

## WDM tinklų patikimumo įvertinimo ypatumai

### R. Plėštys

*Kompiuterių tinklų katedra, Kauno technologijos universitetas,  
Studentų g. 50, LT- 51368 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300999, el. p. ktk@if.ktu.lt*

### A. Šiurkus

*Telekomunikacijų katedra, Kauno technologijos universitetas,  
Studentų g. 50, LT- 51368 Kaunas, Lietuva*

#### Ižanga

Banginio sutankinimo (WDM) tinklų funkcionavimui turi įtakos tiek komponentų gedimai, tiek valdymo programinės įrangos sutrikimai. Projektuojant WDM tinklus, reikia pasirinkti gedimų modelį. Paprastas gedimų modelis apima aibę numatytų gedimų, kurių poveikis sistemai yra žinomas. Tokiems atvejams galima parinkti tinkamą rezervavimą, kuris gali būti įvertintas kaina. Projektuojant labai patikimus tinklus, turi būti įvertinti iš anksto neprognozuojami elementų gedimai. Kai kuriais atvejais gali būti toleruojamas tam tikras sugedusių elementų skaičius.

Fotoninio magistralinio tinklo vieno elemento, sudaryto iš vieno žvaigždinio šakotuvo ir keturių aktyviųjų komutavimo mazgų, patikimumo įvertinimo metodika yra pateikta [1]. Ji įvertina visus galimus loginius kanalus, sudarytus naudojant skirtingo ilgio bangas, vieno ir dviejų perėjimų virtualius loginius kanalus. Homogeninio fotoninio tinklo, sudaryto iš tokių tinklo elementų, loginių ryšių patikimumo skaičiavimo metodika, įvertinanti visus galimus rezervavimo maršrutus ir galimą loginių kanalų ilgį, pateikta [2].

WDM tinkluose elementų funkcionavimas kontroliuojamas keliuose lygmenyse. Fiziniam lygmenyje nustatoma signalo galia. Kanaliniam lygmenyje nustatomos signalų klaidos. Tinkliniam lygmenyje atskiri bangų ilgiai gali būti skirti perdavimo klaidoms aptikti visame perdavimo kelyje ir perduoti valdymo ar kontrolės signalams. Šis būdas taikomas tik optiškai skaidriuose tinkluose. Stebėjimai įvairiuose lygmenyse papildo vienas kitą ir gali būti atliekami kartu. Tipiška WDM sistema taiko šiuos būdus atskirai kiekvienam bangos ilgiui.

Gedimai gali būti ilgalaikiai, trumpalaikiai ir kintamos trukmės. Ilgalaikių gedimų atveju funkcionalumo atkūrimas susijęs su elemento pakeitimu arba kabelio sujungimu. Trumpalaikiai gedimai – tai gedimai, kurie atsiranda dėl išorinių signalų poveikių informaciniam signalui (elektromagnetinis nesuderinamumas). Kintamos trukmės gedimams būdingas funkcionavimas su pertrūkiais, kuriuos lemia aplinkos sąlygų pokyčiai.

Optinių tinklų gedimai yra dviejų pagrindinių tipų: optinės linijos ir mazgo. Optinė linija dažniausiai sugenda

kabeliui nutrūkus, tačiau gali sugesti ir dėl dalies mazgo gedimo. Sugedus visam mazgui, sugenda visos mazgo linijos. WDM tinklo atveju galimas dar vieno tipo gedimas – optinio kanalo gedimas dėl bangos ilgio siuntimo ir/ar priėmimo įrangos gedimo.

Šiame darbe pateikiami WDM tinkluose taikytini elementų rezervavimo principai ir jų klasifikacija, taip pat pritaikoma patikimumo kokybės samprata.

