

EXAMPLES OF THE LOOSENING OF ROCK SLOPES IN THE BOHEMIAN MASSIF

JAN RYBÁŘ, C. E., Cand. Sc. (Eng.)¹ and OTAKAR VŘBA, C. E.²

Synopsis. Two cases of creep encountered during the dam constructions in Bohemia are described. The affected slopes are built up of solid rocks penetrated with steeply dipping planes of discontinuity. The analysis of the deep-seated bending of strata and of the external rotation of rock blocks herewith connected is presented. Practical consequences of the occurrence of these deformations for the foundation of hydrotechnic structures are evaluated.

In the faces of the excavations for the foundation of communications and hydrotechnic structures constructed in mountainous regions, we encounter from time to time depth deformations of gravitational origin, which are ranged to the depth creep of slopes (in the sense of Ter-Stepanian, 1963). The reported cases occurred in the Bohemian Massif on slopes formed by solid rocks penetrated by steeply dipped planes of discontinuity.

Description of examples

During the construction of the dam Řimov in southern Bohemia, O. Vřba studied a case of deep-seated bending of beds in the crystalline rocks. Engineering geological survey showed here intensive loosening of rocks up to the depth of 5-12 m and weak loosening up to 17 m in the 70 m high and at 35-40° sloping right bank of the river Malše. The slope is created by mica-schists and mica-schist gneisses. The foliation is parallel to the valley and dips steeply at an angle of 66-80° to the W. In the exploration shafts and later in the faces of the foundation pits, bending of mica-schist and quartzite beds downslope was ascertained in the loosened part of the slope. The angle of the planes of foliation changes of 30-120° in comparison with the undisturbed parts (Fig. 1). In the quartzites representing the competent layers widely opened cracks (from 1 to 5 cm) normal to the foliation were documented (Fig. 2).

The thickness of the zone affected by deep-seated bending varies, its width is from 40 to 70 m. The aerial extent of the part of the slope subjected to the deep-seated creep is evident also from the detailed contour plan on a scale of 1:1000. At the toe of this part of the slope,

¹ Head, Dept. of Engineering Geology, Geological Institute, Czechoslovak Academy of Sciences, Prague.

² Senior Engineer, Dept. of Engineering Geology, n. p. Stavební geologie, Prague.

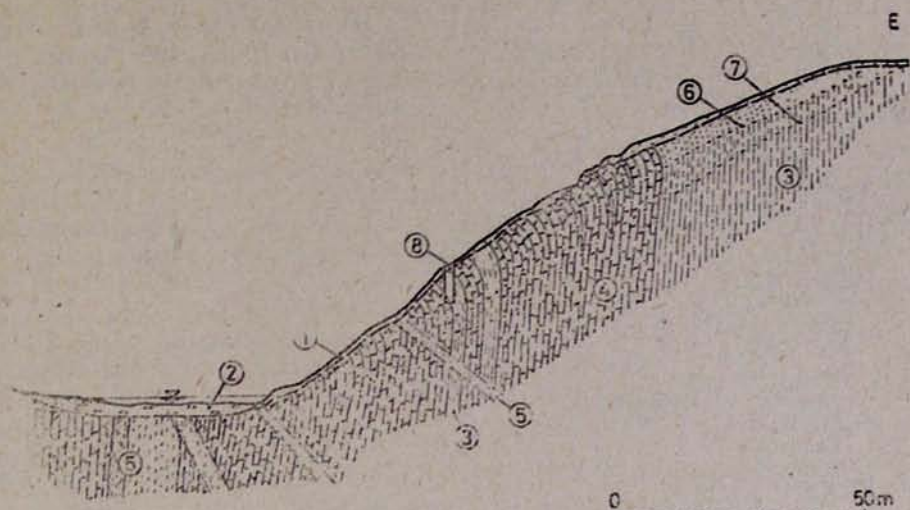


Fig. 1 Geological section of the right slope of the valley of the river Malše near Řimov. 1—deluvial debris, 2—sandy gravels, in places covered by loamy-sandy alluvions, 3—mica-schists, 4—paragneisses and quartzites, 5—zones of tectonic deformations, 6—boundary of a zone of intensive loosening, 7—boundary of a zone of weak loosening of rocks, 8—a detail documented in Fig. 2

նկ. 1. Ռիմովի մոտ Մալշե գետի հովտի աջ լանջի երկրաբանական կտրվածքը. 1—դելյուվիալ բերուկներ, 2—ավազային կապիճ, տեղ-տեղ ծածկված մերձավազային չրարերով և կվարցիտներով, 3—փայլարային բերքարեր, 4—պարագնեյսներ և կվարցիտներ, 5—տեկտոնական ձևավորությունների գոտիներ, 6—ուժգին թուլացման գոտու սահմանները, 7—ժայռային ապարների փոքր թուլացման գոտու սահմանները, 8—նկ. 2-ում նկարագրված դետալը:

