KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Lukas Ivanauskas

VANDENS LYGIO STEBĖJIMO OPTINIAIS SENSORIAIS SISTEMA

Baigiamasis magistro darbas

Vadovas
Doc. Paulius Tervydis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA

VANDENS LYGIO STEBĖJIMO OPTINIAIS SENSORIAIS SISTEMA

Baigiamasis magistro projektas

Telekomunikacijų sistemos (kodas 621H64002)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Paulius Tervydis
(data)

Recenzentas

(parašas) Prof. dr. Liudas Mažeika
(data)

Projektą atliko

(parašas) Lukas Ivanauskas
(data)

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos
(Fakultetas)

Lukas Ivanauskas
(Studento vardas, pavardė)

Telekomunikacijų sistemos, 621H64002
(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Vandens lygios stebėjimo optiniais sensoriais sistema“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ___ m. _____ ____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Luko Ivanausko** baigiamasis projektas tema „Vandens lygio stebėjimo optiniais sensoriais sistema“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

_____ _____
(vardą ir pavardę įrašyti ranka) *(parašas)*

L. Ivanauskas. Vandens lygio stebėjimo optiniais sensoriais sistema: Baigiamasis magistro darbas / vadovas doc. dr. P. Tervydis; Telekomunikacijų katedra, Elektros ir elektronikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas. – Kaunas, 2016. – 53 p.

SANTRAUKA

Darbo tikslas – suprojektuoti sistemą upės vandens lygio stebėjimui, panaudojant optinius sensorius. Darbe apžvelgiami užsienyje atlikti tyrimai, susiję su vandens lygio matavimais, pasitelkiant optinius jutiklius. Aprašomi skirtingų sensorių veikimo principai. Analizuojamos sistemos, skirtos vandens lygio nustatymui ir stebėjimui.

Baigiamajame darbe tiriama vandens lygio matavimo sistema su OTDR. Reflektometru atliekami matavimai, siekiant išsiaiškinti, ar sistema su OTDR yra tinkama vandens lygio stebėjimams. Sudaroma hibridinės sistemos su OTDR ir GSM/3G kamera struktūra. Pateikiamas sistemos elementų išdėstymas Rusnės miestelio teritorijoje. Parengiamas *Python* programinis kodas, skirtas iš kameros atsiųstų nuotraukų atpažinti vandens lygio pasikeitimus. Pateikiamas ekonominis sistemos įdiegimo įvertinimas.

L. Ivanauskas. Water Level Monitoring System Based on Optical Sensors/ supervisor Assoc. Prof. Dr. P. Tervydis; Department of Telecommunications, Faculty of Electrical and Electronics, Kaunas University of Technology. – Kaunas, 2016. – 53 p.

SUMMARY

The goal of this work – to project a water level monitoring system based on optical sensors. In this paper, there are looked over a foreign researches of liquid level measuring based on optical sensors. This work describes the main principles of sensor operations. Furthermore, there are analysed different structures of systems for water level monitoring.

In this work is reseached a system based on OTDR measurements. It is made to find out the opportunities of this system for water detection. Moreover there is given a structure of a system based on OTDR reflectometer and GSM/3G camera. In a *Python* programming language is written a code of a program which can detect a changes of water level. The river level monitoring system is evaluated economically. Investment cost calculations are being made.

Turinys

Sutrumpinimų sąrašas 8

Įvadas 9

1. Objekto charakteristika 10

2. Vandens lygio matavimo optiniais sensoriais apžvalga 11

2.1. Vandens lygio matavimas naudojant POF šviesolaidį 11

2.2. Vandens lygio matavimas naudojant FBG sensorių 13

2.2.1 FBG vandens lygio sensoriaus veikimo principas 13

2.2.2 FBG sistemos struktūra 14

3. Optiniai sensoriai vandens lygio matavimams 15

3.1 Prizminiai sensoriai 15

3.2 Optinis sensorius veikiantis skaidulos užlenkimo principu 17

3.2.1 Skaidulos užlenkimo parametrų įvertinimas 17

4. Vandens lygio matavimo sistemų variantų analizė 19

4.1 Sistema su sensoriumi, veikiančiu optinės skaidulos užlenkimo principu 19

4.2 Sistema su FBG sensoriumi 19

4.3 Sistema su prizminiu sensoriumi 20

4.4 Sistema su POF sensoriumi 21

4.5 Sistema su OTDR 21

4.5.1 Sistema su OTDR, naudojant optinį daliklį 22

4.6 Sistema naudojanti vaizdo kamerą 25

4.7 Sistemų apibendrinimas 26

5. Vandens lygio stebėjimo sistemos tyrimas ir projektavimas 26

5.1 Vandens detektavimo matavimai 26

5.1.1 Vandens aptikimo matavimai 120 metrų šviesolaidžiu 26

5.1.2 Vandens aptikimo matavimai ~3km ilgio šviesolaidžiu 32
5.1.3 Vandens aptikimo matavimai 10 *km* ilgio šviesolaidžiu 35
5.2 Vandens lygio matavimo sistemos projektavimas 37
5.3 Kameros vaizdo apdorojimas 40
5.3.1 Vandens lygio pasikeitimo atpažinimo programa 41
5.4 Įrangos parinkimas 45
5.4.1 Optiniai kabeliai 45
5.4.2 OTDR reflektometras 46
5.4.3 GSM/3G kamera 47
6. Ekonominis sistemos įvertinimas 48
Sistemos įrengimo investicijos 48
Išvados 51
Literatūros sąrašas 52

Sutrumpinimų sąrašas

FBG	Brego gardelės šviesolaidis (angl. *Fiber Bragg grating*)
GPRS	Bendras paketinis radijo ryšys (angl. *General Packet Radio Service*)
GSM	Globalus mobilaus ryšio standartas (angl. *Global Standart for Mobile Communications*)
IP	Interneto protokolas (angl. *Internet Protocol)*
IDLE	Integruota programavimo aplinka (angl. *Integrated Development Environment*)
JPEG	Fotografinių vaizdų išsaugojimo formatas (angl. *Joint Photographic Experts Group*)
OTDR	Optinis reflektometras (angl. *Optical Time-Domain Reflectometer*)
PK	Personalinis kompiuteris
POF	Polimerinis optinis šviesolaidis (angl. *Polymer Optical Fiber*)
RGB	Spalvų maišymo sistema (angl. *Red Green Blue*)
USB	Universalioji jungtis (angl. *Universal Serial Bus*)

Įvadas

Upių patvinimai Lietuvoje – opi problema. Dažniausiai upių potvyniai pasireiškia pavasarį, kai dėl tirpstančio sniego pakyla upės vandens lygis, o perteklinis vanduo išsilieja iš vagos. Rečiau potvyniai pasireiškia vasarą – esant smarkioms liūtims. Patvinęs vanduo sukelia nemažai rūpesčių gyventojams: apsemiamos gatvių važiuojamosios dalys, pėsčiųjų takai, kiemai, gyvenamieji namai. „Lietuvos draudimo“ duomenimis, kasmetiniai upių patvinimai atneša milijoninius nuostolius. Dėl potvynio tenka iš naujo daryti būsto apdailą, keisti baldus, daiktus ir techniką. Tam, kad būtų galima pasiruošti ar išvengti galimų nemalonumų, būtina nuolat stebėti upių vandens lygį.

Vandens lygio matavimai – viena svarbiausių hidrometrinių tyrimų sritis. Šiuo metu yra daugybė vandens lygio matavimo metodų. Tokie matavimai gali būti atliekami mechaniniu vandens lygio stebėjimo būdu, pusiau automatizuotu arba automatizuotu. Mechaniniu ir pusiau atomatizuotu būdu, matavimus atlieka vandens lygio stebėtojai. Tokiose matavimų stotyse rezultatai registruojami du kartus per dieną. Tačiau šie tradiciniai matavimo metodai turi daug apribojimų: mažas matavimų tikslumas, matavimų diapazonas, matavimų rezultatų registravimo tankumas. Visus šiuos trūkumus gali panaikinti automatizuotas vandens lygio stebėjimas naudojant optinius sensorius.

Optinių sensorių panaudojimas vandens lygio stebėjimų sistemoje atnešė apčiuopiamą naudą hidrometrologiniuose matavimuose. Atsirado galimybė vandens lygį stebėti nuotoliniu būdu, realiu laiku, pasiekiamas didesnis matavimų tikslumas, matavimų rezultatai perduodami tuo pačiu optiniu kabeliu.

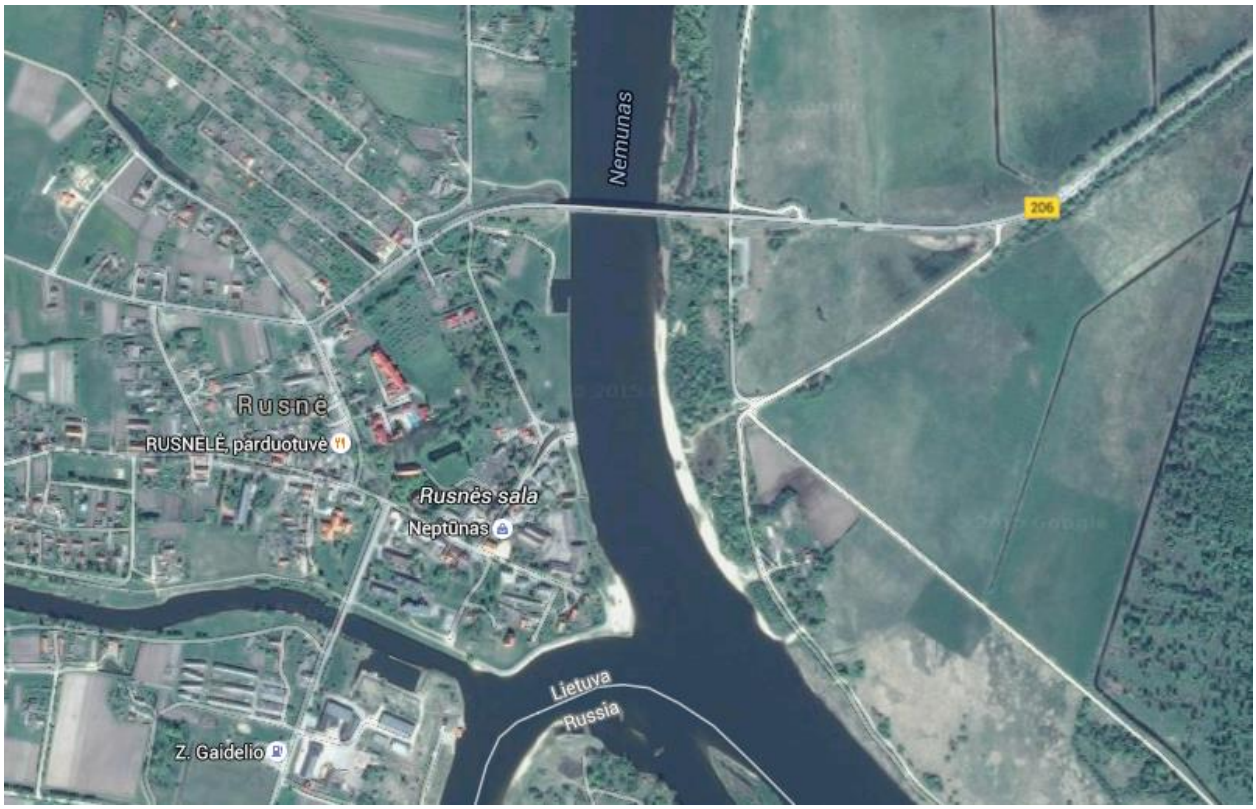
Darbo tikslas yra suprojektuoti sistemą upės vandens lygio stebėjimui, panaudojant optinius sensorius. Šiam tikslui pasiekti, reikia atlikti šiuos uždavinius:

- Užsienyje atliktų vandens lygio matavimo optiniais sensoriais tyrimų apžvalga;
- Optinių sensorių, kurie galėtų būti naudojami vandens lygiui nustatyti, palyginimas;
- Galimų sistemų upės vandens lygiui nustatyti analizė;
- Vandens lygio matavimo sistemos su OTDR tyrimas;
- Vandens lygio stebėjimo sistemos struktūros sudarymas;
- Programinio kodo, skirto vandens lygio pasikeitimui atpažinti, sudarymas;
- Ekonominis sistemos įvertinimas.

1. Objekto charakteristika

Darbo objektas – Nemuno upė ties Rusnės sala, Šilutės rajone. Ši vietovė pasirinkta dėl to, kad tai yra labiausiai nuo upės potvynio nukenčianti vieta Lietuvoje. Šilutės rajone pavasario potvynis kasmet apsemia iki 10 000 hektarų teritorijos. Apsemiami didžiuliai pievų plotai bei keliai, gyventojai atskiriami nuo civilizacijos. Potvynio metu dažniausiai apsemiamas pagrindinio susisiekimo kelias Šilutė – Rusnė. Vandens lygio stebėjimo sistema informuos gyventojus bei specialiąsias tarnybas apie artėjantį potvynį. Taip gyventojai galės iš anksto apsaugoti savo materialųjį turtą, o specialiosios tarnybos žinos, kada pradėti ruoštis automobilių transportavimui per nepravažiuojamus plotus.

1.1 pav. pavaizduotas objekto žemėlapis su Rusnės sala, Nemuno upe šalia Rusnės bei kelio dalis Šilutė – Rusnė.



1.1 pav. Objekto žemėlapis [1]

Pagrindinis reikalavimas vandens lygio stebėjimo sistemai – patikimumas. Jei dėl gamtos stichijų, techninių sutrikimų, ar kitų trikdžių bus neužtikrinamas vandens lygio stebėjimas optiniais sensoriais, sistemoje turi būti pasitelkiamos papildomos stebėjimo priemonės, pavyzdžiui, vaizdo kamera. Šie sistemos elementai turi veikti nepriklausomai vienas nuo kito. Tokiu būdu, sugedus, ar

dėl kitų priežasčių neveikiančiai vienai stebėjimo priemonei, bus užtikrintas stebėjimas pasitelkiant kitą.

Upės lygio stebėjimas turi būti centralizuotas. Informacija apie vandens lygį iš skirtingų sistemos elementų turi būti siunčiama į vieną centrinę stebėjimo stotį. Centrinė stotis turi būti Rusnės miestelio teritorijoje tam, kad ji galėtų tiesiogiai pasiekti vietinius gyventojus.

2. Vandens lygio matavimo optiniais sensoriais apžvalga

Optinių jutiklių parametrai tinkami skysčių lygiui matuoti, todėl jie dažnai naudojami praktiškai. Vandens apsėmimai, potvyniai gali būti stebimi detektavus šviesos intensyvumo sumažėjimą, pasikeitus sensorių gaubiančiai aplinkai (pvz., oras – skystis, skystis – oras). Šis principas gali būti pritaikytas kuro bakuose, skysčių konteineriuose, patvinusiose vietose, požeminiame vandenyje, arba netgi automobiliniuose akumuliatoriuose. Tokie sensoriai gali būti pagaminti iš vienmodžio arba daugiamodžio polimerinio šviesolaidžio arba silicio šviesolaidžio. Pažymėtina, kad polimeriniai šviesolaidžiai POF (angl. *Polymer Optical Fiber*) turi gerą suderinimą su optiniais įrenginiais, aukštą apjungimo efektyvumą, didesnį lankstumą bei mažesnę kainą [2]. Tai paaiškina kodėl POF sensoriai yra paplitę, bei toliau plinta, iš kurių daugumą sudaro pagrįsti optinės galios dydžio detektavimu.

Vandens lygį galima matuoti ir FBG sensoriais. FBG (angl. *Fiber Bragg grating*) yra pasyvus šviesolaidžio mechanizmas, kuris pagamintas periodiškai paskirstant atspindžio koeficientą šviesolaidžio šerdyje. Naudojant šį sensorių vandens lygio matavimui, pasiekiamas didelis patikimumas, stabilumas bei geras suderinamumas su optine įranga.

2.1. Vandens lygio matavimas naudojant POF šviesolaidį

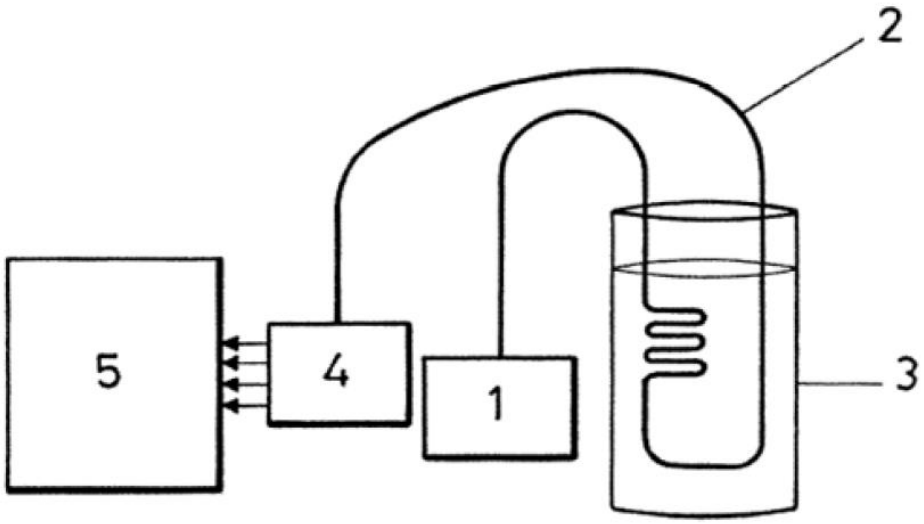
Vienas iš būdų išmatuoti vandens lygį naudojant POF šviesolaidį yra pasitelkti U formos lenkimo principą, lenkimo vietose nuėmus apvalkalą (2.1. pav.). Lenkimo vietos yra paskirstomos visame matavimo diapazone, šviesolaidis pritvirtinamas prie metalinio cilindro. Šis sensoriaus veikimas pagrįstas optinės galios nuostoliais sulenkimo vietose, priklausomai nuo jas supančios aplinkos lūžio rodiklio. Kadangi oro lūžio rodiklis n_{oro}=1, o vandens $n_{vandens}$=1,33 , tai vandeniui pasiekus šviesolaidžio sulenkimo vietą, optinė galia sumažės [3].



