритет за зафати во согласност со нивните оценки за трите периоди. Целта на оптимизацијата ќе биде да се определи оптимален распоред на зафатите во секој од карактеристичните периоди, односно да се определи подмножество од водови од листите L_1 , L_2 и L_3 земајќи ги водовите кои се на врвот на овие листи, и тоа без повторување.

Очигледно, оптимизацијата е од комбинаторен карактер при што, водејќи сметка за ограничувањата што ќе ги поставиме, бројот на комбинации нема да биде премногу голем, така што решението можеме да го добиеме и со систематско проверување на сите можни комбинации.

За секој вод j и за секој период i дефинираме контролна променлива w_{ij} , која е бинарна променлива со вредност 0 или 1, со што се дефинира дали на водот j треба да биде изведен зафат во периодот i . Така, на пример, ако се разгледуваат 30 водови што се кандидати за зафат во три периоди (при што во првиот период треба да се опфатат водовите 1–7, во вториот водовите 8, 10, 11, 12, 13, 15 и 19, и во третиот водовите 9, 14, 20, 21, 22, 25 и 30), тогаш сите контролни променливи w_{ij} можеме да ги сместиме во матрица $\mathbf{w}$ на следниов начин

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 \\ \mathbf{w}_2 \\ \mathbf{w}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 111111100000000000000000000000 \\ 000000010111101000100000000000 \\ 0000000010000100000011100100001 \end{bmatrix},$$

при што секоја редица од матрицата одговара на еден од разгледуваните периоди, а секоја колона од матрицата одговара на еден од водовите што се кандидати за зафат. Бидејќи секој елемент треба да биде опфатен со зафат само во еден од периодите, во секоја колона од матрицата $\mathbf{w}$ треба да има единица само во една од редиците, а во сите други редици да има нули.

Матрицата $\mathbf{w}$ можеме да ја разгледуваме како составена од три матрици редици $\mathbf{w}_1$, $\mathbf{w}_2$ и $\mathbf{w}_3$, што се однесуваат на нејзините редици. Уште повеќе, наместо матрици редици $\mathbf{w}_1$, $\mathbf{w}_2$ и $\mathbf{w}_3$ можеме да воведеме матрици редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ и во нив да ги сместиме само индексите на соодветните колони во кои вредноста на елементите на матриците редици $\mathbf{w}_1$, $\mathbf{w}_2$ и $\mathbf{w}_3$ се еднакви на единица. (Да нагласиме дека се работи со интерни индекси). Според тоа, од погоре наведената матрица $\mathbf{w}$, за матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ можеме да напишеме:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1 &= [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7], \\ \mathbf{v}_2 &= [8 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 15 \ 19], \\ \mathbf{v}_3 &= [9 \ 14 \ 20 \ 21 \ 22 \ 25 \ 30]. \end{aligned}$$

Ако бројот на елементи во матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ ги означиме со n_1 , n_2 и n_3 , соодветно, тогаш елементите на тие матрици можеме да ги одредиме според следните критериуми:

1. во матрицата редица $\mathbf{v}_1$ се содржани индексите на првите n_1 водови од листата $\mathbf{L}_1$,
2. во матрицата редица $\mathbf{v}_2$ се содржани индексите на првите n_2 водови од листата $\mathbf{L}_2$ што не се земени во матрицата редица $\mathbf{v}_1$,
3. во матрицата редица $\mathbf{v}_3$ се содржани индексите на првите n_3 водови од листата $\mathbf{L}_3$ што не се земени во матриците редици $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$.

Вредностите на n_1 , n_2 и n_3 ќе ги определиме во соодветно целосно пребарување во опсегот од $n_{\min}$ до $n_{\max}$, за секој од нив. При тоа, ќе усвоиме $n_{\min} = 5$ и $n_{\max} = 20$.

Ако должината на секој од водовите ја сместиме во вектор $\mathbf{d}$, а соодветната големина на инвестицијата за реконструкција во вектор $\mathbf{c}$, тогаш за дадена комбинација на реконструкции на водови по периоди можеме да напишеме:

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \mathbf{w} \cdot \mathbf{d}, \\ \mathbf{C} &= \mathbf{w} \cdot \mathbf{c}, \end{aligned}$$

каде што во редицата i на векторот $\mathbf{D}$, е сместена вкупната должина на водовите предвидени за реконструкција во периодот i и таа должина ќе ја означуваме со D_i . Аналогно, во редицата i на векторот $\mathbf{C}$ е сместен вкупен износ на инвестициите предвидени за реконструкција во периодот i и тој износ ќе го означуваме со C_i .

7.2. Инвестициски коефициенти

Големината на инвестициите за одреден зафат е пресметана според должината на водот земајќи дека инвестицијата по единица должина изнесува 100.000 €/km. Но, треба да се нагласи дека во базата на податоци, за секој вод е дефиниран инвестициски коефициент со кој инвестицијата по единица должина е зголемена за 5%, 10%, 15% или 20%, во зависност од условите на теренот за секој вод. За водовите, пак, за кои е предвиден зафат само на одреден дел од целокупната конструкција инвестицискиот коефициент е помал од 1 така што инвестицијата по единица должина е намалена за 20%, 30% или 40% за одделни водови. Податоците за инвестициските коефициенти за сите водови се дадени во табелата **Error! Reference source not found.** во прилог **Error! Reference source not found.**

7.3. Оптимизациска функција и ограничувања

При оптимизацијата функција на цел е вкупната сума на инвестиции, за која се стремиме да постигнеме максимална вредност:

$$F = \max_{v_1, v_2, v_3} (C_1 + C_2 + C_3),$$

менувајќи ги вредностите во матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$.

Како ограничувачки фактори при определување на оптималниот распоред за зафати се земени следните:

1. Максимална должина на водови за зафати во периодот i ($i=1, 2, 3$) е $D_i \leq D_{\max}$, при што е земено $D_{\max} = 200$ km.
2. Максимален износ на инвестициите за зафати на водовите во периодот i ($i=1, 2, 3$) е $C_i \leq C_{\max}$, при што е земено $C_{\max} = 20.000.000$ €.
3. Рамномерност на должините на водови под зафат во периоди $(1-p) \cdot \frac{D_1+D_2+D_3}{3} \leq D_i \leq (1+p) \cdot \frac{D_1+D_2+D_3}{3}$, при што е земено $p = 0,1$, а i е индекс на периодот.
4. Рамномерност на инвестициите за водовите под зафат во периоди $(1-p) \cdot \frac{C_1+C_2+C_3}{3} \leq C_i \leq (1+p) \cdot \frac{C_1+C_2+C_3}{3}$, при што е земено $p = 0,1$, а i е индекс на периодот.

7.4. Алгоритам за оптимален избор на водови

На слика 7 е даден блок дијаграм на постапката за определување оптимален избор на редоследот на водови за изведување зафати. Во суштина се работи за три вгнездени нивоа за пребарување во опсегот од $n_{\min}$ до $n_{\max}$ со што се определуваат

должините (n_1 , n_2 и n_3) и содржината на матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ кои го даваат оптималниот распоред за зафати. За решавање на оптимизацискиот модел претставен погоре е користен посебен софтвер изработен во Matlab.

На почетокот променливите n_1 , n_2 и n_3 добиваат вредност еднаква на $n_{\min}$. Во првото ниво на пребарување се проверува дали променливата n_1 е помала од максималната вредност $n_{\max}$ и ако тој услов е исполнет се земаат првите n_1 водови од листата $\mathbf{L}_1$, со што се формира матрицата редица $\mathbf{v}_1$. Понатаму, во второто ниво на пребарување во случајот кога променливата n_2 е помала од максималната вредност $n_{\max}$ се земаат првите n_2 водови од листата $\mathbf{L}_2$, при што се води сметка тие да не се содржани во $\mathbf{v}_1$ – на таков начин се формира матрицата редица $\mathbf{v}_2$. На крајот, во третото ниво на пребарување во случајот кога променливата n_3 е помала од максималната вредност $n_{\max}$ се земаат првите n_3 водови од листата $\mathbf{L}_3$, при што се води сметка тие да не се содржани ниту во $\mathbf{v}_1$ ниту во $\mathbf{v}_2$ – на таков начин се формира матрицата редица $\mathbf{v}_3$. Со тоа, по извршувањето на првите чекори во сите 3 нивоа на пребарување, должините на матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ се еднакви и изнесуваат $n_{\min} = 5$.

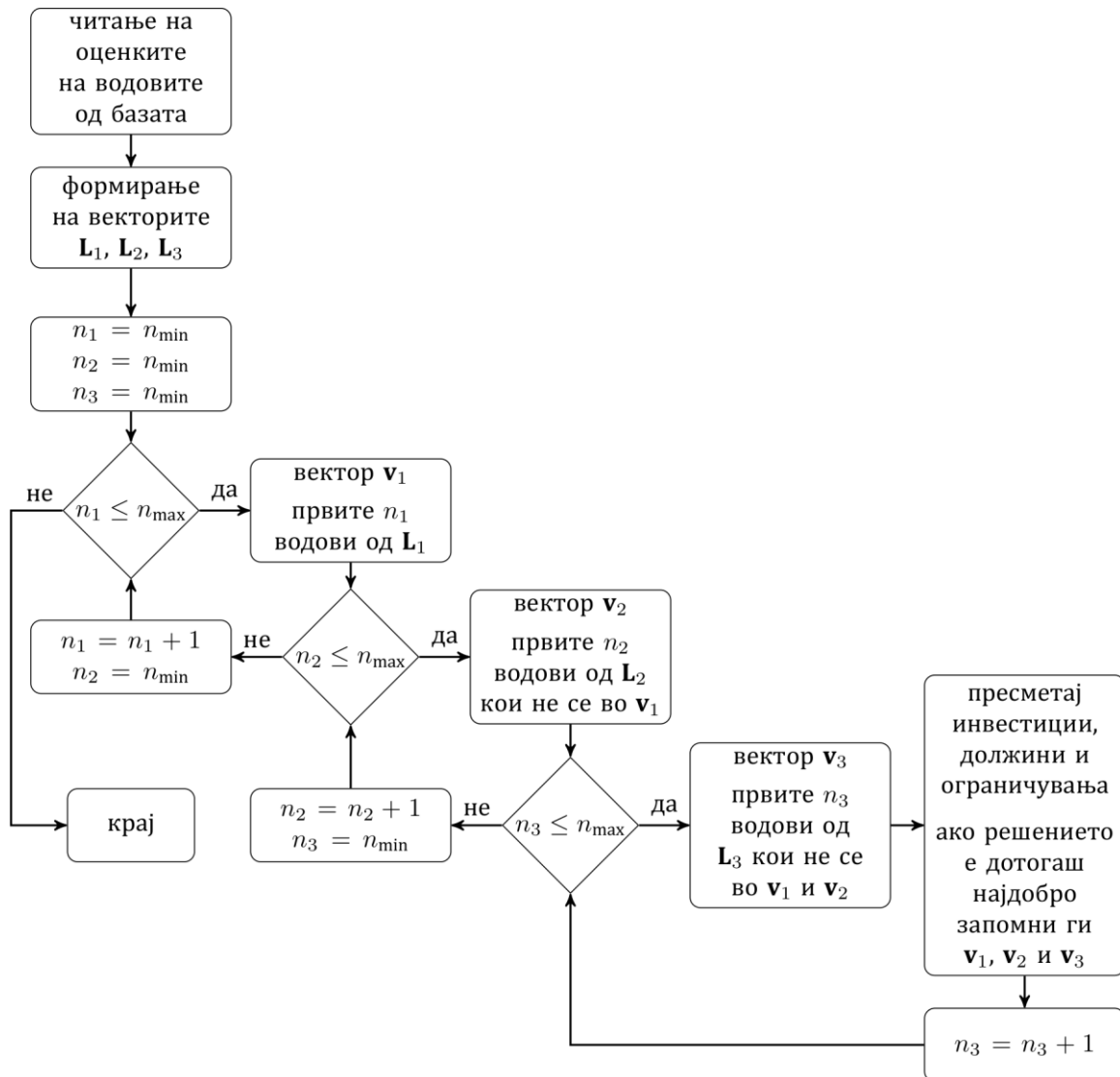
Во наредните чекори се случува следното: прво променливата n_3 се зголемува за 1 така што таа добива вредности 6, 7, ..., $n_{\max}$, така што матрицата редица $\mathbf{v}_3$ ја зголемува својата должина, додека матриците редици $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$ остануваат непроменети. Тоа значи дека ги испитуваме варијантите во кои должините на матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ изнесуваат 5,5,5; 5,5,6; 5,5,7; ..., 5,5,20.

Кога променливата n_3 ќе достигне вредност еднаква на $n_{\max} = 20$, нејзината вредност се враќа на $n_{\min} = 5$, додека променливата n_2 се зголемува за 1. Потоа, повторно се повторува третото ниво на пребарување така што ги испитуваме варијантите во кои должините на матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ изнесуваат 5,6,5; 5,6,6; 5,6,7; ..., 5,6,20.

Кога променливата n_2 ќе достигне вредност еднаква на $n_{\max} = 20$, нејзината вредност се враќа на $n_{\min} = 5$, додека променливата n_1 се зголемува за 1. Потоа, повторно се повторуваат второто и третото ниво на пребарување така што ги испитуваме варијантите во кои должините на матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ изнесуваат 6,5,5; 6,5,6; 6,5,7; ..., 6,5,20.

Со повеќекратно повторување на горенаведените чекори во последната итерација ги испитуваме варијантите во кои должините на матриците редици $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_3$ изнесуваат 20,20,5; 20,20,6; 20,20,7; ..., 20,20,20.

Од сите испитани комбинации како кандидати за конечно решение се одбираат комбинациите во кои се исполнети ограничувањата за максимална должина на водови на кои ќе се прават зафати по периоди, максимален износ на инвестициите за сите зафати на водовите по периоди, рамномерност на должините на водови под зафат по периоди и рамномерност на инвестициите за водовите под зафат по периоди. Од сите кандидати за конечно решение се одбира комбинацијата во која ќе се вложат најмногу средства за инвестиции, односно ќе се овозможи најголем опфат на зафати на водовите со што најголем дел од преносната мрежа ќе биде подобрена.



Слика 7. Блок дијаграм на постапката за оптимален избор на водови врз кои ќе се врши некаков зафат

8. РЕЗУЛТАТИ

Во петото поглавје е опишана процедурата за дефинирање на оценките на водовите и тие се поделени во две категории: оценка за моменталната состојба на водот и оценка за важноста на водот. За подобро следење на натамошното излагање, водовите кандидати за зафат се поделени во групи водови.

8.1. Дефинирање групи водови

Со цел да се овозможи подобра прегледност и разбирање во натамошниот текст и табели ќе се оперира со терминот група водови, односно покусно група.

Подмножество водови кандидати за зафат формира група водови доколку за секој вод l од групата се задоволени релациите:

$$O_{1l} = O_1,$$

$$O_{2l} = O_2,$$

$$O_{3l} = O_3,$$

$$O_{4l} = O_4.$$

Поинаку кажано, сите водови од една група водови имаат меѓусебно еднакви оценки за:

- состојбата на столбовите, означена со O_1 ,
- состојбата на фазните јажиња, означена со O_2 ,
- состојбата на заштитно јаже, означена со O_3 ,
- состојбата на изолацијата, означена со O_4 .

Врз основа на вредностите за показателите добиени од МЕРСО, сите водови кандидати за зафат се поделени во 18 групи водови.

За секоја од формираните групи водови во табела 3 се прикажани вредностите за секој од показателите $\{O_1, O_2, O_3 \text{ и } O_4\}$ врз основа на кои се пресметува оценката за моменталната состојба на водот, означена со E_l . Од табелата се забележува дека, на пример, првата група на водови ја формираат три водови, кои за сите четири показатели добиле вредност три (3=лоша состојба), тоа се 110 kV-ните водови: Сопотница–Битола1, Кичево–Сопотница и Ослемеј–Кичево. На ист начин се толкуваат и останатите групи на водови.

Табела 3. Припадност на водовите по групи според показателите O_1 , O_2 , O_3 и O_4

Ознака на група	O_1	O_2	O_3	O_4	sifra	porTS	krajTS
1	3	3	3	3	107/2	110_SOPOTNICA	110_BITOLA1
					107/1	110_KICEVO	110_SOPOTNICA
					106/2	110_OSLOMEJ	110_KICEVO
2	3	3	3	2	108/3	110_GORCE_PETROV	110_SKOPJE1
3	3	2	3	2	108/2	110_SKOPJE3	110_GORCE_PETROV
4	2	3	2	3	176	110_STRUMICA1	110_STRUMICA2
5	2	2	3	2	108/1A	110_GOSTIVAR	110_JEGUNOVCE
					108/1B	110_JEGUNOVCE	110_SKOPJE3
6	2	2	2	3	115	110_STIP1	110_KOCANI
					145/1	110_SKOPJE4	110_BUNARDJIK
					114	110_TIKVES	110_KAVADARCI1
					131/1	110_STIP1	110_STIP2
					145/2	110_BUNARDJIK	110_RAFINERIJA
					185	110_TETOVO1	110_TETOVO2
					162	110_VELES	110_VELES1
					131/2	110_STIP2	110_BUCIM
7	2	2	2	2	132/1	110_BUCIM	110_RADOVIS
					136B	110_BITOLA1	110_BITOLA2
					136A	110_BITOLA1	110_BITOLA2
					113/2	110_EVP_ZGROPOLCI	110_KAVADARCI1
					119/3	110_KRATOVO	110_PROBISTIP
					119/2	110_KUMANOVO1	110_KRATOVO
					171	110_KOCANI	110_M_KAMENICA
					149A	110_BITOLA2	110_SUVODOL
					179A	110_VALANDOVO	110_EVP_MILETKOVO
					149B	110_BITOLA2	110_SUVODOL
					179B	110_VALANDOVO	110_EVP_MILETKOVO
					142	110_SKOPJE4	110_EVP_DRACEVO
					181	110_BITOLA2	110_REK_BITOLA
					151	110_BITOLA2	110_REK_BITOLA
					152	110_BITOLA2	110_REK_BITOLA
					153	110_BITOLA2	110_REK_BITOLA
8	2	2	1	3	113/1B	110_VELES2	110_EVP_ZGROPOLCI
					113/1A	110_VELES1	110_VELES2
9	2	2	2	1	120/1	110_GLOBOCICA	110_STRUGA
					141	110_SUSICA	110_PETRIC
10	2	2	1	2	111	110_VRUTOK	110_SPILJE
					144	110_OSLOMEJ	110_SAMOKOV
					117/1	110_KAVADARCI1	110_DUBROVO
					132/2	110_RADOVIS	110_STRUMICA1
11	2	2	1	1	118	110_VALANDOVO	110_STRUMICA2
					173	110_RADOVIS	110_BEROVO
					188	110_OSLOMEJ	110_GOSTIVAR
					117/2	110_DUBROVO	110_VALANDOVO
					140	110_STRUMICA1	110_SUSICA
					121/2	110_RESEN	110_BITOLA4
					112	110_SPILJE	110_GLOBOCICA
					121/1	110_OHRID2	110_RESEN
					120/2	110_STRUGA	110_OHRID1