#### Rezervavimo WDM tinkluose ypatumai

WDM tinkluose naudojamos rezervavimo schemas, palyginti su SDH tinkluose naudojamomis schemomis, turi keletą ypatumų. SDH rezervavimo atveju visas pagrindinio srauto kelias rezervuojamas kita skaidulų pora. WDM tinkluose naudojamos dvi, o SDH tinkluose – keturios skaidulos rezervavimui užtikrinti. Antras ypatumas yra tas, kad rezervavimui gali būti paskirti papildomi bangų ilgiai. Skirtingų ilgių bangos gali būti skiriamos skirtingų QoS lygmenų patikimumui užtikrinti.

Kiekvienam patikimumo užtikrinimo lygmeniui priskiriamos atitinkamos funkcijos, pagal galimybes leidžiančios pašalinti gedimus. Grupė taisyklių, aprašančių perdavimo atnaujinimo procesą ir sąveiką tarp lygmenų, vadinama eskalavimo strategija. Pagal tai, kuriame lygmenyje yra inicijuojamas perdavimo atnaujinimo procesas, yra skiriamos trijų tipų strategijos: kilimo nuo apačios strategija, leidimosi nuo viršaus strategija ir vidurio strategija. Kilimo nuo apačios strategijos atveju perdavimas pradedamas atkurti žemiausiame gedimo lygmenyje. Čia labai svarbus laiko faktorius. Leidimosi nuo viršaus strategijos atveju atkūrimas pradedamas aukščiausiam lygmenyje ir plečiasi į žemesnius lygmenis. Šios strategijos pranašumas tas, kad nenustatomi atkūrimo laikotarpiai. Informacijai perduoti per trumpą laiką sudaromi kiti maršrutai. Tačiau didžiausias šios strategijos ypatumas yra tas, kad skirtingiems vartotojams galima skirti skirtingus QoS parametrus. Trečiosios – vidurio strategijos – atveju gedimo šalinimo procesas prasideda kažkuriame viduriniame lygmenyje ir tęsiasi aukštin ar žemyn priklausomai nuo gautų pavojaus signalų ir turimų duomenų apie gedimą.

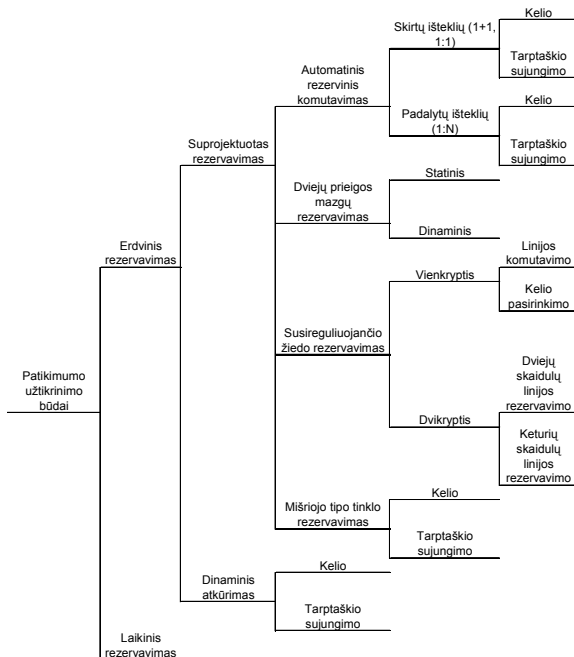
WDM lygmens rezervavimo principai yra artimi SDH sistemose taikomiems principams 1+1, 1:1, 1:N, tik WDM atveju rezervuojama optiniame lygmenyje [6].

Ryšio atkūrimas WDM lygmenyje turi daug privalumų [5]:

- paprastumas – reikia mažiau koordinuoti procesus tarp lygmenų;
- efektyvumas – optinis atkūrimas leidžia efektyviau panaudoti tinklo rezervavimo talpą, nes tinklo išteklių padalijami skirtingiems paslaugų lygmenims;
- skaidrumas – bangos ilgių maršrutizavimo būdas yra nepriklausomas nuo aukštesnių lygmenų protokolų.