2.1 pav. POF šviesolaidžio panaudojimas vandens lygiui nustatyti [3]

Vandens lygio stebėjimo sistema sudaryta iš šių komponenčių (2.2 pav.):

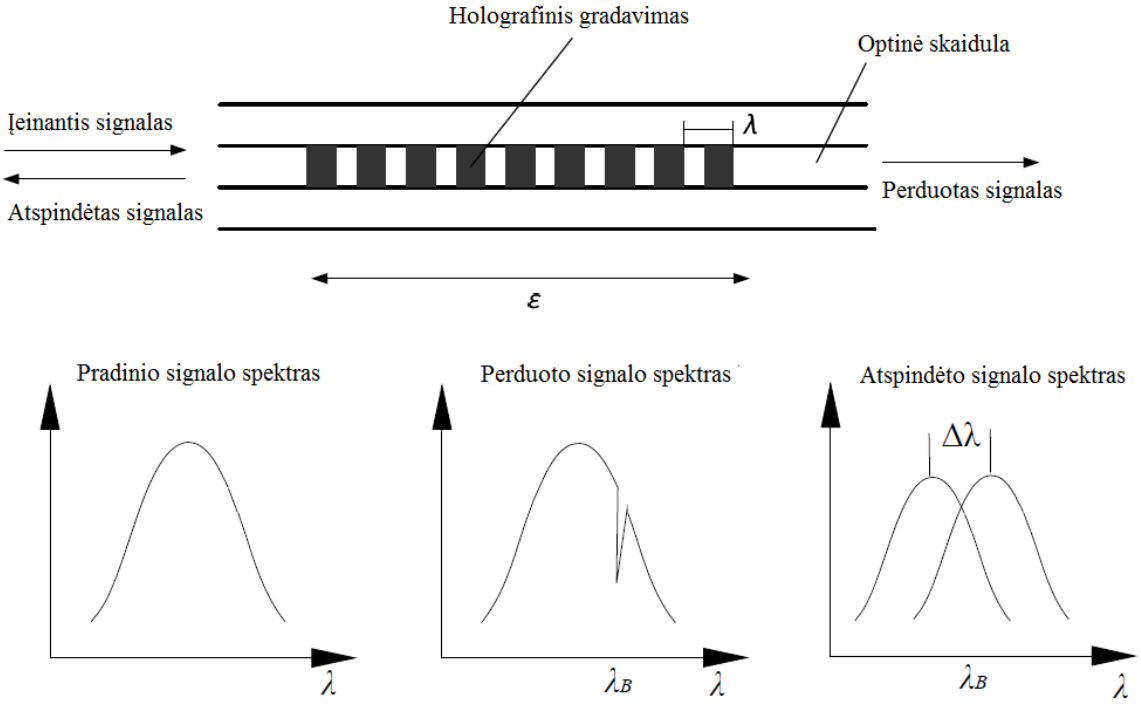
- Šviesos šaltinis (1);
- POF sensorius (2);
- Vandens talpykla (3);
- Fotodetektorius (4);
- Valdymo ir atvaizdavimo įrenginys (5).



2.2 pav. Vandens lygio stebėjimo sistema POF šviesolaidžiu [3]

2.2. Vandens lygio matavimas naudojant FBG sensorių

FBG yra tam tikroje šviesolaidžio dalyje įmontuotas reflektorius, kuris atspindi tam tikrą šviesos bangos ilgį, bet praleidžia likusius. FBG sensoriai gali matuoti temperatūrą, įtempį, spaudimą, slėgį, vibraciją, sukimo momentą ir t.t. FBG yra šviesolaidis, kurio atspindžio koeficientas periodiškai kinta [5]. Temperatūros ar įtempio pokyčiai nulemia atspindžio koeficiento pokytį, dėl to pasikeičia atspindėtas bei perduotas spektras. Pasikeitus aplinkos temperatūrai, įtempiui ar kitam išoriniam veiksniui, pasikeis gradacijos periodas Λ, šviesolaidžio šerdies atspindžio koeficientas n_{eff} . Tuomet pasikeis ir atpindėtas bei perduotas spektras [6]. Tai nulems centrinio bangos ilgio pasislinkimą $\Delta\lambda$ (2.3 pav.).



2.3 pav. FBG sensorius ir jo signalų spektrai [6]

2.2.1 FBG vandens lygio sensoriaus veikimo principas

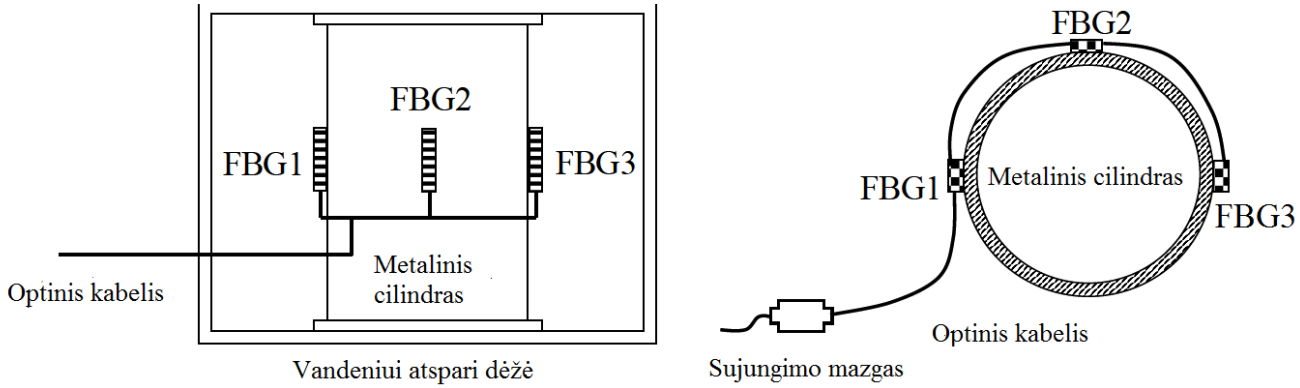
Viena iš sistemos sudedamųjų dalių yra sandari, vandeniui atspari dėžė su viduje esančiu plonasieniu metaliniu cilindru. Prie cilindro pritvirtinti trys FBG sensoriai su temperatūros kompensavimo funkcija. Šie trys sensoriai išdėstyti aplink cilindrą kas 90 laipsnių bei tarpusavyje sujungti šviesolaidžiu (2.4 pav.).

Hidrostatinis slėgis P gylyje h yra užrašomas formule:

$$P = P_0 + \gamma h \tag{2.1}$$

Čia P_0 – atmosferos slėgis, γ – vandens masė.

Padidėjus vandens lygiui, pasikeis hidrostatinis slėgis P. Įvyks vandeniui atsparios dėžės deformacija, dėl tos priežasties metaliniame cilindre atsiras ašinis įtempis. Atsiradus šiam įtempiui, pasikeis šviesolaidžio šerdies atspindžio koeficientas. Šie pasikeitimai bus laikomi vandens lygio padidėjimu [6].



2.4 pav. FBG sensoriaus sudedamosios dalys [6]

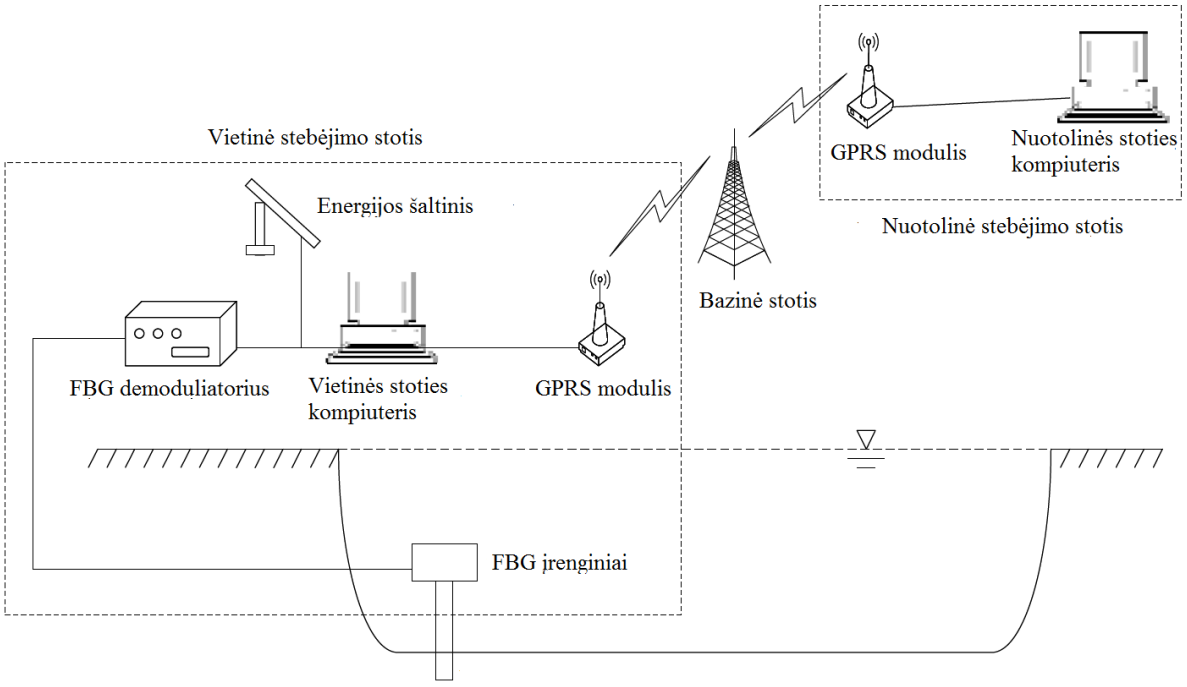
2.2.2 FBG sistemos struktūra

Tam, kad būtų galima vandens lygį stebėti realiu laiku, vandens lygio detektavimo įrenginiai naudojami kartu su GPRS technologija. Sistema padalinta į dvi pagrindines dalis: vietinė stebėjimo stotis ir nuotolinė stebėjimo stotis. Vietinę stebėjimo stotį sudaro ši techninė įranga (2.5 pav.):

- FBG sensorius su mataliniu cilindru, įtvirtinimo bei kitomis dalimis;
- FBG demoduliatorius;
- Saulės baterijų energijos šaltinis;
- Vietinės stoties kompiuteris;
- GPRS modulis.

Nuotolinę stebėjimo stotį sudaro:

- GPRS modulis;
- Nuotolinės stoties kompiuteris.



2.5 pav. FBG sensorių vandens lygio stebėjimo sistema [6]

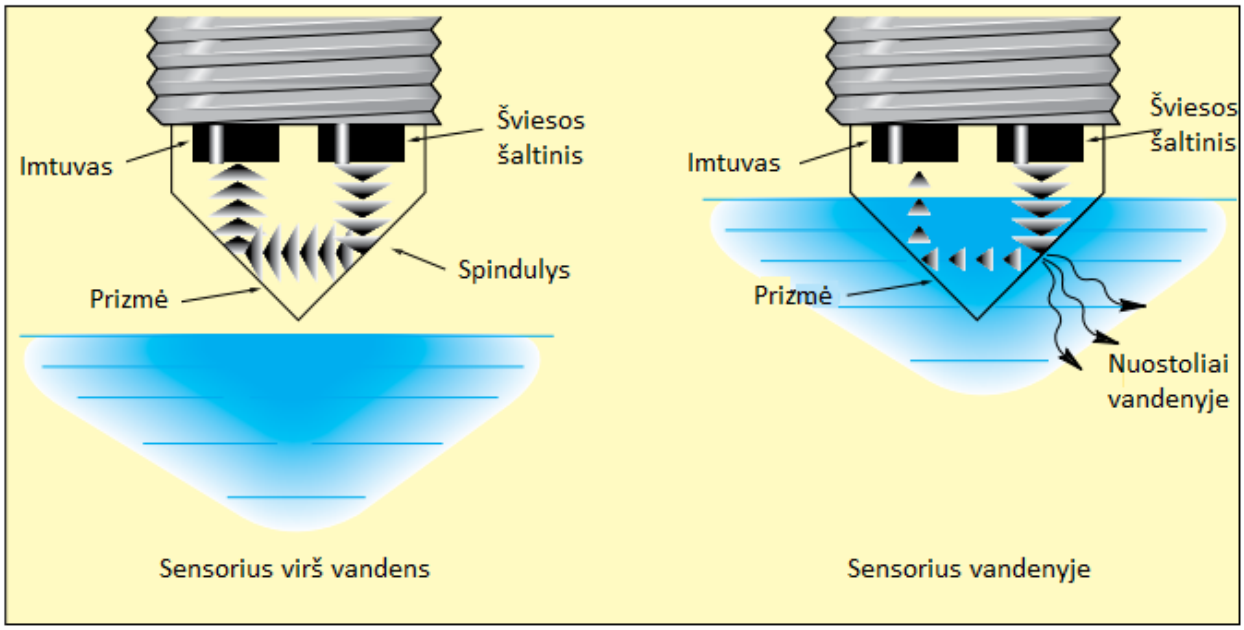
Sistemos programinė dalį sudaro duomenų laikmena, perdavimas, priėmimas, analizė, rezultatų atvaizdavimas, perspėjimo signalų veikimas. Sistemos veikimo pradžioje, nuotolinėje stotyje esantis kompiuteris siunčia užklausos pranešimą į vietinę stebėjimo stotį, šioje stotyje esantis kompiuteris siunčia pranešimą į vandens lygio matavimo įrenginį. FBG demoduliatorius demoduliuoja gautus duomenis ir siunčia juos į vietinės stoties kompiuterį. Naudojantis kompiuteryje įdiegtu algoritmu, vykdomas įtempių dydžių konvertavimas į upės vandens lygį. Tuomet GPRS modulis siunčia gautus duomenis į nuotolinę stebėjimo stotį. Joje kompiuteris apdoroja informaciją ir atvaizduoja upės lygio pokyčius laike [6].

3. Optiniai sensoriai vandens lygio matavimams

3.1 Prizminiai sensoriai

Prizminiai sensoriai skysčio detektavimui naudoja šviesos savybę lūžti, pereinant iš vienos aplinkos terpės į kitą. Tam šie sensoriai naudoja prizmę, kad patekusi šviesa prizmės viduje atsispindėtų, arba ne. Tokie sensoriai yra sudaryti iš siųstuvo, prizmės ir imtuvo. Siųstuve yra šviesos šaltinis, kuris dažniausiai yra infraraudonųjų spindulių šviesos diodas. Spindulys nukreipiamas į prizmę. Jei prizmė nepatenka į vandenį, spindulys lūžta ir atsispindėjęs nuo prizmės sienelės patenka į imtuvą. Jei prizmę apsemia vanduo, spindulio didesnė dalis lūžta ir pereina per prizmę, mažesnė

dalis atsispindi prizmės viduje ir patenka į imtuvą. Kadangi didesnė dalis šviesos energijos išsisklaido vandenyje, imtuve priimamas susilpnėjęs signalas. Vandens detektavimas atliekamas signalo galios sumažėjimo principu. Prizminio sensoriaus veikimas pavaizduotas 3.1 pav.



3.1 pav. Prizminio sensoriaus veikimo principas

Prizminiams sensoriams būdinga:

- Nedidelių gabaritų;
- Atsparūs temperatūros pokyčiams;
- Atsparūs aplinkos cheminei sudėčiai (galima naudoti ne tik vandens detektavimui, bet ir įvairios cheminės sudėties skysčių);
- Lengvai tvirtinami.



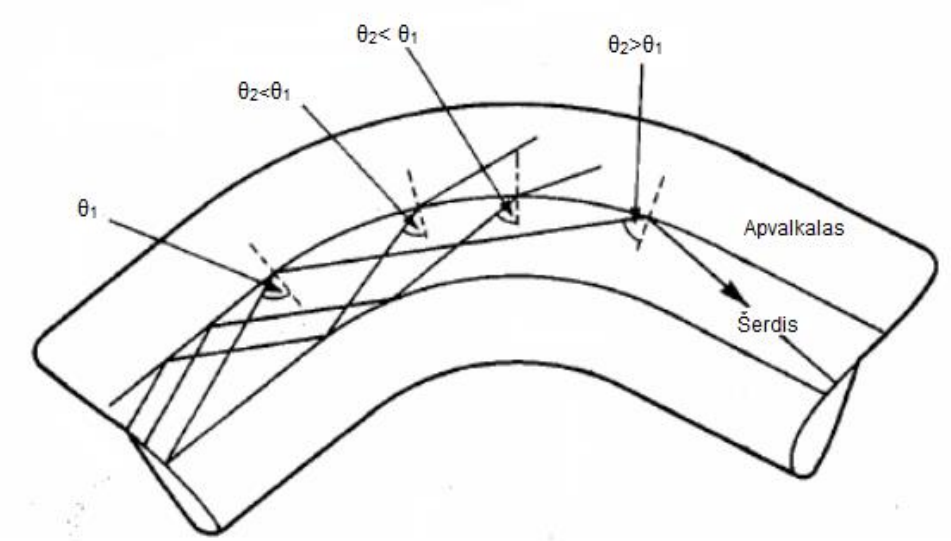
3.2 pav. OS950 optinis prizminis sensorius [7]

3.2 Optinis sensorius veikiantis skaidulos užlenkimo principu

Vandens lygio matavimams galima panaudoti šviesos savybę iš optinės skaidulos šerdies pereiti į apvalkalą, skaidulą sulenkus tam tikru kampu. Tokiam sensoriui sukonstruoti reikia papildomų sudedamųjų dalių. Viena iš jų – plūdė. Pakilus vandens lygiui, plūdė pakils ir sulenks optinę skaidulą. Rezultatas – padidėjęs slopinimas. Iš to galima nustatyti ar vanduo perkopė ribinį lygį.

3.2.1 Skaidulos užlenkimo parametrų įvertinimas

Šviesa optinėje skaiduloje sklinda visiško vidaus atspindžio principu. Tam turi būti išpildyta sąlyga $n_1 > n_2$; čia n_1 – šerdies lūžio rodiklis, n_2 – apvalkalo lūžio rodiklis. Skaidulą lenkiant tam tikru kampu, šviesa pereina iš skaidulos šerdies į apvalkalą (3.3 pav.). Dėl to gaunamas nuostolių padidėjimas. Paprastai nuostoliai stipriai išauga kai pasiekiamas kritinis lenkimo spindulys. Šis spindulys gali būti nuo labai mažo (kelių milimetrų dydžio) iki didelio (dešimčių centimetrų dydžio). Nuostoliai dėl lenkimo skaiduloje priklauso ir nuo bangos ilgio. Didesnio bangos ilgio naudojimas lemia didesnį skaidulos jautrumą lenkimo nuostoliams [9].



