

ZÁSADY ROZHODOVÁNÍ ZA NEJISTOTY V GEOTECHNICE

PRINCIPLES OF MAKING DECISIONS UNDER UNCERTAINTY IN GEOTECHNICS

ALEXANDR ROZSYPAL

ABSTRAKT

Článek se zabývá problematikou rozhodovacích postupů v geotechnice, které jsou charakteristické tím, že pro ně není obvykle dostatek informací, dat a znalostí. Upozorňuje na nutnost v takových případech při navrhování geotechnických konstrukcí potlačovat deterministický přístup a doplnit jej přístupem pravděpodobnostním. Poukazuje na význam inženýrské intuice a zásady jejího rozvíjení i používání. Uvádí i některé rozhodovací techniky minimalizující vliv nejistoty na výsledek rozhodování a snižující související rizika.

ABSTRACT

The paper is dealing with problems of decision-making procedures in geotechnics, which are characterised by the usual lack of information, data and knowledge required for them. It draws attention to the necessity of suppressing the deterministic approach to designing geotechnical structures in such the cases and complementing it by a probabilistic approach. It points out the importance of engineering intuition and principles of its development and use. It, in addition, presents some decision-making techniques minimising the influence of uncertainty on the result of the decision and reducing the associated risks.

1. ÚVOD

Projektování a výstavba geotechnických konstrukcí jsou dotčeny značnou mírou nejistot o podmínkách a vlastnostech přírodního prostředí, v jakém budou tyto stavby navrhovány a budovány. Při obvyklých postupech navrhování stavebních konstrukcí se však vychází z předpokladu, že všechny poznatky a znalosti, které jsou k rozhodování nezbytné, jsou k dispozici. (Zákonitosti, podle kterých se sledovaný systém chová, spolehlivé algoritmy, které je popisují, dále poznatky o aktuálním stavu analyzovaného systému, o vlastnostech materiálů, z kterých systém pozůstává atp).

Vlastnosti hornin, které se u geotechnických konstrukcí stávají nedílnou součástí statického systému stavebního díla, se ale významně mění v prostoru i v čase. Závisí i na řadě vnitřních a vnějších činitelů, například na charakteru změn původního stavu horninového masivu stavebním zásahem, na způsobu jeho zatěžování, na rozsahu změnami zatížení zastíženého prostoru, kolísání pórových tlaků a podobně. Na intenzitě a velikosti takových změn se podílí i zvolená technologie ražeb. Kromě toho je třeba během výstavby geotechnických konstrukcí často čelit nahodilým vnějším vlivům různé přírodní, technické i lidské povahy. Jejich význam nelze při přípravě stavby, ani při jejím provádění spolehlivě předvídat.

2. VÝZNAM NEJISTOTY V GEOTECHNICE

Při navrhování geotechnických konstrukcí ve složitých geologických podmínkách, zejména pak při projektování a budování podzemních staveb, tedy řada důležitých informací buď chybí, nebo nejsou dostatečně výstižné či spolehlivé. To znamená, že projektování a budování podzemních staveb je spojeno s větším či menším rizikem. Při řízení rizik je nezbytné uplatňovat pravděpodobnostní přístup, zvažovat míru přijatelnosti rizik a rozsah nezbytných opatření pro jejich snižování. Logika pravděpodobnostního přístupu je ale jiná, než při obvyklém přístupu deterministickém. Pokud

1. INTRODUCTION

Designing and development of geotechnical structures are affected by a significant degree of uncertainties regarding the conditions and properties of the natural environment in which the structures will be designed and constructed. However, it is assumed when usual designing procedures are applied to designing civil engineering structures that all knowledge necessary for making decisions is available. (The regularities according which the system being observed behaves, the reliable algorithms described by them, the knowledge about the current state of the system being analysed regarding properties of the materials the system consists of, etc.).

But the properties of ground mass, which become an inseparable part of the static system of the structure significantly vary in space and time. They even depend on numerous internal and external factors, for example, on the character of changes in the state of the ground mass caused by the construction intervention, on the process of its loading, on the extent of the space affected by the changes, fluctuation of pore pressures etc. Even the selected tunnelling technique contributes to the intensity and size of such changes. It is, in addition, necessary during the course of construction work to face accidental external influences of various natural, technical and human nature. Their significance cannot be reliably predicted either during the construction planning process or during the construction.

2. SIGNIFICANCE OF UNCERTAINTY IN GEOTECHNICS

When geotechnical structures in complicated geological conditions are being designed, especially when underground structures are being designed and constructed, there is a lack of a lot of important information or it is not sufficiently apposite or reliable. It means that designing and constructing underground structures is associated with a larger or smaller risk. It is necessary in the risk management process to apply the probabilistic approach, take into account the rate of acceptability of risks and the extent of the measures necessary for reducing them. But the logics of the probabilistic approach differs from the logics of the usual deterministic approach. If it is not possible to predict with certainty what the behaviour of the

není možné s jistotou předpovědět, jaké bude chování dotčeného systému, například v důsledku:

- možných změn báňsko-geologických podmínek v místě ražby tunelu;
- neznámé orientace hlavního původního napětí okolo podzemní kaverny;
- velkého kolísání hodnot klíčových geotechnických parametrů vstupujících do návrhů;
- neznámé dlouhodobé stability vysokého závěrného svahu portálu tunelu, možného kolísání hladiny podzemní vody v jeho svahu atd.;

nelze se při projektování zabývat jediným optimálním řešením. Řešení se naopak musí vyrovnat se všemi významnými variantami výše uvedených proměnných, které při konkrétní výstavbě připadají v úvahu.

Vtipný příklad takového rozhodování v situaci vysoké míry nejistoty uvedl Taleb (2007) „*Není možné jednoznačně stanovit, na kterou větev si slavík sedne, když v noci přilétne do háje. Pokud je cílem na slavíka nastražit lep tak, aby byla co největší pravděpodobnost jeho polapení, je třeba lep nastražit na ty větve, na které by si slavík mohl sednout nejpravděpodobněji.*“

Praktické řešení takové úlohy ovšem musí respektovat podmínku, že lepidla je jen omezené množství a není proto možné jím namazat všechny větve, aby se slavík s jistotou chytil. Také hodnota použitého lepidla nesmí být logicky větší, než je hodnota slavíka samotného. Když by bylo takto vymezeno množství lepidla, které je účelné na lapání slavíka použít, pak je možné s využitím konceptu pravděpodobnosti hledat ty větve, na které si slavík sedne nejpravděpodobněji a tam lep, který je k dispozici, nastražit (větve nad studánkou, s výhledem na měsíc atp.).

Obdobně je třeba postupovat při projektování geotechnické konstrukce, jejíž chování mohou významně ohrožovat náhodné stavy a jevy. Projekt musí vzít v úvahu všechny možné nebezpečné stavy, které za dané situace mohou nastat. Měl by také odhadnout pravděpodobnosti, s jakou mohou nastat, a jaká to obnáší rizika. Následně by měl projektant vybrat ty stavy, které představují nepřijatelná rizika a pro ta navrhnout opatření na jejich potřebná snížení. Současně také porovnávat náklady na taková opatření s jejich účinkem (snížením rizika). To znamená provést technicko-ekonomickou optimalizaci návrhu konstrukce a na jejím základě přijmout optimální projektové řešení. Jinými slovy, takové, kdy je snížené riziko pod úrovní rizika přijatelného a poměr mezi náklady na snížení rizika a velikostí rizika nejvýhodnější.

3. ROZHODOVACÍ POSTUPY PŘI VYSOKÉ MÍŘE NEJISTOTY

Při praktickém řešení geotechnických úloh, kdy se může uplatnit nahodilé chování, není nejdůležitější používání matematických metod pravděpodobnostního počtu a teorie pravděpodobnosti. Vždy je ale třeba uplatnit „pravděpodobnostní myšlení“ a některé specifické techniky.

