

Geological structure of the Ignalina Nuclear Power Plant area

Vytautas Marcinkevičius,

Jevlampijus Laškovas

Marcinkevičius V., Laškovas J. Geological structure of the Ignalina Nuclear Power Plant area. *Geologija*. Vilnius. 2007. No. 58. P. 16–24. ISSN 1392-110X

Geological-hydrogeological and engineering geological mapping at a scale of 1 : 50 000, seismic, gravity, morphometry, aeromagnetic, morphostructural analysis and the interpretation of satellite image carried out in the period 1988–1995 have given a more accurate picture of the tectonic structure of the Ignalina NPP area. The geological column in this area consists of the Lower Proterozoic crystalline basement, Baikalian (Vendian, Lower Cambrian), Caledonian (Lower-Middle Cambrian, Ordovician, Lower Silurian) and Hercynian (Middle and Upper Devonian) structural complexes covered by Quaternary deposits. The surface geometry of the crystalline basement of the North Zarasai bench, the Anisimoviči graben, the Drūkšiai graben and the East Drūkšiai and South Drūkšiai uplifts was established. All tectonic structures (blocks) are cut by faults of submeridional, subparallel, SW and SE directions. Most of them are neotectonically active. Data on vertical movements of the Earth's surface acquired in 1988–1994 suggest that the relative amplitude of movements reaches 2–3 mm per year. The rate of horizontal movements of different tectonic blocks, measured in ten GPS sites in September 1998 and September 1999, changes from 0–3 to 11–14 mm per year. The complicated tectonic presence, neotectonically active faults and occurrence of earthquakes show that the structural stability of the Ignalina NPP cannot be guaranteed.

Key words: Ignalina NPP, tectonic structure of basement, faults, geological map, neotectonic, paleoincisions

Received 22 February 2007, accepted 30 March 2007

Vytautas Marcinkevičius. Geological Survey of Lithuania, Konarskio 35, LT-03223, Vilnius, Lithuania. E-mail: vytautas.marcinkevicius@lgt.lt; Jevlampijus Laškovas. Institute of Geology and Geography, T. Ševčenkos 13, LT-03223, Vilnius, Lithuania

INTRODUCTION

The Ignalina Nuclear Power Plant (NPP) is located in the north-eastern part of Lithuania (Fig. 1). Projecting and engineering geological investigations prior to construction started in 1974, and the first block was built in 1983. The Lithuanian Geological Survey carried out geological-hydrogeological and engineering geological mapping at a scale of 1 : 50 000 in an area of 1170 km² around the Ignalina NPP in 1988–1995. Six deep holes down the crystalline basement and 69 shallow holes (98–363 m) were drilled (Марцинкевичюс и др., 1995). At the same time the seismic, gravity, aeromagnetic surveys and analysis of morphometric, morphostructural data as well as interpretation of satellite images were carried out. A geodynamical site for measuring the vertical movements of the Earth surface was arranged (Zakarevičius, 1994). Some articles on the tectonic and seismic conditions of the Ignalina NPP were published (Юкнялис и

др., 1990; Suveizdis, 1991; Marcinkevičius, Zakarevičius, 1992; Сувейздис, 1993; Marcinkevičius, Laškovas, 1995; Zakarevičius, 2003; Zakarevičius, Stanionis, 2003; 2005; Šliaupa, Zakarevičius, Stanionis, 2006, etc.).

STRUCTURE OF THE BASEMENT

The Ignalina NPP is located on the two principal structures of the East European platform: the Mazurian–Belarussian anteclise and the Latvian saddle (Suveizdis, 2003). This situation contributed to the tectonics of the area. The contemporary relief of the crystalline basement reflects movements over a period of 670 million years. The lower order tectonic structures distinguished on the surface of the crystalline basement are the North Zarasai step, the Anisimoviči graben, the Drūkšiai graben and the East Drūkšiai and South Drūkšiai uplifts (Figs. 2–4). The North Zarasai step, the Anisimoviči graben and the East Drūkšiai uplift



Fig. 1. Situational scheme of the Igalina NPP: 1 – Igalina NPP area, 2 – Igalina NPP

1 pav. Igalinos atominės elektrinės schema: 1 – Igalinos atominės elektrinės rajonas, 2 – Igalinos atominė elektrinė

Projection of the World Mercator WGS84
 Igalina NPP area coordinates: 55°44'58"N – 26°14'56"E; 55°44'58"N – 26°44'51"E;
 55°25'0.067"N – 26°44'47"E; 55°25'0.45"N – 26°14'54"E

are part of the Latvian saddle, and the South Drūkšiai uplift is part of the Mazurian–Belarussian anteclise. The Drūkšiai graben maybe divides the mentioned regional structures.

The North Zarasai step is located in the northern part of the area. The Zarasai fault separates it from the Drūkšiai graben in the south. This fault was established on the basis of gravimetric data as a gradient zone between the high density ($2.70\text{--}2.77 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) Lower Proterozoic basic rocks containing varying granitised portions forming the step and lower density ($2.65\text{--}2.70 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) broken plagiogranite including amphibolite, found to the south. The surface of the crystalline basement near the fault is cut at depths of -574.23 m (borehole 4464) and -586.56 m (borehole 1s). To the north-west and west, the surface drops to more than -600 m . The Skirnas fault divides the North Zarasai bench into the western and eastern parts. The eastern part is more deformed and contains subparallel narrow grabens, horsts and steps.

The Anisimoviči graben is located the north-eastern part of the area. The Anisimoviči fault delimits the graben in the west and the Zarasai fault in the south. There are several south-westerly trending faults in the Anisimoviči graben due to the crystalline basement surface drops to a depth of the more than $-750\text{--}-800 \text{ m}$.

The East Drūkšiai uplift is located in the eastern part of the area. From the south-west the Stankoviči fault delimits this uplift from the Drūkšiai graben. The crystalline basement surface to the south is higher (-559.90 m , borehole 4s). According to seismic data, the basement surface occurs at $-575\text{--}-595 \text{ m}$ in the northern part of the uplift. The crystalline basement is weakly dislocated by faults in the north-west-south east direction.

The Drūkšiai graben crosses the area from the west to the south-east. The width of the graben is $3\text{--}5 \text{ km}$. The graben is composed of three structural forms. In the northern and southern parts there are two grabens, with a horst between them. The Visaginas and the Obole faults restrict the trough from the

South Drūkšiai uplift. The surface of the basement in the south-eastern part of the trough occurs at a depth of <-574.16 (borehole P14) and in the western part at -607.96 m (borehole 3s). The Visaginas and the Obole faults restrict the graben from the South Drūkšiai uplift.