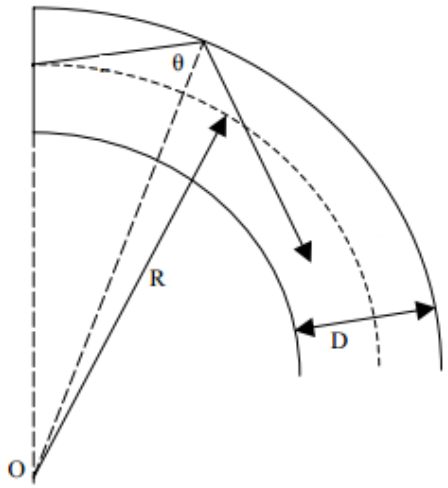
3.3 pav. Šviesos perėjimas į apvalkalą dėl skaidulos sulenkimo [8]

Norint sužinoti kokiu kampu sulenkus skaidulą atsiras lenkimo nuostoliai, reikia apskaičiuoti minimalų skaidulos ašies lenkimo spindulį. Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_{min} = \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{3/2}} \quad (3.1)$$

čia R_{min} – minimalus ašies lenkimo spindulys; n_1 - šerdies lūžio rodiklis; n_2 – apvalkalo lūžio rodiklis; λ – bangos ilgis.

Iš formulės matyti, kad didesnis šerdies ir apvalkalo lūžio rodiklių skirtumas lemia mažesnį minimalų (ribinį) lenkimo spindulį. Tuo pačiu skaidula yra labiau atspari lenkimo nuostoliams.



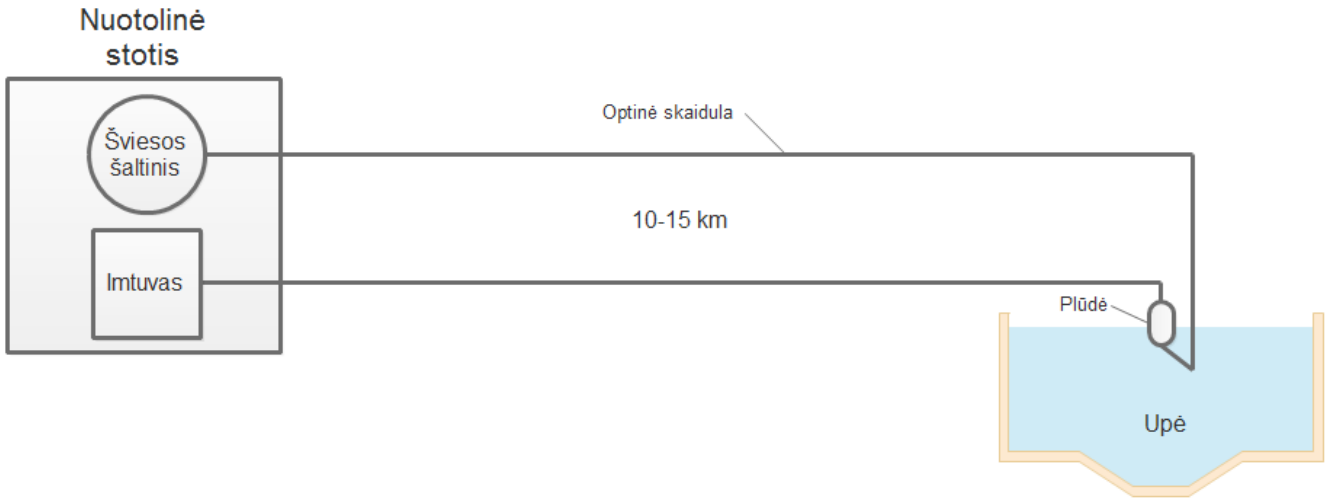
3.4 pav. Skaidula, kurios lenkimo spindulys yra *R*

4. Vandens lygio matavimo sistemų variantų analizė

Optiniai sensoriai skysčių matavimuose yra plačiai pritaikomi. Skirtingų rūšių jutikliai naudojami skirtingose sistemose. Vieni iš jų vandens lygio duomenis gali perduoti ta pačia optine skaidula, kitiems reikalingi papildomi duomenų surinkimo, perdavimo įrenginiai. Sistemas galima papildyti stebėjimo (vaizdo kameros), perspėjimo (aliarmai) elementais.

4.1 Sistema su sensoriumi, veikiančiu optinės skaidulos užlenkimo principu

Ši sistema naudoja optinę skaidulą, kuri tuo pačiu yra ir optinis sensorius, ir duomenų perdavimo linija. Šiuo atveju, vandens lygio stebėjimo vieta gali būti nutolusi nuo stebimo objekto iki 5-10 *km*. Sistema pavaizduota 4.1 pav.



4.1 pav. Sistema su sensoriumi, veikiančiu optinės skaidulos užlenkimo principu.

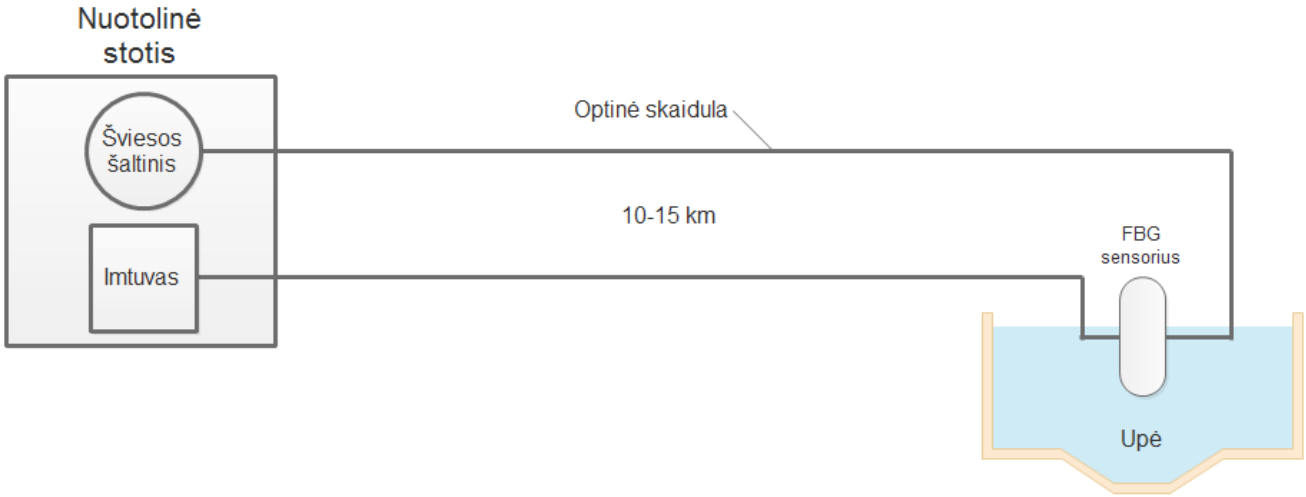
Sistemos sudedamosios dalys:

- Šviesos šaltinis;
- Optinė skaidula;
- Sensorinis įrenginys (plūdės mechanizmas, skaidulos tvirtinimas);
- Imtuvas.

4.2 Sistema su FBG sensoriumi

Šią sistemą galima naudoti dideliais atstumais (5-10 *km*), duomenų perdavimui naudojama ta pati optinė skaidula (4.2 pav.). Sistemos sudėtinės dalys:

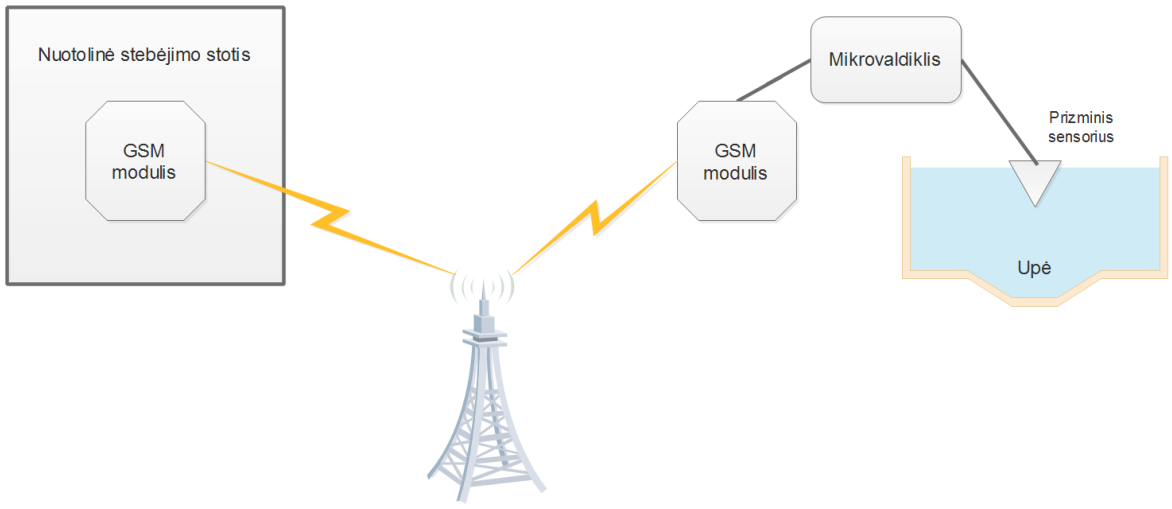
- Šviesos šaltinis;
- Optinė skaidula;
- FBG sensorinis įrenginys (FBG, metalinis cilindras, tvirtinimo dalys);
- Imtuvas.



4.2 pav. Sistema su FBG sensoriumi.

4.3 Sistema su prizminiu sensoriumi

Sistema naudoja jutiklį, aprašytą 3.1 skyriuje. Joje duomenims perduoti nėra naudojama optinė skaidula. Prizminio sensoriaus pagrindinis trūkumas – negalima perduoti duomenų dideliais atstumais. Todėl duomenų perdavimui nuotoliniu būdu šiai sistemai galima panaudoti GSM infrastruktūrą (4.3 pav.).



4.3 pav. Sistema su prizminiu sensoriumi

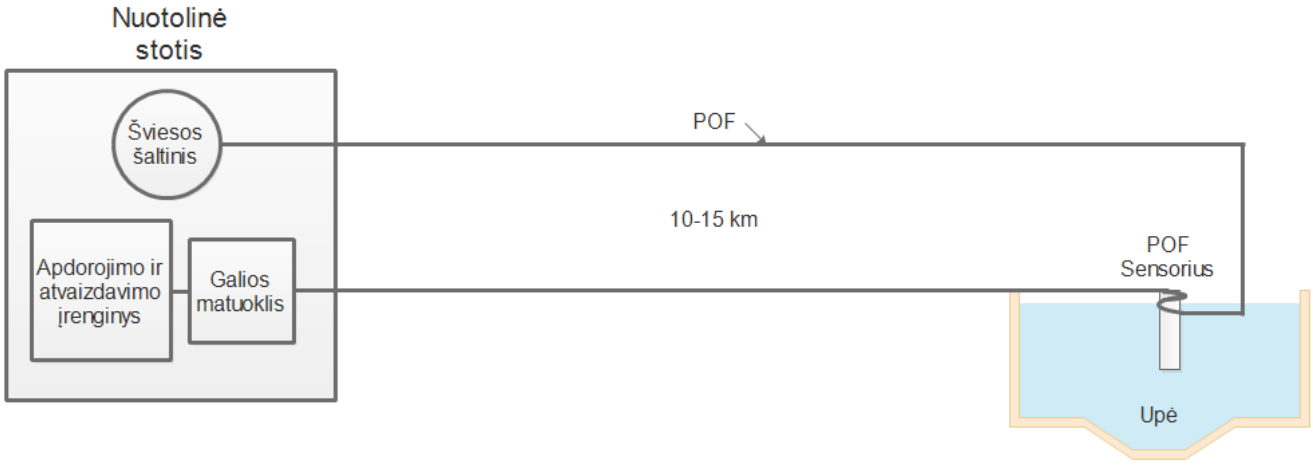
Sistemos pagrindiniai elementai:

- Prizminis sensorius;
- Mikrovaldiklis;
- GSM modulis;
- Nuotolinė stebėjimo stotis.

4.4 Sistema su POF sensoriumi

Sistema pagrįsta optinės galios matavimu. Vietoje, kurioje matuojamas vandens lygis, POF šviesolaidžiui nuimamas apvalkalas. Šviesolaidis įtvirtinamas tam tikrame lygyje virš vandens. Kai vanduo apsems sensorių, sumažės signalo lygis. Signalo lygis matuojamas galios matuokliu (4.4 pav.). Sistemą galma naudoti dideliais atstumais, siekiančiais 15 *km*. Jos sudedamosios dalys:

- Šviesos šaltinis;
- POF šviesolaidis;
- Įtvirtintas šviesolaidžio galas su nuimtu apvalkalu;
- Optinės galios matuoklis;
- Apdorojimo ir atvaizdavimo įrenginys.

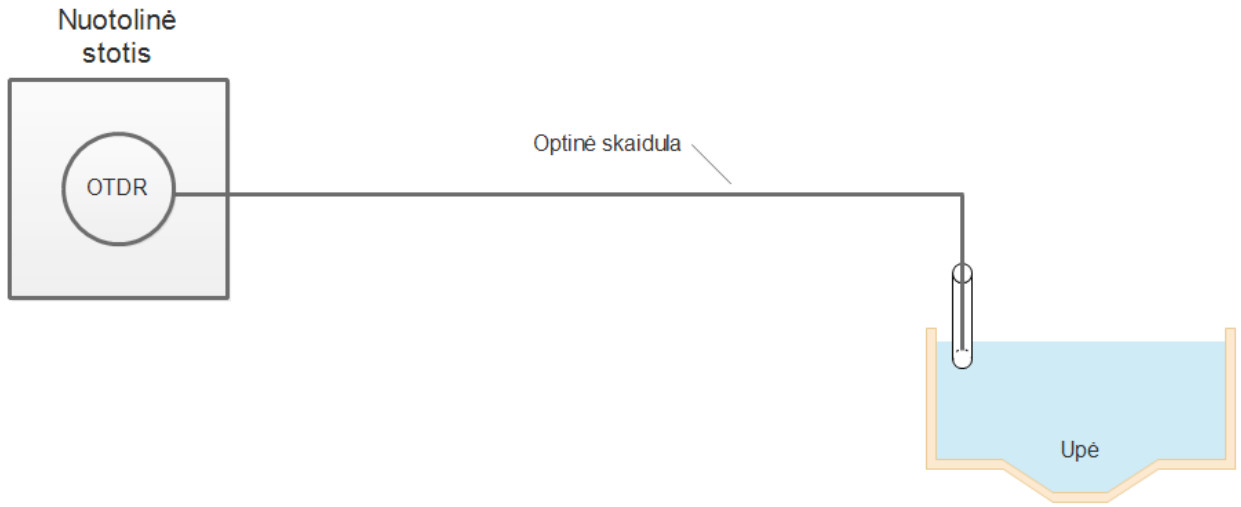


4.4 pav. Sistema su POF sensoriumi.

4.5 Sistema su OTDR

OTDR reflektometru pagrįsta sistema naudoja standartinę optinę skaidulą, kurios gale yra nuimtas apvalkalas (4.5 pav.). Skaidulos galui patekus į kitą aplinką, toje vietoje pasikeis atspindžio

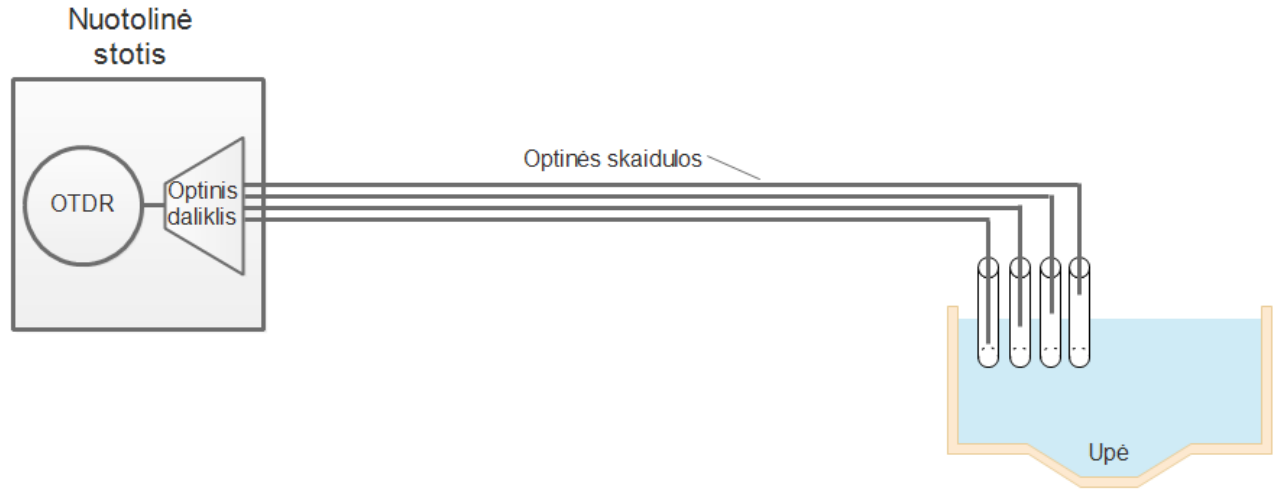
lygis. Atspindžio lygį matuoja kitame skaiduos gale prijungtas OTDR reflektometras. OTDR siunčia trumpus šviesos impulsus į vieną šviesolaidžio galą, tame pačiame gale yra matuojama grįžtančios šviesos energija, kaip laiko funkcija, nuo pradinio impulso paleidimo momento. Dėl to, naudojant reflektometrą, reikalingas tik vienas šviesolaidžio galas. Šviesolaidžio galui patekus iš oro į vandenį, OTDR ekrane bus matomas atspindžio lygio sumažėjimas. Taip yra dėl to, kad vandens lūžio rodiklis yra didesnis už oro, bei artimesnis šviesolaidžio šerdies lūžio rodikliui.



4.5 pav. Sistema su OTDR

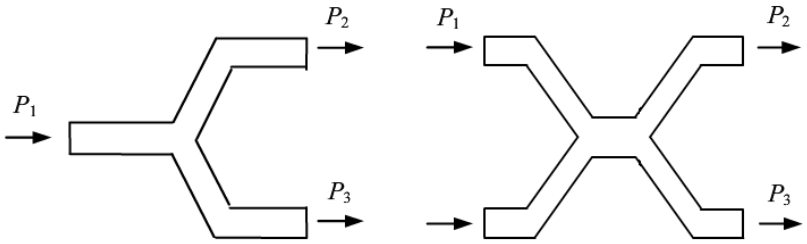
4.5.1 Sistema su OTDR, naudojant optinį daliklį

4.5 paveikslėlyje pavaizduota sistema gali būti naudojama norint sužinoti ar vanduo pasiekė tam tikrą lygį, ar ne. Norint stebėti vandens lygį bei jo pokytį, šioje sistemoje galima pridėti optinį daliklį bei kelias optines skaidulas (4.6 pav.).



