VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Greta Miltinytė

VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES VERTIKALIŲJŲ DEFORMACIJŲ TYRIMAI

INVESTIGATION OF VILNIUS UPPER CASTLE VERTICAL DEFORMATIONS

Baigiamasis magistro darbas

Geodezija ir kartografija studijų programa, valstybinis kodas 612H14003

Geografinės informacinės sistemos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. ……..
Data ….-….-….

Antrosios pakopos studijų **Geodezijos ir kartografijos** programos magistro baigiamasis darbas 4 (geografinės informacinės sistemos)

Pavadinimas **Vilniaus Aukštutinės pilies vertikaliųjų deformacijų tyrimai**

Autorius **Greta Miltinytė**
Vadovas **Vladislovas Česlovas Aksamitauskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Pagrindinis baigiamojo darbo tikslas – atlikti Vilniaus Aukštutinės pilies vertikaliųjų deformacijų matavimus ir ištirti, ar šie statiniai toliau deformuojasi.

Vilniaus Aukštutinė pilis yra svarbus paveldo objektas, todėl ją būtina išsaugoti. Po aštuonerių metų pertraukos, 2016 m. balandžio 6 d., atlikti Vilniaus Aukštutinės pilies statinių vertikaliųjų deformacijų matavimai. Niveliacijos ėjimams išlyginti ir markių aukščiams išskaičiuoti sukurta programa. Pasiūlyta inovatyvių Aukštutinės pilies stebėjimo būdų. Sukurtas Vilniaus Aukštutinės pilies statinių deformacijų monitoringo svetainės projektas.

Tyrimo objektą sudaro Aukštutinės pilies statiniai: Gedimino bokštas ir pietvakarinė gynybinės sienos dalis, Kunigaikščių rūmai, Pietinio bokšto pamatai, Pietinė atraminė siena, Rytinė atraminė siena ir Šiaurės vakarinė atraminė siena (prie Gedimino bokšto).

Atlikti matavimai turi praktinę vertę norint prognozuoti tolimesnę statinių būklę. Matavimai atlikti II klasės geometrinio niveliavimo metodu, naudojant „LEICA“ firmos nivelyrą NA 3003 bei kodines matuokles. Darbe išnagrinėta archyvinė techninių ataskaitų medžiaga, parengta įvykdytų matavimų techninė atasakita. Gauti matavimų rezultatai susisteminti, apdoroti matematiniais-statistiniais metodais, palyginti su ankstesnių matavimų duomenimis, pateikti grafinėmis priemonėmis. Analizuojant grafikus, ištirti statinių pokyčiai ir pateiktos galimos jų atsiradimo priežastys. Apskaičiuoti vertikaliųjų deformacijų greičiai bei prognozuojamos statinių vertikaliosios deformacijos 2020 m.

Pagal daugiamečių Vilniaus Aukštutinės pilies statinių vertikaliųjų deformacijų matavimų duomenis nustatyta, kad ant kalno esantys statiniai ir toliau deformuojasi.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados ir pasiūlymai, naudotos literatūros sąrašas bei priedai.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, 8 skyriai, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas ir priedai.

Darbo apimtis – 69 p. teksto be priedų, 31 iliustr., 3 lent., 23 literatūros šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Vilniaus Aukštutinė pilis, Gedimino bokštas, Kunigaikščių rūmai, atraminė siena, statinių deformacijos, vertikaliosios deformacijos, nuošliaužos, ciklas.

Vilnius Gediminas technical university
Faculty of Environmental Engineering
Department of Geodesy and Cadastre

ISBN ISSN
Copies No. ……
Date ….-….-….

Master Degree Studies **Geodesy and Cartography** study programme Master Graduation Thesis 4 (Geographic Information Systems)

Title **Investigation of Vilnius Upper Castle Vertical Deformations**

Author **Greta Miltinytė**
Academic supervisor **Vladislovas Česlovas Aksamitauskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The main task for the master thesis is to calculate vertical deformations of Vilnius Upper Castle and to investigate, if these constructions are still in progress of deformations.

Upper castle is a important heritage object; therefore it is necessary to retain it. After 8 years, on the 6th of April, 2016, a survey was performed to establish vertical deformations for these constructions. Program was created to compute gathered data. Innovative castle monitoring options were offered. Website project was created to monitor deformations of constructions at the Upper Castle.

The Upper Castle consists of Gediminas Tower and southwest defense wall, Palace of the Grand Dukes, the South Tower foundation, Southern retaining wall, Eastern retaining wall and North West retaining wall (located by Gediminas Tower).

Performed measurements have a practical worth allowing foresee further condition of these constructions. Monitoring of vertical deformations was carried out according to the accuracy requirements of second order geometric levelling, using "LEICA" companies level instrument NA 3003 and coded leveling staff. In this master thesis, archival material of technical reports is analysed, and technical report of performed measurments was provided. Measurement results were systemized, processed using mathematical-statistical methods, measurements data are compared with previously gathered data, submitted by graphic tools. When analyzing diagrams, constructions are examined for any of their changes, indicating possible reasons of those appearance. For the result speed of vertical deformations was calculated and given their predictions for 2020 year.

According to perennial calculations of vertical deformations of the Upper Castle was determine that constructions are still deforming.

At the end of this thesis conclusion and recommendations, references and appendixes are provided.

Structure: introduction, 8 chapters, conclusion and suggestions, references.

Thesis consists of: 69 p. text without appendixes, 31 illustrations, 3 tables and 23 references.

Appendixes included.

Keywords: Vilnius Upper castle, Gediminas Hill, Palace of the Grand Dukes, retaining wall, deformation of constructions, vertical deformations, landslide, cycle.

TURINYS

ĮVADAS 5
1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA 7
2. TYRIMO OBJEKTAS 10
3. TECHNINIŲ ATASKAITŲ ARCHYVINĖS MEDŽIAGOS APŽVALGA 12
3.1. Pirmojo „0“ ciklo deformacijų matavimų paruošiamieji darbai 1968 m. 13
3.2. V ciklo deformacijų matavimai atlikti 1995 m. 13
4. VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES VERTIKALIŲJŲ DEFORMACIJŲ MATAVIMŲ (XIV CIKLO) TECHNINĖ ATASKAITA 15
4.1. Vertikaliųjų deformacijų stebėjimo metodika 15
4.2. Stebėjimams įrengtų geodezinių ženklų tipai 22
4.3. XIV matavimų ciklo išvados 24
4.3.1. Vertikaliųjų deformacijų analizė 1968 m. lapkričio mėn. atžvilgiu 24
4.3.2. Vertikaliųjų deformacijų analizė 1995 m. gruodžio mėn. atžvilgiu 24
5. VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES STATINIŲ VERTIKALŲJŲ DEFORMACIJŲ DYDŽIŲ ANALIZĖ 26
5.1. Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies vertikaliųjų deformacijų analizė 29
5.2. Kunigaikščių rūmų vertikaliųjų deformacijų analizė 31
5.3. Pietinio bokšto pamatų vertikaliųjų deformacijų analizė 34
5.4. Rytinės atraminės sienos vertikaliųjų deformacijų analizė 36
5.5. Pietinės atraminės sienos vertikaliųjų deformacijų analizė 38
5.6. ŠV atraminės sienos (prie Gedimino bokšto) vertikaliųjų deformacijų analizė 40
5.7. Vertikaliųjų deformacijų išvados 42
6. VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES DEFORMACIJŲ ATSIRADIMO PRIEŽASTYS IR JŲ ŠALINIMAS 43
7. INOVATYVŪS GEDIMINO KALNO DEFORMACIJŲ STEBĖJIMO BŪDAI 47
7.1. Automatinė poslinkių matavimo sistema 48
7.2. Automatinė posvyrių matavimo sistema 52
8. GEOINFORMACINĖS INTERNETINĖS VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES STATINIŲ DEFORMACIJŲ MONITORINGO SVETAINĖS PROJEKTAS 56
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI 60
LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI 62
PRIEDAI ..... **Error! Bookmark not defined.**

ĮVADAS

Darbo aktualumas – Vilniaus miesto Aukštutinė pilis yra svarbus respublikinės reikšmės XVI – XIX a. istorijos, archeologijos ir architektūros paminklas, todėl ją būtina išsaugoti ateities kartoms. Dėl to dar nuo 1968 m. buvo imtasi stebėti Gedimino kalno ir Aukštutinės pilies statinių deformacijas, kad būtų galima sekti statinių būklę, prognozuoti jų deformacijas.

Darbo naujumas – po aštuonerių metų pertraukos, 2016 m. balandžio 6 d., atliktas naujas Vilniaus Aukštutinės pilies statinių vertikaliųjų deformacijų matavimų ciklas ir pateiktos išvados apie šių statinių būklę. Niveliacijos ėjimams išlyginti ir markių aukščiams išskaičiuoti sukurta programa naudojant *Visual FoxPro* programinę įrangą. Pasiūlyta inovatyvių Aukštutinės pilies stebėjimo būdų. Siekiant, kad visi šie surinkti duomenys įgautų vertę ir taptų prieinama informacija, sukurtas geoinformacinės internetinės Vilniaus Aukštutinės pilies statinių deformacijų monitoringo svetainės projektas.

Pratęsti daugiamečiai matavimai turi praktinę vertę, norint prognozuoti tolesnę statinių būklę bei padaryti išvadas, reikalingas tolimesniems veiksmams, užkirsiantiems kelią vykstančioms deformacijoms.

Tyrimo objektą sudaro Aukštutinės pilies statiniai: Gedimino bokštas ir pietvakarinė (PV) gynybinės sienos dalis, Kunigaikščių rūmai, Pietinio bokšto pamatai, Pietinė atraminė siena, Rytinė atraminė siena ir Šiaurės vakarinė (ŠV) atraminė siena (prie Gedimino bokšto). Matavimams atlikti buvo naudojamos rastos išlikusios 26 sėdimo markės: 6 markės Gedimino bokšte ir PV gynybinės sienos dalyje, 6 markės Kunigaikščių rūmuose, 6 markės Pietinėje atraminėje sienoje, 5 markės Rytinėje atraminėje sienoje ir 3 markės ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto).

Tyrimo metodai – matavimai buvo atlikti II klasės geometrinio niveliavimo metodu, naudojant „LEICA“ firmos nivelyrą NA 3003 bei kodines matuokles. Gauti matavimų rezultatai susisteminti, apdoroti matematiniais-statistiniais metodais, pateikti grafinėmis priemonėmis ir palyginti su ankstesnių matavimų ciklų techninėse ataskaitose pateiktais matavimų rezultatais bei padarytos matavimų išvados.

Daugiamečiai matavimų duomenys (1968 m. lapkričio mėn. – 2008 m. balandžio mėn.) yra paimti iš techinių ataskaitų, kurios buvo rengiamos kiekvieno matavimų ciklo metu. Iš viso per šį laikotarpį (40 metų) buvo atlikti XIII matavimų ciklai. Darbus vykdė UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“. Darbų užsakovas – VĮ „Vilniaus pilių direkcija“. Darbų metu buvo stebimos Gedimino kalno ir jo statinių planinės bei vertikaliosios deformacijos. Šiame darbe pasirinkta nagrinėti tik Aukštutinės pilies statinių vertikaliąsias deformacijas.

Baigiamojo darbo tikslas – atlikti Vilniaus Aukštutinės pilies statinių vertikaliųjų deformacijų matavimus ir ištirti, ar šie statiniai toliau deformuojasi.

Tikslui pasiekti iškelti tokie uždaviniai:

- išnagrinėti techninių ataskaitų medžiagą;
- parengti įvykdytų matavimų techninę ataskaitą;
- apdoroti gautus matavimų duomenis, juos susisteminti ir palyginti su turimais daugiamečiais Vilniaus Aukštutinės pilies matavimų duomenimis, kad būtų galima išsiaiškinti statiniuose vykstančius pokyčius nuo 1968 m. ir nuo 1995 m.;
- apskaičiuoti statiniuose vykstančių vertikaliųjų deformacijų greičius bei prognozuoti deformacijų dydžius 2020 m.;
- išsiaiškinti vykstančių deformacijų priežastis bei patikrinti padarytų išvadų realumą vietovėje;
- išnagrinėti inovatyvius deformacijų stebėjimo būdus;
- turimus duomenis paversti visiems prieinama ir naudinga informacija.

Rezultatų aprobavimas – šio darbo rezultatai buvo pristatyti 19-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, kuri vyko Vilniuje 2016 m. kovo 25 d. bei 10-oje tarptautinėje konferencijoje „Aplinkos inžinerija“, kuri vyko Vilniuje 2017 m. balandžio 27-28 d.

1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA

Norint išsiaiškinti dabartinę Gedimino kalno ir Vilniaus Aukštutinės pilies būklę, deformacijų atsiradimo priežastis, galimus deformacijų matavimo metodus bei nuošliaužų stebėjimo metodus, taip pat matavimų tiklsumą, buvo nagrinėjami moksliniai straipsniai ir darbai. Remiantis surinkta informacija alikta literatūros šaltinių apžvalga.

Surinktose Akcinės bendrovės, vėliau UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“, filialo „Inžinerinė geodezija“ rengtose techninėse ataskaitose, kurios buvo ruošiamos kiekvieno ciklo metu, yra gausu informacijos apie įvykdytus matavimus, jų metodiką ir tikslumą, apie gautus deformacijų dydžius. Po kiekvieno ciklo ataskaitose pateikiamos išvados ir pasiūlymai. Visos šios daugiamečių matavimų techninės ataskaitos yra neįkainojama medžiaga ruošiantis vykdyti naujus matavimus ir norint padaryti gautų vertikaliųjų deformacijų dydžių išvadas, palyginti juos su ankstesnių matavimų ciklų duomenimis (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 07 mėn. – 2000 m. 08 mėn.; *UAB „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 2001 m. 05 mėn. – 2008 m. 04 mėn.).

Žurnalo „STRUCTUM“ straipsnyje analizuojamos Gedimino kalno ir ant jo esančių statinių galimos deformacijų atsiradimo priežastys. Žinant tyrimo objektą, matyti, kad statūs šlaitai, augalai, palikti pūvantys kelmai – visa tai skatina šlaitų eroziją ir nuošliaužas. To pasekmė – šlaito nuošliaužos skatina statinių deformacijas. Nuošliaužų atsiradimui didelę įtaką turi bloga nuotekų kanalizacija, netinkamai atlikti šlaitų stabilizavimo darbai, kalno lankytojų ištrypti augalijos plotai. Taip pat straipsnyje atskleidžiama viena Gedimino kalno saugoma paslaptis – tai požeminiai tuneliai. Šių tunelių būklė neištirta. Ieškant kalno įgriuvų ir nuošliaužų priežasčių, buvo iškelta ir hipotezių, kad jas lėmė būtent šių paslaptingų požemio statinių prasta būklė ir jų konstrukcijų griūtis. Dar viena kalno problema, tikėtina, sukelianti didžiausius padarinius – prastas lietaus vandens surinkimas ir nuvedimas (Lekavičienė 2014).

Žurnalo „Soil Mechanics and Foundation Engineering“ straipsnyje apie dirvožemio mechaniką aprašomas eksperimentinis-analitinis deformacijų skaičiavimo metodas pastatams, esantiems gilių kasinėjimų zonoje (Il’ichev *et al.* 2006). Gedimino kalno teritorijoje į tai svarbu atkreipti dėmesį, nes kalne šlaitų sutvirtinimui ir keltuvo įrengimo metu buvo gręžiami gilūs poliai, o papėdėje (Valdovų Rūmuose) vyko kasinėjimo, griovimo, statybos darbai. Pastatai, esantys šalia tokių zonų, yra nagrinėjami kaip pusiau begalinės ašies objektas su tolygiai paskirstyta apkrova. Sprendimas yra išvesti lygtį, kuri apibūdintų sijos lenkimą – tai Winkler metodas (Il’ichev *et al.* 2006).

Žurnale „International Journal of Remote Sensing“ aprašomas nuotolinis nuošliaužų stebėjimo būdas naudojant antžeminį Sintetinės Apertūros Radarą (SAR). Gaunami didelės skiriamosios gebos vaizdai. Išsami duomenų analizė gautame vaizde leidžia pastebėti lėtai besivystančias

deformacijas. Tyrimų rezultatai rodo, kad SAR naudojimas yra rentabilus nuošliaužų stebėjimo būdas (Leva *et al.* 2003).

Straipsnyje „Determination of the Refraction Influence in Precision Levelling“ pateikiami nauji teoriniai refrakcijos apskaičiavimo samprotavimai, kurių pagrindas – matomosios šviesos virpesių sklidimo kreivės spindulio nustatymas fiksuotame matuoklės lygyje. Precizinėje niveliacijoje refrakcija turi žymios įtakos matavimų rezultatams. Refrakcijos konstanta išreiškiama kaip oro temperatūros, slėgio ir drėgmės vertikalus gradientas. Didžiausią įtaką šviesos virpesių lūžio rodiklio vertikaliajam gradientui turi vertikalusis oro temperatūros gradientas (Skeivalas 2004). Magistrantūros studijų baigiamajame darbe „Niveliavimo skaitmeniniais nivelyrais tiklsumo įvertinimas“ analizuojama daugelio išorinių veiksnių įtaka niveliavimo tiklsumui. Kalbant apie refrakciją, darbe išaiškinta, kad atliekant niveliavimą skaitmeiniu nivelyru Leica NA3003 ir norint išvengti refrakcijos įtakos matavimų rezultatų tiklsumui, atskaita matuoklėje turėtų būti didesnė nei 0,7 m (Lopušanskij 2014). Į tai galima atsižvelgti vykdant suplanuotus matavimus.

Straipsnyje „Vilniaus valstybinio V. Kapsuko universiteto kai kurių senųjų pastatų pamatų sėdimų tyrimas“ pateikiama daug naudingos informacijos apie pagrindinius reikalavimus ir matavimų metodiką, prietaisų pasirinkimą, matavimų tikslumą, naudojamas markes, tyrimo projekto sudarymą, niveliacijos tinklo sudarymą ir t. t. (Zakarevičius *et al.* 1986).

Žurnale „Statyba ir architektūra“ gvildenama tema apie pavojų keliančias grunto nuošliaužas Gedimino kalne (kairėje pusėje prie šaltinio ir dešinėje – šalia dabartinio keltuvo). Pateikiamos nuošliaužų galimos atsiradimo priežastys: padidėjęs šlaito statumas dėl vykstančios erozijos, vykdant darbus greta pasitaikantis vibracinis ar smūginis poveikis, gausūs krituliai, požeminio vandens lygio kitimas, neatsakinga žmonių veikla. Taip pat aprašomi šlaitų sutvirtinimui reikalingų atraminių sienų rengimo būdai bei rodikliai, kurie reikalauja ypatingo dėmesio jas statant (*Vilniaus*<...> 2014).

Mokslinio darbo aprašyme „A General Review of the Deformation Monitoring Techniques and a Case Study: Analysing Deformations Using GPS/LEVELING“ pagal profesijas, kurios naudoja deformacijų stebėjimo metodus, matavimai buvo išskirstyti į grupes: geodeziniai matavimai (precizinė niveliacija, kampų ir atstumų matavimai ir t.t.), fotogrametrinė (sausumos, oro ir skaitmeninė forogrametrija), palydovinė (GPS, InSAR) ir kiti specialūs metodai. Plačiau aptariami matavimai naudojant GPS (Erol *et al.*).

Straipsnyje „Monitoring Vertical Displacements by means of Geometric Levelling“ yra aprašomas senas deformacijų stebėjimo metodas – geometrinis niveliavimas. Teigiama, kad geometrinis niveliavimas yra patikimas ir labai tikslus matavimo metodas. Pateikiamas metodo taikymas vertikaliesiems poslinkiams kontroliuoti penkioms svarbioms istorinėms konstukcijoms (Henriques *et al.* 2001).

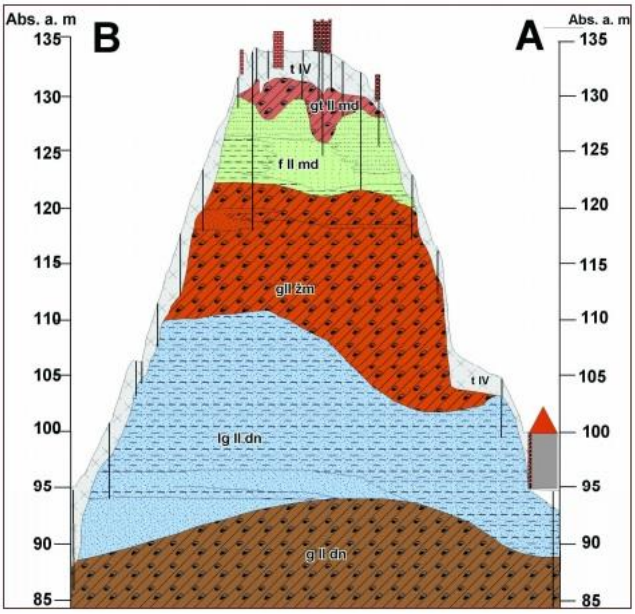
Straipsnyje „Using Multicomponent GPR to Monitor Cracks in a Historical Building“ rašoma apie daugiakomponenčių GPR (ground-penetrating radar) duomenų naudingumą siekiant aptikti plyšius istorinių pastatų sienose ir stebėti jų dinamiką, kurią sukelia lėtai ir nereguliariai judančios nuošliaužos. Tam naudojamos dvipolės antenos. Duomenys tvarkomi skaliariniais algoritmais, kurie koreguojami antenų poveikiu (Orlando *et al.* 2009).

Mokslinio darbo aprašyme „Research on Deformations Measurement Approaches to Bodhisattava Pavilion in Dule Temple“ aprašoma 3D lazerinis skenavimas, kuris yra pritaikomas deformacijoms stebėti. Ši technologija šiuo metu yra labai populiari. Matavimo metu gaunamas taškų debesis. Kiekvieno taško koordinatės nustatomos pagal vertikalių ir horizontalių kampų lazerio spindulį ir atstumu tarp prietaiso ir taško (Chengjun *et al.*).

2. TYRIMO OBJEKTAS

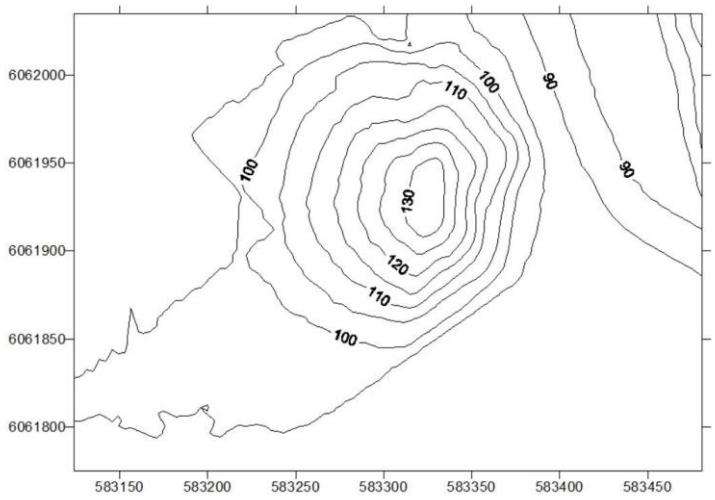
Rašytinių šaltinių nušviesti Vilniaus Aukštutinės pilies istorijai yra mažai. Pirmosios žinios apie pilį yra XIV a. pusės ir siejasi su kryžiuočių antpuoliais į Lietuvą. Pastarųjų metų istorinėse monografijose laikomasi nuomonės, kad pirmoji pilis buvo medinė. Ji aptikta 1938 m. vykdant archeologinius kasinėjimus. Ją sunaikinus, nauja mūrinė pilis buvo pastatyta 1419 m. Pirmieji pilies sienų tvirtinimo darbai buvo pradėti vykdyti XIX a. gale. Remonto metu 1887 m. liepos 3 d. buvo sutvirtinta labiausiai pažeista šiaurės vakarų sienos apatinė dalis. Kabantys akmenys buvo paremti nauja plytų sienele – apdaila, kuri visai užgožė senąjį mūrą. Pirmieji rimti Gedimino kalno pastatų restauracijos darbai buvo vykdyti tarpkariniame laikotarpyje 1929–1930 m. (Dambrauskaitė 1986).

