

SBORNÍK GEOLOGICKÝCH VĚD  
JOURNAL OF GEOLOGICAL SCIENCES

# hydrogeologie, inženýrská geologie

---

## hydrogeology, engineering geology

201



~~VYDAVATELSTVÍ ČESKÉHO GEOLOGICKÉHO ÚSTAVU~~  
PRAHA 1994

2001

Vědecký redaktor:

RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

*Diskuse o grafick se konala na poradním schůzce  
vědeckého redaktora dne 18. prosince 2000*

*2001*

© Český geologický ústav, 1994

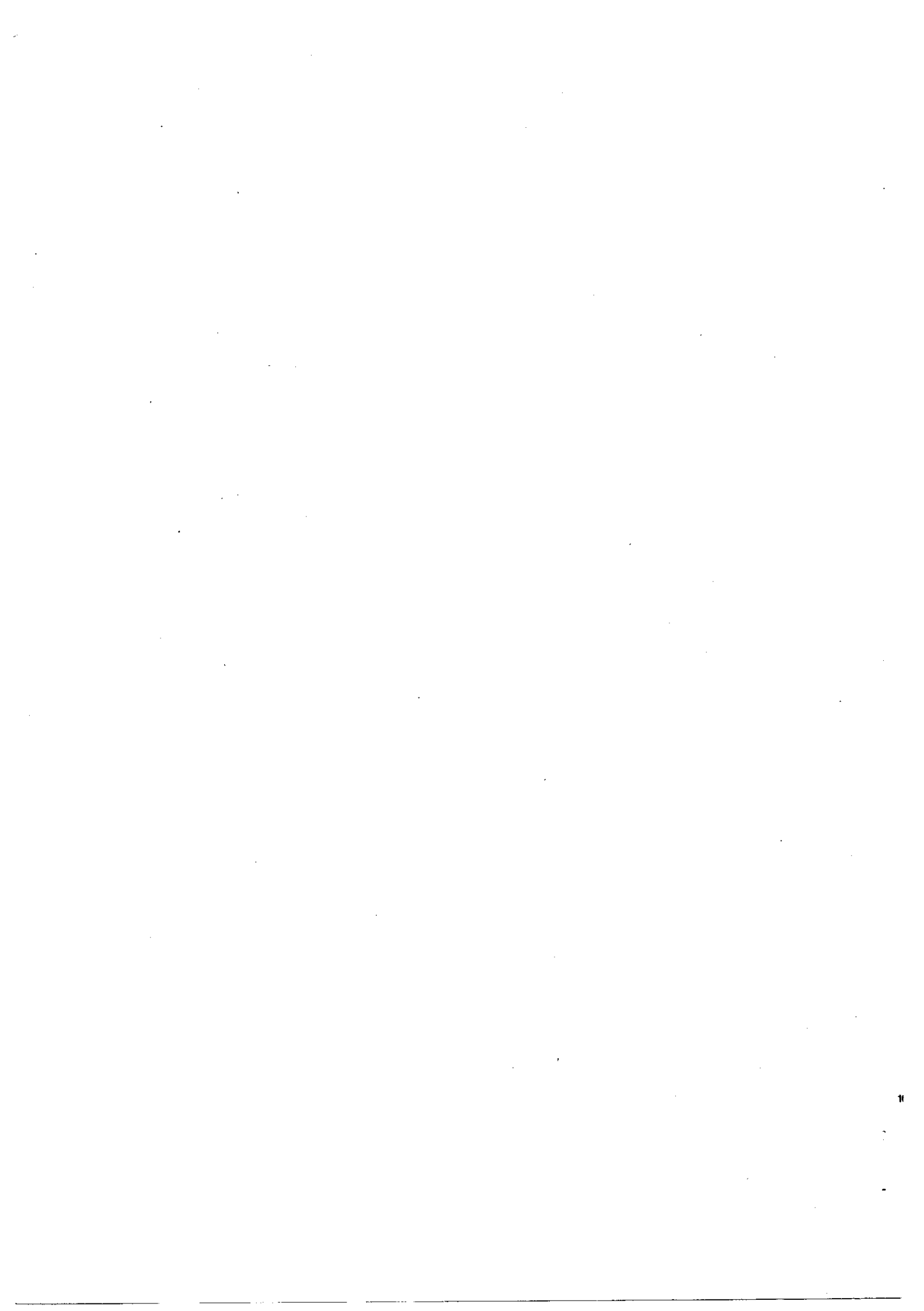
*520-2*

ISBN 80-7075-~~174-6~~

ISSN 0036-5289

## OBSAH

BŮŽKOVÁ, H.: Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum předpolí uhelného velkolomu při úpatí Krušných hor. – Engineering-geological and hydrogeological exploration of the open cast coal mine Čs. armády at the foot of the Krušné hory Mts. . . . .	5
BŮŽKOVÁ, H.: Využití matematického prostorového modelování geologických poměrů pro uhelný velkolom. – Use of mathematic spatial modelling of geological conditions for the giant open pit mine . . . . .	9
MAREK, J.: Inženýrskogeologické mapování a geologické poměry v okolí úpatí Krušných hor (Čechy). – Engineering-geological mapping and geological conditions in the environs of the Krušné hory foothills (Bohemia)	23
KLOSS, K.: Stabilita svahu uhelného velkolomu stanovená metodou konečných prvků. – Slope stability of the open pit coal mine defined by the finite element method . . . . .	39
HORÁČEK, M.: Srovnání poznatků o průzkumných důlních dílech mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách. – Comparison of data on exploratory mining works between Jezerka and Horní Jiřetín in the Krušné hory Mts. . . . .	45
JEZERSKÝ, Z.: Hydrogeochemical investigation in the region of Horní Jiřetín and Jezeří forests in North Bohemia. – Hydrogeochemický výzkum v oblasti Horního Jiřetína a Jezeřských lesů v severních Čechách . . . . .	53
HORÁK, J.: Prognóza snížení hladiny podzemní vody na úpatí Krušných hor postupem povrchové těžby uhlí – matematický model AQUIFEM 1. – Prognosis of groundwater level decrease due to the progressing open pit coal mining at the foot of the Krušné hory Mts. – groundwater flow model AQUIFEM 1 . . . . .	61



Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 20	Str. 5–8	2 obr.	– tab.	– příl.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
-----------------------------	-------------------------------------	-------------	-----------	-----------	------------	-------------------	--------------------------------------

## Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum předpolí uhelného velkolomu při úpatí Krušných hor

### Engineering-geological and hydrogeological exploration of the open cast coal mine Čs. armády at the foot of the Krušné hory Mts.

HELENA BŮŽKOVÁ<sup>1</sup>

Předloženo 3. dubna 1991

1 : 50 000: 02-33

Key words: Engineering geology, Hydrogeology, Open cast mine, Stability of boundary slope, Bohemia

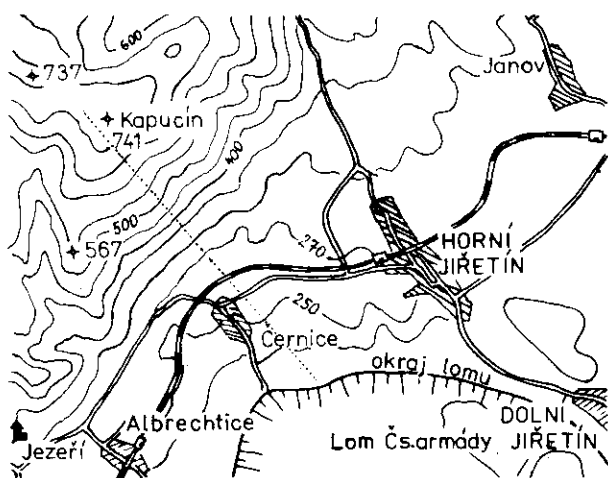
BŮŽKOVÁ, H. (1994): Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum předpolí uhelného velkolomu při úpatí Krušných hor. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 5–8. Praha.