### Rezervavimo būdų klasifikacija

WDM tinklo patikimumą padeda užtikrinti tinklo mazgų, sujungimų ar funkcijų rezervavimas. Atsižvelgiant į skirtingose publikacijose [3, 6] analizuotus skirtingus rezervavimo principus, darbe siūloma apibendrinta rezervavimo būdų klasifikacija (1 pav.).



1 pav. Rezervavimo būdų klasifikacija

Rezervavimas gali būti erdvinis ir laikinis. Erdvinio rezervavimo atveju dubliuojami tinklo elementai arba juos jungiančios optinės bangos. Laikinio rezervavimo atveju taikomi automatinis užklausų pakartojimo (ARQ) algoritmai. Didelio patikimumo WDM tinkluose gali būti taikomi abu rezervavimo tipai.

Erdvinio rezervavimo būdai, taikomi optinių tinklų patikimumui užtikrinti, gali būti suskirstyti į dvi pagrindines kategorijas: suprojektuoto rezervavimo ir dinaminio atkūrimo [7].

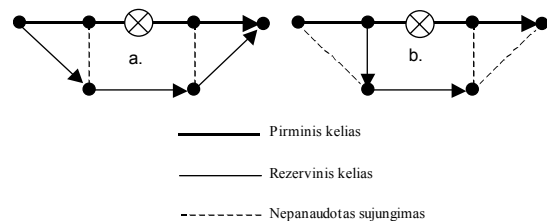
Suprojektuotas rezervavimas gali būti įgyvendinamas keturiais būdais: jungiant automatinį rezervinį bangos ilgį (ARK), naudojant susireguliuojantį žiedą (SŽ), du priegios mazgus ir mišriuoju būdu. Šiems būdams būdingas perdavimo trūkių pašalinimas suprojektuotomis schemomis, kur panaudojamos skaidulos, banginiai kanalai

ir optiniai komutatoriai. Nors yra garantuojama perdavimo atkūrimo sparta ir lygmuo, tačiau tinklo išteklių nėra efektyviai panaudojami.

Automatinis rezervinis komutavimas sėkmingai taikomas WDM tinkluose. Jis gali būti trijų architektūrų 1+1, 1:1, 1:N. Dažniausiai jis taikomas atsiradus tarptaškių sujungimų gedimams. 1+1 architektūra gali būti vadinama patikima bangos ilgių architektūra, o 1:1 ir 1:N – pastovia bangos ilgių architektūra. Skirtumas tarp šių architektūrų yra tas, kad 1+1 atveju informacija perduodama abiem optiniais keliais, o signalo priėmimo mazgas palygina signalų parametrų vertes ir pasirenka geresnės kokybės optinius kelius. 1:1 architektūros atveju informacija priimama rezerviniu keliu tik įvykus gedimui pagrindiniame kelyje. Taikant 1:N rezervavimo būdą, vienas rezervinis optinis kelias sudaromas tarp N pagrindinių kelių.

Susireguliuojantis žiedas gali būti naudojamas ir tarptaškio sujungimo, ir mazgo gedimams šalinti. WDM tinkluose taikant SŽ būdą perdavimas gali būti vienkryptis ir dvikryptis. Vienkryptis perdavimas gali būti dvejopas: rezervuojant linijas (VSŽ/L) ir rezervuojant kelius (VSŽ/K). Kai rezervuojama linija, du gedimo vietai gretimi mazgai yra atsakingi už srauto perjungimą į rezervinį žiedą. Tipinės dvikrypčio SŽ architektūros yra dviejų skaidulų (DSŽ/) ir keturių skaidulų (DSŽ/4) rezervavimo schemas. DSŽ/2 atveju pusė kiekvieno žiedo talpos yra skirta rezervavimui. Kai įvyksta gedimas, du gedimo vietai gretimi mazgai srautą nukreipia į rezervinį žiedą. DSŽ/4 atveju dvi skaidulos yra skirtos informacijai perduoti, dvi rezervavimui. Taigi, įvykus gedimui, du gedimo vietai gretimi mazgai perjungia srautą į rezervines skaidulas.