Vilniaus kalvynas – sudėtingų priešpaskutiniojo–paskutiniojo ledlaikių metu vykusių gamtinių procesų tvarinys. Be to, jis labai jautrus. Erozinė Gedimino kalva, pagal jos viršūnėje ir šlaituose gręžtų gręžinių duomenis, suklota iš trijų pagrindinių morenų ir jas skiriančių tarpmoreninių smėlingų sluoksnių (1 pav.). Viršutinė kalną dengianti kaitaus storio (nuo 0,5–1,0 m iki 3–5 m) morena, aptikta po 4–5 m storio technogeniniu sluoksniu, greičiausiai yra tik Medininkų morenos liekanos (apatinė jos dalis). Ją pergręžus, buvo pasiektas smulkus vietomis dulkingas smėlis, kurio 6–8 m sluoksnis dengia antrąją nuo viršaus 10–15 m storio Žemaitijos moreną. Po ja vėl slūgso dulkingo smėlio storymė, o jau po kalną supančia antrosios terasos lyguma aptikta ir trečioji – Dainavos morena (Satkūnas 2010).

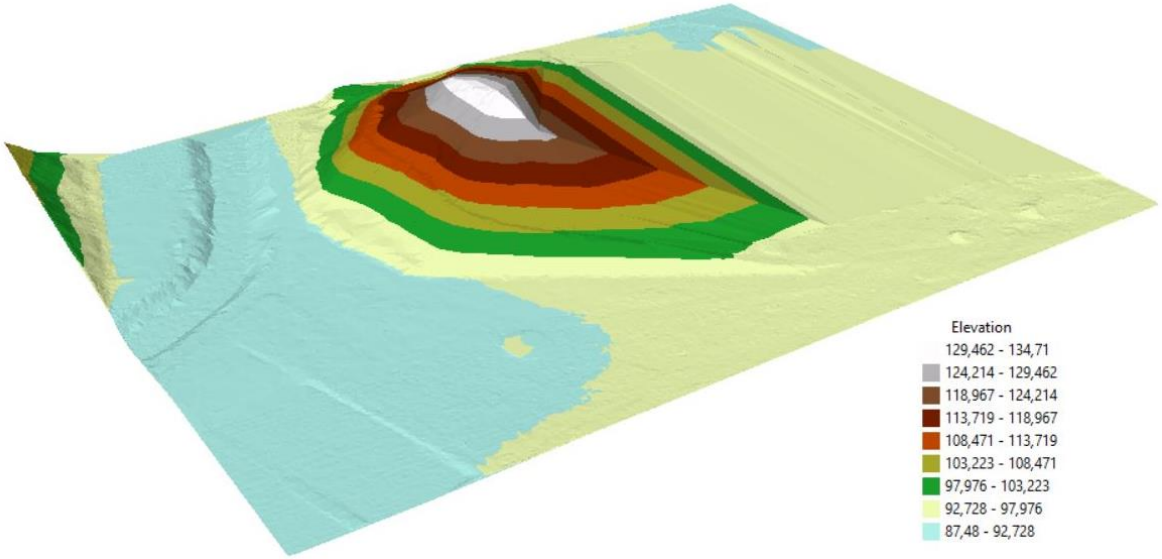


1 pav. Schematiškas geologinis pjūvis, kertantis rytinį Gedimino pilies kalno šlaitą. Geologinių indeksų reikšmės: g II dn – Dainavos ledyno morena; lg II dn – Dainavos ledyno prieledyninių marių nuosėdos: smulkutis ir aleuritingas (dulkingas) smėlis; g II žm – Žemaitijos ledyno morena: priemolis ir priesmėlis su smėlio tarpsluoksniais; f II md – Medininkų ledyno tirpsmo vandenų nuogulos: smulkus, smulkutis, aleuritingas smėlis; gt II md – Medininkų ledyno pakraštinė morena: moreninis priesmėlis; t IV – technogeniniai dariniai (supiltas gruntas). Vertikalios linijos rodo gręžinių vietas ir gylį (Satkūnas 2010)

Naudojant 2015 m. Vilniaus senamiesčio teritorijos LIDAR skenavimo duomenis buvo sukurti Gedimino kalno 2D (2 pav.) ir 3D (3 pav.) paviršiaus vaizdai. 2D vaizdas sukurtas naudojant programinį paketą *Winsurfer*, o 3D vaizdas – *ArcMap*. Iš sukurto 3D modelio matyti, kad didžiausias aukštis kalno viršuje yra 134,71 m virš jūros lygio. Reljefo peraukštėjimas apie 42 m.



2 pav. Gedimino kalno 2D paviršiaus vaizdas (sukurta autoriaus 2016)



3 pav. Gedimino kalno 3D paviršiaus vaizdas (sukurta autoriaus 2016)

Tyrimo objektą sudaro šie Aukštutinės pilies statiniai: Gedimino bokštas ir PV gynybinės sienos dalis, Kunigaikščių rūmai, Pietinio bokšto pamatai, Pietinė atraminė siena, Rytinė atraminė siena ir ŠV atraminė siena (prie Gedimino bokšto).

3. TECHNINIŲ ATASKAITŲ ARCHYVINĖS MEDŽIAGOS APŽVALGA

Kadangi Vilniaus miesto Aukštutinė pilis yra svarbus respublikinės reikšmės paminklas, todėl dar nuo 1968 m. buvo imtasi stebėti kalno ir jo statinių deformacijas. Pirmieji matavimai buvo įvykdyti 1968 m. lapkričio mėn. – pramoninės statybos projektavimo instituto geodezijos skyriaus ir 1976 m. (rugsėjo, lapkričio, gruodžio mėn.) – inžinerinių tyrinėjimų instituto geodezijos I skyriaus. Paskutiniai techninėse ataskaitose aprašomi matavimai buvo atlikti 2008 m. balandį. Patys pirmieji (1968 m. ir 1976 m.) stebėjimo rezultatai nerasti. Šių matavimų duomenys yra pateikti vėlesnėse deformacijų stebėjimo ataskaitose. Iš viso per šį laikotarpį (1968–2008 m.) buvo įvykdyta XIII stebėjimo ciklų: „0“ ciklas – 1968 m. lapkričio mėn., I ciklas – 1976 m. rugsėjo 29 d., II ciklas – 1976 m. lapkričio 16 d., III ciklas – 1976 m. gruodžio 17 d., IV ciklas – 1995 m. liepos 4 d., V ciklas – 1995 m. lapkričio–gruodžio mėn., VI ciklas – 1996 m. rugsėjo mėn., VII ciklas – 1997 m. balandžio mėn., VIII ciklas – 1998 m. balandžio 15 d., IX ciklas – 2000 m. rugpjūčio mėn., X ciklas – 2002 m. balandžio mėn., XI ciklas – 2005 m. balandžio mėn., XII ciklas – 2007 m. rugpjūčio mėn., XIII ciklas – 2008 m. balandžio mėn. Valstybinės įmonės „Vilniaus pilių direkcija“ užsakymu darbus vykdė filialas „Inžinerinė geodezija“ ir kartą uždarosios akcinės bendrovės „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialo „Inžinerinė geodezija“ užsakymu akcinė bendrovė „Panevėžio statybos trestas“.

Techninėse ataskaitose yra minimi du pagrindiniai ciklai, kurių atžvilgiu buvo stebimi deformacijų dydžiai: pirmosios sėdimo markės buvo įtvirtintos „0“ ciklo metu (Gedimino bokšte ir PV gynybinės sienos dalyje, Kunigaikščių rūmuose, Pietinio bokšto pamatuose), o V ciklo metu buvo įtvirtinta daug naujų markių statiniuose, kurie prieš tai nebuvo stebimi (Rytinėje atraminėje sienoje, Pietinėje atraminėje sienoje, ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto)).

Surinkta techninių ataskaitų, kurios buvo ruošiamos kiekvieno ciklo metu, medžiaga naudojama atlikti naujų matavimų metu gautų vertikaliųjų deformacijų analizei ir palyginimui su ankstesniais matavimų ciklų vertikaliųjų deformacijų dydžiais. Techninėse ataskaitose pateikta informacija yra iš įvairių įstaigų: VĮ Vilniaus Pilių direkcijos, Vilniaus pilių valstybinio kutlūrinio rezervato direkcijos Tyrimų skyriaus, UAB „Projektavimų ir restauravimų institutas“, UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“, Nacionalinio muziejaus, UAB „Geostatyba“ bei Lietuvos geologijos tarnybos archyvų. Turima informacija yra tik dalis esamos.

Prie ankstesnių matavimų, duomenų apdorojimo ir medžiagos sistemizavimo prisidėjo šie specialistai: vyresnysis geodezininkas R. Lučiūnas, geodezininkai Zenonas Garška, Česlovas Strazdas, Stasys Tupčiauskas ir inžinierius-geologas A. Pečkaitis.

3.1. Pirmojo „0“ ciklo deformacijų matavimų paruošiamieji darbai 1968 m.

Pramoninės statybos projektavimo instituto vykdyti darbai („0“ ciklas) apėmė visą Gedimino kalną. Deformacijoms stebėti buvo sudarytas keturių atraminių giluminių reperių (Nr. 5656, Nr. 5657, Nr. 5658 ir Nr. 5660) tinklas, kurie tarpusavyje užniveliuoti dvigubu II-os kl. niveliacijos ėjimu, o pradinis absoliutinis aukštis perduotas IV-os kl. niveliacijos ėjimu nuo neįvardinto valstybinio niveliacijos reperio. Aukščiai, kaip teigiama aiškinamajame rašte, išskaičiuoti Baltijos jūros aukščių sistemoje (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 07 mėn.).

Stebimuose objektuose buvo įtvirtinti 15 sieninių ir 17 gruntinių markių, kurios buvo išdėstytos: Gedimino (vakariniame) bokšte ir gynybinėje sienoje – 7 sieninės markės; Kunigaikščių rūmuose – 6 sieninės markės; Šiaurinėje atraminėje sienoje – 1 sieninė markė; Arsenalo šiauriniame korpuse – 1 sieninė markė; pilies kalno šlaituose – 17 gruntinių markių. Iš jų, į tiriamą vietą, patenka 13 sieninių markių (7 Gedimino bokšte ir PV gynybinės sienos dalyje ir 6 Kunigaikščių rūmuose), o į naują matavimų ciklą įtrauktos 12 sieninių markių (6 Gedimino bokšte ir PV gynybinės sienos dalyje (nepanaudota markė Nr. 5636 po grindiniu) ir 6 Kunigaikščių rūmuose) (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 07 mėn.).

Niveliuota kompensaciniu KONI 007 nivelyru, naudojant 3 m ilgio precizines matuokles su invarine dviejų skalių juostele, sudalinta kas 5 mm. Gauta I stoties aukščių skirtumo išmatavimo vidutinė kvadratinė klaida lygi ± 0,21 mm. (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 07 mėn.).

3.2. V ciklo deformacijų matavimai atlikti 1995 m.

Aukštutinės pilies deformacijoms nustatyti šių matavimų metu užniveliuota 21 ženklas, iš kurių 1 gruntinis ir 20 sieninių. 3 iš jų (Nr. 14, 15, 17) įtvirtinti vietoj sunaikintų ženklų (Nr. 5628, 5632, 5), o Nr. 16 įtvirtintas papildomai Šiaurinės gynybinės sienos šiaurinėje pusėje.

IV ir V ciklo metu niveliuota kompensaciniu KONI 007 nivelyru, naudojant 3 m ir 1,6 m ilgio (Zeiso firmos) matuokles su invarinėmis dviejų skalių juostelėmis, sudalintomis kas 5 mm. Nivelyro optinio mikrometro būgneliu matuoklėje galima atskaityti 0,05 mm tikslumu. Niveliuojama buvo dvigubais (prie dviejų instrumento horizontų) vienos krypties II-os kl. ėjimais. Aukščių skirtumo nevienodumas stotyje pagal pagrindinę ir pagalbinę matuoklių skales arba iš skirtingų instrumento horizontų buvo leidžiamas ne daugiau kaip 0,2–0,3 mm. Gautas didžiausias poligono (ėjimo) nesąryšis IV ciklo metu buvo 0,9 mm, o V ciklo – 1,8 mm, esant leistinam ± 2,2 mm (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 07 mėn.).

Įvykdžius 1995 metų liepos mėnesį deformacijų stebėjimų darbus paaiškėjo, kad pagrindiniai pradiniai (išeities) reperiai, vykdant mieste aplinkos tvarkymo darbus, yra užpilti gruntu. Todėl 1995 m. liepos mėnesio ataskaitoje deformacijoms stebėti markių aukščiai buvo pateikti apytikriai, priimant dėmėsin tik vieną išlikusį gruntinį reperį Nr. 5660 (ant kalno viršaus) (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 12 mėn.).

VĮ „Vilniaus pilių direkcijai“ skyrus papildomai lėšų, 1995 metais buvo numatyti atlikti papildomi darbai. Pagal darbų programą buvo numatyta papildomai įbetonuoti sėdimų markes. Programoje taip pat buvo numatyta įrengti paprasto tipo gruntinius ženklus kalno šlaitų planinėms deformacijoms stebėti. Po to, numatyta atrasti ir giluminius (gruntinius) išeities reperius Nr. 2395 ir Nr. 5658. Vykdant darbus, pavyko surasti minėtus giluminius reperius. Reperis Nr. 5658 buvo užpiltas net 1 m grunto sluoksniu. Atradus šiuos reperius ir įvykdžius I-os klasės niveliaciją tarp jų paaiškejo, kad jų aukščiai yra stabilūs ir nesiskiria 0,1 mm nuo 1968 m. (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 1995 m. 12 mėn.).

Užniveliavus gruntinį reperį Nr. 5660, kuris anksčiau tarnavo pradiniu (išeities) reperiu, paaiškėjo, kad jis nuo 1968 m. yra sėdęs 10,9 mm. Todėl vertikaliųjų deformacijų dydžiai, gauti 1995 m. liepos mėnesį yra koreguoti, priimant dėmesin naujus išeities reperius ir pateikti vertikaliųjų deformacijų dydžių žiniaraštyje po „/“ ženklo. Jie ir laikomi galutiniais (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...> 1995 m. 12 mėn.).

1995 metų IV ketvirtyje papildomai įbetonuotas 41 sieninis reperis. Iš jų, į mūsų tiriamą vietą, patenka 18 reperių: 8 Pietinėje atraminėje sienoje, 6 Rytinėje atraminėje sienoje ir 4 ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto). Naujam matavimų ciklui iš jų naudojamos 14 sieninių markių (6 Pietinėje atraminėje sienoje (2 markės nepanaudotos: markė Nr. 8498 po grindiniu; markė Nr. 9455 sunaikinta), 5 Rytinėje atraminėje sienoje (nepanaudota sunaikinta markė Nr. 5492) ir 3 ŠV atraminėje sienoje (nepanaudota sunaikinta markė Nr. 1160n/1160)).

4. VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES VERTIKALIŲJŲ DEFORMACIJŲ MATAVIMŲ (XIV CIKLO) TECHNINĖ ATASKAITA

Labai svarbu ir toliau fiksuoti deformacijų dydžius, kad būtų galima sekti pilies būklę, prognozuoti jos deformacijas. Todėl, praėjus aštuoneriems metams nuo paskutinio XIII ciklo (2008 m. balandžio mėn.), 2016 m. balandžio 6 d. buvo įvykdyti nauji matavimai – XIV matavimų ciklas. Matavimai buvo atliekami siekiant nustatyti Aukštutinės pilies statinių vertikaliąsias deformacijas. Naujo ciklo metu buvo atsisakyta stebėti Šiaurinės sienos vertikaliąsias deformacijas. Šioje sienoje buvo rasta mažai išlikusių sėdimo markių bei išanalizavus ankstesnių matavimų duomenimis buvo sunku padaryti išsamias išvadas apie šios sienos sėdimą (svyrimą). Pietinio bokštų pamatų vertikaliųjų deformacijų taip pat nebuvo galima įvertinti, nes ten esančios sėdimo markės Nr. 8 ir Nr. 9, neatsisuka. Statinių ir sėdimo markių išdėstymo bei niveliavimo schema pateikta A priede.

Prie XIV ciklo darbų vykdymo taip pat prisidėjo inžinieriai-geodezininkai R. Lučiūnas bei R. Šlikas ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto Geodezijos ir kadastro katedros magistrantūros studijų studentas M. Markelionis.

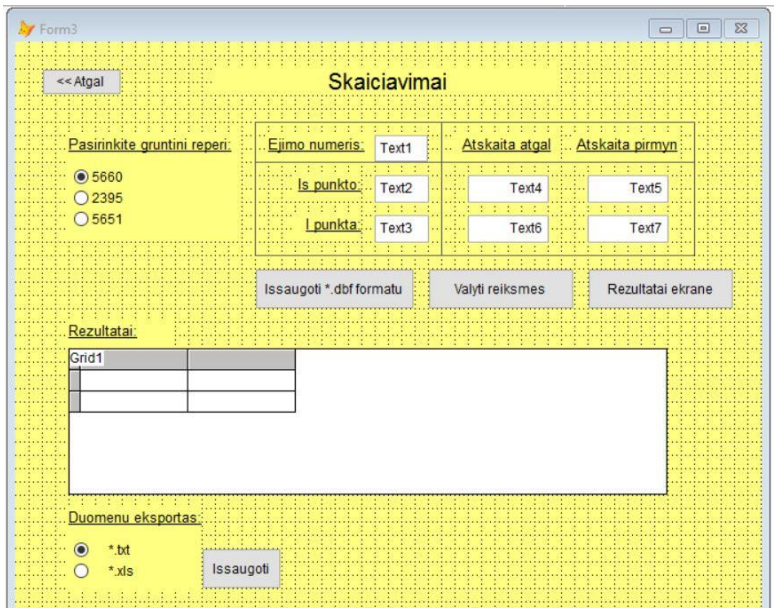
4.1. Vertikaliųjų deformacijų stebėjimo metodika

Matavimai vykdyti pagal II-os kl. geometrinio niveliavimo metodiką sudarant uždarus poligonus. Ėjimų nesąryšiai skaičiuoti pagal formulę: $f_{hl.}$ = 0,5 mm $\sqrt{n}$ (n – stočių skaičius ėjime). Gauti 3-jų ėjimų nesąryšiai: 1-ojo ėjimo nesąryšis yra 0,1 mm, esant leistinam 2,1 mm; 2-ojo ėjimo nesąryšis yra 0,6 mm, esant leistinam 1,9 mm; 3-ojo ėjimo nesąryšis yra 1,3 mm, esant leistinam 1,4 mm pagal II-os kl. geometrinio niveliavimo leistinumą. XIV ciklo matavimai buvo vykdyti laikantis prieš tai buvusių ciklų principinės markių niveliavimo schemos ir nuo tų pačių pradinių reperių. Pradiniu buvo priimtas gruntinis reperis, esantis ant Gedimino kalno Nr. 5660. Vykdant šį ciklą atsirado niveliavimo schemos pasikeitimų dėl atsisakytos stebėti Šiaurinės sienos ir dėl sunaikintų bei neatsisukančių sėdimo markių. Po XIII ciklo matavimų buvo sunaikintos sėdimo markės: Nr. 8498 ir Nr. 9455, esančios Pietinėje atraminėje sienoje; Nr. 5492, esanti Rytinėje atraminėje sienoje; Nr. 1160n/1160, esanti ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto). Taip pat neatsisuka markės: Nr. 8 ir Nr. 9, esančios Pietinio bokšto pamatuose; Nr. 12, esanti Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalyje. Matavimai buvo vykdyti naudojant „LEICA“ firmos nivelyrą NA 3003 (4 pav.) bei kodines matuokles.

	WILD NA3003
Matuoklės	Invarinės
Matavimų tikslumas mm/km	0,4 mm
Atstumo matavimo tikslumas	1 cm
Kompensatorius tipas tikslumas darbo diapazonas	Švytuoklinis 0,3“ 15‘
Matavimų laikas	4s
Matavimų diapazonas m	1,5 - 60m
Monitorius	2 eilučių
Baterijos veikimo trukmė	8 val.
Prietaiso svoris su baterija kg	2,5

4 pav. Nivelyras „LEICA“ NA3003 ir jo charakteristika (Lopušanskij 2014)

Niveliacijos ėjimams išlyginti ir markių aukščiams išskaičiuoti buvo sukurta programa naudojant *Visual FoxPro* programinę įrangą (5, 6 pav.).

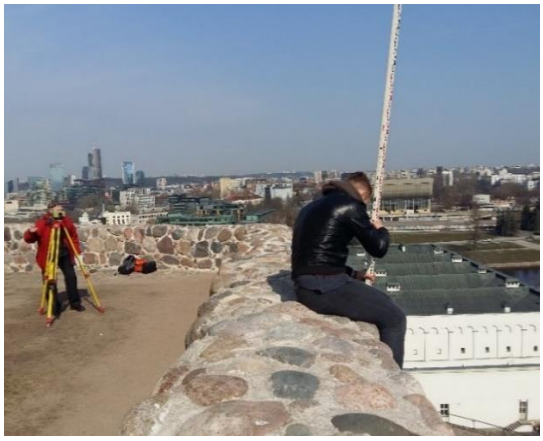


5 pav. Niveliacijos ėjimams skaičiuoti sukurtos programos pagrindinis langas (sukurta autoriaus 2016)

Punktas1	A1	A2	Punktas2	P1	P2	Dh1	Dh2	Dh	Hpat	H
g5660	1.5395	1.5394	4701	0.8369	0.8369	0.7026	0.7026	0.7026	0.7026	134.2280
4701	0.4941	0.4941	x1	2.1565	2.1564	-1.6624	-1.6623	-1.6624	-1.6623	132.5657
x1	0.6278	0.6278	15	1.5367	1.5367	-0.9089	-0.9089	-0.9089	-0.9089	131.6568
15	1.5367	1.5367	x2	1.9882	1.9882	-0.4515	-0.4515	-0.4515	-0.4515	131.2053
x2	1.7728	1.7728	5628	0.7050	0.7050	1.0678	1.0678	1.0678	1.0678	132.2732
5628	1.2787	1.2787	480	1.2120	1.2119	0.0667	0.0668	0.0668	0.0668	132.3400
480	1.2120	1.2119	19	1.1309	1.1309	0.0811	0.0810	0.0811	0.0811	132.4210
19	2.2403	2.2403	3077	1.5552	1.5552	0.6851	0.6851	0.6851	0.6851	133.1062
3077	1.5552	1.5552	5627	0.1717	0.1717	1.3835	1.3835	1.3835	1.3835	134.4897
5627	0.1717	0.1717	300	0.7990	0.7990	-0.6273	-0.6273	-0.6273	-0.6273	133.8625
300	1.4898	1.4898	14	0.7863	0.7863	0.7035	0.7035	0.7035	0.7035	134.5660
14	1.8596	1.8596	319	1.9189	1.9189	-0.0593	-0.0593	-0.0593	-0.0593	134.5067
319	1.9189	1.9189	x3	0.0612	0.0612	1.8577	1.8577	1.8577	1.8577	136.3645
x3	2.5294	2.5294	5630	1.4645	1.4645	1.0649	1.0649	1.0649	1.0649	137.4294
5630	1.4645	1.4645	773	0.9247	0.9246	0.5398	0.5399	0.5399	0.5399	137.9693
773	0.9247	0.9246	x4	0.1371	0.1371	0.7876	0.7875	0.7876	0.7876	138.7569
x4	2.5137	2.5137	43	1.0174	1.0174	1.4963	1.4963	1.4963	1.4963	140.2532
43	1.9075	1.9074	0891	1.2057	1.2057	0.7018	0.7017	0.7018	0.7018	140.9550
0891	1.8990	1.8990	9373	0.3722	0.3722	1.5268	1.5268	1.5268	1.5268	142.4818
9373	0.1850	0.1850	5635	2.0671	2.0671	-1.8821	-1.8821	-1.8821	-1.8821	140.5998
5635	0.1931	0.1931	5634	0.4542	0.4542	-0.2611	-0.2611	-0.2611	-0.2611	140.3387
5634	0.3849	0.3849	5633	0.0780	0.0780	0.3069	0.3069	0.3069	0.3069	140.6456
5633	0.0780	0.0780	5503	0.9416	0.9416	-0.8636	-0.8636	-0.8636	-0.8636	139.7821
5503	0.9416	0.9416	1153	1.6679	1.6679	-0.7263	-0.7263	-0.7263	-0.7263	139.0558
1153	0.1480	0.1480	5363	2.1108	2.1108	-1.9628	-1.9628	-1.9628	-1.9628	137.0930
5363	0.1304	0.1304	xak	2.1083	2.1083	-1.9789	-1.9789	-1.9789	-1.9789	135.1142
xak	0.6831	0.6831	g5660	2.2723	2.2723	-1.5892	-1.5892	-1.5892	-1.5892	133.5250
	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	133.5250
	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	133.5251

6 pav. Sėdimo markių aukščių skaičiavimo rezultatų failas (sukurta autoriaus 2016)

Vykdant matavimus susidūrėme su tokiomis problemomis: statūs šlaitai (7 pav.), sėdimo markės įtvirtintos sunkiai prieinamose ir sunkiai matomose vietose (7 pav.) bei nepalankios oro sąlygos (dėl didelio vėjo buvo sunku stabiliai išlaikyti vertikalią matuoklės padėtį).