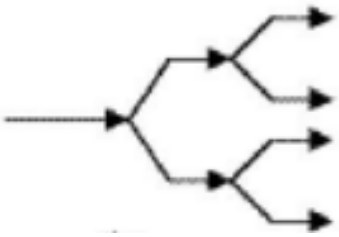
4.6 pav. Sistema su OTDR, naudojant optinį daliklį

Naudojami dviejų tipų optiniai dalikliai – X ir Y (4.7 pav.). Iš šių tipų yra sudaromi sudėtingesni dalikliai, norint šviesos srautą paskirstyti didesniais dalijimo santykiais (pvz. 1:4, 1:8, 1:16). Žinoma, dalijant didesniu santykiu, pasireiškia didesnis slopinimas. Y tipo optinis daliklis įėjimo galią į išėjimus padalina vienodai, todėl kiekvienas toks elementas bendrąjį slopinimą padidina apie 3 *dB*. [16]



4.7 pav. Y ir X tipo dalikliai [16]

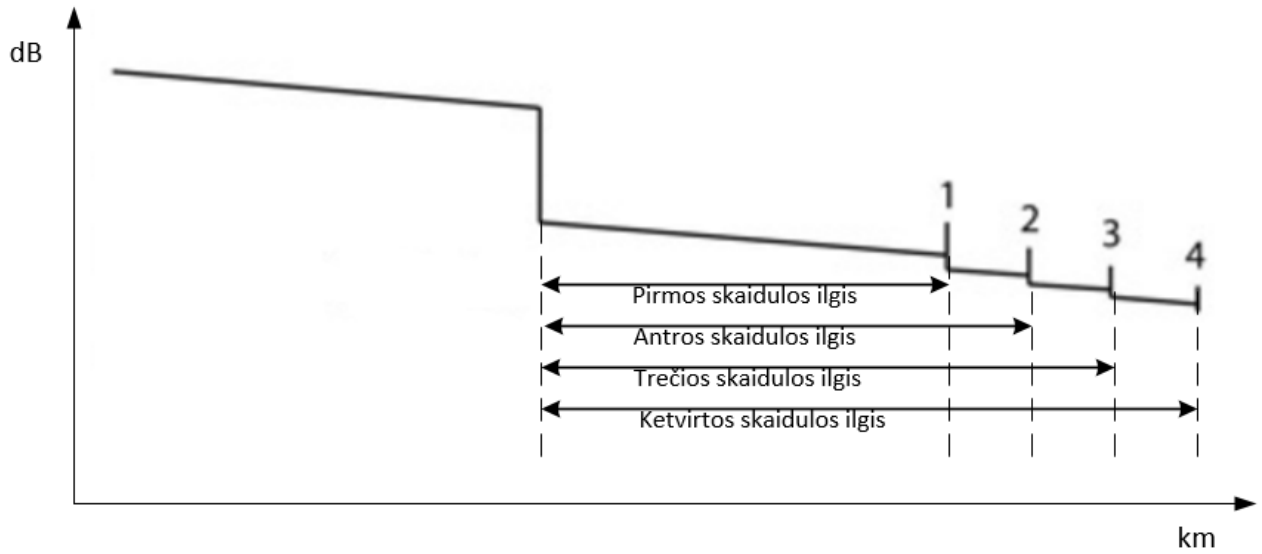
4.6 pav. sistemai galima naudoti Y tipo daliklių konstrukciją (4.8 pav.). Toks daliklis įėjimo galią padalina santykiu 1:4.



4.8 pav. 1:4 optinis daliklis [17]

Kai optinis daliklis naudojamas kartu su OTDR, galima matyti kiekvienos skaidulos galo atspindžio lygį. Tam turi būti naudojamos skirtingų ilgių skaidulos. Naudojant optinį daliklį, OTDR ekrane yra matoma suminė visų skaidulų reflektograma (4.9 pav.). Kadangi vandeniui detektuoti yra reikalingi tik skaidulų galuose matomi atspindžių dydžiai, iš gautos reflektogramos galima nustatyti kuri skaidula yra vandenyje, kuri ore. Jei skaidulos neapsėmė vanduo, jos gale matomas tam tikro dydžio atspindys. Jei skaidula atsidūrė vandenyje, reflektogramoje matomas atspindžio lygio sumažėjimas.

Žemiau pateiktame grafike matomas tolydus signalo lygio mažėjimas. Jis pasireiškia dėl optinio daliklio išskaidytos galios bei slopinimo optiniame daliklyje. Šis 1:4 daliklis sąlygos apie 7 *dB* slopinimą.



4.9 pav. OTDR atspindžio lygio grafikas naudojant 1:4 daliklį [18]

OTDR naudojimas sistemoje

Tokioje sistemoje galima naudoti vieną iš šių OTDR:

- Stacionarus OTDR su ekranu;
- Nešiojamas OTDR su ekranu;
- OTDR be ekrano.

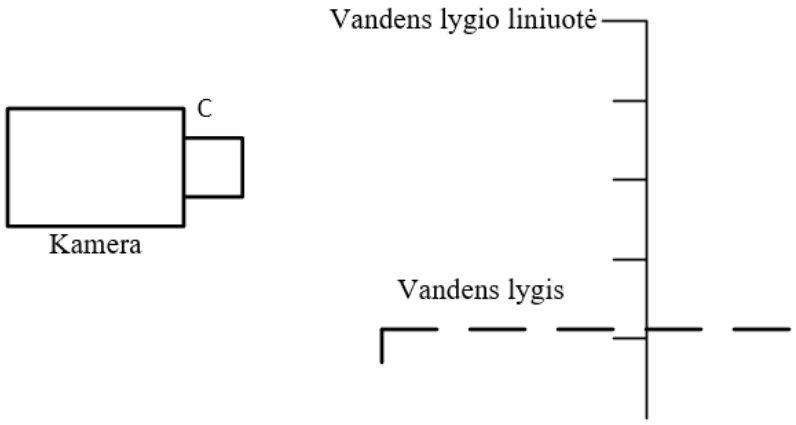
Kiekvienas iš šių reflektometrų turi savų privalumų ir trūkumų. Stacionarus OTDR yra standartinis, plačiai naudojamas reflektometras. Jis išsiskiria savo funkcijų gausa, turi didelį ekraną, gerą matavimų patikimumą. Ekrane vienu metu gali būti atvaizduojama keletas matavimų. Tokie reflektometrai dažniausiai turi platesnį matavimų diapazoną. Dėl šių priežasčių jų kaina rinkoje didesnė. Stacionaraus OTDR pagrindiniai trūkumai – dideli, sunkūs ir nemobilūs. Aukščiau aprašytoje sistemoje toks OTDR gali būti naudojamas dėl šių pagrindinių priežasčių: sistemai nebūtinas nešiojamas reflektometras, vienas svarbiausių sistemos reikalavimų – matavimų tikslumas. Stacionarus OTDR šiuos kriterijus atitinka.

Nešiojamas OTDR yra plačiai naudojamas dėl savo mobilumo ir žemesnės kainos. Jais paprasta naudotis, yra lengvi, turi nedidelį ekraną. Tačiau šių reflektometrų matavimo diapazonas, kaip ir patikimumas, yra žemesnis. Be to, jie nepasižymi matavimo funkcijų gausa. Tokie OTDR gali būti įdiegiami sistemoje siekiant sutaupyti lėšų, jei jų tikslumas ir patikimumas tenkina reikalavimus.

OTDR neturintis ekrano naudojamas kartu su asmeniniu kompiuteriu. Šis OTDR atlieka matavimus, o rezultatai išvedami kompiuterio ekrane. Prie kompiuterio jungiami USB laidu, retais atvejais - *bluetooth* ryšiu. Matavimo duomenis galima išsaugoti kompiuterio kietajame diske ir naudoti tolesniam apdorojimui. Tai yra vienas pagrindinių šio OTDR privalumų. Aukščiau aprašytoje vandens lygio matavimo sistemoje šie reflektometrai gali būti naudojami siekiant stebėti matavimus kompiuterio ekrane arba saugoti matavimų rezultatų duomenims.

4.6 Sistema naudojanti vaizdo kamerą

Vandens lygio stebėjimams galima naudoti vaizdo kamerą. Ši sistema gali būti naudojama kartu su optinių sensorių pagrindu veikiančiomis sistemomis. Tai padidintų matavimų patikimumą. Upėje yra įmontuojama stacionari liniuotė su pažymėtais lygiais. Vaizdo kamera pastatoma taip, kad būtų aiškiai matomos liniuotės reikšmės. Optinis sensorius informuos apie vandens lygio padidėjimą, o nuotoliniu būdu prisijungus prie vaizdo kameros galima įsitikinti ar vanduo yra pasiekęs kritinį lygį.



4.10 pav. Vaizdo kameros naudojimas vandens lygiui nustatyti

Vaizdo kameros, kurios gali būti naudojamos sistemoje:

- IP kamera;
- GSM/3G kamera.

IP kamera yra skaitmeninė kamera, galinti perduoti vaizdą interneto tinklu. Šios kameros panaudojimas vandens lygio matavimo sistemoje yra pranašus tuo, kad aukštos kokybės vaizdas gali būti perduodamas dideliais atstumais. Tai yra didelis privalumas, vietovėse, kur nuotolinė matavimų stotis yra toli nuo matuojamo objekto. Pagrindinis trūkumas – apylinkėje, kurioje įmontuota IP kamera

turi būti interneto ryšys. Ši problema pasireiškia tada, kai vandens lygis matuojamas mažai apgyvendintose vietovėse.

GSM/3G kamera yra skaitmeninė kamera, galinti persiųsti vaizdą naudojantis mobiliojo interneto tinklo infrastruktūra. Tokia kamera gali perduoti tiesioginį vaizdą arba siųsti nuotraukas dideliais atstumais. Šios kameros pagrindinis privalumas yra jos mobilumas. Kadangi 3G ryšys aprėpia didžiąją dalį Lietuvos teritorijos, kamerą galima naudoti ir rečiau apgyvendintose, sunkiau pasiekiamose vietovėse. Tam reikalinga SIM kortelė ir elektros šaltinis.

4.7 Sistemų apibendrinimas

Šiame skyriuje aptartos sistemos, skirtos stebėti vandens lygį. Sistemoms su POF ir FBG sensoriais reikalingas sudėtingas duomenų apdorojimas. Taip pat, FBG sensorius pasižymi didele kaina. Sistemai su prizminiu sensoriumi, reikalingas matavimo šaltinis toje vietoje, kurioje bus stebimas vandens lygis, patalpos papildomiems įrenginiams. Sistemai su skaidulos užlenkimo mechanizmu, būdingas didelis matavimų netikslumas. Todėl, sistema, pagrįsta OTDR matavimais, yra tinkamiausia vykdyti stebėjimus pasirinktame objekte – Rusnėje. Ji gali perduoti informaciją be papildomo maitinimo šaltinio dideliais atstumais. Ši sistema yra paprasta, pigi ir efektyvi.

5. Vandens lygio stebėjimo sistemos tyrimas ir projektavimas

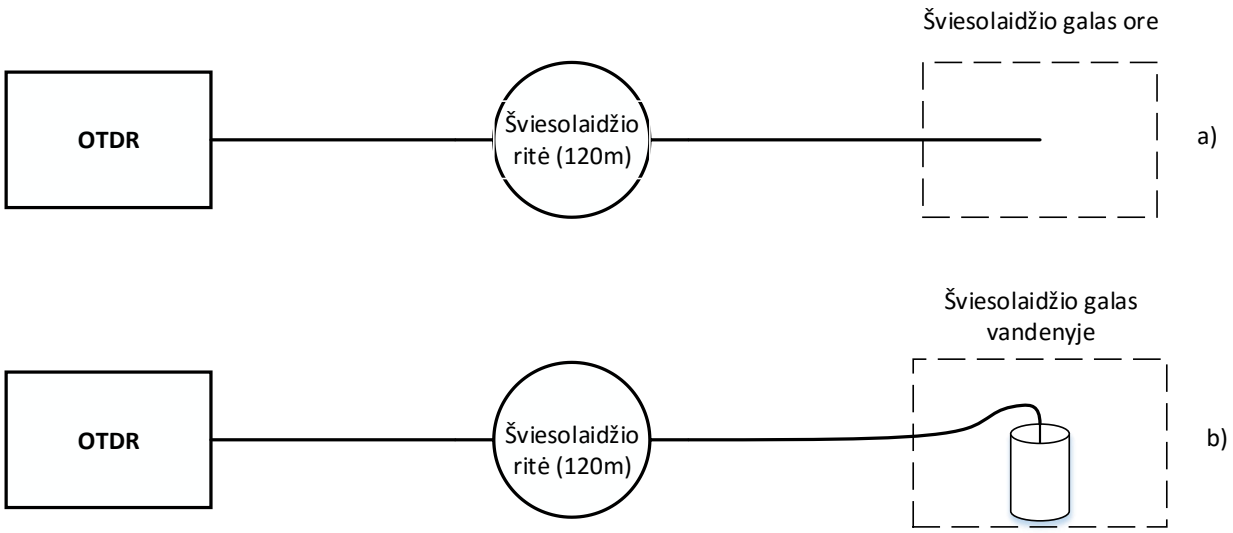
5.1 Vandens detektavimo matavimai

Norint nustatyti ar vandens lygiui matuoti galima naudoti paprastą sistemą su OTDR, reikia išsiaiškinti ar įmanoma detektuoti, kai šviesolaidžio galas pakeičia aplinką – iš oro į vandenį arba atvirkščiai. Tam atliekami eksperimentiniai matavimai. Jų tikslas – nustatyti kaip atspindžio lygis priklauso nuo to ar nutolęs šviesolaidžio galas yra ore, ar vandenyje. Pagal atpindžio lygio dydį šviesolaidžio gale, galima atpažinti terpę, kurioje yra šviesolaidis.

5.1.1 Vandens aptikimo matavimai 120 metrų šviesolaidžiu

Atliekame atspindžio lygio matavimus šiems atvejams:

- Kai šviesolaidžio galas ore (5.1 (a) pav.);
- Kai šviesolaidžio galas vandenyje (5.1 (b) pav.).

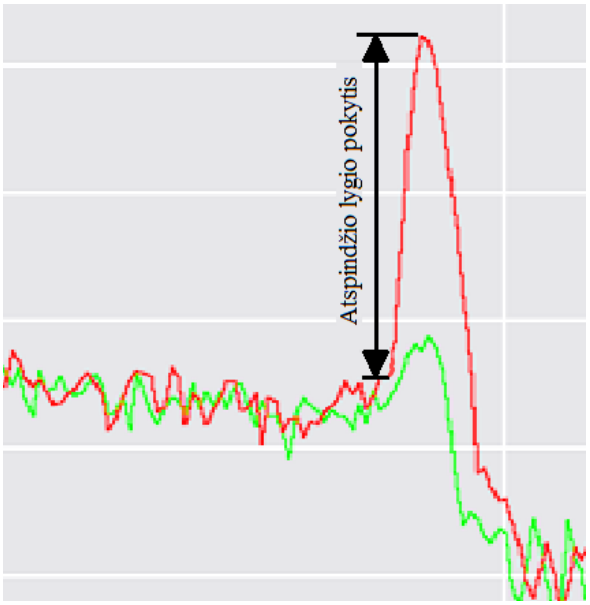


5.1 pav. Sujungimas atspindžio lygio matavimams: šviesolaidžio galas ore (a); šviesolaidžio galas vandenyje (b).

Šiems matavimams atlikti naudojama:

- OTDR reflektometras;
- Išorinė laikmena duomenims saugoti;
- Kompiuteris su *TraceView 5.0* programine įranga;
- ~120 metrų ilgio šviesolaidis;
- Indas su vandeniu.

Šviesolaidžio gale nuimamas apvalkalas. Keičiant rezoliuciją (matavimo taškų kiekį), bangos ilgį, atliekame matavimus, kai šviesolaidžio galas yra ore bei vandenyje. Kiekvienam atvejui matavimai atliekami 10 kartų. Naudojami du bangos ilgiai: 1310 *nm*, 1550 *nm*. Naudojamos rezoliucijos: 2*km*/0,25*m*; 2*km*/0,5*m*; 2*km*/1*m*. Gauti rezultatai išsaugomi į išorinę atmintį, perkeliami į kompiuterį. Išsaugoti duomenų failai atidaromi su *TraceView* programa. Iš grafikų apytiksliai nustatomi atspindžių lygių pokyčiai šviesolaidžio gale (5.2 pav.).



5.2 pav. Atspindžio lygio pokytis

Gauti duomenys surašomi į 5.1 ir 5.2 lenteles.

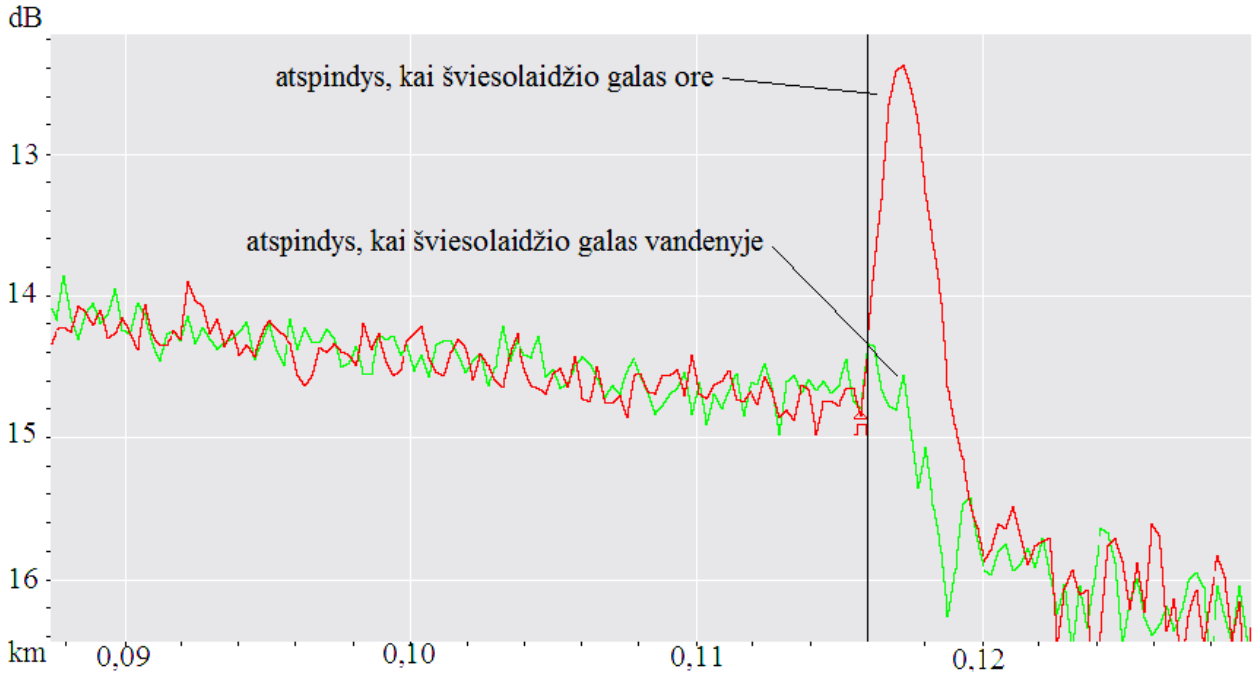
5.1 lentelė. Matavimų rezultatai esant 1310nm bangos ilgiui.