Prvním krokem při geotechnickém návrhu je posoudit, zda jej lze provést standardními deterministickými postupy. To znamená, zda jsou pro řešení k dispozici všechny vstupy, zda jsou dostatečně hodnověrné a jakého charakteru a rozsahu jsou nejistoty. Anebo zda se jedná o situaci, kde zbytkové nejistoty o vlastnostech geotechnických parametrů a o zákonitostech chování daného horninového masívu a navrhované konstrukce jsou pro návrh stavby a její provádění významné. Pak je třeba pro řešení příslušného problému uplatnit

particular system will be, for example as a result of the following conditions:

- potential changes in mining-geological conditions in the location of the underground excavation;
- unknown orientation of the main original stress around the underground cavern;
- large fluctuations of the values of key geotechnical parameters entering the design;
- unknown long-term stability of the high tunnel portal slope, potential fluctuation of water table in the slope, etc.;

it is not possible to deal with a single optimal solution when the design is being carried out. Just the opposite, the solution has to cope with all significant variants of the above-mentioned variables which can be taken into consideration during a particular construction project.

A smart example of such decision-making process in the situation of high uncertainty rate was presented by Taleb (2007) „*It is not possible to determine unambiguously the branch a nightingale will sit on when it arrives in the growth at night. If the objective is to set birdlime in a way providing as high probability of catching the bird as possible, it is necessary to put birdlime on the branches the nightingale could sit with the largest probability.*“

Of course, a practical solution to such a problem has to respect the condition that the amount of the glue is limited and, for that reason, it is impossible to apply it to all branches so that the nightingale is caught with certainty. In addition, logically, the value of the used birdlime must not be higher than the value of the nightingale itself. When the amount of the birdlime useful for catching the nightingale is defined, it is possible to apply the concept of probability to searching for the branches the nightingale is most likely to sit on and put the glue available on them (branches above a spring, branches allowing a view of the moon, etc.).

The application of a similar procedure is required for designing a geotechnical structure the behaviour of which can be significantly endangered by accidental states and phenomena. The design has to take into account all possible dangerous states which can take place under the particular situation. It should, in addition, assess the probabilities with which they can take place and the risks associated with them. Subsequently, the designer should select the states representing unacceptable risks and propose measures reducing them to required levels. At the same time, he should compare the costs of such measures with their effect (reduced risks). It means carry out technical-economic optimisation of the structural design and adopt optimal design solution on its basis. In other words, such a solution where the risk is reduced under the level of the acceptable risk and the ratio between the risk reduction costs and the magnitude of the risk is most favourable.

3. DECISION-MAKING PROCEDURES UNDER HIGH RATE UNCERTAINTY

When geotechnical problems are being practically solved in the cases where random behaviour can be applied, the use of mathematical methods of the probability calculus and the theory of probability is not most important. However, it is necessary to apply “probabilistic thinking” and some specific techniques.

The first step of a geotechnical design lies in assessing whether it can be carried out using standard deterministic procedures. It means whether inputs are available for the solution, whether the uncertainties are credible and what is the character and extent of the uncertainties. Or whether it is a situation where residual uncertainties regarding geotechnical parameters and patterns of the behaviour of the particular ground mass and the structures being proposed are important for the

pravděpodobnostní přístup a observační metody. V úvahu je třeba také vzít všechny možné nahodilé vlivy z vnějšku systému stavba-horninové prostředí (přírodní hazardy, technologické havárie, vlivy sociálněekonomických podmínek, lidský faktor atp.).

3.1 Potlačení deterministického přístupu

Důležitou podmínkou úspěšného řešení komplexního geotechnického problému s větší mírou nejistot je, zbavit se deterministického způsobu uvažování a s ním spojených myšlenkových postupů a nahradit jej uvažováním pravděpodobnostním. Přitom je účelné se zaměřit na posouzení následujících aspektů.

Význam anomálních a nestandardních jevů

V geotechnice dosud převažuje deterministické uvažování, kdy jevy jsou studovány a vysvětlovány na základě „převažujícího“, běžného, nebo statisticky pozorovaného chování (v laboratoři, při výstavbě i při monitoringu). Nestandardním, anomálním jevům či chováním v extrémních podmínkách nebývá věnována dostatečná pozornost. Prakticky každý se jistě setkal se situací, kdy anomální chování indikované geomonitorem se značnou dobu ignoruje na základě předpokladu, že se bude určitě „normalizovat“. Avšak právě zkoumání anomálních jevů může s předstihem zjistit neočekávaný nástup nějakého neočekávaného nežádoucího jevu. Při jejich zkoumání se také může získat největší poučení.

Rozbory skutečných příčin anomálního chování

V praxi podzemního stavitelství se obvykle neprovádí dostatečně podrobné analýzy fyzikálních příčin vzniků mimořádných nebo anomálních událostí. Asi proto, že jejich vznik bývá mylně považován za nezvládnutí standardních návrhových (deterministických) procesů a není zájem označit viníka. V řadě případů však příčinou těchto mimořádných událostí nebyla chyba jako taková, ale zanedbání možností vzniku významných nahodilých událostí ve spolupůsobení systému stavba-hornina a nenalezení způsobů, jak se s nimi při výstavbě účinně vyrovnat.

Zkoumání významu extrémních a nahodilých hodnot a jevů

Chování systémů, ve kterých hrají velkou roli nahodilosti, je třeba zkoumat nikoliv na jejich průměrném chování (což je vlastní pro deterministický přístup), ale právě na krajnostech, nahodilostech, na zvláštnostech v chování sledovaných systémů. Právě v geotechnice se s nahodilostmi, vybočujícími z předpovědí odvozených z obecných znalostí a ze znalostí získaných z nedostatečných průzkumů, lze setkávat velmi často. Přesto se, například při určování charakteristických hodnot geotechnických parametrů, stále často opakuje táž chyba, že se bez podrobnějšího rozboru výsledků laboratorních či polních měření volí za charakteristické hodnoty v podstatě hodnoty průměrné, zatímco pro chování celého systému bývají za určitých okolností rozhodující právě hodnoty extrémní.

Nečekaná změna trendů ve vývoji chování sledovaného systému způsobená externí nahodilostí

V systémech, ve kterých dochází k nahodilým jevům, je běžné, že jejich neočekávaný vznik zásadně změní dosavadní průběh chování tohoto systému. To platí i pro geotechniku. Proto, i když například monitoring ražby tunelu poskytuje dlouhou řadu poměrně souvislých pozorování s podobným výsledkem, nikdy není 100% jistota, že se pozorované chování nemůže v blízké budoucnosti náhle výrazně změnit. Poznání a závěry odvozené z určitých

design and the construction. It is then necessary for the solution to the particular problem to apply the probabilistic approach and observational methods. In addition, it is necessary to take all possible random effects from the outside of the structure-ground environment system into consideration (natural hazards, technological accidents, influences of socio-economic conditions, human factors, etc.).

3.1 Suppression of deterministic approach

An important condition for successful solving a comprehensive geotechnical problem with a higher rate of uncertainties is to get rid of the deterministic way of thinking and the thought processes associated with it and to replace it with probabilistic thinking. It is reasonable to focus on the assessment of the following aspects.

Significance of anomalous and non-standard phenomena

Deterministic thinking still prevails in the geotechnics; phenomena are studied and explained on the basis of “prevailing”, common or statistically observed behaviour (in a laboratory, during construction and during monitoring). Non-standard, anomalous phenomena or behaviour under extreme conditions are usually not paid sufficient attention. Practically everybody has certainly encountered a situation where the anomalous behaviour indicated by geomonitoring is ignored for a considerable time on the basis of the assumption that it will certainly “normalise”. But it is just the process of examination of anomalous phenomena that can identify an unpredicted onset of an unexpected undesirable phenomenon in advance. In addition, the greatest lesson can be gained by examining them.

Analyses of real causes of anomalous behaviour

Sufficiently detailed analyses of the physical causes of the origination of extraordinary or anomalous events are usually not carried out in the practice of underground construction engineering. The reason probably is that their origination is usually considered to be a failure to cope with standard design (deterministic) processes and there is no interest in marking the culprit. However, the extraordinary events were not caused by a mistake itself. In many cases the cause was the fact that the possibilities of the origination of significant random events in the system of the interaction of the structure with the ground and finding ways of effective coping with them during the construction were neglected.

Examination of the significance of extreme and random values and phenomena

The behaviour of systems where significant roles are played by contingencies should be examined not focusing on their average behaviour (which is characteristic of the deterministic approach). It should be examined on extremes, randomness and particularities in the behaviour of the systems being observed. Especially in geotechnics is it possible to frequently encounter contingencies leaving the line of predictions derived from the general knowledge and knowledge obtained from insufficient investigation. Despite this fact the same mistake is still often repeated in determining the characteristic values of geotechnical parameters that in substance average characteristic values are chosen without any more detailed analysis of results of laboratory or field measurements, whilst, under certain circumstances, the extreme values themselves often decide.