7 pav. Problemos vykdant matavimus: sėdimo markės įtvirtintos sunkiai prieinamose vietose (kairėje) bei statūs šlaitai (dešinėje) (fotografuota autoriaus 2016)

Apdorojus matavimų duomenis, rezultatai surašomi į žiniaraščius juos pratęsiant (1 ir 2 lentelės). 1-oje lentelėje pateikiami sėdimo markių, įtvirtintų nuo 1968 m. lapkričio mėn., vertikaliųjų deformacijų dydžiai, o 2-oje lentelėje – įtvirtintų nuo 1995 m. gruodžio mėn. Taip yra dėl to, kad 1995 m. buvo įtvirtinta daug naujų sėdimo markių statiniuose, kurie prieš tai nebuvo stebimi (Rytinėje atraminėje sienoje, Pietinėje atraminėje sienoje, ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto)). Stebimų objektų vertikaliųjų deformacijų dydžiai nustatatomi kaip juose įtvirtintų sėdimo markių aukščių skirtumai, lyginant kiekvieno sekančio matavimų ciklo rezultatus su pradiniu (1968 m. arba 1995 m.) matavimų ciklu. Nuo „0“ ciklo buvo stebimos 16 sėdimo markių, o nuo V ciklo dar 18. Taigi, iš viso tyrimui atlikti buvo naudojamos 34 sėdimo markių vertikaliųjų deformacijų reikšmės, iš kurių 26 buvo naudojamos XIV ciklo matavimams įvykdyti. Pagal šių žiniaraščių duomenis formuluojamos matavimų išvados.

1 lentelė. Sėdimo markių, įtvirtintų nuo 1968 m. lapkričio mėn., vertikaliosios deformacijos (autoriaus interpretacija sudaryta remiantis Vilniaus Aukštutinės pilies deformacijų stebėjimo techninėmis ataskaitomis (1995 – 2008))

Eilės Nr.	Markių Nr.	Pradinis absoliutinis aukštis (m)	**Vertikaliosios deformacijos (mm) nuo 1968 m. arba 1976 m.**													
		„0“ ciklas	I ciklas	II ciklas	III ciklas	IV ciklas	V ciklas	VI ciklas	VII ciklas	VIII ciklas	IX ciklas	X ciklas	XI ciklas	XII ciklas	XIII ciklas	XIV ciklas
		1968. XI	1976 IX.29	1976 XI.16	1976 XII.17	1995 VII.04	1995 XII	1996 VIII	1997 IV	1998 IV	2000 VIII	2002 IV	2005 IV	2007 VIII	2008 IV	2016 IV.06
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Gedimino bokštas ir PV gynybinės sienos dalis																
1.	12	-	137,201	+0,4	+0,9	3,8/6,9 (137,1939)	6,9	7,2	7,6	7,8	10,1	11,0	Neatsisuka			
2.	5615	136,738	3,8	3,4	2,5	4,9/15,6 (136,7224)	15,6	16,8	17,5	17,3	19,5	19,5	19,6	19,6	19,8	17,2
3.	5633	140,669	4,3	4,1	4,6	5,9/16,6 (140,6524)	17,4	17,9	19,3	19,5	21,4	20,3	20,4	20,6	21,3	23,2
4.	5634	140,379	8,8	8,9	9,4	18,8/29,5 (140,3495)	30,2	32,4	32,6	32,6	35,2	34,5	36,4	36,4	37,3	40,1
5.	5635	140,650	11,5	12,9	12,5	26,7/37,2 (140,6126)	38,2	40,9	41,4	41,3	43,7	44,3	45,5	46,0	46,8	50,0
6.	5636	139,067	10,7	11,9	11,0	41,0/52,0 (139,0150)	52,0	Po grindiniu								
7.	5637	138,518	7,3	7,5	6,7	13,1/23,8 (138,4942)	23,8	25,2	26,2	25,5	28,0	28,0	28,0	27,4	29,3	29,7
8.	5638	136,118	2,4	2,3	1,6	+0,1/10,6 (136,1074)	10,6	11,5	11,9	11,5	13,7	13,7	13,8	13,7	14,6	12,2
		Vidurkis	7,0 (n = 7)	6,3 (n = 8)	5,9 (n = 8)	14,3/24,0 (n = 8)	24,3 (n = 8)	21,7 (n = 7)	22,4 (n = 7)	22,2 (n = 7)	24,5 (n = 7)	24,5 (n = 7)	27,3 (n = 6)	27,3 (n = 6)	28,2 (n = 6)	28,7 (n = 6)
Kunigaikščių rūmai																
9.	14n/5628	133,894	4,7	5,4	5,3	5,3/5,3 (134,6196)	5,9	11,6	13,3	13,9	18,0	24,9	28,0	33,3	38,3	59,3
10.	15n/5632	131,678	8,2	-	-	8,2/8,2 (131,6655)	8,8	11,0	11,9	11,8	13,4	14,0	14,0	15,1	15,1	21,2
11.	4701n/5631	133,650	6,0	6,0	6,1	5,7/16,4 (134,2310)	17,5	18,3	18,6	18,0	19,3	19,3	19,3	19,5	19,5	19,5
12.	5626	132,303	3,3	2,7	3,7	7,5/18,3 (132,2847)	18,4	21,3	19,9	19,9	23,6	24,2	24,3	25,2	27,0	29,8
13.	5627	134,563	5,0	5,0	5,7	18,8/29,5 (134,5335)	30,0	34,8	36,4	37,2	40,2	45,2	49,0	53,2	59,3	73,3
14.	5630	137,437	0,6	0,5	0,7	+2,9/7,7 (137,4293)	7,7	8,6	8,8	7,6	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	8,1
		Vidurkis	4,6 (n = 6)	3,9 (n = 5)	4,3 (n = 5)	7,1/14,2 (n = 6)	14,7 (n = 6)	17,6 (n = 6)	18,2 (n = 6)	18,1 (n = 6)	20,9 (n = 6)	23,1 (n = 6)	24,2 (n = 6)	26,2 (n = 6)	28,3 (n = 6)	35,2 (n=6)

1 lentelės tęsinys

Eilės Nr.	Markių Nr.	Pradinis absoliutinis aukštis (m)	Vertikaliosios deformacijos (mm) nuo 1968 m. arba 1976 m.													
		„0“ ciklas	I ciklas	II ciklas	III ciklas	IV ciklas	V ciklas	VI ciklas	VII ciklas	VIII ciklas	IX ciklas	X ciklas	XI ciklas	XII ciklas	XIII ciklas	XIV ciklas
		1968. XI	1976 IX.29	1976 XI.16	1976 XII.17	1995 VII.04	1995 XII	1996 VIII	1997 IV	1998 IV	2000 VIII	2002 IV	2005 IV	2007 VIII	2008 IV	2016 IV.06
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Pietinio bokšto pamatai																
15.	8	-	141,031	0,4	0,6	23,9/34,7 (140,9966)	36,0	37,9	38,3	37,2	37,7	37,9	39,9	42,8	46,7	Neatsis.
16.	9	-	141,289	0,4	0,9	41,4/52,1 (141,2365)	53,3	57,0	57,1	56,8	57,1	57,4	64,7	66,6	Neatsis.	
		Vidurkis	-	0,4 (n = 2)	0,8 (n = 2)	32,7/43,4 (n = 2)	44,7 (n = 2)	47,5 (n = 2)	47,7 (n = 2)	47,0 (n = 2)	47,4 (n = 2)	47,7 (n = 2)	52,3 (n = 2)	54,7 (n = 2)	46,7 (n = 1)	-

Pastabos:

1. Raidė „n“ prie sėdimo markės Nr. pažymi, kad ji įtvirtinta naujai, o trupmenos skaitiklyje (po ženklo „/“) pažymėtas anksčiau toje vietoje buvusios markės Nr.;
2. Ženklas “+” prie vertikaliųjų deformacijų dydžio reiškia, kad markė pakilo;
3. Atstatytoms sėdimo markėms, vietoje sunaikintų, prisumuoti jų vietoje buvusių markių vertikaliųjų deformacijų dydžiai iš prieš tai buvusių matavimų;
4. Grafoje 7 pateikti du vertikaliųjų deformacijų dydžiai: pirmi yra apytikriai (priimant dėmesin tik vieną išlikusį gruntinį reperį), o antri yra gauti ankstesnius aukščius perskaičiavus, pagal atrastų išlikusių 1968 m. įtvirtintų giluminių reperių aukščius. Šie vertikaliųjų deformacijų dydžiai laikomi galutiniais.

2 lentelė. Sėdimo markių, įtvirtintų nuo 1995 m. gruodžio mėn., vertikaliosiso deformacijos (autoriaus interpretacija sudaryta remiantis Vilniaus Aukštutinės pilies deformacijų stebėjimo techninėmis ataskaitomis (1995 – 2008))

Eilės Nr.	Markių Nr.	Pradinis absoliutinis aukštis (m)	**Vertikaliosios deformacijos (mm) nuo 1995 m.**													
		„0“ ciklas	I ciklas	II ciklas	III ciklas	IV ciklas	V ciklas	VI ciklas	VII ciklas	VIII ciklas	IX ciklas	X ciklas	XI ciklas	XII ciklas	XIII ciklas	XIV ciklas
		1968. XI	1976 IX.29	1976 XI.16	1976 XII.17	1995 VII.04	1995 XII	1996 VIII	1997 IV	1998 IV	2000 VIII	2002 IV	2005 IV	2007 VIII	2008 IV	2016 IV.06
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Pietinė atraminė siena																
17.	0891	-	-	-	-	-	140,978	3,3	5,5	5,5	4,6	6,8	7,2	10,8	13,9	22,9
18.	43n/6953	-	-	-	-	-	140,767	3,7 (140,2567)	5,3	3,1	3,9	3,2	6,1	6,3	8,5	7,8
19.	773n/6984	-	-	-	-	-	139,578	3,7 (137,9938)	6,0	5,2	7,7	8,9	13,3	15,8	18,0	24,4
20.	8498	-	-	-	-	-	139,644	Po grindiniu								
21.	9270	-	-	-	-	-	141,005	3,9	6,3	6,3	14,7	17,5	21,8	27,8	31,8	48,7
22.	9373	-	-	-	-	-	142,516	3,8	6,8	6,7	13,4	14,8	16,7	20,6	23,8	34,1
23.	9376	-	-	-	-	-	139,825	3,5	4,6	3,5	9,1	9,4	10,2	12,5	15,9	20,6
24.	9455	-	-	-	-	-	141,249	4,2	7,5	10,4	21,8	25,5	30,5	36,3	41,0	Sunaik.
		Vidurkis						3,7 (n = 7)	6,0 (n = 7)	5,8 (n = 7)	10,7 (n = 7)	12,3 (n = 7)	15,1 (n = 7)	18,6 (n = 7)	21,8 (n = 7)	26,4 (n=6)
Rytinė atraminė siena																
25.	480n/4973	-	-	-	-	-	132,348	1,3	0,5	0,1	0,2	0,7	6,6	7,4	8,6	8,0
26.	19n/5207	-	-	-	-	-	132,652	132,4222	+0,4	+0,4	0,4	0,3	0,4	0,0	0,9	1,2
27.	5492	-	-	-	-	-	133,783	Sunaikintas								
28.	3077n/6907	-	-	-	-	-	132,933	133,1151	0,8	0,1	2,9	3,4	3,4	4,5	6,2	8,9
29.	300n/9295	-	-	-	-	-	134,490	133,8989	2,6	3,5	6,1	2,7	13,8	20,1	23,0	36,4
30.	319n/9337	-	-	-	-	-	134,826	134,5405	2,0	2,2	4,7	10,1	11,6	16,7	19,3	33,8
		Vidurkis							1,1 (n = 5)	1,1 (n = 5)	2,9 (n = 5)	3,4 (n = 5)	7,2 (n = 5)	9,7 (n = 5)	11,6 (n = 5)	17,7 (n = 5)

2 lentelės tęsinys

Eilės Nr.	Markių Nr.	Pradinis absoliutinis aukštis (m)	Vertikaliosios deformacijos (mm) nuo 1995 m.													
		„0“ ciklas	I ciklas	II ciklas	III ciklas	IV ciklas	V ciklas	VI ciklas	VII ciklas	VIII ciklas	IX ciklas	X ciklas	XI ciklas	XII ciklas	XIII ciklas	XIV ciklas
		1968. XI	1976 IX.29	1976 XI.16	1976 XII.17	1995 VII.04	1995 XII	1996 VIII	1997 IV	1998 IV	2000 VIII	2002 IV	2005 IV	2007 VIII	2008 IV	2016 IV.06
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ŠV atraminė siena (prie Gedimino bokšto)																
31.	1153	-	-	-	-	-	139,061	0,5	2,2	1,0	4,9	3,7	4,4	3,9	5,2	5,0
32.	1160n/1160	-	-	-	-	-	136,133	1,5 (136,1291)	3,8	4,9	11,4	15,9	17,1	18,4	19,3	Sunaik.
33.	5503	-	-	-	-	-	139,783	1,2	1,9	0,6	3,5	1,4	1,4	1,4	1,8	2,0
34.	5363	-	-	-	-	-	137,118	2,9	5,6	5,9	13,5	13,7	17,2	17,7	18,7	24,7
		Vidurkis						1,5 (n = 4)	3,4 (n = 4)	3,1 (n = 4)	8,3 (n = 4)	8,7 (n = 4)	10,0 (n = 4)	10,4 (n = 4)	11,3 (n = 4)	10,6 (n=3)

Pastabos:

1. Raidė „n“ prie sėdimo markės Nr. pažymi, kad ji įtvirtinta naujai, o trupmenos skaitiklyje (po ženklo „/“) pažymėtas anksčiau toje vietoje buvusios markės Nr.;
2. Ženklas “+” prie vertikaliųjų deformacijų dydžio reiškia, kad markė pakilo;
3. Atstatytoms sėdimo markėms, vietoje sunaikintų, prisumuoti jų vietoje buvusių markių vertikaliųjų deformacijų dydžiai iš prieš tai buvusių matavimų;
4. Penktajame cikle pateikiami nauji sėdimo markių aukščiai, kurie gauti 1995.07.04 matavimų rezultatus perskaičiavus nuo pradinio giluminio reperio Nr. 5658.

4.2. Stebėjimams įrengtų geodezinių ženklų tipai

Sėdimo markių įrengimui gali būti naudojamos įvairių konstrukcijų markės. Markių konstrukcija parenkama priklausomai nuo jų įrengimo vietų, pastato paskirties, naudojamos niveliavimo metodikos ir kitų faktorių (Ražinskas 1979).

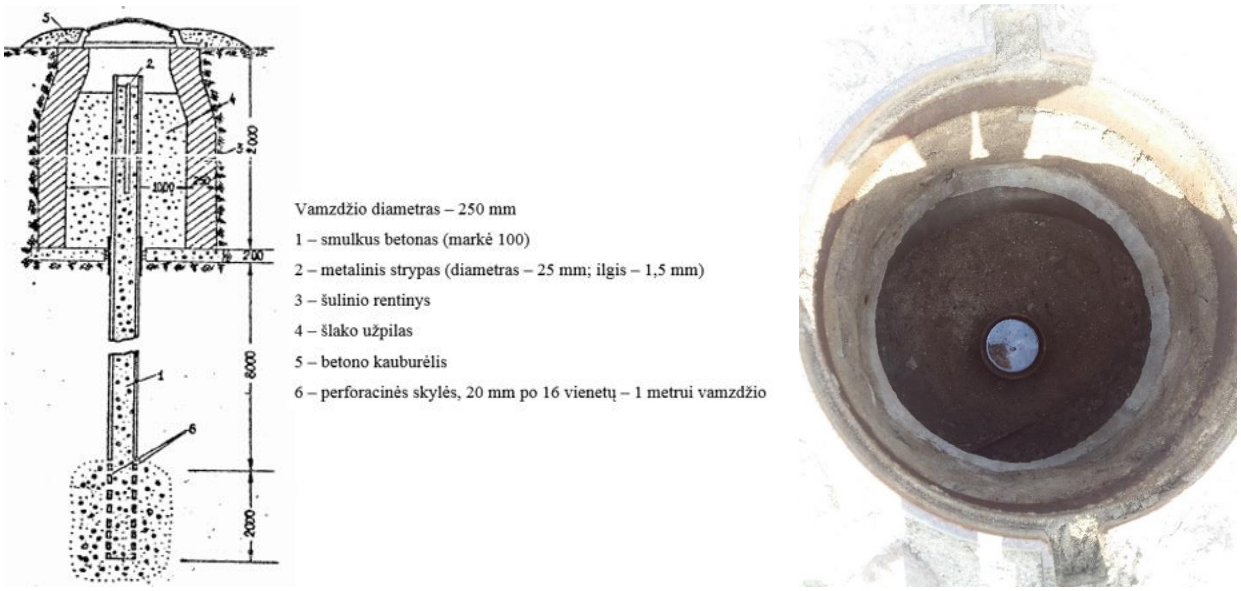
Sudarant niveliacijos tinklą, vietovėje tvirtinami dviejų tipų nuolatiniai stebėjimo ženklai: sieniniai arba gruntiniai reperiai.

Sieninis reperis – tai metalinis strypas, įbetonuotas į pastato pamatą arba kitokio kapitalinio statinio vertikalųjį paviršių 0,4–0,5 m aukštyje virš žemės. Išsikišančioji reperio dalis baigiasi apvalia galvute arba horizontalia briauna. Niveliuojant sieninį reperį, matuoklė statoma ant jo išorinės dalies. Kai kuriose valstybinio niveliacijos tinklo linijose įtvirtintos sieninės markės, kurios iš sienos neišsikiša. Niveliuojama tokios markės centre esanti skylutė naudojant pakabinamą matuoklę.

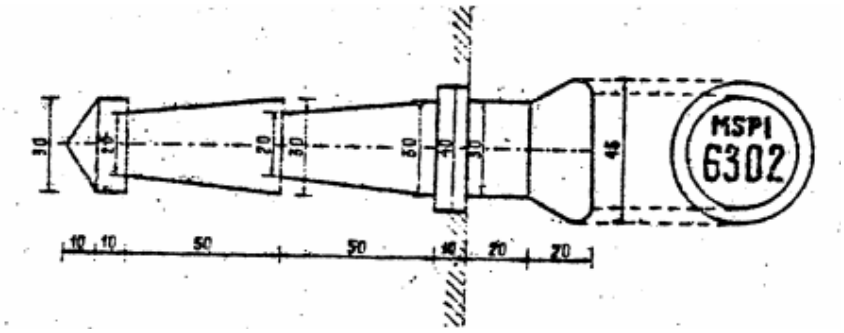
Gruntinį repeį sudaro gelžbetoninis stulpas, įtvirtintas į betoninę plytą. Reperio apačia turi būti 0,5 m žemiau giliausio įšalo. Stulpo viršutinė briauna įgilinama 0,5 m. Šioje briaunoje įbetonuota metalinė markė ant kurios niveliuojant statoma matuoklė. Šalia reperio įkasamas iš žemės kyšantis atpažinimo ženklas.

Ženklai įrengti nuosėdžių matavimams vadinami sėdimo markėmis, o ženklai nuo kurių atliekamas sėdimo markių niveliavimas sudaro išeities tinklą, kurie įrengiami ne sėdimų zonos ribose (Ražinskas 1979).

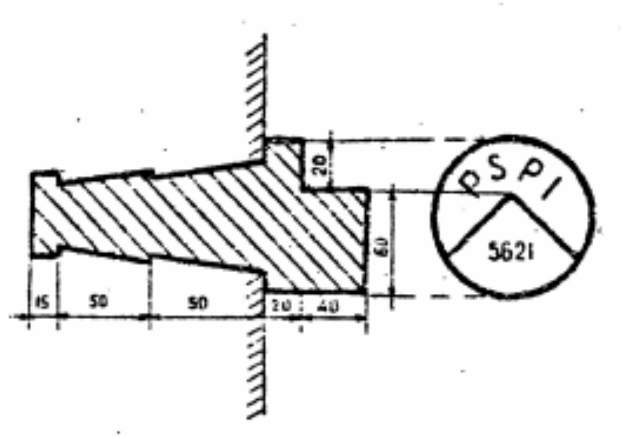
Žemiau pavaizduoti giluminiai reperiai, sėdimo markės ir sieniniai reperiai, kurie buvo naudojami Vilniaus Aukštutinės pilies vertikaliųjų deformacijų matavimams atlikti (8–11 pav.).



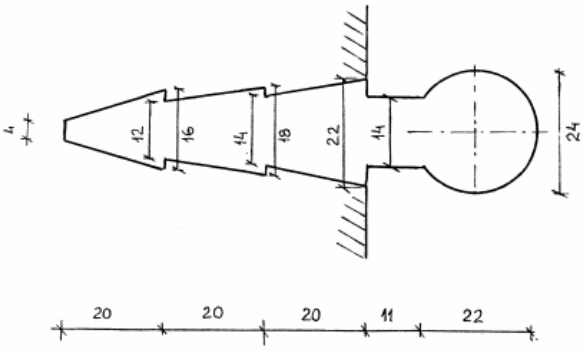
8 pav. Giluminis reperis (*UAB „Inžineriniai tyrinėjimai.*<...>“ 2007 (kairėje); fotografuota autoriaus 2016 (dešinėje))



9 pav. Sieninis reperis (*UAB „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 2007 (kairėje); fotografuota autoriaus 2016 (dešinėje))



10 pav. I tipo sieninis reperis (*UAB „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 2007 (kairėje); fotografuota autoriaus 2016 (dešinėje))



11 pav. 1995 m. sėdimo markė (*UAB „Inžineriniai tyrinėjimai* <...>“ 2007 (kairėje); fotografuota autoriaus 2016 (dešinėje))

4.3. XIV matavimų ciklo išvados

4.3.1. Vertikaliųjų deformacijų analizė 1968 m. lapkričio mėn. atžvilgiu

Gedimino bokštas ir PV gynybinės sienos dalis vidutiniškai sėdo 28,7 mm (0,5 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Daugiausiai sėdo markė Nr. 5635 – 50,0 mm (3,2 mm nuo priešpaskutinio ciklo), mažiausiai sėdo markė Nr. 5638 – 12,2 mm (+2,4 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Priešpaskutinio XIII ciklo atžvilgiu daugiausiai sėdo markė Nr. 5635 – 3,2 mm, mažiausiai sėdo markė Nr. 5637 – 0,4 mm. Markė Nr. 5636 po grindiniu, markė Nr. 12 neatsisuka.