Telekomunikacijų tinklų evoliucijos metu tinklo topologijos dažniausiai tampa mišriojo (mesh) tipo [7]. Mišrios topologijos su ARK rezervavimo ir dinaminio atkūrimo funkcijomis yra skirstomas į kelio ir tarptaškio sujungimo rezervavimo topologijas.



2 pav. Perdavimo trūkis kelio rezervavimo (a) ir tarptaškio sujungimo (b) atvejais

Kelio ir tarptaškio sujungimo rezervavimas gali būti 1+1, 1:1 ir 1:N architektūros. 1+1 atveju visa informacija tuoj pat metu yra siunčiama dviem optiniais keliais – pagrindiniu ir rezerviniu, kurie yra tarpusavyje nesusiję (išskyrus galinius mazgus). Gavėjo mazgas stebi srautą pagrindiniame optiniame kelyje ir jam pablogėjus persijungia prie rezervinio. Taikant šį būdą atkūrimo trukmė yra labai trumpa, nes gedimas nustatomas viename mazge. Taikant kitus du būdus reikia mažesnės tinklo talpos, tačiau perjungimo metu prarandama dalis informacijos. Rezervinis maršrutas suaktyvinamas tik tada,

kai yra nustatomas gedimas. Atsiradus gedimui, gavėjo mazgas išpėja siuntėjo mazgą apie gedimą pagrindiniame optiniame kelyje ir tik tada siuntėjas pradeda siųsti informaciją rezerviniu keliu. Laikotarpiu tarp gedimo nustatymo ir informacijos siuntimo apie perjungimą į rezervinį optinį kelią perduodami duomenys yra prarandami. 1:1 rezervavimo atveju optinis komutatorius yra iš anksto paruošiamas galimam jungimui į tam tikrą kelią. Rezervinį kelią priskirti kitiems optiniams keliams yra uždrausta. Esant 1:N rezervavimui rezervinio kelio resursai gali būti padalijami tarp kitų kelių. Tai sumažina resursų panaudojimą 15–30 %, palyginti su 1+1 rezervavimo būdu.

Optinio kelio rezervavimo schema 1:1 dar gali būti skirstoma į statinę ir dinaminę. Statinės strategijos atveju, sudarant optinį kelią, nustatomas rezervinis maršrutas, ir jis yra nekeičiamas. Dinaminės strategijos atveju rezervinio kelio maršrutas ir bangos ilgis gali būti keičiami pagal pakitusią tinklo situaciją, tačiau pagrindinio optinio kelio maršrutas nekeičiamas.

Dviejų prieigos mazgų (Dual homing) rezervavimas dažniausiai yra naudojamas IP prieigos tinkluose, norint padidinti prieigos tinklo darbingumą. Šiuo atveju tinklo prieigos mazgas prijungiamas prie optinio tinklo dviem skirtingais optiniais keliais. Tačiau dviejų prieigos mazgų rezervavimas iš principo negali padėti išlaikyti tinklo darbingumo įvykus gedimui pagrindiniame WDM tinkle. Tam taikomi anksčiau aprašyti rezervavimo būdai. Dviejų prieigos mazgų architektūra nustato sprendimo tipus projektuojant tinklo rezervavimo schemas tuo atveju, kai galimi du nepriklausomi gedimai: vienas prieigos tinkle, kitas pagrindiniame WDM tinkle.

Dviejų prieigos mazgų tipo rezervavimas būna dviejų tipų: statinis (pagal suprojektuoto rezervavimo schemą) ir dinaminis (pagal dinaminio atstatymo schemą).