Ознака на група	O_1	O_2	O_3	O_4	sifra	porTS	krajTS
12	2	1	2	2	194	110_VRUTOK	110_GOSTIVAR
13	2	1	2	1	184	110_BEROVO	110_DELCEVO
14	2	1	1	2	164B	110_BITOLA2	110_BITOLA3
					164/1A	110_BITOLA2	110_BITOLA4
					164/2A	110_BITOLA4	110_BITOLA3
15	2	1	1	1	190	110_VRUTOK	110_POLOG
					446	400_BITOLA2	400_DUBROVO
					165	110_TIKVES	110_FENI
					143/2	110_KOZJAK	110_SV_PETKA
					122	110_KAVADARCI1	110_PRILEP1
					420/2	400_SKOPJE5	400_SKOPJE4
					421	400_SKOPJE4	400_DUBROVO
					121/3	110_BITOLA4	110_BITOLA1
					420/1	400_SKOPJE5	400_UROSEVAC
					422	400_DUBROVO	400_SOLUN
16	1	2	2	2	172	110_K_PALANKA	110_KRATOVO
					163A	110_DUBROVO	110_FENI
17	1	1	1	2	163B	110_DUBROVO	110_FENI
					159AB	110_KUMANOVO1	110_KUMANOVO2
18	1	1	1	1	170	110_M_KAMENICA	110_DELCEVO
					110/3	110_SKOPJE4	110_TE_TO
					110/2	110_SKOPJE1	110_TE_TO
					137	110_DUBROVO	110_BUCIM
					143/1	110_SAMOKOV	110_KOZJAK
					143/3	110_SV_PETKA	110_SKOPJE3
					177	110_KUMANOVO2	110_RAFINERIJA
					119/1	110_SKOPJE1	110_KUMANOVO1
					101/1	110_SKOPJE1	110_SKOPJE4
					449	400_STIP1	400_CRV_MOGILA
					130/1	110_SKOPJE3	110_SKOPJE4
					134	110_DUBROVO	110_TEC_NEGOTINO
					135	110_DUBROVO	110_TEC_NEGOTINO
					448	400_DUBROVO	400_STIP1
					450	400_BITOLA2	400_MELITI
					130/2	110_SKOPJE4	110_SKOPJE2
					110/1	110_SKOPJE4	110_SKOPJE2
					189	110_VELES1	110_VELES2
					103/1	110_JEGUNOVCE	110_TEARCE
					447	400_BITOLA2	400_SKOPJE4
					183	110_OHRID1	110_OHRID2
					198	110_VRUTOK	110_SKOPJE1
					103/2B	110_POLOG	110_TETOVO1
					180	110_K_PALANKA	110_SKAKAVICA
					2	400_BITOLA2	400_REK_BITOLA
					1	400_BITOLA2	400_REK_BITOLA

8.2. Резултати за групите водови

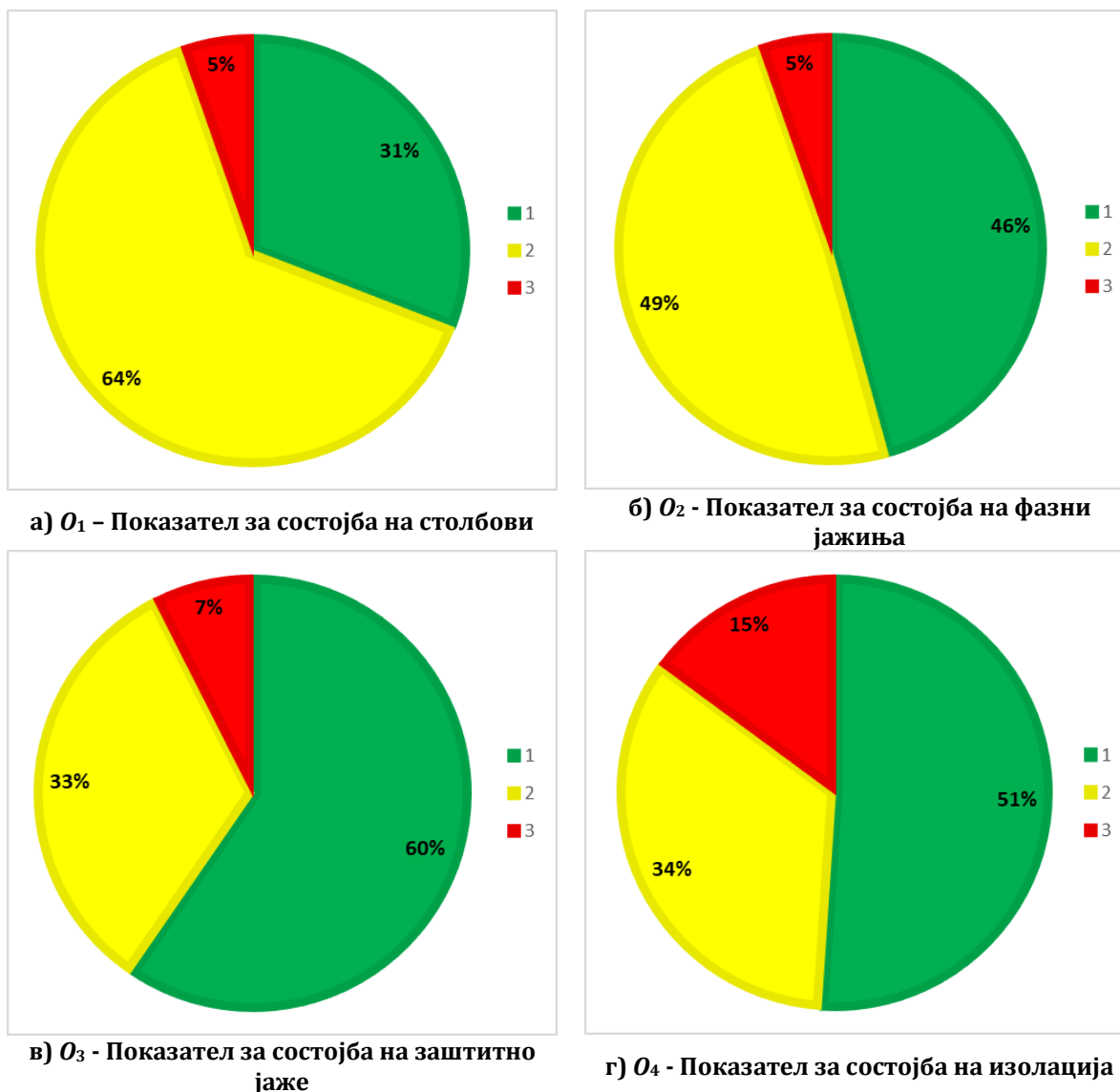
8.2.1 Оценка за состојба на групите водови

Врз основа на податоците за показателите и во согласност со критериумот за дефинирање на ранг листа на водови кандидати за зафат, извршена е пресметка на оценката за моменталната состојба на водовите. Воедно е направено групирање на водовите според показателите и оценката за моменталната состојба на водовите. Дополнително е направена и анализа за староста на водовите според годината на пуштање во погон и годината на последен зафат. Резултатите од оваа анализа се прикажани во табела 4.

Табела 4. Број на водови по групи според показателите O_1 , O_2 , O_3 и O_4 и оценка E_L и старост на водовите по групи според годината на пуштање во погон и годината на последен зафат

Ознака на група	Показатели				Број на водови во група	E_L	Години во погон			Години по зафат		
	O_1	O_2	O_3	O_4			mean	min	max	mean	min	max
1	3	3	3	3	3	3,00	59	59	59	33,7	27	47
2	3	3	3	2	1	2,90	60	60	60	37	37	37
3	3	2	3	2	1	2,65	60	60	60	37	37	37
4	2	3	2	3	1	2,35	31	31	31	31	31	31
5	2	2	3	2	2	2,15	64	62	66	27	27	27
6	2	2	2	3	8	2,10	43	36	52	41,8	33	52
7	2	2	2	2	16	2,00	38,9	30	52	35	25	41
8	2	2	1	3	2	1,95	52	52	52	17	17	17
9	2	2	2	1	2	1,90	44,5	40	49	36	36	36
10	2	2	1	2	4	1,85	45,2	36	55	41,2	33	55
11	2	2	1	1	9	1,75	48,1	36	59	37,1	8	55
12	2	1	2	2	1	1,75	62	62	62	7	7	7
13	2	1	2	1	1	1,65	22	22	22	22	22	22
14	2	1	1	2	3	1,60	34	34	34	15,3	6	34
15	2	1	1	1	11	1,50	42,3	34	62	28,5	6	47
16	1	2	2	2	2	1,50	37	37	37	37	37	37
17	1	1	1	2	2	1,10	35,5	33	38	35,5	33	38
18	1	1	1	1	25	1,00	37,6	11	66	22,4	3	47

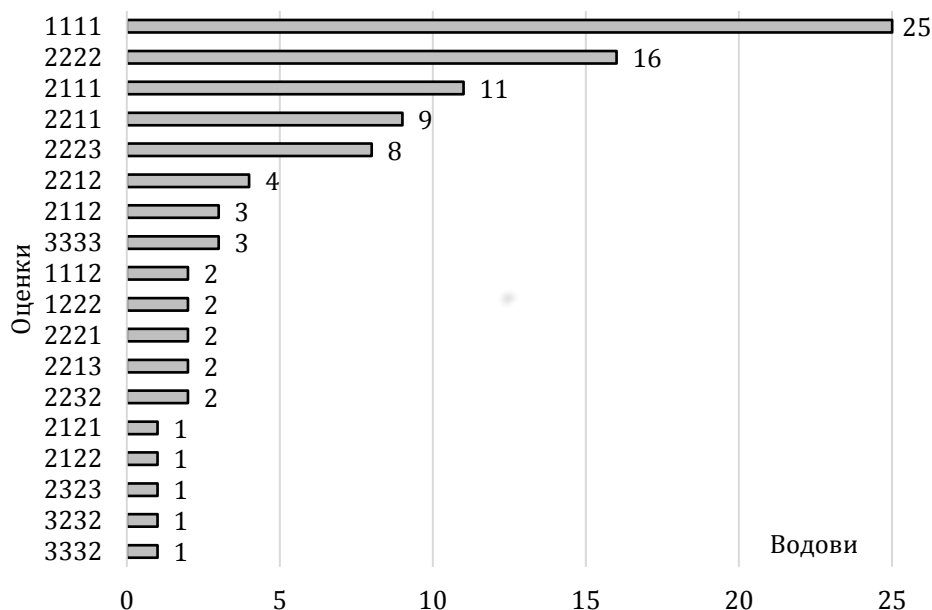
Секоја група опфаќа одреден број на водови. За потсетување, оценката O_1 се однесува на состојбата на столбовите, O_2 на состојбата на фазните јажиња, O_3 на состојбата на заштитното јаже и O_4 на изолацијата на водовите соодветно. Секоја од овие оценки може да добие три вредности: 3 - лошо, 2 - добро и 1 - одлично. Кумулативната оценка со која се проценува состојбата на водовите, што се предмет на разгледување, е прикажана во седмата колона од табела 4.



Слика 8. Процентуална распределба на индивидуалните показатели за проценка на моменталната состојба од број на разгледувани водови

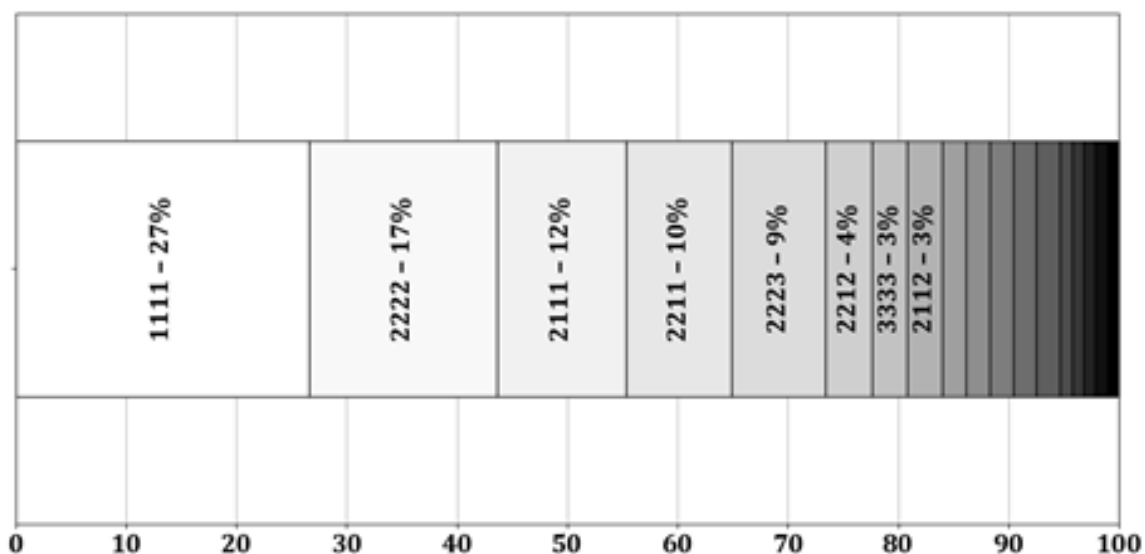
На слика 8 е прикажана процентуална распределба на индивидуалните оценки со кои се проценува моменталната состојба на водовите, од вкупниот број на водови што се предмет на разгледување. Така, на пример, на слика 8а (за O_1), кај 64% од водовите се смета дека столбовите се во добра состојба, 31% во одлична состојба, а само 5% во лоша состојба. Идентично е толкувањето на резултатите и за останатите три оценки.

На слика 9 е прикажан хистограм на водови по групи, а во зависност од кумулативната оценка за состојба. Од хистограмот се согледува дека, од вкупно 94-те водови што се предмет на разгледување, 25 се во одлична состојба од аспект на сите четири поединечни показатели. Понатаму, 16 од нив имаат добра состојба во секој поглед, а само 3 од водовите поседуваат лоша оценка во поглед на сите критериуми за оценка на состојбата.



Слика 9. Број на водови по групи, според показателите

Слика 10 дава малку поинаков приказ на резултатите од слика 9, а во насока на нивно појаснување. Од сликата 10 се гледа дека 27 % од сите водови што се предмет на разгледување имаат одлична состојба, а само 3 % се наоѓаат во многу лоша состојба.



Слика 10. Процент од водовите по групи, според показателите

Просечната старост на водовите во мрежата можеме да ја пресметаме како аритметичка средина на староста на одделните водови, т.е.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n},$$

каде што S_i е старост на водот i , а n е вкупниот број на водови.

Доколку сакаме да го уважиме и уделот на водовите во вкупната распространетост на мрежата, просечната старост ја пресметуваме како

аритметичка средина со тежински коефициенти еднакви на должината на водовите

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i},$$

каде што l_i е должина на водот i .

Ако се анализира просечната старост на водовите во мрежата пресметана на двата претходно наведени начина и ако како старост на водовите се смета времето од нивната изградба или времето од последниот зафат, тогаш може да се заклучи следното:

- просечната старост според година на пуштање во погон изнесува 42,19 години,
- просечната старост според годината на пуштање во погон уважувајќи ја и должината на водовите изнесува 41,76 години,
- просечната старост според годината на последен зафат изнесува 30,35 години,
- просечната старост според годината на последен зафат уважувајќи ја и должината на водовите изнесува 30,80 години.

Од наведените резултати може да се согледа дека уважувањето на должината на водовите од мрежата влијае многу малку врз резултатот за просечната старост на водовите во мрежата и од аспект на годината на пуштање во погон и од аспект на година на последен зафат. Дополнително, ако се прави споредбена анализа за состојбата и староста на мрежата, од табела 4 може да се согледа дека релативно или претежно стари водови се во добра состојба. Од тука може да се заклучи дека иако мрежата е релативно стара, сепак е добро одржувана што директно се рефлектира врз оценката на состојба. Како нужна последица од последново, состојбата на водовите се наметнува како еден од клучните аспекти за проценка, наспроти староста на самите водови (независно од тоа дали се разгледува годината на пуштање во погон или годината на последен зафат). Како дополнителна поткрепа на овие констатации може да послужат и сликите 8–10.

8.2.2 Оценка на групите водови според испадите

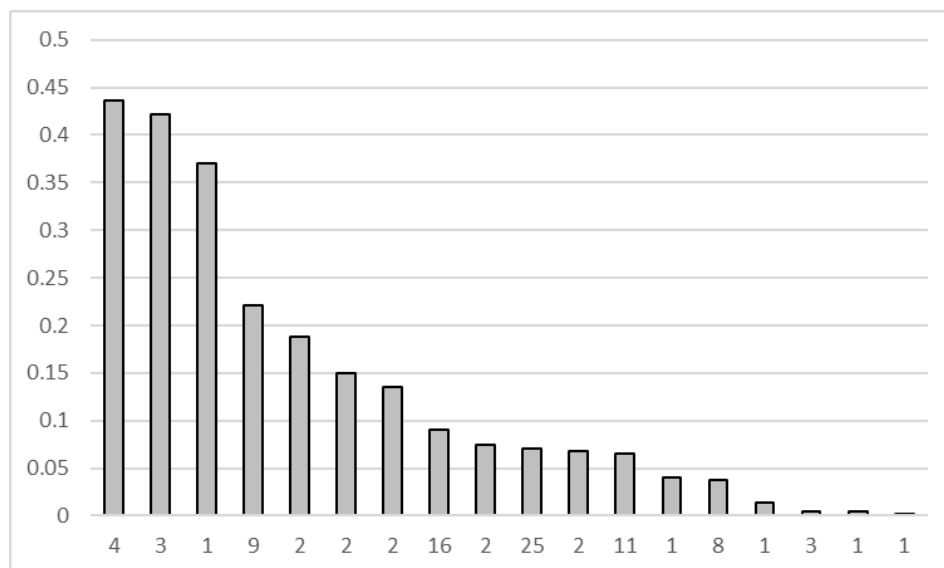
Во табела 5 е даден статистички преглед за оценката E_{I2} , со која се уважува значењето и уделот на секој од водовите од аспект на испади. Резултатите се организирани по групи, а групирањето е направено според оценката за моменталната состојба. Оценката за секој вод се пресметува како однос помеѓу просечното времетраење на испад на водот и вкупното времетраење на испади на ниво на преносна мрежа. Најголемата вредност за оваа оценка изнесува 1, а најмалата вредност изнесува 0. Од табелата се забележува дека на водот на кој му е доделена вредност 1, се наоѓа во 11-та група од 9 водови. На водот му се доделува вредност 0, ако водот воопшто не бил надвор од погон.

Табела 5 Статистика за оценка E_{I2}

Ознака на група водови	Показател				Број на водови во групата	Вредност на оценката E_{I2}					
	O_1	O_2	O_3	O_4		Средна	Најмала	Процент на водови со оценка не поголема од наведената			Најголема
								25%	50%	75%	
1	3	3	3	3	3	0,422	0,014	0,249	0,484	0,625	0,767
2	3	3	3	2	1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
3	3	2	3	2	1	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
4	2	3	2	3	1	0,370	0,370	0,370	0,370	0,370	0,370
5	2	2	3	2	2	0,135	0,070	0,103	0,135	0,168	0,200
6	2	2	2	3	8	0,038	0,000	0,002	0,006	0,020	0,223
7	2	2	2	2	16	0,091	0,000	0,001	0,005	0,060	0,667
8	2	2	1	3	2	0,150	0,140	0,145	0,150	0,155	0,160
9	2	2	2	1	2	0,068	0,041	0,054	0,068	0,081	0,094
10	2	2	1	2	4	0,436	0,000	0,001	0,383	0,818	0,976
11	2	2	1	1	9	0,221	0,003	0,026	0,033	0,404	1,000
12	2	1	2	2	1	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
13	2	1	2	1	1	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
14	2	1	1	2	3	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,006
15	2	1	1	1	11	0,065	0,000	0,004	0,034	0,055	0,258
16	1	2	2	2	2	0,188	0,007	0,097	0,188	0,278	0,368
17	1	1	1	2	2	0,074	0,037	0,056	0,074	0,092	0,111
18	1	1	1	1	25	0,071	0,000	0,004	0,007	0,049	0,414

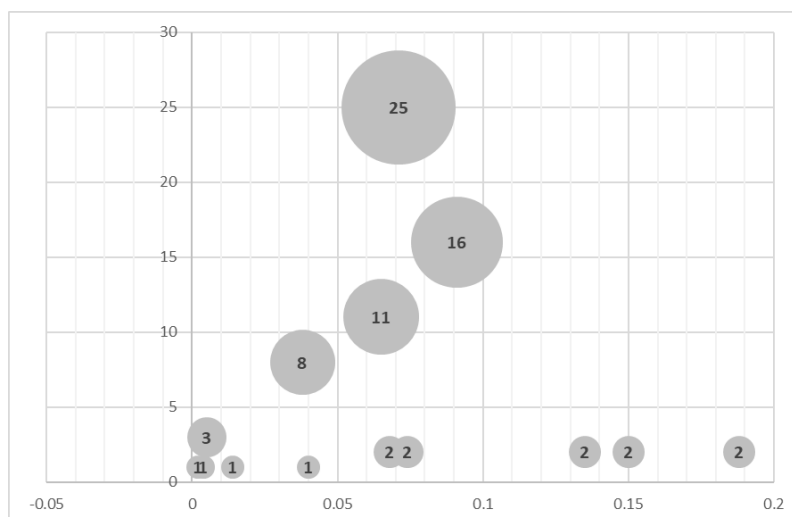
Така, на пример, првата група ја формираат 3 водови што имаат вредност на показателите $\{O_1 O_2 O_3 O_4\} = \{3 3 3 3\}$ и имаат средна вредност на оценката $E_{I2} = 0,422$. Најмала оценка во таа група водови е 0,014, а најголема оценка е 0,767. Притоа, 25% од водовите во групата имаат најголема оценка што не надминува $E_{I2} = 0,249$, додека 50% од нив имаат најголема оценка што не е поголема од $E_{I2} = 0,484$, а кај 75% од водовите во групата најголемата оценка е помала или еднаква на $E_{I2} = 0,625$.

