

SLOPE DEFORMATIONS ON THE MARGIN OF THE CRETACEOUS PLATEAU IN PRAGUE

QUIDO ZÁRUBA, Prof., Dr. Sc. (Eng.), Mem. Czechoslovak Ac. Sc.¹

SYNOPSIS. Geological and engineering geological conditions of the Cretaceous plateau where Prague is situated are described. Block-like mass movements have been developed along the plateau margin; their renewal is possible. New construction is partly planned on lots of old quarries. The solution of some engineering geological problems is described.

The geological conditions of the Prague area are very complicated so that the development and redevelopment of the City pose a number of problems connected with the geological factors. The spread of housing developments leads to the building up of areas of less favourable foundation conditions, such as the floodplain usually covered with high fills, abandoned quarries and steep valley slopes of uncertain stability.

Prague is underlain by Early Paleozoic, mainly Ordovician rocks and Cretaceous beds with the superficial covering of Pleistocene river terraces, loess and slope deposits. The Ordovician complex is of varied lithology. Thick layers of clayey and silty shales alternate with quartz sandstones, greywackes and quartzites. This alternation suggests that the same sedimentary conditions were several times repeated.

The Ordovician rocks were strongly folded and faulted during the Variscian orogeny. The longitudinal and cross faults are accompanied by wide zones of fracturing and crushing. The rocks thus disturbed succumbed readily to stream erosion. The Vltava river cut a deep and widened valley, which provided suitable conditions for human settlement existing almost continuously since the Neolithic.

Physical properties of the Ordovician rocks are the result of their lithological character and tectonic disturbance. The surface of the bedrock is also affected by intensive mechanical weathering due to freeze-and-thaw action in glacial periods, when the Prague area was situated in the periglacial region. At the level of the Cretaceous transgression the rocks show deep fossil weathering of tropical character, which disintegrated even the Ordovician shales to sandy clays.

After a long period of denudation and peneplanation during the Late

¹ Chairman of the Technical University, Past President of the International Association of Engineering Geology, Prague.

Paleozoic to Early Cretaceous, limnic sediments (sands and clays) were deposited in shallow basins before the Cenomanian transgression. The sea spread from the north-east and left behind predominantly sandy sediments. The slight deepening of the Turonian sea resulted in the deposition of sandy marls. After the regression of Cretaceous sea, the area of central Bohemia have remained dry land.

The Cretaceous strata lie almost horizontally on the Paleozoic basement and make up prominent flat-topped elevations at the periphery of the city. During the Pleistocene the Bohemian Massif was rising gradually and caused the increase in the gradient of streams. The Vltava river and its tributaries cut deep into the ancient peneplain so that the valley reached the Paleozoic basement. The originally continuous Cretaceous plateau was dissected into isolated elevations, some of which were lowered by denudation.

At the present-day growth of the city, these elevations, their margins and steep slopes become the sites of new districts. The building up of these slopes necessitates, of course, detailed engineering-geological investigation and assessment of their stability. It was found out that the sandstones are disrupted by vertical fissures, roughly parallel to the edge of the slope, which divide the sandstone complex into blocks. These stand on basal clays. At many places, the marginal blocks are sunken into soft clays and moved downslope.

Although the block movements are mostly fossil phenomena, which are not active under present-day climatic conditions, the hillsides are hazardous from the engineering-geological point of view, as they are liable to new movements along ancient slide surfaces in case of unsuitable interference. It should be noted that the surface of basal clays is uneven and water percolating through the permeable and jointed sandstones accumulates in its depressions. Where it flows from the slope in the form of springs, it soaks and weakens the surface clay layers. Consequently, sliding, especially of slope debris and colluvium, may occur on these slopes even under present climatic conditions.

The foundation of buildings on Cretaceous sandstones and marlstones presents another engineering geological problem. These rocks were used as building stone since long ago and many abandoned and filled-up quarries are scattered over the elevations. At some places the friable sandstones were worked underground for sand and the extent of excavated spaces is not well known, since the entries into old galleries are caved in and no written records on old workings are available. The margins of the plateaus should therefore be investigated very carefully if they should be involved in the development plan of the city.

As an example, the problems connected with the planning of a new district in the north-eastern part of Prague will be described (Fig. 1). Geological conditions of the Prosek elevation are simple. The Turonian sandy marlstones, several metres thick pass downwards into soft marls, which are underlain by Cenomanian sandstones, up to 20 m thick. A

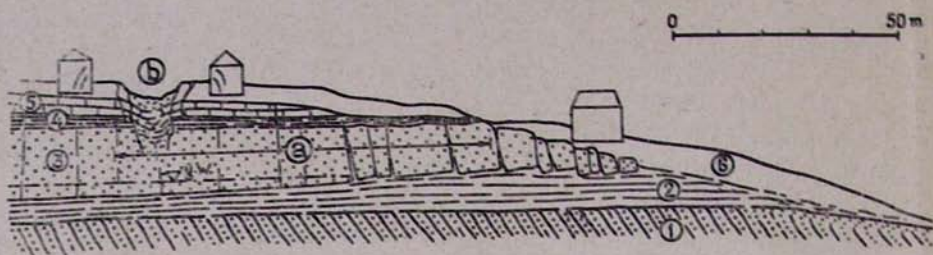


Fig. 1. Block slides of Pleistocene age on the flank of the Cretaceous plateau. 1—Ordovician shales; 2—Cenomanian clays; 3—Cenomanian sandstones; 4—glauconitic sandstone; 5—Turonian marls; 6—slope deposits and fill; a—area disturbed by underground sand exploitation; b—street collapsed owing to undermining.