The South Drūkšiai uplift is located in the southern part of the area. The Polockas fault restricts the uplift from the Middle Lithuanian Hills. The surface of the crystalline basement occurs at a depth from -525 m in the south to -578.57 m (borehole 5s) in the north. The uplift is complicated by faults of submeridional NW and NE directions, sometimes restricted by grabens.

THE SEDIMENTARY COVER

The Baikalian, Caledonian and Hercynian structural complexes and Quaternary deposits compose the sedimentary cover (Figs. 2–4). Its thickness ranges from 703 to 757 m . They extend over the whole area and have a different material composition. Long stratigraphical breaks and angular unconformities characterise the boundaries of the complexes. As a rule, the stratigraphic gaps are between or within the systems that characterise the complex conditions of the Earth crust evolution in this area.

The Baikalian structural complex consists of the Vendian and Lower Cambrian Baltija Group Rudamina and Lontovo Formations of terrigenous rocks (sandstone, gravel, siltstone and clay). The greatest thickness of this complex is found in the Drūkšiai graben (265 m , borehole P14) and the least thickness in the South Drūkšiai uplift (229 m , borehole P5) and on the North Zarasai step (211.2 m , borehole 4464).

The Caledonian structural complex consists of Lower-Middle Cambrian Aisčiai Group Lakajai Formation terrigenous rocks (sand, sandstone, siltstone), Ordovician (limestone, marl, clay, dolomite, domerite) and Silurian (domerite, dolomite) rocks.

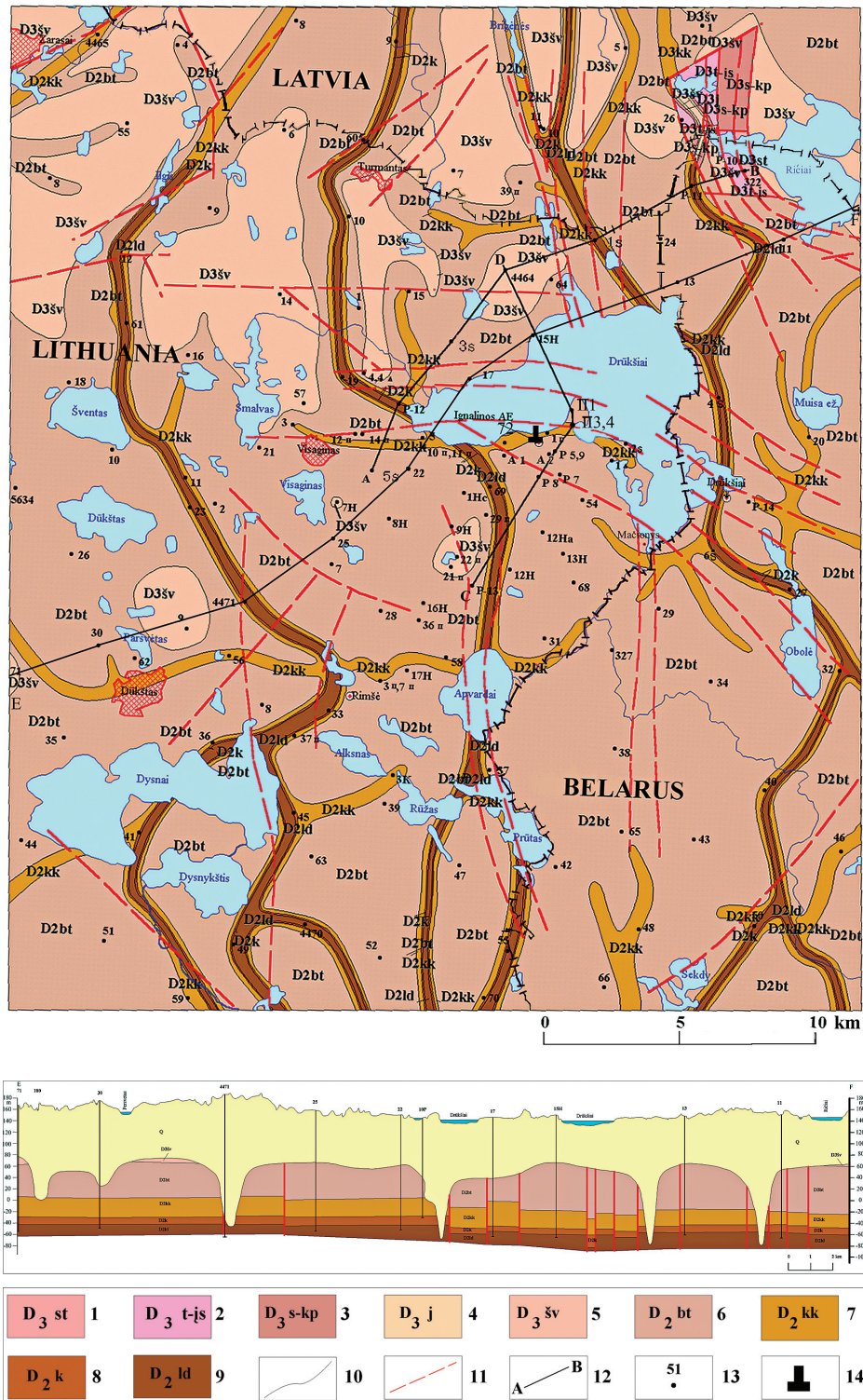


Fig. 2. The prequaternary geological map of the Ignalina NPP area and geological cross-section (V. Marcinkevičius, 1995): 1–5 – Upper Devonian: 1 – Stipiniai Fm. (dolomite, breccia), 2 – Tatula–Įstras Fms. (dolomite, domerite, breccia), 3 – Suosa–Kupiškis Fms. (dolomite, domerite, breccia), 4 – Jara Fm. (dolomite, domerite), 5 – Šventoji Fm. (sand, sandstone, siltstone, clay); 6–9 – Middle Devonian: 6 – Butkūnai Fm. (sand, sandstone, siltstone, clay), 7 – Kukliai Fm. (sand, sandstone, siltstone, clay), 8 – Kernavė Fm. (sand, sandstone, siltstone, clay), 9 – Ledai Fm. (sandstone, dolomite, domerite, breccia); 10 – boundary of Devonian Formations; 11 – fault, 12 – geological cross-sections; 13 – borehole and its number; 14 – Ignalina NPP