На слика 11 е прикажан хистограм по групи водови, каде што групирањето е направено според оценката за состојба E_{I1} и се однесува на средната вредност на оценката E_{I2} за секоја група. Хистограмот е подреден во опаѓачки редослед за оценката E_{I2} . Така, на пример, групата од 4 водови со оценка на состојба $\{O_1 O_2 O_3 O_4\} = \{2 2 1 2\}$ (10-та редица во табела 5) има најголема средна вредност за оценката E_{I2} и изнесува $E_{I2} = 0,436$ (седма колона во табела 5).



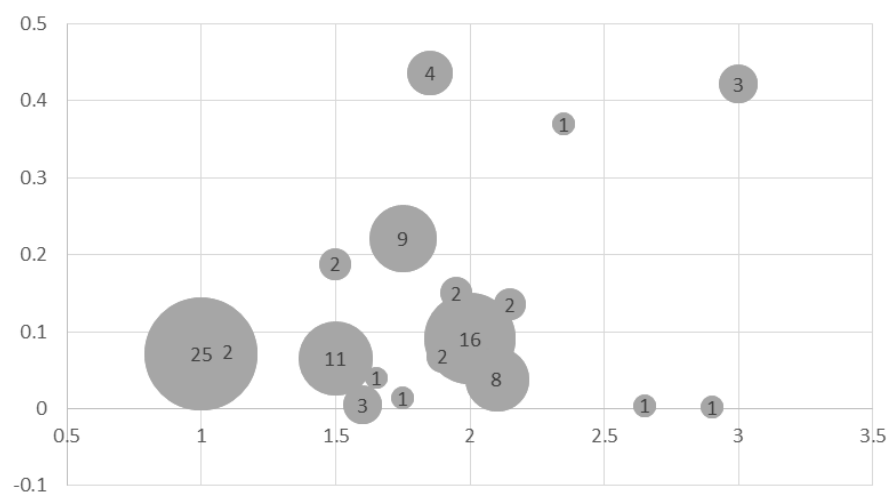
Слика 11. Хистограм по групи водови за средна вредност на оценка E_{12} , според оценка на моментална состојба

На слика 12 се прикажани групите водови, во зависност од средната вредност на оценката E_{12} .



Слика 12. Группи водови во зависност од средната вредност на оценка E_{12}

На слика 13 е прикажана имплицитна зависност на оценката E_{12} од моменталната состојба на групите водови (оценка E_{11}), $E_{12} = f(E_{11})$. На пример, од сликата 13 може да се забележи дека групата сочинета од 25 водови, со средна оценка за моменталната состојба на групата водови $E_{11}=1,00$ има средна вредност за оценката на испади $E_{12}=0,071$. Средната оценка на испади не зависи во целост од моменталната состојба на водовите, па поради тоа не е возможно во целост да се направи точна корелација помеѓу оценките. Бројот на испади на некој далекувод зависи и од неговата географска поставеност и оперативни услови.



Слика 13. Зависност на средната оценка за испади од моменталната состојба на групите водови

8.2.3 Оценка за важност на групите водови

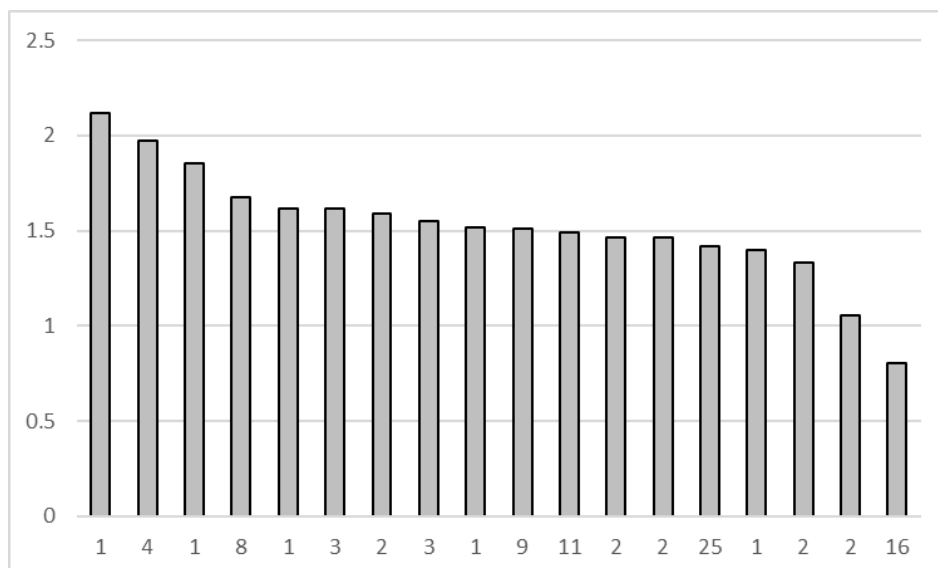
Во табела 6 е прикажана статистичка анализа за оценката $E_{I3}^{(1)}$. Со оваа оценка се проценува важноста на водовите од аспект на стабилна работа на системот. Индексот (1) се однесува на вредноста на оваа оценка, за првиот период за извршување зафати на водови. Водовите се групирани според оценка на моменталната состојба, означена со E_{I1} .

Табела 6. Статистика за оценката $E_{I3}^{(1)}$

Ознака на група водови	Показател				Број на водови во групата	Вредност на оценката $E_{I3}^{(1)}$					
	O_1	O_2	O_3	O_4		Средна	Најмала	Процент на водови со оценка не поголема од наведената			Најголема
								25%	50%	75%	
1	3	3	3	3	3	1,615	1,577	1,593	1,608	1,634	1,660
2	3	3	3	2	1	1,616	1,616	1,616	1,616	1,616	1,616
3	3	2	3	2	1	1,515	1,515	1,515	1,515	1,515	1,515
4	2	3	2	3	1	2,117	2,117	2,117	2,117	2,117	2,117
5	2	2	3	2	2	1,466	1,234	1,350	1,466	1,583	1,699
6	2	2	2	3	8	1,679	0,000	1,553	1,953	2,062	2,291
7	2	2	2	2	16	0,808	0,000	0,000	0,130	1,717	2,347
8	2	2	1	3	2	1,589	1,408	1,498	1,589	1,679	1,769
9	2	2	2	1	2	1,058	0,000	0,529	1,058	1,588	2,117
10	2	2	1	2	4	1,975	1,731	1,941	2,016	2,049	2,137
11	2	2	1	1	9	1,511	0,000	1,558	1,716	1,938	2,773
12	2	1	2	2	1	1,852	1,852	1,852	1,852	1,852	1,852
13	2	1	2	1	1	1,401	1,401	1,401	1,401	1,401	1,401
14	2	1	1	2	3	1,552	1,352	1,427	1,502	1,652	1,803
15	2	1	1	1	11	1,492	0,155	1,296	1,416	1,881	2,323
16	1	2	2	2	2	1,332	1,332	1,332	1,332	1,332	1,332
17	1	1	1	2	2	1,465	1,431	1,448	1,465	1,481	1,498
18	1	1	1	1	25	1,417	0,000	1,379	1,481	1,961	2,683

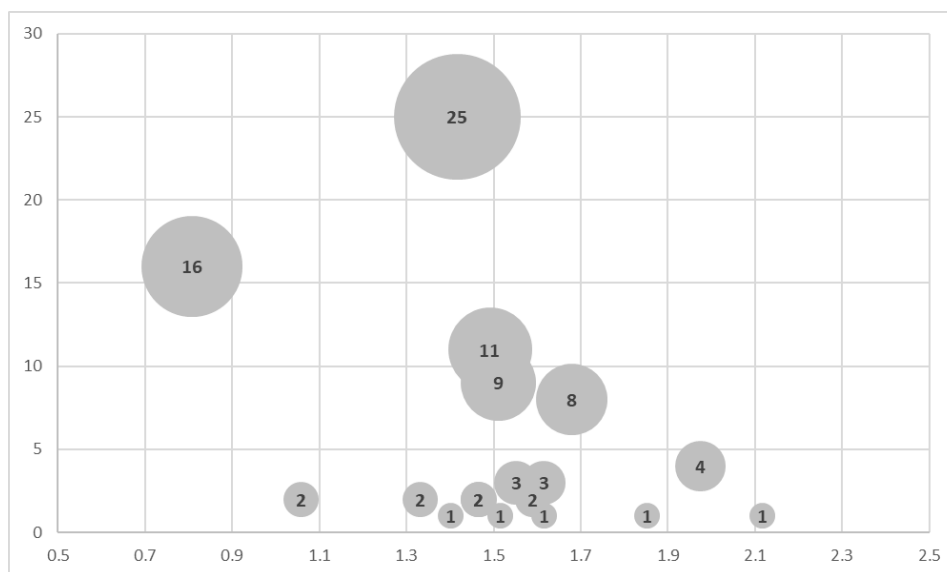
На пример, во табела 6 првата група водови што ја сочинуваат 3 водови (групирани според нивната оценка на моменталната состојба E_{I1} $\{O_1 O_2 O_3 O_4\} = \{3 3 3 3\}$, имаат средна вредност за оценката $E_{I3}^{(1)} = 1,615$. Најголемата вредност за оценката во групата изнесува $E_{I3}^{(1)} = 1,660$, а најмалата $E_{I3}^{(1)} = 1,577$. Една четвртина од водовите во групата (25%) имаат најголема оценка што не е поголема од $E_{I3}^{(1)} = 1,593$, додека 50% од нив имаат најголема оценка што не надминува $E_{I3}^{(1)} = 1,608$, а 75% од водовите во групата имаат најголема оценка што е помала или еднаква на $E_{I3}^{(1)} = 1,634$.

На слика 14 е прикажан хистограм со поинакво групирање водови. Групирањето е направено според оценката за моментална состојба E_{I1} и се однесува на средната вредност на оценката $E_{I3}^{(1)}$, за секоја група. Хистограмот е подреден во опаѓачки редослед за оценката $E_{I3}^{(1)}$. Така, на пример, на првата позиција е група од еден вод, со оценка на состојба $\{O_1 O_2 O_3 O_4\} = \{2 3 2 3\}$, што има најголема средна вредност за оценката $E_{I3}^{(1)}$ со износ $E_{I3}^{(1)} = 2,117$ (четврта редица во табела 6).



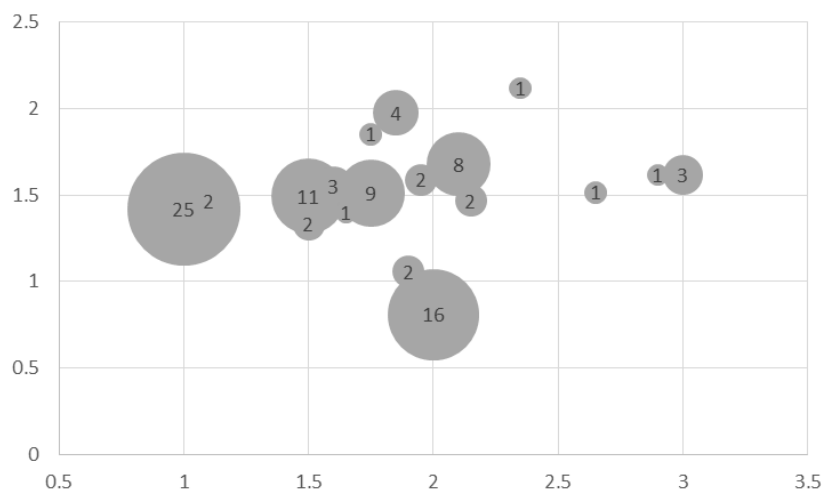
Слика 14. Хистограм по групи водови за средна вредност на оценка $E_{13}^{(1)}$, според оценка на моменталната состојба

На слика 15 се прикажани групите водови, во зависност од средната вредност на оценката $E_{13}^{(1)}$.



Слика 15. Процентуално учество на групи водови, според средна вредност на оценката $E_{13}^{(1)}$

Може да се направи корелација помеѓу оценките за важност на групите водови ($E_{13}^{(1)}$) од првиот период на планирани зафати во однос на оценката за нивната моментална состојба (E_{11}), односно $E_{13}^{(1)} = f(E_{11})$. Тоа е прикажано на слика 16.



Слика 16. Зависност на средната оценка за важност од моменталната состојба на групите водови

На пример, групата сочинета од 25 водови со средна оценка за моменталната состојба $E_{11}=1,00$ има средна оценка за важност $E_{13}=1,417$. Од слика 16, може да се констатира дека поголем број на важни водови имаат добра средна оценка во однос на нивната моментална состојба.

8.2.4 Вкупна оценка за групите водови

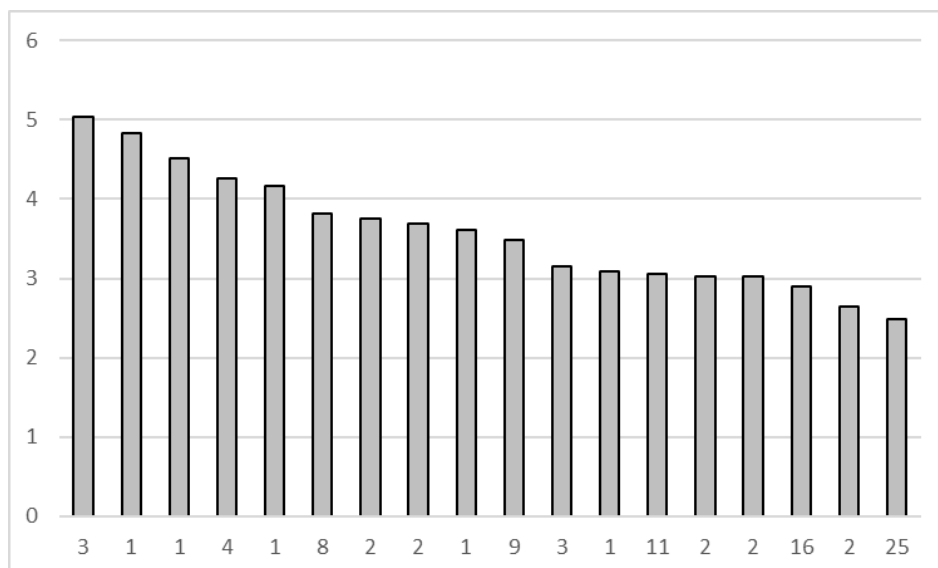
Во табела 7 е прикажана статистичка анализа за вкупната оценка на водовите, за првиот период на извршување на зафати, $E_l^{(1)}$. Оценката за секој вод се добива како збир од поединечните оценки за моменталната состојба E_{l1} , оценки за времетраење на испадите E_{l2} и оценки за важност на елементот од аспект на стабилна работа на системот $E_{l3}^{(1)}$, за првиот период на извршување на зафати. Повторно и тука водовите се групирани според оценката на моменталната состојба.

Табела 7. Статистика за оценката $E_l^{(1)}$

Ознака на група водови	Показател				Број на водови во групата	Вредност на оценката $E_{l3}^{(1)}$					
	O_1	O_2	O_3	O_4		Средна	Најмала	Процент на водови со оценка не поголема од наведената			Најголема
								25%	50%	75%	
1	3	3	3	3	3	5,037	4,674	4,883	5,092	5,218	5,344
2	3	3	3	2	1	4,518	4,518	4,518	4,518	4,518	4,518
3	3	2	3	2	1	4,169	4,169	4,169	4,169	4,169	4,169
4	2	3	2	3	1	4,837	4,837	4,837	4,837	4,837	4,837
5	2	2	3	2	2	3,751	3,454	3,603	3,751	3,900	4,049
6	2	2	2	3	8	3,817	2,102	3,654	4,082	4,310	4,399
7	2	2	2	2	16	2,899	2,000	2,002	2,582	3,760	4,348
8	2	2	1	3	2	3,689	3,518	3,603	3,689	3,774	3,859
9	2	2	2	1	2	3,026	1,941	2,484	3,026	3,569	4,111
10	2	2	1	2	4	4,260	3,582	3,886	4,307	4,682	4,846
11	2	2	1	1	9	3,482	1,820	3,311	3,720	3,870	4,556
12	2	1	2	2	1	3,616	3,616	3,616	3,616	3,616	3,616
13	2	1	2	1	1	3,091	3,091	3,091	3,091	3,091	3,091
14	2	1	1	2	3	3,157	2,956	3,032	3,108	3,258	3,408
15	2	1	1	1	11	3,058	1,661	2,845	2,950	3,508	4,081
16	1	2	2	2	2	3,019	2,839	2,929	3,019	3,110	3,200
17	1	1	1	2	2	2,638	2,635	2,637	2,638	2,640	2,642
18	1	1	1	1	25	2,488	1,000	2,405	2,485	2,984	3,684

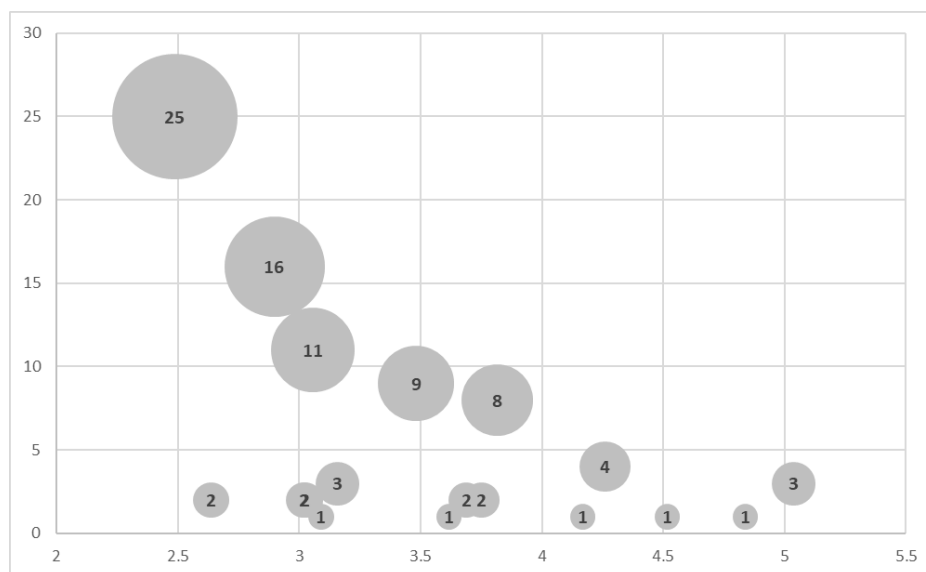
Така, на пример, првата група од три водови со оценка на состојба $\{O_1 O_2 O_3 O_4\} = \{3 3 3 3\}$, има средна вредност на оценката $E_l^{(1)} = 5,037$. Најголемата вредност на оценката во групата водови изнесува $E_l^{(1)} = 5,344$, а најмалата $E_l^{(1)} = 4,674$. Кај четвртина од групата водови (25%) најголемата вредност на оценката не надминува $E_l^{(1)} = 4,883$. Толкувањето е идентично и за случај кога станува збор за половина од групата водови (50%), односно три четвртини (75%).