Նկ. 1. Գլխատեղի հասակի բլրային սողանքները կավի սահմանի եզրին: 1—օրդովիկյան թերթաքարերը: 2—սենոմանի կավերը: 3—սենոմանի ավազաքարերը: 4—գլաուկոնիտային ավազաքարերը: 5—տուրոնի մերգելները: 6—լանջային նստվածքները և լիցքերը: a—խախտման մակերևույթը ավազի ստորերկրյա արդյունահանման զեպրում: b—լրացուցիչ մշակման հետևանքով փլված փողոցը:

Рис. 1. Блоковые оползни плейстоценового возраста на краю мелового плато. 1—ордовикские сланцы; 2—сенноманские глины; 3—сенноманские песчаники; 4—глаукоконитовые песчаники; 5—туронские мергели; 6—склоновые отложения и насыпи; а—площадь нарушения при подземной добыче песка, б—улица, обрушившаяся вследствие подработки.

claystone layer forms the base. The surface of the area is covered with a loess sheet. Before the beginning of construction in 1966 a street running along the edge of the plateau collapsed and several small old houses were damaged. Since it was known that sand was worked in galleries and along open fissures, the planners of the new town district were fearing that the whole area would be threatened by ancient mine workings.

After extensive subsurface exploration and inspection of underground cavities it was decided to divide the area into two zones: a hazardous zone, where fairly large cavities were found at several places and the sandstones were disturbed by open fissures and old slope movements; and the plateau itself, where undermining was highly improbable, as was later confirmed by foundation and construction works.

The width of the hazardous zone was determined with a reasonable degree of safety at 120 m from the edge of the slope. It was recommended to leave there only old single-storey buildings and to preserve unoccupied areas for parks, sport grounds, etc.

The increasing lack of suitable building sites forces the town planners to use and develop abandoned quarries, which requires all the geological knowledge and engineering skill to make them safe. In the north-western part of Prague a row of terraced houses was built on a slope disturbed by disused sandstone quarries, which demanded, of course, a very conscientious investigation of the stability of quarry faces and their securing, where necessary (Fig. 2).

Detailed engineering-geological investigation showed that some of the marginal sandstone blocks are sunk several metres into the underlying

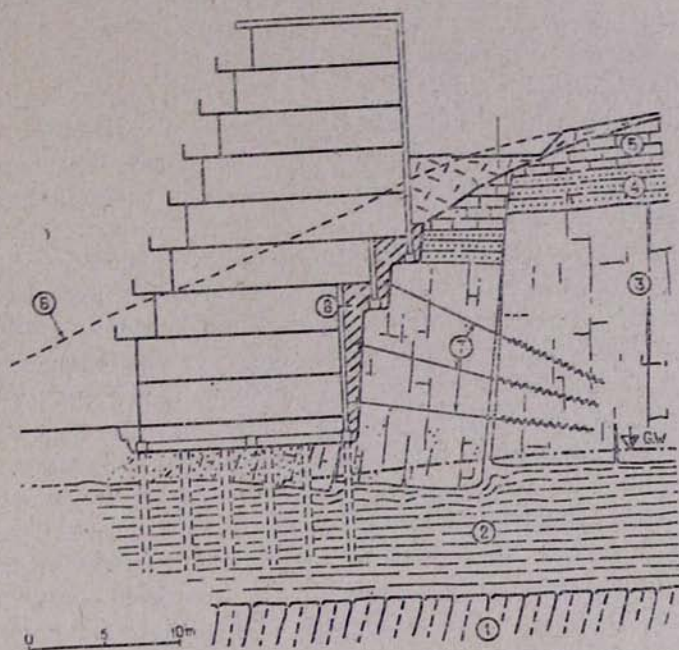


Fig. 2. Construction of terraced blocks of flats in an abandoned quarry. 1—Ordovician shales; 2—Cenomanian clays; 3—Cenomanian sandstones; 4—glauconitic sandstone; 5—Turonian marls; 6—original slope surface; 7—steel anchors; 8—concrete filler.