Рис. 1. Геологический разрез правого склона долины реки Малше у Ржинова. 1—делювиальные наносы; 2—песчаный гравий, местами покрытый супесчаным аллювием; 3—сланцы; 4—парагнейсы и кварциты; 5—зоны тектонических деформаций; 6—границы зоны интенсивного ослабления; 7—границы зоны небольшого ослабления скальных пород; 8—деталь, описанная на рис. 2.

the expressively convex form of the contour lines contrasts markedly with their normal course in the adjacent undisturbed parts. The extent of the loosening of rocks in the slope was manifested conspicuously during the hydraulic tests of the permeability in the borings, further it was also recorded by geophysical seismic measurements.

The deformations documented at Řimov are presumed to be relics of depth deformations, which took place here in strongly tectonically deformed crystalline rocks in the Pleistocene, in the course of the deepening of the valley by river erosion.

The deformations observed during the construction of the boulder dam Přešnice situated in the ridge part of the Krušné Hory Mts. in northern Bohemia are of different character. O. Vřba documented here a zone of extreme loosening of firm, weakly jointed orthogneisses. In the orthogneisses a system of vertical joints predominates. Fig. 3 shows continuous steep cracks roughly parallel to the valley, in places widely opened. The hollows thus created, from 1 to 15 cm wide, are partially

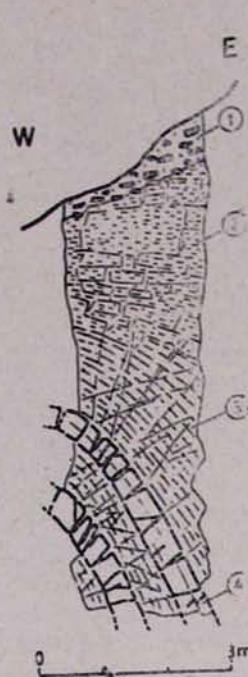


Fig. 2. Detail of the deformation at Římov. 1—loamy-sandy-stony debris, 2—weathered mica-schists and mica-schist gneisses, 3—weakly weathered mica-schists and mica-schist gneisses, 4—quartzites

Նկ. 2. Ռժիմովի մոտ ձևափոխության դետալը. 1—մերձափազային քարե բերուկներ. 2—հողմնահարված փայլարային թերթաքարեր և թերթային գնեյսներ. 3—քույլ հողմնահարված փայլարային թերթաքարեր և թերթաքարային գնեյսներ. 4—կվարցիտներ:

Рис. 2. Деталь деформации у Ржимова. 1—супесчаные каменистые наносы; 2—выветрелые слюдястые сланцы и сланцеватые гнейсы; 3—слабовыветрелые слюдястые сланцы и сланцеватые гнейсы; 4—кварциты.

free and partially filled with fine debris. The orthogneisses are separated by the cracks into blocks, which tend to sink in a step-like form. The sinking is well-marked on the position of the weathered fine-grained gneisses. The depth of the opening of cracks has not been proved; it reaches the depth of 10 m at least.

Analysis of the development of the described deformations

Both the described deformations at Římov and at Přisečnice possess a number of common features despite different morphological and geological conditions of their origin. They represent the initial stage of slope movements in a massif penetrated by steeply, if not vertically, dipped planes of discontinuity. From the geological point of view, they are long-term movements of rock masses generally of non-increasing velocity without well-defined sliding surfaces (Немчок и др., 1973). The magnitude of the displacement is negligible in comparison to the dimensions of the rock massif affected. The predominating mechanism of the movement is deep-seated creep. If the critical acceleration is achieved, creep can grade into sliding or fall. In the nature, the danger of such development is not too great. However, an irresponsible interference during construction work can contribute considerably to the acceleration of these otherwise very slow movements.

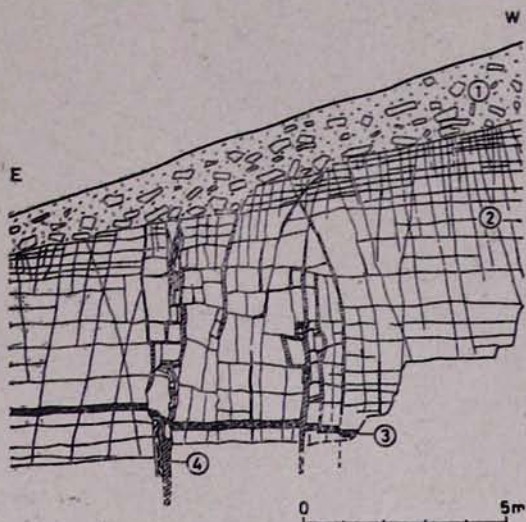
The forms of the deep-seated creep are very difficult to be determined in field. The slope surface usually shows no disturbance which could draw our attention to the possibility of the occurrence of depth deformations. Denudational processes sculpturing the slopes are more rapid than the slope deformation itself. Moreover, the deformations are—as a rule—of fossil age. Often the surficial parts of the disturbed slopes were already removed, so that only deeper exposures could discover relics of the parts of the slopes disturbed to greater depths.