2 pav. Ignalinos atominės elektrinės rajono prekvartero geologinis žemėlapis ir geologinis pjūvis (Marcinkevičius, 1995). 1–5 – viršutinis devonas: 1 – Stipinių svita (dolomitas, brekčija), 2 – Tatulos–Įstro svitos (dolomitas, domeritas, brekčija), 3 – Suosos–Kupiškio svitos (dolomitas, domeritas, brekčija), 4 – Jaros svita (dolomitas, domeritas), 5 – Šventosios svita (smėlis, smiltainis, aleurolitas, molis); 6–9 – vidurinis devonas: 6 – Butkūnų svita (smėlis, smiltainis, aleurolitas, molis), 7 – Kuklių svita (smėlis, smiltainis, aleurolitas, molis), 8 – Kernavės svita (smėlis, smiltainis, aleurolitas, molis), 9 – Ledų svita (smiltainis, dolomitas, domeritas, molis, brekčija); 10 – devono sistemos svitų ribos; 11 – tektoniniai lūžiai; 12 – geologinių pjūvių linijos; 13 – gręžinys ir jo numeris; 14 – Ignalinos atominė elektrinė

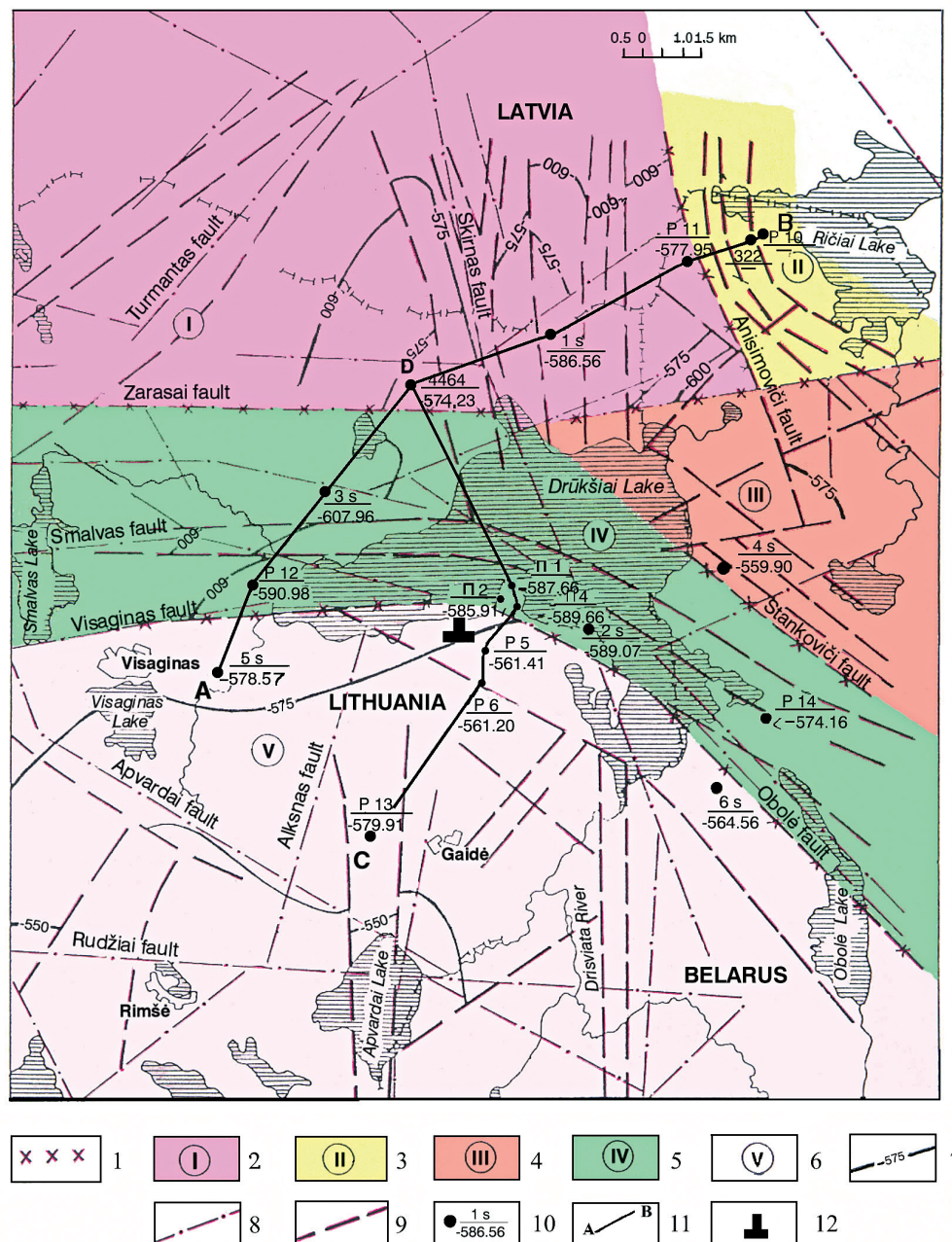


Fig. 3. Scheme of the structure of the crystalline basement: 1 – limits of tectonic structures (blocks); 2–6 – tectonic structures: 2 – North Zarasai step, 3 – Anisimoviči graben, 4 – East Drūkšiai uplift, 5 – Drūkšiai graben, 6 – South Drūkšiai uplift; 7 – stratoisohypses, abs. height, m; 8 – faults determined from aeromagnetic and gravitation survey; 9 – faults determined from seismic reconnaissance, 10 – borehole: number in numerator, crystalline basement surface absolute height (m) in denominator; 11 – line of geological cross-section; 12 – Ignalina NPP

3 pav. Ignalinos atominės elektrinės rajono kristalinio pamato struktūrinė schema: 1 – tektoninių struktūrų (blokų) ribos; 2–6 struktūriniai elementai (blokai): 2 – Šiaurės Zarasų pakopa, 3 – Anisimovičių grabenas, 4 – Rytų Drūkšių pakilimas, 5 – Drūkšių grabenas, 6 – Pietų Drūkšių pakilimas; 7 – kristalinio pamato paviršiaus stratoizohipsės abs. a. m; 8 – lūžiai, nustatyti pagal aeromagnetinės nuotraukos duomenis; 9 – lūžiai, nustatyti pagal seisminės žvalgybos duomenis; 10 – gręžinys: skaitiklyje – gręžinio numeris, vardiklyje – kristalinio pamato paviršiaus absoliutus aukštis m; 11 – geologinių pjūvių linijos; 12 – Ignalinos AE

The thickness of the complex changes from south-east (173 m, borehole P14) to the west (232 m, borehole P12) and north (206 m, borehole P11). Some special articles on the Vendian, Cambrian and Ordovician stratigraphy and lithology were published (Лашков и др. 1993; Jankauskas, Marcinkevičius, 1994).