Unexpected change in trends in the development of the behaviour of the system being observed caused by external randomness

It is a commonplace in the systems where random phenomena occur that the unexpected origination of the phenomena fundamentally changes the current behaviour of the system. This applies even to geotechnics. For that reason there is never 100% certainty that the behaviour being observed cannot abruptly change in the near future, even though, for example, the tunnel excavation monitoring provides a long series of relatively continuous observations with a similar

pozorování a za určitých podmínek, například geotechnickým monitoringem, musí být proto neustále znova a znova ověřovány. Zejména je třeba trvale přezkoumávat soulad používaného modelu spolupůsobení stavební konstrukce s horninou, se skutečným spolupůsobením zastižené horniny a stavby. Spolu s tím i případné změny okrajových podmínek, které vývoj sledovaného systému doprovázejí.

Vliv rozsahu zkoumaného systému na vznik nahodilostí

Čím různorodější je horninový masiv, čím větší je jeho objem zastižený změnami (např. plocha výrubu), čím různější je povaha jeho ovlivnění vnějšími vlivy (technologie ražeb, rozsahy a velikost zatížení, směry zatížení, způsob zatížení, dynamický účinek), tím je i větší pravděpodobnost vzniku nějakého nahodilého jevu i jeho důsledků.

Některé takové jevy mohou být sice nahodilé, ale fyzikálně vysvětlitelné. Přesto mohou být někdy jen obtížně předpověditelné. I když mohou být málo pravděpodobné, měly by být při výstavbě očekávány, a při projektu vždy zohledňovány. Proto je nezbytné používání observačního přístupu nejen při projektování, ale i při řízení výstavby. Nutná je především schopnost rychlé reakce na vznik možných jevů či stavů předem připravenými opatřeními.

Kumulace postupných malých změn

Mnohé, jako by nahodilé jevy jsou způsobeny postupným hromaděním malých změn, které samy o sobě nevyvolávají obavy. Po překročení určité meze (kumulace těchto změn), však může dojít k náhlé změně ve vývoji sledovaného systému, která může být následována i kolapsem. Tyto změny jsou zpravidla důsledkem fyzikálních změn v procesu přetváření, kdy jeden jeho mechanismus přechází v jiný, s jiným charakterem a s jiným časovým průběhem. Například pomalé sedání přejde v určitý okamžik v zaboření. Jiným příkladem může být vyplavování (sufoze). Vyplavování jemných částic pokračuje vnitřní erozí pomalu proti směru proudění vody až do místa, kde se náhle skokově zvětší propustnost. Obdobně se projevuje pomalá změna pórových tlaků vody v soudržné nasycené zemině, kde po dosažení určité hodnoty pórového tlaku může dojít k náhlému zaboření konstrukce, nebo překročení určité polohy volné hladiny podzemní vody, může znamenat náhlou ztrátu stability svahu portálu tunelu. Takových příkladů je v geotechnice možno nalézt mnoho.

3.2 Komplexní hodnocení geotechnického monitoringu

Geotechnický monitoring je mocný nástroj pro bezpečné a efektivní provádění podzemních staveb. Při jeho provádění se ale někdy stávají chyby. Ty nejčastěji spočívají ve schematickém a zjednodušeném hodnocení výsledků měření či pozorování, které se omezuje na jejich porovnávání s předem nastavenými kritérii (varovných stavů). Pro správné hodnocení, které využívá plný potenciál této metody, je naproti tomu třeba dbát na následující pravidla.

Pozornost je třeba věnovat i tomu, co není monitoringem zaznamenáno

Chybně zjednodušený přístup k hodnocení geotechnického monitoringu spočívá v tom, že pozorování a hodnocení se koncentruje pouze na to, co je vidět, co je zaznamenáno měřením. Zaměřuje se tak jen na dílčí, snadno pozorované a měřením přímo zaznamenávané jevy. Další chování sledovaného systému se pak předvídá (jednoduše extrapoluje) bez dostatečně hlubokého rozboru fyzikálních příčin pozorovaných jevů.

result. The knowledge and conclusions derived from certain observations and under certain conditions, for example by geotechnical monitoring, have therefore to be permanently, again and again, verified. It is in particular necessary to continually review the agreement of the model of interaction between the ground encountered and the construction with the actual interaction between the ground encountered and the construction. Together with this activity, even the contingent changes in the boundary conditions accompanying the development of the system being observed have to be reviewed.

Influence of the extent of the system being investigated on the origination of randomness

The more diverse ground massif, the larger its volume affected by changes (e.g. the cross-sectional excavated area), the more diverse nature of its affection by external influences (tunnelling technique, extent and magnitude of loading, directions of loading, the way of loading, the dynamic effect), the larger probability of the origination of random phenomena and their consequences.

Some of such phenomena can be random but they can be explainable. Despite this fact they can sometimes be predictable with difficulties. Even though they can be little probable, they should be expected during the construction and the design should take them into account. This is the reason why the application of the observational approach is necessary not only in designing but even in managing the construction. The capability of quick response to the origination of potential phenomena or conditions by means of pre-prepared measures is necessary above all.

Accumulation of gradual small changes

Many seemingly random phenomena are caused by gradual accumulation of small changes, which do not raise concerns by themselves. However, after a certain limit (accumulation of the changes) is exceeded, an abrupt change in the development of the system being monitored, which can be followed even by a collapse, can take place. These changes are usually a consequence of physical changes in the process of strain, where one of its mechanisms passes into another one with a different character and different time course. For example, slow settlement passes at a certain moment into bogging down. Piping (suffusion) can be another example. Washout of fine particles proceeds by internal erosion slowly against the direction of water flow up to the location where the permeability abruptly increases. Manifestations of a slow change in pore water pressures in saturated ground are similar. The structure can suddenly sink or the certain value of pore pressure which is a limit for the tunnel portal slope stability can be exceeded. Numerous examples of them can be found in geotechnics.

3.2 Comprehensive assessment of geotechnical monitoring

Geotechnical monitoring is a powerful tool for safe and effective execution of underground construction. But mistakes sometimes occur during the monitoring operations. The mistakes most frequently lie in schematic and simplified assessment of the results of measurements or observations, which restricts itself to comparing them with pre-set criteria (warning states). It is necessary for correct assessment using the full potential of this method to observe the following rules.

Attention has to be paid to the things which are not registered by the monitoring

An incorrectly simplified approach to assessing geotechnical monitoring lies, among others, in the fact that the observation and assessment is concentrated only on the things which are visible, which are registered by measurements. In this way it focuses itself only to partial, easily observable manifestations directly registered by measurements. Other behaviour of the system being observed is subsequently only forecast (simply extrapolated) without sufficiently deep analysing physical causes of the manifestations being observed.

Je třeba si uvědomit, že to, co se při monitoringu pozoruje, co je vidět, není všechno to, co existuje a co se děje. To ovšem platí nejen v geotechnice, ale i obecně. Řada procesů může pozorování zůstat skryta. Některé z nich pak mohou, za určitých náhodně vzniklých okolností, náhle překvapit. Například delší dobu systematicky zaznamenávané minimální hodnoty deformací primárního ostění nejsou zárukou, že nedojde k závalu výrubu způsobeným náhlým uvolněním velkého bloku horniny vymezeného plochami diskontinuit, které byly v konkrétním staničení zcela náhodně nepříznivě orientovány vůči směru ražby a stropu výrubu.

Koncentrace na vyhledávání důkazů

Zlovykem je sklon z pozorovaných jevů vyhledávat především ty skutečnosti, které svědčí ve prospěch předem přijaté teorie, předpokladu, zvoleného výpočtového modelu atp. S tím souvisí snaha nevidět, zanedbávat vše to, co je s těmito předpoklady v rozporu. To se často podvědomě děje jak při vyhodnocování monitoringu, tak i při zpracovávání výsledků zkušeb a měření z průzkumu, při geotechnickém hodnocení želeb, při rozhodování o technologické třídě výrubu atp.

Přítom právě v tom, co je v rozporu s očekáváním a s obecně přijatým modelem, může být skryta předzvěst blížící se nahodilové, neočekávané a zároveň nežádoucí události. Při posuzování představ o spolupůsobení horninového masivu se stavbou se tudíž nesmí dávat přednost tomu, co představu inženýra – projektanta potvrzuje, před tím, co by naopak mohlo prokazovat chybu v jeho předpokladech. To je naopak třeba v pozorovaných faktech cílevědomě vyhledávat a analyzovat! Pokušení hledat „důkazy“ pro upřednostňovanou teorii a to, co je s ní v rozporu zanedbávat, je vždy veliké. Stejně velká musí být proto snaha se tohoto pokušení programově uvědoměle zbavovat.