Výtah: V osmdesátých letech byl prováděn podrobný průzkum území v předpolí lomové uhlé těžby na úpatí krušnohorských svahů. Průzkum byl koncipován jako komplexní, kromě zjištění geologické stavby měl poskytnout podklady geotechnické a hydrogeologické pro návrh závěrných svahů velkolomu. Článek je úvodní statí k dalším článkům tohoto svazku, věnovaného problematice průzkumu pro uhelný velkolom. Jsou v něm vyjmenovány hlavní oblasti průzkumu a poukázáno na nové a progresivní přístupy k řešeným otázkám.

<sup>1</sup> V zápolí 1252/27, 141 00 Praha 4

#### Problematika průzkumu

V letech 1980 až 1989 prováděli pracovníci podniku Stavební geologie Praha komplexní geologický průzkum na území plánované lomové těžby hnědého uhlí v těsném podhůří Krušných hor mezi obcemi Albrechtice a Horní Jiřetín (obr. 1). Rozloha území průzkumu je cca 4 x 4 km, přičemž linie výchozu uhlí pod kvartérem leží přibližně ve středu zkoumaného území. Hloubka budoucího lomu, tj. vertikální vzdálenost mezi rovinou dna vytěženého lomu a horní hranou závěrného svahu, bude v těchto místech až



1. Přehledná situace zájmového území. Tečkovaně je vyznačen geologický profil (obr. 2).

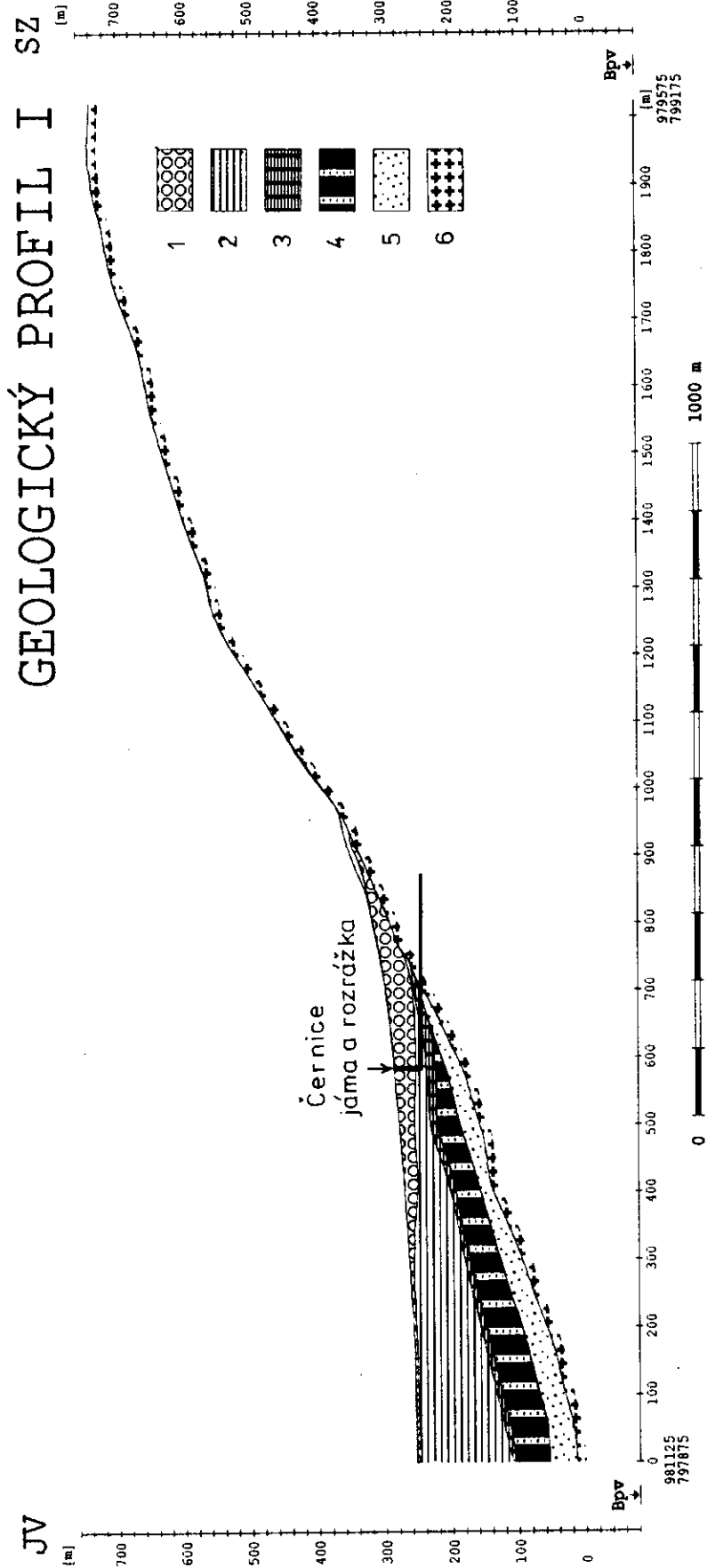
350 m. Uhléná vrstva upadá od výchozu směrem k JJV a její mocnost stoupá až na maximálně 65 m u obce Černice. Na SSZ území našeho průzkumu se zdvíhá hřeben Krušných hor s maximální kótou 741 m n. m. vrcholu Kapucín.

Komplexnost průzkumu spočívala v tom, že kromě geologické stavby území byly řešeny též inženýrskogeologické a geotechnické problémy těžby zejména se zřetelem na stabilitu svahů závěrných i provozních. Byly řešeny též s těžbou související hydrogeologické otázky se zřetelem na možnost umělého odvodnění pánevních sedimentů a hornin krystalinika v závěrných svazích lomu. Součástí hydrogeologického průzkumu bylo matematické modelování prognózních stavů hladiny podzemní vody, snížené vlivem postupného přibližování lomové těžby. Zájmy ložiskového průzkumu byly podporovány provedením technologických rozborů surovin všech pozitivních vrtů a komplexu karotážních metod ve vrtech.

#### Terénní metody průzkumu

Komplexní byly i terénní metody průzkumu, mezi které patří v časové posloupnosti geofyzikální a geoelektrický průzkum, inženýrskogeologické a strukturně tektonické mapování, vrtné práce a geotechnické a hydrogeologické zkoušky ve vrtech, karotážní měření, průzkumné šachtice a štoly a v nich provedené série polních zkoušek hornin.

Vrty i průzkumné štoly byly soustředěny do tří profilů, kolmých k závěrnému svahu, z nichž každý vystihuje území s rozdílnými morfologickými a geologickými podmínkami. Mapovací odkryvné práce byly rozptýleny po



2. Geologický profil zajímavým územím s vyznačením průzkumné jámy (výstup z počítače). 1 – kvartérní sedimenty bez rozlišení, 2 – nadložní souvrství neogénu, 3 – prouhelenné sedimenty v nadloží bilanční sloje, 4 – uhlí včetně vnitřních proplásků, 5 – podložní souvrství neogénu, 6 – horniny krystalinika.

celém zkoumaném území. Výsledky geologického mapování jsou uvedeny v článku MARKA v tomto svazku.

Při komplexnosti průzkumu bylo nutné metodiku průzkumu přizpůsobit požadavkům výpočtu stability svahu metodou konečných prvků (MKP), který je náročnější než ostatní obory. Vyžaduje větší hloubkový dosah průzkumu a podrobnou dokumentaci fyzikálně mechanického stavu hornin a jejich pevnostních a deformačních vlastností, četnost a charakter puklinových systémů, druhů porušení skalního masívu a jejich pevnostních charakteristik. Linie vrtů v profilech kolmých k závěrnému svahu jsou prodlouženy až na nejbližší hřeben Krušných hor a vrty v těchto liniích jsou vrtány až do hloubky, ve které předpokládáme výskyt nevětralých hornin krystalinika monotónních pevností a deformací, jejichž hodnoty jsou základními vstupy do řešení stability svahu metodou konečných prvků.