The Hercynian complex consists of Middle and Upper Devonian terrigenous rocks (sand, sandstone, siltstone and clay) and carbonates (dolomite, domerite, breccia). The thickness of

the complex increases from the south (170–180 m) to the north (250–255 m). In the Anisimoviči graben, the thickness of the complex reaches more than 350 m while, in some palaeo-incisions it does not exceed 4 m.

Quaternary deposits consist of till, loam sandy, sand, silt, clay. Their thickness changes from 60 to 260 m, mostly 85–105 m. The thickness of the Quaternary deposits is greatest in the palaeo-incisions (160–260 m).

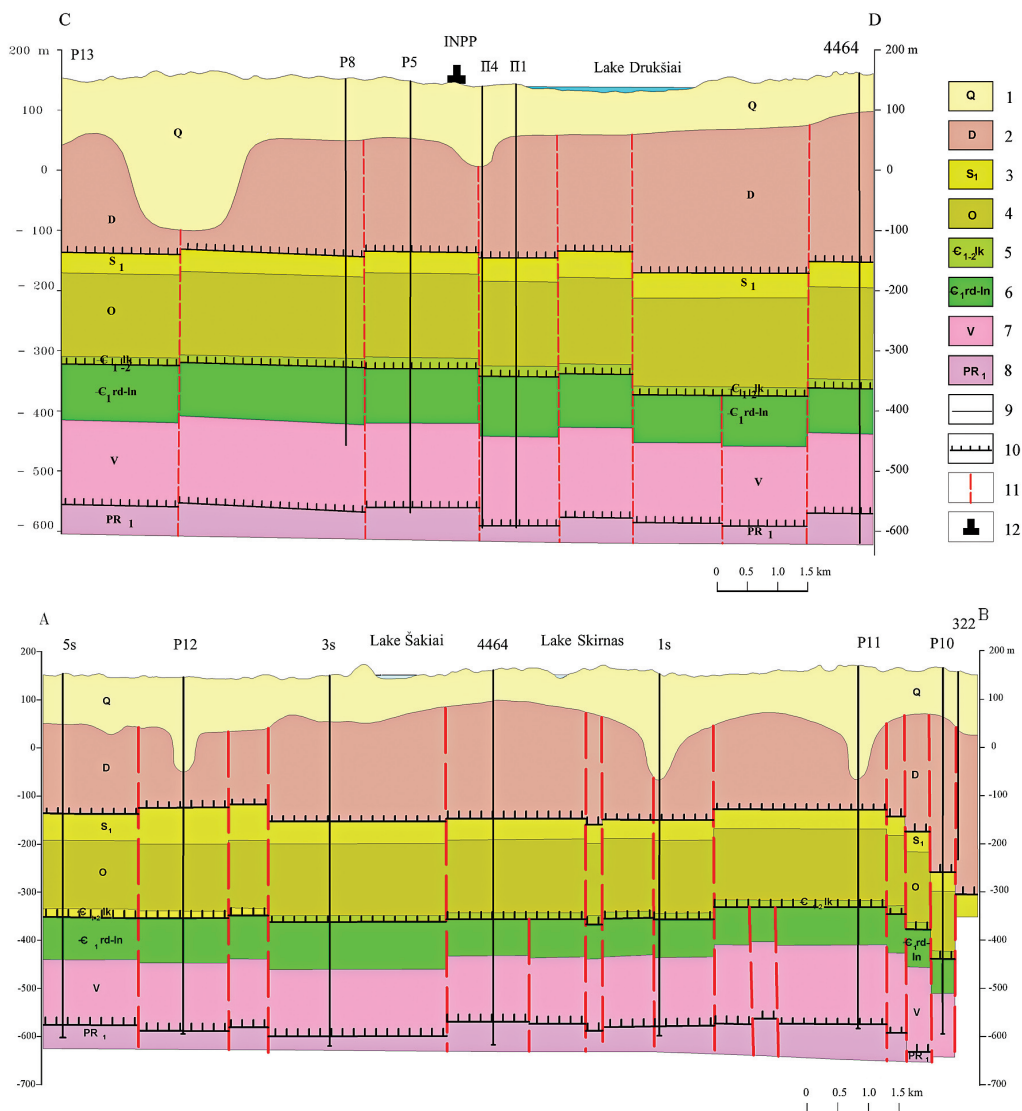


Fig. 4. Geological cross-sections of the Ignalina NPP area: 1 – Quarternary (till, loam sandy, sand, silt, clay); 2 – Upper and Middle Devonian (limestone, marl, clay, dolomite, domerite); 3 – Lower Silurian (domerite, dolomite); 4 – Ordovician (limestone, marl, clay, dolomite, domerite); 5 – Lower-Middle Cambrian (Lakajai Fm.) (sand, sandstone, siltstone); 6 – Lower Cambrian (Rudamina and Lontovo Fms.) (clay, siltstone, sandstone); 7 – Vendian (sandstone, siltstone, argillite, gravel); 8 – Upper Proterozoic (granite, gneiss, amphibolite, mylonite); 9 – limits of systems; 10 – limits of structural complexes; 11 – fault; 12 – Ignalina NPP

4 pav. Ignalinos AE rajono geologiniai pjūviai: 1 – kvarteras (moreninis priemolis ir priemolis, smėlis, aleuritas, molis); 2 – vidurinis–viršutinis devonas (smėlis, smiltainis, aleuritas, molis, dolomitas, domeritas, brekčija); 3 – apatinis silūras (domeritas, dolomitas); 4 – ordovikas (klintis, mergelis, smėlis, dolomitas, domeritas); 5 – apatinio–vidurinio kambro Lakajų svita (smėlis, smiltainis, aleuritas); 6 – apatinio kambro Rudaminos ir Lontovo svitos (molis, aleuritas, smiltainis); 7 – vendas (smiltainis, aleuritas, argilitas, gravelitas); 8 – apatinis proterozojus (granito gneisas, granitas, amfibolitas, milonitas); 9 – riba tarp geologinių sistemų; 10 – riba tarp struktūrinių kompleksų; 11 – tektoninis lūžis; 12 – Ignalinos AE

The surface of datum beds reflect the interior structure of the complexes: in the Baikalian complex the top of the Rudamina Formation of the Baltija Group of the Lower Cambrian, in the Caledonian – the upper limit of the Ordovician, in the Hercynian – the top of the Ledai Formation of the Narva Stage of the Middle Devonian. Comparison shows that the structural planes of the Baikalian and Caledonian complexes are similar to the surface of the crystalline basement. Now the datum surface of the Hercynian complex occurs monoclinaly from the south to the north (Marcinkevičius, Laškovas, 1995).