	λ=1310 nm					
Bandymo nr.	*Range/Res=2km/0,25m*		*Range/Res=2km/0,5m*		*Range/Res=2km/1m*	
	Atspindžio lygio pokytis, *dB*		Atspindžio lygio pokytis, *dB*		Atspindžio lygio pokytis, *dB*	
	Ore	Vandenyje	Ore	Vandenyje	Ore	Vandenyje
1	2,2	0,5	4,8	0,3	5	0,4
2	2,3	0,3	5,9	1,4	1,6	0,3
3	2	0,1	1,5	0,2	1,8	0,2
4	4	0,2	4,7	0,1	1,1	0,1
5	1,8	0,6	3,7	0,2	2,2	0,5
6	3,8	0,1	6	0,8	3,4	0,2
7	2,8	0,1	6,4	2,4	2,4	0,1
8	4,8	0,3	6,5	1,4	1,8	0,2
9	2,2	0,1	4,1	1	2	0,2
10	4	0,3	5,8	0,9	3,1	0,4
Vidurkis:	**2,99**	**0,26**	**4,94**	**0,87**	**2,44**	**0,26**

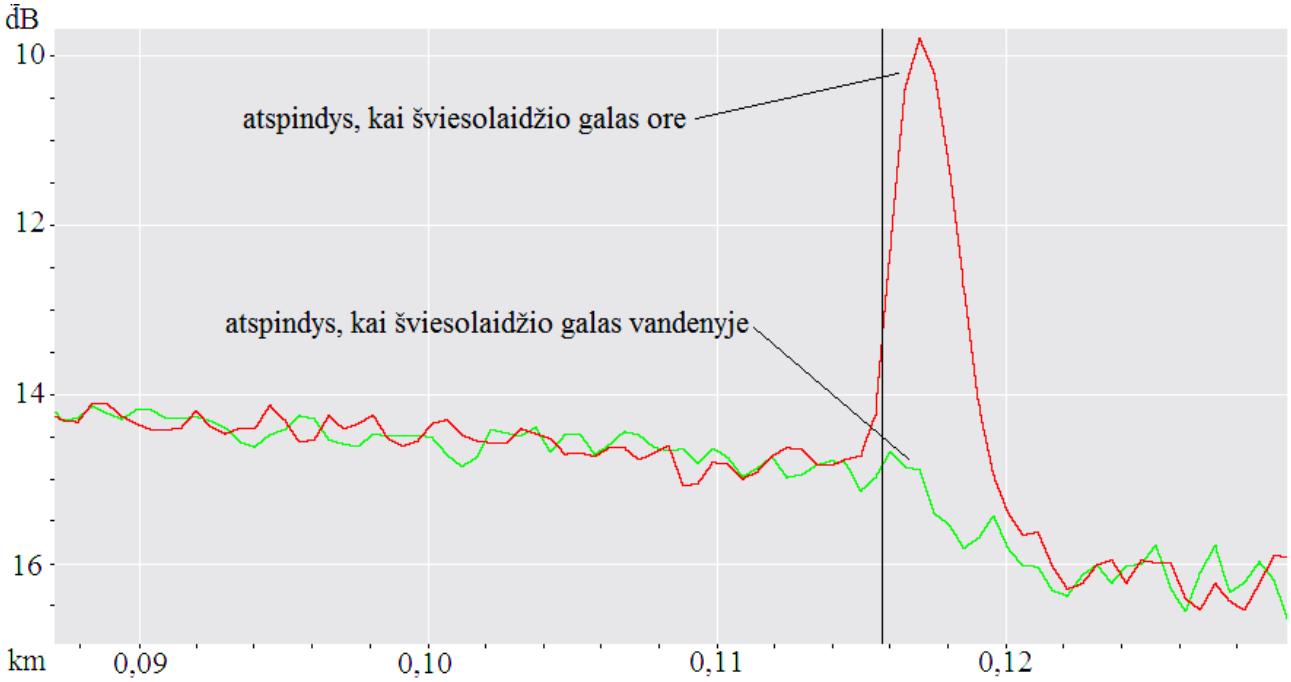
5.2 lentelė. Matavimų rezultatai esant 1550*nm* bangos ilgiui.

Bandymo nr.	*λ=1550*					
	Range/Res=2km/0,25m		*Range/Res=2km/0,5m*		*Range/Res=2km/1m*	
	Atspindžio lygio pokytis, *dB*		Atspindžio lygio pokytis, *dB*		Atspindžio lygio pokytis, *dB*	
	Ore	Vandenyje	Ore	Vandenyje	Ore	Vandenyje
1	6,8	0,6	5	0,1	6,8	0,4
2	4,1	0,4	5,1	0,6	3	0,5
3	3,5	0,5	6,1	0,1	4,7	0,4
4	2,8	0,3	9,8	0,8	2,4	0,2
5	1,4	0,2	5	1,7	3,5	0,3
6	3,4	0,4	7,4	1,8	4	0,4
7	6	0,1	3,6	0,4	5,4	0,2
8	2,7	0,1	3,5	0,1	3,9	0,5
9	2,6	0,3	4,8	0,6	4	0,2
10	6,8	0,2	3,3	0,1	3,1	0,3
Vidurkis:	**4,01**	**0,31**	**5,36**	**0,63**	**4,08**	**0,34**

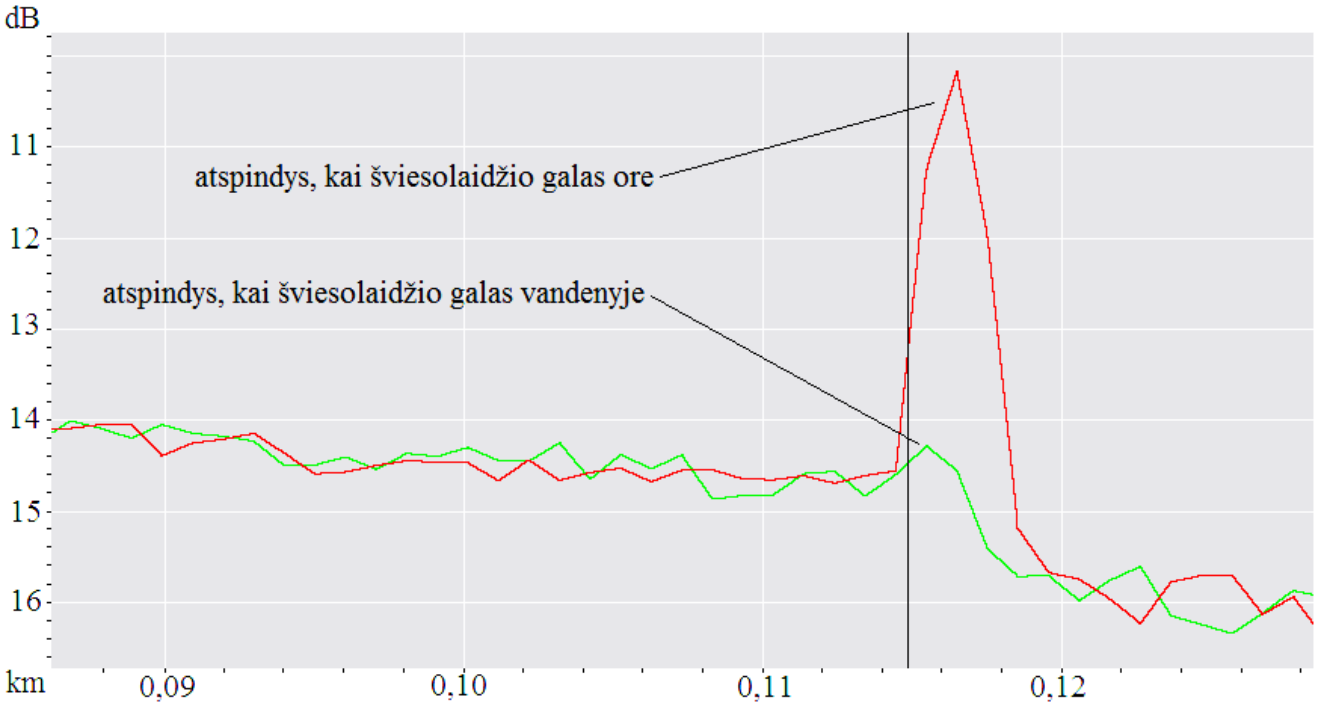
Lentelėse apskaičiavus atspindžių lygių ore bei vandenyje pokyčių vidurkius, matosi, kad vidutinis atspindžio lygio pokytis ore yra iki 10 kartų didesnis nei vandenyje. Be to, lyginant gautą mažiausią lygį ore (1,4 *dB*) su didžiausiu lygiu vandenyje (0,6 *dB*), lygis ore yra daugiau nei 2 kartus didesnis nei vandenyje. Iš to galima daryti išvadą, kad iš OTDR reflektogramų galima nesunkiai atskirti ar šviesolaidis yra paniręs po vandeniu, ar ne. Reflektogramos prie skirtingų rezoliucijų pavaizduotos 5.3, 5.4, 5.5 paveiksluose.



5.3 pav. Atspindžio lygis, kai šviesolaidžio galas ore ir vandenyje. Naudojamas 1310 *nm* bangos ilgis bei 2*km*/0,25*m* rezoliucija.



5.4 pav. Atspindžio lygis, kai šviesolaidžio galas ore ir vandenyje. Naudojamas 1310 *nm* bangos ilgis bei 2*km*/0,5*m* rezoliucija.



5.5 pav. Atspindžio lygis, kai šviesolaidžio galas ore ir vandenyje. Naudojamas 1310 *nm* bangos ilgis bei 2*km*/1*m* rezoliucija.

Iš pateiktų reflektogramų matosi, kad naudojant 2*km*/0,25*m* rezoliuciją, gaunami tiksliausi rezultatai (gaunama daugiau reikšmių). Taip pat, šviesolaidžio gale (~0,12 *km*) šviesa pereinanti iš šerdies į orą atsispindi stipriau nei iš šerdies į vandenį. Taip yra todėl, kad vandens lūžio rodiklis (*n*=1,33), lyginant su oro (*n*=1), yra artimesnis šerdies lūžio rodikliui (*n*=1,467).

Atspindžio efektą, šviesai pereinant iš šviesolaidžio šerdies į skirtingas aplinkas, galima apskaičiuoti teoriškai. Tam apskaičiuojamas atspindžio faktorius pagal 5.1 formulę [16].

Kai kritimo kampas θ_1=0, tai:

$$r = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2 \tag{5.1}$$

čia *r* – atspindžio faktorius; *n* – lūžio rodiklis.

Pagal 5.1 formulę, skaičiuojame atspindžio faktorių, kai šviesa krinta iš skaidulos (n_1=1,467) į orą (n_2=1):

$$r = \left(\frac{1{,}467 - 1}{1{,}467 + 1}\right)^2 = \frac{0{,}218}{6{,}086} = 0{,}036 \tag{5.2}$$

Apskaičiuojame atspindžio faktorių, kai šviesa krinta iš skaidulos (n_1=1,467) į vandenį (n_2=1,33*):*

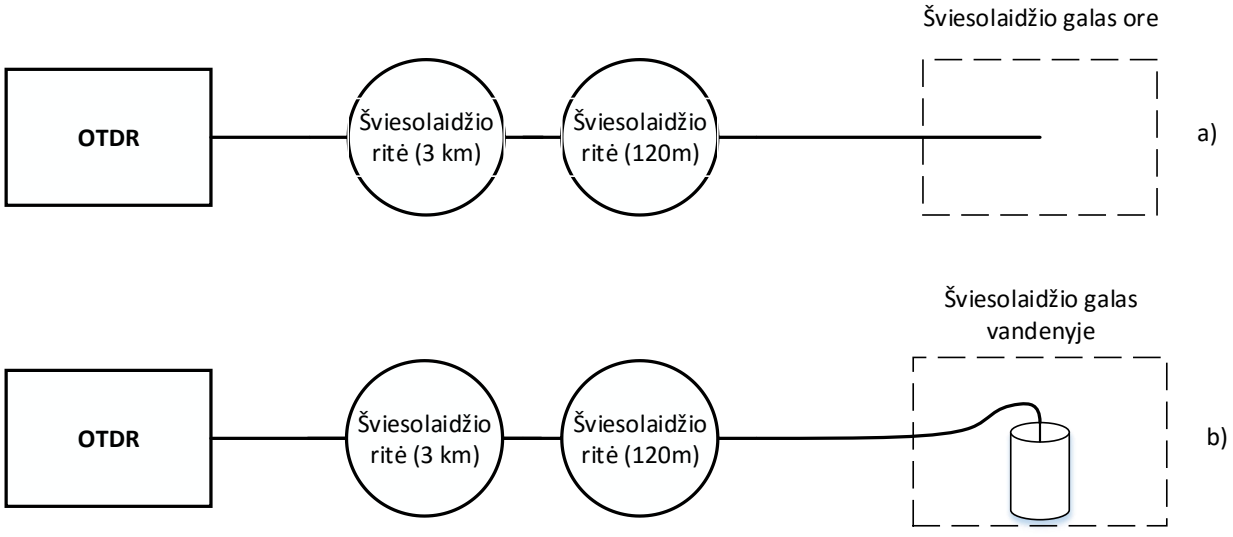
$$r = \left(\frac{1{,}467 - 1{,}33}{1{,}467 + 1{,}33}\right)^2 = \frac{0{,}019}{7{,}823} = 0{,}002 \qquad (5.3)$$

Kai šviesa pereina iš skaidulos į orą, atspindžio faktorius lygus 0,036. Tai reiškia, kad 3,6 proc. optinės galios atsispindi, o likusi dalis išsisklaido ore. Kai šviesa pereina iš skaidulos į vandenį, atsispindi tik 0,2 proc. optinės galios. Taip yra dėl to, kad vandens atspindžio koeficientas, lyginant su oro, yra artimesnis skaidulos atspindžio koeficientui. Galima teigti, kad esant didesniam aplinkų atspindžio koeficientų skirtumui, pasireiškia didesnis atspindžio efektas, tuo pačiu, atsispindi didesnė optinės galios dalis.

Iš atliktų matavimų galima daryti išvadą, kad vandens detektavimui galima naudoti paprastą sistemą su OTDR. Matavimams buvo naudotas ~120 metrų ilgio šviesolaidis. Norint išsiaiškinti ar tokia sistema galėtų veikti didesniais atstumais (kelių kilometrų), reikia atlikti matavimus su ilgesniais šviesolaidžiais.

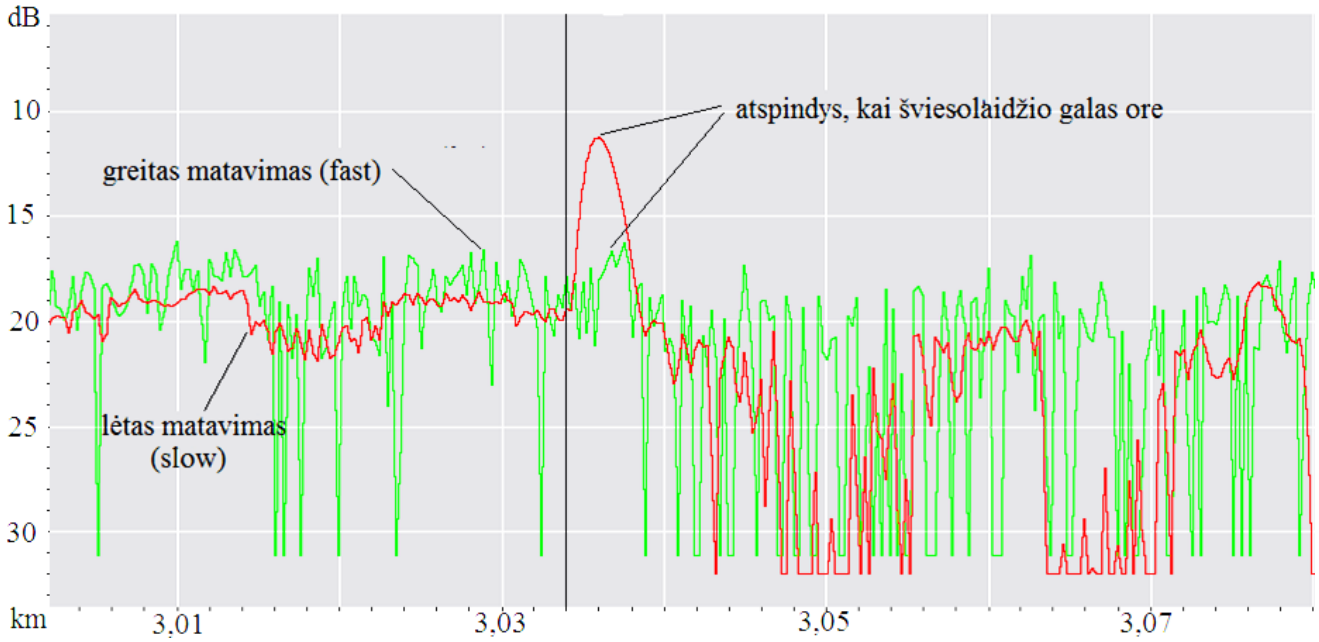
5.1.2 Vandens aptikimo matavimai ~3km ilgio šviesolaidžiu

Matavimus atliekame sujungus 3 *km* bei 120 metrų ilgio šviesolaidžius. Sujungimo schema pavaizduota 5.6 pav.