The deformations encountered at Římov originated by the deep-

Fig. 3. Detail of the deformations on the right slope of the valley near Přisečnice. 1—sandy-stony debris, 2—orthogneiss, 3—hybrid gneiss, 4—free hollows

Պրիսեչնիցի հովտի աջ ափում լավաձեռնախոխորչությունների դեֆորմացիաների մասին պատկերացումները: 1—ավա-
նյալքային բարձր բերրություններ, 2—օրթոգնեյս-
այիններ, 3—հիբրիդային գնեյսներ, 4—
ազատ խոռոչներ:

Рис. 3. Деталь деформации на правом берегу долины у Пржисечнице. 1—песчано-каменистые наносы; 2—ортогнейсы; 3—гибридные гнейсы; 4—свободные полости.



seated bending of strata which took place in densely jointed solid or semisolid rocks, where the planes of discontinuity, decisive for the rock massif, dipped steeply into the slope or were vertical. They can be represented by bedding planes, joint systems or planes of schistosity. The Rimov deformations disappear in the depth of about 10–20 m. In the mountainous regions, similar deformations reach the depths of up to several hundreds meter. Talobre (1957) described such deformation from the valley of the river Isère in the Alps. In this case, the advanced stage of the development of the deformation gave rise to continuous sliding surfaces, along which a part of the slope, disturbed by bending of strata, was affected also by sliding. The mechanism of the development of the deep-seated bending of strata was theoretically analysed by Ter-Stepanian (1965).

The forms morphologically analogous to the deep-seated bending of strata are also these ones of the terminal bending (outcrop bending, dragging out of strata). This phenomenon originates under influence of the seasonal alternations of moisture and temperature on very gentle slopes. Záruba (1944) presented a number of examples; the affected slopes were built up of shales, sandstones, limestones, quartzites, weathered granites and gneisses.

The Přisečnice deformation can be explained also by a mechanism analogous to this one of the deep-seated bending of strata. The orthogneiss massif is separated by vertical cracks into beds, which deform individually. Between them, partial displacements and changes in mutual distances take place. In the geological past, the ends of these beds bent slightly valleywards, what was accompanied by the so-called external rotation (according to Sander, 1948). The principle is illustrated by a diagrammatic drawing (Fig. 4). On the originally continuous leading positions and mutually linked joints, step-like sinkings are observable.

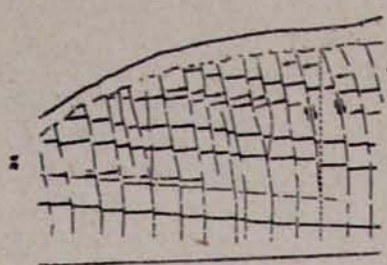


Fig. 4 Diagram explaining the external rotation
 24. 4 — Կրակի լուսարձակող գրգռիկ:

Рис. 4. График, объясняющий внешнее вращение.

They are oriented in a seemingly opposite direction, so as would correspond to a upslope movement. At the Přísečnice deformation, the angle of rotation was slight; there were disturbed here very

solid rocks on a quite low-angle slope. More conspicuous forms of the external rotation are known from narrow canyon-like valleys (Müller, 1962).

Up to the present, the loosening of rock slopes associated with long-term gravitational movements was not possible to be solved satisfactorily with the aid of mathematics. More reliable results approaching the reality have been achieved by the help of physical models. Hofmann (1973) studied the behaviour of the slopes in the rock massifs penetrated with two systems of planes of discontinuity. One of the systems was created by steep continuous cracks, the second one by continuous cracks normal to the first system. He used (i) a system of small solid blocks (structural models) and (ii) blocks of the equivalent material. The development of the deep-seated bending of strata during the deepening of a valley was very instructive. From the beginning, there was manifested opening of the tension cracks and rotation of the model bodies. Later on, well-marked bending of beds appeared in the middle and lower part of the slope, resulting from the external rotation of the model blocks, which turned slightly downslope. Between the individual model blocks, partial displacements took place. In the final phase of the experiments using models of the equivalent material, continuous sliding surfaces arose. Deep-seated bending of strata associated with the external rotation was also analysed experimentally by Furlinger (1974), who used punchcards as model material.