Kunigaikščių rūmai vidutiniškai sėdo 35,2 mm (6,9 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Daugiausiai sėdo markė Nr. 5627 – 73,3 mm (14,0 mm nuo priešpaskutinio ciklo), mažiausiai sėdo markė Nr. 5630 – 8,1 mm (+2,7 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Priešpaskutinio XIII ciklo atžvilgiu daugiausiai sėdo markė Nr. 14n/5628 – 21,0 mm, markė Nr. 4701n/5631 nesėdo visai.

Pietinio bokšto pamatai XIV ciklo metu nebegalėjo būti stebimi dėl to, kad abi čia esančios sėdimo markės neatsisuka. XIII ciklo matavimų duomenimis Pietinio bokšto pamatai vidutiniškai sėdo 46,7 mm. Čia, ties sėdimo marke Nr. 9, fiksuojamos vertikaliosios deformacijos dažniausiai buvo pačios didžiausios.

XIV ciklo matavimų duomenimis (per 48 metus) vidutiniškai daugiausiai iš statinių sėdo Kunigaikščių rūmai (35,2 mm), mažiausiai – Gedimino bokštas ir PV gynybinės sienos dalis (28,7), apie Pietinio bokšto pamatų vertikaliųjų deformacijų dydžius nėra. Didžiausios vertikaliosios deformacijos nustatytos ties sėdimo marke Nr. 5627 (Kunigaikščių rūmuose) – 73,3 mm, mažiausios ties marke Nr. 5630 (Kunigaikščių rūmuose) – 8,1 mm. Priešpaskutinio XIII ciklo atžvilgiu (per 8 metus) daugiausiai sėdo markė Nr. 14n/5628 (Kunigaikščių rūmuose) – 21,0 mm, markė Nr. 4701n/5631 (Kunigaikščių rūmuose) nesėdo visai.

4.3.2. Vertikaliųjų deformacijų analizė 1995 m. gruodžio mėn. atžvilgiu

Pietinė atraminė siena vidutiniškai sėdo 26,4 mm (4,6 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Daugiausiai sėdo markė Nr. 9270 – 48,7 mm (16,9 mm nuo priešpaskutinio ciklo), mažiausiai sėdo markė Nr. 43n/6953 – 7,8 mm (+0,7 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Priešpaskutinio XIII ciklo atžvilgiu daugiausiai sėdo markė Nr. 9270 – 16,9 mm, mažiausiai sėdo markė Nr. 43n/6953 – +0,7 mm. Sėdimo markė Nr. 8498 po grindiniu, sėdimo markė Nr. 9455 sunaikinta.

Rytinė atraminė siena vidutiniškai sėdo 17,7 mm (6,1 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Daugiausiai sėdo markė Nr. 300n/9295 – 36,4 mm (13,4 mm nuo priešpaskutinio ciklo), mažiausiai sėdo markė Nr. 19n/5207 – 1,2 mm (0,3 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Priešpaskutinio XIII ciklo

atžvilgiu daugiausiai sėdo markė Nr. 319n/9337 – 14,5 mm, mažiausiai sėdo markė Nr. 19n/5207 – 0,3 mm. Sėdimo markė Nr. 5492 sunaikinta.

ŠV atraminė siena (prie Gedimino bokšto) vidutiniškai sėdo 10,6 mm (+0,7 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Daugiausiai sėdo markė Nr. 5363 – 24,7 mm (6,0 mm nuo priešpaskutinio ciklo), mažiausiai sėdo markė Nr. 5503 – 2,0 mm (0,2 mm nuo priešpaskutinio ciklo). Priešpaskutinio XIII ciklo atžvilgiu daugiausiai sėdo markė Nr. 5363 – 6,0 mm, mažiausiai sėdo markės Nr. 1153 ir Nr. 5503 – atitinkamai +0,2 mm ir 0,2 mm. Sėdimo markė Nr. 1160n/1160 sunaikinta.

XIV ciklo matavimų duomenimis (per 21 metus) vidutiniškai daugiausiai iš statinių sėdo Pietinė atraminė siena (26,4 mm), mažiausiai – ŠV atraminė siena (prie Gedimino bokšto) (10,6 mm). Didžiausios vertikaliosios deformacijos nustatytos ties sėdimo marke Nr. 9270 (Pietinėje atraminėje sienoje) – 48,7 mm, mažiausios ties marke Nr. 19n/5207 (Rytinėje atraminėje sienoje) – 1,2 mm. Priešpaskutinio XIII ciklo atžvilgiu (per 8 metus) daugiausiai sėdo markė Nr. 9270 (Pietinėje atraminėje sienoje) – 16,9 mm, mažiausiai sėdo markės Nr. 1153 ir Nr. 5503 (ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto)) – atitinkamai +0,2 mm ir 0,2 mm.

5. VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES STATINIŲ VERTIKALŲJŲ DEFORMACIJŲ DYDŽIŲ ANALIZĖ

Norint vaizdžiau pateikti 1-oje ir 2-oje lentelėse pateiktus matavimų rezultatus, nuspręsta juos pateikti grafiškai (12, 13, 15–18 pav.). Pagal grafikus, galima pamatyti kiekvienos sėdimo markės vertikaliųjų deformacijų dydžius laiko atžvilgiu bei prognozuoti plyšių atsiradimo vietas. Siekiant geriau ištirti statinių pokyčius, statiniai vaizduojami pagrindinių ašių kryptimis. Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies, Kunigaikščių rūmų ir Pietinio bokšto pamatų vertikaliųjų deformacijų grafikuose IV ciklo vertikaliosios deformacijos nuo III ciklo vertikaliųjų deformacijų labai skiriasi. Taip yra dėl to, kad radus ir užniveliavus giluminį reperį (kuris anksčiau tarnavo pradiniu (išeities) reperiu), paaiškėjo, kad jis nuo 1968 m. yra sėdęs 10,9 mm. Todėl vertikaliosios deformacijos, gautos 1995 m. liepos mėn., yra koreguotos. Šie vertikaliųjų deformacijų dydžiai laikomi galutiniais (*Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai* <...> 1995 m. 12 mėn.). Grafikai braižyti su IV ciklo koreguotais vertikaliųjų deformacijų dydžiais.

Vertikaliųjų deformacijų prognozavimui skaičiuojami sėdimo markių vertikaliųjų deformacijų greičiai pagal formulę (Пандул 2008.):

$$\upsilon_i = \frac{S_i}{t} \tag{5.1}$$

čia υ_i – vidutinis metinis greitis (mm/m.), i – sėdimo markės numeris, S_i – i-tosios sėdimo markės vertikaliųjų deformacijų dydis (mm), t – laikas per kurį įvyko vertikaliosios deformacijos (m.).

Pastatų vidutiniai vertikaliųjų deformacijų greičiai skaičiuojami pagal formulę (Пандул 2008.):

$$\upsilon_{vid.} = \frac{\sum_i^n \upsilon_i}{n} \tag{5.2}$$

čia n – sėdimo markių skaičius statinyje.

Vertikaliųjų deformacijų greičių skaičiavimų rezultatai pateikti tokioje lentelėje. Iš šių skaičiavimų rezultatų galime prognozuoti deformacijų dydžius ateityje.

3 lentelė. Vertikaliųjų deformacijų greičiai

Markių Nr.	0-I ciklai	I-II ciklai	II-III ciklai	III-IV ciklai	IV-V ciklai	V-VI ciklai	VI-VII ciklai	VII-VIII ciklai	VIII-IX ciklai	IX-X ciklai	X-XI ciklai	XI-XII ciklai	XII-XIII ciklai	XIII-XIV ciklai	0-XIII ciklai	0-XIV ciklai
Gedimino bokštas ir PV gynybinės sienos dalis																
12	-	3,00	6,00	0,42	0,00	0,45	0,60	0,20	0,99	0,54	Neatsisuka					
5615	0,49	3,00	10,80	0,70	0,00	1,80	1,05	0,20	0,94	0,00	0,03	0,00	0,30	0,33	0,50	0,36
5633	0,55	1,50	6,00	0,65	1,60	0,75	2,10	0,20	0,81	0,66	0,03	0,09	1,05	0,24	0,54	0,49
5634	1,12	0,75	6,00	1,08	1,40	3,30	0,30	0,00	1,11	0,42	0,63	0,00	1,35	0,35	0,95	0,85
5635	1,47	10,50	4,80	1,33	2,00	4,05	0,75	0,10	1,03	0,36	0,40	0,21	1,20	0,40	1,19	1,05
5636	1,37	9,00	10,80	2,21	0,00	Po grindiniu										
5637	0,93	1,50	9,60	0,92	0,00	2,10	1,50	0,70	1,07	0,00	0,00	0,26	2,85	0,05	0,74	0,63
5638	0,31	0,75	8,40	0,48	0,00	1,35	0,60	0,40	0,94	0,00	0,03	0,04	1,35	0,30	0,37	0,26
Vidutinis	0,75	3,75	7,80	0,97	0,63	1,97	0,99	0,26	0,98	0,28	0,17	0,10	1,35	0,28	0,72	**0,61**
Kunigaikščių rūmai																
14n/5628	0,60	5,25	1,20	0,00	1,20	8,55	2,55	0,60	1,76	4,14	1,03	2,27	7,50	2,63	0,97	1,25
15n/5632	1,05	-	-	-	1,20	3,30	1,35	0,10	0,69	0,36	0,00	0,47	0,00	0,76	0,38	0,45
4701n/5631	0,77	0,00	1,20	0,55	2,20	1,20	0,45	0,60	0,56	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,49	0,41
5626	0,42	4,50	12,00	0,79	0,20	4,35	2,10	0,00	1,59	0,36	0,03	0,39	2,70	0,35	0,68	0,63
5627	0,64	0,00	8,40	1,28	1,00	7,20	2,40	0,80	1,29	3,00	1,27	1,80	9,15	1,75	1,50	1,55
5630	0,08	0,75	2,40	0,38	0,00	1,35	0,30	1,20	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,27	0,17
Vidutinis	0,59	2,10	5,04	0,6	0,97	4,33	1,53	0,55	1,21	1,31	0,39	0,84	3,23	0,97	0,72	**0,74**
Pietinio bokšto pamatai																
8	-	3,00	2,40	1,83	2,60	2,85	0,60	1,10	0,21	0,12	0,67	1,24	5,85	Neatsis.	1,18	Neatsis.
9	-	3,00	6,00	2,76	2,40	5,55	0,15	0,30	0,13	0,18	2,43	0,81	Neatsis.			
Vidutinis		3,00	4,2	2,30	2,50	4,20	0,38	0,7	0,17	0,15	1,55	1,03	5,85	-	1,18	-

3 lentelės tęsinys

Markių Nr.	0-I ciklai	I-II ciklai	II-III ciklai	III-IV ciklai	IV-V ciklai	V-VI ciklai	VI-VII ciklai	VII-VIII ciklai	VIII-IX ciklai	IX-X ciklai	X-XI ciklai	XI-XII ciklai	XII-XIII ciklai	XIII-XIV ciklai	0-XIII ciklai	0-XIV ciklai
Pietinė atraminė siena																
0891	-	-	-	-	-	4,95	3,30	0,00	0,39	1,32	0,13	1,54	4,65	1,13	0,35	0,48
43n/6953	-	-	-	-	-	5,55	2,40	2,20	0,34	0,42	0,97	0,09	3,30	0,09	0,22	0,16
773n/6984	-	-	-	-	-	5,55	3,45	+0,80	1,07	0,72	1,47	1,07	3,30	0,80	0,46	0,51
8498	-	-	-	-	-	Po grindiniu										
9270	-	-	-	-	-	5,85	3,60	0,00	3,60	1,68	1,43	2,57	6,00	2,11	0,81	1,03
9373	-	-	-	-	-	5,70	4,50	0,10	2,87	0,84	0,63	1,67	4,80	1,29	0,60	0,72
9376	-	-	-	-	-	5,25	1,65	1,10	2,40	0,18	0,27	0,99	5,10	0,59	0,40	0,44
9455	-	-	-	-	-	6,30	4,95	2,90	4,89	2,22	1,67	2,49	7,05	Sunaik.	1,04	Sunaik.
Vidutinis	-	-	-	-	-	5,59	3,41	1,01	2,22	1,05	0,94	1,48	4,89	1,00	0,55	**0,56**
Rytinė atraminė siena																
480n/4973	-	-	-	-	-	1,95	1,20	0,40	0,04	0,30	1,97	0,34	1,80	0,08	0,22	0,17
19n/5207	-	-	-	-	-	-	0,60	0,00	0,34	0,06	0,03	0,17	1,35	0,04	0,02	0,03
5492	-	-	-	-	-	Sunaikintas										
3077n/6907	-	-	-	-	-	-	1,20	0,70	1,20	0,30	0,00	0,47	2,55	0,34	0,16	0,19
300n/9295	-	-	-	-	-	-	3,90	0,90	1,11	2,04	3,70	2,70	4,35	1,68	0,58	0,77
319n/9337	-	-	-	-	-	-	3,00	0,20	1,07	3,24	0,50	2,19	3,90	1,81	0,49	0,71
Vidutinis	-	-	-	-	-	1,95	1,98	0,44	0,75	1,19	1,24	1,17	2,79	0,77	0,29	**0,37**
ŠV atraminė siena (prie Gedimino bokšto)																
1153	-	-	-	-	-	0,75	2,55	1,20	1,67	0,72	0,23	0,21	1,95	0,03	0,13	0,11
1160n/1160	-	-	-	-	-	2,25	3,45	1,10	2,79	2,70	0,40	0,56	1,35	Sunaik.	0,49	Sunaik.
5503	-	-	-	-	-	1,80	1,05	1,30	1,24	1,26	0,00	0,00	0,60	0,03	0,05	0,45
5363	-	-	-	-	-	4,35	4,05	0,30	3,26	0,12	1,17	0,21	1,50	0,75	0,47	0,52
Vidutinis	-	-	-	-	-	2,29	2,78	0,98	2,24	1,20	0,45	0,25	1,35	0,27	0,29	**0,22**

5.1. Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies vertikaliųjų deformacijų analizė

Pirmoje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 5638, Nr. 5615 ir Nr. 12 (išsidėsčiusių Gedimino bokšto PV gynybinės sienos vakarinėje dalyje pietų – šiaurės kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. Pirmosios ašies vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (12 pav.). Iš grafiko matomas didesnis vertikaliųjų deformacijų šuolis tarp VIII ir IX ciklų. Sėdimo markių Nr. 5638 ir Nr. 12 (markės esančios ašies šonuose) vertikaliosios deformacijos visuose stebėjimų cikluose buvo mažesnės negu markės Nr. 5615 (markė esanti ašies viduryje).

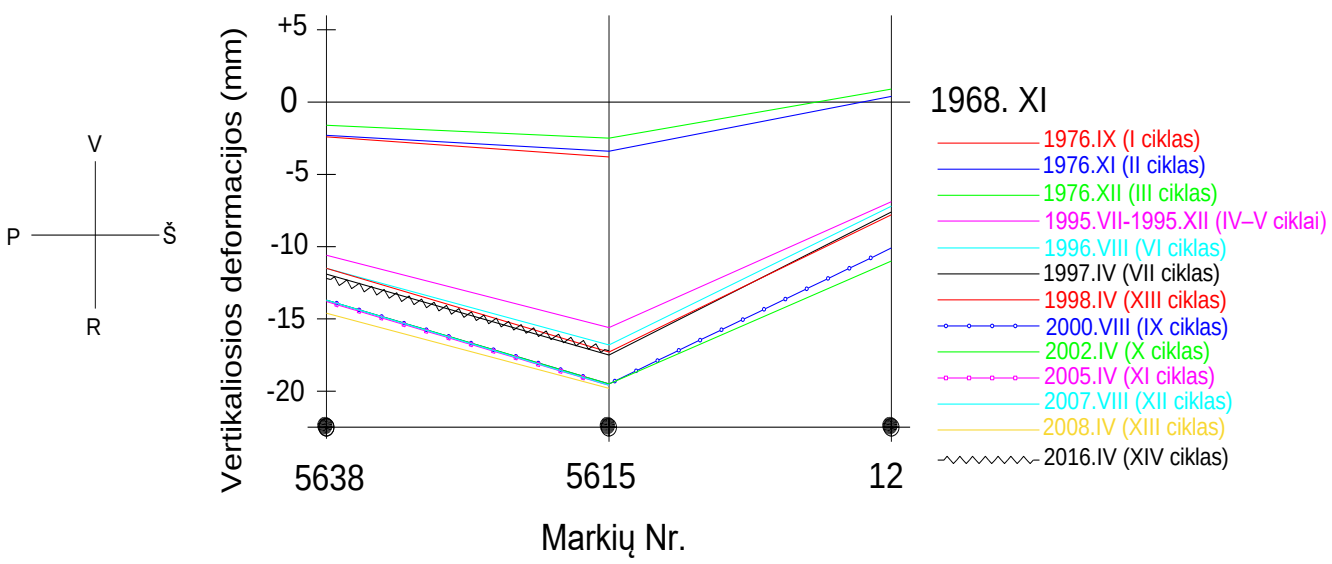
Antroje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 5633, Nr. 5634 ir Nr. 5635 (išsidėsčiusių Gedimino bokšto šiaurės rytinėje sienoje šiaurės – pietryčių kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. Antrosios ašies vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (12 pav.). Iš grafiko matyti, kad visų ciklų metu, sėdimo markės Nr. 5633 vertikaliosios deformacijos buvo pačios mažiausios, o sėdimo markės Nr. 5635 – didžiausios.

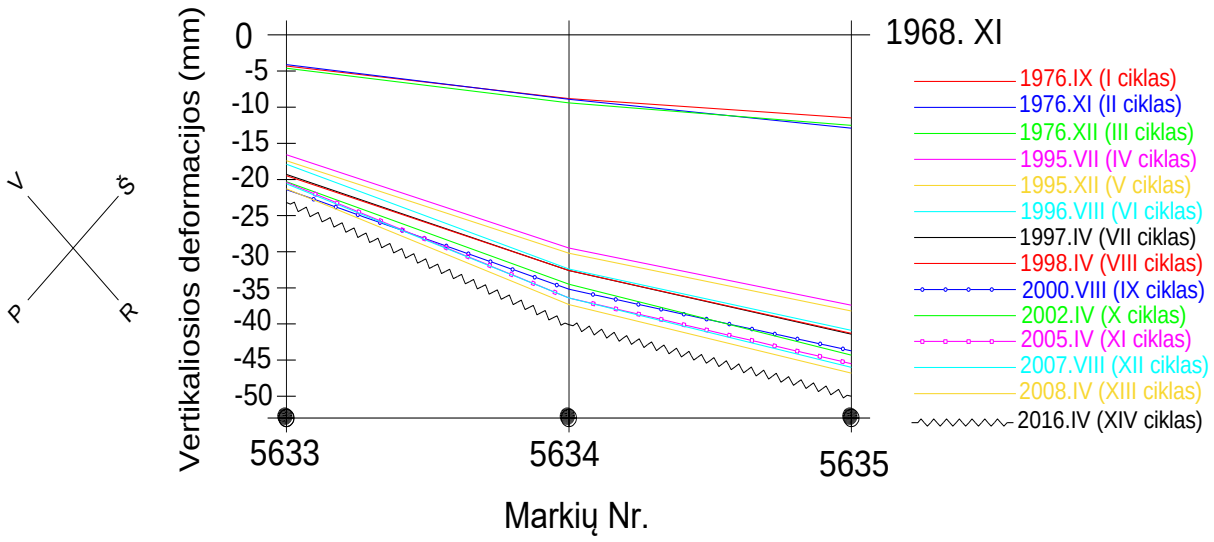
Trečioje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 5638, Nr. 5637 ir Nr. 5636 (išsidėsčiusių Gedimino bokšto PV gynybinės sienos dalyje vakarų – rytų kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. Trečiosios ašies vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (12 pav.). Iš grafiko matyti, kad iki VI ciklo, sėdimo markės Nr. 5636 (kuri VI ciklo metu buvo užklota grindiniu) vertikaliosios deformacijos buvo pačios didžiausios, o nuo VI ciklo dižiausios vertikaliosios deformacijos buvo ties sėdimo marke Nr. 5637. Sėdimo markės Nr. 5638 visų ciklų metu vertikaliosios deformacijos buvo pačios mažiausios.

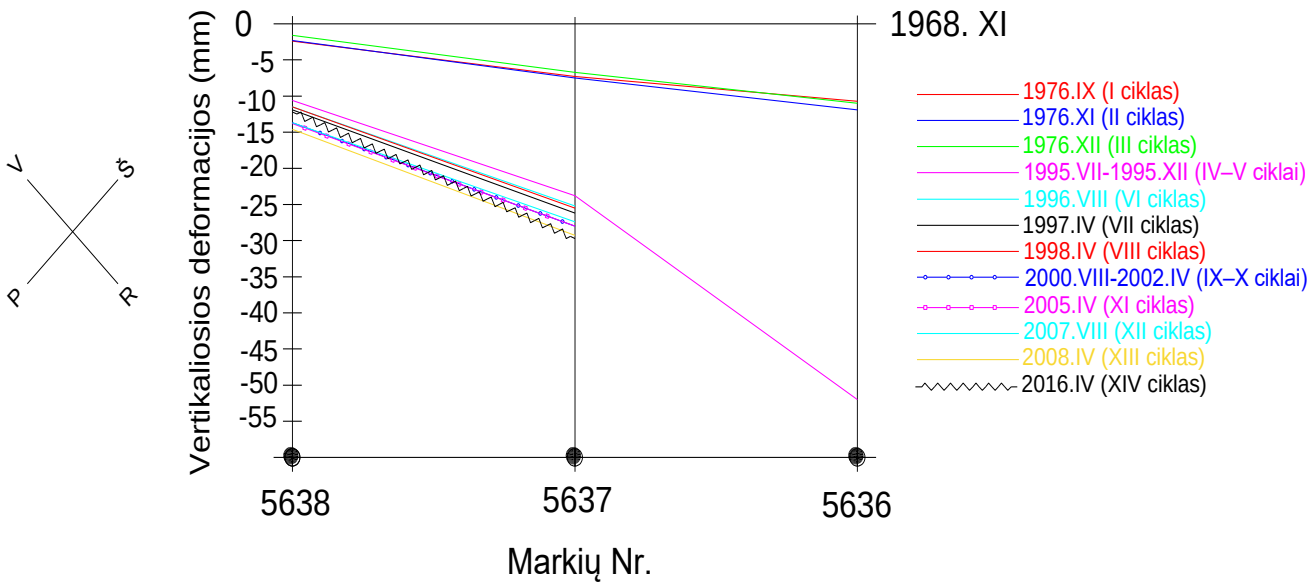
Pagal 3-ios lentelės duomenis:

- techninėse ataskaitose aprašytų matavimų ciklų metu (nuo 1968 m. iki 2008 m.) Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,72 mm/m.;
- nuo priešpaskutinio iki naujai įvykdyto (nuo 2008 m. iki 2016 m.) ciklo vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,28 mm.;
- nuo pačio pirmojo iki naujai įvykdyto (nuo 1968 m. iki 2016 m.) vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis kito nuo 0,10 mm/m. iki 7,80 mm/m. Vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,61 mm/m.

Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies vertikaliosios deformacijos gali pasiekti 31,1 mm.







12 pav. Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies vertikaliosios deformacijos

5.2. Kunigaikščių rūmų vertikaliųjų deformacijų analizė

Pirmoje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 5630, Nr. 4701n/5631 ir Nr. 15n/5632 (išsidėsčiusių Kunigaikščių rūmų vakarinėje sienoje pietų – šiaurės kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (13 pav.). Palyginus su priešpaskutiniu ciklu, XIV ciklo metu matomas didelis vertikaliųjų deformacijų skirtumas ties sėdimo marke Nr. 15n/5632. Iš grafiko matyti, kad pirmuosius tris ciklus didžiausios vertikaliosios deformacijos buvo ties sėdimo marke Nr. 15n/5632, o mažiausios ties marke Nr. 5630; sekančius ciklus didžiausios vertikaliosios deformacijos buvo ties marke Nr. 4701n/5631 lyginant su markėmis Nr. 5630 ir Nr. 15n/5632; paskutinio ciklo metu didžiausios vertikaliosios deformacijos yra ties marke Nr. 15n/5632, mažiausios ties marke Nr. 5630.