Նկ. 2. Դարձառափային բնակարանային բլոկների կառուցվածքը լճված ֆարմաներում: 1—օրդովիկյան ափազարարներ. 2—սենոմանային կավեր. 3—սենոմանային ափազարարներ. 4—գլաուկոնիտային ափազարարներ. 5—տուրոնյան մերգելներ. 6—լանջի սկզբնական մակերևույթը. 7—ստալայապատյա խորիսխներ. 8—բետոնն լցումներ:

Рис. 2. Конструкция террасовых квартирных блоков на заброшенном карьере. 1—ордовикские песчаники; 2—сеноманские глины; 3—сеноманские песчаники; 4—глауконитовые песчаники; 5—туронские мергели; 6—первоначальная поверхность склона; 7—стальные анкеры; 8—бетонное заполнение.

clays. The amount of movements was well determinable from the course of green glauconitic sandstone layers. Since the thickness of sandstones below the designed foundation level was relatively small and the rock was for the most part disintegrated to sand, water-bearing at the base, the frontal part of the houses was founded on reinforced-concrete cast-in-place piles. Piles were driven as deep as the solid claystones. The sunken sandstone blocks were secured by steel anchors, about 16 m long, which were prestressed to 200 kN (20 tons).

The study of such slope deformations of Cretaceous sandstones in old quarries in the Motol valley, in the western suburb of Prague (Záruba, 1974), afforded supporting evidence for the fossil character of this phenomenon. In the quarry face it was possible to observe and measure several sandstone block inclined and subsided into clays. The latter were squeezed up into low waves in the quarry floor. The bedding planes of moved blocks were dipping 14–16° into the slope and relics

of Turonian sandy marls have been preserved above them. Some fissures between the blocks, parallel to the slope, were widened into „gulls“ and filled with fallen-in fragments of the overlying Turonian marls.

The original slope was covered by two continuous sheets of loess loam. Undisturbed soil profile was developed on the surface of the younger loess blanket and relics of a soil profile have also been preserved on the older one. This finding suggests that the slope has been stable since the Last Glacial.

The position of central Bohemia in the periglacial area may throw light on the origin of the features described. It allows to tentatively reconstruct the succession of the periglacial processes. The marginal sandstone blocks could get into movement only after the valley had been cut through as deep as the Ordovician basement, i. e. in the Late Pleistocene. The first deformations of the underlying clays were probably caused by pressure release in result of differential unloading. The clays found themselves in the permafrost zone and under the effect of summer thawing were dragged out by solifluction. In the periods of deep freezing, layers of ground ice formed in them, which on melting caused the lowering of their strength and coherence. The weakened clays were squeezed out by the load of the marginal blocks that sank into them and migrated downslope.

Similar periglacial features such as cambered blocks of competent strata on the surface of incompetent strata were described from England, where most authors (Hollingworth et al., 1944; Higginbottom and Fookes, 1970) also interpret them in terms of thawing of permafrost in the periglacial area.

Under present climatic conditions, these block movements can be regarded as stabilized unless the stability of the slope is disturbed by human interference such as deep excavation, failure of water pipes, etc.

The construction of a hospital in Turnov in northern Bohemia may be cited as an example confirming this assumption. The structure was projected in the upper part of a block slide (Fig. 3). According to the results of engineering-geological investigation, the blocks have been stable since the Pleistocene and there were no obstacles preventing the construction of the hospital on the selected site. The four-storey building was founded on continuous footing, which rests on inclined sandstone blocks. After thirty years it is still intact. The slope below the hospital was recommended to be left as a green-belt area and not to be disturbed by excavations and constructions.

The following examples will show how important it is to observe these precautions. Fig. 4 shows the section through the marginal part of the Cretaceous elevation in Prague 6, where the slope failure was caused by deep excavations. At the foot of the hillside, loess and colluvial loams and weathered Ordovician shales were worked for brickmaking. The steep face of the pit, up to 20 m high, was stable for several years, but in spring 1932 after heavy rainfall, a large mass of material slid

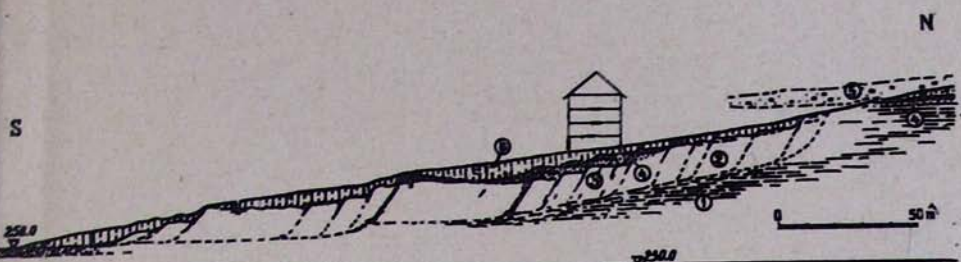


Fig. 3. Hospital founded on a Pleistocene block slide does not show any deformations after 30 years existence. 1—Upper Turonian sandy marls; 2—inclined blocks; 3—friable sandstones; 4—green glauconitic sandstone; 5—terrace sands and gravels; 6—loess loam.