Úskalí bezduché extrapolace

U systému, u nějž dochází k nahodilostem, nelze považovat za důkaz správnosti modelu jeho dosavadní chování. A to ani po dlouhé řadě pozorování, které ho potvrzují. Každému je jasné to, že když se mu několikrát za sebou podaří se zavřenými očima přejít křižovatku na červenou, není to důkaz, že se to podaří vždy. Méně ale bývá zřejmé, že když se podaří postavit 860 metrů tunelu určitou technologií bez havárie, není to v žádném případě důkaz toho, že se to stejnou technologií v heterogenním horninovém masivu povede během dalších 510 metrů. Důkaz, že způsob provádění nějaké činnosti je správný jen na základě jejího úspěchu v minulosti, je možný přijmout pouze s podmínkou, že okolnosti, za kterých tyto činnosti budou probíhat v budoucnosti, se s určitostí ani trochu nezmění. Taková jistota je však v geotechnice a při budování podzemních staveb většinou velmi malá.

Správné kladení otázek

Obecně platí, že k pravdě je možné se spolehlivěji dostat prostřednictvím vylučování záporných (nesouhlasných) tvrzení, než kladných (souhlasných) tvrzení. Úspěšný inženýr a geotechnik by měl takový postup zvládat. Pro zvládnutí neočekávaných událostí v inženýrské výstavbě je například otázka „Co důležitého o vlastnostech horninového masivu nevíme?“, nejméně stejně tak důležitá, jako obvyklejší otázka „Co všechno o vlastnostech horninového masivu víme?“

Hodnocení faktů v souvislostech

Při hodnocení geotechnického monitoringu jsou často chybně zaznamenávány a analyzovány pouze jednotlivé poznatky o pozorovaném systému, nikoliv však již jejich souvislosti. Obvykle se jen řeší, zda byl, či nebyl dosažen varovný stav

It is necessary to realise that what is observed during the monitoring, what is visible, is not all that exists and takes place. This is certainly applicable even generally, not only to geotechnics. Many processes can remain hidden for observation. Some of them subsequently can, under certain randomly originating conditions, suddenly surprise. For example, minimum values of deformations of a primary lining systematically registered for a longer time are not a guarantee that a collapse of the excavation caused by sudden loosening of a large block of rock delimited by the planes of weakness which were completely randomly unfavourably oriented in relation to the direction of excavation and the roof of the excavation in the particular change does not occur.

Concentration on searching for evidence

There is a bad habit that the facts being in favour of a pre-accepted theory, an assumption of a chosen calculation model etc., are sought from the observed manifestations. The effort not to see, neglect everything that is in contrary to assumptions is associated with it. This often unconsciously happens when monitoring is being assessed as well as when results of tests and measurements obtained by geotechnical assessment are being processed, when the excavation headings are being geotechnically assessed, when decisions are being made on excavation support classes etc.

But a portent of an upcoming accidental, unexpected and at the same time undesired event may be hidden in the things contradicting the expectation and a generally accepted model. When the notions of the interaction between ground mass and a structure are being assessed, engineer-designer's notion must not be preferred to the things which could, on the contrary, prove a mistake in his assumptions. Just the opposite, it is necessary to purposively seek and analyse it! The temptation to seek "proofs" for the theory being preferred and to neglect the things which are to the contrary to it is always great. The magnitude of the effort to get rid of this temptation consciously, as a programme, has to be identical.

Pitfalls of witless extrapolation

It is not possible in a system where randomness occurs to consider its behaviour to date to be a proof of the model correctness. It is not possible even after a long succession of observations confirming it. It is clear for everybody that if they manage to pass an intersection through a red light with the eyes closed, it is not a proof that they will succeed always. However, it is usually less obvious that if an 860m long tunnel is constructed using a certain technique without an incident, it is by no means a proof that during the excavation of additional 510 metres through a heterogeneous ground massif, using the same technique, will also be without an incident. Proving that the way of execution of an activity is correct only on the basis of its success in the past can be accepted only under the condition that the circumstances under which the activity will proceed will not change in the least in the future. But such the certainty is mostly very small in underground construction.

Correct putting questions

It applies in general that the true can be more reliably reached through elimination of negative (disagreeing) statements rather than positive (agreeing) statements. A successful engineer and geotechnician should master such a procedure. The importance of a question, for example, "What important do not we know about the properties of the ground mass?" is at least the same as the importance of a more common question "What all do we know about the properties of the ground mass?"

Assessing facts within the contexts

When geotechnical monitoring is being assessed, only individual findings regarding the system being observed are recorded and analysed, but not their contexts. Only the question whether the warning

(určitá hodnota sledovaného parametru). Již méně často zda varovný stav byl dosažen rychle, pomalu se zrychlením, na kolika místech měření atp. Nikoliv však to, zda celý model chování systému hornina-výrub použitý v projektu odpovídá tomu, který lze odvodit z monitoringu při ražbách. To by se teprve muselo ze zjištěných výsledků měření a sledování často pracně vysvětlovat. K tomu však je třeba čas a určitá analytická činnost. A k tomu není vždy ochota nebo podmínky. Takto zjednodušené hodnocení může někdy svést k nesprávné interpretaci sledovaných hodnot s nepříjemnými důsledky.

Hodnocení míry zjednodušení

Vždy je nutno posuzovat míru zjednodušení používaného návrhového modelu, protože v zjednodušování je skryt další významný zdroj nejistot. To se ale často neděje. Platí, že čím větší je zjednodušení modelu, tím větší je i možnost neočekávaného překvapení ve skutečném chování sledovaných systémů. Složitě komplexní systémy se málokdy zcela chovají podle zjednodušených modelů a teorií. Zejména pokud se mění okrajové podmínky, ve kterých se nalézají. Pokud se změřená data dosadí do nevýstižného modelu za účelem prognózy dalšího vývoje chování sledovaného systému, je téměř jisté, že závěry budou chybné.

Uvědomění si hranice znalostí

Ve vědě i v praktickém inženýrství existují hranice mezi tím, co se ví a tím, co se neví. UVědomění si, že tyto hranice existují, je prvním krokem k určení, kde tato hranice v daném oboru je. Hranice toho, co je známo, jsou dány především zjištěnými fakty, jevy či skutečnostmi, mimořádnými událostmi (haváriemi), které příslušnou teorii, hypotézu či model nepotvrzují. Při hodnocení výsledku monitoringu, nebo při posuzování nějaké hypotézy je proto žádoucí, kromě standardního hodnocení měření, i systematicky hledat všechno to, co by přijaté představy (hypotézy) o chování a zákonitostech předmětného systému hornina-stavba vyvracelo. Teprve tehdy, když taková fakta nelze nalézt, a když tyto představy (hypotézy) nelze prokazatelně vyvrátit, je lze považovat definitivně za správné.

Důsledné posouzení platnosti zkušeností pro daný případ

Co platí někde, nemusí platit jinde, za jiných podmínek. Přesto se lze často setkat se snahou jednou získané výsledky či zkušenosti zobecňovat a pak je používat, byť pro řešení sice stejného problému, ale za úplně jiných okrajových podmínek. To pak samozřejmě může vést k jinému než k očekávanému výsledku. Stejně tak v geotechnice platí, že algoritmy, rovnice, modely hodnoty geotechnických parametrů atp. spolehlivě platí jen uvnitř oborů potvrzených zkouškami nebo empirickou zkušeností.