Alpine structural complexes are absent in the area. According to palaeogeographic reconstructions (Сувейздис, 1990), the continental regime existed there during the Alpine orogenic

movements. Most of the Hercynian complex was eroded away from the area, and the greater part of the Devonian sequence was preserved only in the Anisimoviči graben.

FAULTS

Two types of tectonic faults, pre-platform (buried and not penetrating the sedimentary cover) and platform (penetrating the cover), have been distinguished in the area of the Ignalina NPP.

Pre-platform faults are connected with the evolution of the crystalline basement. They delimit blocks of different composition and form the structure of the crystalline basement. Such conclusions are grounded on the analysis of gravity and aeromagnetic



Fig. 5. Neotectonic map of the Ignalina NPP area (A. Šliaupa, 1995): 1 – neotectonic active linear zones; 2 – Ignalina NPP

5 pav. Ignalinos AE rajono neotektoninis žemėlapis (Šliaupa, 1995): 1 – neotektoniškai aktyvios linijinės zonos, 2 – Ignalinos AE

data. Most faults were active in the periods when the sedimentary cover was formed, as well as in the Alpine and recent times.

Faults penetrating the sedimentary cover are subdivided into submeridional, subparallel, NE and NW.

Subparallel faults divide the Drūkšiai graben into three belts. The middle part of the graben is uplifted and makes a horst. The faults are more than 20 km long.

The amplitudes of the horst limiting faults are 25–55 m and 10–20 in the north and the south.

Submeridional faults found in the eastern part of the North Zarasai step are subparallel and break this structure into narrow (0.5–1.5 km) grabens and steps alternating with horsts. The faults are 5–9 km long and the amplitude reach 10–20 m. The faults of the South Drūkšiai uplifts delimiting the narrow (0.7–1.75 km) grabens reach 13–15 km in length and 10–25 m in amplitude.

The north-westerly-trending faults occur in the north-eastern part of the area. They delimit 0.5–0.7 km wide steps in the Anisimoviči graben. The length of the faults is 10 km and the amplitudes are 15–60 m. The total amplitude of the graben related to the datum of the Devonian bed is 180 m. Separate NE and NW trending faults occur in different parts of the area. Their length is 3–5 to 15–18 km and amplitudes 15–20 m.

The faults in the Drūkšiai graben, Anisimoviči graben and a large number of submeridional faults penetrate the crystalline

basement and sedimentary cover. However, some of NE and NW trending faults in the East Drūkšiai uplift and in the eastern part of the North Zarasai step cut only the crystalline basement and the Baikalian complex.

The faults of different trendings cross each other under Lake Drūkšiai.

NEOTECTONICS

It can be shown using morphometric, morphostructural and satellite imaging data that most of the faults penetrating the crystalline basement and sedimentary cover are neotectonically active. As a rule, neotectonically active zones coincide with fault lines or are displaced close to them (Fig. 5). The system of faults of the Drūkšiai graben, Anisimoviči graben, Skirnas fault is the most active. Their palaeoincisions are connected with neotectonically active zones. Their depth sometimes reaches 200 m (from the pre-Quaternary surface). One of the neotectonically active linear zones of latitudinal direction is to the south from the Ignalina NPP, quite close to it. The depth of the palaeoincision associated with this zone is more than 70 m.

Measurements of recent vertical movements of the Earth's crust in the geodynamical site arranged around Lake Drūkšiai confirm the present activity of the faults (Marcinkevičius,

Zakarevičius, 1992; Zakarevičius, 1994; Marcinkevičius, Laškovas, 1996). The results show that vertical movements in the area differ and are related to the block structure of the crystalline basement and sedimentary cover. According to 1989–1994 leveling data, in the western part of the North Zarasai step there were no pronounced changes of altitude. East of the Skirnas fault an elevation is observed. The relative amplitude of its vertical movements is 2–3 mm per year. The rate of horizontal movements of different tectonic blocks, measured in ten GPS sites in 1998 and 1999, varies from 0–3 to 11–14 mm per year (Zakarevičius, Stanionis, 2002; 2005; Šliaupa et al., 2006). However, more measurements are necessary to validate the reliability of these data. Depression of the Earth's crust in the northern part of the East Drūkšiai uplift has also been established. The amplitude of the depression increases in the Drūkšiai graben.

Historical data show that there were 13 earthquakes registered within a radius of 250 km around the Ignalina NPP. Their intensity reached 7 points (in the MSK-64 scale). The most recent detected earthquake was in 1908. Its epicenter was in the Daugavpils seismogenic zone, 35 km away from the Ignalina NPP (Заклучение..., 1988; Марцинкевичюс и др., 1995; Сувеиздис, 2003; Šliaupa et al., 2006).

CONCLUSIONS

The INPP region is situated in the zone of a junction of two large regional structures the Mazurian–Belarussian anticline and the Latvian saddle. The section in the Ignalina NPP area is composed of the Baikalian (Vendian, Lower Cambrian), Caledonian (Lower-Middle Cambrian, Ordovician, Lower Silurian) and Hercynian (Middle and Upper Devonian) structural complexes and Quaternary deposits. The thickness of its sedimentary cover changes from 703 to 757 m. The thickness of the Quaternary deposits ranges from 60 to 260 m.