Dinaminio optinio kelio atkūrimo atveju tinklo ištekliai (bangos ilgiai), skirti perdavimui atkurti, nėra iš anksto rezervuojami. Taikant rezervavimo schemas, kuriose rezerviniai maršrutai yra iš anksto suplanuoti, dažniausiai būna trumpesnė atkūrimo trukmė negu tuo atveju, kai, įvykus gedimui, dinamiškai ieškoma naujų maršrutų. Tai daroma programinėmis priemonėmis [3]. Optinio signalo perkomutavimo laikotarpis nuo vieno bangos ilgio į kitą gali trukti dešimtis milisekundžių, jeigu naudojami optomechaniniai multiplekseriai, ir keletą milisekundžių, jeigu naudojami akustooptiniai multiplekseriai.

WDM tinklo patikimumas yra pateikiamas kaip tinklo būsenos  $S_k$ , atitinkanti veikiančių sujungimų aibę esant tam tikram gedimų scenarijui  $k$ . Kadangi tik  $t$  scenarijų yra reikšmingi, srauto praradimo, esant visiems scenarijams, tikimybė:

$$E(z) = \sum_{k=1}^t P(S_k) * z(S_k); \quad (1)$$

čia  $P(S_k)$  –scenarijaus  $S_k$  tikimybė;  $z(S_k)$  – srauto praradimo tikimybė, kai optinis kelias yra sudarytas pagal  $S_k$  scenarijų.

WDM tinkle kiekvienam optiniam perdavimo keliui tarp dviejų tinklo mazgų turi būti priskiriami konkretūs bangų ilgiai. Jei skirtingiems perdavimo keliams sudaryti

naudojama ta pati atkarpa, turi būti naudojami skirtingi bangos ilgiai. Tai leidžia atlikti bangos ilgių keitikliai, kurie padidina bangos ilgių panaudojimą 10–40 %, priklausomai nuo tinklo mazgų ir naudojamų bangos ilgių kiekio tinkle.

## IP perdavimo WDM tinklais patikimumas

IP paketų perdavimas WDM tinklais yra naujos kartos interneto technologija. Toks WDM tinklas sudaromas iš WDM linijų ir IP elektroninių maršrutizatorių.

Projektuojant loginę topologiją daugiau dėmesio skiriama tinklo pralaidumo didinimui. Trumpiausio perėjimo loginės topologijos projektavimo algoritmas (TSLTP), įvertinantis vėlinimą tarp mazgų kaip pagrindinį kokybinį matą, pateiktas [8]. Vidutinis informacijos perdavimo tarp taškų  $s$  ir  $d$  trukmė:

$$T = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{s=1}^N \sum_{d=1}^N T_{sd}; \quad (2)$$

čia

$$T_{sd} = \left[ \sum_{ij} a_{ij}^{sd} P_{ij} \right] + \left[ \sum_{ij} a_{ij}^{sd} Q_{ij} \right] + \left[ \sum_{ij} (a_{ij}^{sd} R_{ij}) + R_d \right]; \quad (3)$$

$N$  – mazgų skaičius tinkle;  $P_{ij}$  – sklaidimo vėlinimas kelyje  $ij$ ;  $a_{ij}^{sd}$  – parametro vertė, lygi vienetui, kai paketai yra maršrutizuojami nuo mazgo  $s$  į mazgą  $d$  tiesioginiu  $ij$  keliu, kitu atveju – lygi nuliui;  $Q_{ij}$  – perdavimo vėlinimas kelyje  $ij$ ;  $R_i$  – informacijos apdorojimo elektroniniame maršrutizatoriuje  $i$  vėlinimas. TSLTP algoritmas efektyvus yra tuo atveju, kai bangos ilgių skaičius mažas, o IP maršrutizatoriaus signalų apdorojimo našumas didelis.

## Patikimumo užtikrinimo kokybė

QoR (Quality of Reliability) koncepcija, įvertinanti ryšio atkūrimo, įgyvendinama atsižvelgiant į reikalingą WDM tinklo patikimumą. QoR apima tokias sąvokas kaip atkūrimo trukmė ar persijungimo į rezervinį optinį kelią trukmė. Nustatant QoR klasę, garantuojama didžiausia gedimo pašalinimo trukmė kiekvienam sujungimui.