Podceňování nezažitých situací a přeceňování zažitých

Možnost vzniku nahodilých jevů, s kterými ale nemají odpovědné subjekty přímou osobní zkušenost, je jimi obvykle podceňována. Ti, kteří tuto zkušenost mají, ji zase mohou přeceňovat. Při rozboru pravděpodobnosti uskutečňování nahodilých jevů tak často převládá subjektivní, nikoliv věcný přístup. Této subjektivitě si ale dotčené subjekty obvykle nejsou vědomy. To je škoda, protože v nejistém prostředí je každá správně zhodnocená zkušenost dobrá. Zkušenosti získané jinými subjekty by proto vždy měly být brány v úvahu, bez podvědomého snižování jejich významu, stejně jako zkušenosti vlastní.

state (a certain value of the parameter being observed) was or was not reached is usually solved. The question whether the warning state was reached quickly, slowly with acceleration, at how many measurement places etc. is solved less frequently. The question whether the whole model of the behaviour of the ground-excavation system used in the design corresponds to the model which can be deduced from the monitoring conducted during the course of the excavation is usually not solved. It would have to be arduously explained subsequently on the basis of the measurement and observation results. But it requires time and certain analytical activities. Willingness or conditions for it often do not exist. The assessment simplified in the above-mentioned way can sometimes seduce to incorrect interpretation of the values with unpleasant consequences being monitored.

Assessing the simplification rate

It is always necessary to assess the rate of the simplification of the design model used because another important source of uncertainty is hidden in simplification. But this assessment is often neglected. It applies that the greater simplification of the model the greater possibility of unexpected surprise in the actual behaviour of the systems being monitored. Complicated complex systems seldom behave completely in accordance with simplified models and theories. It is so in particular when the boundary conditions under which they exist change. When the measured data is inserted into a non-apposite model for the purpose of prognosing the subsequent behaviour of the system being monitored, it is nearly certain that the conclusions will be wrong.

Realisation of boundaries of knowledge

Boundaries between what is known and what is not known exist in the science and practical engineering. The realisation of the fact that the boundaries exist is the first step to the determination where this border exists in the particular field. Borders of what is known are given first of all by the found facts, phenomena, information or extraordinary events (incidents) which do not confirm the particular theory, hypothesis or model. It is for that reason recommendable when the monitoring result of some hypothesis is being assessed, to systematically search for everything that, in addition to the standard assessment of measurements, would refute the accepted notions (hypotheses) of the behaviour and regularities of a particular ground-construction system. It is possible to finally consider the notions (hypotheses) as correct only when such facts cannot be found and the notions cannot be provably refuted.

Consistent assessment of the applicability of experience to a particular case

What is applicable somewhere does not have to be applicable elsewhere under different conditions. Despite this fact it is often possible to encounter an effort to generalise the once gathered results or experience and apply them subsequently, although to solving the same problem, but under completely different boundary conditions. Of course, this process can lead to a different result than expected. The same is applicable in the field of geotechnics that algorithms, equations, models of the value of geotechnical parameters etc. are reliably valid only within the fields confirmed by tests or empirical experience.

Underestimating unexperienced situations and overestimating experienced ones

The possibility of the origination of accidental phenomena the responsible subject have no personal experience with is usually underestimated by them. On the other hand, those who have this experience can overestimate it. When the probability of the realisation of accidental phenomena is analysed, a subjective approach often prevails instead of the substantive approach. The subjects concerned are usually not aware of this subjectivity. It is a shame because any correctly

4. VÝZNAM INŽENÝRSKÉ INTUICE

V průběhu výstavby geotechnických konstrukcí často nastávají situace, kdy je třeba přijmout rozhodnutí prakticky okamžitě, bez složitých analýz výpočtů a doplňování dat dalším průzkumem. Tehdy je účinným nástrojem inženýrská intuice. Jinými slovy inženýrský cit. Při používání takového zkráceného postupu se však musí dodržovat určitá pravidla a omezení. Jinak může znamenat značné nebezpečí chybného rozhodnutí.

Co je intuice a jak vzniká

V lidském mozku probíhá současně tzv. intuitivní myšlení a racionální myšlení. Intuitivní myšlení je rychlé a vychází z v podvědomí uložených zkušeností a poznatků. Racionální myšlení je pomalé a pracné. Vychází z teoretických znalostí a uplatňování zásad logiky, indukce, dedukce, výpočtů atd. (Kahneman 2012). Jinými slovy, intuice je schopnost rychlého a úspěšného rozpoznání nejistého stavu a nejistých podmínek, v jakých se posuzovaný systém, v našem případě systém hornina – stavba, nachází, a na tomto základě rychlé nalezení optimálního řešení daného problému.

Úspěšnost inženýra geotechnika či stavitele podzemních konstrukcí spočívá ve schopnosti operativní kombinace intuitivního a racionálního myšlení. To znamená rychlého rozpoznání problému a jeho řešení na základě kombinace zkušeností a poznatků uložených v podvědomí a teoretických odborných znalostí. Intuice geotechnika či projektanta nebo stavbyvedoucího vzniká řešením mnoha praktických problémů během dlouhé řady let a současným systematickým rozvojem jeho odborných znalostí v příslušných specializacích. Je to dlouhodobé ukládání komplexních zkušeností, informací a poznatků do podvědomí. Spolu s tím se musí rozšiřovat i teoretické znalosti v příslušném oboru.

Úskalí intuitivního myšlení v geotechnice

Používání intuice má samozřejmě svá úskalí. Expert geotechnik dospěje snadno k přesvědčení, že pracovní hypotéza, kterou s pomocí intuice vytvořil, je správná. Často přitom ale může podlehnout pokušení zanedbat všechno to, co o problému neví. Při hodnocení totiž zpravidla vychází jen z omezených informací. Toho, co se neví, ale bývá při řešení geotechnického problému víc než toho, co se ví. Obranou je uvědomit si včas to, co se neví, a při rozhodování na to brát ohled. Základní otázky, které se proto musí při řešení nejistých problémů vždy položit, jsou: Co všechno se neví? Co je nejisté? Jak tyto nejistoty vzít při rozhodování v úvahu?

Někteří experti – geotechnici si také zapomínají klást otázku o hranici spolehlivosti své vlastní intuice, nebo ji sebevědomě posunují příliš daleko. Častou neschopností rozeznat hranice vlastních profesionálních dovedností a hranic mezi tím, co vím a co nevím, a jaký to může mít důsledek, lze vysvětlit nemalou řadu pochybení v inženýrském stavitelství.

Rozhodování za omezených informací

Informace, které jsou používány pro řešení geotechnických problémů, bývají nejen omezené, ale často je nejisté i jejich pravdivost. A intuitivní závěry jsou zpravidla prováděny právě na základě omezených informací. Většinou se příliš optimisticky předpokládá, že informace, které jsou k dispozici, jsou i pravdivé. Rychlé závěry jsou umožněny právě proto, že rozhodovací subjekt se nezdržuje s jejich důkladným rozborem a posuzováním. Nemá čas na jejich ověřování, tím méně na jejich doplňování. Prostě vychází z předpokladu, že když existují, tak jsou i pravdivé.

assessed experience is good in an uncertain environment. Experience gained by other subjects should for that reason be taken into account without subconscious reducing its importance, equally to one's own experience.

4. IMPORTANCE OF ENGINEERING INTUITION

Situations frequently occur during the construction of engineering structures where it is necessary to take a decision almost immediately, without complicated analyses of calculations and complementing data by another investigation. Then the engineering intuition is an effective tool. In other words, the engineering sense. However, when such an abridged procedure is used, it is necessary to adhere to certain rules and limitations. Otherwise, it can mean a significant danger of a wrong decision.

What is intuition and how it arises

In human brain the so-called intuitive thinking and rational thinking take place concurrently. Intuitive thinking is fast and comes from the subconscious. Rational thinking is slow and arduous. It comes from theoretical knowledge and application of rules of logics, induction, deduction, calculations etc. (Kahneman 2012). In other words, intuition is an ability of fast and successful recognition of an uncertain state and uncertain conditions in which the system being assessed (in our case the ground-construction system) is found on the basis of fast finding of an optimal solution to the particular problem.

The success of an engineer-geotechnician or a builder of underground structures lies in the ability of operative combination of intuitive and rational thinking. It means the fast recognition of a problem and its solution based on a combination of experience and knowledge stored in the subconscious and theoretical professional knowledge. The intuition of a geotechnician or a designer or a site manager develops by solving numerous practical problems during many years and by concurrent systematic development of his professional knowledge in relevant specialisations. It is long-term storing of comprehensive experience, information and findings into the subconscious. Along with this, it is necessary to expand even then theoretical knowledge in the relevant field.

Pitfalls of intuitive thinking in geotechnics

The use of intuitive thinking has, of course, its own pitfalls. A geotechnical expert easily comes to conviction that the working hypothesis he developed using intuition is correct. But he can often give in to temptation to neglect everything he does not know about a problem. When making an assessment, he usually proceeds only from limited information. But the quantity of the things which are not known is usually greater than the quantity of things which are known when a geotechnical problem is being solved. The defence lies in timely realisation of the things which are not known and taking it into consideration when the decision is being made. Here are the basic questions which have always to be asked: What is unknown? What is uncertain? How are the uncertainties to be taken into consideration when decisions are being made?