Další podstatnou hodnotou výpočtu stability je stav původní napjatosti horninového masívu, který je proměnlivý v závislosti na morfologii svahu a tlakové tektonické historii horninového masívu. Ke zjištění vodorovných složek napětí byla aplikována metoda měření pomocí vodních trhacích zkoušek ve vrtech hlubokých až 200 m.

Reprezentativní odběr vrtných jader pro geotechnické laboratorní zkoušky a podrobná geologická dokumentace pevnosti horniny a strukturně tektonických prvků, tj. ploch nespojitosti v horninovém masívu, byly umožněny zavedením progresivní technologie vrtání s vnitřní těžitelnou jádrovnicí Wire-line. Při této technologii vrtání výnos jádra v tektonicky porušených, rozpadlých horninách krystalinika dosahoval 90 %. Nejhlubší vrt, provedený touto technologií na úpatí svahu, prošel pod sedimenty stometrovým pásmem rozložené tektonické brekcie a dosáhl hloubky 350 m.

Na lokalitě byla provedena hornická díla. Jáma u obce Černice, hluboká 50 m, s chodbou 300 m dlouhou, prošla celým sedimentárním komplexem vrstev pánevní výplně i poruchovým pásmem tektonické rulové brekcie, více než 100 m širokým, a byla ukončena v téměř zdravé hornině krystalinika svahu masívu Kapučína (obr. 2). Štola poblíž Horního Jiřetína, 600 m dlouhá, situovaná až za výchozem uhlí, prošla silně kaolinizovanou zónou pararu, lokálním žulorulovým masívem a skončila ve vulkanické brekci, vyplňující explozivní maar, jehož severní omezení bylo určeno vodorovným vrtem z čelby rozrážky.

V hornických dílech byly provedeny polní geotechnické zkoušky všech zastížených typů hornin, a tak určeny pevnostní a deformační parametry horninových bloků a kontaktních ploch puklin a poruch. Ve štole i chodbě byly vyvrtány mělké vrty pro mikroseizmická měření, což bylo jedním z podkladů pro extrapolaci výsledků polních geotechnických zkoušek. Způsob dokumentace hornických děl a jejich přínos ke zkoumané problematice je uveden v tomto svazku v článku HORÁČKA.

Hydrogeologický terénní průzkum, ve spojitosti s geotechnickým řešením stability krušnohorských svahů, byl zaměřen na zjištění hydraulických vlastností kolektorů podzemních vod, zvláště na horniny krystalinika, které

budou z velké části vytvářet závěrný svah lomu. Jádrové vrty, vrtané za tím účelem v krystaliniku krušnohorských svahů, byly vystrojovány jako pozorovací a doplňovány bezjádrovými vrty čerpacími a v některých případech dalšími pozorovacími vrty orientovanými v různých směrech puklinových systémů. Významným doplňkem hydraulických zkoušek bylo dlouhodobé režimní měření hladiny vody ve vrtech, které navazují na síť starších pozorovacích hydrogeologických vrtů, budovanou podél úpatí Krušných hor v souvislosti s postupem těžby uhlí velkolomem Československé armády. Článek JEZERSKÉHO se týká hydrochemie podzemních vod této lokality a jejího vztahu k ekologii území.

## Zpracování výsledků

Množství výsledků našich odkryvných i mapovacích prací, laboratorních i polních zkoušek hornin i archivovaných vrtů, prováděných zde cca od r. 1890, vyžadovalo pracovní postupy zabývající se hromadným zpracováním dat na počítači. Ve zkoumaném území bylo nutno zpracovat výsledky z více než tisíce dokumentačních bodů, tj. vrtů, šachtic a přirozených odkryvů.

Jako základní geologický podklad pro řešení úkolů všech návazných oborů, tj. geotechnických, hydrogeologických, ložiskových i projekčních, bylo nutno sestavit prostorový model průběhu jednotlivých geologických vrstev. Pro řešení výpočtu geologických rozhraní nad sebou ležících vrstev a jejich vzájemné vazby byl vypracován programový systém Matematický model horninového prostředí, jehož různorodé výstupy – vertikální a horizontální řezy a vrstevnicové mapy rozhraní vrstev – jsou ve vzájemném souladu. Tomuto programovému systému je věnován rovněž samostatný článek v tomto svazku.

Pro výpočty stability svahu byla požadována celá řada vstupních hodnot geotechnických vlastností, což vyvolalo množství odběrů vzorků hornin a jejich laboratorní zkoušky i z toho vyplývající nutnost zpracovat soubor výsledků statistickými metodami. Matematické metody se v hydrogeologii používají také při řešení prognózy poklesu hladiny podzemní vody při postupném dolování (viz článek HORÁKA v tomto svazku). Vlastní řešení stability závěrného svahu lomu ve třech profilech, vystihujících rozdílné geologické a morfologické přírodní podmínky, je uvedeno v tomto svazku v článku KLOSSE.

## Hlavní dosažené výsledky

Průzkum předpolí velkolomu Československé armády byl dlouhodobý (1980–1989); během něho bylo vyvrtáno více než 20 km vrtů a 1 km průzkumných štol a podrobně zmapováno 20 km<sup>2</sup> území. Byly získány nové geologické poznatky, mezi které patří zejména identifikace 100 m širokého pásma tektonické brekcie na úpatí Kapučína, které považujeme za krušnohorský zlom, dále zjištění průběžnosti tektonických poruch za okraj pánevních sedi-

mentů, stanovení rozdílů tektonického porušení v ortoa-parasérii hornin krystalinika. Mezi nejzajímavější geologické poznatky patří objev neovulkanitu, vyplňujícího diatremu mezi Horním Jiřetínem a Janovem.

V hydrogeologii patří k metodickým přínosům stanovení hydraulických parametrů hornin krystalinika na základě čerpacích a nálevových zkoušek. To bylo jedním z předpokladů pro výpočet prognózních stavů hladiny podzemní vody, snížených postupným pohybem těžby a čerpáním důlních vod ze dna lomu.

Široké využití výpočetní techniky přispělo významně k jejímu rozvoji v geologii a umožnilo bezchybné a přehledné zpracování dokumentace jednotlivých vrtů i objektivní prostorové řešení geologické stavby území. Zároveň poskytlo spolehlivé a různorodé podklady k projektování lomu.

Moderní postupy při zjišťování geotechnických vlastností hornin a relativně velké soubory hodnot použitelné pro statistické zpracování podporují věrohodnost výsledků složitých matematických modelů při výpočtu stability svahu metodou konečných prvků i metodou mezní rovno-

váhy. Nově se podařilo u těchto metod dosáhnout srovnatelných výsledků.

Hlavní výsledek průzkumu má podobu matematického modelu konečného počtu plošně vymezených, geotechnicky definovaných prvků hornin a ploch nespojitostí v nich, deformace těchto prvků v důsledku postupného odlehčování těžbou a vývoj stupně bezpečnosti odkrývaného svahu. Měl by být základem pro návrh monitoringu deformací a měl by se stát nástrojem v rukou báňského projektanta pro návrhy postupů těžby a ukládání hmot v zájmovém území.

*K tisku doporučil J. Rybář*

#### Literatura

BŮŽKOVÁ, H. et al. (1989): Závěrečná zpráva o výsledku geologicko-průzkumných prací na úkole Jiřetín VČSA – realizace. – MS Staveb. geol. Praha.