Подредениот хистограм за средната вредност на кумулативната оценка на водовите (по групи според оценка на состојба) е прикажан на слика 17. Така, на пример, првата група формирана од 3 водови со оценка на состојбата $\{O_1 O_2 O_3 O_4\} = \{3 3 3 3\}$, има најголема средна вредност за кумулативната оценка $E_l^{(1)}$ и изнесува $E_l^{(1)} = 5,037$ (прва редица од табела 7).

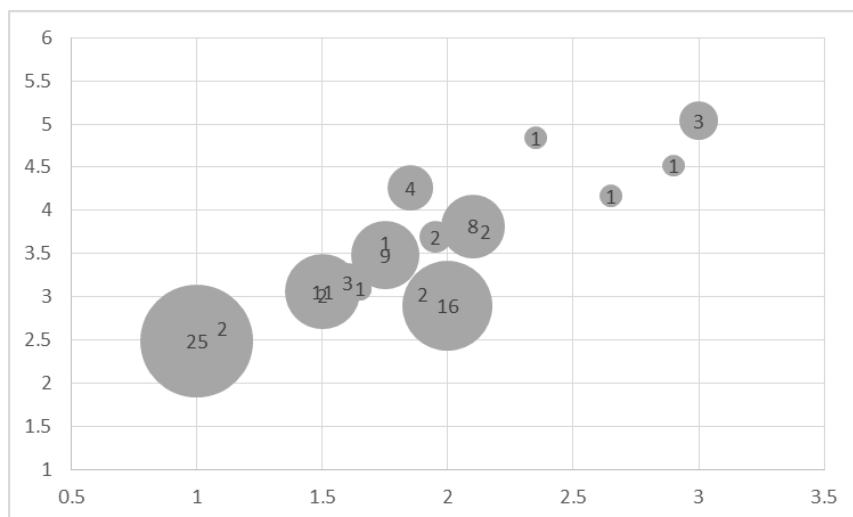


Слика 17. Хистограм по групи водови за средна вредност на кумулативната оценка $E_t^{(1)}$, според оценка на моменталната состојба

Процентуалното учество на групите водови, во зависност од средната вредност на кумулативната оценка $E_t^{(1)}$ за првиот период на зафати, е прикажано на слика 18.



Слика 18. Процентуално учество на групи водови според средна вредност на кумулативната оценка $E_t^{(1)}$ за првиот период на извршување на зафати



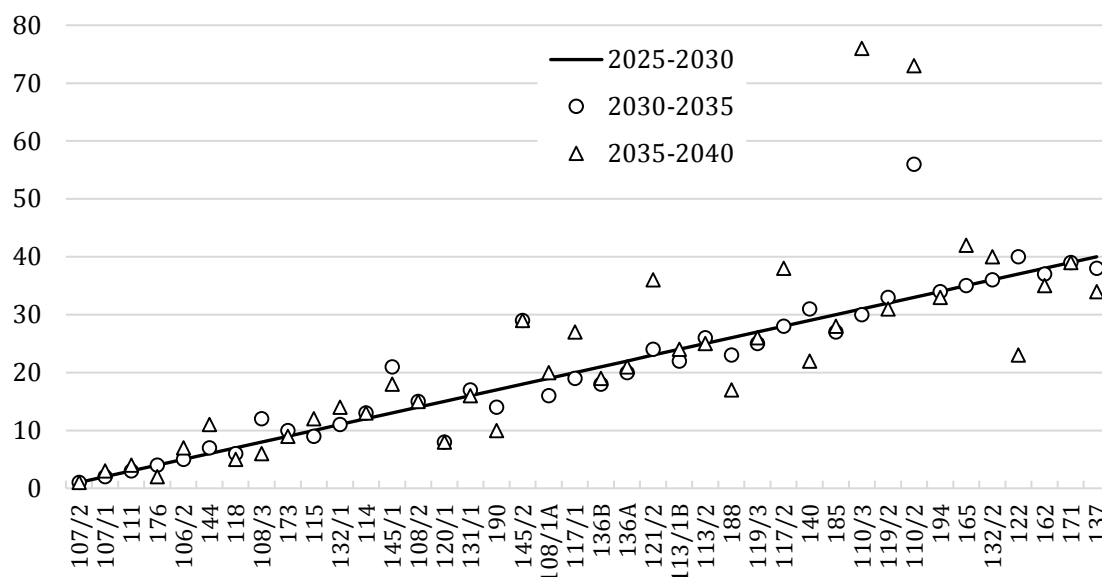
Слика 19. Зависност на кумулативната оценка на групи водови во однос на нивната моментална состојба, за првиот период на извршување на зафати

На слика 19 е прикажана зависноста на кумулативната оценка на групите водови, за првиот период на извршување на зафати, во однос на нивната моментална состојба, $E_l^{(1)} = f(E_{11})$. На сликата може да забележиме дека групата сочинета од 25 водови, која има одлична моментална состојба, има и добра кумулативна оценка.

На крај, во табелите **Error! Reference source not found.–Error! Reference source not found.** е даден детален приказ и рангот на водовите, со поединечни оценки за моменталната состојба, учество во испади и важност во првиот период за зафати. Во првата колона од табелата **Error! Reference source not found.** е даден рангот на водовите според приоритет за зафати за првиот период. Слично, во табелите **Error! Reference source not found.–Error! Reference source not found.** во првите колони се дадени ранговите на водовите за вториот и третиот период, а се дадени и ранговите за претходните периоди. Од таму се гледа дека различни водови имаат различни рангови за зафати по периоди што е уважено при правењето на распоредот за зафати.

8.3. Промена на ранг на водови по периоди

Промената на рангот на водовите по периоди за првите 40 водови е прикажана на сликата 20.



Слика 20. Промена на рангот на првите 40 водови

Таму со полна линија е прикажан рангот за првиот период, со кругови и триаголници се означени ранговите за вториот и третиот период. Во случаите кога круговите и триаголниците се над полната линија се работи за водови чиј ранг се зголемува во другите два периода, т.е. за водови кои во подоцнежните периоди стануваат помалку приоритетни за зафат во однос на некои други водови. Во спротивно, во случаите кога круговите и триаголниците се под полната линија се работи за водови за кои ургентноста за зафат станува поголема во подоцнежните периоди. Промените во промената на ургентноста за зафат во подоцнежните периоди се случува поради промена во системското значење на одредени водови затоа што приликите во мрежата се менуваат со текот на времето и некој системски важен вод може да стане помалку важен и обратно.

Како што претходно е напоменато, временската рамка за зафати на водовите е поделена на три периоди. Земајќи ги предвид прогнозираните вредности за производството, потрошувачката и моделот на мрежата, за секој од разгледуваните периоди, може да се очекува да настане промена во рангот на водовите по периоди. Тоа најлесно се забележува на слика 20, каде графички е прикажана промената на рангот на првите 40 водови, во однос на набљудуваниот период на зафати. Со линеарната карактеристика е зададен рангот на секој од водовите кандидати за зафат за периодот 2025–2030, додека пак со ознаката „о“ и „Δ“ е означен рангот на водовите за периодите 2030–2035 и 2035–2040, соодветно. За полесно следење и објаснување на причините за настанатата промена на рангот, резултатите се прикажани табеларно (табела 8).

Табела 8. Ранг и промена на ранг по периоди

#	шифра	почетна ТС	крајна ТС	I	II	III	II-I	III-I
1	107/2	110_SOPOTNICA	110_BITOLA1	1	1	1	0	0
2	107/1	110_KICEVO	110_SOPOTNICA	2	2	3	0	1
3	111	110_VRUTOK	110_SPILJE	3	3	4	0	1
4	176	110_STRUMICA1	110_STRUMICA2	4	4	2	0	-2
5	106/2	110_OSLOMEJ	110_KICEVO	5	5	7	0	2
6	144	110_OSLOMEJ	110_SAMOKOV	6	7	11	1	5
7	118	110_VALANDOVO	110_STRUMICA2	7	6	5	-1	-2
8	108/3	110_GORCE_PETROV	110_SKOPJE1	8	12	6	4	-2
9	173	110_RADOVIS	110_BEROVO	9	10	9	1	0
10	115	110_STIP1	110_KOCANI	10	9	12	-1	2
11	132/1	110_BUCIM	110_RADOVIS	11	11	14	0	3
12	114	110_TIKVES	110_KAVADARCI1	12	13	13	1	1
13	145/1	110_SKOPJE4	110_BUNARDJIK	13	21	18	8	5
14	108/2	110_SKOPJE3	110_GORCE_PETROV	14	15	15	1	1
15	120/1	110_GLOBOCICA	110_STRUGA	15	8	8	-7	-7
16	131/1	110_STIP1	110_STIP2	16	17	16	1	0
17	190	110_VRUTOK	110_POLOG	17	14	10	-3	-7
18	145/2	110_BUNARDJIK	110_RAFINERIJA	18	29	29	11	11
19	108/1A	110_GOSTIVAR	110_JEGUNOVCE	19	16	20	-3	1
20	117/1	110_KAVADARCI1	110_DUBROVO	20	19	27	-1	7
21	136B	110_BITOLA1	110_BITOLA2	21	18	19	-3	-2
22	136A	110_BITOLA1	110_BITOLA2	22	20	21	-2	-1
23	121/2	110_RESEN	110_BITOLA4	23	24	36	1	13
24	113/1B	110_VELES2	110_EVP_ZGROPOLCI	24	22	24	-2	0
25	113/2	110_EVP_ZGROPOLCI	110_KAVADARCI1	25	26	25	1	0
26	188	110_OSLOMEJ	110_GOSTIVAR	26	23	17	-3	-9
27	119/3	110_KRATOVO	110_PROBISTIP	27	25	26	-2	-1
28	117/2	110_DUBROVO	110_VALANDOVO	28	28	38	0	10
29	140	110_STRUMICA1	110_SUSICA	29	31	22	2	-7
30	185	110_TETOVO1	110_TETOVO2	30	27	28	-3	-2
31	110/3	110_SKOPJE4	110_TE_TO	31	30	76	-1	45
32	119/2	110_KUMANOVO1	110_KRATOVO	32	33	31	1	-1
33	110/2	110_SKOPJE1	110_TE_TO	33	56	73	23	40
34	194	110_VRUTOK	110_GOSTIVAR	34	34	33	0	-1
35	165	110_TIKVES	110_FENI	35	35	42	0	7
36	132/2	110_RADOVIS	110_STRUMICA1	36	36	40	0	4
37	122	110_KAVADARCI1	110_PRILEP1	37	40	23	3	-14
38	162	110_VELES	110_VELES1	38	37	35	-1	-3
39	171	110_KOCANI	110_M_KAMENICA	39	39	39	0	0
40	137	110_DUBROVO	110_BUCIM	40	38	34	-2	-6

Во табела 8 за секој од 40-те водови, кои се јавуваат како кандидати за некаков зафат, е дадена шифрата на водот, почетната и крајната трансформаторска станица, како и рангот на водот во зависност од разгледуваниот период на реконструкција. Со I е означен првиот период кој се однесува за временската рамка 2025–2030, со II е означен вториот период за временската рамка 2030–2035 и со III е означен третиот период за временската рамка 2035–2040.

Во последните колони од табелата се дадени промените на ранговите на водовите, во однос на првиот период т.е. за колку се променил рангот во вториот период во однос на првиот период ($II - I$) и соодветно, за промената на рангот во третиот период во однос на првиот период ($III - I$).

Сите промени кои се однесуваат во промена на рангот до три места (во позитивна или негативна насока) нема да бидат коментирани, бидејќи може да се очекува дека ваквите промени се јавуваат како последица на: промена на потрошувачката во моделот на мрежата или промена на конфигурацијата на мрежата блиску до разгледуваниот вод.

Пред да се искоментираат причините за промената на рангот на водовите ќе дадеме кратко појаснување што означува позитивната, а што негативната насока на промена на рангот на водот. Секоја промена на рангот во позитивна насока, означува зголемување на рангот на водот во разгледуваниот период во однос на првиот период и тој станува неатрактивен за зафат, додека пак негативната насока означува намалување на рангот на водот во разгледуваниот период, во однос на првиот период и истиот станува атрактивен за зафат. Зголемувањето на атрактивноста на водот означува зголемување на системската важноста на тој вод во мрежата.

Коментарите се групирани во однос на одделните региони од преносната мрежа, бидејќи промените на рангот се детерминирани, пред сè, од влегување во погон на нови енергетски објекти и тополошките промени/надградби на преносната мрежа.

Во **југоисточниот регион од преносната мрежа**, во периодот 2025–2040, се претпоставува дека во функција ќе влезат неколку ветерни електрични центри и дел од хидроелектричните центри од проектот Вардарска Долина (ВЕЦ Богданци 50 MW, ВЕЦ Миравци 50 MW, ВЕЦ Демир Капија 33 MW, ВЕЦ Гевгелија 33 MW, ХЕЦ Градец 55 MW итн.). Според развојните планови се предвидува зајакнување на 110 kV мрежа во југоисточниот регион водејќи сметка за најавените приклучувања на електричните центри. Една од варијантите е изградба на 110 kV двосистемски далекуводи со поголема преносна моќност (со примена на спроводници од типот АААС-Z 324 mm², за кои најголемото трајно оптоварување изнесува 149 MVA) при извршени зафати на постојните 110 kV далекуводи: Дуброво–Валандово и Валандово–Струмица 2–Струмица 1.

Промена на ранг на вод се јавува и кај 110 kV далновод Валандово–Струмица 2. Во првиот период овој вод имал ранг 7, а потоа рангот во другите два периода му се намалил⁶. Од друга страна, промената на рангот во позитивна насока која се забележува кај 110 kV далновод Дуброво–Валандово треба да се сфати условно, бидејќи на негово место се предвидува нов двосистемски вод⁶. Оваа реконфигурација, во крајна линија, придонесува ранг позицијата на 110 kV вод Кавадарци–Дуброво да се зголеми за 7 ранг места во однос на првиот период и со што овој вод станува неатрактивен за зафат.

Во југоисточниот регион на Македонија, за потребите на рудникот Иловица, се претпоставува да биде ставена во функција нова индустриска 110 kV трансформаторска станица. Оваа трансформаторска станица, од едната страна ќе биде поврзана со трансформаторската станица во Берово, а од другата страна со трансформаторската станица во Сушица. Поради овие нови околности во 110 kV мрежа во регионот, се зголемува системската важност на 110 kV вод Струмица 1–Сушица.

Како последица на изградба на ТС Иловица и важноста да се подобрат напонските прилики во тој регион, 110 kV вод Радовиш–Берово добива на атрактивност во третиот период со негативен скок од 7 ранг места.

Блага промена од 4 ранг места во позитивна насока во третиот период, се воочува кај 110 kV вод Радовиш–Струмица 1. Намалување на атрактивноста на овој вод се должи на ставање во функција на повеќе ОИЕ во регионот на југоисточна Македонија и покривање на потрошувачката на локално ниво.

Атрактивноста на 110 kV вод Тиквеш–Фени се намалува (позитивен скок од 5 ранг места) во третиот период. Ова се должи поради растеретување на претходно високо оптоварениот 110 kV вод Тиквеш–Фени.

Во северниот регион од преносната мрежа се претпоставува дека во 2030 година ќе биде ставена во функција 400/110 kV/kV ТС Куманово, со изведба на соодветен расплет на 110 kV водови во регионот. Приклучокот на трансформаторската станицата би бил изграден на принципот влез-излез на постоечкиот 400 kV вод Штип–Врање. На тој начин ќе се овозможи намалување на оптоварувањето во 400/110 kV/kV трансформаторски станици ТС Скопје 4 и ТС Скопје 5, како и 110 kV водови што го напојуваат кумановскиот регион. 110 kV собирници на ТС Куманово 3 ќе бидат електрично поврзани со ТС Куманово 1 и ТС Куманово 2, како и со ТС Скопје 5.

Оваа тополошка надградба ќе доведе до промена на рангот на 110-kV далновод Скопје 4–Бунарџик. Во првиот период на ревитализација овој вод имал ранг 13, по основ на вкупната оценка. Во вториот период рангот на овој вод се променил за 8 места во позитивна насока, во однос на првиот период, а во третиот период рангот се променил за 5 места во позитивна насока, во однос на првиот период. Ваквата промена се одразува и врз атрактивноста на водот

⁶ Референтно сценарио за развој е „јаглен/гас“ во кое се предвидува изградба на нов 110 kV двосистемски далекувод само на потегот Дуброво–Валандово. Од друга страна, во сценариото „зелено“ има поголем број на нови ОИЕ, вклучителни и нови ветерни електрични центри лоцирани токму во овој регион, така што има потреба од нов 110 kV двосистемски далекувод и на потегот Валандово–Струмица.

Бунарцик–Рафинерија од 11 ранг места за вториот и третиот период. Со други зборови, после изградба на 400/110 kV/kV ТС Куманово, се намалува важноста на постојните 110 kV врски од скопскиот кон кумановскиот регион.

Во скопскиот регион, се претпоставува дека ќе се изврши ново кабелско поврзување на ТЕТО со ТС Скопје 4. На долгорочен план, во зададените модели за третиот период, се претпоставува дека ТЕТО ќе излезе надвор од работа. Тоа, секако, ќе се одрази врз ранг позицијата на оваа врска со позитивен скок од 45 позиции, во однос на првиот период. Секако, доколку се реализира ваквото сценарио, истиот одраз ќе го има и врз врска Скопје 1–ТЕТО. Тоа се согледува и во табелата, каде јасно се гледа позитивниот скок од 23 и 40 места, во вториот и третиот период, соодветно.

Во **западниот регион од преносната мрежа**, во тек е реализација на проектот за 400 kV интерконекција меѓу Македонија и Република Албанија и изградба на ТС 400/110 kV/kV во Охрид, со соодветен расплет на локалните 110 kV далекуводи. Во третиот период се претпоставува дека ќе биде пуштена во употреба ХЕЦ Бошков Мост со инсталирана моќност од 68 MW, како и ХЕЦ Шпиље 2 со инсталирана моќност од 30 MW. ТЕЦ Осломеј се смета дека во 2020 ќе престане да работи на лигнит и ќе се врши оспособување на централата да работи на висококалоричен јаглен. Истовремено, во овој период новите производни единици ХЕЦ Бошков Мост (и ХЕЦ Шпиље 2) ќе се поврзат со следните 110 kV далноводи: Вруток–Бошков Мост, Осломеј–Бошков Мост и Шпиље–Бошков Мост. Се претпоставува дека во време на вториот, односно третиот период ќе биде ставена во функција нова 110 kV трансформаторска станица Гостивар 2.

Промената на рангот од 5 позитивни места на 110 kV вод Осломеј–Самоков во третиот период, се должи на опишаните надградби и тополошки измени во мрежата. Сето тоа придонесува да се зголеми и атрактивноста на 110 kV вод Осломеј–Гостивар. Земајќи го предвид конзумот и напонските прилики во полошкиот регион, може да се очекува зголемување на атрактивноста на 110 kV вод Вруток–Полог за 3, односно 7 негативни ранг места, во вториот, односно третиот период. Се забележува зголемување на атрактивноста на 110 kV вод Тетово 1–Тетово 2, во вториот период. Истовремено, се зголемува атрактивноста на 110 kV вод Гостивар–Јегуновце (промена од 3 ранг места во негативна насока) бидејќи се менуваат тековите на моќност кон големиот индустриски потрошувач Југохром.

Настанува промена од 7 ранг места во негативна насока кај 110 kV вод Глобочица–Струга, со што овој вод станува се повеќе атрактивен за зафат, споредено со ранг позицијата во првиот период (ранг 15) и неговата важност во останатите два периода.

Зафатите во мрежата ќе се одразат и врз атрактивноста на 110 kV вод Ресен–Битола 4, позитивна промена од 1, односно 13 ранг места, во вториот и третиот период, соодветно.

Во **централниот регион од преносната мрежа**, промена се забележува кај 110 kV вод Велес–Велес 1, во третиот период, со негативен скок од 3 ранг места. Оваа промена се должи на претпоставката која е направена во моделот за 2035–2040, дека во функција влегуваат ХЕЦ од системот Вардарска долина, а со тоа

и ХЕЦ Велес (со инсталирана моќност од 31 MW) и ХЕЦ Велес 2 (со инсталирана моќност од 9 MW).