Gedimų ir mazgo atkūrimo po gedimo trukmės santykis priskiriamas kiekvienam mazgui ar kanalui [4]. Tuo atveju, kai elementų gedimai ir informacijos perdavimo iškraipymai WDM tinkle yra nepriklausomi, tinklo būsenos tikimybė

$$\Pr(S_n) = \frac{\sum_{E_1 \in VE(S_n)} A(E_1) + \sum_{E_1 \in SE(S_n)} (1 - A(E_1))}{SE(S_n) + VE(S_n)}; \quad (4)$$

čia  $VE(S_n)$  ir  $SE(S_n)$  – veikiančių ir sugedusių tinklo elementų būsenų aibės esant tinklo būsenai  $S_n$ .

Čia taikomos sąlygos  $VE(S_n) \cup SE(S_n) = E$ ;  $VE(S_n) \cap SE(S_n) = \emptyset$ .  $A(E_i)$  – elemento  $E_i$  tinkamumas, kuris gali būti apskaičiuojamas taip:

$$A(E_1) = \Pr(S(E_1) = 1) = \frac{1}{1 + GK(E_1) * GBL(E_1)}; \quad (5)$$

čia  $GK(E_1)$  – elemento  $E_1$  gedimų skaičius per valandą,  $GBL(E_1)$  – elemento  $E_1$  gedimo trukmė valandomis. Tinklo elemento  $C_1$  būseną:  $S(C_1) = 1$ , jeigu elementas nesugedęs, ir  $S(C_1) = 0$ , jeigu elementas sugedęs;  $\{S_n\}$  – gedimų būsenos tinklo aibė;  $\Pr(S_n) - S_n$  tinklo būsenos tikimybė.

Remiantis QoR koncepcija nustatomos dvi klasių ribos:  $QoR_1$  – aukščiausia klasė, garantuojanti trumpiausią gedimo pašalinimo trukmę, o  $QoR_\infty$  – žemiausia klasė, kai nėra jokio rezervavimo ir sujungimas atkuriamas aukštesnio lygio protokolais (pvz., IP). Ribinės vertės  $QoR_n$  nustato didžiausią  $n$  klasės gedimo pašalinimo trukmę

$$RT(QoR) = a + b * f(n), \quad (6)$$

kur  $RT(QoR)$  – maksimali atkūrimo trukmė;  $a = D_{min}$  – minimali reikalinga atkūrimo trukmė, apimanti perjungimo į rezervinį kelią trukmę;  $b = D_{ged}$  – laikas, reikalingas informacijai apie gedimą perduoti ir bangos ilgiui rezervuoti kiekviename optinio kelio mazge; paprastu atveju  $f(n) = n - 1$ , kur  $n - QoR$  klasė.

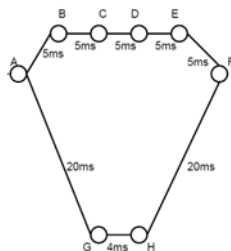
1 lentelė. Patikimumo užtikrinimo kokybės klasės  $QoR_n$

$QoR_1$	Perdavimo atkūrimas per $D_{min}$
$QoR_2$	Perdavimo atkūrimas per $(D_{min} + D_{ged})$
$QoR_3$	Perdavimo atkūrimas per $(D_{min} + 2 * D_{ged})$
...	...
$QoR_n$	Perdavimo atkūrimas per $(D_{min} + (n-1) * D_{ged})$
...	...
$QoR_\infty$	Rezervinis bangos ilgis nepriskiriamas

Funkcija  $RT(QoR_n)$  turi būti nustatyta įvertinant realią tinklo situaciją, tačiau atkūrimo trukmės priklausomybė nuo klasės nėra visiškai tinkama, todėl reikalingos labiau apibrėžtos ryšio atkūrimo formos.