## Engineering-geological and hydrogeological exploration of the open cast coal mine Čs. armády at the foot of the Krušné hory Mts.

*(Summary of the Czech text)*

HELENA BŮŽKOVÁ

Received April 3, 1991

The paper is an introduction to a monothematic volume of the Hydrogeology, Engineering Geology journal devoted to hydrogeological and engineering geological exploration of the area foreland the coal open cast mine at the foot of the Krušné hory mountain slopes. It outlines the investigated problems aimed at elucidation of the geological structure and hydrogeological conditions in this area. It also presents mathematical modelling methods for calculation of a prognostic level lowered due to designed coal mining and for calculation of closing mine slopes after coal exploitation.

The calculations were based on a three dimensional mathematical model of the geological structure worked out by a programme system developed for this locality.

Field exploration methods used, i. e. geophysics, mapping, drillings, shafts, galleries, and field rock tests are specified the same as the ways of the exploration evaluation maximally exploiting computer technique in mass data processing and in mathematical modelling.

The individual papers in the investigation project Jiřetín – Čs. armády giant open cast mine are summarized with references to their authors.

*Přeložila G. Vladyková*

#### Explanation of text-figures

1. The area of interest - a sketch map. Geological section is indicated by points (fig. 2).

2. Geological section through the area of interest with indication of exploration shaft (computer output). 1 – undifferentiated Quaternary sediments, 2 – overlying formation of the Neogene, 3 – coalified sediments above the balance seam, 4 – coal with intercalations, 5 – underlying Neogene formation, 6 – rocks of the crystalline complex.



Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 20	Str. 9–22	7 obr.	3 tab.	– příl.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
-----------------------------	-------------------------------------	--------------	-----------	-----------	------------	-------------------	--------------------------------------

## Využití matematického prostorového modelování geologických poměrů pro uhelný velkolom

### Use of mathematic spatial modelling of geological conditions for the giant open pit mine

HELENA BŮŽKOVÁ<sup>1</sup>

Předloženo 4. října 1991

1 : 50 000: 02-33

Key words: *Mathematical geology, Rock media mathematical model, Computer programs, Contour lines, Interpolation formulas*

BŮŽKOVÁ, H. (1994): Využití matematického prostorového modelování geologických poměrů pro uhelný velkolom. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 9–22. Praha.

**Výtah:** Pro rozsáhlý průzkum s velkým množstvím archívních dokumentačních bodů byl vypracován počítačový programový systém, který umožňuje sestavení vrstevnic geologických rozhraní, izoliní mocností vrstev, vertikálních i horizontálních řezů a pomocných podkladů pro optimalizaci návrhu vrtné sítě. Na rozdíl od dosud v geologii používaných interpolačních programů byly vypracovány matematické algoritmy pro prostorové řešení geologické stavby, založené na výpočtu pravděpodobného geolog. profilu (sledu geologických vrstev ve vertikálním směru a nadmořských výšek, resp. hloubek jejich rozhraní) v libovolném místě řešeného území. Tento postup umožňuje konstrukci vrstevnicových map rozhraní geologických vrstev a vertikálních i horizontálních řezů, které si navzájem neodporují, ale naopak jsou ve vzájemném souladu a doplňují se.

<sup>1</sup> V zápolí 1252/27, 141 00 Praha 4

#### K historii vývoje programového systému

Pokusy znázornit geologická rozhraní vrstev vrstevnicemi na základě interpolace pomocí výpočetní techniky vznikly prakticky současně s rozvojem počítačů, protože každá ručně prováděná interpolace je velmi pracná. Autorka používala v 70. letech pro inženýrskogeologickou mapu (BŮŽKOVÁ 1973) a pro lokalitu Kyjice (BŮŽKOVÁ 1976) obecný interpolační program SYMAP, vypracovaný Laboratoří výpočetní techniky pro grafické programy a prostorové analýzy Harvardské univerzity USA. Tento program byl doplněn výběrovým programem, který ze souboru vrstev vybíral geologické vrstvy, počítal mocnosti a kóty rozhraní, tedy připravoval vstupní hodnoty do interpolačního programu. Matematický postup interpolace bral v úvahu váhu bodů podle vzdálenosti a zároveň i trend hodnot, když ty vrty, v jejichž směru bylo rozhraní rovinné, měly větší váhu než vrty s izolovanými anomáliemi rozhraní. Výsledky interpolace vyhovovaly sedimentačnímu prostředí uvnitř uhelné neogenní pánve. Vypočtené plochy rozhraní nad sebou ležících vrstev si navzájem neodporovaly – neprotínaly se. Malý počet geologicky nevěrohodných tvarů vrstevnic bylo možno revizovat a provést ruční opravu.

Použití těchto programů koncem 70. let při průzkumu pro odvodnění uhelného lomu Čs. armády na úpatí Krušných hor mezi obcemi Vysoká Pec a Albrechtice (úkol Komořany) ukázalo podstatně větší problémy při řešení geologické stavby. Šlo totiž o území výchozu uhelné sloje podél úpatí hor, kde neogenní sedimenty vyklíňují a hlubší

vrstvy jsou vyvlečeny směrem k povrchu terénu. Vrstevnice v mapách geologických rozhraní, zpracované za použití interpolačního programu SYMAP, měly tu vadu, že uhlí a bazální písčité sedimenty pánve byly extrapolovány až za jejich skutečné výchozy. V oblasti výchozu neogenních vrstev na úpatí Krušných hor pak docházelo k tomu, že vrstevnice rozhraní sedimentů protínaly vrstevnice povrchu krystalinika, takže de facto neogenní sedimenty zapadaly pod povrch krystalinika. Hlavním důvodem těchto nesrovnalostí byla skutečnost, že plocha jednotlivých geologických rozhraní byla počítána samostatně, bez vazby na výše nebo níže ležící rozhraní, tedy použitím plošného, nikoliv prostorového matematického modelu.

Pro další navazující území (průzkumný úkol Jiřetín) byl pro skutečně prostorové řešení geologických poměrů vyvinut programový systém Matematický model horninového prostředí (dále jen MM) IP). Tento programový systém byl vypracován v letech 1930–1987 ve spolupráci geologů podniku Stavební geologie Praha a matematiků katedry algebry Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Systém byl vyzkoušen na úkole Jiřetín. Z této lokality byla do paměti počítače uložena poloha v souřadnicích a geologické profily cca jednoho tisíce dokumentačních bodů (dále jen databáze Jiřetína).

#### Podstata matematického algoritmu a programové řešení

Konstrukce prostorového modelu horninového prostředí je založena na vytvoření matematické hypotézy o výskytu

a rozšíření geologických vrstev v libovolně zvoleném místě oblasti průzkumu. Při vytváření hypotézy jsou brány v úvahu okolní vrty a jiné dokumentační body do volitelné vzdálenosti od místa výpočtu a výpočtem je modelován postupně směrem shora dolů sled jednotlivých stratigrafických vrstev anebo generalizovaných souvrství tak, že se nejprve rozhoduje o výskytu vrstvy daného druhu ve zkoumaném místě, potom o jejích číselných charakteristikách, zejména o nadmořské výšce nebo hloubce jejího povrchu. Nakonec po určení posledního, nejhlouběji položené vrstvy jsou získané údaje o jednotlivých vrstvách vyhodnoceny a uvedeny ve vzájemný soulad. Hustota výpočtových bodů závisí na morfologii geologických vrstev a hustotě vrtné sítě. Je volitelná, stejně jako algoritmus vlastního výpočtu rozhraní vrstev. Je možno volit interpolaci metodou váženého průměru, anebo regresi pomocí přímkové plochy a také rovinnou nebo kvadratickou regresi. Nejvhodnější se však ukázaly metody smíšené, které u regresních metod odstraňují vady vyplývající z nízké numerické stability. Odvozené smíšené vzorce jsou originální a jejich autorem, stejně jako celého matematického algoritmu, je prof. K. Drbohlav. Matematický algoritmus vytváření horninového modelu je složitý a je blíže popsán v článku DRBOHLAVA et al. (1987). Je zpracován do souboru programů. Autorem programového řešení je doc. P. Němec.