The deep-seated bending of strata associated with the opening of tension cracks and with the external rotation is conditioned above all by the influence of gravity and by the stress release. Every rock massif reacts on natural or artificial unloading by the change of its state of stress. As a consequence, deformations limited by space and time take place, during which movements occur above all along the existing planes of discontinuity. Under favourable geological conditions the rock massif is pervaded by steeply dipped planes of discontinuity) and morphological conditions (a satisfactory height and gradient of the slope), the deep-seated bending of strata can take place. There co-act, of course, also climatic conditions. It is assumed, that the most favourable conditions were during the period of the periglacial climate in the Pleistocene, when the processes of pergelation reached the depth of the permafrost. To a small extent, also seasonal alternations of temperature and moisture play role.

Practical consequences

The deep-seated deformation of a rock massif due to the above described types of slope movements should be reliably taken into consideration when designing and constructing civil engineering works in the vicinity of the affected slopes. Above all, the following aspects should not be neglected:

1. The studied types of slope movements are often difficult to be identified during the engineering geological mapping in field. Morphologically distinct are only the deformations of the upper parts of the slopes, in the tension zones. However, if the phenomena are of fossil age, the surface needs not show any traces of deformations. The documentation of the outcrops is of utmost importance for the identification of the phenomena. Structural measurements can draw attention to the changes of the orientation of strata in comparison to their original position. Particularly in the areas with intensive tectonic folding the geological documentation ought to be carried out with extreme care.

2. If the morphological observation on a natural mountain slope indicates, that the slope movement originated in recent time, it is difficult to prove it by field measurements. The magnitude of the displacement can be very small, for example several mm/year. In such case, the most available method is to measure the changes of the distances between the walls of two rock blocks along an accessible, open tension crack.

3. If the loosening of a slope by opening of tension cracks or by deep-seated bending of strata was ascertained, it would be necessary to count with substantial worsening of the geotechnic properties of the disturbed area of the rock massif. The unfavourable influence of the deformation caused by gravitational movements would be, moreover, supported by the increased effect of the weathering processes in the disturbed area. Particularly the following properties are unfavourably modified:

a) The strength and deformability of the rock massif as a whole are deteriorated. In some parts of the slope, also the strengths of the individual blocks have been progressively reducing due to crushing processes. For comparison, the observation of Q. Záruba is mentioned, indicating that the shales deformed by terminal bending showed a 12-times higher compressibility than the unweathered and undisturbed ones. At the locality Řimov, the moduli of deformability of the massif in the disturbed zone were 2-4-times lower.

b) The permeability increases, what is unfavourable especially for the dam foundation. For instance at Řimov the permeability raised to 20-120 litres/m per minute due to the bending of the loosened zone, and that at the pressure of only 0.3-1.0 atmospheres.

c) disturbed rocks furnish unhomogeneous foundation soil. The widely opened cracks are necessary to be treated, as for instance during the construction of the high pressure piping for the pumpe storage plant Hohenwarte II in the GDR (Dittrich & Paech, 1961).

d) The stability of the rock massif is appreciably deteriorated in the disturbed zone. Under influence of deeper weathering and of increased number of predisposed surfaces as well as due to arising of secondary loamy fillings, the lowering of the parametres of the shear strenght take place. The stability of these slopes mostly approaches the indifferent equilibrium. During the construction works, there menaces a danger of the renewal of the fossil movements or of the acceleration of the recent ones.

ՔՈՇԵՄՅԱՆ ԶԱՆԳՎԱՍԻ ԺԱՅՌԱՅԻՆ ԼԱՆՁԵՐՈՒՄ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՔՈՒԼԱՑՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Տեխն. գիտ. քեկն., ինժ.-շին. ՑԱՆ ՌԻՐԱՐԺԻ և ինժ.-ՋԵԱ. ՕՏՈԿԱՐ ՎՐԺՐԱՅ

ՌԵՖԵՐԱՏ. Նկարագրվում են սողքի երկու դեպքեր, որոնք հանդիպեցին Բոհնիայում ամբարտակների կառուցման ժամանակ: Սողքից վնասված լանջերը կազմված են պինդ, զսռի-թափ ընկնող, ընդհատվող հարթություններով կտրված ապարներից: Տրվում է խորը տեղադրված շերտերի ծանր և դրա հետ կապված ժայռային բլոկների արտաքին պատման վերլուծումը: Կատարված է այդ ձևափոխությունների գործնական հետևանքների գնահատական հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների հիմքերի համար:

Լեռնային շրջաններում կառուցված հազորդակցության և հիդրոտեխնիկական կառույցների հանվածքների պատերում ժամանակ առ ժամանակ հայտնաբերվում են զբաղիտացիոն ծագումով խորքային ձևափոխություններ, որոնք վերաբերվում են լանջերի խորքային սողքերին՝ Տեր-Ստեփանյանի իմաստով (Тер-Степанян, 1961): Ստորև նկարագրվում են Բոհնիայի զանգվածում դեպքեր, որոնք տեղի են ունեցել պինդ ապարներից կազմված լանջերի վրա. այդ ապարները կտրված են զսռիթափ անկումով խզման հարթություններով:

Հարավային Բոհնիայում, Ռեփնովի ամբարտակի կառուցման ժամանակ, հետազոտված է խորը տեղակայված շերտերի կեղծումը: Դիտարկվող լանջը ունի 70 մ բարձրություն, 35—40° թեքություն և կազմված է փայլարային թերթաքարերից, պարադեյտներից ու կվարցիտներից: Շերտայնությունը զուգահեռ է հովտին և 66—80° անկյան տակ զսռիթափ իջնում է դեպի արևմուտք: Հետախուզման շուրջներում և ավելի ուշ փորվածքի պատերում հայտնաբերվեց, որ փայլարային թերթաքարերի և կվարցիտների շերտերը լանջի թուլացած մասում ծովում են լանջիվար՝ մինչև 10—20 մ խորությամբ: Շերտավորման հարթության թեքությունը փոխվում է 30—120°-ով լիսախուլված մասերի համեմատությամբ (նկ. 1)¹: Կվարցիտներում նկատվում են լայն բացված ձևեր՝ (1—5 սմ) շերտավորման ուղղահայաց (նկ. 2): Պրոֆանդիցիլի քարայնովի ամբարտակի շինարարության ժամանակ դիտվել են այլ բնույթի ձևափոխություններ: Հովտի ձախ ափի զառիկող լանջի վրա (10—15°) դիտվել է ապարների արտակարգ թուլացման գոտի: Պինդ հորիզոնական տարածում ունեցող օրթոդեյտներում զերակշռում է ուղղաձիգ անջատման սխառնը: Նկ. 3-ում ցույց է տրված լանջի մի մասը, որտեղ հայտնաբերված են հովտին մերձուղահեռ և տեղ-տեղ բացված անընդմեջ զսռիթափ ձևեր: Այսպես առաջացած 1—15 սմ լայնություն ունեցող խոռոչները մասամբ ազատ էին, իսկ մասամբ լրացված մանրաթերթիկներով: Օրթոդեյտները բաժանված են բլոկների, որոնք հակում ունեն սուղվել լանջիվեր: Ձևափոխությունները պարզ երևում են հողմնահարված հիբրիդային զննյանների դիրքից: Ձևափոխությունները կարող են բացատրվել շերտերի խորքային կեղծումն առկա-

¹ Ձևախուլվակիայի ԳԱ ներկարանական ինստիտուտի ինժեներական երկրաբանության բաժնի վարիչ, Պրագա:

² «Շինարարական երկրաբանություն» ժող. ձեռն. ինժեներական երկրաբանության բաժնի ավագ ինժեներ, Պրագա:

³ Նկարները տե՛ս էջ 97—100:

նիդմով: Ենթերի խորքային կեռածոման դարգացման մեխանիզմը տեսականորեն վերլուծված է Տեր-Ստեփանյանի կողմից (Тер-Степанян, 1964): Օրթոգնեյսներից կազմված ժայռային դանդաղածր ուղղածիզ ճեղքերով բաժանված է անշատ ձևափոխվող շերտերի, որոնք իրար նկատմամբ մասնակի տեղաշարժվել են և փոխել միմյանց միջև եղած հեռավորությունը: Երկրաբանական անցյալում այդ շերտերի զուլսները թեթևակիորեն ծովեցեյն դեպի հովիտը, որը զուգակցվում էր, այսպես կոչված, արտաքին պտույտով (ըստ Ջանդերի. Sander, 1948): Նրա սկզբունքը բացատրում է նկ. 4-ը: Պրոխնիշիցների շրջակայքում պտտման անկյունը փոքր է, այստեղ բոլորովին փոքրաթևեր լանջի վրա խախտված են շատ պինդ ապարներ:

Ռոմիովում և Պրոխնիշիցում նկարագրված ձևափոխությունները օժտված են ընդհանուր դժերով, նկատվում են անառաջացման տարբեր մորֆոլոգիական և երկրաբանական պայմաններին: Նրանք ներկայացնում են լանջի շարժման սկզբնական փուլը մի զանգվածում, որը կտրուկված է զարկթափ ընկնող խզման հարթություններով: Երկրաբանական տեսակետից նրանք առհասարակ ներկայացնում են ժայռային ապարների երկարատև շարժում լանդոլ արագությունով, ոչ պարզ արտահայտված սահեցման մակերևույթով: Տեղաբաշխման մեծությունը անհշան է ընդգրկված ժայռային զանգվածի չափերի հետ համեմատությամբ: Ենթադրվում է, որ շարժման տիրապետող մեխանիզմը հանդիսանում է խորքային սողը (Немчук и др., 1973):

Որպես կանոն այդ ձևափոխությունները հնամենի են: Մինչև այժմ վերահիշյալ ձևափոխություններով խախտված լանջի կայունությունը բավարար չափով չի կարող որոշվել մաթեմատիկական մեթոդներով: Գործնականորեն մոտ ավելի հուսալի արդյունքներ կարելի է ստանալ ֆիզիկական մոդելների վրա (Hofmann, 1973; Furlinger, 1974):

Ենթերի խորքային կեռածոմումը կապված ձգման ճեղքերի բացման և արտաքին պտտման հետ, ամենից առաջ պայմանավորվում է զրավիտացիոն ազդեցությամբ և լարումների նվազմամբ: Յուրաքանչյուր ժայռային դանդաղածր բնական կամ արհեստական բեռնաթափմանը հակադրում է լարման փոփոխումով: Տարածության և ժամանակի միջև լարված միջակի փոփոխման հետևանքով կատարվում են սահմանափակ ձևափոխություններ, որոնց ընթացքում տեղի են ունենում շարժումներ զուլսով ունեցող խզման հարթությունների երկարությամբ: Դրան աջակցում են կլիմայական ազդեցությունները: Ընդունվում է, որ ամենաբարենպաստ պայմանները եղել են պլեյստոցենում արտասառցադաշտային կլիմայի ժամանակաշրջանի ընթացքում, երբ սառելիք և հալվելը ազդել են մինչև հավերժական սառածության խորքերը: Սահմանափակ չափերով դիր են խաղացել նաև խոնավության և ջերմաստիճանի սեզոնային փոփոխությունները: Բացի դրանից ուշագրություն պետք է արժանացնել մասնակիորեն լցված ճեղքվածքներում հիդրոստատիկ ճնշման մեծացման կարճատև ազդեցությունը և հակառակը՝ ճեղքերից զուրա լվացումը:

Վնասված լանջի մոտ ցանկացած ինժեներական կառույց նախագծելիս, լանջերի շարժման վերը նկարագրված տեսակետների հետևանքով, ժայռային զանգվածների խորքային ձևափոխությունները պետք է հաշվի առնել: Ամենից առաջ պետք չէ արժամարհել հետևյալ մոտեցումները:

1. Դաշտում ինժեներաներկարաբանական քարտեզագրման ժամանակ հաճախ դժվար է հաստատել ուսումնասիրվող շարժման տեսակի իսկությունը: Նրեյովի ճանաչման համար կարելիորագույն է մերկացումների փաստագրումը:

2. Այն դեպքում, երբ բնական լանջերի վրա մորֆոլոգիական դիտումները ցույց են տալիս, որ ալյալ ժամանակում սկսվում է շարժում, այդ դժվար է ապացույցել դաշտային չափումների միջոցով:

3. Եթե հայտնաբերված է ձգման ճեղքվածքների բացման կամ շերտերի խորքային կեռածոման ժամանակ լանջի թուլացում, ապա անհրաժեշտ է հաշվի առնել վնասված ժայռային զանգվածի մակերևույթի գեոտեխնիկական հատկությունների հետևանքով առաջացած էական վատացումը: Բացի այդ, զրավիտացիոն շարժումների հետևանքով ձևափոխությունների անբարենպաստ ազդեցությունն ուժեղանում է խախտված վայրերում հողմահարման ընթացքների ազդեցության հետևանքով: Մասնավորապես, հետևյալ հատկությունները փոխվում են անբարենպաստ ուղղությամբ.