8.4. Распоред на зафати добиен со оптимизациска постапка

Со алгоритмот за определување на оптималниот распоред на зафати, прикажан на слика 7, добиен е распоредот на водови даден во табела 9. Во неа се забележува дека во првиот период има 8 водови, а во останатите два по 7 водови.

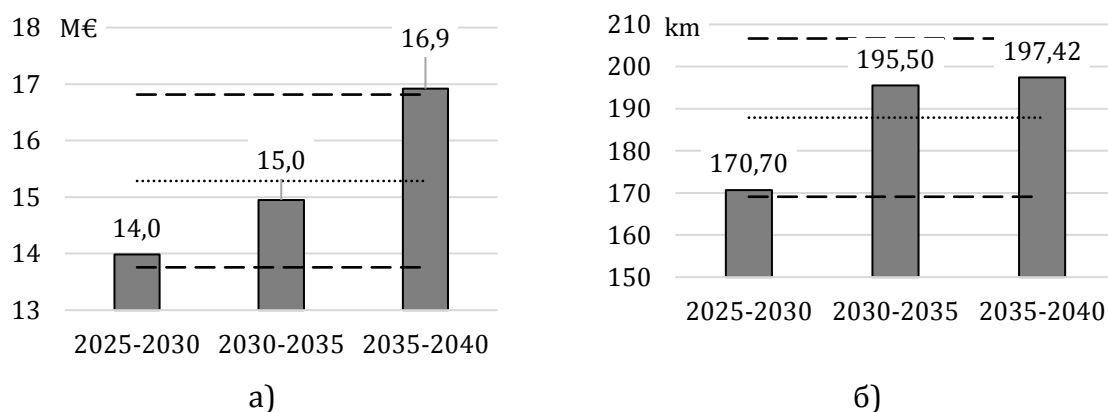
Во првиот период, 2025–2030 (табела 9), одбрани се првите 8 водови според ранг⁽¹⁾ во листата за зафати во тој период затоа што тие имаат највисоки оценки и најголем приоритет.

Во вториот период, 2030–2035 (табела 10), одбрани се водовите кои имаат ранг⁽²⁾ 8–11 и 13–17 затоа што тоа се водови со највисок ранг кои претходно, во првиот период, не се опфатени со никаков зафат. Од табела 9 се гледа дека водовите кои во вториот период имаат ранг⁽²⁾ 1–7 и 12 веќе се одбрани за зафат во првиот период.

Во третиот период, 2035–2040 (табела 11), одбрани се водовите кои имаат ранг⁽³⁾ 17–19 и 21–26 бидејќи сите водови со повисок ранг од нивниот се веќе одбрани за зафат во претходните 2 периода: водовите со ранг⁽³⁾ 1–7 и 11 се одбрани за зафат во првиот период, а водовите со ранг⁽³⁾ 8–9, 10, 12, 13–16 и 20 се одбрани за зафат во вториот период.

Горниот редослед за зафати, вклучително и бројот на водови под некаков зафат по периоди, делумно е диктиран и од ограничувањата за рамномерност на инвестициите и должините на водовите под зафат.

На слика 21а и од табелите 9-11 се гледа дека инвестициите по периоди изнесуваат: 14, 15 и 16,9 милиони евра. Средната вредност на инвестициите изнесува 15,3 милиони евра и таа на сликата е означена со точкеста линија. Отстапувањата од $\pm 10\%$ од средната вредност изнесуваат 13,8 и 16,8 милиони евра соодветно – тие на слика 21а се означени со линии со цртички. Од сликата се гледа дека инвестициите по периоди сосема малку отстапуваат од интервалот ограничен со $\pm 10\%$ од средната вредност. Вкупните инвестиции за трите периоди изнесуваат 45.856.100 евра.



Слика 21. Инвестиции и должини на водовите под зафат добиени со оптимизациската постапка

На слика 21б (и од табелите 9-11) се гледа дека должините на водовите под зафат по периоди изнесуваат 170,7; 195,5 и 197,42 km. Средната вредност на должините изнесува 187,9 km, а должините со отстапувањата од $\pm 10\%$ од средната вредност изнесуваат 169,1 и 206,7 km. Во сите 3 периоди вкупните должини на водовите под зафат се разликуваат од средната вредност за помалку од $\pm 10\%$. Вкупната должина на сите водови врз кои треба да се прават зафати изнесува 563,62 km.

Табела 9. Распоред на зафати на водовите за периодот 2025-2030 добиен со оптимизациската постапка

Ранг ⁽¹⁾	Ранг ⁽²⁾	Ранг ⁽³⁾	Шифра	Почеток	Крај	Должина	Инвестиција	$E^{(1)}$	$E^{(2)}$	$E^{(3)}$
1	1	1	107/2	110_SOPOTNICA	110_BITOLA1	30,7	2.456.000	5,344	5,434	5,189
2	2	3	107/1	110_KICEVO	110_SOPOTNICA	33,3	2.664.000	5,092	5,180	4,903
3	3	4	111	110_VRUTOK	110_SPILJE	45,6	3.192.000	4,846	4,846	4,846
4	4	2	176	110_STRUMICA1	110_STRUMICA2	1,9	152.000	4,837	4,846	4,964
5	5	7	106/2	110_OSLOMEJ	110_KICEVO	15	1.050.000	4,674	4,770	4,602
6	7	11	144	110_OSLOMEJ	110_SAMOKOV	17,5	2.012.500	4,627	4,535	4,315
7	6	5	118	110_VALANDOVO	110_STRUMICA2	15,6	1.794.000	4,556	4,592	4,783
8	12	6	108/3	110_GORCE_PETROV	110_SKOPJE1	11,1	666.000	4,518	4,354	4,649
					Вкупно	170,70	13.986.500			

Табела 10. Распоред на зафати на водовите за периодот 2030-2035 добиен со оптимизациската постапка

Ранг ⁽¹⁾	Ранг ⁽²⁾	Ранг ⁽³⁾	Шифра	Почеток	Крај	Должина	Инвестиција	$E^{(1)}$	$E^{(2)}$	$E^{(3)}$
15	8	8	120/1	110_GLOBOCICA	110_STRUGA	32,4	2.268.000	4,111	4,477	4,506
10	9	12	115	110_STIP1	110_KOCANI	27,8	1.946.000	4,399	4,461	4,278
9	10	9	173	110_RADOVIS	110_BEROVO	38,3	3.830.000	4,423	4,409	4,481
11	11	14	132/1	110_BUCIM	110_RADOVIS	10,5	735.000	4,348	4,359	4,175
12	13	13	114	110_TIKVES	110_KAVADARCI1	8,1	648.000	4,342	4,311	4,239
17	14	10	190	110_VRUTOK	110_POLOG	15,3	1.683.000	4,081	4,266	4,385
14	15	15	108/2	110_SKOPJE3	110_GORCE_PETROV	20,8	1.248.000	4,169	4,105	3,967
19	16	20	108/1A	110_GOSTIVAR	110_JEGUNOVCE	36,9	2.214.000	4,049	4,096	3,863
16	17	16	131/1	110_STIP1	110_STIP2	5,4	378.000	4,091	4,085	3,930
					Вкупно	195,50	14.950.000			

Табела 11. Распоред на зафати на водовите за периодот 2035-2040 добиен со оптимизациската постапка

Ранг ⁽¹⁾	Ранг ⁽²⁾	Ранг ⁽³⁾	Шифра	Почеток	Крај	Должина	Инвестиција	$E^{(1)}$	$E^{(2)}$	$E^{(3)}$
26	23	17	188	110_OSLOMEJ	110_GOSTIVAR	36,52	2.921.600	3,777	3,817	3,890
13	21	18	145/1	110_SKOPJE4	110_BUNARDJIK	19,4	2.037.000	4,299	3,911	3,885
21	18	19	136B	110_BITOLA1	110_BITOLA2	13	1.300.000	3,905	3,954	3,877
22	20	21	136A	110_BITOLA1	110_BITOLA2	13	1.300.000	3,887	3,936	3,859
29	31	22	140	110_STRUMICA1	110_SUSICA	16,9	1.690.000	3,705	3,686	3,856
37	40	23	122	110_KAVADARCI1	110_PRILEP1	44	3.520.000	3,548	3,550	3,843
24	22	24	113/1B	110_VELES2	110_EVP_ZGROPOLCI	10,9	654.000	3,859	3,820	3,798
25	26	25	113/2	110_EVP_ZGROPOLCI	110_KAVADARCI1	26,2	1.572.000	3,815	3,775	3,775
27	25	26	119/3	110_KRATOVO	110_PROBISTIP	17,5	1.925.000	3,742	3,797	3,753
					Вкупно	197,42	16.919.600			

8.5. Трансформаторски станици со придружна опрема

Како составен дел од преносната мрежа, влегуваат и трансформаторските станици со нивната примарна опрема. Како поважни елементи од една трансформаторска станица би ги издвоиле трансформаторите, а во однос на примарната опрема, тоа се: прекинувачите и раставувачите.

Ваквото издвојување е направено во поглед на нивното место во функционалноста на една трансформаторска станица, како и во поглед на потребната инвестиција.

Потребата од зафати кај трансформаторските станици, произлегува како резултат на реални технички потреби идентификувани од различни аспекти и тоа:

- старост на опремата над 30 години и не можност за набавка на резервни делови,
- отежнато одржување на опремата,
- лоши работни параметри на опремата која е во функција,
- отежнато управување со опремата,
- опасност по вработените и околината при манипулација со опремата.

Се подразбира дека зафатите во трансформаторските станици и кај далекуводите е потребно да се изведат независно едни во однос на други. Тоа се должи, пред се на обемот на работни активности, обезбедување и времетраење на безнапонската состојба во мрежата и нивното влијание врз стабилната работа на системот.

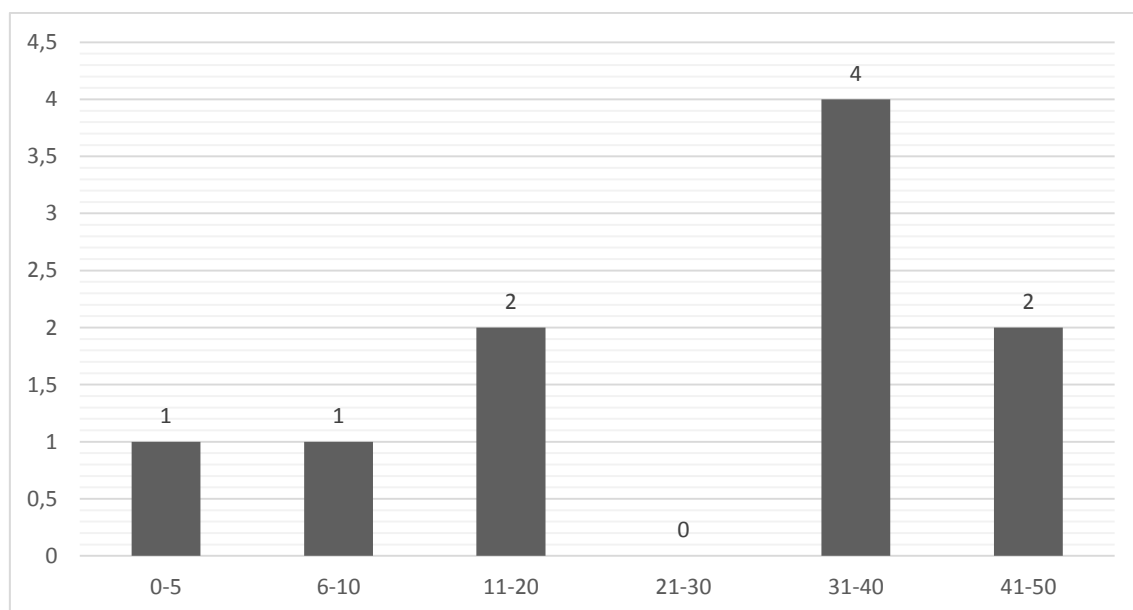
8.5.1 Трансформатори 400/110 kV/kV

Во преносната мрежа на Македонија инсталирани се 10 трансформатори 400/110 kV/kV. Во табела 12 е даден нивен преглед (локација, напони, моќности итн.). Колоната „старост“ (табела 12) е пресметана како разлика на тековната година (2019 година) во однос на годината на пуштање на опремата во погон, а онаму каде тој податок недостасува се смета дека годината на производство претставува и година на пуштање во погон.

Табела 12. Основни податоци за трансформатори 400/110 kV/kV

Локација	Ознака	Производител	Година на производство	Година на погон	Старост во години	Напон, kV			Моќност, MVA		
						U ₁	U ₂	U ₃	VN	SN	NN
ТС 400/110 kV БИТОЛА 2	1	RADE KONČAR	1979	1983	36	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV БИТОЛА 2	2	RADE KONČAR	1980	1983	36	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV ДУБРОВО	2ТА	RADE KONČAR	1977	/	42	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV ДУБРОВО	1ТА	RADE KONČAR	1979	/	40	400	115	31,5	300	300	100

Локација	Ознака	Производител	Година на производство	Година на погон	Старост во години	Напон, kV			Моќност, MVA		
						U ₁	U ₂	U ₃	VN	SN	NN
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 4	2ТА	SIEMENS-KPT	2003	/	16	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 4	REZ	RADE KONČAR	1979	/	40	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 4	1ТА	RADE KONČAR	1976	/	43	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 1/5	1ТА	SIEMENS-KPT	2007	2008	11	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 1/5	2ТА	KONČAR - KPT	2014	2014	5	400	115	31,5	300	300	100
ТС 400/110 kV ШТИП	1ТА	SIEMENS-KPT	2007	2010	9	400	115	31,5	300	300	100



Слика 22. Старост на 400/110 kV/kV енергетски трансформатори

На слика 22 е прикажан хистограм за староста на 400/110 kV/kV енергетски трансформатори и нивната бројна состојба. Од сликата се гледа дека 40 % од трансформаторите се со старост помеѓу 31–40 години, а 20 % се со старост помеѓу 41–50 години, односно нешто над половина од вкупниот број на трансформатори се со старост поголема од 31 година.

Во МЕПСО се води грижа за експлоатацијата на елементите од преносната мрежа. Тоа се должи на поседување на информации за нивната состојба преку изработка на студии, развојни планови и разни анализи за идни зафати. Што се однесува за трансформаторите, претходно се изработени неколку студии, како на пример: „Студија за проценка на состојбата на трансформаторите“ и „Студија за енергетска ефикасност на трансформатори“, а истите се опфатени и во „Развоен 10 годишен план 2019-2029“.

Во „Студија за проценка на состојбата на трансформаторите“ е наведено дека проценката на состојбата на трансформаторите се прави врз основа на таканаречениот „индекс на состојба“. Индексот на состојба (IS) се дефинира како големина со која може да се следи состојбата на инсталираната опрема. Преку овој индекс се овозможува на еден современ начин, преку собирање и квантификација на информациите, поврзани со производството на опремата, експлоатацијата и одржувањето, да се изврши проценка на моменталната експлоатациона состојба во која се наоѓа елементот и проценка на потребата од извршување на зафати.

Еден од најзначајните сегменти кои учествуваат при определување на индексот на состојбата се: резултати од „периодични прегледи“, надзорот над погонот и лабораториските испитувања. Претворајќи ги овие информации во една објективна и квантитативна слика, се добива точен податок за веројатноста за дефект на посматраната опрема, а со тоа и поврзаните ризици.

Доколку, еден трансформатор има максимална вредност (IS = 100) или блиску до 100, може да се каже дека неговата состојба е многу добра и може да се смета дека ќе функционира доверливо.

Вкупниот индекс вообичаено се дели на неколку групи и врз основа на добиените вредности, може да се утврди припадната во соодветната група за секој трансформатор (бодови од 0 до 100).

Табела 13 е преземена од „Студијата за енергетска ефикасност на трансформаторите“.

Табела 13. Поделба на групи на трансформатори, според вредноста на IS

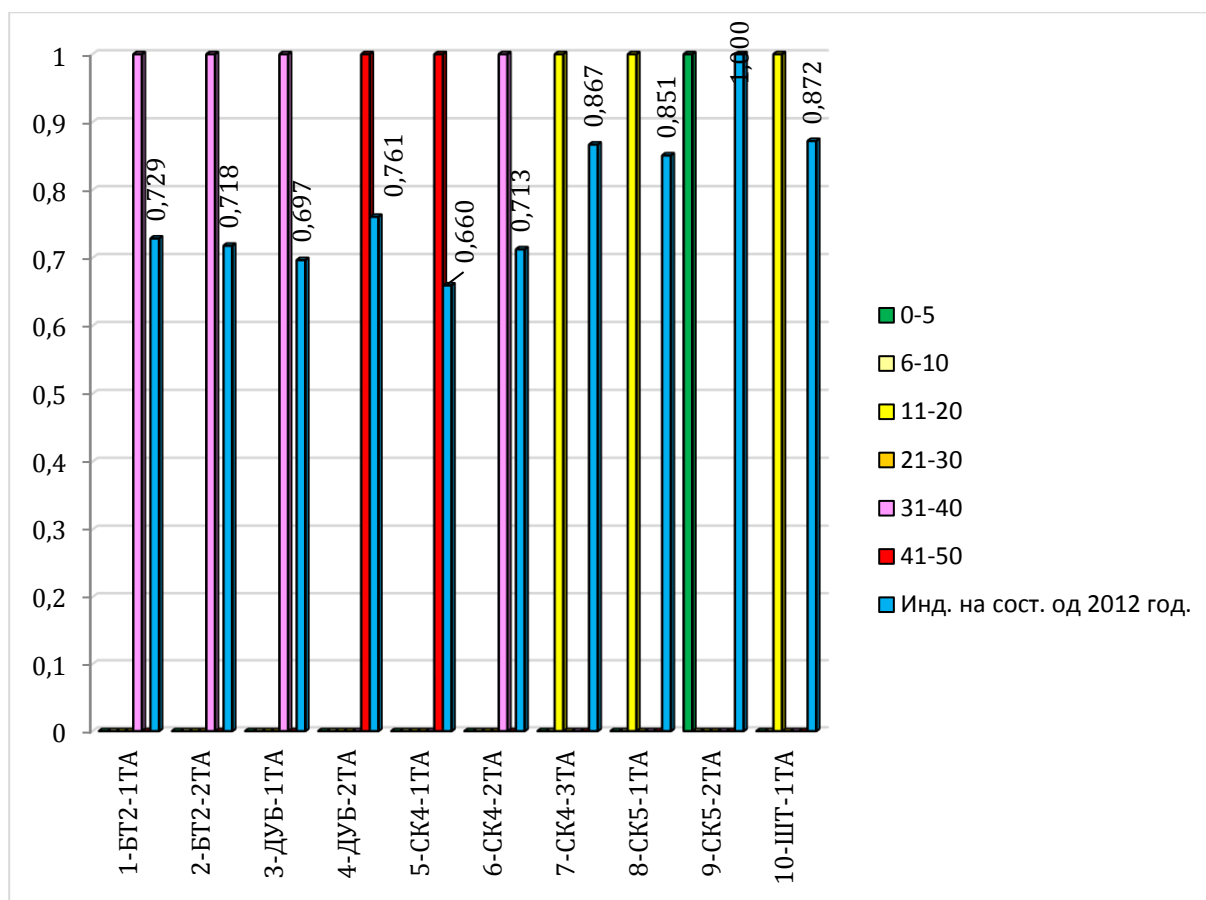
IS	Состојба	Очекуван животен век
85–100	Многу добра	> 20 години
70–85	Добра	15 години
60–70	Задоволителна	< 10 години
40–60	Лоша	< 5 години
0–40	Дефект	Крај на животен век

Табела 14. Ранг листа на трансформатори, според вредноста на IS за 2012 година

Локација	Шифра	Ознака	Моќност, MVA	Година на производство	Индекс на состојба, %
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 1/5	9-СК5-2ТА	2ТА	300	2014	100
ТС 400/110 kV ШТИП	10-ШТ-1ТА	1ТА	300	2008	87,23
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 4	7-СК4-3ТА	REZ	300	2003	86,70
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 1/5	8-СК5-1ТА	1ТА	300	2007	85,10
ТС 400/110 kV ДУБРОВО	4-ДУБ-2ТА	2ТА	300	1977	76,06
ТС 400/110 kV БИТОЛА 2	1-БТ2-1ТА	1	300	1979	72,87
ТС 400/110 kV БИТОЛА 2	2-БТ2-2ТА	2	300	1980	71,81
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 4	6-СК4-2ТА	2ТА	300	1979	71,27
ТС 400/110 kV ДУБРОВО	3-ДУБ-1ТА	1ТА	300	1979	69,68
ТС 400/110 kV СКОПЈЕ 4	5-СК4-1ТА	1ТА	300	1976	65,96

Од резултатите прикажани во табела 14, јасно се гледа дека трансформаторите кои имаат најлоша состојба според вредноста на IS (најмала вредност), се

категоризирани во група со задоволителна состојба и проценет животен век помал од 10 години (табела 13). Графичкиот приказ на податоците од табела 14 е прикажан во форма на хистограм на слика 23. За секој трансформатор на сликата се следи истовремено старосниот интервал и индексот на состојба.