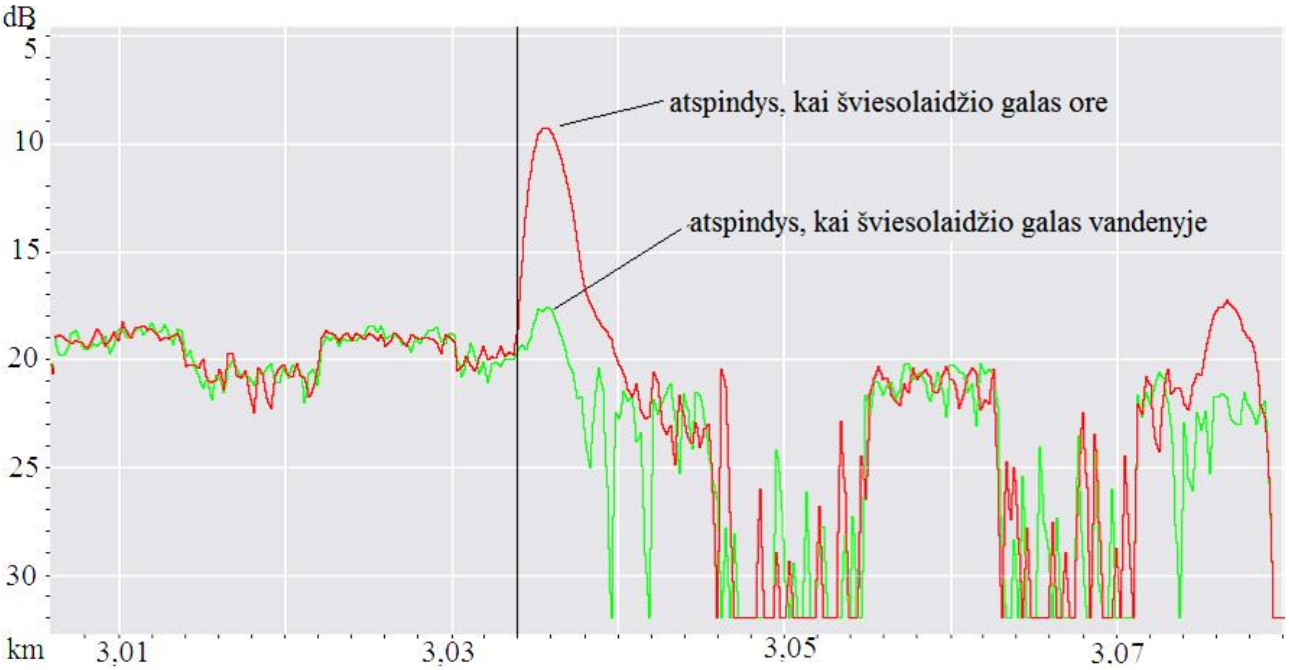
5.6 pav. Sujungimas atspindžio lygio matavimams: šviesolaidžio galas ore (a); šviesolaidžio galas vandenyje (b).

Naudojant kelių kilometrų šviesolaidį, reflektometre turi būti pasirenkamas lėtas matavimo tipas. Jį pasirinkus, prietaisas rezultatų vidurkinimui naudos daugiau reikšmių. Tokiu būdu gaunami tikslesni matavimai. Nustatačius greitą matavimą tampa sudėtinga šviesolaidžio gale nustatyti atpindžio dydį. 5.7 paveiksle pavaizduota reflektograma, ~3 *km* šviesolaidžio galui naudojant minėtus matavimo tipus.

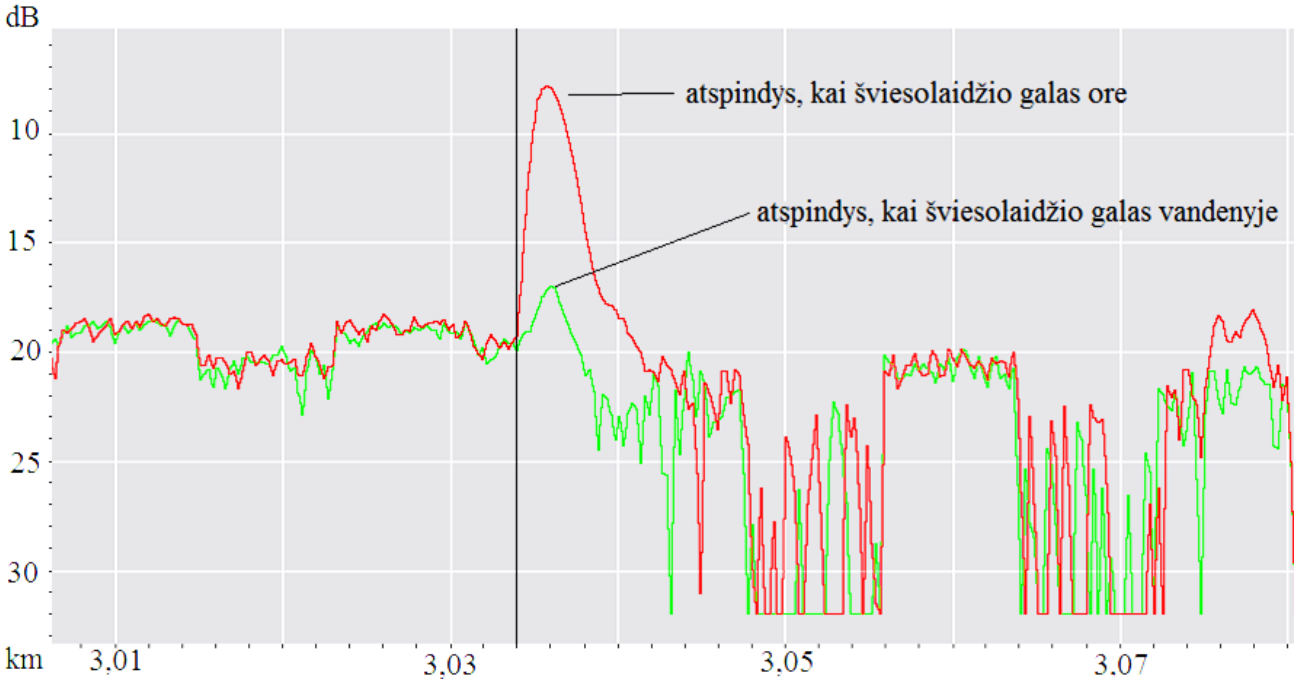


5.7 pav. Atspindžio lygiai, naudojant greitą ir lėtą matavimą.

Sekančius matavimus atliekame pasirinkus lėto matavimo būdą. Matavimų tikslumui užtikrinti, jie atliekami 5 kartus. Gauname reflektogramas prie 1310 *nm* (5.8 pav.) bei 1550 *nm* (5.9 pav.) bangos ilgių.



5.8 pav. Atspindžio lygis, kai šviesolaidžio galas ore ir vandenyje. Naudojamas 1310 *nm* bangos ilgis.



5.9 pav. Atspindžio lygis, kai šviesolaidžio galas ore ir vandenyje. Naudojamas 1550 *nm* bangos ilgis.

Iš gautų grafikų nustatomas atspindžio lygio pokytis šviesolaidžio gale. Rezultatai suvedami į 5.3 lentelę.

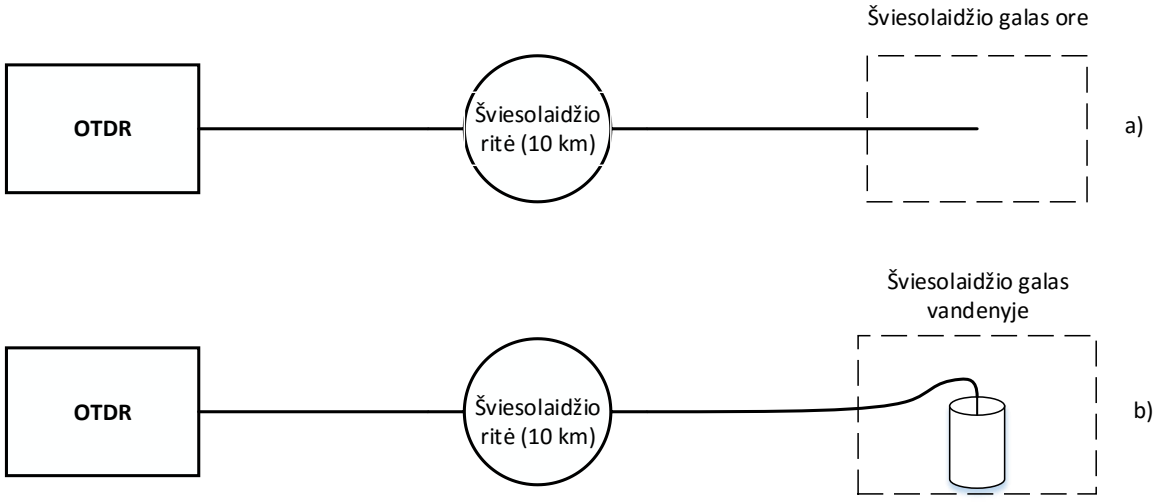
5.3 lentelė. Matavimų rezultatai ~ 3 *km* ilgio šviesolaidžiui.

	1310 nm		*1550 nm*	
Bandymo nr.	Atspindžio lygio pokytis, *dB*		Atspindžio lygio pokytis, *dB*	
	Oras	Vanduo	Oras	Vanduo
1	8,5	2,7	7,5	2,5
2	10,8	1,9	7	4
3	8,2	1,6	6,8	3,2
4	9	2,20	8,2	3
5	9,6	3,00	7,4	3,8
Vidurkis:	**9,22**	**2,28**	**7,38**	**3,3**

Gauti rezultatai rodo, kad naudojant 3 *km* šviesolaidį galima lengvai nustatyti šviesolaidžio galo buvimą vandenyje. Šiam tikslui galima naudoti 1310 *nm*, taip pat ir 1550 *nm* bangos ilgius. Tai rodo apskaičiuoti atspindžio lygio vidurkiai. Prie abiejų bangos ilgių šie vidurkiai ore ir vandenyje skiriasi daugiau nei 2 kartus. Be to, didžiausia atspindžio reikšmė vandenyje nėra panaši į mažiausią atspindžio reikšmę ore (atitinkamai 4 *dB* ir 6,8 *dB*). Darome išvadą, kad OTDR ekrane stebint reflektogramą 3 *km* ilgio šviesolaidžiui, galima lengvai aptikti kai šviesolaidžio galas patenka į vandenį.

5.1.3 Vandens aptikimo matavimai 10 *km* ilgio šviesolaidžiu

Matavimus atliekame prijungus 10 *km* ilgio šviesolaidį. Jungimo schema pavaizduota 5.10 pav.



5.10 pav. Sujungimas atspindžio lygio matavimams: šviesolaidžio galas ore (a); šviesolaidžio galas vandenyje (b).

Analogiškai prieš tai atliktiems matavimams, juos atliekame su 10 *km* ilgio šviesolaidžiu. Matuojama 5 kartus prie skirtingų bangos ilgių. Vienas iš OTDR ekrane gautų grafikų pavaizduotas 5.11 paveikslėlyje.



5.11 pav. Atspindžio lygis, kai šviesolaidžio galas ore ir vandenyje. Naudojamas 1310 *nm* bangos ilgis.

Nustatomas atspindžio lygio pokytis šviesolaidžio gale. Matavimų rezultatai užpildomi į 5.4 lentelę.

5.4 lentelė. Matavimų rezultatai ~ 10 *km* ilgio šviesolaidžiui.

	1310 nm		*1550 nm*	
Bandymo nr.	Atspindžio lygio pokytis, *dB*		Atspindžio lygio pokytis, *dB*	
	Oras	Vanduo	Oras	Vanduo
1	7,5	4	5,2	7
2	4	0,8	3,7	6,6
3	9,1	0,9	9,6	3,2
4	5,2	2,3	6	8,4
5	3	4,6	11,2	5,5
Vidurkis:	**5,76**	**2,52**	**7,14**	**6,14**

Iš rezultatų matosi, kad atspindžio lygio pokyčių vidurkių vandenyje ir ore skirtumas nėra toks didelis, lyginant su prieš tai atliktų matavimų rezultatais. Prie 1550 *nm* bangos ilgio ore ir vandenyje vidurkiai gauti atitinkamai 7,14 *dB* ir 6,14 *dB*.

Norint palyginti gautus matavimų rezultatus naudojant skirtingų ilgių šviesolaidžius, sudaroma bendra lentelė (5.5). Joje atsispindi atspindžio lygio pokyčių vidurkiai, minimalios bei maksimalios visų bandymų reikšmės.

5.5 lentelė. Bendra matavimų rezultatų lentelė.

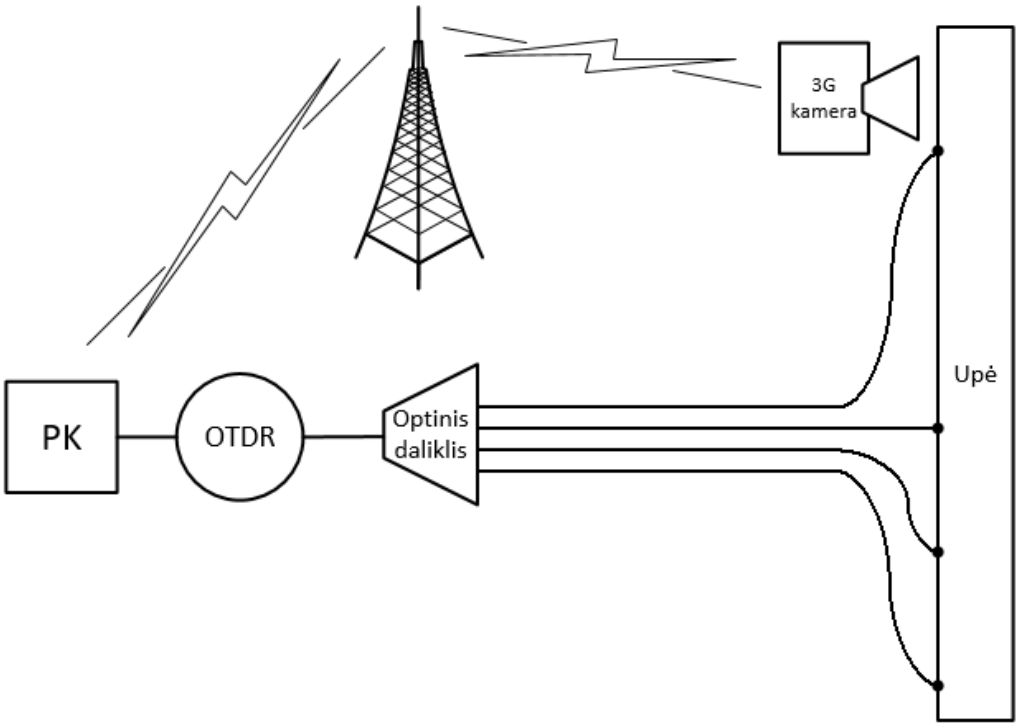
		120 m		3 km		10 km	
		1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm
Atspindžio lygio pokyčio vidurkis, dB	Ore	2,99	4,01	9,22	7,38	5,76	7,14
	Vandenyje	0,26	0,31	2,28	3,3	2,52	6,14
Minimalus atspindžio lygio pokytis, dB	Ore	1,8	1,4	8,2	6,8	**3**	**3,7**
	Vandenyje	0,1	0,1	1,6	2,5	4,6	3,2
Maksimalus atspindžio lygio pokytis, dB	Ore	4,8	6,8	10,8	8,2	9,1	11,2
	Vandenyje	0,6	0,6	3	4	**4,6**	**8,4**

Remiantis lentelės duomenimis, daroma išvada, kad naudojant 120 *m* bei 3 *km* ilgio šviesolaidžius, galima lengvai nustatyti terpę, kurioje yra šviesolaidžio galas. Pagal atspindžio faktoriaus teorinius skaičiavimus (5.1.1 skyrelis), skaidulos galui esant ore, atsispindi didesnė dalis šviesos, nei vandenyje. Todėl atspindžio lygio pokytis vandenyje yra mažesnis už atspindžio lygio pokytį ore. Tačiau 10 *km* šviesolaidžiui, atspindžio lygio prie 1310 *nm* mažiausia reikšmė ore yra 3 *dB*, o didžiausia vandenyje – 4,6 *dB*. Naudojus 1550 *nm* bangos ilgį, atitinkamai 3,7 *dB* ir 8,4 *dB*. Akivaizdu, kad naudojant 10 *km* ilgio šviesolaidį, matavimai yra nepatikimi. Dėl šios priežasties projektuojamoje sistemoje bus naudojami iki 3 *km* ilgio šviesolaidžiai.

5.2 Vandens lygio matavimo sistemos projektavimas

Sistemos projektavimui pasirinkta hibridinė struktūra. Vandens lygiui nustatyti bus naudojama 4.5.1 skyrelyje aprašyta sistema su OTDR. Reflektometras matuos keturias skaidulas, prie jo prijungus „1x4“ optinį daliklį. Tam, kad būtų užtikrintas sistemos patikimumas, papildomai bus

įdiegta 4.6 skyriuje minėta GSM/3G ryšio kamera. Supaprastinta sistemos struktūra pateikta 5.12 paveikslėlyje.