Soubor programů systému MMHP byl zpracován v jazyce FORTRAN 77 a realizován na minipočítači I 102. Je modifikován pro použití na počítačích typu PC/AT. Programové řešení je přizpůsobeno skutečnosti, že výpočet vrstevního sledu a jeho rozhraní probíhá ve variantě vertikálních řezů podél linie řezu (stopy vertikální roviny na povrchu terénu) v bodech vzdálených o určitý volitelný krok. Ve variantě vrstevnicových výstupů a horizontálních řezů probíhá výpočet v síti, resp. mřížce bodů, rovněž volitelně vzdálených. Volba vzdálenosti výpočtových bodů závisí zejména na požadovaném měřítku grafického výstupu. Například pro měřítko mapy 1 : 5 000 je vhodná vzdálenost výpočtových bodů 30–50 m, takže pro vrstevnicovou mapu se obvykle provádí několik tisíc výpočtů; vstupní údaje jsou proto uspořádány do tvaru matice.

Současná verze programového systému obsahuje 5 úloh:

- MMHP 1 – příprava vstupních dat do formy použitelné pro výpočet,
- MMHP 2 – vlastní výpočet,
- MMHP 3 – pomocná úloha pro verifikaci vypočtených izolinií,
- MMHP 4 – pomocná úloha pro vyznačení gradientu ve vypočtených izoliniích,
- MMHP 5 – pomocná úloha pro číselný zápis izolinií.

Kromě programů MMHP jsou součástí programového systému další programy:

OPRAVA – pro vkládání, opravy a rušení vrtných profilů,  
 STAT. DRB, SROV. DRB – pro zjištění odchylek výpočtu rozhraní vrstev od skutečných rozhraní ve vrtech, a tak posouzení přesnosti výpočtu.

Dále je zpracován program pro výpočet kubatur jednot-

livých druhů geologických vrstev nebo souvrství v území zadaném obecným polygonem.

**Program MMHP 1** je výchozím programem, který umožňuje generalizaci geologického profilu v jednotlivých vrtech a jejich uspořádání podle souřadnic X, Y, Z a zvoleného dosahu výpočtu. Vhodné použití tohoto programu má velký vliv na celkovou úspěšnost výpočtu. Předpokládá se, že geologické profily vrtů jsou uloženy v paměti pomocí *účelové číselné klasifikace* hornin. Číselná klasifikace odstraňuje nejednotnost ve slovní geologické dokumentaci a nahrazuje nedostatečně nebo chybějící údaje stratigrafické a genetické. Může vyjadřovat i technologické vlastnosti hornin.

Jedním z nejdůležitějších faktorů, kterým geolog, řešitel geologické stavby ovlivňuje výpočet, je *generalizace vrstev*. Zatímco při klasifikaci horninových typů (tab. 1) je žádoucí co nejpodrobnější členění, umožňující zpracování geologie z různých pohledů, má být stupeň generalizace zadávaný pro výpočet pokud možno co nejvyšší. Pro výpočet např. geologického profilu se při generalizaci vrstev postupuje obdobně jako při ručním vynášení.

Pro většinu geologických profilů úkolu Jiřetín byla použita generalizace uvedená v tabulce 2. Při zhotovování mapy vrstevnic povrchu nebo báze vrstvy je pro výpočet určitého rozhraní výhodná generalizace pouze na 2 souvrství: první souvrství obsahuje všechny vrstvy ležící nad rozhraním, druhé souvrství obsahuje vrstvy ležící pod rozhraním. Například pro výpočet báze, resp. paty uhelné sloje, byla použita tato generalizace:

- souvrství 1 obsahuje vrstvy 1 až 46,
- souvrství 2 obsahuje vrstvy 50 až 600.

Výstup z programu MMHP 1 tvoří soubory, ve kterých jsou data uspořádána již s generalizovanými vrstvami podle souřadnic X, Y, Z a dosahu výpočtu.

**Program MMHP 2** provádí výpočet pravděpodobného geologického profilu v zadaných bodech a je hlavním programem systému MMHP. Program umožňuje volbu místa výpočtu, jeho druhu a matematického postupu.

Místo výpočtu se zadává u geologického řezu souřadnicemi jeho počátku a konce a pro plošné výstupy maximálními a minimálními souřadnicemi X, Y.

Druh výpočtu má následující volby: vertikální geologický řez podél libovolné přímky, soubor vertikálních geologických řezů orientovaných S-J a od sebe vzdálených o volitelný krok Y, geologické horizontální řezy v konstantních nadmořských výškách, vzdálených o volitelný krok Z, geologické řezy v konstantních hloubkách pod povrchem terénu a vrstevnice libovolného geologického rozhraní, jejichž číselný význam je opět nutno zadat. U všech výše uvedených variant je volitelná hustota výpočtu, tj. sítě bodů, ve kterých se provádí výpočet pravděpodobného geologického profilu, a to buď počtem zadaných bodů výpočtu, anebo měřítkem pseudografického výstupu, jehož symboly jsou opět volitelné.

Matematický postup výpočtu se zadává hodnotou IREG, která určuje typ interpolace. Lze volit mezi meto-

dou váženého průměru, rovinnou regresí nebo regresí pomocí přímkové plochy, přičemž příslušná soustava rovnic je vždy řešena Cramerovým pravidlem a výsledná hodnota je určena smíšeným vzorcem, aby byla zajištěna numerická stabilita výpočtu. Také je možná rovinná regrese nebo regrese pomocí přímkové plochy, nebo kvadratická regrese, přičemž soustavy jsou řešeny Gaussovým algoritmem, aniž by byla řešena otázka numerické stability, a je tedy vhodná pro případy pokud možno rovnoměrného rozložení vrtů.

Všechny uvedené druhy výpočtu je možno zadat se záporným znaménkem (IREG = -1...); v tom případě jsou údaje z vrtů, ze kterých se provádí výpočet, opatřeny vahou dle čtverce vzdáleností (bližší vrty mají větší váhu), což vyhovuje výpočtu geologických profilů. Matematické postupy s kladnými hodnotami IREG jsou vhodné spíše pro zpracování hodnot, které mají spojitý charakter, např. k předpovědi parametrů geotechnických a technologických vlastností hornin. Jako nejvhodnější matematický postup pro výpočty pravděpodobných geologických profilů v sedimentárním prostředí neogénu, v oblasti vyklínování vrstev a výchozů, se ukázal smíšený vzorec založený na kombinaci regrese s váženými průměry (DRBOHLAV et al. 1987).

Nejdůležitějšími výstupními soubory programu MMHP 2 jsou:

REZY 2.DAT – pseudografický výstup z kterékoliv úlohy programu, který lze přímo vytisknout tiskárnou (obr. 2, 4).

Pro další zpracování vypočtených hodnot pomocí grafického softwaru jsou určeny výstupní soubory:

IZO.DAT – soubor vypočtených hodnot rozhraní vrstev, zpracovatelný grafickými programy pro vykreslení vrstevnic.

REZY.DAT - soubor vypočtených hodnot rozhraní a litologických kódů ve vertikálním geologickém řezu, dále zpracovatelný grafickými programy s volbou geologických značek.

PLOCHY.DAT – soubor vypočtených hodnot rozhraní a litologických kódů v horizontálních geologických řezech, rovněž dále zpracovatelný grafickými programy.

Pro potřeby optimalizace návrhu vrtné sítě byl postup výpočtu využit k tvorbě dalších souborů:

PRAVD.DAT – soubor, který udává pravděpodobnost výpočtu rozhraní v každém bodu výpočtu.