Слика 23. Хистограм на старост и индекс на состојба на 400/110 kV/kV енергетски трансформатори

Земајќи ја во предвид староста на овие податоци, потребата од промена на некои трансформатори е веќе согледана од стручните тимови во МЕПСО и внесена во десетгодишниот развоен план 2019–2029.

Во овој развоен план е предвидено да се изврши замена на некои од енергетските трансформатори 400/110 kV/kV и тоа:

- Во ТС Битола 2, трансформатор со ознака 1ТА (планиран период на замена 2019 година),
- Во ТС Скопје 4, трансформатор со ознака 1ТА (планиран период на замена 2028-2029 година) и
- Во ТС Дуброво, трансформатор со ознака 1ТА (планиран период на замена 2026-2029 година).

Предвидените инвестиции за промената на овие трансформатори е проценета на 2,5 милиони евра по трансформатор, распределени по инвестициони години во однос на планираниот период на замена.

Имајќи го предвид развојниот план, предвидени се и изградби на нови 400 kV трансформаторски станици во Охрид и Куманово, како и ново 400 kV поле во постојната 400 kV трансформаторска станица во Битола 2.

8.5.2 Прекинувачи 110 kV

Во однос на нормалната функционалност на трансформаторската станица и инвестициите, во оваа студија посебен осврт е направен на 110 kV прекинувачи. За таа цел во базата за овој елемент е доделена посебна табела во која би се запишале сите неопходни податоци. Животниот век на еден прекинувач во голема мера зависи од експлоатациониот режим (број на манипулации, големина и вид на куса врска, итн.), староста, принципот на работа, итн.

Врз основа на добиените податоци за 110 kV прекинувачи, систематизирани во табела **Error! Reference source not found.**, овозможено е да се направи одредена статистичка анализа.

Во табела 15 е даден генерален статистички преглед во однос на типот на погон и медиум, нивната старост и расклопна струја. Генерално, сите прекинувачи според медиумот, може да ги поделиме во три категории и тоа: SF6, масло и воздух, а во поглед на типот на погон на: прекинувачи со моторно-опружен систем, пневматски систем и хидрауличен систем.

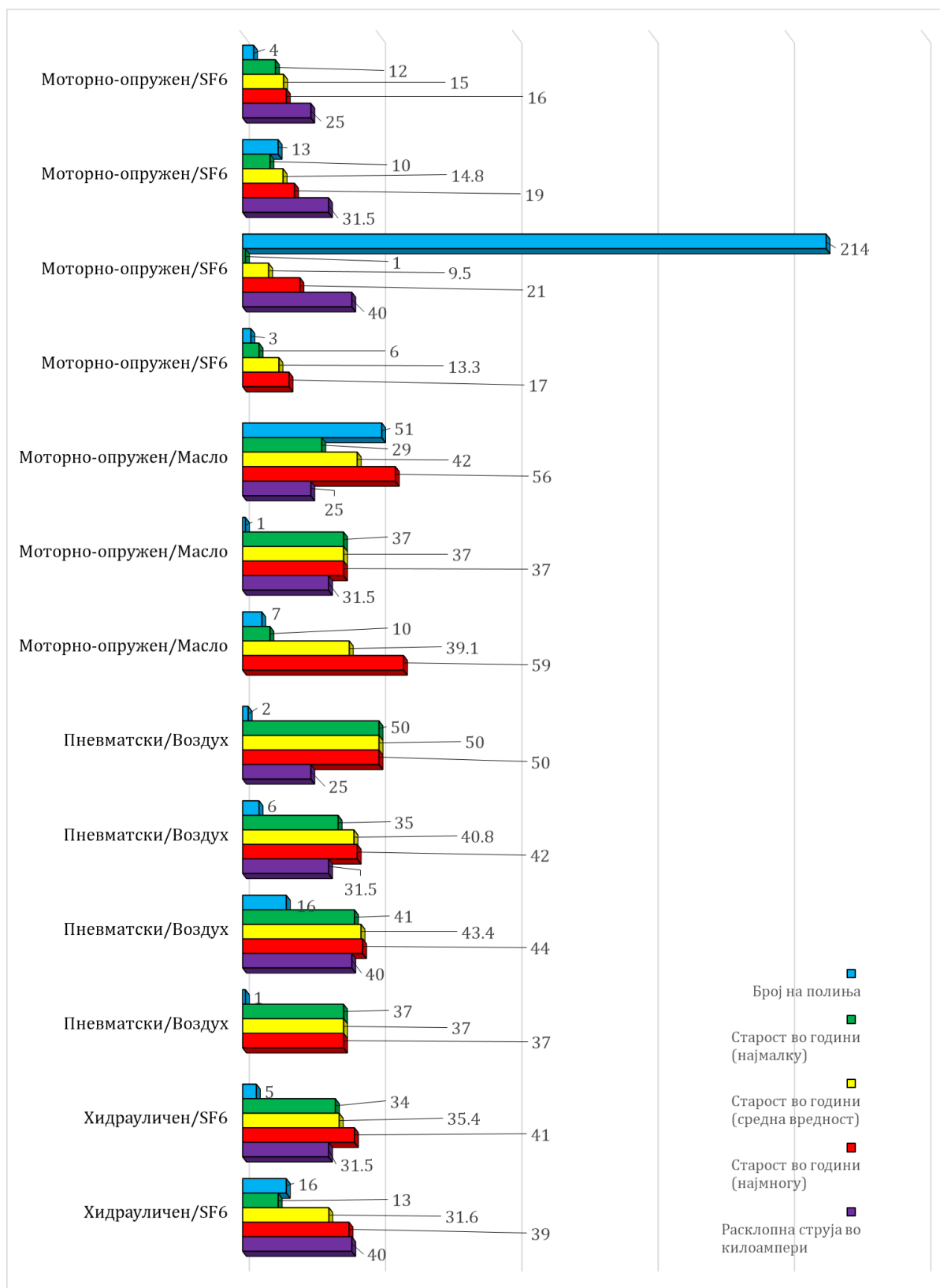
На пример, 110 kV прекинувачи што имаат моторно-опружен погон и медиум SF6, според расклопната струја може да ги поделиме во 4 групи. Во првата група се прекинувачите чија расклопна струја изнесува до 25 kA и вакви прекинувачи има вкупно 4 на број т.е. се среќаваат во 4 полиња. Во однос на староста, најмалку стариот прекинувач има 12, а најстариот 16 години. За секоја група на прекинувачи според расклопната струја, пресметана е средна вредност на нивната старост и за овој случај таа изнесува 15 години. Во табела 15 може да се забележи и група на прекинувачи за кои не е наведена вредноста на расклопната струја (ознака „/“ во колоната $I_{\text{рас.}}$, kA).

Табела 15. Статистички преглед на 110 kV прекинувачи според тип на погон, медиум и расклопна струја

Тип на погон/Медиум	Број на полиња	Старост во години			$I_{\text{рас.}}$, kA
		Најмалку	Средна вредност	Најмногу	
Моторно-опружен/SF6	4	12	15	16	до 25
Моторно-опружен/SF6	13	10	14.8	19	31.5
Моторно-опружен/SF6	214	1	9.5	21	40
Моторно-опружен/SF6	3	6	13.3	17	/
Моторно-опружен/Масло	51	29	42	56	до 25
Моторно-опружен/Масло	1	37	37	37	31.5
Моторно-опружен/Масло	7	10	39.1	59	/
Пневматски/Воздух	2	50	50	50	до 25
Пневматски/Воздух	6	35	40.8	42	31.5
Пневматски/Воздух	16	41	43.4	44	40
Пневматски/Воздух	1	37	37	37	/
Хидрауличен/SF6	5	34	35.4	41	31.5
Хидрауличен/SF6	16	13	31.6	39	40

Подетален преглед на податоците од табела 15 е прикажан на слика 24, во форма на хистограм. Во најголем број на полиња се инсталирани прекинувачи со

моторно-опружен погон и медиум SF6, со расклопна струја од 40 kA. Староста на оваа група прекинувачи, во однос на средната вредност, е најмала.



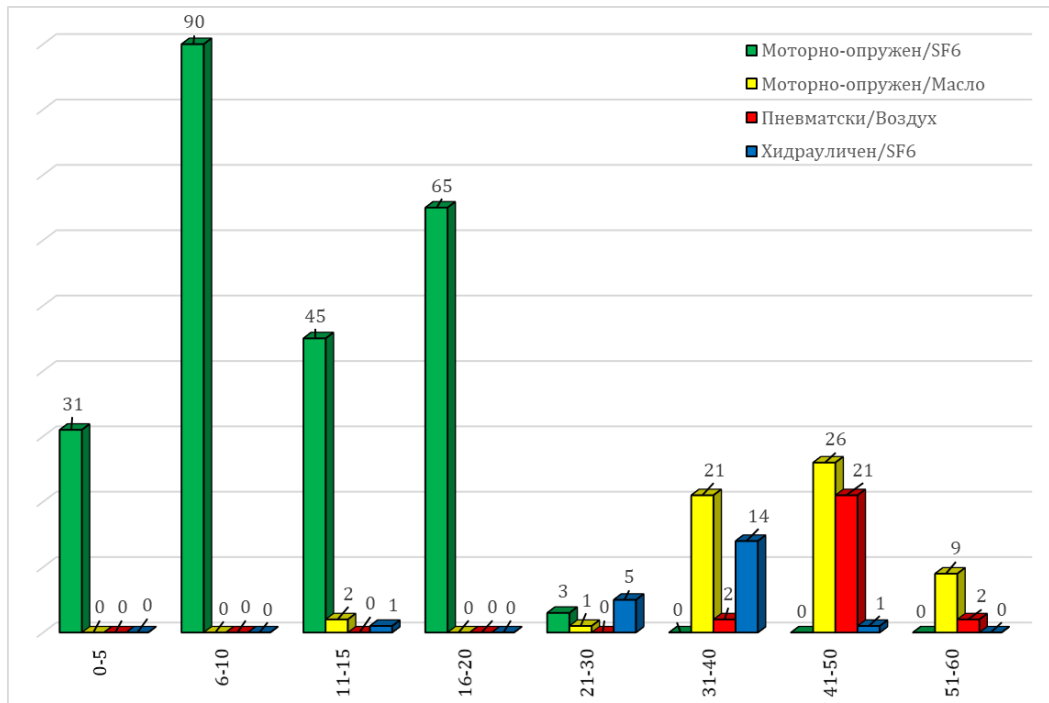
Слика 24. Хистограм за 110 kV прекинувачи според старост, тип на погон, медиум и расклопна струја

Во табела 16 е даден преглед на бројната состојба на 110 kV прекинувачи во однос на типот на погон и медиум распределени по старосни интервали. Забележуваме дека најмногу се инсталирани прекинувачи со моторно-опружен погон и медиум SF6 или вкупно 234. Дури 71 % од вкупниот број на прекинувачи, што ја сочинуваат оваа група, се двојно „помлади“ од најстарите прекинувачи во оваа група (вкупно 3) кои се со старост од 21–30 години.

Табела 16. Статистички преглед за старост на 110 kV прекинувачи според тип на погон и медиум

Старост во години	Тип на погон/Медиум			
	Моторно-опружен/ SF6	Моторно-опружен/ Масло	Пневматски/ Воздух	Хидрауличен/ SF6
0-5	31	0	0	0
6-10	90	0	0	0
11-15	45	2	0	1
16-20	65	0	0	0
21-30	3	1	0	5
31-40	0	21	2	14
41-50	0	26	21	1
51-60	0	9	2	0
Вкупно	234	59	25	21

Графичкиот приказ на податоците од табела 16, во форма на хистограм, е даден на слика 25.

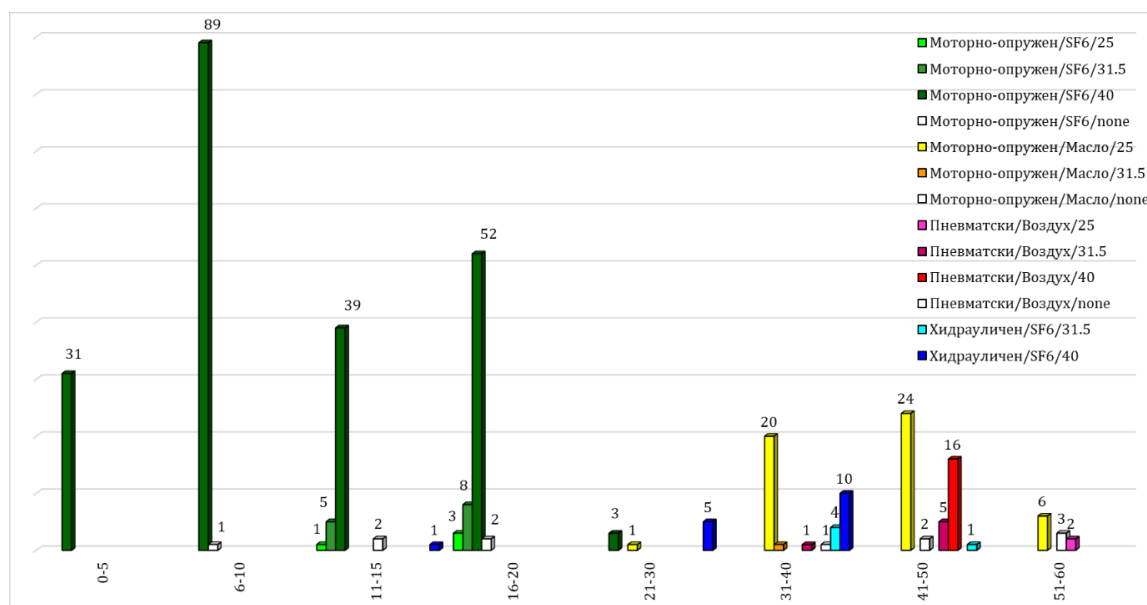


Слика 25. Хистограм на старост за 110 kV прекинувачи по полиња, според тип на погон и медиум

Ако се земе во предвид и расклопната струја, може да извршиме подетална распределба на бројната состојба на прекинувачите во однос на типот на погон и медиум, распределени по старосни интервали (табела 17 и слика 26).

Табела 17. Статистички преглед за старост на 110 kV прекинувачи според тип на погон и медиум

Старосен интервал во години	Тип на погон/Медиум/Расклопна струја												
	Моторно-опружен/SF6/25	Моторно-опружен/SF6/31.5	Моторно-опружен/SF6/40	Моторно-опружен/SF6/none	Моторно-опружен/Масло/25	Моторно-опружен/Масло/31.5	Моторно-опружен/Масло/none	Пневматски/Воздух/25	Пневматски/Воздух/31.5	Пневматски/Воздух/40	Пневматски/Воздух/none	Хидрауличен/SF6/31.5	Хидрауличен/SF6/40
0-5	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-10	0	0	89	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-15	1	5	39	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1
16-20	3	8	52	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-30	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5
31-40	0	0	0	0	20	1	0	0	1	0	1	4	10
41-50	0	0	0	0	24	0	2	0	5	16	0	1	0
51-60	0	0	0	0	6	0	3	2	0	0	0	0	0
Вкупно	4	13	214	3	51	1	7	2	6	16	1	5	16

**Слика 26. Хистограм на старост за 110 kV прекинувачи по полиња, според тип на погон, медиум и расклопна струја**

Во десет годишниот развоен план на МЕПСО се опфатени и зафатите врз примарната опрема, вклучувајќи ги и прекинувачите. Во моментот се изведува замена на 110 kV прекинувачи во трансформаторските станици ТС Скопје 4, ТС Битола 2, ТС Дуброво, ТС Валандово, ТС Осломеј и ТС Прилеп 1. Овие планирани

зафати се означени со жолта боја во колоната „Трансформаторска станица“, во табела **Error! Reference source not found.**

8.5.3 Методологија за зафати врз примарна опрема во трансформаторски станици

Староста на опремата не е пресуден фактор за да се утврди потребата од зафати врз прекинувачите. За таа цел е предложена методологија која може да се користи за да се утврди потребата за зафати кај прекинувачите.

Предложената методологија се базира на оценка на ризикот за отказ на прекинувачите во иднина врз основа на историски податоци за прекинувачи од ист тип. Освен тоа, при формирањето на ранг листата за замена на прекинувачите со висок ризик за отказ се води сметка за нивното системско значење кое се оценува врз основа на системското значење на елементот кој тие го вклучуваат/исклучуваат од преносната мрежа.

Детален опис на предложената методологија е даден во Прилог **Error! Reference source not found.**

8.6. Основно за подготвителните активности за зафат

Елементи на електроенергетската мрежа се градат за да извршуваат определена функција, важна за сигурна работа на мрежата. Изградениот елемент, во кој се вложени значителни средства, треба да биде во состојба да ја обавува функцијата во текот на целиот долг работен век. Поради тоа е потребно со особено внимание да се изведуваат сите активности што сè поврзани со градбата на елементот. Освен тоа, за елементот да биде во употреблива состојба неколку децении (т.е. во текот на целиот работен век), неопходно е навремено и стручно да се изведуваат сите активности поврзани со неговото редовно одржување. Тие активности се особено важни и никако не смее да се дозволи да бидат занемарувани. Во спротивно се можни несакани настани со несогледиви штетни последици.

Но, и покрај внимателно изведување на предвиденото одржување, ќе дојде време кога ќе биде неопходно (односно рационално) на елементот да се изведат активности од поголем обем, т.е. зафати. Бидејќи тогаш станува збор за активности што ќе придонесат на елементот да му се обноват сите неопходни особености, на целата постапка мора да ѝ се посвети особено внимание. Не смее да има место за никакви нестручни дејствија, површности или импровизации.

Притоа, за ефикасно изведување на сите активности во рамките на еден зафат, во подготвителниот период е неопходно, покрај другото, да се обезбедат:

- финансиски средства за изведување на сите активности поврзани со изведување на зафатот;
- квалитетна и комплетна проектна документација;
- детална проверка на сите работни услови во мрежата за цело време додека елементот на кој се изведува зафатот нема да биде во погон;
- соодветно избран временски период за изведување активности на терен,
- решени имотно-правни односи на сите локации на кои се предвидува да се изведуваат активности во рамките на зафатот;
- користење компоненти со проверен квалитет ,

- квалификуван и искусен изведувач и
- квалификуван и искусен надзорен орган.

Со оглед на општоста на овој преглед, без навлегување во поединости, вниманието ќе биде свртено кон некои појаснувања за некои од наведените активности, со цел да се истакнат нивните особености и нивната важност за целата постапка.

Обезбедување потребни финансиски средства за сите активности поврзани со комплетно изведување на зафат, пред да започне самиот зафат, е неопходен (но не и доволен) услов за ефикасно изведување на зафатот. Доколку овој услов не е исполнет, можно е да дојде до прекини во реализација на зафатот и пореметување на предвидениот повеќегодишен редослед за изведување на зафати, а со тоа и до неопходноста за справување со нови проблеми во функционирањето на електроенергетскиот систем. Секако, тоа не е поволен развој на настаните и со преземање соодветни активности треба да се настојува до него да не доаѓа.