Antroje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 14n/5628, Nr. 5627 ir Nr. 5626 (išsidėsčiusių Kunigaikščių rūmų rytinėje sienoje pietų – šiaurės kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (13 pav.). Palyginus su priešpaskutiniu ciklu, XIV ciklo metu matomas didelis vertikaliųjų deformacijų skirtumas ties sėdimo markėmis Nr. 14n/5628 ir Nr. 5627. Iki IV ciklo šios sienos vertikaliosios deformacijos buvo tolygios, o po IV ciklo tapo netolygios. Sėdimo markių Nr. 14n/5628 ir Nr. 5626 (markės esančios ašies šonuose) vertikaliosios deformacijos visuose stebėjimų cikluose buvo mažesnės negu sėdimo markės Nr. 5627 (markė esanti ašies viduryje).

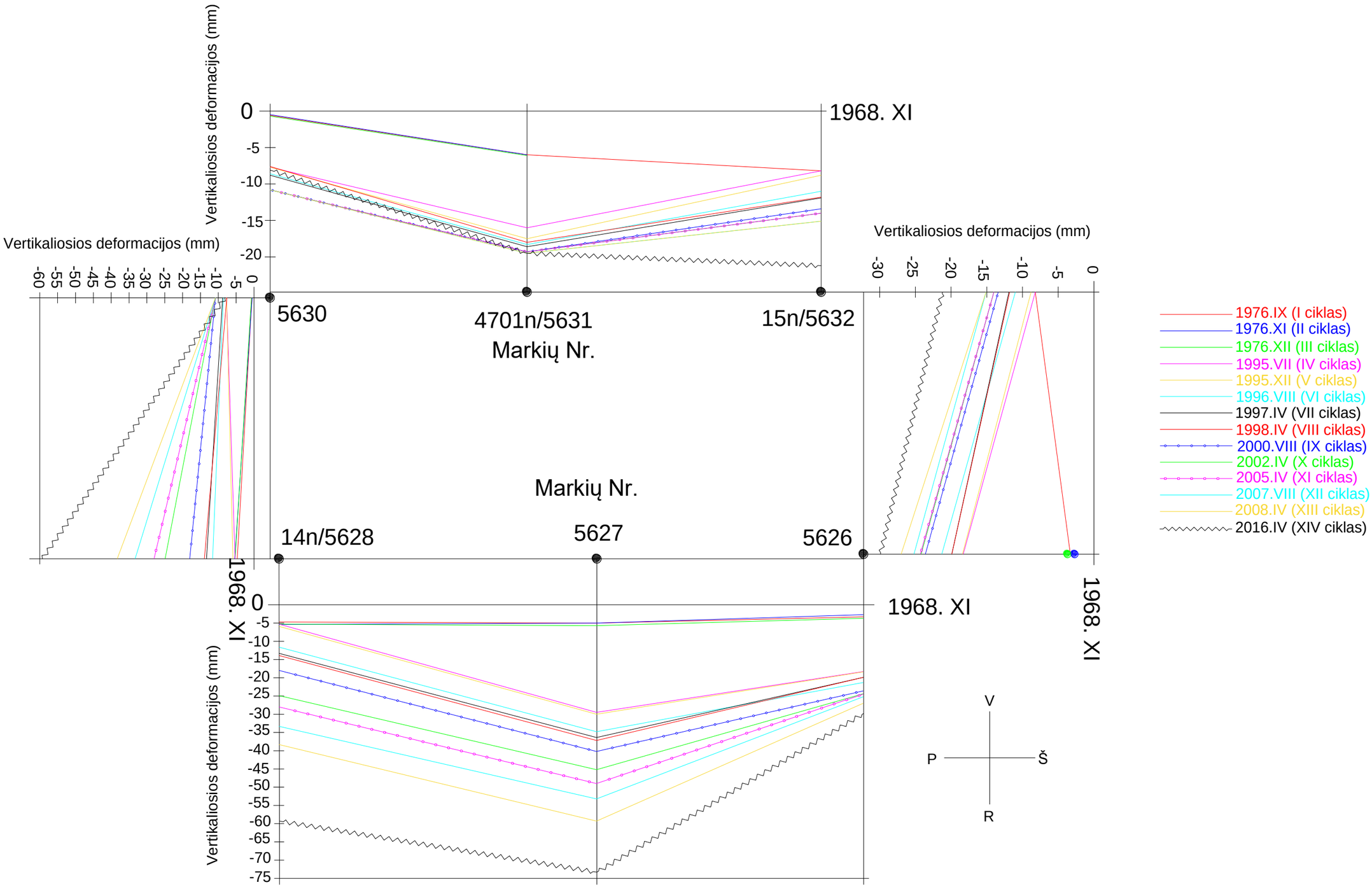
Trečioje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 15n/5632 ir Nr. 5626 (išsidėsčiusių Kunigaikščių rūmų šiaurinėje sienoje vakarų – rytų kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta.Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (13 pav.). Iš grafiko matyti, kad nuo I iki IV ciklo didesnės vertikaliosios deformacijos buvo ties marke Nr. 15n/5632, o visus likusius ciklus – markės Nr. 5626.

Ketvirtoje statinio ašyje esančių sėdimo markių Nr. 5630 ir Nr. 14n/5628 (išsidėsčiusių Kunigaikščių rūmų pietinėje sienoje vakarų – rytų kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (13 pav.). Palyginus su priešpaskutiniu ciklu, XIV ciklo metu matomas didelis vertikaliųjų deformacijų skirtumas ties sėdimo marke Nr. 14n/5628. Iš grafiko matyti, kad nuo I iki III ciklo didesnės vertikaliosios deformacijos buvo ties marke Nr. 14n/5628, sekančius du ciklus – ties marke Nr. 5630, o po to visus likusius ciklus – vėl ties marke Nr. 14n/5628. Sėdimo markė Nr. 5630 buvo stabili palyginus su marke Nr. 14n/5628.

Pagal 3-ios lentelės duomenis:

- techninėse ataskaitose aprašytų matavimų ciklų metu (nuo 1968 m. iki 2008 m.) Kunigaikščių rūmų vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,72 mm/m.;
- nuo priešpaskutinio iki naujai įvykdyto (nuo 2008 m. iki 2016 m.) ciklo vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,97 mm.;
- nuo pačio pirmojo iki naujai įvykdyto (nuo 1968 m. iki 2016 m.) vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis kito nuo 0,39 mm/m. iki 5,04 mm/m. Vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,74 mm/m.

Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. Kunigaikščių rūmų vertikaliosios deformacijos gali pasiekti 38,2 mm.



13 pav. Kunigaikščių rūmų vertikaliosios deformacijos

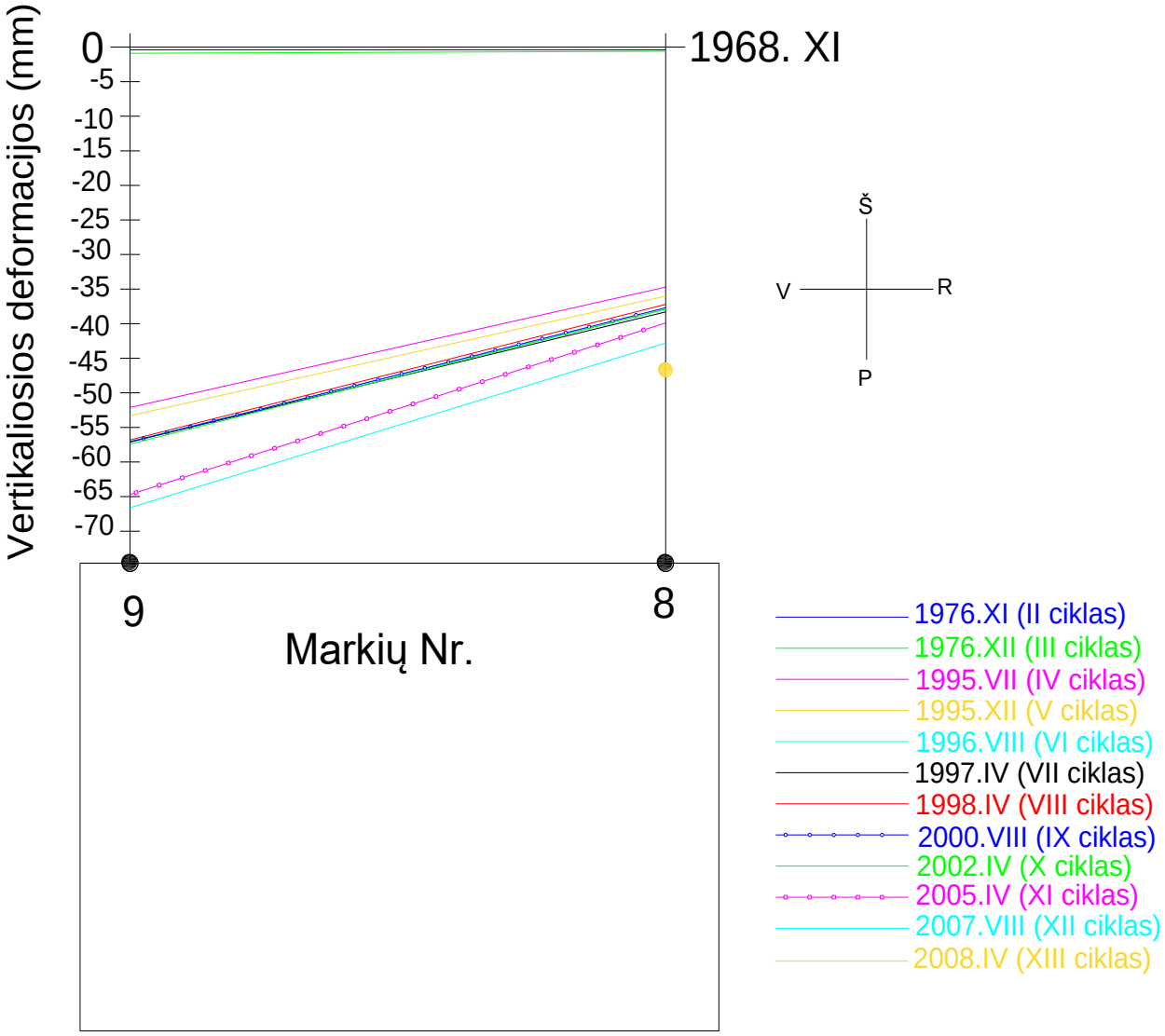
5.3. Pietinio bokšto pamatų vertikaliųjų deformacijų analizė

Vykdant XIV ciklo darbus, nuvykus prie tiriamo objekto, rastos tik jo liekanos. Sėdimo markės Nr. 8 ir Nr. 9 išlikusios, tačiau nebeatsisuka (14 pav.). Dėl to, naujų matavimų duomenimis, apie Pietinio bokšto pamatus negalima padaryti išsamių išvadų.

Nuo I iki XIII ciklo sėdimo markių Nr. 9 ir Nr. 8 (išsidėsčiusių Pietinio bokšto pamatų šiaurinėje sienoje vakarų – rytų kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu buvo ganėtinai vienodos – ryškių anomalijų nepastebėta. vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (15 pav.). Pirmuosius du ciklus čia buvo stebimos tolygios statinio vertikaliosios deformacijos, o veliau – netolygios. Iš grafiko matyti, kad nuo IV iki XIII ciklo didesnės vertikaliosios deformacijos buvo ties marke Nr. 9 lyginant su markės Nr. 8 vertikaliųjų deformacijų dydžiais.

14 pav. Pietinio bokšto pamatuose esanti nebeatsisukanti sėdimo markė Nr. 8 (fotografuota autoriaus 2016)

Pagal 3-ios lentelės duomenis nuo 1968 m. iki 2016 m. vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis kito nuo 0,15 mm/m. iki 4,20 mm/m. Iki XIII ciklo Pietinio bokšto pamatų vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis buvo 1,03 mm/m.



15 pav. Pietinio bokšto pamatų vertikaliosios deformacijos

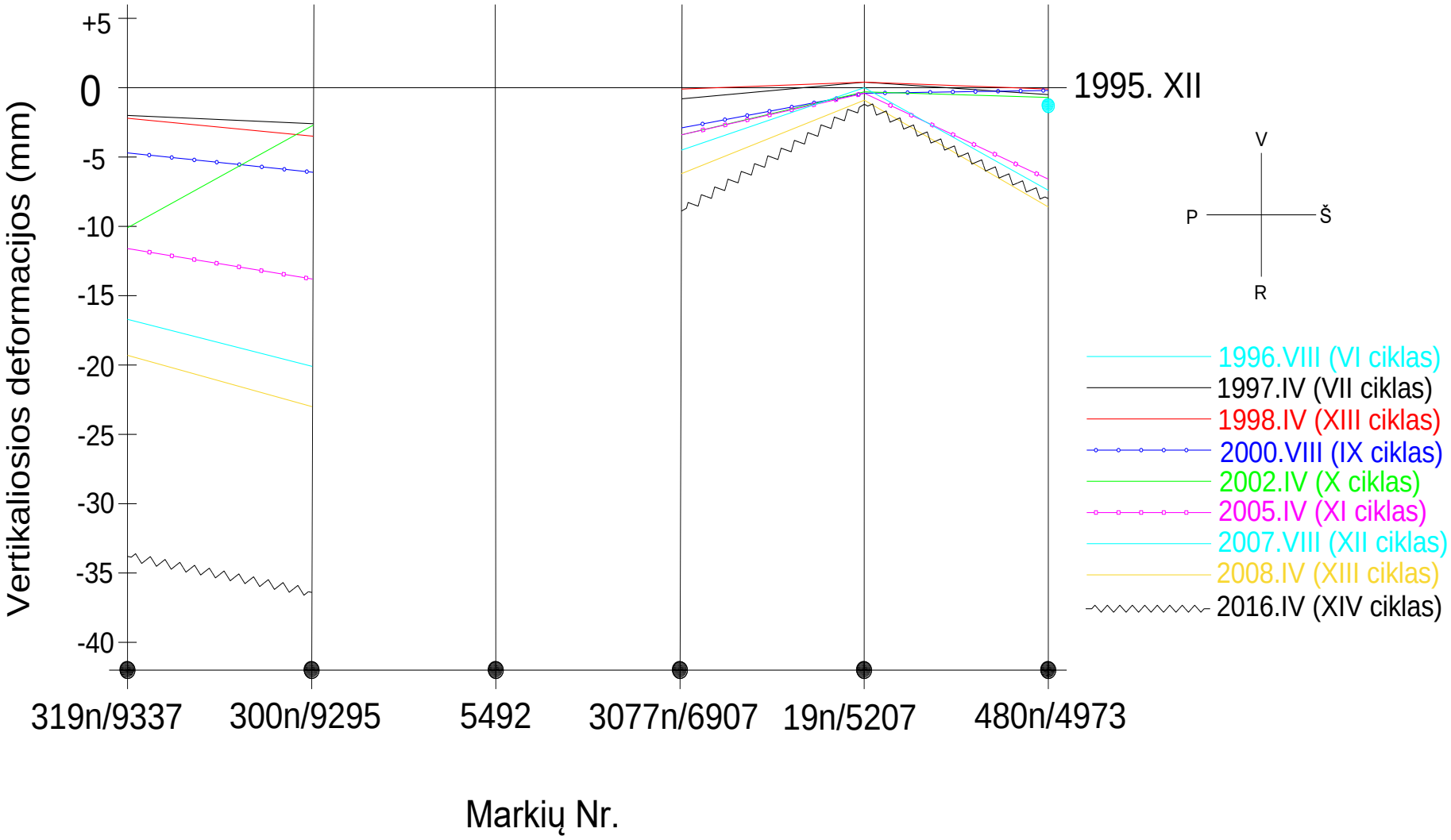
5.4. Rytinės atraminės sienos vertikaliųjų deformacijų analizė

Sėdimo markių Nr. 319n/9337, Nr. 300n/9295, Nr. 5492, Nr. 3077n/6907, Nr. 19n/5207 ir Nr. 480n/4973 (išsidėsčiusių Rytinėje atraminėje sienoje pietų – šiaurės kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo nebuvo labai tolygios. Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (16 pav.). X ciklo vertikaliųjų deformacijų dydis (kryptis) ties sėdimo marke Nr. 300n/9295 skiriasi nuo kitų ciklų. Iš grafiko matyti, kad vertikaliosios deformacijos šioje sienoje netolygios. Didžiausios vertikaliosios deformacijos ties sėdimo marke Nr. 300n/9295, mažiausios ties marke Nr. 19n/5207.

Pagal 3-ios lentelės duomenis:

- techninėse ataskaitose aprašytų matavimų ciklų metu (nuo 1995 m. iki 2008 m.) Rytinės atraminės sienos vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,29 mm/m.;
- nuo priešpaskutinio iki naujai įvykdyto (nuo 2008 m. iki 2016 m.) ciklo vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,77 mm.;
- nuo pačio pirmojo iki naujai įvykdyto (nuo 1995 m. iki 2016 m.) vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis kito nuo 0,44 mm/m. iki 2,79 mm/m. Vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,37 mm/m.

Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. Rytinės atraminės sienos vertikaliosios deformacijos gali pasiekti 19,2 mm.



16 pav. Rytinės atraminės sienos vertikaliosios deformacijos

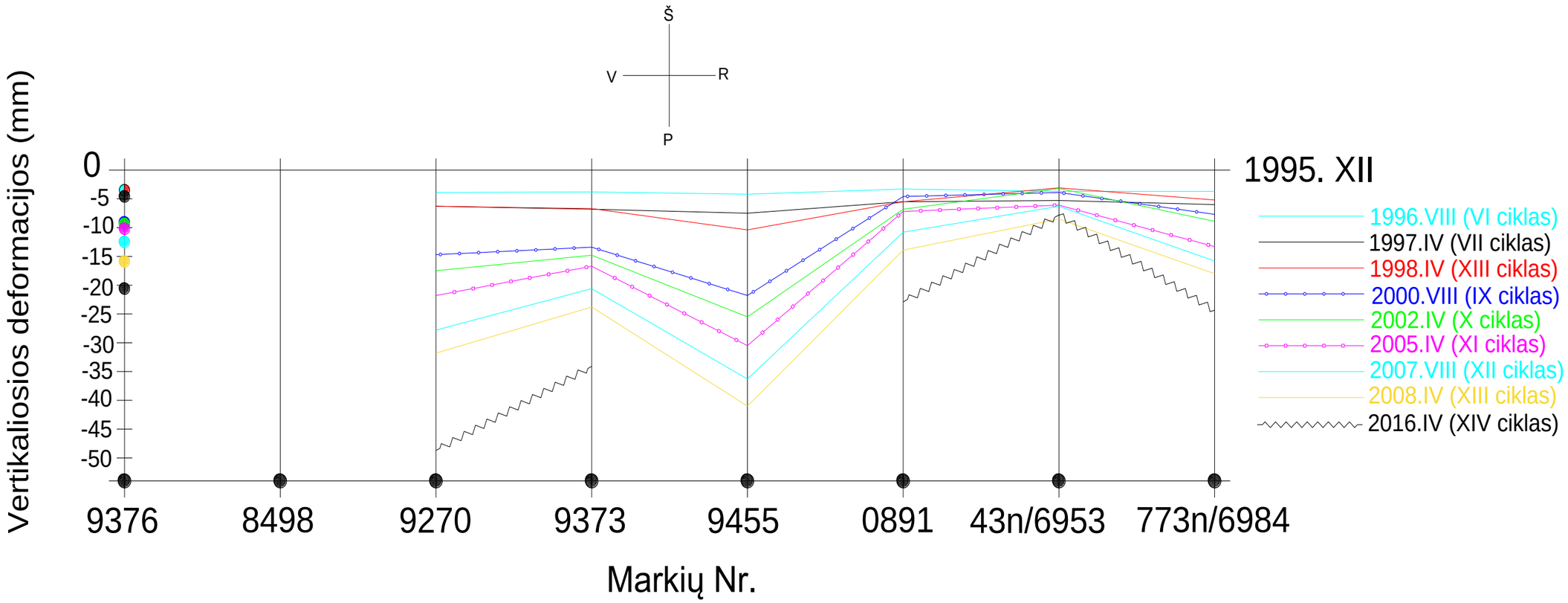
5.5. Pietinės atraminės sienos vertikaliųjų deformacijų analizė

Sėdimo markių Nr. 9376, Nr. 8498, Nr. 9270, Nr. 9373, Nr. 9455, Nr. 0891, Nr. 43n/6953 ir Nr. 773n/6984 (išsidėsčiusių Pietinėje atraminėje sienoje vakarų – rytų kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo nebuvo labai vienodos. Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (17 pav.). Tarp VIII ir IX ciklų vertikaliųjų deformacijų matomas didesnis šuolis (ties sėdimo markėmis Nr. 9376, Nr. 9270, Nr. 9373 ir Nr. 9455). Palyginus su priešpaskutiniu ciklu, XIV ciklo metu matomas didelis vertikaliųjų deformacijų skirtumas ties sėdimo markėmis Nr. 9270, Nr. 9373 ir Nr. 0891. Iš grafiko matyti, kad šios sienos vertikaliosios deformacijos netolygios.

Pagal 3-ios lentelės duomenis:

- techninėse ataskaitose aprašytų matavimų ciklų metu (nuo 1995 m. iki 2008 m.) Pietinės atraminės sienos vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,55 mm/m.;
- nuo priešpaskutinio iki naujai įvykdyto (nuo 2008 m. iki 2016 m.) ciklo vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 1,00 mm.;
- nuo pačio pirmojo iki naujai įvykdyto (nuo 1995 m. iki 2016 m.) vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis kito nuo 0,94 mm/m. iki 5,59 mm/m. Vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,56 mm/m.

Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. Pietinės atraminės sienos vertikaliosios deformacijos gali pasiekti 28,6 mm.