### Kiekvienos mazgų poros QoR klasifikacija

Tinkle galimas toks atvejis, kai gali nebūti maršruto rezerviniam optiniam keliui sudaryti (3 pav.).



3 pav. Optinio tinklo fragmentas

Informacijai perduoti nuo mazgo A iki mazgo F yra pavaizduoti du optiniai keliai:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$  ir  $A \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow F$ . Perdavimo atkūrimas pirmajame kelyje 25 ms, o antrajame kelyje – 44 ms. Jei mazgų pora A-F reikalauja QoR klasės, kurios ilgiausia atkūrimo trukmė būtų 20 ms, nė vienas kelias netenkina reikalavimų. Šiems atvejams aprašyti QoR apibrėžimas išplečiamas taip, kad

būtų galima nustatyti QoR klasę kiekvienai mazgų porai  $ij$ . Pirmiausia yra tikrinama mažiausia atkūrimo trukmė mazgų porai  $ij$ . Ji nustatoma įvertinant perdavimo vėlinimą tarp mazgų, bangos ilgio komutavimo mazge vėlinimą ir pan. Taip nustatomas mazgų poros 1-2 aukščiausios klasės atkūrimo trukmė ir pažymima kaip  $QoR_{12}(1)$ . Tada nustatoma  $QoR_{12}(2)$ ,  $QoR_{12}(3)$  mazgų porų žemesnės klasės atkūrimo trukmė. 2 lentelėje pateikti QoR klasių pavyzdžiai, kur didžiausia atkūrimo trukmė pateikta pagal (6) išraišką.  $QoR_{12}(1)$  mazgų porai 1–2 yra priskirtas  $QoR_3$ . Kai priskirtas  $QoR_{ij}$  bus pateiktas  $ij$  mazgų vartotojui, šis galės pasirinkti QoR klasę naudodamasis pateikta lentele.

2 lentelė. QoR priklausantis nuo mazgų porų

QoR	Didžiausia atkūrimo trukmė	$QoR_{12}$	$QoR_{ij}$
$QoR_1$	$D_{min}$	-	-
$QoR_2$	$D_{min} + D_{ged}$	-	$QoR_{ij}(1)$
$QoR_3$	$D_{min} + 2 * D_{ged}$	$QoR_{12}(1)$	$QoR_{ij}(2)$
$QoR_4$	$D_{min} + 3 * D_{ged}$	$QoR_{12}(2)$	$QoR_{ij}(3)$
$QoR_5$	$D_{min} + 4 * D_{ged}$	$QoR_{12}(3)$	$QoR_{ij}(4)$
...	...	...	...
$QoR_\infty$	rezervinis bangos ilgis nepriskiriamas	$QoR_{12}(\infty)$	$QoR_{ij}(\infty)$

### Išvados

Banginio sutankinimo (WDM) tinklų funkcionavimui turi įtakos komponentų gedimai ir valdymo programinės įrangos sutrikimai. Projektuojant labai patikimus tinklus, būtina įvertinti iš anksto neprognozuojamus elementų gedimus. Šiame darbe yra pateikti WDM tinkluose naudotini elementų rezervavimo principai, jų klasifikacija ir palyginimas su SDH tinkluose naudojamais būdais, taip pat pritaikoma patikimumo kokybės samprata.