ա) վատթարանում է ժայռային զանգվածի դիմադրողականությունը և ձևափոխումը: Ռոմիովի մոտ խախտված գոտում զանգվածի դեֆորմացման մոդուլը 2—4 անգամ ցածր է, բ) Աճում է ջրաթափանցելիությունը, որը հատկապես անբարենպաստ է ամբարտակների հիմքի համար: Ռոմիովի մոտակայքում թուլացված գոտում ծոման հետևանքով ջրաթափան-

ցելիությունը աճել է մինչև 20—120 լիտր/րոպեում, այն էլ ընդամենը 0,3—1 մթն. ճնշման դեպքում:

դ) եսխտված ժայռապարները ներկայացնում են հիմքի անհամասեռ գրունտ: Անհրա-
ժեշտ է լայն բացված ճեղքների փակումը:

դ) Հատկապես վատանում է ժայռային զանգվածի՝ կայունությունը խախտված գոտում:
Հեռանկի շարժումների վերականգնում կամ ժամանակակից շարժումների արագացման վտանգը
սպառնում է շինարարությունը:

ПРИМЕРЫ ОСЛАБЛЕНИЯ СКАЛЬНЫХ СКЛОНОВ В БОГЕМСКОМ МАССИВЕ¹

Канд. техн. наук, инж.-стр. ЯН РЫБАРЖ² и инж.-стр. ОТОКАР ВРЖБА³

Реферат. Описываются два случая ползучести, встреченные при строительстве плотин в Богемии. Затронутые ползучестью склоны сложены твердыми породами, пронизанными круто падающими плоскостями нарушения непрерывности. Дается анализ глубоко расположенных изгибов пластов и связанного с ними внешнего вращения скальных блоков. Произведена оценка практического следствия этих деформаций для оснований гидротехнических сооружений.

В стенках отрывок для коммуникации и гидротехнических сооружений, выстроенных в горных районах, время от времени обнаруживаются глубинные деформации гравитационного происхождения, которые относятся к глубинной ползучести склонов (в смысле Тер-Степаняна, 1961). Ниже описываются случаи в Богемском массиве, которые происходят на склонах, сложенных твердыми породами, пронизанными круто падающими плоскостями разрывности.

При сооружении плотины Ржимов в южной Богемии был изучен случай глубоко расположенного изгиба пластов. Наблюдаемый склон высотой 70 м наклонен под углом 35—40° и сложен слюдястыми сланцами, парагнейсами и кварцитами. Слонистость параллельна долине и падает круто к западу под углом 66—80°. В разведочных шурфах и позже на стенках отрывки котлована было установлено, что пласты слюдястых сланцев и кварцитов изгибаются вниз по склону в его ослабленной части до глубины 10—20 м. Уклон плоскости слонистости изменяется на 30—120° по сравнению с ненарушенными частями (рис. 1)⁴. В кварцитах наблюдаются широкие открытые трещины (1—5 см), нормальные к слонистости (рис. 2).

Во время строительства каменно-набросной плотины Пржисечнице наблюдались деформации другого характера. На пологом склоне (10—15°) левого берега долины наблюдалась зона чрезвычайного ослабления пород. В твердых, горизонтально залегающих ортогнейсах преобладала система вертикальной отдельности. На рис. 3 показана часть склона, где были выявлены непрерывные крутые трещины, грубо параллельные долине и местами широко открытые. Образованные таким образом полости, шириной от 1 до 15 см, были частично свободными, а частью заполнены мелкоземом. Ортогнейсы были разделены на блоки, с тенденцией погружения в направлении вверх по склону. Деформации ясно видны по положению выветрелых гибридных гнейсов. Деформации могут быть объяснены механизмом глубинного загиба пластов. Механизм развития глубинного загиба пластов был теоретически проанализирован Тер-Степаняном (1964). Скальный массив, образованный ортогнейсами, был разделен вертикальными трещинами на отдельно деформируемые пласты, между которыми имело место частичное смещение и изменение их взаимных расстояний. В геологическом прошлом головы этих пластов слегка изогнулись

¹ Перевод с английского проф. Г. И. Тер-Степаняна.

² Зав. отделом Инженерной геологии Геологического института Чехословацкой Академии наук, Прага.

³ Старший инженер отдела инженерной геологии, нар. предприятие «Строительная геология», Прага.

⁴ Рисунки смотри на стр. 97—100.

в сторону долины, что сопровождалось так называемым внешним вращением (по Зандеру; Sander, 1948). Его принцип объясняется рис. 4. В окрестностях Пржисечнице угол вращения был мал; здесь были нарушены очень твердые породы на совершенно пологом склоне.

Описанные деформации в Ржимове и Пржисечнице обладают общими чертами, несмотря на различные морфологические и геологические условия их образования. Они представляют собой начальную стадию движения склона в массиве, пронизанном круто падающими плоскостями разрывности. С геологической точки зрения они представляют собой длительные движения скальных пород вообще с неувеличивающейся скоростью без ясно выраженной поверхности скольжения. Величина перемещения ничтожна по сравнению с размерами охваченного скального массива. Доминирующим механизмом движения является глубинная ползучесть (Немчок и др., 1973). Как правило, эти деформации древнего возраста. До настоящего времени устойчивость склонов, нарушенных вышеуказанными деформациями, не может быть удовлетворительно рассчитана математическими методами. Более надежные результаты, приближающиеся к действительности, могут быть получены на физических моделях (Hofman, 1973; Furlinger, 1974).