Независно од практиката во минатото, изработка на квалитетна и комплетна проектна документација (за секој зафат) мора да се смета за особено важна активност. Бидејќи, несоодветна или некомплетна проектна документација може да биде причина за несоодветно изведен зафат, што за последица може да има значителни материјални штети, не само во мрежата туку и кај корисниците на мрежата. Се разбира, не е едноставно да се избере компетент изготвувач на квалитетна и комплетна проектна документација. Но, на решавање и на тој проблем мора да му се посвети повеќе внимание и да се негуваат начини да се стимулира изработка на квалитетна проектна документација. Заслужува да се нагласи дека квалитетна проектната документација е незаменлива компонента во процесот на рационално и ефикасно изведување зафати.

Наполно е разбирливо дека пред да започнат предвидените директни активности (т.е. зафат) на самиот електроенергетски високонапонски вод тој ќе биде исклучен и нема да учествува во работата на мрежата. Значи, неговата улога ќе треба да ја преземат останатите елементи. Дали тие тоа ќе можат, ќе треба да се провери врз основа на резултати добиени преку обемни анализи на очекуваните режими на работа, во целиот временски период додека предметниот вод е исклучен, односно додека зафатот наполно не биде завршен. Притоа, при анализа на очекуваните режими треба да се земат предвид:

- годината и сезоната, т.е. временскиот период, во кој се изведува зафатот;
- предвидените минимални и максимални оптоварувања на потрошувачите во периодот;
- предвидените моќности на електричните центри во периодот;
- елементите на кои зафатите се во тек во разгледуваниот период, како и елементи за кои е планирано зафатите да отпочнат во периодот;
- можностите за преземање неопходни диспечерски акции (промена на ангажираноста на електричните центри, промена на конфигурацијата на мрежата, помош од други електроенергетски системи и сл.) со кои може да се обезбедат нормални услови на работа на мрежата, без водот на кој се изведува зафат или без тој вод и без уште еден вод.

Значи, треба да се направат детални анализи за да се провери дали при исклучен вод, на кој се изведува зафатот, можат да се обезбедат прифатливи

погонски услови во мрежата, т.е. напонот во секој јазол на мрежата да биде во зададените граници и струјата во секој елемент на мрежата да не ја надминува соодветната најголема дозволена вредност. Покрај тоа, заслужува да се нагласи дека при анализа на множеството разгледувани режими на работа (без елементот на кој се изведува зафатот) треба да се инсистира во мрежата да се обезбедат прифатливи погонски услови и при испад на уште еден елемент на мрежата, т.е. да биде задоволен критериумот $N-1$.

Особено внимание треба да се посвети на анализи на работните режими доколку едновременно се предвидуваат зафати на повеќе од еден вод.

Временскиот период за изведување активности на зафатот на терен треба внимателно да се избере имајќи ги предвид:

- температурните и атмосферските прилики во периодот,
- водовите на кои во периодот веќе се изведува зафат или е планирано да се изведе зафат,
- моќностите на електричните центри што се предвидува да бидат расположливи во периодот,
- предвидените оптоварувања на потрошувачите во периодот,
- потребата и можности за добивање поддршка од други електроенергетски системи.

Несоодветно избран временски интервал за изведување на зафат може да биде причина за ненавремено завршување на зафатот, а со тоа и за пореметување на редоследот на идните зафати и за создавање сериозни дополнителни проблеми во функционирањето на електроенергетскиот систем.

Во подготвителниот период (пред да започнат активностите на самиот терен) треба да се решат сите проблеми поврзани со овозможување соодветни активности на теренот. Значи, за работа на терен (особено ако теренот не е сопственост на МЕПСО), соодветните служби треба за секоја од локациите на којашто се предвидени активности во рамките на зафатот да обезбедат:

- дозволи за пристап и за работа,
- документи во врска со користење на локациите и документи за компензација на евентуални штети направени при зафатот,
- дозволи за евентуална градба или поправка на пристапни патишта.

При секој зафат треба да се внимава компонентите и материјалот што се вградуваат да бидат со проверен квалитет. Користење на компоненти и материјали со пониска цена, но со послаб или непознат квалитет, не треба да се прифаќа. Овој став произлегува од два факта. Прво, од интерес на МЕПСО е елементот да биде солидно изграден, за да може доверливо да ја извршува функцијата за која е изграден. Второ, инвестициите вложени во елементот не се мали и елементот треба долго и ефикасно да биде во погон за, со својата работа, не само да ги врати вложените средства туку и да даде прилог кон обезбедување проширена репродукција.

Ангажирање квалитетни кадри за реализација на секој зафат е еден од потребните услови за успешно завршување на предвидените активности.

Заслужува да биде нагласено дека, поради важноста за ефикасна работа на електроенергетскиот систем, зафатите на електроенергетските водови спаѓаат во

категорија комплексни активности што треба да бидат подготвувани внимателно и детално.

8.7. Конечен распоред на зафати

Врз основа на резултатите добиени со примена на методологијата за оптимизација на распоредот за извршување зафати врз надземните водови во сопственост на АД МЕРСО (табели 9–11) е формиран распоред за зафати врз надземните водови, прикажан во табели 18–20. При формирање на распоредот се земени предвид анализите и препораките што произлегуваат од следните технички документи:

- План за развој на електропреносниот систем на Република Македонија период 2019–2029,
- Концепти за развој на преносната мрежа во одделни региони за долгорочен период,

Во новата ранг листа се уважени следните генерални препораки и тоа:

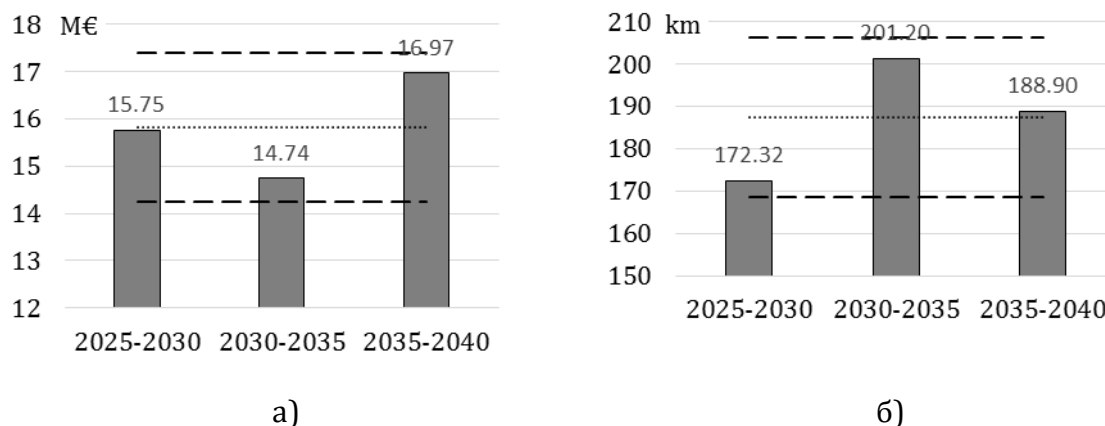
- географска поврзаност на водовите,
- препораките изнесени во планот за развој на мрежата,

При тоа, заради исполнување на генералните препораки, направени се префрлања на зафатите од еден во друг период за 7 водови како што следува:

- зафатот е префрлен од период 1 во период 2 за водовите 110_OSLOMEJ–110_SAMOKOV и 110_VRUTOK–110_SPILJE,
- зафатот е префрлен од период 2 во период 3 за водовите 110_STIP1–110_KOCANI, 110_STIP1–110_STIP2 и 110_RADOVIS–110_BEROVO и 110_BUCIM–110_RADOVIS,
- зафатот е префрлен од период 3 во период 1 за водот 110_OSLOMEJ–110_GOSTIVAR,

Со цел да се уважи претходниот план за развој и дополнителна географска поврзаност, во распоредите за изведуваче на зафати на водовите се додадени водовите 110_DUBROVO–110_VALANDOVO и 110_SPILJE–110_GLOBOCICA.

Конечниот распоред на зафати е даден во табелите 18–20. Притоа, со задебелени линии се прикажани групите на географски поврзани водови.



Слика 27. Инвестиции и должини на водовите под зафат (конечен распоред)

На сликата 27 и во табелите 18–20 се гледа дека инвестициите по периоди изнесуваат 15,75; 14,74 и 16,97 милиони евра, додека должините на водовите под зафат изнесуваат 172,32; 201,20 и 188,90 km. Средната вредност на инвестициите изнесува 15,82 милиони евра, а средната вредност на должините изнесува 187,47 km. Од резултатите е забележливо дека инвестициите и должините на водовите по периоди се во интервалот од $\pm 10\%$ од средната вредност.

Вкупните инвестиции за трите периоди изнесуваат 47.466.100 евра, додека вкупната должина на сите водови предложени за зафат изнесува 562,42 km.

Поради нефункционалност на трансформаторската станица во Згрополци и поради мала оптовареност на водовите на потегот Велес 2–Згрополци–Кавадарци 1, водовите 110_VELES2–110_EVP_ZGROPOLCI и 110_EVP_ZGROPOLCI–110_KAVADARCI1 не се разгледуваат.

Водот 110_STRUMICA1–110_SUSICA, без изградба на рудникот Иловица и по извршување зафати на двосистемскиот вод Дуброво–Валандово–Струмица, губи на важност и не се разгледува.

Табела 18. Конечен распоред на зафати на водовите за периодот 2025-2030

Ранг ⁽¹⁾	Ранг ⁽²⁾	Ранг ⁽³⁾	Шифра	Почеток	Крај	Должина	Инвестиција	E ⁽¹⁾	E ⁽²⁾	E ⁽³⁾
1	1	1	107/2	110_SOPOTNICA	110_BITOLA1	30,7	2.456.000	5,344	5,434	5,189
2	2	3	107/1	110_KICEVO	110_SOPOTNICA	33,3	2.664.000	5,092	5,180	4,903
5	5	7	106/2	110_OSLOMEJ	110_KICEVO	15,0	1.050.000	4,674	4,770	4,602
26	23	17	188	110_OSLOMEJ	110_GOSTIVAR	36,5	2.921.600	3,777	3,817	3,890
4	4	2	176	110_STRUMICA1	110_STRUMICA2	1,9	152.000	4,837	4,846	4,964
7	6	5	118	110_VALANDOVO	110_STRUMICA2	15,6	1.794.000	4,556	4,592	4,783
28	28	38	117/2	110_DUBROVO	110_VALANDOVO	39,3	4.716.000	3,720	3,762	3,520
					Вкупно	172,3	15.753.600			

Табела 19. Конечен распоред на зафати на водовите за периодот 2030-2035

Ранг ⁽¹⁾	Ранг ⁽²⁾	Ранг ⁽³⁾	Шифра	Почеток	Крај	Должина	Инвестиција	E ⁽¹⁾	E ⁽²⁾	E ⁽³⁾
6	7	11	144	110_OSLOMEJ	110_SAMOKOV	17,5	2.012.500	4,627	4,535	4,315
19	16	20	108/1A	110_GOSTIVAR	110_JEGUNOVCE	36,9	2.214.000	4,049	4,096	3,863
3	3	4	111	110_VRUTOK	110_SPILJE	45,6	3.192.000	4,846	4,846	4,846
15	8	8	120/1	110_GLOBOCICA	110_STRUGA	32,4	2.268.000	4,111	4,477	4,506
17	14	10	190	110_VRUTOK	110_POLOG	15,3	1.683.000	4,081	4,266	4,385
46	32	30	112	110_SPILJE	110_GLOBOCICA	13,5	810.000	3,311	3,677	3,689
12	13	13	114	110_TIKVES	110_KAVADARCI1	8,1	648.000	4,342	4,311	4,239
8	12	6	108/3	110_GORCE_PETROV	110_SKOPJE1	11,1	666.000	4,518	4,354	4,649
14	15	15	108/2	110_SKOPJE3	110_GORCE_PETROV	20,8	1.248.000	4,169	4,105	3,967
					Вкупно	201,2	14.741.500			

Табела 20. Конечен распоред на зафати на водовите за периодот 2035-2040

Ранг ⁽¹⁾	Ранг ⁽²⁾	Ранг ⁽³⁾	Шифра	Почеток	Крај	Должина	Инвестиција	<i>E</i> ⁽¹⁾	<i>E</i> ⁽²⁾	<i>E</i> ⁽³⁾
10	9	12	115	110_STIP1	110_KOCANI	27,8	1.946.000	4,399	4,461	4,278
16	17	16	131/1	110_STIP1	110_STIP2	5,4	378.000	4,091	4,085	3,930
9	10	9	173	110_RADOVIS	110_BEROVO	38,3	3.830.000	4,423	4,409	4,481
11	11	14	132/1	110_BUCIM	110_RADOVIS	10,5	735.000	4,348	4,359	4,175
27	25	26	119/3	110_KRATOVO	110_PROBISTIP	17,5	1.925.000	3,742	3,797	3,753
13	21	18	145/1	110_SKOPJE4	110_BUNARDJIK	19,4	2.037.000	4,299	3,911	3,885
21	18	19	136B	110_BITOLA1	110_BITOLA2	13,0	1.300.000	3,905	3,954	3,877
22	20	21	136A	110_BITOLA1	110_BITOLA2	13,0	1.300.000	3,887	3,936	3,859
37	40	23	122	110_KAVADARCI1	110_PRILEP1	44,0	3.520.000	3,548	3,550	3,843
					Вкупно	188,9	16.971.000			

9. ЗАКЛУЧОК

Распоредот на зафати на водовите во периодите 2025-2030, 2030-2035 и 2035-2040 е направен со уважување на особеностите на состојбата на водовите, како и нивното системско значење.

За определување на вкупната оценка на состојбата на водовите формирана е база на податоци во која се собрани податоци/оценки за сите водови за 4 карактеристични категории од нивната конструкција: оценка за состојбата на столбовите, за состојбата на фазните јажиња, за состојбата на заштитно јаже и за состојбата на изолацијата. Овие оценки, кои секако зависат од староста и начинот на експлоатација и одржување на водовите, со соодветни тежински коефициенти ја даваат конечната оценка за нивната состојба. Иако просечната старост на водовите е релативно голема и изнесува 42 години, скоро 2/3 од нив имаат натпросечно добра оценка за состојбата што е показател дека се добро одржувани.

Оценката за системското значење на водовите се состои од 3 компоненти: релативната оптовареност на водовите во нормален работен режим, релативната оптовареност на водовите во работен режим со најнепогоден единечен испад и показател за неисполнетост на критериумот $N-1$ при работен режим во кој одреден вод е во испад. Оваа оценка е пресметувана за сите сценарија на работа на преносната мрежа во иднина, користејќи ги мрежните модели од студијата „Концепти за развој на преносната мрежа во одделни региони за долгорочен период“. Конечно, оценката за системско значење на водовите е надополнета со индикатор за доверливост во кој е искажана нерасположливоста на водовите сметајќи со релативното вкупно време, во кое тие биле во испад во однос на вкупното време на испади за сите водови заедно.

За определување на распоредот на зафати на водовите е развиена методологија во која е водено сметка за рангот на водовите во поглед на ургентноста за подобрување на нивната состојба. При тоа, рангот на секој вод е дефиниран преку неговата вкупна оценка која ги содржи погоре наведените компоненти. Во постапката е водено сметка за променливоста на рангот, т.е. променливоста на ургентноста за изведување на зафати на водовите во текот на години. Имено, со промена на конфигурацијата на преносната мрежа, дефинирана со планот за развој, доаѓа до промена на системското значење на одредени водови, а со тоа и до промена на ургентноста за изведување зафати врз нив. Во целиот процес е водено сметка, како за водовите чија ургентност за зафати расте со текот на годините, така и за водови чија ургентност опаѓа.

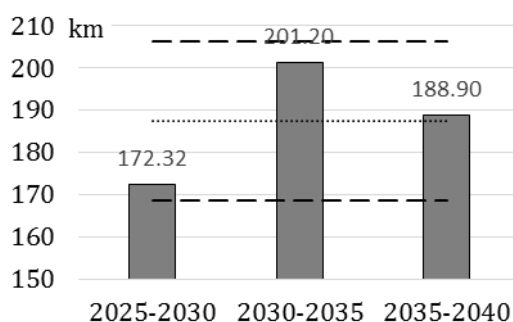
Со примена на методологијата за определување на распоредот за извршување зафати врз водовите е добиен прелиминарен распоред кој дополнително е коригиран уважувајќи ги препораките што произлегуваат од документите „План за развој на електропреносниот систем на Република Македонија период 2019-2029“ и „Концепти за развој на преносната мрежа во одделни региони за долгорочен период“. На крајот, корекции во распоредот се правени водејќи сметка за географската поврзаност на водовите и препораките изнесени во планот за развој на мрежата со што е добиен конечен распоред за изведување зафати на водовите.

Резултатите се дадени во табелите 21, 22 и 23 каде што се дадени распореди на зафати на водовите за периодот 2025-2030, 2030-2035 и 2035-2040, соодветно.

Во табелите со засенчување со различни нијанси на сива боја се означени водовите кои имаат блиска географска поврзаност. Во табелите е дадена и вкупната должина на водовите, како и инвестициите потребни за реализација на зафатите по периоди.

На сликите 30-32 е даден графички приказ на планирани зафати по периоди, додека на сликата 33 се прикажани зафатите кај водовите од сите 3 периоди заедно.

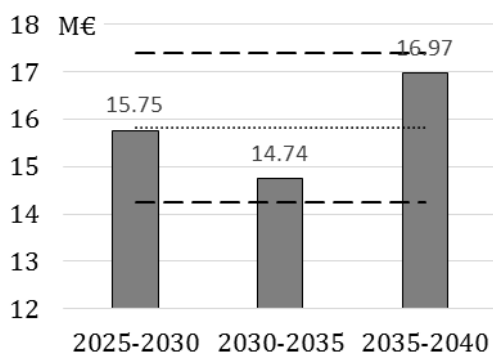
На сликите 28 и 29 се прикажани вкупната должина на водовите, како и инвестициите потребни за реализација на зафатите по периоди, а означени се и нивоата на средна вредност на должините и инвестициите (точкеста линија) и нивоа кои се разликуваат од средната вредност за $\pm 10\%$ (црткана линија).



Слика 28. Должини на водовите под зафат (конечен распоред)

На сликата 29 и во табелите 21-23 се гледа дека инвестициите по периоди изнесуваат 15,75; 14,74 и 16,97 милиони евра, додека должините на водовите под зафат изнесуваат 172,32; 201,20 и 188,90 km. Средната вредност на инвестициите изнесува 15,82 милиони евра, а средната вредност на должините изнесува 187,47 km. Од резултатите е забележливо дека инвестициите и должините на водовите по периоди се во интервалот од $\pm 10\%$ од средната вредност.