Նկ. 3. Գլխադասոցային բլուկների վրա հիմնված հիվանդանոցը իր գոյության երեսուն տարվա ընթացքում որևէ ձևափոխություններ ցույց չի տվել: 1—վերին տուրոնի ավազային մերգելներ. 2—թեք բլուկներ. 3—փշրվող ավազաքարեր. 4—կանաչ գլաուկոնիտային ավազաքարեր. 5—դաստափի ավազներ և կոպիճներ. 6—լլոսանման մերձակաճեր:

Рис. 3. Больница, основанная на плейстоценовых блоках, за 30 лет существования не показала каких-либо деформаций. 1—верхнетуронские песчаные мергели; 2—наклонные блоки; 3—крошащиеся песчаники; 4—зеленые глауконитовые песчаники; 5—террасовые пески и гравий; 6—лессовидные суглинки.

downslope along the surface of Cretaceous clays and partly filled the pit. Detailed engineering-geological investigation showed that the Cretaceous clays were dragged downslope in the Pleistocene by sliding movements, which also affected the marginal sandstone blocks and weathered Ordovician shales. The recent renewed movement occurred along ancient slide surfaces. The reparation of the slope was simple: the pit was filled with refuse and waste material.

Numerous recent movements of slope deposits scarred the side of Petřín hillock in Prague, forming a spur of the Cretaceous elevation. The last slope failure in 1965 was rather extensive and damaged the embankment of the funicular railway. Sliding movement involved slope debris and colluvium of Cretaceous rocks filling the depression developed at the Prague Fault, along which the Ordovician shales are strongly disrupted. The slide surface partly follows the dragged out Cretaceous clays and partly the surface of weathered shales. The head scarp originated where emerge a number of springs draining the ground-water horizon on the surface of Cretaceous clays (Fig. 5).

The movements were promoted by heavy rainfall and by an increased discharge of springs due to imperfect tightness of water conduit on the plain above.

In order to stabilize the slope, the springs were first entrapped and diverted outside the slide by means of pipes. The next remedial measure was the drainage of the slide and the underlying rocks by inclined boreholes. A drainage gallery was then constructed to ensure a permanent stability of the slope. The gallery was driven in solid claystones and branched at a certain distance from the edge of the slope. Vertical holes drilled from the gallery into the overlying sandstones prevent the sub-

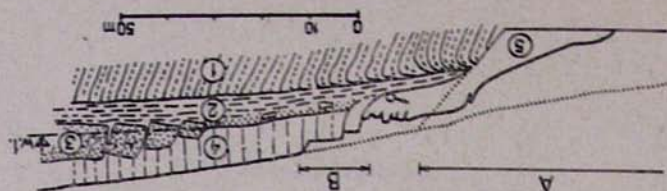


Fig. 4. The stability of the margin of the Cretaceous plateau disturbed by excavation 1—Ordovician shales; 2—weathered Cenomanian clays; 3—blocks of Cenomanian sandstones; 4—loess loam; 5—downslip mass.

Նկ. 4. Կավեի սարահարթի եզրի կայունությունը խախտված փորման ժամանակ: 1—օրդովիկյան թերթաքարեր, 2—հողմնահարված սենոմանային կավեր, 3—սենոմանային ավազակավերի բլոկներ, 4—լյուսանման մերձակավեր, 5—սողացած զանգված:

Рис. 4. Устойчивость края мелового плато, нарушенная при отрывке. 1—ордовикские сланцы; 2—выветрелые сеноманские глины; 3—блоки сеноманских песчаников; 4—лессовидные суглинки; 5—сползшая масса.

surface water to accumulate on the surface of claystones. The drainage gallery and boreholes are satisfactorily effective: the gallery discharges on the average 4—5 l/sec., with the maximum of up to 20 l/sec.

CONCLUSION

The margins of the Cretaceous elevations in Prague are disturbed by mass movements of two different types: (1) Fossil movements of marginal sandstone blocks, which were provoked by periglacial climatic conditions. Although they were several times repeated during the glacial periods, they are today quiescent, but the slopes are potentially hazardous in case of adverse interference. (2) Sliding movements of slope detritus and weathered material from Cretaceous rocks, which can occur along ancient slip surfaces in places of ground-water outflows or by artificial undercutting of the slope. The latter slope failures are recent phenomena.

The examples given above well demonstrate the importance of overall engineering-geological investigation of slopes before the planning of their engineering development.

ՊՐԱԳԱՅՈՒՄ ԼԱՆՁՆԵՐԻ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԿԱՎՃԱՅԻՆ ՍՆՐԱՀԱՐԹԻ ԵԶՐԻՆ

Ձևխոսվածիայի ԳԱ ակադ., պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր ԿԼԻԴՈ ԶԱՌԱՅԱՆ

Ռ. Ե. Ֆ. Ե. Մ. Նկարագրված են Պրագայի շրջակայքում կավեի սարահարթի երկրաբանական և ինժեներա-երկրաբանական պայմանները: Սարահարթի եզրի երկարությամբ զարգանում են զանգվածների բլեկանման շարժումներ. դրանց վերանորոգումը հնարավոր է: Նոր շինարարությունը մասամբ պլանավորվում է հին բարձրների անգամաձուլի վրա: Նկարագրվում է որոշ ինժեներա-երկրաբանական հարցերի լուծումը:

Պրագայի շրջանի երկրաբանական պայմանները շատ բարդ են և այդ պատճառով քաղաքի զարգացումը և վերակառուցումը ունի մի շարք խնդիրներ, կապված երկրաբանական գործոնների հետ: Բնակարանային

¹ Պրագայի տեխնիկական համալսարանի ամբիոնի վարիչ, ինժեներական երկրաբանության Միջազգային ասոցիացիայի նախկին պրեզիդենտ:

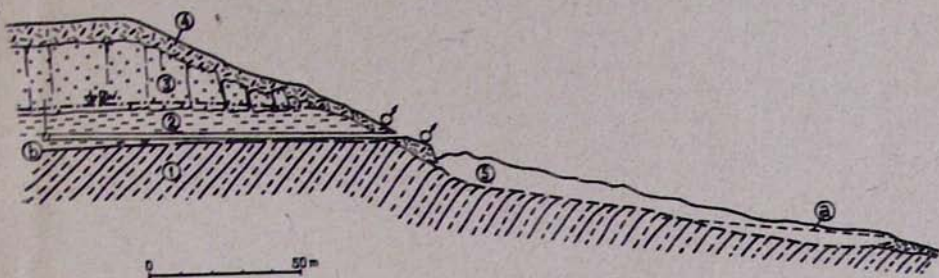


Fig. 5. Debris slide on the margin of the Cretaceous plateau (Petřín hillock). 1—Ordovician shales; 2—Cenomanian clays; 3—Cenomanian sandstones; 4—slope detritus; 5—downslopped slope detritus; a—inclined drainage boreholes; b—drainage gallery.

Նկ. 5. Կավեի սարահարթի եզրին բերվածքների սղաճներ (Պետրժին բլուր): 1—օրդովիկյի թերթեր, 2—սենոմանի կավեր, 3—սենոմանի ավազաքարեր, 4—լանջային բերվածքներ, 5—սղաջած լանջային բերվածքներ, a—թեք ցամաքորդային հորատանցքեր, b—ցամաքորդային ստորասրահ:

Рис. 5. Оползень наносов на краю мелового плато (холм Петржин). 1—ордовикские сланцы; 2—сеноманские глины; 3—сеноманские песчаники; 4—склоновые наносы; 5—сползшие склоновые наносы; а—наклонные дренажные буровые скважины; б—дренажная галерея.

շինարարության ծավալումը եղավ պատճառ օգտագործելու նաև այնպիսի տեղանքներ, ինչպիսիք են սովորաբար բարձր լիցքերով ծածկված ողողաբաշտերը, լքված բարձանքերը և անորոշ կայունություն ունեցող հովիտների զառիթափ լանջերը:

Պրագան գտնվում է ստորին պալեոդոյան, գլխավորապես օրդովիկյան ապարների և կավճային շերտերի վրա, որոնք մակերեսից ծածկված են պլեյստոցյան գետերի դարատափերով, լյոսով և լանջային նստվածքներով: Կավճային շերտերը նստած են պալեոդոյի կոմպլեքսի վրա համարյա հորիզոնական ձևով և առաջացնում են բարձրացված սարահարթ: Վտառվա գետը և նրա վտակները կավճի նստվածքների միջոցով խրվում են պալեոդոյի հիմքի մեջ: Սկզբնապես շրնդհատվող սարահարթը մասնատված է մեկուսացված բարձրությունների, Գրանց եզրերի երկարությամբ ավազաքարերը քայքայված են ողողաչափ ճեղքվածքներով, որոնք մոտավորապես զուգահեռ են լանջի եզրին և ավազաքարերը բաժանում են զանգվածների: Շատ վայրերում դրանք մասնակիորեն խորասուզվել են փափուկ կավերի մեջ և շարժվում են լանջն ի վրա:

Թեպետ բլուրային շարժումները մեծ մասամբ առաջացել են անցյալում, այնուամենայնիվ, այդ տիպի լանջերը ինժեներա-երկրաբանական տեսակետից վտանգավոր են, որովհետև մարդու միջամտության դեպքում հնարավոր են նոր տեղաշարժեր սահեցման հնամենի մակերևութային երկարությամբ: Այդ պատճառով բարձրությունների եզրերը պետք է հանգամանորեն հետադադարված լինեն, եթե միայն նախատեսվում է դրանց ներառումը քաղաքի զարգացման պլանի մեջ:

Պրոսեկ բարձրության (Պրագայի հյուսիս-արևելյան մաս) երկրաբանական պայմանները պարզ էին (նկ. 1)³, այնպես որ որևէ լուրջ ղեկավարություններ չէր սպասվում, սակայն շինարարական աշխատանքների հենց սկզբին փրվել էր սարահարթի երկարությամբ գնացող փողոցը և վնասվել էին մեկ քարկանի մի քանի տներ: Քանի որ հայտնի էր, որ անցյալում ստորերկրյա բարձանքերում և բաց ճեղքերի երկարությամբ ավազ էր արդյունահանվում, ուստի ինժեներները զգուշանում էին, որ ամբողջ շրջանը վտանգավոր կլինի ենթամշակման հետևանքով:

Ընդարձակ ինժեներա-երկրաբանական հետազոտություններից հետո շրջանը բաժանվել էր երկու գոտու՝ առաջինը կառուցապատման համար ոչ պիտանի, որտեղ ավազաքարերը խախտված էին բաց ճեղքվածքներով և ստորերկրյա խոռոչներով:

Այս գոտին կանաչ գոտու պես ազատ էր թողնված: Երկրորդ գոտու մակերեսը պիտանի համարվեց բնակարանային շինարարության համար:

Կավճի բարձրությունների որոշ լանջերը, որտեղ բաց էին և շահագործվում էին ավազաքարերի քարհանքերը, օգտագործվում էին դարատափային տիպի շենքերի կառուցման համար (նկ. 2): Լքված քարհանքերի լանջերի կառուցությունը, իհարկե, պահանջում է բարեխիղճ հետազոտություններ: Շենքերը հիմնված են քարհանքերի հատակում. շենքերի տակը թողնված էր ավազաքարերի բարակ շերտ, որը քայքայված էր ավազի աստիճանի: Շենքերի ճակատային մասը հիմնված էր երկաթբետոնե լցովի ցցերի վրա, որոնք անցկացված են ամուր արգելիտների միջով: Եղբային որոշ բլուկներ, որոնք տեղադրվել էին հնամենի տեղաշարժերի հետևանքով, ամրացված էին պողպատյա խարխախներով 16 մ երկարությամբ. դրանք նախօրոք լարված էին մինչև 200 կն (20 տ):

Կենտրոնական Բոհեմիայի դիրքը պերիպլացիալ մարզում պլեյստոցենի սառցադաշտային ժամանակաշրջաններում կարող է որոշակի լույս սփռել նկարագրված առանձնահատկությունների ծագման վրա: Ավազաքարերի եզրային բլուկները կարող էին շարժվել այն դեպքում, եթե հովիտը կտրված լիներ մինչ օրդովիկի հիմքը՝ այսինքն ուշ պլեյստոցենում: Ստորադրված կավերի առաջին ձևափոխությունները հավանաբար առաջացել են ճնշման իջեցումից տարբեր բեռնաթափման հետևանքով: Սառցապատման ժամանակաշրջանում կավերը գտնվում էին հավերժական սառածության գոտում: Հալեցման հետևանքով կավերում առաջացած սառցային նրբաշերտերը առաջացրել են դրանց ամրության և կապակցվածության նվազում: Թուլացած կավերը ճզմվել են եզրային բլուկների ծանրության տակ, որոնք խրվել են կավերի մեջ և շարժվել են լանջն ի վար:

Տիրնովում (Հյուսիսային Բոհեմիա) հանած, բլուկային սողանքի (նկ. 3) վերին մասում նախազմվել էր հիվանդանոց: Ինժեներա-երկրաբանական հետազոտությունների բացահայտել են, որ սկսած պլեյստոցենից լանջը կայուն էր: Չորս հարկանի շենքը հիմնված էր երիզած հիմքի վրա, որը հենված էր ավազաքարերի թեք բլուկների վրա: Երեսուն տարի անց այն վնասված չէր:

Նկ. 4-ը և 5-ը ցույց են տալիս, թե որքան կարևոր է պահպանել նախազգուշությունը: Նկ. 4-ում կտրվածքը անց է կացված Պրագա 6-ի կավճի բարձրության եզրային մասի լայնքով, որտեղ լանջի փուլզումը առաջ էր եկել փորվածքով: Լանջի ստորոտում աղյուսի արտադրության համար արդյունահանվել են լյոսանման մերձակավեր և օրգոլիկյան հողմնահարված թերթաքարեր: Քարհանքի զառիթափ եզրը մինչև 20 մ բարձրությամբ մի քանի տարվա ընթացքում կայուն էր, սակայն 1932 թ. ուժեղ տեղատարափ անձրևից հետո կավճի հասակի կավերում սահեցման մակերևույթի երկարությամբ ներքև է սողացել դրունտի մի մեծ զանգված և մասնակիորեն զբաղեցրել է քարհանքը: Վերականգնումը իրականացվել է լցակույտով և ոչ պիտանի հանքանյութով:

Լանջերում նստվածքների ժամանակակից բաղմամբիվ շարժումները տեղի են ունենում Պետրոֆին բլրի վրա Պրագայում—կավճի բարձրության մնացորդի վրա: Լանջի վերջին փուլզումը 1965 թ. բավական ընդարձակ էր և վնասվածք էր պատճառել ֆունիկուլորի հողաթմբին: Լանջային շարժումները ընդգրկել էին գելյուվին և կոլյուվին կավճային ապարները: Պատուման գլխավոր պատը առաջացել է մի քանի աղբյուրների ելքի տեղում, որոնք ցամաքորդում են գետնաջրերի հորիզոնը կավճի կավերի մակերեսի վրա (նկ. 5): Շարժումը խթանվել էր ուժեղ տեղատարափով և աղբյուրներից առաջացած ծախսով: Այդ աղբյուրները առաջացել են ավիլի բարձր հարթա-