Глубинный загиб пластов, соединенный с раскрытием трещин растяжения и с внешним вращением, обуславливается прежде всего влиянием гравитации и ослаблением напряжений. Каждый скальный массив реагирует на естественную или искусственную разгрузку изменением напряженного состояния. Вследствие изменения напряженного состояния в пространстве и во времени происходят ограниченные деформации, в течение которых возникают движения вдоль существующих плоскостей разрывности. Этому содействуют климатические влияния. Принимается, что наиболее благоприятные условия были в течение периода перигляциального климата в плейстоцене, когда процессы замерзания и оттаивания действовали до глубины вечной мерзлоты. В ограниченных пределах играли роль также сезонные изменения влажности и температуры.

Глубинные деформации скального массива вследствие вышеописанных типов движений склонов должны быть приняты во внимание при проектировании любых инженерных сооружений вблизи от пораженного склона. Прежде всего не следует пренебрегать следующими аспектами.

1. Зачастую трудно установить идентичность изучаемых типов движения склонов при инженерно-геологическом картировании в поле. Для опознания явлений наиболее важна документация обнажений.

2. Если морфологические наблюдения на естественных горных склонах указывают, что в настоящее время начинаются движения на склоне, это трудно доказать путем полевых измерений.

3. Если установлено ослабление склона при открытии трещин растяжения или при глубинном загибе пластов, необходимо считаться с существенным ухудшением геотехнических свойств на площади пораженного скального массива. Более того, неблагоприятное влияние деформаций, вызванных гравитационными движениями, усиливается вследствие процессов выветривания в нарушенной области. В частности, следующие свойства изменяются в неблагоприятную сторону:

а) Ухудшается в целом сопротивляемость и деформируемость скального массива. Вблизи от Ржимова модуль деформируемости массива в нарушенной зоне в 2—4 раза ниже.

б) Увеличивается водопроницаемость, что особенно неблагоприятно для оснований плотин. Вблизи от Ржимова водопроницаемость увеличивается до 20—120 л в минуту вследствие изгибания в ослабленной зоне, и это при давлении всего 0,3—1,0 атмосферы.

в) Нарушенные скальные породы представляют собой неоднородный грунт основания. Необходима заделка широко открытых трещин.

г) Особенно ухудшается устойчивость скального массива в нарушенной зоне.

Опасность возобновления древних движений или ускорения современных движений угрожает строительству.

REFERENCES—ՏՐԱՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА

- Немчок А., Пашек Я. и Рыбарж Я., 1973. Типизация оползневых и других явлений, протекающих на склонах. Сб. «Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них». Тр. Междунар. симпозиума, М., 66—76.
- Тер-Степанян Г. И., 1961. О длительной устойчивости склонов. Ереван, Изд. АН АрмССР.
- Тер-Степанян Г. И., 1964. О механизме образования загиба голов пластов. ДАН АрмССР, 36(2): 93—99.
- Dittrich E. & Paech H. J., 1961. Ingenieurgeologische Probleme beim Bau des Pumpspeicherkraftwerkes Hohenwarte II (Amattenhöhe). Z. angew. Geol., Berlin, 7(8): 407—413.
- Fürlinger W. L., 1974. Experimental approach to the study of mechanisms of structural controlled slope-movements in rock masses. Proc. Second Internat. Congr. I.A.E.G. Sao Paulo, Brazil, 2: V—3, 1—8.
- Hofmann H., 1973. Modellversuche zur Hangtektonik. Geol. Rdsch., Stuttgart, 62(1): 16—29.
- Müller L., 1962. Über die Entstehung oberflächenparalleler Klüfte. Versuch einer geomechanischen Erklärung. Geol. u. Bauwes., 27(3—4): 146—152.
- Sander B., 1948. Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. Erster Teil. Wien-Innsbruck: Springer.
- Talobre J., 1957. La mécanique des roches appliquée aux travaux publics. Paris: Dunod.
- Ter-Stepanian G., 1963. On the long-term stability of slopes. Norweg. Geotech. Institute, Publ., 52, 1—14.
- Ter-Stepanian G., 1965. Über den Mechanismus des Hackenwerfens. Felsmechanik u. Ingenieurgeologie, Wien, Bd. III, H. 2, 44—49.
- Záruba Q., 1944. Význam periglaciálního větrání hornin a soliflukce pro zakládání staveb. Tech. Obz., Praha 52: 289—292, 313—319.