According to the topography of the crystalline basement, there are several lower structures such as the North Zarasai step, Anisimoviči graben, East Drūkšiai uplift, Drūkšiai graben and South Drūkšiai uplift. All tectonic blocks are cut by faults. The faults crossing the sedimentary cover are submeridional, sublatitudinal, of SW and SE directions. The majority of them are neotectonically active. Some palaeoincisions are connected with tectonic zones.

The area of the Ignalina NPP is estimated tectonically active according to the data on the vertical and horizontal movements of its structural blocks.

It is necessary to estimate the geological structure, essentially the dispositions of tectonic faults, neotectonically active zones, if a new nuclear energy objects on the area of the Ignalina NPP will be sited, projected and built, and the intensity of the possible earthquakes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank colleagues from Division of Engineering Geology and Environmental Geology V. Bukauskienė and L. Jaroševienė for technical assistance.

References

1. Jankauskas T., Marcinkevičius V. 1994. Vendian and Cambrian succession of the Drūkšiai Lake area, North-eastern Lithuania. *Geologija*. **17**. 16–22.
2. Marcinkevičius V., Zakarevičius A. 1992. Ar juda žemės plutos blokai po Ignalinos atominė elektrinė? *Geologijos akiračiai*. **3**. 17–19.
3. Marcinkevičius V., Laškovas E. 1995. Ignalinos atominės elektrinės rajono tektoninės sąlygos. *Geologijos akiračiai*. **1–2**. 8–23.
4. Suveizdis P. 1991. Geologija ir atominės elektrinės. *Geologijos akiračiai*. **3**. 17–19.
5. Suveizdis P. (red.) 2003. Lietuvos tektoninė sandara. Vilnius: UAB „Petro ofsetas“. 160 p.
6. Šliaupa A., Zakarevičius A., Stanionis A. 2006. Strain and stress fields of the Ignalina NPP area from GPS data and thin-shell finite element modelling, NE Lithuania. *Geologija*. **56**. 27–35.
7. Zakarevičius A. 1994. Dabartinių vertikalių žemės plutos judesių Lietuvos teritorijoje tyrimas. Vilnius: Technika. 276 p.
8. Zakarevičius A. 2003. Dabartinių geodinaminių procesų Lietuvos teritorijoje tyrimas. Vilnius: Technika. 195 p.
9. Zakarevičius A., Stanionis A. 2003. Horizontaliųjų žemės plutos deformacijų Ignalinos atominės elektrinės rajone sklaidos ypatumai. *Geodezija ir kartografija*. **29**. 119–123.
10. Zakarevičius A., Stanionis A. 2005. Estimation of horizontal deformations and stresses of the Earth-crust in the Ignalina nuclear power plant area by the finite element method. *Vagos*. **67**. Kauno r., Akademija. 103–108.
11. Заключение рабочей группы по оценке сейсмических условий площадки Игналинской АЭС. 1988. Москва. 61 с.
12. Лашков Е., Марцинкявичюс В., Пашкевичюс И. 1993. Стратиграфия и строение карбонатных отложений ордовика юго-восточной части Балтийского бассейна (Друкшайская площадь). *Геология*. **14**. 81–98.
13. Марцинкявичюс В., Буцявичюте С., Вайтонис В., Гуобите Р., Дансявичене Д., Канопене Р., Лашков Е., Марфин С., Рачкаускас В., Юозапавичюс Г. 1995. Отчет о проведенной комплексной геолого-гидрологической и инженерно-геологической съемке м-ба 1:50 000 в районе Игналинской АЭС на территории листов N-35-5-Г-в, г, N-35-6-В-в, г, N-35-17-Б, N-35-18-А, N-35-17-Г-а, б, N-35-18-В-а, б, в пределах Литовской Республики и Республики Беларусь, с доизучением геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических условий в пределах Латвийской Республики (Друкшайский объект). Вильнюс. Т. 1, кн. 1, 290 с.
14. Сувеиздис П. И. (гл. ред.) 1990. Атлас литологопалеогеографических карт Советской Прибалтики и сопредельных территорий. Пермь–неоген. М 1: 500000. Объяснительная записка. Вильнюс. 119 с.
15. Сувеиздис П. И. 1993. Тектоническое толкование сейсмических явлений Прибалтики. *Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР*. Минск. 50–53.
16. Юкнялис И., Марцинкявичюс В., Шештокас И., Шляупа А. 1990. Разломы района Игналинской АЭС. *Проблемы экологической геологии в Прибалтике и Белоруссии. Тезисы докладов совещания в Вильнюсе*. Вильнюс. 54–57.

Vytautas Marcinkevičius, Jevlampijus Laškovas

IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS RAJONO GEOLOGINĖ SANDARA

Santrauka

1988–1995 m. Lietuvos geologijos tarnyba Ignalinos AE apylinkėse 1170 km² plote (M 1 : 50000) atliko kompleksinį geologinį-hidrogeologinį ir inžinerinį geologinį kartografavimą. Naujai gauta šio kartografavimo ir kitų tyrimų medžiaga leido patikimai įvertinti Ignalinos AE apylinkių geologines-tektonines sąlygas ir jų poveikį Ignalinos AE saugumui.

Ignalinos AE rajonas yra senosios prekambrinės Rytų Europos platformos dviejų stambių regioninių tektoninių struktūrų – Mozūrijos-Baltarusijos anteklizės ir Latvijos balno – sandūros zonoje. Jo geologiniame pjūvyje išplitusios apatinio proterozojaus, vendo, apatinio kambro (Rudaminos ir Lontovo svitos) ir apatinio-vidurinio kambro (Lakajų svita), ordoviko, apatinio silūro, vidurinio ir viršutinio devono bei kvartero uolienos.

Kristalinį pamatą sudarantis apatinio proterozojaus uolienos Ignalinos AE rajone slūgso 703–757 m, o po pačia elektrine – apie 720 m gylyje. Tai dažniausiai biotito ir amfibolo granito gneisas, granitas, migmatitas ir kt. Kristalinio pamato paviršius gelmėja šiaurės vakarų kryptimi. Vendo kompleksas suklotas iš gravelito, įvairaus rupumo feldšpatinio kvarcinio smiltainio, aleulolito ir argilito, apatinis kambras – įvairaus rupumo (dažniausiai smulkaus ir smulkučio) kvarcinio (su nedidele glaukonito priemaiša) smiltainio, aleulolito ir molio; apatinis-vidurinis kambras – iš smulkaus ir smulkučio kvarcinio smiltainio, ordovikas – iš klinties ir mergelio; apatinis silūras – iš domerito ir dolomito; vidurinis devonas – iš gipsingos brekčijos, domerito ir dolomito, taip pat smulkaus ir smulkučio smėlio, smiltainio, aleulolito ir molio, viršutinis devonas – iš smulkaus ir smulkučio smėlio bei smiltainio, aleulolito ir molio; o kvarteras – iš pleistoceno glacialinių (moreninių priemolis ir priemolis), akvaglacialinių (įvairaus rupumo smėlis, žvyras, aleuritas, molis), tarpledynmečio (smėlis, molis, aleuritas, sapropelis) ir holoceno (įvairaus rupumo smėlis, molis, aleuritas, durpės, sapropelis) nuogulų.