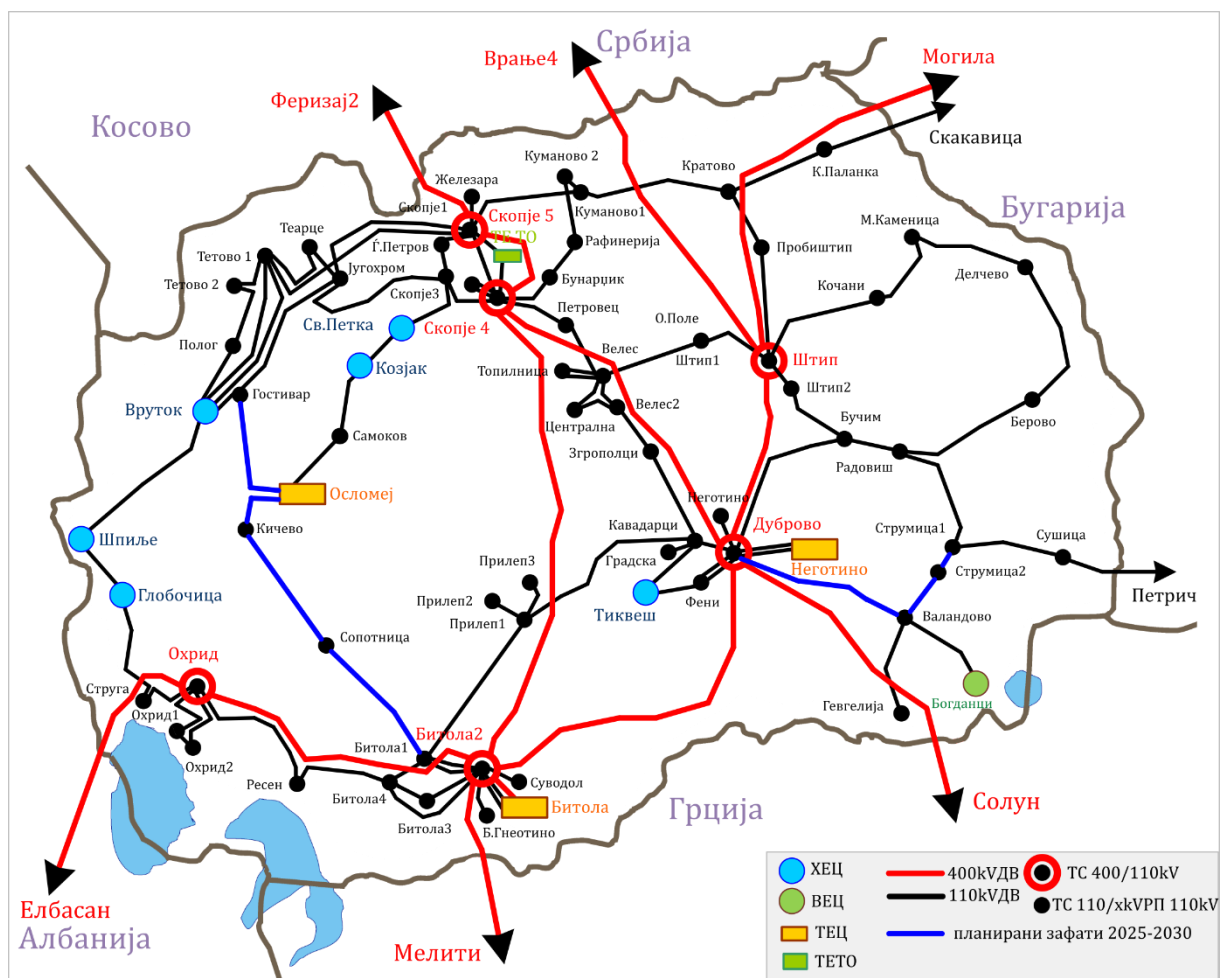
Вкупните инвестиции за трите периоди изнесуваат 47.466.100 евра, додека вкупната должина на сите водови предложени за зафат изнесува 562,42 km.



Слика 29. Инвестиции на водовите под зафат (конечен распоред)

Табела 21. Конечен распоред на зафати на водовите за периодот 2025-2030

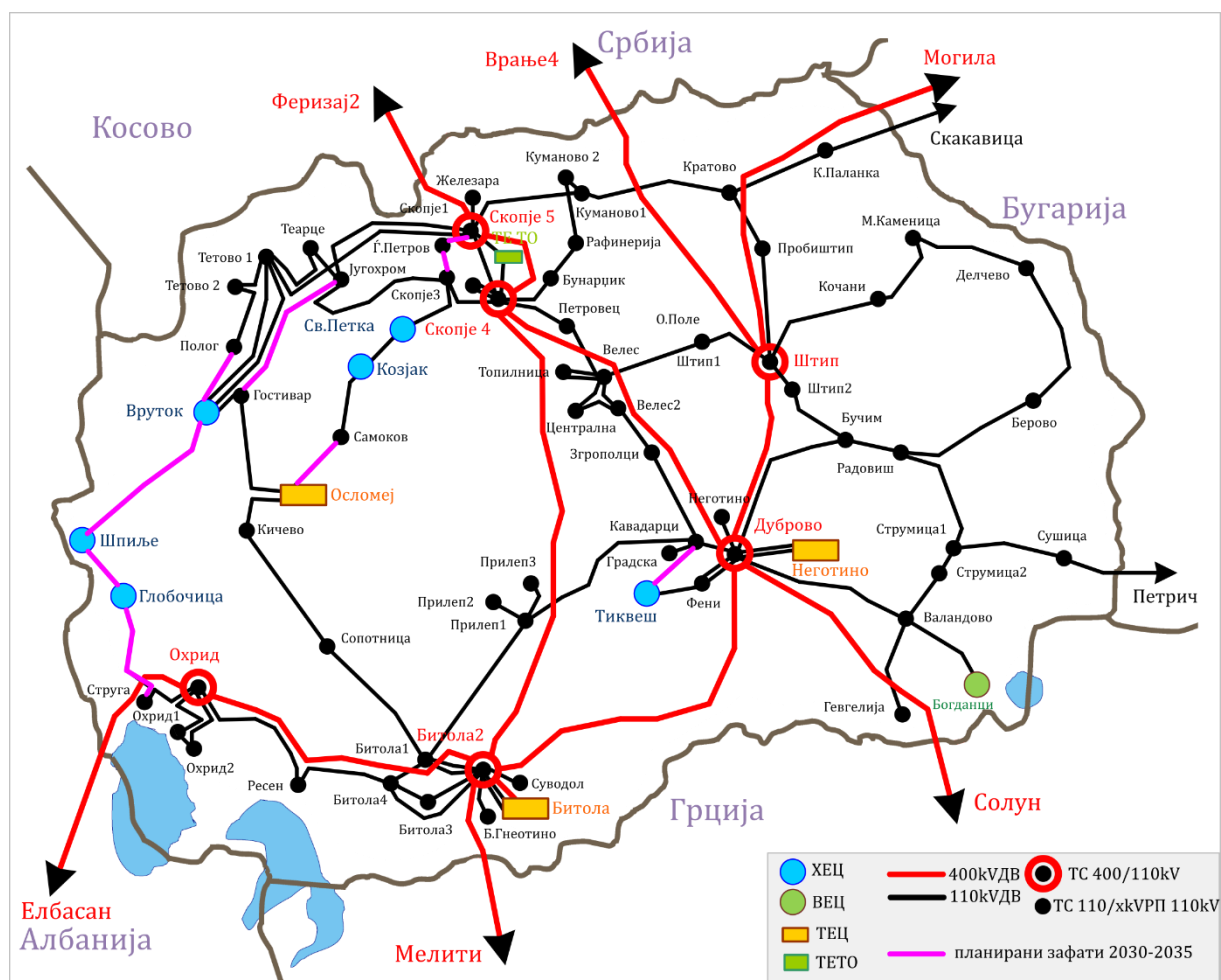
Шифра	Далекувод	Должина	Инвестиција
107/2	Сопотница–Битола 1	30,7	2.456.000
107/1	Кичево–Сопотница	33,3	2.664.000
106/2	Осломеј–Кичево	15	1.050.000
188	Осломеј–Гостивар	36,5	2.921.600
176	Струмица 1–Струмица 2	1,9	152.000
118	Валандово–Струмица 2	15,6	1.794.000
117/2	Дуброво–Валандово	39,3	4.716.000
	Вкупно	172,3	15.753.600



Слика 30. Графички приказ на планирани зафати, период 2025-2030

Табела 22. Конечен распоред на зафати на водовите за периодот 2030-2035

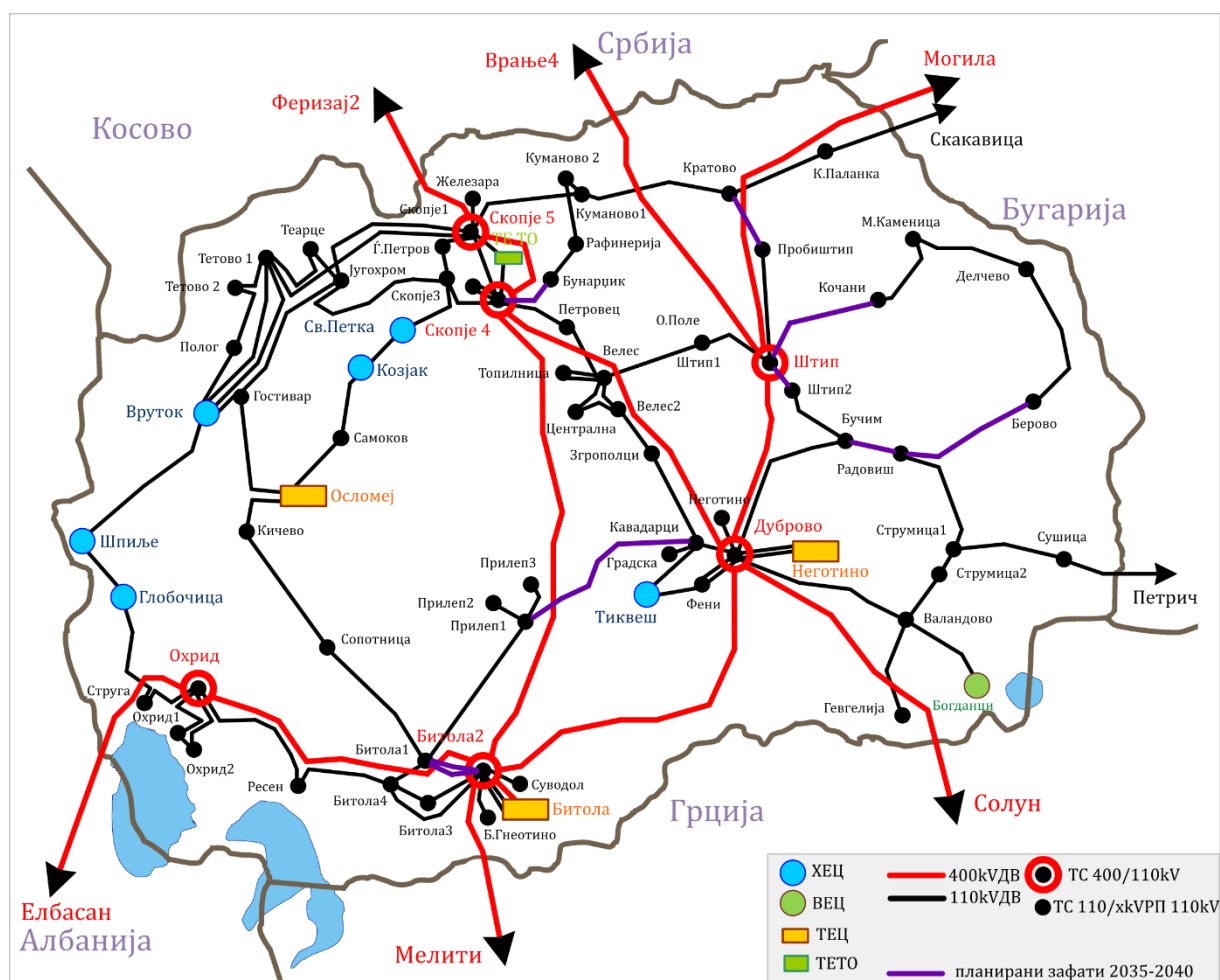
Шифра	Далекувод	Должина	Инвестиција
144	Осломеј–Самоков	17,5	2.012.500
108/1А	Гостивар–Јегуновце	36,9	2.214.000
111	Вруток–Шпиље	45,6	3.192.000
120/1	Глобочица–Струга	32,4	2.268.000
190	Вруток–Полог	15,3	1.683.000
112	Шпиље–Глобочица	13,5	810.000
114	Тиквеш–Кавадарци 1	8,1	648.000
108/3	Ѓорче Петров–Скопје 1	11,1	666.000
108/2	Скопје 3–Ѓорче Петров	20,8	1.248.000
	Вкупно	201,2	14.741.500



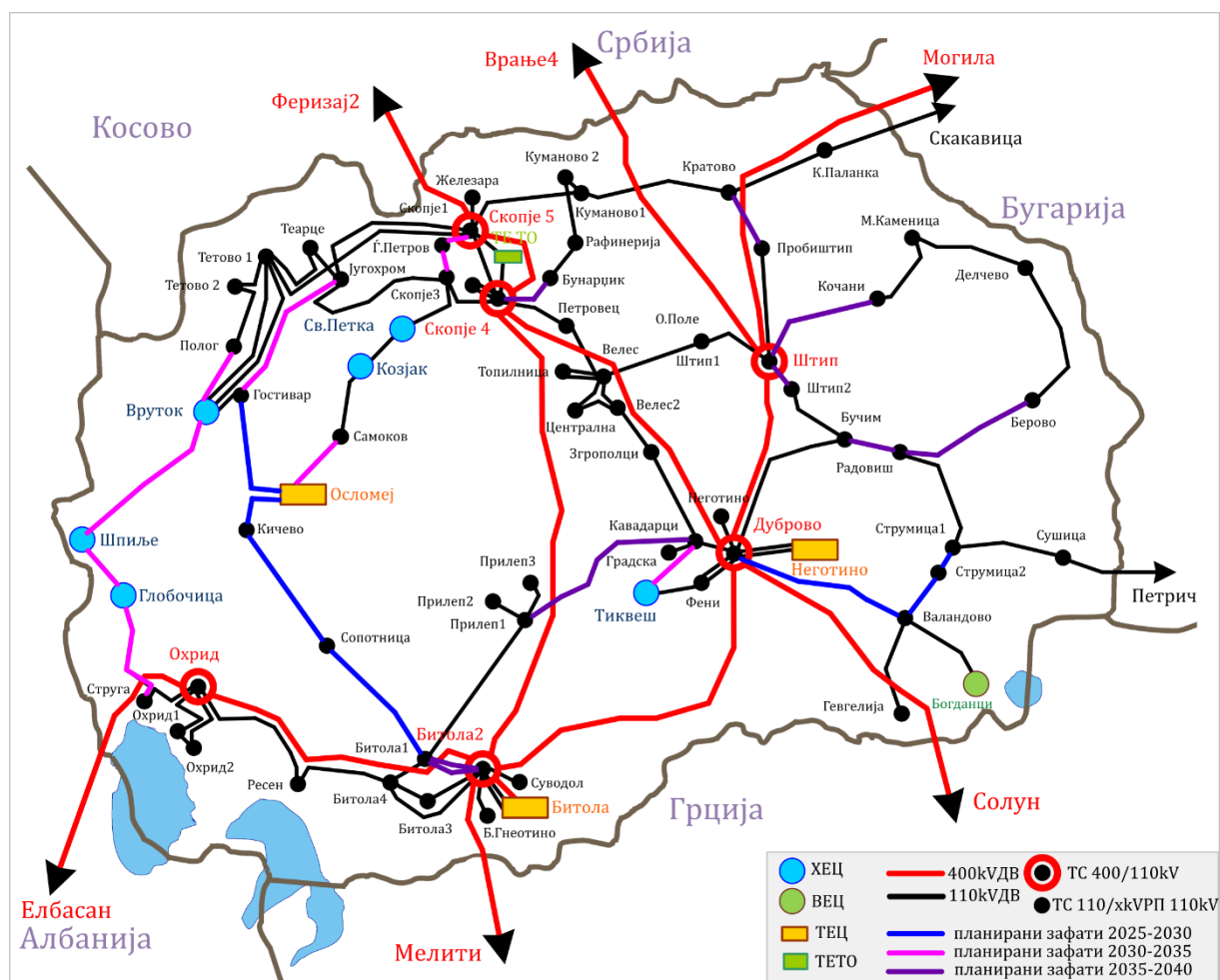
Слика 31. Графички приказ на планирани зафати, период 2030-2035

Табела 23. Конечен распоред на зафати на водовите за периодот 2035-2040

Шифра	Далекувод	Должина	Инвестиција
115	Штип 1–Кочани	27,8	1.946.000
131/1	Штип 1–Штип 2	5,4	378.000
173	Радовиш–Берово	38,3	3.830.000
132/1	Бучим–Радовиш	10,5	735.000
119/3	Кратово–Пробиштип	17,5	1.925.000
145/1	Скопје 4–Бунарџик	19,4	2.037.000
136B	Битола 1–Битола 2	13	1.300.000
136A	Битола 1–Битола 2	13	1.300.000
122	Кавадарци–Прилеп 1	44	3.520.000
	Вкупно	188,9	16.971.000



Слика 32. Графички приказ на планирани зафати, период 2035-2040



Слика 33. Кумулативен графички приказ на планирани зафати, период 2025-2040

При определувањето на распоредот за замена на примарната опрема (прекинувачи) се препорачува да се користи методологија која се базира на оценка на ризикот за отказ на прекинувачите во иднина врз основа на историски податоци за прекинувачи од ист тип. Освен тоа, потребно е да се води сметка за нивното системско значење кое се оценува врз основа на системското значење на елементот што тие го вклучуваат/исклучуваат од преносната мрежа.

При определувањето на ризикот за отказ на прекинувачите во иднина, т.е. формирањето на ранг листа по ургентност за нивна замена, треба да се пресметуваат: веројатноста за отказ поради старост на прекинувачот која се моделира со Вејбулова распределба и веројатноста за отказ поради екстремни услови на работа на прекинувачот (голем број исклучување на куси врски) која се моделира со Поасонова распределба. Во двата случаја, соодветните параметри со кои се моделираат распределбите за определување на веројатностите се одредуваат користејќи историски податоци.

Според согледувањата за индексот на состојба на енергетските трансформатори 400/110 kV/kV од документот „Студијата за енергетска ефикасност на трансформаторите“ треба да се смета со потребата за промена на 3 вакви трансформатори кои веќе се внесени во десетгодишниот развоен план 2019–2029. При тоа, инвестициите за нив ќе бидат потребни на крајот од првиот период или најдоцна во првата година од вториот период.

10. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Студија за прогноза на биланс на ЕЕ и моќност за долгорочен период и анализа за адекватност на преносната мрежа на Република Македонија, Енергетски институт Хрвоје Пожар, декември 2016 година
- [2] Концепти на развој на преносната мрежа во одделни региони за долгорочен период, Енергетски институт Хрвоје Пожар, април 2017 година
- [3] Студија за проценка на вкупните трошоци за интегрирање на ОИЕ во ЕЕС на Македонија, Енергетски институт Хрвоје Пожар, април 2017 година
- [4] Долгорочни прогнози за потребите од електрична енергија и моќност на Република Македонија, Служба за стратешко планирање и развојни анализи, МЕПСО, октомври 2018 година
- [5] План за развој на електропреносниот систем на Република Македонија период 2018–2022, Служба за стратешко планирање и развојни анализи, МЕПСО, ноември 2017 година
- [6] План за развој на електропреносниот систем на Република Северна Македонија период 2019-2029, Служба за стратешко планирање и развојни анализи, МЕПСО, јануари 2019 година
- [7] Студија за ефикасно управување со работата на енергетските трансформатори со цел заштеда на електрична енергија, ФЕИТ-Скопје, 2014 година
- [8] Wenyan Li, Fellow, IEEE, Jiaqi Zhou, Jiping Lu, and Wei Yan, “A Probabilistic Analysis Approach to Making Decision on Retirement of Aged Equipment in Transmission Systems”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, No.3, July 2007
- [9] Maxim Finkelstein, “*Failure Rate Modelling for Reliability and Risk*”, Springer, July 2008, DOI 10.1007/978-1-84800-986-8,
- [10] Dragan Stevanovic, Aleksandar D. Janjic, Dragan S. Tasic, “Replacement strategy of medium-voltage circuit breakers based on the segmented risk estimation”, *Electrical Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00803-y>
- [11] Gang Liang, Shengwei Li, Yan Qi, Jing Cao, Yi Hao, Wenfu Chen, “A Transformer Replacement Decision Method Based on Probability Assessment of Failure Rate”, *Energy and Power Engineering*, April 17, 2017, 748-755, DOI: 10.4236/epe.2017.94B080
- [12] Giovanni Parra, Mark Saldana, Jimmy Singh, “The Ten Year Substation Replacement Program”, *IEEE Industry Applications Magazine*, September/October 2