կի վրա անցկացված ջրուղու ոչ կատարյալ խտութիւն պատճառով: Լանջը կայունացված է եղել թեք հորատանցքերի և ցամաքորդային ստորաբարձի միջոցով:

Ձանդվածների շարժման հետեւանքով Պրագայում կավձի բարձրութիւն եղրերի խախտումները լինում են երկու տարբեր տեսակի՝ 1) Պերիգլյուցիալ կլիմայական պայմաններից առաջացած ավազաբարների եզրային բլուկների հնամենի շարժումներ: Թեպետ սառցադաշտային ժամանակաշրջանների ընթացքում դրանք կրկնվել են մի քանի անգամ, ներկայումս գտնվում են հանդիստ վիճակում, բայց լանջերը անբարենպաստ միջամտութիւն դեպքում պոտենցիալ վտանգավոր են: 2) Կավձի ապարներից լանջային ողողատների և հողմնահարված նյութի տեղաբաշխում, որը կարող է տեղի ունենալ գեանաջրերի ելքերի տեղերում կամ լանջի արհեստական ենթակտրման դեպքում տեղաշարժերի հնամենի սահեցման մակերևութների երկարութիւնում: Լանջերի փուլման վերջին ձևերը—ժամանակակից երևութներն են:

Վերը նշված օրինակները ապացուցում են լանջերի ընդհանուր ինժեներա-երկրաբանական հետազոտման հնարավորութիւնը և դրանց վրա տեխնիկական գործունեութիւն հաստակագծումը:

ДЕФОРМАЦИИ СКЛОНОВ НА КРАЮ МЕЛОВОГО ПЛАТО В ПРАГЕ¹

Акад. Чехослов. АН, профессор, доктор техн. наук КВИДО ЗАРУБА²

Реферат. Описываются геологические и инженерно-геологические условия мелового плато, на котором расположена Прага. На краю плато развивались блоковые движения масс, и возможно их возобновление. Новое строительство частично намечается на участках старых карьеров. Описывается решение некоторых инженерно-геологических проблем.

Геологические условия района Праги очень сложны, и поэтому развитие и реконструкция города ставят ряд задач, связанных с геологическими факторами. Развертывание жилищного строительства ведет к застройке территории с менее благоприятными условиями фундирования, как-то: поймы, обычно покрытые высокими насыпями, заброшенные карьеры и крутые склоны долин, обладающие неопределенной устойчивостью.

Прага расположена на нижнепалеозойских, главным образом ордовикских, породах и на меловых пластах, покрытых с поверхности плейстоценовыми речными террасами, лессами и склоновыми отложениями. Меловые пласты залегают почти горизонтально на палеозойском комплексе и образуют приподнятое плато. Река Влтава и ее притоки врезаются через меловые отложения в палеозойский фундамент. Первоначально непрерывное плато рассечено на изолированные возвышенности. Вдоль их краев песчаники разрушены вертикальными трещинами, грубо параллельными бровке склона, которые разделяют песчаники на блоки. Во многих местах они частично погрузились в мягкие глины и движутся вниз по склону.

Хотя блоковые движения большей частью происходили в прошлом, склоны с инженерно-геологической точки зрения опасны, так как в случае вмешательства человека на них возможны новые смещения вдоль древних поверхностей скольжения. Поэтому края возвышенностей должны быть тщательно исследованы, если только намечается их включение в план развития города.

¹ Сокращенное изложение с английского проф. Г. И. Тер-Степаняна.

² Зав. кафедрой Технического университета в Праге, бывший президент Международной ассоциации по инженерной геологии.

В настоящей статье рассмотрено несколько примеров задач, связанных с застройкой этих склонов, и подходы к их решению.

Геологические условия возвышенности Просек (северо-восточная часть Праги) просты (рис. 1)³, так что не ожидалось каких-либо серьезных затруднений, но как раз перед началом строительных работ провалилась улица, идущая вдоль края плато, и было повреждено несколько одноэтажных домов. Так как было известно, что в подземных карьерах и вдоль открытых трещин в прошлом добывался песок, инженеры опасались, что весь район будет угрожающим вследствие подработки. После обширных инженерно-геологических исследований район был разделен на две зоны. Одна, достигающая 120 м от края склона, была признана непригодной для застройки, так как песчаники были нарушены открытыми трещинами и подземными полостями. Эта зона была оставлена открытой в виде зеленого пояса. Остальная площадь была признана пригодной для жилищного строительства.