17 pav. Pietinės atraminės sienos vertikaliosios deformacijos

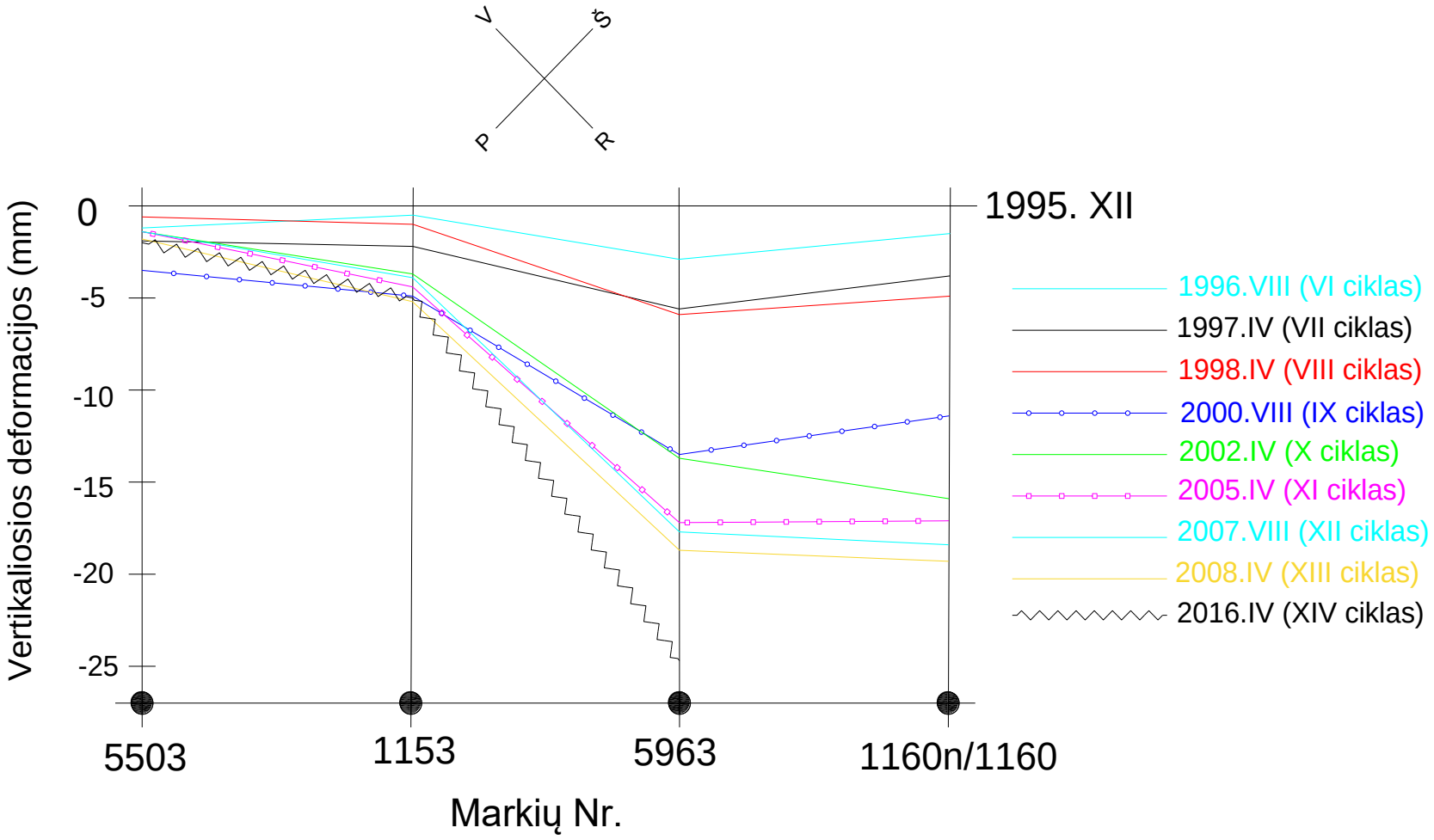
5.6. ŠV atraminės sienos (prie Gedimino bokšto) vertikaliųjų deformacijų analizė

Sėdimo markių Nr. 5503, Nr. 1153, Nr. 5363 ir Nr. 1160n/1160 (išsidėsčiusių ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto) pietvakarių – šiaurės rytų kryptimi) vertikaliosios deformacijos laiko atžvilgiu nuo I iki XIV ciklo buvo ganėtinai vienodos. Vertikaliųjų deformacijų dydžiai pavaizduoti grafiškai (18 pav.). Tarp VIII ir IX ciklų vertikaliųjų deformacijų matomas didesnis šuolis ties sėdimo markėmis Nr. 5963 ir Nr. 1160n/1160; tarp IX ir X ciklų – ties sėdimo marke Nr. 1160n/1160; tarp X ir XI ciklų – ties sėdimo marke Nr. 5963. Palyginus su priešpaskutiniu ciklu, XIV ciklo metu matomas didelis vertikaliųjų deformacijų skirtumas ties sėdimo marke Nr. 5963. Iš grafiko matyti, kad vertikaliosios deformacijos šioje sienoje nėra tolygios.

Pagal 3-ios lentelės duomenis:

- techninėse ataskaitose aprašytų matavimų ciklų metu (nuo 1995 m. iki 2008 m.) ŠV atraminės sienos (prie Geidmino bokšto) vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,29 mm/m.;
- nuo priešpaskutinio iki naujai įvykdyto (nuo 2008 m. iki 2016 m.) ciklo vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,27 mm.;
- nuo pačio pirmojo iki naujai įvykdyto (nuo 1995 m. iki 2016 m.) vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis kito nuo 0,25 mm/m. iki 2,78 mm/m. Vertikaliųjų deformacijų vidutinis greitis – 0,22 mm/m.

Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. ŠV atraminės sienos (prie Geidmino bokšto) vertikaliosios deformacijos gali pasiekti 11,5 mm.



18 pav. ŠV atraminės sienos (prie Gedimino bokšto) vertikaliosios deformacijos

5.7. Vertikaliųjų deformacijų išvados

2016 m. balandžio 6 d. vertikaliųjų deformacijų matavimų duomenų pagrindu išbraižytos visų statinių rezultatų schemos, kuriose schematiškai pavaizduotos vertikaliųjų deformacijų kryptys bei išbraižytos vertikaliųjų deformacijų dydžių horizontalės jungiančios vienodas dydžių reikšmes. Schemos pateiktos B ir C prieduose. Schemose vertikaliųjų deformacijų kryptys išbraižytos atsižvelgiant į rezultatų lentelės vertikaliųjų deformacijų dydžius, o horizontalės – pagal IDW (*Inverse Distance Weighted*) metodu sukurtą aukščių modelį naudojant *ArcMap* programinį paketą. Sudarytose schemose vizualiau matyti Aukštutinės pilies statinių, kaip satinių visumos esančios ant Gedimino kalno, vertikaliųjų deformacijų dydžius, kryptis bei statinių elgseną.

Norint patikrinti, ar naudojant gautus matavimų bei sukurtus grafinius duomenis, padarytos išvados yra teisingos, buvo apžiūrėtas tiriamasis objektas. Statiniuose buvo rasti plyšiai, kurie tik patvirtina netolygias statinių vertikaliąsias deformacijas. Patys didžiausi plyšiai (19 pav.) rasti Kunigaikščių rūmų pietinėje sienoje tarp sėdimo markių Nr. 5630 ir Nr. 14n/5628 bei rytinėje sienoje tarp sėdimo markių Nr. 14n/5628 ir Nr. 5627, kur ir buvo užfiksuotos pačios didžiausios vertikaliosios deformacijos nuo priešpaskutinių ciklų (ties sėdimo marke Nr. 14n/5628).

19 pav. Kairėje: plyšys, esantis rytinės Kunigaikščių rūmų sienos pietinėje dalyje; dešinėje: plyšys esantis pietinėje Kunigaikščių rūmų sienoje (fotografuota autoriaus 2016)

6. VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES DEFORMACIJŲ ATSIRADIMO PRIEŽASTYS IR JŲ ŠALINIMAS

Kadangi statinių deformacijos gali priklausyti nuo daugelių išorinių – gamtinių ir technogeninių faktorių, svarbu juos išsiaiškinti.

Gamtiniams faktoriams priskiriama (Ražinskas 1979):

- nevienoda statinio pagrindo geologinė struktūra;
- gruntų savybė susispausti bei jų poslinkiai horizontalioje padėtyje (nuošliaužos);
- grunto pakilimas (pūtimasis) dėl šalčio įtakos, drėgmės įtakos bei grunto atšilimo;
- hidrometeorologinės sąlygos, t. y. temperatūrų svyravimai: sezoniniai bei daugiamečiai, gruntinio vandens lygio pokytis bei grunto drėgmė.

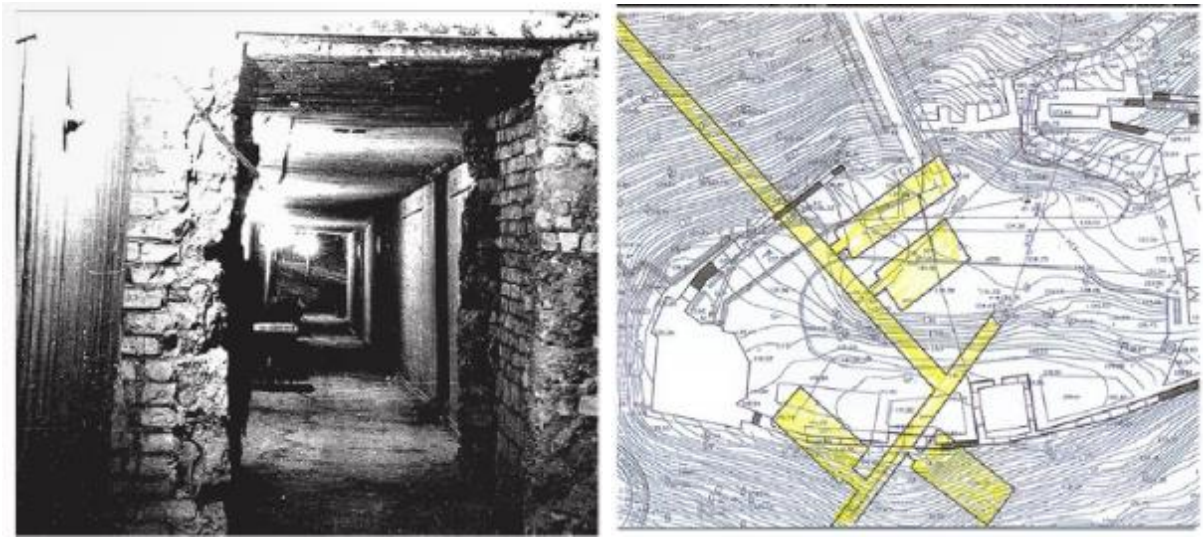
Technogeniniams faktoriams priskiriama:

- statinių nuosavas svoris;
- grunto savybių pokyčiai dėl gruntinio vandens lygio pokyčių;
- grunto stiprumo pokytis atliekant požeminę statybą;
- aplink statomų statinių įtaka;
- dėl žmogaus įtakos, t. y. dėl dirbančių mechanizmų ir kitų įrenginių atsiradusios vibracijos.

Nagrinėjant darbo tyrimo objektą – Vilniaus Aukštutinę pilį, kuri pastatyta ant Gedimino kalno, akivaizdžiai matyti, kad viena iš pagrindinių Aukštutinės pilies statinių deformacijų priežasčių tai statūs šlaitai, kuriuose vyksta šlaitų erozija ir nuošliaužos. Kalno pjūvyje (1 pav.) matyti, kad Gedimino kalno šlaitų paviršių sudaro supiltinės žemės.

Techninėse ataskaitose buvo minimos kelios nemenkos šlaito nuošliaužos, kurios turbūt taip pat turėjo įtakos statinių deformacijoms. Kaip teigiama žurnalo „STRUCTUM“ straipsnyje didelę įtaką nuošliaužų atsiradimui turi bloga nuotekų kanalizacija, netinkamai atlikti šlaitų stabilizavimo darbai, kalno lankytojų ištrypti augalijos plotai, esami (palaidoti) požeminiai statiniai (tuneliai ir šachtos). Pajutus grėsmę dėl Aukštutinės pilies būklės, buvo pasiūlyta išanalizuoti visą turimą ankstesnę medžiagą. Straipsnyje atskleidžiama viena Gedimino kalno saugoma paslaptis – tai požeminiai tuneliai: paslaptingai vingiuojantys požeminiai koridoriai, išplatėjantys į patalpas, plytų arba medžio sienojų sienos, vietomis medinėmis atramomis paremtos lubos. Kai kur matyti net medinių baldų. Detali jų schema ir nuotraukos pateikta 20 pav. Pasak VĮ „Lietuvos paminklai“ direktoriaus V. Drumstos, tunelius Antrojo pasaulinio karo metais iškasė karo belaisviai. Šių tunelių būklė neištirta. Tačiau viena aišku, kad poveikis yra, nes kalne (pietinėje dalyje) yra atsivėrusi įgriuva, kurią didina lietaus vanduo. Ieškant kalno įgriuvų ir nuošliaužų priežasčių, buvo iškelta ir

hipotezių, kad jas lėmė būtent šių paslaptingų požemio statinių prasta būklė ir jų konstukcijų griūtis (Lekavičienė 2014).



20 pav. Požeminiai Gedimino kalno tuneliai (Lekavičienė 2014)

Gedimino kalno probleminė vieta – šaltinėlis rytiniame pilies kalno šlaite. Tai viršutinėje kalno aikštelėje tarp gynybinės sienos mūrų buvusio šulinio vandens gysla, atsivėrusi šliaužiant kalno šlaitui. Jo vanduo, kadaise buvęs gyvybiškai svarbus pilies kalno gynėjams, dabar galbūt kažkaip prisideda prie rytinio šlaito erozijos.

Dar viena kalno problema, sukelianti daugelį padarinių – lietaus vandens surinkimas ir nuvedimas. Buvo išsiaiškinta, kad lietaus kanalizacijos vamzdžiai susidėvėję, vietomis įtrūkę ir persistūmę. Rasta tokių vietų, kur vamzdžiai neveda niekur. O iškritę krituliai turi kur nors sutekėti, tad vanduo renkasi lengviausią kelią ir tekėdamas plauna gruntą – taip ir atsiranda išplovos ir įgriuvos (Lekavičienė 2014). Kaip teigiama Lietuvos nacionalinio muziejaus tinklaraštyje, paskutiniu metu atlikti tyrimai parodė, kad visus dabartinius (2016–2017 m.) Gedimino kalne vykstančius procesus lemia būtent į kalno viršutinę aikštelę patenkantis vanduo (*Lietuvos nacionalinis muziejus <...>).*

Lietuvos nacionalinio muziejaus tinklaraštyje rašoma, kad didelė dalis žmonių vis dar niekaip nesusitaiko su medžių iškirtimu. Tačiau tai, pasak J. Mendelevičiaus, padaryta ne per vieną dieną ir tikslingai: „Krūmai ir medžiai nuo Gedimino kalno pradėti šalinti dar 1982–1983 metais“. Tuo metu pašalinta apie 80 procentų (iš viso skaičiaus) dendrologo pažymėtų krūmų ir medžių, palikti tik sveiki gyvybingi. Vėliau medžiai buvo šalinami keliais etapais nuo 2011 m., kol 2013 m. jų visai neliko.“ Gedimino kalno teritorijos (šlaitų, takų, laiptų, medžių) tvarkybos darbų projektą 2011 m. liepos mėn. parengė UAB Projektavimo ir restauravimo institutas. Ant Gedimino kalno šlaitų daugiausia augo 1955 m. sodinti klevai, kurių didžioji dalis turėjo išpuvusias šerdis, kiti buvo jau

pasenę, pavojingai pasvirę, kai kurių kelmų šaknys buvo iškėlusios velėną. Ant kalno augo ir dalis sveikų savaiminių medžių, bet J. Mendelevičiaus tvirtinimu, tokių medžių šaknys nėra gilios, siekia tik 1,5 metro. Jos lieka paviršiniame sluoksnyje ir negali susirišti su pagrindu. Jis yra įsitikinęs – medžių šalinimas buvo būtina metodinė ir technologinė priemonė (*Lietuvos nacionalinis muziejus* <...>).

Humanitarinių mokslų daktarė Birutė Rūta Vitkauskienė, šiuo metu rengianti išsamią istorinę monografiją apie Vilniaus Aukštutinę pilį ir kalną, apžvelgė Gedimino kalno šlaitų kaitą. Mokslininkė teigė, jog nuolatinės ir periodiškai atsinaujinančios nuošliaužos kyla dėl pagrindinių trijų veiksnių – kalno nestabilaus paviršinio supiltinio grunto sluoksnio, kritulių, nuolatinės žmogaus veiklos kalne: „Nepaisant daugybės tyrimų ir specialistų išvadų, kalno šlaitai XX a. 6–9 dešimtmetyje buvo iš esmės tvarkomi tik vienu būdu – užpilant žemes“ (*Lietuvos nacionalinis muziejus* <...>).

Siekiant užkirsti kelią tolimesnėms nuošliaužoms pradėtas rengti Gedimino kalno tvarkybos projektas. Kaip teigiama Lietuvos nacionalinio muziejaus tinklaraštyje, pažeisto Gedimino kalno šiaurės vakarų šlaito tvarkybos darbai turėtų prasidėti gegužę, po to, kai bus baigtas rengti techninis projektas ir atlikta jo ekspertizė. Šlaitas turėtų būti sutvarkytas iki rudens. Velėną planuojama įrengti 2018 m. pavasarį (*Lietuvos nacionalinis muziejus <...>).* Gedimino kalno tvarkybos darbus organizuoja Lietuvos nacionalinis muziejus.

Projekto rengimui vadovauja architektas R. Grigas. Pasak jo, pagrindinis projekto tikslas yra suformuoti šlaitą, kuris nebijotų įšalo, drenuotų gruntinį vandenį ir galėtų būti kaip pagrindas augaliniam sluoksniui. Visų pirma būtų šalinamas nestabilus ir nieko nelaikantis – sugadinto šlaito paviršinis gruntas. Tada užpilamas karjerinio žvyro sluoksnis, o po to naudojant tinkladėžes, pripildytas skaldos, formuojamos terasos. Galiausiai ant jų užpilamas naujas grunto sluoksnis ir viskas uždengiama augaline danga – velėna, kurią rekomendavo Aleksandro Stulginskio universiteto mokslininkai. Augaliniam sluoksniui (kalno velėnai) būtų naudojami nendriniai eraičinai. Toks augalinis sluoksnis turėtų stabilizuoti kalną ir neleisti vandeniui į jį patekti, nes šio augalo šaknys į žemę skverbiasi iki 70 cm. Tokie šlaitų stabilizavimo projektiniai sprendiniai yra išbandyti ir sertifikuoti kitose pasaulio šalyse, taip pat naudojami ir Lietuvoje (*Lietuvos nacionalinis muziejus <..>.).*

Šiandien jau yra parengti ir suderinti viso šiaurės vakarų šlaito tvarkybos darbų projektiniai pasiūlymai. Juose yra numatytos tvarkomos Gedimino kalno teritorijos dalys, iš viso jų yra trys:

- Gedimino kalno aikštelė;
- šiaurės vakarų pusėje pažeistas kalno šlaitas;
- Gedimino kalno papėdės teritorija, esanti aplink Šv. Onos ir Šv. Barboros bažnyčių pamatus.

Šiose trijose dalyse pagal tvarkybos darbų projektinius pasiūlymus yra numatyti inžineriniai techniniai sprendimai, atitinkamai kiekvienai daliai:

- Gedimino kalno aikštelėje įrengti kritulių surinkimo sistemą; izoliuoti aikštelę nuo kritulių;
- stabilizuoti ir drenuoti pažeistą šlaitą, atkurti pirminio šlaito paviršių su augaline danga;
- Gedimino kalno aikštelėje ir šiaurės vakarų šlaite besikaupiančius kritulius nuleisti į miesto lietaus nuotekų tinklus (*Lietuvos nacionalinis muziejus <...>)*.

7. INOVATYVŪS GEDIMINO KALNO DEFORMACIJŲ STEBĖJIMO BŪDAI

Pasak istorinių šaltinių, jau nuo senų laikų vykdavo Gedimino kalno nuošliaužos, kurios padarydavo daug nuostolių. 2016–2017 m. įvykus Gedimino kalno šiaurinio šlaito nuošliaužoms buvo akivaizdžiai matyti pablogėjusi Gedimino kalno būklė (21 pav.). Vykstančios kalno nuošliaužos taip pat turi didelę įtaką Aukštutinės pilies statinių deformacijoms. Dėl šių priežasčių imtasi priemonių atsiradusiai grėsmei pašalinti. Buvo pradėti Gedimino kalno šiaurinio šlaito geotechninių statinių ir žemės nuošliaužos nuolatiniai stebėjimai. Geometrinio niveliavimo metodu atliekamų deformacijų matavimai yra tikslūs, tačiau dabar jau yra inovatyvių – automatinių nuolatinių matavimų stebėjimo priemonių. Būtent tokius – automatinius nuolatinius Gedimino kalno stebėjimus nuo 2017 m. pradžios vykdo UAB „GPS partneris“.

Kadangi tikimybė sulaukti naujų nuošliaužų išlieka, yra kreipiamas dėmesys į menkiausią užfiksuotą judesį. Lietuvos nacionalinis muziejus kas savaitę atlieka Gedimino kalno šlaitų apžiūras ir fiksuoja pastebėtus pakitimus. Lietuvos geologijos tarnybos specialistai dalyvauja Gedimino kalno deformacijų apžiūrose ir savo ruožtu teikia vertinimus apie Gedimino kalno šlaito būklę, vykstančių deformacinių procesų įtaką šlaitams, analizuoja tacheometrinių šiaurinio šlaito stebėjimų (posvyrių ir poslinkių daviklių) duomenis. Gedimino kalno tvarkybos darbus organizuoja Lietuvos nacionalinis muziejus (*Lietuvos nacionalinis muziejus <...>).*

21 pav. Gedimino kalno šiaurinis šlaitas po 2016–2017 m. įvykusių nuošliaužų (fotografuota autoriaus 2017)

7.1. Automatinė poslinkių matavimo sistema

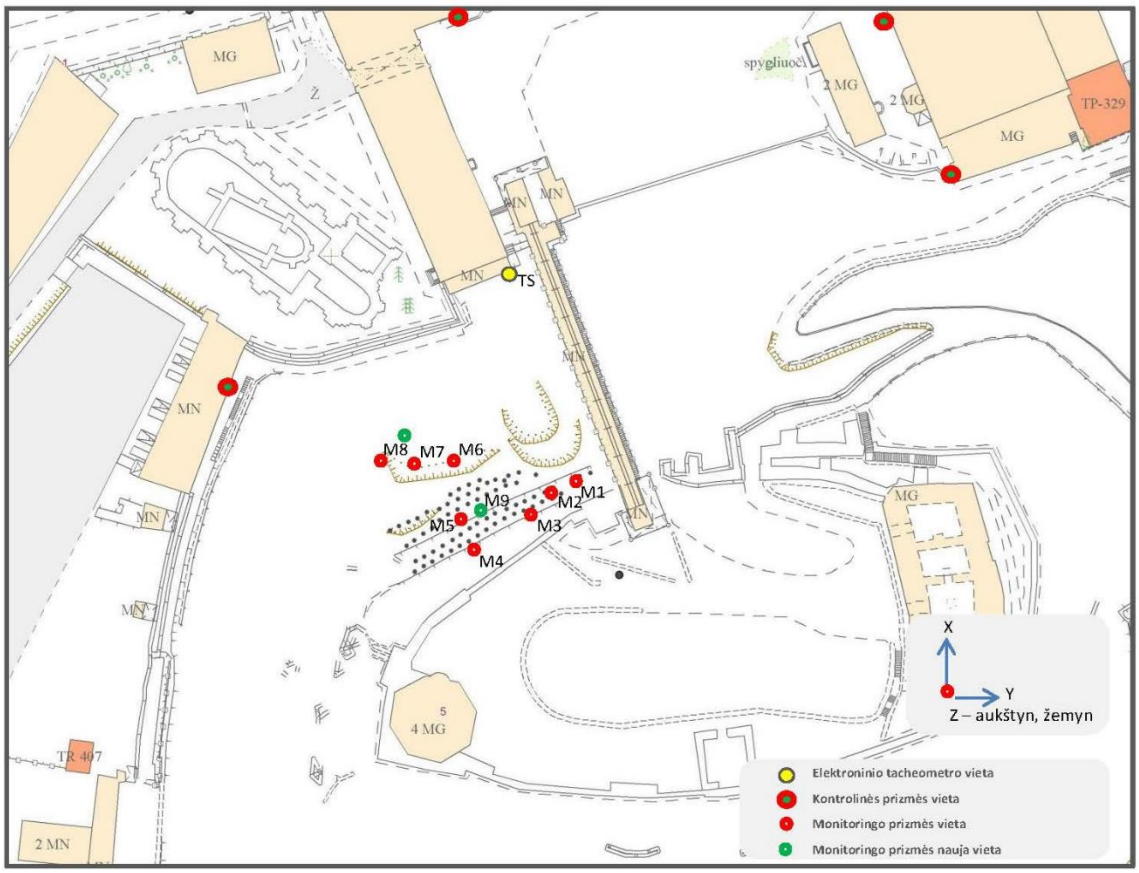
2016 m. gruodžio mėn. pabaigoje Gedimino kalnui stebėti buvo sumontuota automatinė geodezinė prizmių matavimo sistema. Nuolatiniai automatiniai Vilniaus Geidmino kalno šiaurinio šlaito geotechninių statinių ir žemės nuošliaužos stebėjimai buvo pradėti 2017 m. sausio 2 d. Matavimams naudotą sistemą sudaro itin tikslus, automatizuotas šveicarų kompanijos GEOMAX AG *Zoom90S* 1 A10 elektroninis tacheometras su nuotolinio valdymo kompiuteriu bei 12 specialių, tiksliems matavimams skirtų, apvalių reflektorių – prizmių (22 pav.) (Abromavičius 2017).