Some experts – geotechnicians in addition forget to ask the question regarding the limit of reliability of their own intuition or they confidently shift it too far. A frequent inability to distinguish the limits of one's own professional skills and boundaries between what I now and what I do not know and the consequence it may have can be explained by the considerable number of mistakes in civil engineering.

Making decisions with limited information

Information used for solving geotechnical problems is usually not only limited but, in addition, even its veracity is often uncertain. And it is the limited information that the intuitive conclusions are usually

Do této kategorie patří i nekritické přebírání výsledků nedostatečných průzkumů.

Podmínky úspěšného použití intuice v geotechnice

Intuici zásadně nelze věřit, pokud prostředí, kterého se týká, nevykazuje stabilní pravidelnost. Pro úspěšné využívání inženýrské intuice je naopak třeba, aby prostředí, okolnosti a pracovní postupy, ve kterých řešení probíhá, byly neměnné. Musí se jednat o obdobné prostředí, ve kterém daný rozhodovací subjekt své zkušenosti nashromáždil. Každý, kdo chce pracovat jako expert pro geotechniku, musí být sám schopen posoudit, zda jeho minulé poznatky, zkušenosti a informace jsou relevantní pro danou situaci.

Vynikající projektant podzemních staveb může velmi úspěšně pracovat s intuicí v určitém geologickém prostředí, například v pražské geologii. Avšak uplatní-li bezmyšlenkovitě tyto zkušenosti v jiném geologickém prostředí, které vykazuje úplně jiné vlastnosti a chování, například v karpatském flyši, může mít taková neopatrnost fatální důsledky.

Nevhodné používání intuice

Nezřídkou se stává, že objednatel ve snaze ušetřit, nebo zrychlit přípravu či výstavbu, tak namísto správného postupu, spočívajícího v získávání dostatečných dat, například průzkumem a geotechnickým návrhem zahrnujícím komplexní postupy (výpočty), spoléhá jen na znalecké „intuitivní“ posouzení problému na základě omezených informací. Rozhodnutí jsou pak přijímána ad hoc, na pracovních poradách, na základě zkušeností často dokonce jen jediného, byť třeba špičkového experta.

Případné chyby, které jsou následkem takových rozhodnutí včetně odpovědností za ně, je třeba přičíst výhradně na konto zadavatele takových expertiz. Expert samozřejmě svá doporučení podává vždy *bona fide*, s nejlepším použitím svých zkušeností a znalostí. Ovšem nemůže mít odpovědnost za to, že nedostal všechny potřebné informace, a to ani v situaci, kdy by to bývalo bylo možné. V každém případě tento postup představuje zbytečně zvýšená rizika, a zodpovědný objednatel by jej neměl, ve svém vlastním zájmu, nikdy připustit.

Pěstování intuice

Pro pěstování intuitivního myšlení a jeho efektivního používání při praktickém rozhodování v inženýrské praxi je důležité důsledné provádění zpětných vazeb. Je třeba neustále udržovat povědomí o tom, pro jaký problém a v jaké situaci byly konkrétní zkušenosti získány, za jakých podmínek jsou relevantní a za jakých nikoliv. Je třeba zkoumat za jakých vnějších i vnitřních okolností příslušné děje probíhaly. Vždy je třeba hledat pro pozorované děje jejich fyzikální vysvětlení a konfrontovat je s existujícími hypotézami a vysvětlovat důvody, proč jsou s nimi v případném rozporu. Vždy je nutno znovu a znovu stanovovat hranice platnosti získávaných zkušeností.

5. ŘÍZENÍ RIZIK

Důsledkem značných nejistot spjatých s vlastnostmi horninového prostředí a s možností vzniku nahodilých přírodních i jiných externích událostí je to, že výstavba geotechnických konstrukcí a zejména podzemních staveb je doprovázena podstatně vyšší mírou rizik, než je tomu v jiných odvětvích stavebnictví. Tato rizika je třeba vždy kontrolovat a řídit.

Riziko je obecně definováno jako „účinek nejistoty na dosažení cíle“. Inženýrským rizikem se rozumí souběh pravděpodobnosti, že dojde k nežádoucí události a následkům

based on. It is usually too much optimistically assumed that the information available is true. Coming to quick conclusions is allowed for by the fact that the decision-making subject does not lose time with thorough analysing and assessing them. He does not have time to verifying, even less for complementing it. He simply proceeds from the assumption that when it exists, it must be true.

This category comprises even the uncritical taking over the results of insufficient surveys.

Conditions of successful application of intuition in geotechnics

Basically, intuition cannot be verified, unless the environment it is related to exhibits stable regularity. It is necessary for the successful use of engineering intuition that the environment, circumstances and working procedures in which the work on the solution proceeds are invariable. The environment has to be similar to the environment in which the particular decision-making subject gathered its experience. Anyone who wants to work in the position of an expert for geotechnics has to be capable of judging himself whether his past knowledge, experience and information is relevant for the particular situation.

An excellent designer of underground structures can work very well with intuition within a certain geological environment, for example in the Prague geology. However, if he applies this experience thoughtlessly to another geological environment exhibiting completely different properties and behaviour, for example to the Carpathian flysh, his carelessness may have fatal consequences.

Unsuitable use of intuition

It often happens that a client, in the effort to save funds or accelerate the preparation or construction, relies only on the “intuitive” expert assessment of the problem based on limited information, instead of using a correct procedure lying in obtaining sufficient data, for example by investigation and geotechnical design involving comprehensive procedures (calculations). Decisions are then taken ad hoc, in working meetings, on the basis of experience of an often only one top expert.

The contingent mistakes which are consequences of such decisions, including responsibility for them, must be ascribed solely to the account of the person who ordered such expertises. Of course, an expert always submits his recommendations *bona fide*, using his experience and knowledge best he can. Naturally, he cannot be responsible for not receiving required information, even in the situation where it would have been possible. In any case, this procedure represents unnecessarily increased risks and a responsible client should, in his own interest, never permit it.

Fostering intuition

Consistent performing feedback is important for fostering intuitive thinking and its effective use in practical making decisions in the engineering practice. It is necessary to permanently maintain the awareness of the problem the concrete experience was obtained for and the situation in which it was gained, under which conditions it is relevant and conditions under which it is irrelevant. It is necessary to examine the internal circumstances in which the relevant actions proceeded. It is always necessary to seek the physical explanation of the actions being observed and confront them with existing hypotheses and explain the reasons why they are inconsistent with them. It is always necessary to again and again determine the limits of the experience gained.

5. RISK MANAGEMENT

The consequence of significant uncertainties associated with properties of ground environment and the possibility of the origination of accidental natural and other external events is the fact that the construction of geotechnical structures and, in particular, underground structures, is accompanied by the level of risk significantly higher

(škodám), které jsou důsledkem vzniku takové události. Riziko je většinou vyjádřitelné ve finančních jednotkách, časovou ztrátou, nebo nějakou jinou nehmotnou újmou. Pravděpodobnost je míra jistoty (nejistoty), že určitý děj, či stav nastane, či nenastane. Má měřítko od nuly do jedné. Riziko je všude, kde je nejistota. Kde je naopak vše jisté, riziko neexistuje.

Řízení rizik má za cíl optimalizaci mezi náklady na opatření ke snižování rizika a velikostí dosaženého snížení rizika. Platí, že dosažené snížení rizika musí být větší než náklady na toto snižování rizika vynaložené. Další podmínkou je, že riziko po jeho případném snížení musí být menší, než tak zvané riziko přijatelné. To je riziko, které je nositel rizika schopen řídit, bez úhony přenést a je ochoten je vědomě podstoupit.

Stanovení míry přijatelného rizika je jedním z klíčových prvků rizikové analýzy. Dalším je samozřejmě stanovení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího jevu, který může způsobit škodu. K tomu lze použít různé postupy od odhadu, expertní metody nebo statistiku (pokud je dost dat), až po metody pravděpodobnostního počtu. Dnes je pro řízení rizik k dispozici řada postupů, předpisů a norem. Především ČSN ISO 31000:2000 Management rizik – Principy a směrnice, ČSN EN 608:2007 Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA) nebo mezinárodní standardy, z nichž nejpropracovanější jsou dokumenty ITA-AITES a AFTES.