POCTY.DAT – soubor, který udává v každém bodu výpočtu, z kolika vrtů byl pravděpodobný geologický profil vypočten.

I tyto dva soubory jsou zpracovatelné grafickým softwarem na mapy izolinií, dávající obraz o prozkoumanosti území (obr. 5).

**Program MMHP 3** je pomocný program, který provádí verifikaci vypočtených izolinií, tj. zjišťuje, zda kóta rozhraní, zjištěná v kterémkoliv vrtu, leží v rozmezí hodnot vypočtených v rozích čtverce (oka výpočtové sítě), do které vrt padne. Anomálie se zapisují do pomocného souboru ZAPIS.DAT. Tento soubor slouží především k odhalení chyb ve vstupních datech.

**Program MMHP 4** je rovněž pomocný a umožňuje ve vypočtených izoliniích vyznačit místa, kde je gradient vyšší než zadaná hodnota. Lze ho využít pro vyznačení míst potenciálních tektonických poruch, kde dochází ke zvýšenému spádu rozhraní vrstev mezi sousedními body. Výstupem z úlohy je buď mapa, na které jsou pseudograficky vyznačena místa, kde je vyšší spád mezi sousedními body, než je zadaná hodnota, anebo soubor VYSTUP.DAT.

**Program MMHP 5** je pomocná úloha, která slouží k přepisu číselného vyjádření izolinií ve výstupním souboru do přehledného tvaru. Soubor je dále zpracovatelný kreslicími programy, ale pro úkol Jiřetín nebyl tento program použit, protože pro existující grafický software výpočetního střediska Stavební geologie byl postačující výstupní soubor IZO.DAT z programu MMHP 2.

Pomocí programů STAT.DRB a SROV.DRB je možno provádět jednoduchou statistickou studii o věrohodnosti výpočtů. Princip testu, prováděného pomocí STAT.DRB, spočívá v tom, že v místě každého vrtu je vypočten povrch terénu a rozhraní vrstev s tím, že skutečně zjištěné hodnoty ve vrtu nejsou pro jednotlivá místa vrtů použity. Úlohou SROV.DRB je pak vypočtena odchylka mezi skutečnou a vypočtenou hodnotou pro jednotlivá rozhraní v místě vrtu a průměrná odchylka výpočtu.

Program pro výpočet kubatur jednotlivých druhů vrstev nebyl v době práce na úkole Jiřetín dokončen, a tedy zde není popsán.

### Pracovní postup při použití programového systému MMHP

Je třeba zdůraznit, že programový systém MMHP je určen pro hromadné zpracování geologických dat. Vychází z požadavků zpracování geologie větší, relativně hustě prosondované oblasti. Vstupními údaji do programového zpracování byly geologické profily vrtů a jiných dokumentačních bodů a jejich poloha v souřadnicích X, Y, Z. Zájmové území a jeho rozsah jsou vyznačeny v úvodním článku tohoto sborníku. V zájmovém území bylo zakódováno celkem 918 dokumentačních bodů. Při rozloze lokality 25 km<sup>2</sup> je hustota prozkoumanosti přibližně 37 dokumentačních bodů na 1 km<sup>2</sup>. Velká část dokumentačních bodů je zastoupena přirozenými skalními výchozy a mělkými sondami. Vrtů, které prošly slojí, je celkem 284. Vzhledem k tomu, že se uhelná sloj vyskytuje zhruba na polovině zkoumaného území, hustota prozkoumanosti uhelné sloje je cca 23 vrtů na 1 km<sup>2</sup>, což odpovídá průměrné vzdálenosti vrtů kolem 200 m. Rozmístění vrtů je velmi nerovnoměrné. Většina vrtů je umístěna poblíž výchozu sloje, zakrytého kvartérními sedimenty, kde jsou nejstarší vrty z r. 1891. Směrem do pánve k JJV je území poddolováno hlubinnými doly, kde se prováděly vrty v podzemí ke zjištění hlavy a paty sloje. Vrty z podzemí nejsou v databázi uloženy. Důlní mapy hlubinných dolů

se zakreslenými vrstevnicemi povrchu a báze sloje byly použity pro kontrolu funkce MMHP.

### Klasifikace a zakódování geologických profilů vrtů

Geologické profily starších vrtů byly zakódovány v rámci systému celostátní databanky Geofondu a ta část geologických profilů, kde byl uveden klasifikační kód, byla převedena na minipočítač do výpočetního střediska SG (databáze Jiřetín). Geologické profily některých nových vrtů byly uloženy přímo do databáze Jiřetína programem OPRAVA, kde kromě souřadnic X, Y, Z je ukládána pouze hloubka vrstvy a její klasifikační kód.

Účelová klasifikace použitá na úkole Jiřetín je uvedena v tabulce 1. Generalizace klasifikačních kódů, použitá pro výpočet vertikálních a horizontálních řezů, je uvedena v tabulce 2. Pro demonstraci funkce programového systému bylo vybráno území o délce 1 100 m ve směru S-J a 700 m ve směru V-Z. Napříč tímto územím prochází výchoz uhlí, jak je patrné z obr. 1. Uhlíprůčným tímto územím byl vypočten *Vertikální geologický řez*, jehož pseudografický výstup je na obr. 2. Z tohoto obrázku je zřejmé zadání výpočtu geologického řezu a jeho postup. Výpočet řezu programem MMHP 2 byl zadán souřadnicemi JTSK koncových bodů řezu, tj. počátek řezu X = 980 150, Y = 797 300 a konec řezu X = 979 050, Y = 966 600. Matematický postup výpočtu byl zadán regresí -1, tj. kombinací regrese s váženým průměrem (DRBOHLAV et al. 1987). Pravděpodobný geologický profil je počítán podél vertikální přímky v liniích na obrázku, znázorněných řádky. Hustota řádků byla zadána měřítkem 1 : 5 000, jsou tedy od sebe vzdáleny o krok 21 m, jak ostatně vyplývá z vytištěných souřadnic X, Y. Srovnávací rovina výšek 50 m n. m. probíhá těsně nad vytištěnými souřadnicemi Z vypočteného povrchu terénu pseudografického řezu. Význam jednotlivých symbolů pseudografiky vyplývá z vysvětlivek. Stejný řez, zpracovaný graficky (ze souboru REZY.DAT), je na obr. 3. Grafické značky a měřítko řezu jsou volitelné bez ohledu na původní krok výpočtu.

Na vertikálním řezu (obr. 2, 3) je za výchozem uhlí vypočtena geologická anomálie. Ve vyznačeném řádku u výchozu uhlí na obr. 2 se bezprostředně pod kvartérmími sedimenty vyskytuje vulkanicko-detritické souvrství terciéru, ležící na krystaliniku. K posouzení oprávněnosti matematické interpretace byl zopakován výpočet několika nejbližších bodů programem MMHP 2, zároveň se zadáním souboru TISKY.DAT, jehož zjednodušený výpis pro vyznačené místo, resp. řádek obr. 2 je uveden v tabulce 3. Soubor TISKY.DAT při zadání všech parametrů obsahuje kompletní matematický výpočet určeného místa. V tom případě by však zabíral několik stran. V tabulce 3 jsou uvedeny zjednodušené údaje, a to vstupní data pro výpočet v daném místě a výsledek výpočtu. Je tedy zřejmé, že pro výpočet v místě o souřadnicích X = 979 499,75, Y = 796 886,00 bylo použito celkem 10 vrtů, jejichž čísla