Некоторые склоны меловых возвышенностей, в которых были открыты и эксплуатировались карьеры песчаника, были использованы для строительства домов террасового типа (рис. 2). Устойчивость бортов заброшенных карьеров требовала, конечно, добросовестного исследования. Здания были основаны на дне карьеров; под зданиями был оставлен тонкий слой песчаников, разрушенных до песка. Фронтальная часть зданий была основана на железобетонных набивных сваях, пройденных в твердых аргиллитах. Некоторые краевые блоки, которые оказались перемещенными в результате древних смещений, были закреплены стальными анкерами длиной 16 м: эти анкера были предварительно напряжены усилием до 200 кН (20 т).

Положение центральной Богемии в перигляциальной области в течение ледниковых периодов плейстоцена может пролить некоторый свет на происхождение описанных особенностей. Краевые блоки песчаников могли прийти в движение только после того, как долина была прорезана на ордовикского фундамента, т. е. в позднем плейстоцене. Первые деформации подстилающих глин были, вероятно, вызваны уменьшением давления в результате дифференциальной разгрузки. Во время оледенения глины находились в зоне вечной мерзлоты; ледяные прослои, образовывавшиеся в глинах при оттаивании, вызывали понижение их прочности и связности. Ослабленные глины выдавливались под весом краевых блоков, которые погружались в глины и двигались вниз по склону.

Обоснованность допущения, что в современных климатических условиях эти блоки устойчивы, если только склоны не нарушены (например, при отрывке, прорыве водопроводных труб и т. д.), может быть подтверждена на следующем примере.

В Тырнове (Северная Богемия) на верхней части ископаемого блокового оползня (рис. 3) была запроектирована больница. Инженерно-геологические исследования установили, что начиная с плейстоцена склон был устойчив. Четырехэтажное здание было основано на ленточном фундаменте, который покоился на наклонных блоках песчаника. Через 30 лет оно не было повреждено.

Рис. 4 и 5 показывают, как важно соблюдать предосторожности. Сечение на рис. 4 проведено поперек краевой части меловой возвышенности в Праге 6, где обрушение склона возникло в результате глубокой отрывки у подножья склона горы; для производства кирпича были добыты лессовидные суглинки и выветрелые ордовикские сланцы. Крутой борт карьера, высотой до 20 м, был устойчив в течение

³ Рисунки см. на стр. 8—13.

нескольких лет, но после сильного ливня в 1932 г. вдоль поверхности скольжения в меловых глинах соскользнула вниз большая масса грунта и частично заполнила карьер. Восстановление было осуществлено путем заполнения оставшейся части отвалами и пустой породой.

Многочисленные современные движения отложений на склонах происходят на холме Петржин в Праге—останце меловой возвышенности. Последнее обрушение склона в 1965 г. было довольно обширным и причинило вред насыпи фуникулера. Склоновые движения захватили делювий и коллювий меловых пород. Главная стенка отрыва образовалась на месте выхода нескольких источников; дренарующий горизонт грунтовых вод—на поверхности меловых глин (рис. 5). Движение было стимулировано сильным ливнем и увеличенным расходом источников вследствие несовершенной плотности водовода на вышележащей площадке. Склон был стабилизирован с помощью наклонных буровых скважин и дренажной галлерей.

Нарушения краев меловой возвышенности в Праге вследствие движения масс бывают двух различных типов: 1. Древние движения краевых блоков песчаников, вызванные перигляциальными климатическими условиями. Хотя в течение ледниковых периодов они и повторялись несколько раз, в настоящее время они находятся в покое, но склоны потенциально опасны в случае неблагоприятного вмешательства. 2. Скольжение склоновых наносов и выветрелого материала с меловых пород, которое может происходить вдоль древних поверхностей скольжения в местах выходов грунтовых вод или при искусственной подрезке склона. Последние виды обрушения склонов—явления современные.

Приведенные выше примеры хорошо показывают возможности общего инженерно-геологического исследования склонов до планирования на них технической деятельности.

ПРИЛОЖЕНИЕ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

- Fediuk F. and Králová Z., 1974. Poruchy na okraji Bělohorské křídové plošiny v Praze. Časop. min. a geol., 20/1. Praha.
- Higginbottom I. E. and Fookes F. G., 1970. Engineering aspects of periglacial features in Britain. Quart. Jour. Eng. Geol., London, Vol. 3/2, pp. 85—117.
- Hollingworth S. E., Taylor I. H. and Kellaway G. A. 1944. Large scale superficial structures in the Northamptonshire Ironstone field. Quart. Jour. Geol. Soc. London, 100, pp. 85—96.
- Němeček K., 1969. Sanace petřínské stráně v Praze, Geol. Průzk., 11/12, p. 361—363 Praha.
- Záruba Q., 1943. Periglaciální zjevy v okolí Prahy. Rozpravy Čes. Akademie, 53/15 33 pp.
- Záruba Q., 1948. Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy. Geotechnica 5, 81 pp. Praha.
- Záruba Q., 1956. Deformace hornin vzniklé vytlačováním podloží. Rozpravy Čes. Akad. 66/15. 36 pp.
- Záruba Q., 1974. Geologická problematika vystavby Prahy. Časop. min. a geol., 19/2. Praha.