Pro podzemní stavby realizované činností prováděnou hornickým způsobem také platí ustanovení Vyhláška Českého báňského úřadu č. 55/1996 Sb., podle které je ražba podzemního díla možná pouze, pokud byla provedena riziková analýza.

ČSN ISO 31000:2000 vnímá řízení rizik jako soubor činností a metod, které směřují ke kontrole (a snižování) existujících rizik. Metodika řízení rizik předkládaná v ČSN ISO 31000:2000 zahrnuje zásady řízení rizik, strukturu řízení rizik, a proces řízení rizik. Risk Assessment (proces řízení rizik) podle ČSN ISO 31000:2000 dále zahrnuje identifikaci rizik, kvantifikaci rizik a analýzu rizik.

Metodiku řízení rizik je třeba ale uplatňovat vždy v rozsahu přiměřeném k okolnostem konkrétního stavebního díla a podle konkrétních geologických, přírodních i ekonomicko-sociálních poměrů, ve kterém se podzemní dílo bude připravovat a budovat. V jejich rámci se zpracovává plán řízení rizik dané stavby. Ten se následně stává nedílnou součástí dokumentace výstavby a systému jejího řízení.

6. EXPERTNÍ METODY

Nejosvědčenějším způsobem jak v podzemním stavitelství získat nejspolehlivější řešení při nejistých informacích, jak eliminovat vliv nejistot, identifikovat a kvantifikovat zdroje rizik, jsou expertní metody. Jde o postup, kdy na témž řešení pracuje několik nezávislých expertů najednou. Tým expertů je složen z odborníků způsobilých rozpoznat a posoudit velikost a následky různých druhů potenciálních nedostatků projektu, které by mohly vést k poruchám. Výsledné řešení se považuje pro daný problém za nejpříjemnější a za dané situace nejlepší možné. Řešení nalezená expertními metodami nejlépe vyhovují požadavku využití aktuálně nejvyššího dosažitelného stupně poznání pro řešení daného problému za daných nejistých okolností s podmínkou rozumné bezpečnosti.

than it is in other branches of civil engineering. These risks have always to be checked and managed.

The risk is in general defined as the “effect of uncertainty on objectives”. The engineering risk is the concurrence of the probability that an undesired event takes place with the consequences (damage) which follow from the origination of such an event. Risk is usually expressible in financial units, by the lost time or another intangible damage. Probability is the degree of certainty (uncertainty) that a certain action or condition will or will not take place. It is measured on the scale ranging from zero to one. Risk is everywhere where there is uncertainty. Conversely, there where everything is certain, risk does not exist.

The objective of risk management is the optimisation between the costs of risk reduction measures and the magnitude of the risk achieved. It applies that the risk reduction achieved has to be greater than the costs incurred to reduce the risk. Another condition is that the risk after a possible lowering has to be smaller than the so-called acceptable risk. It is the risk which the risk bearer is able to control, transfer without harm and is willing to consciously take it.

The determination of the acceptable risk degree is one of the key elements of the risk analysis. Naturally, another one is the determination of the probability of the origination of an undesired phenomenon which can cause damage. Various procedures can be used to do this, ranging from estimation, expert methods or statistics (when the amount of data is sufficient) up to the probability calculus method. Today, there are numerous procedures, regulations and standards available for managing risks. Primarily they are the ČSN ISO 31000:2000 Risk Management – Principles and Regulations, the ČSN EN 608:2007 Techniques of analysing the failure-free property of systems – procedure of the analysis of failure modes and effects (FMEA) or international standards, of which the ITA-AITES and AFTES documents are most elaborate.

Underground construction realised by activities involving mining in addition governed by the Decree of the Czech Bureau of Mines No. 55/1996 Coll., according to which the excavation for underground structures is possible only if a risk analysis is finished.

ČSN ISO 31000:2000 considers the risk management as a system of activities and methods aimed at controlling (and reducing) existing risks. The risk management methodology presented in ČSN ISO 31000:2000 comprises risk management principles, risk management structure and risk management process. The Risk Assessment comprises risk identification, risk quantification and risk analysis.

The risk management methodology has to be applied always within the extent adequate to the circumstances of a concrete construction work and according to concrete geological, natural and economic-social conditions in which the underground work will be prepared and carried out. The risk management plan for the given construction is prepared within their framework. It subsequently becomes an inseparable part of the construction documentation and the system of its management.

6. EXPERT METHODS

The use of expert methods is the most proven method of obtaining the most reliable solution arrived at with uncertain information, eliminating the influence of uncertainties and identifying and quantifying sources of risks in the field of the underground construction industry. It is a procedure where several independent experts work at a time on the same solution. The team of experts consists of professionals capable of distinguishing and assessing the magnitude of consequences of various types of potential drawbacks of a design which could lead to defects. The best resultant solution is considered to be most acceptable and best possible for the given situation. Solutions

Expertní tým

Při aplikaci expertních metod pro řízení rizik je nezbytné ustanovit vhodný expertní tým složený ze specialistů z odborností, které mají přímý vztah k řešené problematice. Při rizikových analýzách pro tunelové stavby by expertní tým měl být složen ze specialistů objednatele, projektanta, báňské správy, zhotovitele, zpracovatele geotechnického průzkumu, řešitele geotechnického monitoringu, dotčené veřejné správy, inženýrského geologa, geotechnika, hydrogeologa a dalších přizvaných specialistů podle povahy řešeného problému. Hodnocení a práce expertů musí přitom být vzájemně nezávislé, ale koordinované. Experti pracují podle jednotné metodiky, se kterou byli dobře seznámeni. Pracují samostatně, neinformují se vzájemně o svých postupech a nálezech. Používají stejné klasifikační stupnice a hodnotící postupy. Každý ovšem se svou poněkud odlišnou zkušeností, praxí, znalostmi a úhlem pohledu. Tak se nejlépe využijí zkušenosti a znalosti, které mají jednotliví členové expertní skupiny. Sníží se tím pravděpodobnost chyb, které by nastaly v případě hodnocení téhož problému jediným expertem.

Výsledky jejich řešení zpracovává nezávislý expert na rizikovou analýzu. Ten také průběžně práci celého týmu koordinuje, řídí a připravuje pro něj jednotné podklady. Vedoucí rizikové analýzy podléhá zadavateli, který rizikovou analýzu expertní metodou objednává.

Adaptace expertní metody FMEA pro podzemní stavby

Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA – Failure Modes and Effects Analysis) je systematický postup analýzy systému za účelem zjištění potenciálních způsobů poruch, jejich příčin a důsledků na technické parametry systému a jeho fungování. (Tedy včetně systému stavba podzemního díla – horninové prostředí.) Postup je popsán v ČSN EN 608:2007 Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).

Při hodnocení závažnosti kombinuje skupina expertů slovní hodnocení potenciálních nežádoucích jevů s kvantifikovaným hodnocením. To spočívá v přidělování bodů jednotlivým nežádoucím jevům podle jednotných kritérií a podle jednotné klasifikace. Cílem je sestavit pořadí důležitosti všech potenciálních nežádoucích jevů, které byly předtím zpracovány do registrů možných nežádoucích jevů. Registry zdrojů rizik (nežádoucích jevů) se zpracovávají pro různé objekty, procesy, technologie atd., které se při výstavbě podzemní stavby budou vyskytovat. Každý v registrech identifikovaný nežádoucí jev je každým expertem oceňován samostatně.

Bodové hodnocení každého potenciálně nežádoucího jevu v rozsahu 1 až 5 se provádí standardně pro tři parametry a to: „Z“ – Důsledky (závažnost, výše škod příslušného jevu), „P“ – Pravděpodobnost vzniku příslušného jevu a „Dt“ – Předvídatelnost vzniku takového jevu.

Pro každý nežádoucí jev, který je uveden v registrech rizik, se pak stanoví index RPN (Risk Priority Numer). Ten je relativním hodnocením míry rizika, které v konkrétním případě hodnocený nežádoucí jev představuje. Hodnota indexu RPN je daná součinem všech tří klasifikovaných parametrů.

$$RPN=Z \times P \times Dt$$

found using expert methods best fit the requirement for the application of the currently highest attainable degree of knowledge to the solution of the given problem under uncertain circumstances, with the condition of reasonable safety.