Tabulka 1  
Účelová klasifikace

<b>Kvartér</b>	
1	navážka
2	humózní hlína
3	hlína jílovitopísčítá
4	písek
5	šterk hlinitý
6	sutě a šterky
7	svahová suť
9	silty nejistého stáří
<b>Nadložní souvrství – neogén</b>	
10	jíly
11	pelosiderit
17	písek
19	nesourodý klastický materiál
21	ztráta jádra
<b>Souvrství hnědouhelných slojí – neogén</b>	
30	uhelné jíly v nadloží sloje
31	jíl bez stop uhlí
37	písky a prachovce meziložní
39	nesourodý klastický materiál
40	proplásky ve sloji – uhelné lupky
41	uhlí bilanční
45	uhlí nerozlišené
50	uhelné jíly v podloží
51	ztráta jádra v uhlí
54	uhlí v podloží bilanční sloje
<b>Podložní souvrství – terciér</b>	
60	jíly
61	prachovce
66	přeplavená rula (kaolínové splachy)
67	pískovce
68	písky
69	nesourodý klastický materiál
70	uhelné jíly a jílovce
71	ztráta jádra
74	uhlí
76	uhelné pískovce
84	tufit
88	tuf
90	vulkanity
91	vulkanické brekcie
<b>Svrchní křída</b>	
100 až 109	jíly až slepence
190	přeplavená rula (kaolínové splachy)
191	ztráta jádra
<b>Krystalinikum</b>	
200	rula (nerozlišené krystalinikum)
210	mylonit
220	tektonická brekcie pevná
221	ztráta jádra
222	tektonická brekcie rozložená
225	poruchové pásmo krystalinika
290	intruze terciérních vulkanitů
300	pararuly
390	rula zrnitošupinatá
395	rula plástevnatookatá
398	rula granátická
400	ortorula a migmatit
401	rula okatá
403	migmatitické pararuly
500	žuly
600	žilné horniny

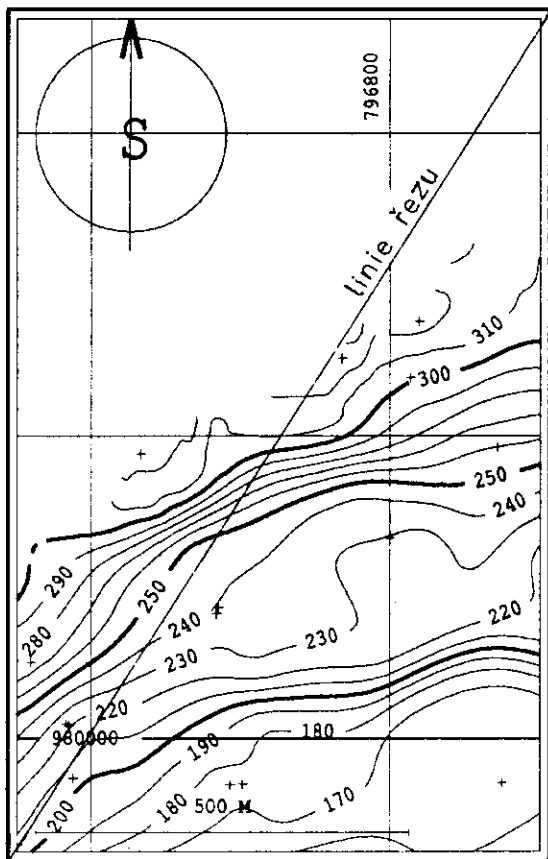
Tabulka 2  
Generalizace klasifikačních kódů

1 navážka	odpovídá kódu 1
2 kvartérní sedimenty bez rozlišení	odpovídá kódům 2 až 9
3 nadložní souvrství bez rozlišení	odpovídá kódům 10 až 21
4 uhelné sedimenty v nadloží sloje	odpovídá kódům 30 až 39
5 uhlí včetně vnitřních proplástek	odpovídá kódům 40 až 45 a 51
6 podložní souvrství bez rozlišení	odpovídá kódům 50 a 54 až 77
7 vulkanodetritická série	odpovídá kódům 84 až 91
8 sedimenty svrchní křídly nerozlišené	odpovídá kódům 100 až 109
9 přeplavené horniny krystalinika	odpovídá kódům 190 až 191
10 horniny krystalinika nerozlišené	odpovídá kódům 200 až 600

jsou v tabulce uvedena. V prvním řádku tabulky tedy čteme údaj vrtu č. 228 se souřadnicemi jeho polohy X, Y, který je ve vzdálenosti (VZD) 134,82 m od výpočtového místa. V druhém řádku je uveden geologický profil tohoto vrtu čísly generalizovaných vrstev uvedených v tabulce 2, přičemž 0 je povrch terénu, 2 – kvartérní sedimenty bez rozlišení, 4 – prouhelněné sedimenty v nadloží bilanční sloje, 5 – uhlí, 7 – tufitické a vulkanické horniny. Ve třetím řádku jsou uvedeny nadmořské výšky povrchu těchto vrstev v příslušném vrtu. Pod vstupními daty na konci tabulky jsou uvedeny výsledky výpočtu, přičemž pod heslem barva se rozumí generalizovaná geologická vrstva. Proto čteme, že např. výsledná barva 0, tj. povrch terénu,

Tabulka 3  
Výpočet rozhraní

1	VRT C. 228	979448.31	796761.37	VZD = 134.82					
	0 2 4 5 7								
	329.200	329.200	325.200	324.200 305.200					
2	VRT C. 419	979356.87	796885.19	VZD = 142.88					
	0 2 10								
	349.500	349.500	334.700						
3	VRT C. 253	979480.62	796888.62	VZD = 19.30					
	0 2 7 10								
	329.600	329.600	319.600	305.000					
4	VRT C. 229	979523.00	796772.13	VZD = 116.22					
	0 2 3 4 5 6								
	321.800	321.800	312.800	301.800 301.600 271.700					
5	VRT C. 45	979280.81	797006.00	VZD = 249.67					
	0 1 2 10								
	364.070	364.070	362.670	343.770					
6	VRT C. 11	979497.00	796864.69	VZD = 21.49					
	0 1 2 5 6 10								
	328.020	328.020	327.320	326.620 310.420 295.520					
7	VRT C. 252	979481.31	797164.87	VZD = 279.48					
	0 2 10								
	342.300	342.300	332.300						
8	VRT C. 257	979613.81	796656.37	VZD = 256.39					
	0 2 3 5 6 10								
	317.600	317.600	310.100	259.900 226.500 220.200					
9	VRT C. 714	979734.69	796801.00	VZD = 249.84					
	0 2 3 5 6 10								
	313.110	313.110	312.810	228.410 197.710 194.610					
10	VRT C. 251	979623.62	797133.50	VZD = 276.77					
	0 2 5 6 10								
	330.300	330.300	320.800	310.300 293.200					
	VYSL. BARVA	0	PRAVD. 1.00000	POVRCH 327.64	Z 10 VRTU (Z 10 PRVNICH)				
	VYSL. BARVA	2	PRAVD. 0.64017	POVRCH 327.25	Z 10 VRTU (Z 8 PRVNICH)				
	VYSL. BARVA	7	PRAVD. 0.36881	POVRCH 319.50	Z 2 VRTU (Z 1 PRVNICH)				
	VYSL. BARVA	10	PRAVD. 0.47263	POVRCH 299.61	Z 8 VRTU (Z 4 PRVNICH)				
	VYSL. BARVA	100	PRAVD. 0.12444	POVRCH *****	Z 0 VRTU (Z 0 PRVNICH)				
	979499.75	796886.00	0 327.64	10 1.0000	2 327.25 10 0.6402	7 319.50 2 0.3688	10 299.61	8 0.4726100*****	0 0.1244
	979499.75	796886.00	0 327.64	10 1.0000	2 327.25 10 0.6402	7 319.50 2 0.3688	10 299.61	8 0.4726100*****	0 0.1244



1. Vrstevnice povrchu uhelné slaje. + poloha pozitivních dokumentačních bodů (výstup z počítače).

byla vypočtena s pravděpodobností 1, tedy jistotou ze všech 10 vrtů. Výsledná barva 7, tedy sporný výskyt tufitů, resp. vulkanitů, byla vypočtena jen s pravděpodobností 0,368 81 ze dvou vrtů, z nichž ovšem jeden vrt (č. 253) leží pouze ve vzdálenosti 19,3 m od místa výpočtu.