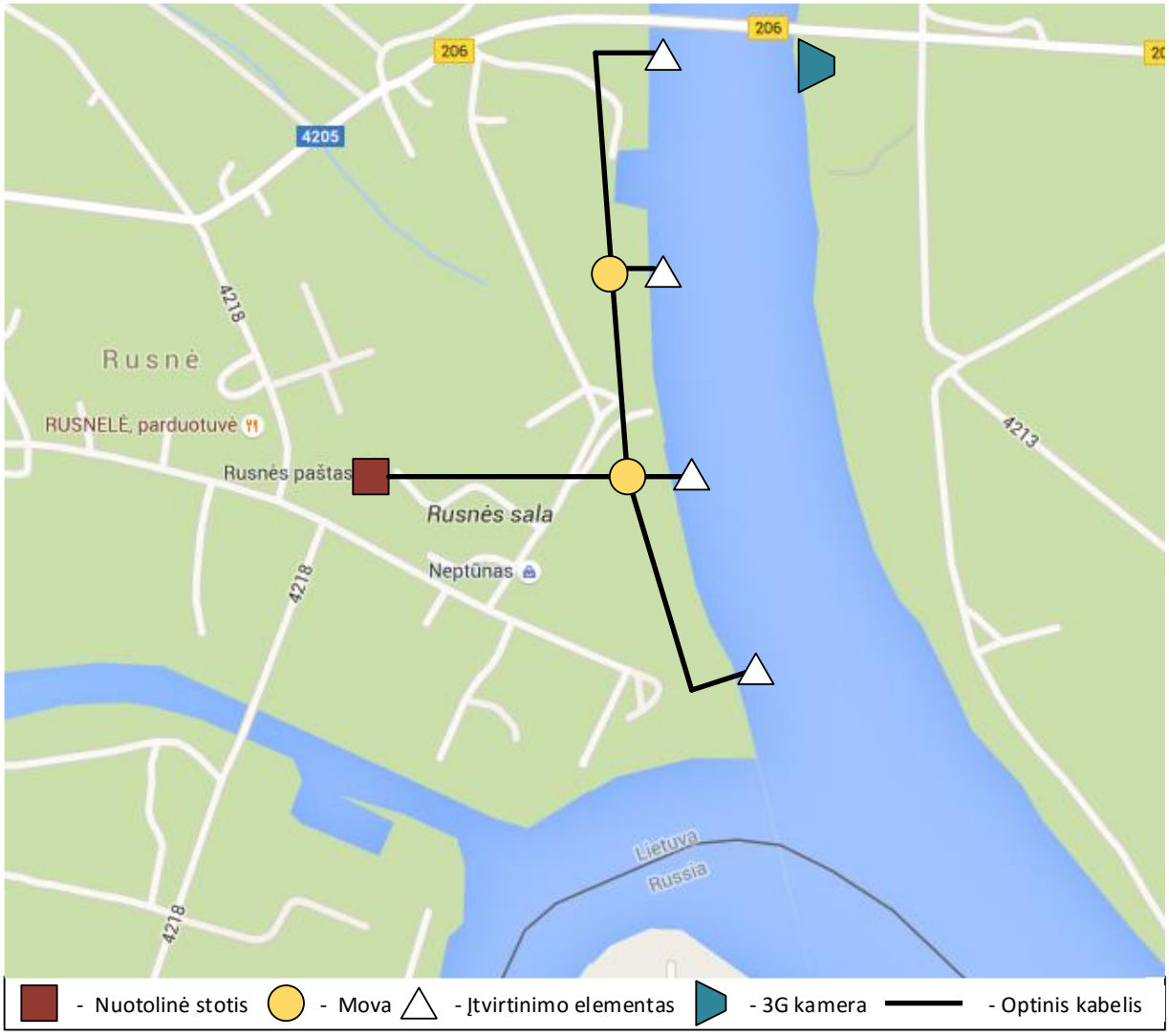


5.12 pav. Supaprastinta projektuojamos sistemos struktūra.

Sistemos pagrindiniai komponentai:

- Šviesolaidžio galų įtvirinimo elementai (4);
- Optinis daliklis;
- OTDR;
- GSM/3G kamera;
- Personalinis kompiuteris (PK).

Projektuojamos sistemos teritorija, kartu su išdėstytais sistemos elementais pateikta 5.13 pav.



5.13 pav. Projektuojamos sistemos elementų išdėstymas

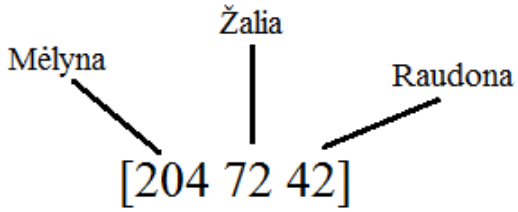
Nuotolinė stebėjimo stotis (žemėlapyje pažymėta kvadratėliu) bus įsikūrusi Rusnės pašto patalpose. Taupant sistemos įgyvendinimo išlaidas upės lygio stebėjimas vyks šioje geografiškai patogioje viešojoje įstaigoje. Ji nuo kiekvienos skaidulos galo nėra nutolusi daugiau nei 3 *km* atstumu, todėl remiantis prieš tai atliktu vandens lygio matavimo tyrimu, bus užtikrintas matavimų patikimumas. Stebėjimo stotyje patalpinta upės lygio matavimo įranga: OTDR su optiniu dalikliu, kompiuteris, su matavimui skirta programine įransga, bei atvaizdavimo įrenginys (monitorius). Iki stebėjimo stoties bus atvestas 8 skaidulų optinis kabelis, kurio ilgis, apskaičiavus pagal žemėlapio mastelį, yra 1010 *m*. Iki kiekvieno įtvirtinimo elemento bus atvesta po 2 skaidulas. Viena iš 2 skaidulų bus palikta atsargai.

3G kamera sumontuota kitoje upės pusėje. Jos regos lauke, upėje, bus įtvirtinta stacionari liniuotė upės lygiui matuoti. Kamera nustatytais laiko intervalais siųs nuotraukas į nuotolinėje stotyje esantį kompiuterį.

5.3 Kameros vaizdo apdorojimas

Projektuojamoje sistemoje naudojama kamera, kuri 3G ryšiu į nuotolinę stebėjimo stotį persiunčia upės lygio vaizdą. Tam upėje turi būti įrengta stacionari liniuotė, kuri rodys ar upės lygis neperžengė kritinės ribos. Liniuotė sugraduota dviejų skirtingų spalvų juostomis. Jeigu upė neužsems abiejų spalvų – tai reikš, kad upės lygis yra normalus. Jei upė užsems vieną iš spalvų – upės lygis pakilęs, užsėmus abi spalvas – upės lygis peržengė kritinę ribą. Liniuotė sužymėta žalios ir raudonos spalvų juostomis. Upės patvinimo metu, vandeniui apsėmus vieną iš juostų, kameros perduotame vaizde tos spalvos nebeliks. Naudojantis šiuo principu, nuotolinės stoties kompiuteryje galima įdiegti programą, kuri atpažins skirtingų spalvų dingimą iš stebėjimo lauko.

Stebėjimo sistemoje kamera vienos valandos intervalais siųs nuotraukas į nuotolinės stebėjimo stoties kompiuterį. Jame įdiegta programa analizuos kiekvieną gautą nuotrauką ir išves rezultatus ekrane. Šie rezultatai yra RGB spalvų reikšmės. Jos paimamos fiksuotose pikselių koordinatėse. Koordinatės nuotraukoje yra paskiriamos tose vietose, kuriose bus raudona ir žalia juostelės. Kadangi bus naudojamos dvi skirtingų spalvų juostelės, programa išves dvi RGB reikšmes. Reikšmės, kurios bus išvedamos į ekraną, pavaizduotos 5.14 pav.



5.14 pav. RGB reikšmės

Kiekviena RGB spalva kinta nuo 0 iki 255. Juoda spalva atitinka tris nulio reikšmes, balta spalva – tris 255 reikšmes. Sistemoje naudojamoje liniuotėje žalia spalva idealiu atveju atitiks [0 255 0], raudona spalva – [0 0 255].