Expert team

When expert methods for managing risks are to be applied, it is necessary to establish an appropriate expert team consisting of specialists with expertise directly relating to the problems to be solved. In the case of risk analyses for tunnel construction projects, the expert team should consist of specialists employed by the project owner, designer, mining administration, construction contractor, processor of geotechnical investigation, contractor for geotechnical monitoring, respective public administration, engineering geologist, geotechnician, hydrologist and other specialists invited with respect to the nature of the problem to be solved. The assessments and work of experts have to be independent of each other but coordinated. The experts work according to a unified methodology, which they were well acquainted with. They work independently, do not inform each other about their procedures and findings. They use identical classification scales and assessment procedures. Of course, each of them applies his own, somewhat different, experience, practice, knowledge and angle of view. In this way, the experience and knowledge of individual members of the expert team will be used best. The probability of mistakes which could take place in the case of assessing the same problem by a single expert is reduced by it.

Results of their solutions are processed by an independent expert on risk analysis. He, in addition, usually continually coordinates and manages the work of the whole team and prepares unified documents for it. The manager of the risk analysis is subordinate to the client who orders the risk analysis using the expert method.

Adaptation of the FMEA expert method for underground construction

The Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a systematic procedure of the analysis of the system for the purpose of identifying potential ways of failures, their causes and consequences for technical parameters of the system and its functioning (including the underground construction-ground environment system, including the entire system or process). The procedure is described in ČSN EN 608:2007 Techniques of analysing the failure-free property of systems – procedure of the analysis of failure modes and effects (FMEA).

When the significance is being assessed, the team of experts combines the verbal assessment of potential undesired phenomena with the quantified assessment. It lies in assigning points to individual undesired phenomena according to individual criteria and according to the unified classification. The objective is to compile the ranking of the significance of all potential undesired phenomena, which were previously placed into registries of potential undesired phenomena. The registries of sources of risks (undesired phenomena) are maintained for various structures, processes, technologies etc. which will be encountered during the underground construction. Each undesired phenomenon identified in the registries is assessed by each expert independently.

The point rating of each potentially undesired phenomenon ranging from 1 to 10 is conducted in a standard way for 3 parameters: “Z” – Consequences (seriousness, amount of damage); “P” – Probability of the origination of the respective phenomenon and “Dt” – predictability of the origination of such a phenomenon.

The RPN index (Risk Priority Number) is subsequently determined for each undesired phenomenon contained in risk registries.

The index is a relative assessment of the risk level which the undesired phenomenon being assessed represents in the particular

7. SHRNUTÍ

Rozhodování většiny problémů souvisejících s projektováním a výstavbou geotechnických konstrukcí je vždy spojeno se značnou nejistotou. Řada důležitých vstupů buď chybí, nebo nejsou dostatečně výstižné či spolehlivé. Rozhodování za nejistoty musí respektovat jiná pravidla, než jsou běžná při deterministických postupech. Důležitou podmínkou úspěšného řešení komplexního geotechnického problému s větší mírou nejistot je proto zbavit se deterministického způsobu uvažování a nahradit jej uvažováním pravděpodobnostním.

Při hodnocení geotechnického monitoringu je třeba věnovat pozornost i tomu, co není monitoringem zaznamenáno, zjištěná data je třeba hodnotit v souvislostech a je třeba je fyzikálně vysvětlovat. Z pozorovaných jevů se nesmí vyhledávat pouze ty skutečnosti, které svědčí ve prospěch předem přijaté teorie, předpokladu, zvoleného výpočtového modelu, ale i ty, které pro ně nespovídají.

Pro zvládnutí mimořádných událostí je otázka „Co důležitého o vlastnostech horninového masivu nevíme?“, nejméně stejně tak důležitá, jako obvyklejší otázka „Co všechno o vlastnostech horninového masivu víme?“ Vždy je třeba se ptát: „Co všechno se neví? Co je nejisté? Jak tyto nejistoty vzít při rozhodování v úvahu?“

Významným nástrojem řešení problémů za nejistoty je inženýrská intuice. Při jejím uplatnění se však musí dodržovat určitá pravidla a respektovat některá omezení. Inženýrská či geotechnická intuice není schopnost věštit, či hádat, ale schopnost rychle uplatňovat zkušenosti spolu s teoretickými znalostmi.

Úspěšnost experta spočívá ve schopnosti rychlého rozpoznání problému a návrhu jeho řešení na základě kombinace zkušeností a poznatků uložených v podvědomí (intuice) a teoretických odborných znalostí. Intuici ale nelze nikdy používat jako účelovou náhradu nedostatku informací v situacích, kdy je lze standardními postupy získat.

Metodika řízení rizik systémově zavádí pravidla a osvědčené postupy pro řízení rizik, a rozdělování rizik mezi účastníky výstavby ve všech fázích její přípravy i realizace. Dnes je pro řízení rizik k dispozici řada osvědčených postupů předpisů a norem, s jejichž pomocí lze řízení rizik profesionálně provádět. Účinným nástrojem metodiky řízení rizik jsou expertní metody.

Článek byl zpracován s využitím výsledků Centra kompetence Technologické agentury České republiky, získaných při řešení projektu „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu“ (CESTI), číslo projektu TE01020168 v roce 2018.

*doc. Ing. ALEXANDR ROZSYPAL, CSc.,
alexandr.rozsyपाल@gmail.com*

*Recenzovali Reviewed: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.,
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.*

case. The value of the RPN index is given by the product of all three parameters being classified.

$$RPN=Z \times P \times D_t$$

7. SUMMARY

Making decisions on the majority of problems associated with designing and constructing geotechnical structures is always associated with significant uncertainty. Many important entries are either missing or are insufficiently apposite or reliable. Making decisions under uncertainty has to respect different rules than those common in deterministic procedures. An important condition for successful solution to a complex geotechnical problem with rather great level of uncertainties is therefore that the deterministic thinking is abandoned and is replaced with probabilistic thinking.

When geotechnical monitoring is being assessed, it is necessary to pay attention even to the things which are not reregistered by the monitoring; the determined data has to be evaluated in context and it is necessary to explain it physically. Of the observed phenomena, it is not possible to seek only the facts which give evidence of a pre-accepted theory, an assumption of the chosen calculation model, but also the facts not giving the evidence.

Important for coping with extraordinary events is the question: “What important regarding the properties of the ground mass do we not know?”, but at least equally important and more common question is “What all do we know about the ground mass properties?” It is always necessary to ask: “What all is not known? What is uncertain? How are those uncertainties to be taken into consideration in the decision-making process?”

An important tool for solving problems under uncertainty lies in the engineering intuition. Nevertheless, certain rules have to be adhered to and some limitations have to be respected. Neither the engineering nor geotechnical intuition is able to prophesy or guess, but it is able to quickly apply experience together with theoretical knowledge.

Expert's success lies in the capability of quick recognising a problem and proposing the solution on the basis of a combination of experience and knowledge stored in the subconscious (the intuition) and theoretical professional knowledge. But intuition can never be used as a replacement for the reason of the lack of information in the situations where it can be obtained using standard procedures.

The risk management methodology introduces a system of rules and proven procedures for managing risks and distribution of risks among participants of construction in all phases of its preparation and realisation. Many proven procedures, regulations and standards are today available for professional managing the risks. Expert methods of the risk management methodology are an effective tool.

The paper was prepared using the results of the Competence Centre of the Technology Agency of the Czech Republic gathered when solving the Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure (CESTI), project number TE01020168 in 2018.

*doc. Ing. ALEXANDR ROZSYPAL, CSc.,
alexandr.rozsyपाल@gmail.com*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KAHNEMAN, D. Thinking Fast and Slow. (Myšlení rychlé a pomalé). JM Publishing 2012
- [2] ROZSYPAL, A. Význam pravděpodobnostního přístupu v geotechnice. Geotechnika 2012
- [3] ROZSYPAL, A. Role of Probabilistic Approach to Risk Management in Underground Structures. 12th International Conference Underground Construction. Prague 2013
- [4] ROZSYPAL, A., POLÁK, M. Expertní metoda hodnocení rizika pro projekt tramvajového tunelu v Brně. Konference IG, Brno, 2017
- [5] STAVEREN, M. Th. Uncertainty and Ground Conditions: Risk Management Approach Elsevier, 2006
- [6] TALEB, N. N. Fooled by Randomness – The Hidden Role of Chance in Life and in the Market. Penguin books