### Literatūra

1. **Balaišis P., Plėštys R., Šiurkus A.** Fotoninių magistralinių tinklų patikimumo įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2001.
2. **Plėštys R., Šiurkus A.** Homogeninių fotoninių tinklų patikimumo įvertinimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 6(48). – P. 71-73.
3. **Zhou D., Subramaniam S.** Survivability in optical networks // IEEE Network Magazine. – 2000. – Vol. 14, No. 6. – P. 16–23.
4. **Weichenberg E. G.** High-Reliability Architectures for Networks under Stress // Thesis. – Massachusetts Institute of Technology, 2004. – P.165.
5. **Crochat O., Le Boudec J.Y.** Design Protection for WDM Optical Networks // Journal of Selected Areas in Communications (JSAC). – 1998. – Vol. 16. – P.1158–1165.
6. **Yuan S., Jue J. P.** Shared Protection Routing Algorithm for Optical Network // Optical Networks Magazine. –2002. –Vol. 3. – No. 3. – P.32–39.
7. **Geary N.** Optical network planning - process, analysis and optimization // Thesis. – University College London, 2003.
8. **Katou J., Arakawa S., Murata M.** Design Method of Logical Topology with Stable Packet Routing in IP over WDM Network // The Fifth Working Conference on Optical Network Design and Modeling. – 2001.

Pateikta spaudai 2005 03 20

**R. Plėštys, A. Šiurkus. WDM tinklų patikimumo įvertinimo ypatumai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 6(62). – P.88–92.**

Nagrinėjamas banginio sutankinimo (WDM) tinklų funkcionavimo užtikrinimas. Pateikiami optinio tinklo patikimumui įtakos turintys veiksniai. Šiame darbe yra pateikti WDM tinkluose taikytini elementų rezervavimo principai, jų klasifikacija ir palyginimas su SDH tinkluose taikomais būdais, nes WDM tinkluose naudojamos rezervavimo schemas turi keletą ypatumų, palyginti su SDH tinkluose taikomais sprendimais. Taip pat pritaikoma patikimumo kokybės koncepcija, įvertinanti ryšio atkūrimą atsižvelgiant į reikalingą WDM tinklo patikimumą. QoR klasės nustatymo tikslas – garantuoti didžiausią kiekvieno sujungimo gedimo pašalinimo trukmę. Patikimumo užtikrinimo kokybės sąvokos pagrindu pasiūlytos patikimumo užtikrinimo klasės, įvertinančios gedimų šalinimo trukmes. Pateikiamas pavyzdys, kaip galima nustatyti QoR klasę kiekvienai mazgų porai. Il. 3, bibl. 8 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.). Il.3, bibl.8 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**R. Plėštys, A. Šiurkus. On Improvement of WDM Network Reliability // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 6(62). – P. 88–92.**

Factors making influence upon wavelength division multiplexing (WDM) network reliability are researched. Additionally, the optical channel reliability is estimated. Predictable and non - predictable failure models, and corresponding pre - designed protection and dynamic restoration models are under research. Network and its nodes' functional parameters are determined in physical, channel, and network layers. Protection methods, failure allocation and elimination strategies of WDM networks are analyzed. IP access duplication using two connections to the network paths to the same node or to separate nodes are estimated. Analyzing any possible failures, the possible loss of flow is calculated. Reliability performance classes, estimating the failure elimination time are introduced on the basis of reliability quality of the service. Path protection example estimating the restoration time of separate parts are proposed. Ill.3, bibl.8. (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

**Р. Плештис, А. Шюркус. Определение надежности WDM сетей // Электроника и электротехника. – Каunas: Технология, 2005. –№. 6(62). – С. 88–92.**

Исследуются факторы, влияющие на надежность волновой плотности (WDM) сетей. Дополнительно исследуется надежность оптического канала. Исследуются модели прогнозированных и непрогнозированных аварий и их соответствующее спроектированное и динамическое резервирование. Параметры функционирования сети устанавливаются на физическом, канальном и сетевом уровнях. Анализируются способы резервирования, особые для WDM сетей, а также стратегии установлений и устранения аварий. Оценено дублирование доступа к IP используя соединение сети того же самого соединения и двух других соединений двумя путями. Оценивая возможные сценарии аварий вычисляется возможность утраты течения. Обеспечивая качество надежности предложены разряды, оценивающие моменты для устранения неполадков. Предложен образец пути резервирования, оценивающий время восстановления составных частей. Ил. 3, библи. 8. (на русском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).