22 pav. Kairėje – elektroninis tacheometras GEOMAX *Zoom 90S*; dešinėje – monitoringo prizmė su apsauginiu stogeliu (Abromavičius 2017)

Šis tacheometras pritvirtintas prie Lietuvos Nacionalinio muziejaus (LNM) administracinio pastato sienos (23 pav.). Nuolatinis elektros maitinimas prietaisui užtikrinamas specialiu kabeliu, o ryšys su nuotolinio lauko kompiuteriu/valdikliu – Bluetooth bevieliu ryšiu (Abromavičius 2017).

23 pav. Kairėje – elektroninio tacheometro montavimas (Abromavičius 2017); dešinėje – įmontuotas elektroninis tacheometras (fotografuota autoriaus 2017)

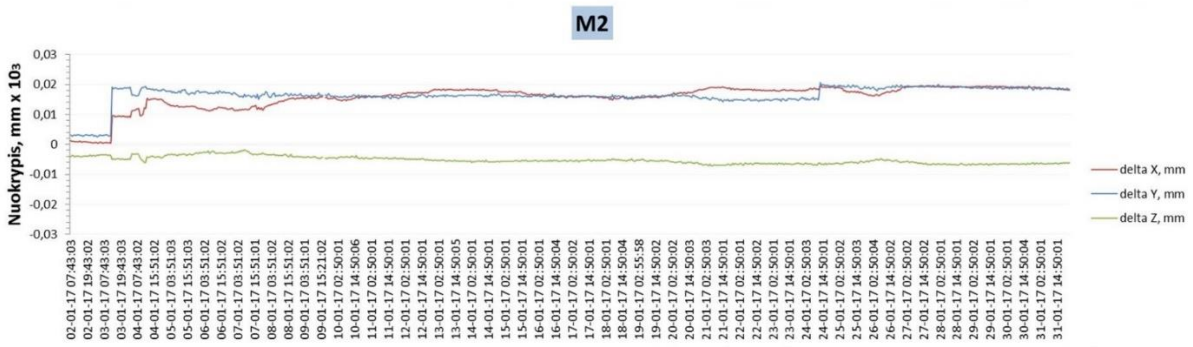
Iš viso buvo įtvirtintos 12 stebėjimo prizmių. 4 iš jų buvo įtvirtintos ant LNM teritorijoje esančių pastatų fasadų, kurios yra skirtos periodiniam elektroninio tacheometro pozicijos nusistatymui. Kitos 8 prizmės buvo įtvirtintos Gedimino kalno šiauriniame šlaite (Abromavičius 2017). Elektroninio tacheometro ir prizmių išdėstymo schema pateikta 24 pav.



24 pav. Elektroninio tacheometro ir prizmių išdėstymo schema (Abromavičius 2017)

Kiekvieną valandą iš kompiuterio į elektroninį tacheometrą perduodama komanda pradėti matavimus. Pirmiausia prietaisas pasimatuoja, išskaičiuoja bei patikslina savo pozicijos koordinates. Tuomet atlieka rutininius matavimus į prizmes, esančias šlaite. Speciali, nuolatiniam automatiniam stebėjimui skirta, GEOMAX AG *X-PAD Automeasuring* programinė įranga atlieka lyginamuosius kiekvienos prizmės pozicijos skaičiavimus, suskaičiuodama pokyčius nuo pradinės užduotos padėties bei įvertindama leistiną nuokrypio ribą. Nesant didesniam nuokrypiui nei užduotos leistinumo ribos, informacija išsiunčiama internetu į FTP serverį, kur ji archyvuojama. Viršijus nuokrypio leistinumo ribą, programa momentaliai siunčia pranešimą trumpąja žinute (SMS) nurodytam abonento numeriui bei įjungia aliarmo sireną, tam kad informuotų ant Gedimino kalno šlaito dirbančius darbininkus apie susidariusią pavojingą situaciją (Abromavičius 2017).

UAB „GPS partneris“ direktoriaus R. Abromavičiaus rengtose ataskaitose grafiškai pateikiami kiekvienos prizmės stebėjimo rezultatai laiko atžvilgiu (25 pav., 29 pav.).



25 pav. Prizmės M2 sausio mėnesio matavimo rezultatų kreivės (Abromavičius 2017)

Sausio mėnesio (nuo 2017-01-02 iki 2017-01-31) matavimų rezultatai:

Prizmė M1 yra stabili – nuokrypiai neviršija 3,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M2 sausio 3 d. apie 13:43 val. buvo pajudinta ar palenkta su virve (X ašimi – 9,5 mm; Y ašimi – 19,0 mm). Šiuo metu ši prizmė yra stabili ir nuokrypiai neviršija 2,0 mm visomis ašimis (25 pav);

Prizmė M3 yra stabili – nuokrypiai neviršija 8,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M4 sausio 4 d. apie 10:18 val. buvo stipriai pajudinta ir visiškai nulekta su virve. 14:45 val. prizmė permontuota ir permatuota. Šiuo metu ji yra stabili ir nuokrypiai neviršija 3,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M5 yra stabili – nuokrypiai neviršija 9,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M6 nėra stabili – nuokrypis siekia iki 26,0 mm. Kadangi ši prizmė yra sumontuota į nestabilų ir vandeningą gruntą, galima teigti, kad temperatūriniai svyravimai labai veikia prizmės stabilumą;

Prizmė M7 yra įtvirtinta nestabiliame grunte, šalia prizmės M6, tačiau yra stabili ir nuokrypiai neviršija 14,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M8 yra įtvirtinta nestabiliame grunte, šalia prizmės M6, tačiau yra stabili ir nuokrypiai neviršija 9,0 mm visomis ašimis.

Dėl prizmių M2 ir M4 būklės buvo skambinta A. Šiukštai (Rekreacinė statyba, UAB). Prizmės buvo atstatytos (Abromavičius 2017).

Vasario mėn. pradžios (nuo 2017-02-01 iki 2017-02-05) matavimų rezultatai:

Prizmė M1 yra stabili – nuokrypiai neviršija 2,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M2 yra stabili – nuokrypiai neviršija 1,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M3 yra stabili – nuokrypiai neviršija 1,8 mm visomis ašimis;

Prizmė M4 yra stabili – nuokrypiai neviršija 1,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M5 yra stabili – nuokrypiai neviršija 2,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M6 nėra stabili – nuokrypis per paskutinę savaitę X ašimi padidėjo 4,1 mm, kitos ašys stabilios;

Prizmė M7 yra stabili – nuokrypiai neviršija 2,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M8 yra stabili – nuokrypiai neviršija 1,4 mm visomis ašimis (Abromavičius 2017).

vasario mėnesio (nuo 2017-02-01 iki 2017-02-28) matavimų rezultatai:

Prizmė M1 yra stabili – nuokrypiai neviršija 5,4 mm visomis ašimis;

Prizmė M2 yra stabili – nuokrypiai neviršija 10,6 mm visomis ašimis. Vasario 20 d. 11:00-12:00 val. užfiksuoti nežymūs prizmės nuokrypiai X ašimi – 3,5 mm, Y ašimi – 10,0 mm, Z ašimi – 3,4 mm;

Prizmė M3 yra stabili – nuokrypiai neviršija 3,9 mm visomis ašimis;

Prizmė M4 yra stabili – nuokrypiai neviršija 7,4 mm visomis ašimis;

Prizmė M5 yra stabili – nuokrypiai neviršija 4,0 mm visomis ašimis. Nuo vasario 25 d. 14:52:40 val. iki vasario 28 d. 09:52:35 val. prizmė buvo uždengta ir pamatuoti nepavyko;

Prizmė M6 nėra stabili – nuokrypiai per paskutines dvi savaites pasiekė reikšmes ties X ašimi – 28,7 mm, Y ašimi – 20,5 mm, Z ašimi – 25,6 mm. Prizmės atskaita „nunulinta“ vasario 19 d. 16:52:46 val.;

Prizmė M7 yra stabili – nuokrypiai neviršija 8 mm visomis ašimis;

Prizmė M8 yra stabili – nuokrypiai neviršija 7,7 mm visomis ašimis (Abromavičius 2017).

Kovo-balandžio mėnesio (nuo 2017-03-01 iki 2017-04-06) matavimų rezultatai:

Prizmė M1 yra stabili. Kovo 4 d. 19:50 val. Y ašimi buvo pasiekta maksimali – 14,7 mm nuokrypio reikšmė, bet po to prizmė stabilizavosi ir nuokrypių svyravimai neviršija 6,0 mm visomis ašimis. Greičiausiai nuokrypiams įtakos turėjo vykdomi darbai šlaite;

Prizmė M2 yra stabili – nuokrypiai neviršija 5,0 mm visomis ašimis. Balandžio 3 d. apie 8:00 val. užfiksuotas šoninis pajudėjimas Y ašimi apie 4,0 cm – greičiausiai dėl fizinio kontakto;

Prizmė M3 yra stabili – nuokrypiai neviršija 4,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M4 yra stabili – nuokrypiai neviršija 10,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M5 yra stabili – nuokrypiai neviršija 11,0 mm visomis ašimis;

Prizmė M6 yra visiškai nestabili. Nuo pat matavimų pradžios, šios prizmės judėjimas nuo šlaito kryptimi siekia beveik 15,0 cm. Vyksta prizmės judėjimas šlaitu žemyn. Kovo 23 d. reikšmė antrą kartą per mėnesį „nunulinta“. Kol kas panašu, kad stabilizavosi;

Prizmės M7 kovo 7 d. buvo viršytas 3,0 cm nuokrypis ir koordinačių pradinė atskaita buvo „nunulinta“. Vyksta tolimesnis prizmės judėjimas nuo šlaito žemyn;

Prizmė M8 yra nestabili. Dėl vykdomų kasimo darbų ji keturis kartus buvo perstatyta. Iš naujo pradėta matuoti nuo kovo 9 d. 10:00 val. Vyksta nežymus prizmės judėjimas šlaitu žemyn (Abromavičius 2017).

Apžvelgus visas matavimų ataskaitas, išsiaiškinta, kad nuo pat matavimų pradžios (nuo 2017-01-02 iki 2017-04-06) prizmė M6, sumontuota nestabiliame ir vandeningame grunte, yra pati nestabiliausia. Vyksta prizmės judėjimas šlaitu žemyn. Didžiausias nuokrypis buvo užfiksuotas X ašimi – 28,7 mm. Šios prizmės atskaita „nunulinta“ 3 kartus.

7.2. Automatinė posvyrių matavimo sistema

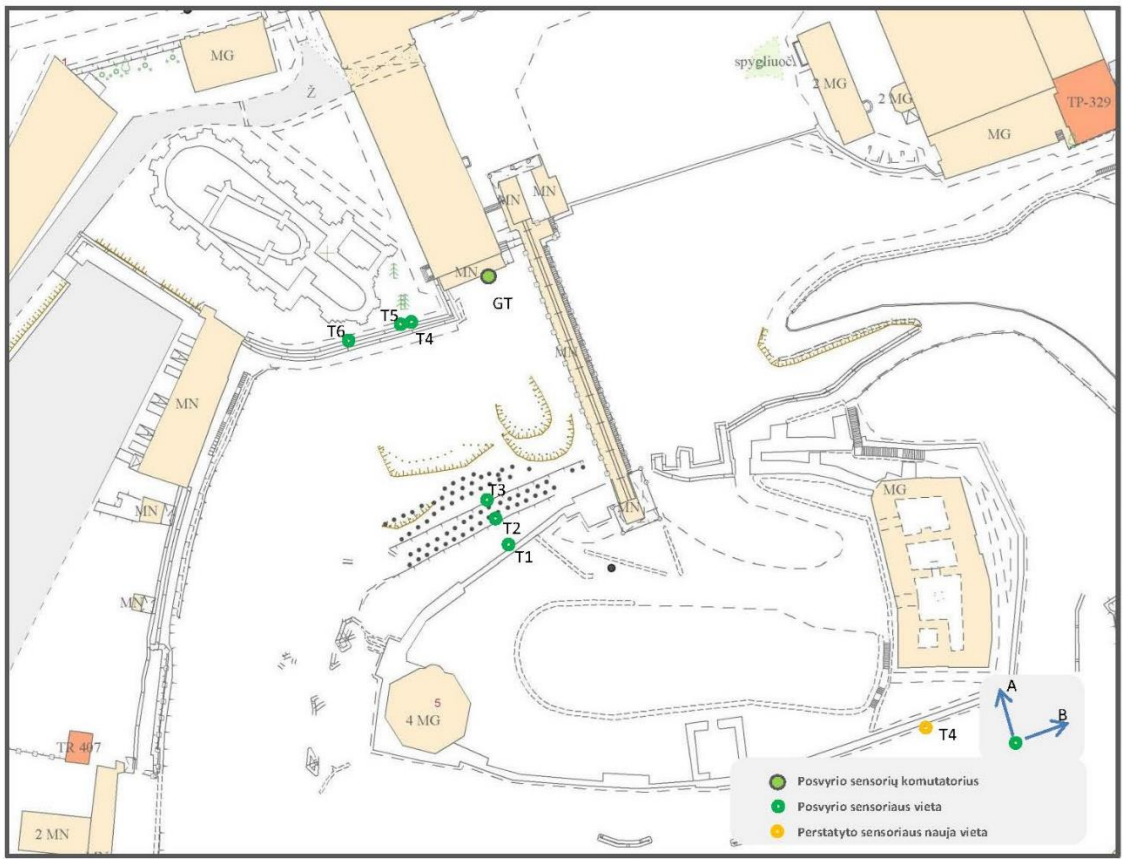
2017 m. sausio 18 d. buvo sumontuota antroji automatinė geotechninė Vilniaus Geidmino kalno šiaurinio šlaito stebėjimo sistema. Stebėjimai buvo pradėti sausio 19 d. Matavimams naudotą sistemą sudaro GATEWAY komutatorius ir ypatingai tikslūs anglų kompanijos GEOSENSE posvyrio fiksavimo sensoriai (26 pav.), kurie itin jautriai reaguoja į bet kokius menkiausius statinių ir kitų konstrukcijų posvyrius ar jų pakitimus. Šie prietaisai gali būti sujungti į vieną sistemą kabeliais arba bevieliu ryšiu, kurių matavimo duomenis kaupia komutatorius ir internetu persiunčia į FTP serverį (Abromavičius 2017).

26 pav. Kairėjė – GEOSENSE komutatorius, posvyrio sensorius ir lauko valdiklis; dešinėje – įmontuoti posvyrio sensoriai T4 ir T5 (Abromavičius 2017)

Komutatorius taip pat buvo pritvirtintas prie LNM administracinio pastato sienos šalia kitų įrenginių (27 pav.). Elektros tiekimas ir internetinis ryšys tiekiamas per sieną kabeliu iš pastato serverinės patalpų (Abromavičius 2017).

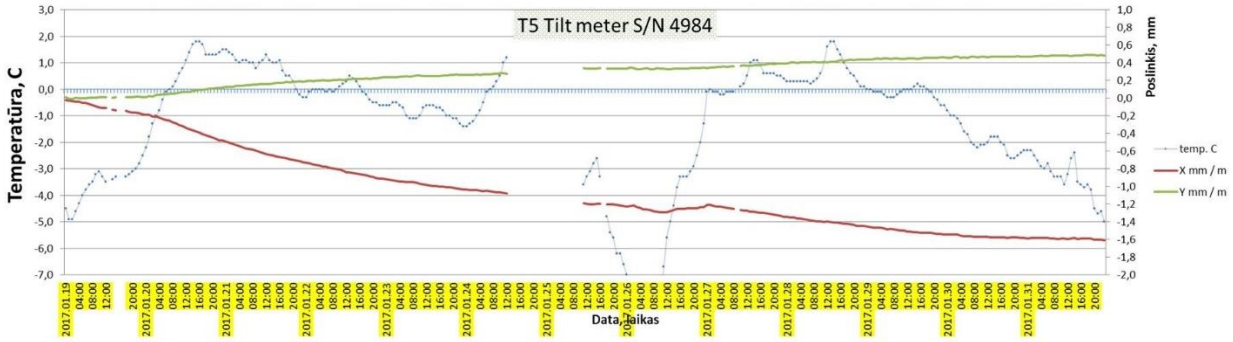
27 pav. Kairėje – GEOSENSE sistemos montavimas (Abromavičius 2017); dešinėje – įmontuotas komutatorius (fotografuota autoriaus 2017)

Iš viso buvo įtvirtinti 6 posvyrio sensoriai. 3 iš jų buvo įtvirtinti ant LNM teritorijoje esančios Gedimino kalno apatinės gynybinės sienos. Kiti 3 sensoriai buvo įtvirtinti Gedimino kalno šiauriniame šlaite – vienas iš jų ant gynybinės sienos, kiti du – ant viršutinio ir apatinio rostverkų (Abromavičius 2017). Komutatoriaus ir posvyrio sensorių išdėstymo schema pateikta 28 pav.



28 pav. Komutatoriaus ir posvyrio sensorių išdėstymo schema (Abromavičius 2017)

UAB „GPS partneris“ direktoriaus R. Abromavičiaus rengtose ataskaitose grafiškai pateikiami kiekvieno posvyrio sensoriaus stebėjimo rezultatai laiko atžvilgiu (29 pav.).



29 pav. Posvyrio sensoriaus T5 sausio mėnesio matavimo rezultatų kreivės (Abromavičius 2017)

Sausio mėnesio (nuo 2017-01-19 iki 2017-01-31) matavimų rezultatai:

Posvyrio sensorius T1 (įtvirtintas ant gynybinės sienos) yra stabilus – nuokrypiai neviršija 0,25 mm visomis ašimis;

Posvyrio sensoriai T2 ir T3 (įtvirtinti atitinkamai ant viršutinio ir apatinio rostverkų) yra stabilūs ir nuokrypiai minimalūs. Keliose vietose matomos bangelės, kurias greičiausiai įtakojo rostverkų inkaravimo darbai;

Posvyrio sensorius T4 (įtvirtintas šlaito viduryje ant metalinio strypo tiesiai į gruntą, šalia prizmės M6) nėra stabilus dėl minkšto grunto. Kadangi posvyrio sensoriai itin jautrūs, sausio 27 d. nuspręsta jį perkelti į kitą vietą, t.y. ant apatinės atraminės sienos, kur matavimo rezultatai būtų naudingesni;

Posvyrio sensorius T5 (įtvirtintas ant apatinės atraminės sienos) nėra stabilus (29 pav.). Pagal prietaiso parodymus, sienos viršus verčiamas kalno link, todėl buvo galvojama, kad spaudžiama sienos apačia. Vasario 2 d. posvyrio sensorius T5 permontuotas metru žemiau, o T4 dar keliais metrais žemiau nei T5. Vėliau išsiaiškinta, kad tikrasis sienos fasadas yra per plytą giliau. Manoma, kad viršutinis dekoratyvinis sluoksnis gali judėti dėl ertmės esančios tarp senojo ir naujojo mūro. Svyruojant temperatūrai matyti, kad viršutinis dekoratyvinis plytų fasadas reaguoja atitinkamai;

Posvyrio sensorius T6 (įtvirtintas ant gynybinės sienos) yra stabilus ir nuokrypiai minimalūs (Abromavičius 2017).

Vasario mėn. pradžios (nuo 2017-02-01 iki 2017-02-05) matavimų rezultatai:

Visi posvyrio sensoriai (T1 – T6) yra stabilūs ir nuokrypiai minimalūs (Abromavičius 2017).

Vasario mėnesio (nuo 2017-02-01 iki 2017-02-28) matavimų rezultatai:

Posvyrio sensoriaus T1 nuokrypiai nežymiai didėja X ašimi – 0,7 mm ir Y ašimi – 0,4 mm;

Posvyrio sensorius T2 yra stabilus ir nuokrypiai minimalūs. Vasario 20 d. 09:00-10:00 val. užfiksuotas nežymus 0,3 – 0,4 mm X ir Y ašių judėjimas. Manoma, kad dėl rostverkų sutvirtinimo darbų;

Posvyrio sensoriaus T3 nuokrypiai didėja X ašimi – 0,9 mm ir Y ašimi – 0,5 mm;

Posvyrio sensoriai T4 ir T6 yra stabilūs ir nuokrypiai minimalūs;

Posvyrio sensoriaus T5 nuokrypiai nežymiai didėja X ašimi – 0,6 mm ir Y ašimi – 0,8 mm (Abromavičius 2017).

Kovo-balandžio mėnesio (nuo 2017-03-01 iki 2017-04-06) matavimų rezultatai:

Posvyrio sensoriaus T1 svyravimai nežymūs – apie 0,8 mm. Matomas tiesioginis temperatūros įtakojimas;

Posvyrio sensorius T2 yra stabilus ir nuokrypiai minimalūs. Kovo 6 d. 09:00-10:00 val. užfiksuotas nežymus 0,2 – 0,4 mm X ir Y ašių judėjimas;

Posvyrio sensoriaus T3 nuokrypiai sparčiai didėja X ašimi – 10,0 mm, o Y ašimi mažiau – 1,0 mm. Fiksuojamas rostverko apačios slydimas šlaito žemyn kryptimi;

Posvyrio sensoriaus T4 nuokrypiai sparčiai didėja. Vyksta gynybinės sienos virtimas nuo kalno šlaito X ašimi 3,4 mm. Matoma tiesioginė temperatūros įtaka;

Posvyrio sensorius T5 nuo kovo 3 d. permontuotas toje pačioje vietoje, t.y. apatinėje atraminėje sienoje, bet į giluminius konstrukcijos sluoksnius. Nuokrypiai nežymūs ir matavimo sensorius stabilizuojasi. Nuokrypiai X ir Y ašimis apie 1,2 mm;

Posvyrio sensorius T6 yra stabilus ir nuokrypiai minimalūs. Vyksta nežymūs svyravimai, bet didesnių nuokrypių X ir Y ašimis nepastebėta (Abromavičius 2017).

Apžvelgus visas matavimų ataskaitas, išsiaiškinta, kad nuo pat matavimų pradžios (nuo 2017-01-19 iki 2017-04-06) sensorius T4, įtvirtintas šlaito viduryje ant metalinio strypo tiesiai į gruntą ir esantis šalia prismės M6, nėra stabilus dėl mikšto grunto. Sensorių T4 buvo nuspręsta perkelti ant apatainės atraminės sienos, kur matavimo rezultatai būtų naudingesni. Tačiau sensorius T5 (įtvirtintas ant apatinės atraminės sienos) taip pat nėra stabilus. Manoma, kad viršutinis dekoratyvinis sluoksnis gali judėti dėl ertmės esančios tarp senojo ir naujojo mūro. Vyksta gynybinės sienos virtimas nuo kalno šlaito. Didžiausias nuokrypis buvo užfiksuotas ties sensorium T3 X ašimi – 10,0 mm. Kitų sensorių nuokrypiai neviršydavo 1,0 mm.

8. GEOINFORMACINĖS INTERNETINĖS VILNIAUS AUKŠTUTINĖS PILIES STATINIŲ DEFORMACIJŲ MONITORINGO SVETAINĖS PROJEKTAS

Skirtumas tarp duomenų ir informacijos paaiškina, kodėl sistemos, surenkančios daugybę duomenų, ne visada tenkina poreikius. Mat šie duomenys gali būti informacija tiems, kurie domisi kasdieninėmis operacijomis, bet jie bus beverčiai, norintiems gauti apibendrintus rodiklius. Duomenys tampa informacija, kai jie atitinka tam tikrą tikslą (Maguire *et al.* 2008).

Geografinė informacinė sistema (toliau GIS) – informacinė sistema skirta darbui su erdvine ir aprašomąja informacija. Sąlygos atsirasti GIS susiformavo 7-8 dešimtmetyje, kai sparčiau pradėjo vystytis kompiuterinė technika. 9-ajame dešimtmetyje su kompiuterinės technikos bei operacinių sistemų vystymusi prasidėjo ir spartus GIS programų vystymasis, taikomos naujos modeliavimo metodikos. Šiuo metu pagrindinė GIS vystymosi kryptis – universalumas, integralumas su kitomis sistemomis, pritaikymas neprofesionaliam vartotojui. Šiuolaikinė GIS programinė ir techninė įranga bei duomenų bazės tampa prieinamos eiliniam vartotojui. Tad GIS technologijų aktualumas yra neginčijamas.