5.3.1 Vandens lygio pasikeitimo atpažinimo programa

Programa rašoma *Python* programavimo kalba, *Python 2.7.10 IDLE* (angl. *Integrated Development Environment*) aplinkoje. Naudojama atviro kodo *OpenCV* programinė biblioteka. Programinis kodas pateiktas 5.14 paveiksle.

```
import cv2.cv as cv
import cv2
import numpy as np
import time

img = cv2.imread('input1.jpg')
img2 = cv2.imread('input2.jpg')
img3 = cv2.imread('input3.jpg')
cv2.rectangle(img,(315,118),(325,128),(0,0,0),3)
cv2.rectangle(img,(315,190),(325,200),(0,0,0),3)
cv2.imshow('window 1', img)

while True:
    print img[123,320]
    print img[195,320]
    time.sleep(1)
    if cv.WaitKey(10) == 27:
        break

cv2.rectangle(img2,(315,118),(325,128),(0,0,0),3)
cv2.rectangle(img2,(315,190),(325,200),(0,0,0),3)
cv2.imshow('window 1', img2)

while True:
    print img2[123,320]
    print img2[195,320]
    time.sleep(1)
    if cv.WaitKey(10) == 27:
        break

cv2.rectangle(img3,(315,118),(325,128),(0,0,0),3)
cv2.rectangle(img3,(315,190),(325,200),(0,0,0),3)
cv2.imshow('window 1', img3)

while True:
    print img3[123,320]
    print img3[195,320]
    time.sleep(1)
    if cv.WaitKey(10) == 27:
        break

cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

5.14 pav. Programinis kodas

Pagrindinės programoje naudotos komandos:

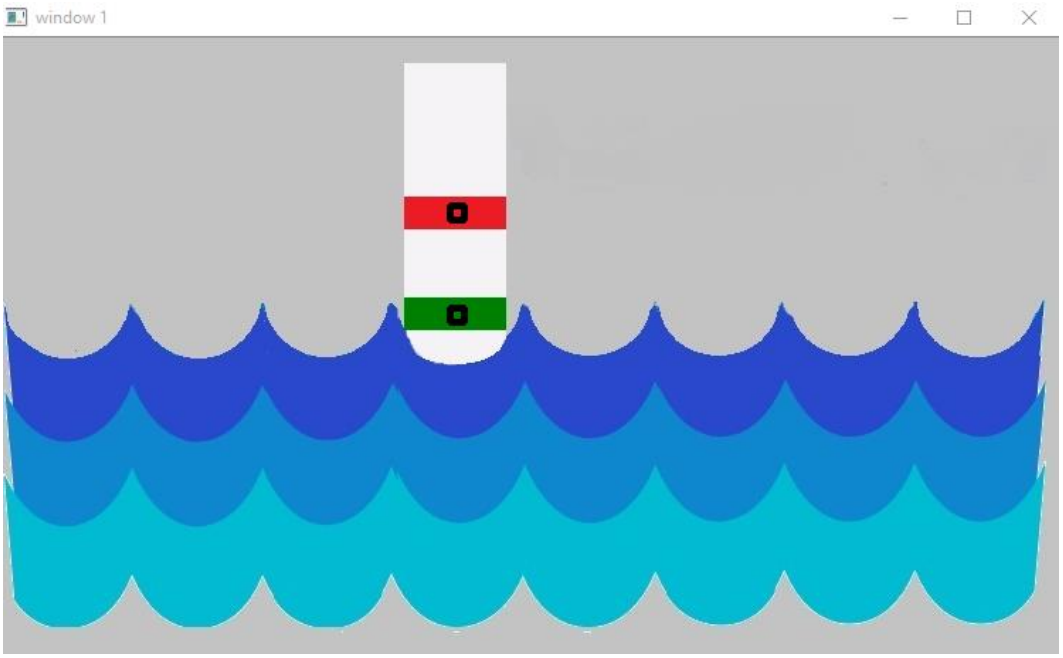
- [img=cv2.imread('input1')] – „perskaito" JPEG failą;
- [cv2.imshow('window 1 ', img)] – atidaro failą „window 1" lange;
- [cv2.rectangle(img, (315,118), (325,128), (0,0,0), 3)] nubraižo pasirinktos spalvos ir dydžio, pasirinktoje lango vietoje, stačiakampį;
- [print img[123,320]] išspausdina pikselio, kurio koordinatės yra [123,320], RGB spalvos reikšmę;
- [time.sleep(1)] nustatomas reikšmių išvedimo į ekraną intervalas sekundėmis.

Programos testavimas

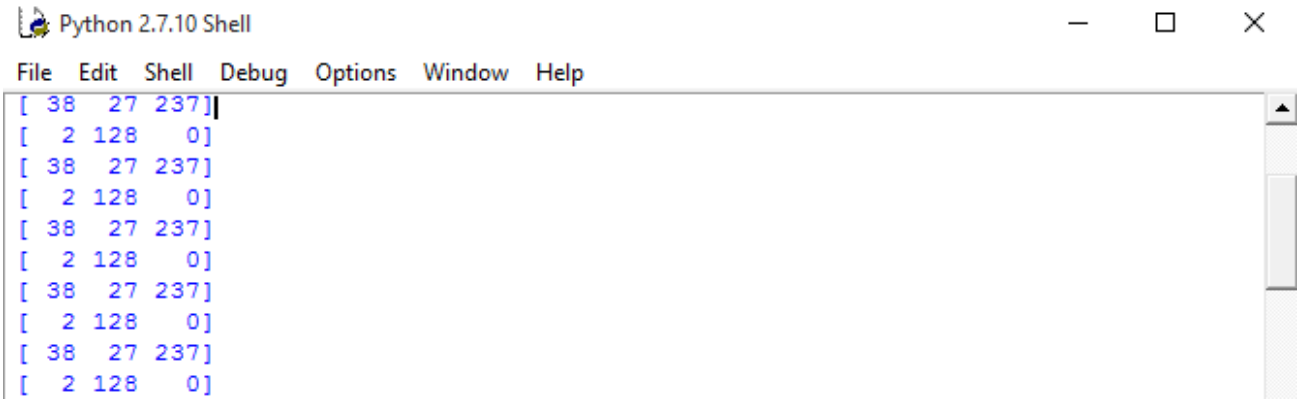
Programos testavimui naudojami trys *JPEG* formato paveiksliukai, imituojantys vandens lygio su matavimui skirta liniuote, nuotraukas. Jie imituoja tris skirtingus upės lygio atvejus:

- Vanduo neapsemia abiejų juostelių;
- Vanduo apsemia vieną iš juostelių;
- Vanduo apsemia abi juosteles.

Pirmam atvejui programa atidaro *JPEG* formato failą, juodais kvadratėliais pažymi vietas, kuriose kas sekundę paimama spalvos reikšmė (5.15 pav.). Pikselių RGB reikšmės išvedamos į ekraną (5.16 pav.).



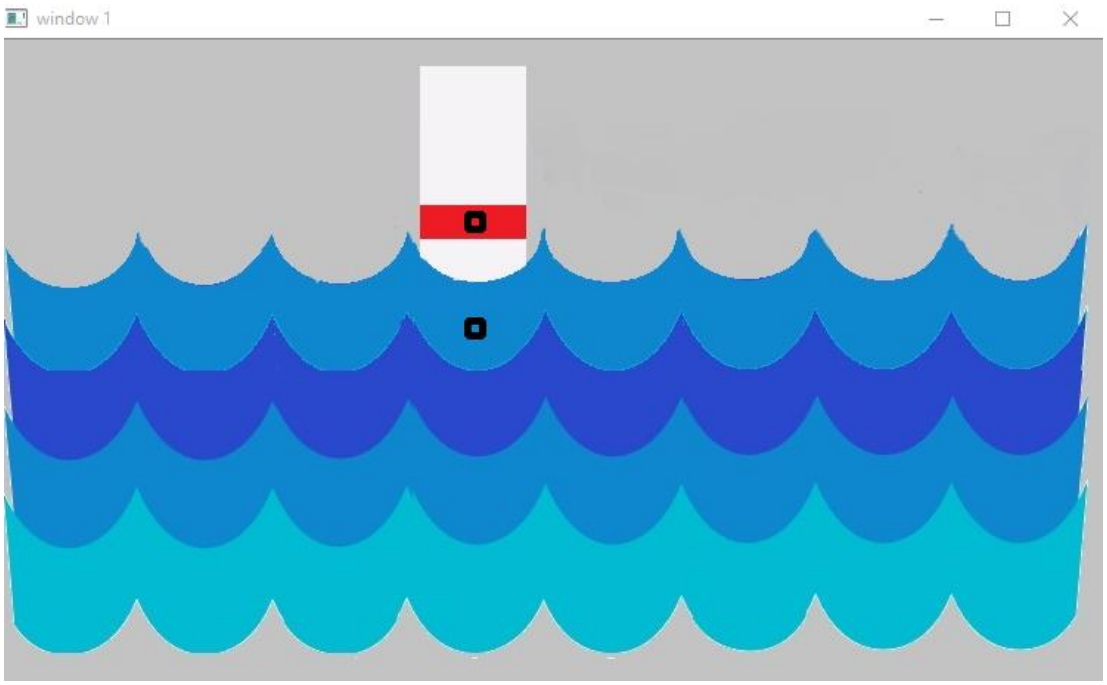
5.15 pav. Pirmas *JPEG* failas



5.16 pav. Išvestos pikselių RGB reikšmės.

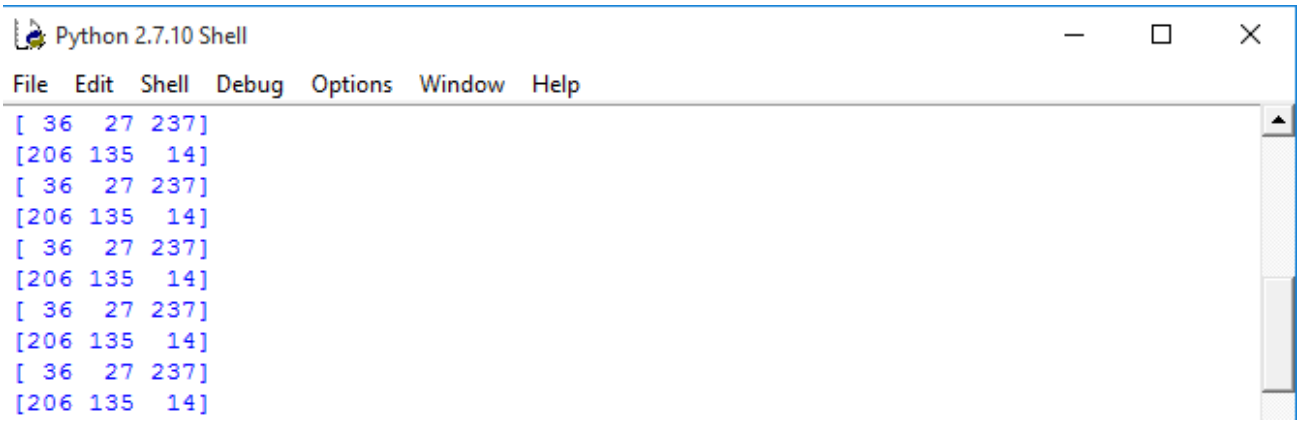
Rezultatų lange pirmoji reikšmė (38 27 237) atitinka viršutinės juostelės spalvą, antroji reikšmė (2 128 0) – apatinės. Iš išvestų RGB reikšmių matosi, kad pirmoji juostelė yra raudonos spalvos. Raudoną atitinka 237, tuo tarpu kitų šio pikselio spalvų reikšmės daug mažesnės. Antroji juostelė – žalios spalvos (žalią atitinka 128).

Antram atvejui programa atidaro sekantį *JPEG* failą, tose pačiose vietose nubrėžia kvadratėlius (5.17 pav.).



5.17 pav. Antras *JPEG* failas

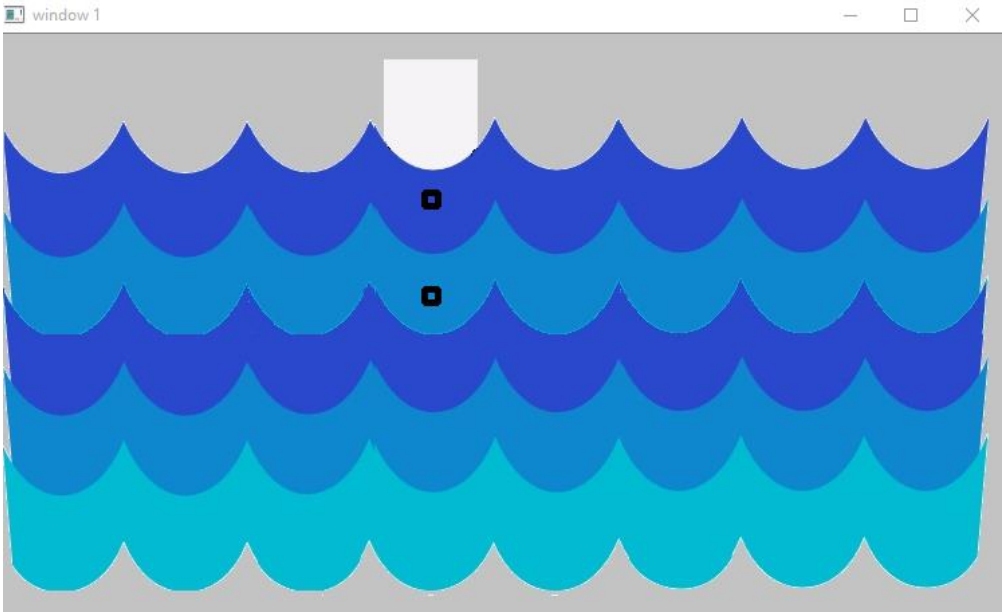
Spalvų reikšmės išvedamos ekrane (5.18 pav.).



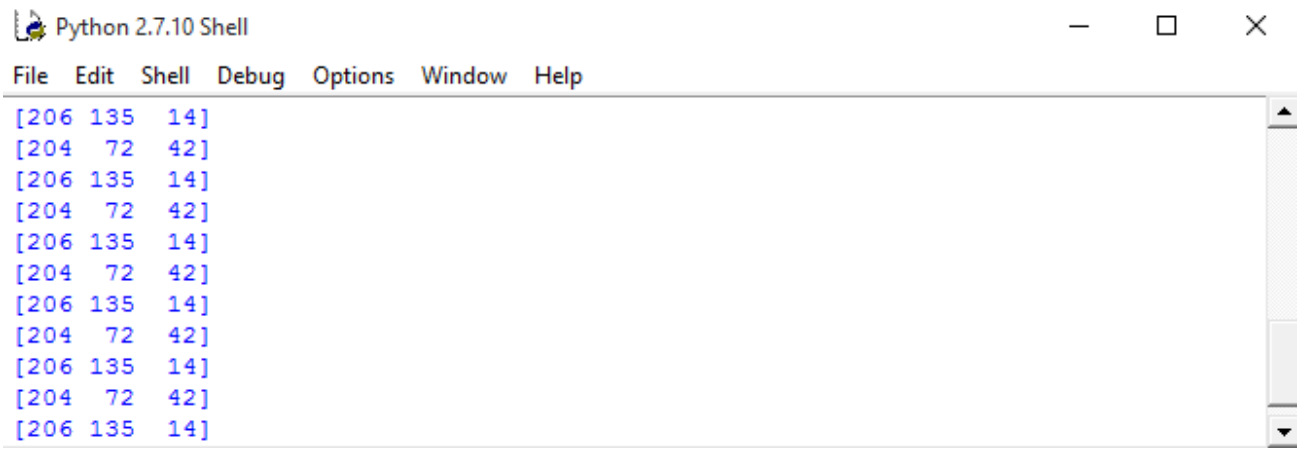
5.18 pav. Išvestos pikselių RGB reikšmės.

Pirmos juostelės spalva išlieka raudona (36 27 237). Antrą juostelę apsemia vanduo, todėl spalva toje vietoje pasikeičia. Šiuo atveju ji tampa mėlyna (206 135 14).

Trečiam atvejui programa atidaro kitą *JPEG* failą. Vietose, kuriose turėtų būti juostelės programa nubraižo kvadratėlius. Tose vietose nuskaitomos RGB reikšmės ir išvedamos į ekraną (5.20 pav.)



5.19 pav. Trečias *JPEG* failas



5.20 pav. Išvestos pikselių RGB reikšmės.

Iš rezultatų ekrane matosi, kad vietose, kur turi būti raudona ir žalia juostelės, spalva pasikeičia. Gautos mėlynos spalvos (206 135 14) ir (204 72 42).

Iš gautų programos testavimo rezultatų galima daryti išvadą, kad programą galima pritaikyti realiems upės vandens lygio matavimams. Naudojant šios programos pagrindą, ją būtų galima papildyti įspėjamojo signalo ar pranešimo funkcijomis, kai pasikeičia RGB spalvų reikšmės.

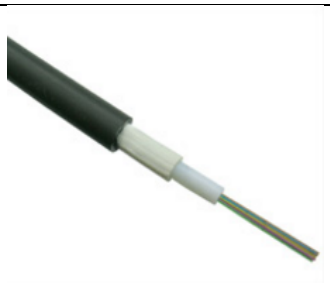
5.4 Įrangos parinkimas

Norint įdiegti patikimai veikiančią sistemą, svarbu parinkti tinkamą įrangą. Įrangos parinkimui reikia atsižvelgti į jų charakteristikas. Būtina palyginti pasiūloje esančios įrangos svarbiausius parametrus ir pasirinkti tinkamiausią.

5.4.1 Optiniai kabeliai

Optinio kabelio svarbiausia sudedamoji dalis yra optinės skaidulos. Projektuojamoje sistemoje skaidula bus naudojama kaip optinis sensorius, todėl svarbu pasirinkti reikiamą optinių skaidulų kiekį kabelyje, atsižvelgti į slopinimą prie skirtingų bangos ilgių. Vandens lygio stebėjimo sistemoje bus naudojami vienmodžiai „SCTG-0-4SM“ kabeliai. Jo charakteristikos pateiktos 5.5 lentelėje.

5.5 lentelė. Optinio kabelio charakteristikos.

Pavadinimas	**SCTG-0-4SM**
Išvaizda	
Skaidulų kiekis	4,8,12
Skaidulos tipas	Single Mode 9/125
Atitikimas standartui	ITU-T G.652D
Apsauginės dangos skersmuo	245 ± 0,5 μm
Slopinimas prie 1310 *nm*	0,334 *dB/km*
Slopinimas prie 1550 *nm*	0,194 *dB/km*

.

5.4.2 OTDR reflektometras

Sistemos patikimumas pagrįstas OTDR reflektometro matavimų tikslumu. Todėl OTDR pasirenkamas su kiek įmanoma didesniu matavimo tikslumu, atsižvelgiant ir į kitus prietaiso parametrus. 5.6 lentelėje pateiktos dviejų skirtingų OTDR gamintojų charakteristikos.

5.6 lentelė. OTDR charakteristikos.

Pavadinimas		FiberWarrior Pro Desktop OTDR	OPX-BOX OTDR
Išvaizda			
Sąsaja		USB	USB/Bluetooth
Bangos ilgiai	Vienmodis	1310/1490/1550/1625 *nm*	1310/1490/1550/1625/1650 *nm*

	Daugiamodis	850/1300 *nm*	850/1300 *nm*
Slopinimas		0,001 *dB*	0,001 *dB*
Atspindžio koeficiento diapazonas		1,4 – 1,7	1,3 – 1,7
Matavimo taškų kiekis		Iki 64000	Iki 128000
Atstumo tikslumas		1 m	0,5 m
Atspindžio matavimo tikslumas		± 2 *dB*	± 1,5 *dB*
Atstumo diapazonas		5 – 80 *km*	0,5 – 80 *km*
Kaina		2900 eur.	3550 eur.

Palyginus du skirtingų gamintojų reflektometrus, matosi, kad „OPX-BOX OTDR“ yra pranašesnis už „FiberWarrior Pro Desktop OTDR“. Šis reflektometras turi didesnį matavimo taškų kiekį, todėl naudojantis reflektograma galima tiksliau nustatyti atspindžio lygį tam tikrame skaidulos taške. Taip pat, šio gamintojo OTDR turi didesnį atstumo, atspindžio matavimo tikslumą. Todėl sistemoje bus naudojamas „OPX-BOX OTDR“ reflektometras.

5.4.3 GSM/3G kamera

3G kamera sistemoje turi turėti nuotraukų siuntimo funkciją. Pasirenkama iš dviejų „Vimel“ gamintojo siūlomų kamerų, turinčių šią funkciją. Dviejų skirtingų modelių charakteristikos pateiktos 5.7 lentelėje.

5.7 lentelė. GSM/3G kamerų charakteristikos.

Pavadinimas	Vimel 3GCAM	Vimel 3GCAM-101
Išvaizda		
Vaizdo suspaudimas	H.264, MPEG-4, M-JPEG	H.264, MPEG-4, M-JPEG

Palaikomos rezoliucijos	FULL HD 1920 x1080P (18fps) , HD 1280x720 (30fps) VGA 640x480, QVGA 320x240, QQVGA 160x120	HD 1280x720, D1 720x480, VGA 640x480, QVGA 320x240, DCIF 512x384
Palaikomi dažniai	UMTS: Quad band, 850/900/1900/2100MHz; GPRS/GSM/EDGE: Quad band: 850/900/1800/1900MHz	UMTS: Quad band, 850/900/1900/2100MHz; GPRS/GSM/EDGE: Quad band: 850/900/1800/1900MHz
Nuotraukų siuntimo funkcija	Taip	Taip
Atsparumas vandeniui ir šalčiui	Taip	Taip
Galia	3,75 W	3 W
Kaina	529 eur	515 eur

Iš pateikto kamerų palyginimo matosi, kad jų charakteristikos yra panašios. Todėl renkantis iš šių dviejų kamerų, atsižvelgiama į palaikomas rezoliucijas, kainą. Pasirenkama „Vimel 3GCAM" kamera, kuri palaiko *Full HD* rezoliuciją, o kaina nuo "Vimel 3GCAM-101" skiriasi nežymiai.

6. Ekonominis sistemos įvertinimas

Prieš įdiegiant vandens lygio stebėjimo sistemą, reikia apskaičiuoti jos įrengimo investicijas. Investicijas sudarys sistemos įrengimo darbų bei įrangos kaina.

Sistemos įrengimo investicijos

Kadangi nuo stebėjimo stoties iki matavimo taškų reikės tiesti optinį kabelį, atlikti kitus montavimo darbus, šiems darbams atlikti bus samdomi rangovai. 6.1 lentelėje pateikti reikalingi įrengimo darbai bei jų kainos.

6.1 lentelė. Įrengimo darbų investicijos.

Darbai	Mato vienetas	Kiekis	Darbų kaina, eur.	Darbų suma, eur.
Optinio kabelio klojimas	1 m.	1010	1,29	1 302,90
Movų montavimas	1 vnt.	2	41,98	83,96
Skaidulų galų įtvirtinimo montavimas	1 vnt.	4	20	80
Skaidulų atvedimas ir pajungimas stebėjimo stotyje	-	-	25	25
Liniuotės upėje montavimas	1 vnt.	1	50	50
Kameros montavimas	1 vnt.	1	20	20
Programavimo darbai	-	-	100	100
Iš viso:	**1661,86 eur.**			

Didesnę dalį projekto investicijų sudaro sistemos įranga. Investicijos įrangai pateiktos 6.2 lentelėje.

6.2 lentelė. Įrangos investicijos.

Sistemos elemento pavadinimas	Kiekis	Kaina, eur.	Suma, eur.
Optinis kabelis SCTG-0-4SM	1010	0,59	595,90
Optinė mova OMV-302	2	33,29	66,58
Kamera 3GCAM	1	529	529
Optinis daliklis PLC 1x4 SC/APC	1	18,83	18,83
Reflektometras OPX-BOX OTDR	1	3550	3 550
Kompiuteris DELL CA009D3020MT1H16	1	812	812
Iš viso:	**5 572,31 eur.**		

Nuotolinė stotis bus įrengta viešoje Rusnės pašto įstaigoje, todėl išlaidų patalpų nuomai nebus. Sistema bus automatizuota, darbuotojų samdyti jos veikimo vykdymui nereiks. Todėl sistemos eksploatavimo metu išlaidų atlyginimams nebus.

Iš viso sistemos investicijos sudarys:

$$1661{,}86 + 5572{,}31 = \mathbf{7\,234}{,}\mathbf{17}\ \boldsymbol{eur}.$$

Išvados

1. Atlikus vandens lygio stebėjimo sistemų analizę, pasirinkta hibridinė sistema, kuri vandens lygiui nustatyti naudoja OTDR reflektometrą bei 3G ryšio kamerą. Tokia sistema pasirinkta matavimų patikimumo užtikrinimui. Jos privalumai prieš kitas sistemas yra infrastruktūros paprastumas, mažos įdiegimo bei eksploatavimo išlaidos.

2. Atlikus vandens aptikimo su OTDR reflektometru tyrimą, galima teigti, kad iš reflektogramos galima nustatyti ar šviesolaidžio galas yra vandenyje, ar ore. Tam gali būti naudojami 120 metrų arba 3 kilometrų ilgio šviesolaidžiai. Panaudojus 10 kilometrų ilgio šviesolaidį, terpės nustatymas iš reflektogramos tampa nepatikimas. Dėl šios priežasties suprojektuotoje sistemoje buvo naudoti iki 3 *km* ilgio šviesolaidžiai.

3. Siekiant automatizuoti vaizdo stebėjimą 3G kamera, nuotolinės stoties kompiuteryje bus naudojama skaitmeninio vaizdo apdorojimo programa. *Python* programavimo kalba parašytas kodas, kurio pagalba yra išvedamos tam tikrose nuotraukos vietose esančių pikselių RGB spalvos. Šios programos pagrindą galima panaudoti automatizuotam vandens lygio stebėjimui.

4. Apskaičiuota sistemos įrengimo darbų kaina yra 1 661,86 eur. Didesnę dalį sistemos įdiegimo investicijų sudaro įrangos kaina. Ji apima 5 572,31 eur. Viso projekto įvykdymo suma – 7 234,17 eur. Sistema pajamų neatneš, tačiau jos pagalba Rusnės miestelio gyventojams bus galima iš anksto pasiruošti upės patvinimui bei iš dalies išvengti galimos žalos.

Literatūros sąrašas

1. Google žemėlapiai. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.]. Prieiga per internetą: http://maps.google.lt

2. Polymer Optical Fiber Intensity-Based Sensor for Liquid-Level Measurements in Volumetric Flasks for Industrial Application. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.]. Prieiga per internetą: http://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/618136/

3. A Polymer Optical Fiber Fuel Level Sensor: Application to Paramotoring and Powered Paragliding. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3386736/

4. Fundamentals of FBG Optical Sensing. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://www.ni.com/white-paper/11821/en/

5. Fiber Optic Bragg Grating-Based Sensing. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: https://sem.org/PDF/Fiber_bragg_grating_sensing.pdf

6. Tan Dongjie, Wang Baoyan, Han Bing. Study on the Applications of FBG Technology in River Level Monitoring. China, 2013.

7. Optical Liquid Level Sensors For Water And Other Fluids. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://www.fluidswitch.com/optical-sensors.php

8. Modeling of Bend Losses in Single-Mode Optical Fibers. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://www.av.it.pt/conftele2009/Papers/108.pdf

9. Attenuation: Bending Loss [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://electronics.dit.ie/staff/tfreir/optical_1/Unit_1.8.pdf

10. B.D.Gupta. Fiber Optic Sensors. Principles and Applications. USA, 2006. -287 p. ISBN 81-89422-11-1

11. Optical-fiber-based groundwater sensor for monitoring landfill sites. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=928423

12. Gintaras Valiuškevičius. Hidrometrija. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://www.biogeonauda-a.lt/wp-content/uploads/2012/11/Hidrometrija.pdf

13. Large strain measurement in concrete structures using POF sensors. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: https://nees.org/site/annualmeet/4am/docs/O_Abdi.pdf

14. Low-cost level and pressure plastic optical fiber sensor. [žiūrėta 2015 m. balandis 24 d.] Prieiga per interenetą: http://www.researchgate.net/publication/228837827_Low-cost_ level_and_pressure _plastic_optical_fiber_sensor

15. Alexis Mendez. Overview of Trends in Optical Fiber Sensors. Optoelectronics and Communications Conference. Hong Kong, 2009.

16. Paulius Tervydis. Optinio ryšio tinklai. Technologija, KTU. 2012. -308 p. ISBN 978-609-02-0693-5.

17. Micro optics based components for networking. [žiūrėta 2015 m. lapkritis 7 d.] Prieiga per interenetą: http://what-when-how.com/fiber-optics/micro-optics-based-components-for-networking-part-1/

18. Triple play FTTx testing. [žiūrėta 2015 m. lapkritis 11 d.] Prieiga per interenetą: http://www.ospmag.com/issue/article/Triple-Play-FTTx-Testing

19. Image Processing in OpenCV. [Žiūrėta 2015 m. lapkritis 28 d.] Prieiga per internetą:

http://opencv-python-tutroals.readthedocs.org/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_table_of_ contents_ imgproc/py_table_of_contents_imgproc.html

20. Image manipulation and processing using Numpy and Scipy. [Žiūrėta 2015 m. lapkritis 28 d.] Prieiga per internetą: http://www.scipy-lectures.org/advanced/image_processing/

21. OpenCV Documentation. [Žiūrėta 2015 m. lapkritis 28 d.] Prieiga per internetą: https://opencv-python-tutroals.readthedocs.org/en/latest/

22. RGB Color Codes Chart. [Žiūrėta 2015 m. lapkritis 28 d.] Prieiga per internetą: http://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.htm