Pagal kristalinio pamato paviršiaus reljefą Ignalinos AE rajone skiriamos šios tektoninės struktūros (blokai): Šiaurės Zarasų pakopa, Drūkšių rytinis pakilimas, Anisimovičių grabenas, Drūkšių grabenas ir Drūkšių pietinis pakilimas.

Nuosėdinės dangos storis kinta nuo 703 iki 757 metrų. Ją sudaro visame rajone išplitę struktūriniai kompleksai – baikalinis, kaledoninis ir hercininis, taip pat kvartero nuogulos. Baikalinio ir kaledoninio kompleksų kraigas, kaip ir kristalinio pamato paviršius, gelmėja šiaurės vakarų kryptimi. Juose išsiskiria tos pačios tektoninės struktūros kaip ir kristaliniame pamate. Hercininio komplekso struktūrinis planas nesutampa su kristalinio pamato, baikalinio ir kaledoninio kompleksų struktūriniais planais. Jo kraigas gelmėja šiaurės kryptimi. Baikalinio komplekso storis – 211–260 m, kaledoninio – 173–232 m, hercininio – 4–350 metrų. Alpinio struktūrinio komplekso uolienų Ignalinos AE rajone nerasta. Tuo metu čia buvo sausuma, nuo kurios buvo nudenuduota ir nemaža hercininio komplekso dalis.

Kvartero nuogulos ištaisai nuklojusios prekvartero uolienas. Jų storis kinta nuo 60 iki 260, o dažniausiai yra 85–105 metrų. Didžiausias kvartero nuogulų storis paleoįrežiuose – 160–260 ir daugiau metrų.

Ignalinos AE rajone nustatyti dviejų tipų tektoniniai lūžiai: priešplatforminiai (nekertantys nuosėdinės dangos) ir platforminiai (kertantys nuosėdinę dangą).

Nuosėdinę dangą kertantys lūžiai yra submeridianinės, subplatininės, šiaurės vakarų ir šiaurės rytų krypties. Ryškiausiai išsiskiria Drūkšių ir Anisimovičių grabenų lūžių serijos. Drūkšių grabenas yra 3–5 km pločio. Tai sudėtinga struktūra, sudaryta iš trijų 0,5–1,5 km pločio juostų. Vidurinė grabeno dalis yra iškelta ir sudaro horstą. Drūkšių grabeno lūžiai yra ilgesni nei 20 kilometrų. Horstą ribojančių lūžių amplitudės siekia 25–55, o grabenų iš šiaurės ir pietų – 10–20 metrų.

Lanko formos lūžiai Anisimovičių grabeną suskaldė į beveik 0,5–0,7 km pločio juostas, pakopomis nusileidžiančias rytų-šiaurės rytų kryptimi. Lūžiai – apie 10 km ilgio, jų amplitudės – 15–60 metrų. Bendra sprūdžio amplitudė nuo devono sluoksnių pado sudaro apie 180 metrų.

Šiaurės Zarasų pakopoje ir Drūkšių pietinio pakilimo rytinėje dalyje paplitę submeridianinės krypties lūžiai. Zarasų šiaurinės pakopos rytinė dalis submeridianinės krypties lūžių suskaldyta į siaurus 0,5–1,5 km pločio horstus ir grabenus. Lūžiai – 5–9 km ilgio, jų amplitudės – 10–20 metrų. Drūkšių pietinio pakilimo lūžių, ribojančių 0,7–1,75 km pločio Apvardų-Prūto ir Mačionių grabenus, ilgis – 13–15 km, amplitudės – 10–25 metrų. Šiaurės rytų ir šiaurės vakarų krypties lūžiai nustatyti visose Ignalinos AE tektoninėse struktūrose (blokuose). Jų ilgis kinta nuo 3–5 iki 15–18 km, amplitudės yra 15–20 metrų. Labiausiai lūžių suskaldyta rytinė rajono dalis. Lūžių susikirtimo mazgas yra Drūkšių ežere.

Ignalinos AE rajone nustatyta sudėtinga neotektoniškai aktyvių linijinių zonų sistema. Dauguma jų beveik sutampa su kristalinio pamato ir nuosėdinę dangą kertančių lūžių zonomis arba atskirais lūžiais. Neotektoniškai aktyvios linijinės zonos, kaip ir lūžiai, yra subplatininės, submeridianinės, šiaurės rytų ir šiaurės vakarų krypties, tik šiek tiek pasistūmusios lūžių atžvilgiu. Nekelia abejonių Drūkšių ir Anisimovičių grabenų bei Skirno lūžio neotektoninis aktyvumas. Su neotektoniškai aktyviomis linijinėmis zonomis susiję siauri paleoįrežiai, kartais siekiantys beveik 200 m gylį (nuo pokvarterinio paviršiaus). Viena iš platininės krypties neotektoniškai aktyvių linijinių zonų yra į pietus nuo Ignalinos AE, visai netoli jos. Su šia zona susijusio paleoįrežio gylis yra didesnis nei 70 m (nuo pokvarterinio paviršiaus).

Dabartinių lūžių aktyvumą patvirtina vertikalių žemės paviršiaus judesių matavimai (1989–1994) aplink Drūkšių ežerą įrengtame geodinaminiam poligone ir horizontalių judesių matavimai (1998 ir 1999) globalios padėties sistemos poligone. Matavimų rezultatai rodo, kad vertikalūs ir horizontalūs žemės plutos judesiai Ignalinos AE rajone susiję su žemės plutos blokų, ribojamų tektoninių kristalinio pamato ir nuosėdinės dangos lūžių, judesiais. Santykinai vertikalių žemės plutos blokų judesių amplitudė šiame rajone siekia iki 2–3 mm, o horizontalių – iki 14 mm per metus.