GIS skirta skaitmeninių, koordinuotų erdvėje duomenų kaupimui, saugojimui, vaizdavimui, redagavimui, integravimui bei analizei. Tai kompiuterinė techninių ir programinių priemonių bei geoduomenų visuma, skirta geoduomenims įvesti, saugoti, analizuoti bei sisteminti ir geoinformacijai pateikti vartotojui. Plačiąja prasme geografinė informacinė sistema – tai visuma rankinių ar kompiuterine technika pagrįstų operacijų, skirtų kaupti ir naudoti geografinius duomenis. Termine „geografinė informacinė sistema“ jo dalis „geo-“ žymi sąsają su Žemės paviršiaus fiziniais (klimatas, dirvožemis, augalija), socialiniais ir demografiniais (gyventojai, ekonomika) bei žmogaus sukurtais (pastatai, komunikacijos) aspektais. „Grafinė“ reiškia „aprašymą“ – Žemė, joje vykstantys procesai yra aprašomi skaitiniais tikrovės modeliais, kurie kaupiami GIS ir „suprantami“ kompiuterinės technikos, t. y. išreiškiami, tarkim, taškais, linijomis ar tam tikru plotu, turinčiu daugiau ar mažiau fiksuotą padėtį, kuri gali būti nusakyta X, Y ir Z koordinatėmis. „Informacinė sistema“ turėtų būti suprantama kaip operacijų, atliekamų su informacija nuo jos surinkimo, sutvarkymo iki pateikimo vartotojui konkrečių sprendimų pavidalu, visuma. Naudojant GIS sudarius žemėlapį ar trimatį modelį ir patalpinus jį internetinėje erdvėje informacija yra prieinama kiekvienam.

Pasaulinis tinklas (The World Wibe Web – WWW) yra palyginti nauja priemonė žemėlapių publikavimui, nors šiandien jį naudoja milijonai žmonių kasdien, tačiau nedaugelis vartotojų žino, kaip tai ištikrųjų veikia. Praktiškai, dabar internetas yra platus tarpusavyje susietų dokumentų

rinkinys apimantis pasaulį, kuriame yra suliejamos tinklo informacijos metodikos ir hipertekstai siekiant sukurti galingą pasaulinę informacinę sistemą (Kraak *et al.* 2001).

Internetinis puslapis arba tinklalapis yra informacijos išteklius žiniatinklyje, kuris gali būti pasiektas naudojantis naršykle. Informacija dažniausiai pateikiama hipertekstinės žymėjimo kalbos (HTML) arba išplečiamos hiperteksto žymėjimos kalbos (XHTML) formatu. Tinklalapiai gali būti patalpinti vietiniame kompiuteryje arba serveryje. Serveris gali leisti tinklalapius pasiekti tik privatiems asmenims arba turinys gali būti viešinamas pasauliniame tinkle. Puslapius sujungiant į vieną aibę, sudaroma interneto svetainė.

HTML (*Hyper text Markup Language* „Hiperteksto žymėjimo kalba“) – tai kompiuterinė žymėjimo kalba, naudojama pateikti turinį internete. Pagrindinis HTML kalbos vienetas yra elementas. Kaip ir XML, HTML elementas turi vardą ir gali turėti bet kokį skaičių atributų. Elemento viduje gali būti tekstas bei kiti elementai. Tiek tekstas, tiek ir dukteriniai elementai paprastai gali kartotis ir sekti bet kuria tvarka. HTML redagavimui ir konvertavimui sukurta daugybė mokamų ir nemokamų programų. Tačiau kad ir koks tobulas bebūtų teksto redaktorius, vistiek reikalingas žmogiškas prisilietimas, kad viskas veiktų preciziškai tiksliai. Tačiau redaktoriai gerokai palengvina darbą – juose yra įrankių juostos su daugeliu komandų, todėl nereikia vargintis rašyti jų patiems.

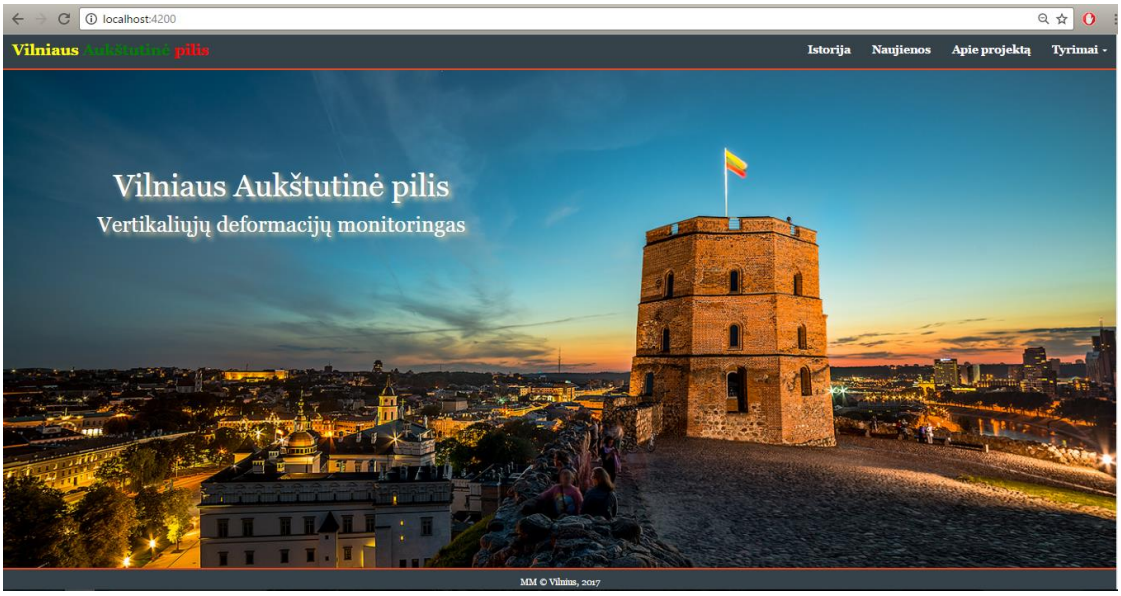
Sukaupti, išnagrinėti ir susisteminti duomenys savyje vertės neturi. Duomenys įgyja vertę tik tuomet, kai atitinka sprendžiamą problemą, vartotojas ją supranta ir panaudoja. Todėl svarbu duomenis pavaizduoti vaizdžiai ir suprantamai kiekvienam vartotojui. Tuo tikslu, kad surinkti duomenys įgautų vertę ir taptų prieinama informacija kiekvienam, buvo kuriamas geoinformacinės internetinės Vilniaus Aukštutinės pilies statinių deformacijų monitoringo svetainės projektas. Šią internetinę svetainę, naudojant HTM kalbą, kūrė Vilniaus Gedimino technikos universiteto Geodezijos ir kadastro katedros magistrantūros studijų studentas M. Markelionis, kurią plačiau aprašė savo baigiamajame darbe.

Pagrindinis internetinės svetainės informacinis šaltinis – sukurtas vertikaliųjų deformacijų monitoringo žemėlapis su „jautriomis stritimis“.

Žemėlapiu vadinamas simbolinis sumažintas ir apibendrintas geografinės tikrovės vaizdas, kartografinės projekcijos ir sutartinių ženklų pagalba atspindintis pasirinktus Žemės paviršiaus objektus ir jų savybes. Jis yra autoriaus pasirinkimo ir kūrybinės veiklos rezultatas. Žemėlapis yra ir ypač efektyvi informacijos perdavimo bei naujų žinių kūrimo priemonė – tik spausdintus žemėlapius keičia skaitmeniniai, interaktyvūs, dinaminiai, papildyti įvairiais duomenų analizės įrankiais. Žemėlapiams sudaryti naudojami įvairūs geografiniai duomenys ir GIS sistemų vizualizavimo priemonės (Valiuvienė *et al.* 2014).

Bet kuris vaizdas įtrauktas į HTM failą, gali būti sukurtas su tam tikromis „jautriomis stritimis“, kurios apibrėžiamos koordinatėmis ribojančiomis poligonus. Paspaudę pelės mygtuką toje paveikslėlio dalyje, naršyklė vaizdą susieja su kita interneto vieta. Tokiu būdu vienas vaizdas gali pateikti įvairių hiperlinkų, kurių kiekvienas priskirtas vaizde nustatytiems tam tikriems regionams. Tokie vaizdai su „nematomais mygtukais“ yra vadinami *paspaudžiamais vaizdais* arba *vaizdo žemėlapiais* (net tada jeigu jie ne visada yra žemėlapiai, bet galbūt logotipai ar bet kokie kiti grafiniai vaizdai) (Kraak *et al.* 2001).

Sukurtas informacinio pobūdžio internetinės svetainės pagrindinis meniu langas pavaizduotas 30 paveiksle. Svetainėje pateikiama informacija apie Vilniaus Akštutinę pilį, apie atliktų matavimų rezultatus, planuojamus atlikti darbus, pateikiamos sėdimo markių išdėstymo bei matavimų rezultatų schemos, sukuriamas ir svetainėje patalpinamas sėdimo markių monitoringo informacinis žemėlapis su „jautriomis sritimis“, kuriame galima peržiūrėti kiekvienos pasirinktos sėdimo markės surinktą informaciją (Markelionis 2017).



30 pav. Vilniaus Aukštutinės pilies statinių deformacijų monitoringo svetainės pagrindinio puslapio langas internete (Markelionis 2017)

Internetinė svetainė susideda iš šių langų:

- *Istorija* – aprašoma surinkta pilies būklės istorijos, statinių ir šlaitų vykstančių deformacijų informacija;
- *Naujienos* – patalpinti straipsniai iš informacinių portalų susiję su šiuo objektu;
- *Apie projektą* – pateikiama informacija apie sukurto tinklapio projektą, jo tikslus;
- *Tyrimai* išsiskleidžia į:

- *Tyrimo objektas* – čia supažindinama su darbe tiriamais Vilniaus Aukštutinės pilies statiniais, aprašomos nuolat vykstančios deformacijos ir jų stebėjimo metodika;
- *Deformacijų monitoringas* – pateikiama susisteminta informacija apie daugiamečius (1968–2016 m.) Vilniaus Aukštutinės pilies vertiakaliųjų deformacijų bei Gedimino kalno šlaitų stebėjimus ir jų rezultatus (rezultatai pateikiami sudarytose lentelėse bei sudarytais grafikais);
- *Schemos* – pateikiama sudaryta vertikaliųjų deformacijų rezultatų grafinė medžiaga. Pagrindinė schema – sėdimo markių išdėstymo žemėlapis su jautriais taškais ant markių, kurie atveria langus su surinkta markių informacija (31 pav.);
- *Kiti darbai* – aprašomi atlikti, vykdomi bei planuojami vykdyti deformacijų stebėjimai, tvarkybos darbai, jų vykdytojai (Markelionis 2017).

31 pav. Vaizdo žemėlapio su „jautriomis sritimis“ – sėdimo markėmis, ekranų vaizdai (Markelionis 2017)

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

- Išnagrinėtos Vilniaus Aukštutinės pilies statinių deformacijų matavimų 1968 – 2008 m. techninės ataskaitos. Po aštuonerių metų pertraukos, 2016 m. balandžio 6 d. įvykdyti nauji matavimai (XIV matavimų ciklas). Matavimai vykdyti pagal tą pačią metodiką ir su analogišku prietaisu.
- Matavimų duomenų apdorojimui sukurta programa naudojant *Visual FoxPro* programinę įrangą.
- XIV matavimų ciklo vertikaliosios deformacijos pagal II-os kl. geometrinio niveliavimo tikslumą buvo: 1-ojo ėjimo nesąryšis – 0,1 mm, esant leistinam 2,1 mm; 2-ojo ėjimo nesąryšis – 0,6 mm, esant leistinam 1,9 mm; 3-ojo ėjimo nesąryšis – 1,3 mm, esant leistinam 1,4 mm.
- Tyrimams nuo 1968 m. iki 2008 m. buvo naudojamos 34 sėdimo markių vertikaliųjų deformacijų reikšmės iš kurių 26 buvo išlikusios ir naudojamos XIV ciklo matavimams atlikti:

  -12 iš jų vertikaliosios deformacijos buvo fiksuojamos nuo 1968 m. (Gedimino bokšte ir PV gynybinės sienos dalyje, Kunigaikščių rūmuose);

  -14 iš jų vertikaliosios deformacijos buvo fiksuojamos nuo 1995 m. (Pietinėje atraminėje sienoje, Rytinėje atraminėje sienoje, ŠV atraminėje sienoje (prie Gedimino bokšto).
- Išanalizavus daugiamečius (1968–2016 m.) Vilniaus Aukštutinės pilies statinių visų ciklų matavimų duomenis nustatyta, kad ant kalno esantys statiniai, ir toliau deformuojasi (vyksta sėdimai, svyrimai ir sienų trūkimai):

  -Nuo 1968 m. lapkričio mėn. Gedimino bokštas ir PV gynybinės sienos dalis vidutiniškai sėdo 28,7 mm, o Kunigaikščių rūmai – 35,2 mm. Vykdant XIV ciklo darbus Pietinio bokšto pamatų liekanose rastos sėdimo markės neatsisuka, todėl apie Pietinio bokšto pokyčius negalima pateikti išsamių išvadų;

  -Nuo 1995 m. liepos mėn. Pietinė atraminė siena vidutiniškai sėdo 26,4 mm, Rytinė atraminė siena – 17,7 mm, o ŠV atraminė siena (prie Gedimino bokšto) – 10,6 mm;

  -1968 m. lapkričio mėn. atžvilgiu, daugiausiai sėdusi markė Nr. 5627 yra Kunigaikščių rūmų rytinės sienos centrinėje dalyje – ji sėdo 73,3 mm, mažiausia vertikaliųjų deformacijų reikšmė yra ties sėdimo marke Nr. 5630, esančia Kunigaikščių rūmų pietvakariniame kampe – 8,1 mm;

  -1995 m. liepos mėn. atžvilgiu daugiausiai sėdusi markė Nr. 9270 yra Pietinės atraminės sienos vakarinėje jos dalyje – ji sėdo 48,7 mm, mažiausia vertikaliųjų deformacijų reikšmė yra ties sėdimo marke Nr. 19n/5207, esančia Rytinės atraminės sienos šiaurinėje dalyje – 1,2 mm.
- nuo 1968 m. iki 2016 m. statinių vertikaliųjų deformacijų vidutiniai greičiai:

  -Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies – 0,61 mm/m.;

  -Kunigaikščių rūmų – 0,74 mm/m.

Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. vertikaliosios deformacijos gali pasiekti:

-Gedimino bokšto ir PV gynybinės sienos dalies – 31,1 mm;

-Kunigaikščių rūmų – 38,2 mm.

- Nuo 1995 m. iki 2016 m. statinių vertikaliųjų deformacijų vidutiniai greičiai:

  -Pietinės atraminės sienos – 0,56 mm/m.;

  -Rytinės atraminės sienos – 0,37 mm/m.;

  -ŠV atraminės sienos (prie Gedimino bokšto) – 0,22 mm/m.

  Deformacijoms vystantis panašiu greičiu, galima teigti, kad 2020 m. vertikaliosios deformacijos gali pasiekti:

  -Pietinės atraminės sienos – 28,6 mm;

  -Rytinės atraminės sienos – 19,2 mm;

  -ŠV atraminės sienos (prie Gedimino bokšto) – 11,5 mm.

- Atliktos techninių ataskaitų analizės ir naujų matavimų duomenimis, galima tikėtis, kad ateityje, esant toms pačioms gamtinėms ir antropogeninėms sąlygoms, deformacijos tęsis.
- Vilniaus Aukštutinės pilies statiniuose rasti plyšiai patvirtina statiniuose vykstančias netolygias vertikaliąsias deformacijas.
- Sukurta deformacijų monitoringo vizualizacija, kuri patalpinta sukurtoje internetinėje svetainėje, kurios kūrimo tiklas – turimus duomenis paversti kiekvienam suprantama ir prieinama informacija.
- Norint gauti Vilniaus Aukštutinės pilies vertikaliųjų deformacijų patikimesnius rezultus, turėtų būti atstatytos sunaikintos sėdimo markės arba įrengtos naujos.
- Automatinės poslinkių ir posvyrių matavimo sistemos, kuriomis dabar stebimas šiaurinio Geidmino kalno šlaitas, galėtų būti įrengiamos ir Aukštutinės pilies statiniuose jų deformacijoms stebėti.
- Gedimino kalnas yra Lietuvos valstybingumo ir šalies sostinės simboliu tapęs kultūros paveldo objektas, kuris per visą mūsų istoriją buvo vienas iš svarbiausių Vilniaus dominančių, todėl turi būti nuolat stebimas specialistų.

Šio darbo rezultatai buvo aprobuoti:

-19-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, kuri vyko Vilniuje 2016 m. kovo 25 d.

-10-oje tarptautinėje konferencijoje „Aplinkos inžinerija“, kuri vyko Vilniuje 2017 m. balandžio 27-28 d.

LITERATŪRA IR KITI ŠALTINIAI

Abromavičius, R. 2017. Vilniaus Gedimino kalno šiaurinio šlaito geotechninių statinių ir žemės nuošliaužos stebėjimo ataskaitos. Vilnius, 29 p.

Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 1995 m. 07 mėn. Gedimino kalno pastatų 1995 m. 07 mėn. sėdimų stebėjimo ataskaita. Vilnius, 13 p.

Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 1995 m. 12 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių planinių ir vertikalinių deformacijų stebėjimai (II etapas). Inžinerinių geodezinių tyrinėjimų techninė ataskaita. Vilnius, 18 p.

Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 1996 m. 09 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių planinių ir vertikalinių deformacijų stebėjimo III etapo darbai. Techninė ataskaita. Vilnius, 25 p.

Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 1997 m. 04 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių planinių ir vertikalinių deformacijų stebėjimo IV–to etapo darbai. Techninė ataskaita. Vilnius, 25 p.

Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 1998 m. 05 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių planinių ir vertikalinių deformacijų stebėjimo V–to etapo darbai. Techninė ataskaita. Vilnius, 28 p.

Akcinė bendrovė „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 2000 m. 08 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių planinių ir vertikalinių deformacijų stebėjimo VI–to etapo darbai. Techninė ataskaita. Vilnius, 18 p.

Chengjun, B.; Dawei, Y. Research on Deformation Measurement Approaches to Bodhisattava Pavilion in Dule Temple [online]. School of Civil Engineering, Tianjin University, 92 Weijin Road, Tianjin, 300072 China. Available from Internet: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/KYOTO/201.pdf>

Dambrauskaitė, T. 1986. Aukštutinės pilies kunigaikščių rūmai Vilniuje. Istoriniai tyrimai. Istorinė apžvalga. I dalis. Vilnius, 25 p.

Erol, S.; Erol, B.; Ayan, T. A *General Review of the Deformation Monitoring Techniques and a Case Study: Analysing Deformations Using GPS/Levelling* [online]. ITU, Civil Engineering Faculty, Geodesy Division, 34469 Maslak Istanbul, Turkey. Available from Internet: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.431.6455&rep=rep1&type=pdf>

Henriques, M. J.; Casaca, J. 2001. Monitoring Vertical Displacements by means of Geometric Levelling, *Historical Constructions* [online]: 403–412. Available from Internet: <http://www.hms.civil.uminho.pt/events/historica2001/page%20403-412%20_16_.pdf>

Il'ichev, V. A.; Nikiforova, N. S.; Koreneva E. B. 2006. Method for Calculating Bed Deformations of Buildings Near Deep Excavations, *Soil Mechanics and Foundation Engineering* [online], No. 6: 189–196. Available from Internet: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11204-006-0060-0#page-1>

Krakk, M. J.; Brown, A. 2001. Web Cartography. Developments and prospects. ITC Division of Geoinformatics, Cartography and Visualisation, Enschede, The Netherlands. London and New York, 213 p.

Lekavičienė, E. *Gedimino kalnas: išgelbėtas ir nušvitęs*. „STRUCTUM" Žurnalas sekmingam verslui. Vilnius, 2014 m. spalis, 10–19 p.

Leva, D; Nico, G.; Tarchi, D; Fortuny-Guasch, J.; Sieber, A. J. 2003. Temporal Analysis of a Landslide by means of a Ground-based SAR Interferometer, *Geoscience and Remote Sensing* [online]. Available from Internet: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1202960&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1202960>

Lopušanskij, V. 2014. Niveliavimo skaitmeniniais nivelyrais tiklsumo įvertinimas. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas. Akademija, 93 p. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2017 balandžio 28] Prieiga per internetą: < file:///C:/Users/ASUS/Downloads/2145996.pdf>

Lietuvos Nacionalinis muziejus. Informacija apie Gedimino kalno šlaitų tvarkybo darbus. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2017 m. balandžio 30] Prieiga per internetą: <http://www.lnm.lt/informacija-apie-gedimino-kalno-slaitu-nuosliauzas-ir-ju-tvarkyma/>

Maguire, B.; Miller, A.; Gienko, G. 2008. Geoinformacinių sistemų pagrindai (GII-01). Mokomoji knyga. Vilnius. 169 p.

Markelionis, M. 2017. Vilniaus Aukštutinės pilies vertikaliųjų deformacijų monitoringas ir internetinės svetainės projekto kūrimas. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas. Vilnius, 72 p.

Orlando, L.; Slob, E. 2009. Using Multicomponent GPR to Monitor Cracks in a Historical Building, *Journal of Applied Geophysics* [online]: 327–334. Available from Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926985108001092>

Пандул, И. С. 2008. Геодезические работы при изысканиях и строительстве гидротехнических сооружений. Политехника издательство, Санкт-Петербург. 155 p.

Ražinskas, A.; Zakarevičius, A. 1979. Taikomoji geodezija. Vilnius: Mokslas, 326 p.

Satkūnas, J. 2010. Vilniaus kalnai – pilių kūrimosi ir tvirtybės pagrindas. Lietuvos geologų tarnyba. Vilnius, 18 p. [Interaktyvus] [Žiūrėta 2016 birželio 12] Prieiga per internetą: <http://www.lgt.lt/uploads/1276177364_Leidinukas_Pilys.pdf>

Skeivalas, J. 2004. Determination of the Refraction Influence in Precision Levelling, Optical Engineering [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1100722>

Skeivalas, J. 2012. Refrakcijos įtakos nustatymas atliekant niveliaciją, *Geodezija ir kartografija* [interaktyvus], Nr. 4: 160–163 [žiūrėta 2016 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13921541.2000.10552896#.Vpus__mLSUk>

UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 2001 m. 05 mėn. Valdovų rūmų pamatų, aplinkinių objektų ir Gedimino Kalno deformacijų stebėjimai. Techninė ataskaita. Vilnius, 26 p.

UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 2005 m. 04 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių deformacijų (XI – ciklo) techninė ataskaita. Vilnius, 21 p.

UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 2007 m. 09 mėn. Gedimino kalno ir arkikatedros rytinio fasado deformacijų stebėjimo techninė ataskaita. Vilnius, 23 p.

UAB „Inžineriniai tyrinėjimai“ filialas „Inžinerinė geodezija“. 2008 m. 04 mėn. Gedimino kalno ir jo statinių deformacijų stebėjimo (13 – ciklo) techninė ataskaita. Vilnius, 19 p.

Valiuvienė, R.; Jarmalavičienė, K. 2014. GIS – paprasta ir atvira. Pranešimų medžiaga. Lietuvos kartografų draugija, 45 p.

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. Statybos fakultetas. 2014. Grunto nuošliaužos – pavojus, kartais užgriūvantis netikėtai, *Statyba ir architektūra*: 58–61.

Zakarevičius, A.; Žalnierukas, A.; Putrimas, R. 1986. Vilniaus Valstybinio V. Kapsuko Universiteto kai kurių senųjų pastatų pamatų sėdimų tyrimas, *Geodezijos Darbai* [interaktyvus]: 22–35 [žiūrėta 2016 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13921843.1987.10553222>

Zakarevičius, A.; Puzienė, R. 2010. Išmatuotų aukščių skirtumų redukavimas įvertinant vertikaliuosius Žemės paviršiaus judesius, *Geodezija ir Kartografija* [interaktyvus]: 50–56 [žiūrėta 2016 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/gc.2010.08?redirect=1>.