Istoriniais duomenimis, 250 km spinduliu aplink Ignalinos AE yra buvę 13 žemės drebėjimų, kurių intensyvumas siekė iki 7 balų (pagal MSK-64 skalę). Arčiausias iš jų, Daugpilio, įvyko 1908 metais. Jo epicentras buvo Daugpilio seismogeninėje zonoje, už 35 km nuo Ignalinos AE.

Ignalinos AE pramoninėje aikštelėje ir Ignalinos AE rajone parenkant vietą, projektuojant ir statant naujus branduolinės energetikos objektus būtina atsižvelgti į jos gelmių geologinę sandarą, ypač tektoninių lūžių išsidėstymą ir jų aktyvumą dabartinio vystymosi etape bei ateityje galimų žemės drebėjimų intensyvumą.

Витаутас Марцинкявичюс, Евлампийус Лашковас

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИГНАЛИНСКОЙ АЭС

Резюме

В 1988–1995 гг. Геологической службой Литвы в районе Игналинской АЭС была проведена комплексная геологигидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка. Площадь съемки – 1170 км². Полученный геологический материал дополняет результаты предыдущих исследований и позволяет оценить геолого-тектонические условия района Игналинской АЭС.

Район Игналинской АЭС находится на стыке двух крупных тектонических структур Восточно-Европейской платформы: Мазурско-Белорусской антеклизы и Латвийской седловины. Геологический разрез района слагают породы кристаллического фундамента нижнего протерозоя, байкальского (венд, нижний кембрий), каледонского (нижний–средний кембрий, ордовик, нижний силур), герцинского (средний–верхний девон) структурных комплексов и четвертичные отложения.

Нижнепротерозойские породы представлены биотитовыми и амфиболовыми гранито-гнейсами, гранитами, амфиболитами, милонитами. Венд сложен гравелитами, разнотекстурными полевошпатово-кварцевыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами; нижний кембрий – мелко- и тонкозернистыми песчаниками с примесью глауконита, алевролитами и глинами; нерасчлененный нижний-средний кембрий – мелко- и тонкозернистыми кварцевыми песчаниками и алевролитами; ордовик-известняками, мергелями, доломитами, домеритами; нижний силур – домеритами и доломитами; средний девон – доломитовой брекчией, домеритами, доломитами, песчаниками, песками, алевролитами и глинами; верхний девон – мелко- и тонкозернистыми песчаниками, песками, алевролитами и глинами; четвертичные – плейстоценовыми моренными суглинками и супесями, водноледниковыми песками, гравием, алевролитами и глинами, межледниковыми песками, глинами, алевролитами, торфом и сапропелем. Отложения альпийского комплекса (пермь–неоген) в районе отсутствуют. В то время здесь была суша, с которой смыта часть герцинского комплекса.

Мощность байкальского 211–265 м, каледонского – 173–232 м, герцинского – 4–350 м, четвертичных отложений – 60–260 м. Суммарная мощность осадочного чехла составляет от 703 до 757 м.

По рельефу кристаллического фундамента в районе Игналинской АЭС выделяются тектонические структуры (блоки): Северо-Зарасайская ступень, Восточно-Друкшяйское поднятие, Анисимовичский грабен, Друкшяйский грабен и Южно-Друкшяйское поднятие. Поверхность кристаллического фундамента, байкальского и каледонского комплексов погружается на северо-запад, поверхность герцинского комплекса снижается в северном направлении.

Установлены два типа тектонических разломов: доплатформенные, не проникающие в осадочный чехол, и платформенные, поражающие фундамент и осадочный чехол. Первые связаны с эволюцией кристаллического фундамента и ограничивают блоки разные по составу и структуре. Платформенные разломы имеют субширотную, субмеридиональную, СЗ и СВ ориентировку. Субпараллельные разломы ограничивают Друкшяйский грабен. Его ширина составляет 3–5 км. В центральной части грабен осложнен горстом шириной 0,5–1 км. Протяженность разломов более 20 км, амплитуда разломов, ограничивающих грабен с севера и юга, 10–20 м, ограничивающих горст – 25–55 м. Анисимовичский грабен имеет дугообразную форму и разделен на полосы шириной 0,5–0,7 км, с уступами, понижающимися в СВ направлении. Протяженность разломов до 10 км, амплитуды 15–60 м. Суммарная амплитуда разломов по подошве девонских отложений достигает 180 м. На Зарасайской ступени и Южно-Друкшяйском поднятии доминируют разломы субмеридионального направления. Восточная часть Зарасайской ступени расчленена на узкие (0,5–1,5 км) горсты и грабены. Протяженность разломов 5–9 км, амплитуды 10–20 км. На Южно-Друкшяйском поднятии разломы, ограничивающие Апвардай–Прутский и Маченский грабены, имеют протяженность 13–15 км, амплитуды 10–25 м. Пересечение субширотных и субпараллельных разломов отмечается в Друкшяйском грабене.

Установлены системы неотектонически активных зон. Они совпадают с разломами, выделенными сейсморазведочными методами. Зоны ориентированы субширотно и субмеридионально, на СВ и ЮЗ. Особенно неактивные разломы Друкшяйского и Анисимовичского грабенов. К неотектоническим линейным зонам приурочены палеоврезы дочетвертичной поверхности глубиной до 260 м. Палеоврез глубиной 70 м выявлен южнее Игналинской АЭС.

Активность разломов подтверждают измерения вертикальных движений земной поверхности, выполненные в 1989–1994 гг. на полигоне вокруг озера Друкшяй. Амплитуда вертикального смещения блоков достигает 2–3 мм в год. Горизонтальные смещения блоков, измеренные в 1998–1999 гг., составляют 0–14 мм.

В пределах территории радиусом 250 км вокруг площадки Игналинской АЭС по историческим данным установлены 13 землетрясений интенсивностью до 7 баллов (по шкале MSK - 64). Наиболее близкое, Даугавпилское, землетрясение произошло в 1908 г. Эпицентр землетрясения находился в 35 км от Игналинской АЭС, в Даугавпилской сейсмогенной зоне.

При выборе места, проектировании и строительстве новых объектов ядерной энергетики в районе и на площадке Игналинской АЭС необходимо учесть геологическое строение недр, в особенности положение тектонических зон и их активность на современном этапе, а также интенсивность возможных землетрясений.