*Horizontální geologické řezy* jsou představeny pseudo-grafickým výstupem na obr. 4. Jde o území shodné s územím na obr. 1. Popsané vertikální řezy tedy probíhají tímto územím úhlopříčně. Výpočet horizontálních řezů programem MMHP 2 byl zadán maximálními a minimálními souřadnicemi X, Y, které jsou uvedeny v záhlaví obr. 4. Dále byla zadána minimální hodnota nadmořské výšky, ve které má být veden nejnižší horizontální řez a krok Z, tj. vzdálenost mezi horizontálními řezy. Matematický postup výpočtu byl zadán stejný jako u vertikálního řezu, aby řezy byly ve vzájemném souladu. Jedním během výpočtu je vždy vypočteno 10 nad sebou ležících horizontálních řezů. Na obr. 4 jsou uvedeny dva horizontální řezy, ležící nad sebou ve vzdálenosti 25 m.

První řez je veden v nadmořské výšce 275 m a protíná všechny zastížené geologické útvary, druhý řez je veden v nadmořské výšce 300 m a v pravém spodním rohu, jak vyplývá z vysvětlivek, je veden již nad povrchem terénu. V horní severní části, pokryté symbolem X, jsou řezy vedeny hlouběji, než je dosah výpočtu, evidentně však masívem krystalinika. Z hlubšího horizontálního řezu je patrná jak orientace sklonu uhelné slaje a podložního

souvrství, tak i např. skutečnost, že v západní části relativně tenká poloha uhlí znázorňuje strměji ukloněnou část slaje, která se směrem k V zploštuje. Absence podložního souvrství (P) mezi uhlím (\$) a krystalinikem (+) není chyba výpočtu, ale důsledek použitého měřítka 1 : 10 000, kdy jeden grafický symbol představuje ve směru V-Z cca 28 m, takže vrstvy mocné méně než 14 m jsou zanedbány.

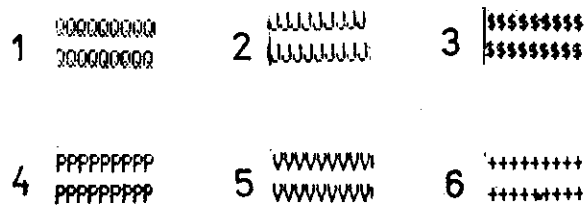
Anomálii vulkanických hornin, patrnou ve vertikálním profilu, můžeme dobře sledovat i v horizontálním řezu v nadm. výšce Z = 300 m. Její poloha uvnitř uhelné slaje v tomto území je ale neobvyklá, i když ne vyloučená. Přijatelnější výskyt by byl uvnitř podložního souvrství. V každém případě je vhodná revize geologické dokumentace vrtu č. 253 (tab. 3), který anomálii způsobuje. Jde o starý hydrovrt z roku 1964.

*Vrstevnice geologického rozhraní* na obr. 1 byly rovněž vypočteny programem MMHP 2. I zde byly zadány maximální a minimální souřadnice X, Y. Hustota výpočtu byla zadána počtem bodů v horizontálním a vertikálním směru výpočtové sítě tak, aby vzdálenost výpočtových bodů byla ve skutečnosti 50 m. Pro výpočet vrstevnic povrchu uhlí na obr. 1 bylo tedy vypočteno cca 350 bodů. Dále byl zadán stejný matematický postup výpočtu jako u návazných řezů (vertikálního a horizontálního). Výpočet byl zadán jako povrch generalizovaného souvrství 5 (tab. 2), tj. uhlí včetně vnitřních proplástek. Programem MMHP 2 byl vypočten soubor IZO.DAT. Tento soubor byl zpracován dalším, již standardním programem – SG 91 – kreslení mapy izoliní z pravidelné sítě hodnot – z knihovny programů výpočetního střediska Stavební geologie. Na obr. 1 jsou kromě vrstevnic povrchu uhlí vyznačeny křížkem pozitivní dokumentační body. Výpočet byl samozřejmě prováděn z daleko většího počtu bodů, i z negativních za okraj výchozu a také z bodů za okrajem mapy v závislosti na volbě, kterou provádíme při generalizaci vrstev a dosahu výpočtu programem MMHP 1 (v tomto případě 450 m za okraj mapy). Při výpočtu povrchu uhlí mohou vzniknout v závislosti na zadání ještě 2 další pomocné analytické mapy (obr. 5), ze kterých je patrný postup, jakým byly vrstevnice povrchu uhlí konstruovány. Na obr. 5 vlevo jsou izolinie pravděpodobnosti výskytu uhlí. Podle zkušeností lze obrys výchozu konstruovat podle izolinie 0,3–0,4. Vpravo jsou vykresleny izolinie, z kolika vrtů byl v daném místě prováděn výpočet. Jestliže počet vrtů klesne pod 3, není výpočet geologického profilu pro nedostatek podkladů proveden.

*Axonometrické znázornění geologických rozhraní* (obr. 6) je možno ze souboru IZO.DAT, vypočteného programem MMHP 2, vykreslit pomocí programu SG 92 z knihovny Stavební geologie, který umožňuje nakreslit blokdiagram s axonometricky zobrazenou plochou  $Z = f(X, Y)$  z pravidelné sítě bodů. Povrch krystalinika, znázorněný na blokdiagramech, byl vypočten jako povrch druhé vrstvy, když první generalizovaná vrstva obsahuje veškeré sedimenty označené čísly 1 až 199 v tab. 1 a druhá vrstva obsahuje horniny s čísly většími než 200. Výpočet povrchu krystalinika celého území průzkumu bylo nutno pro účely reprodukce v tomto sborníku provést v tak řídké

SVISLY RE7 X = ( 980150.00 , 979050.00 ) , Y = ( 797300.00 , 796600.00 ) , Z = ( 50.0 , 830.0 )  
 MERITKO VYSKY 1: 5000 MERITKO DELKY 1: 5000  
 REGRESE : -1 KRATKA BARVA : 0

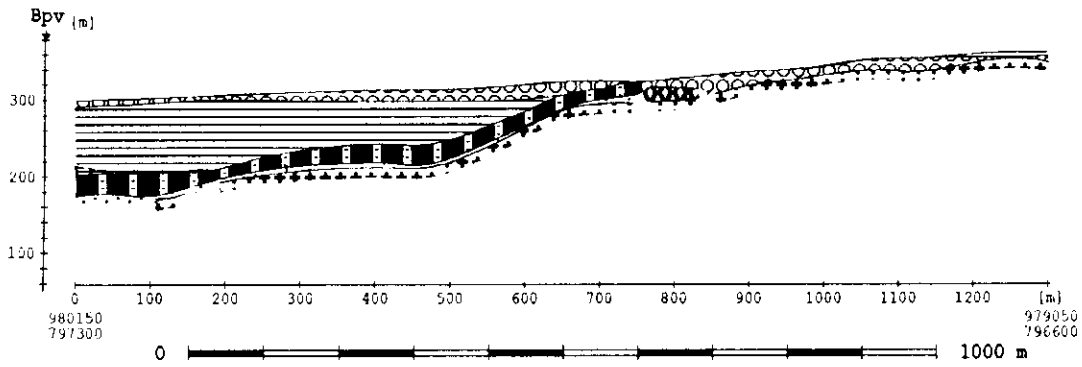
980150.00	797300.00	302.0	P\$\$\$\$IJJJJJJJJJJ
980131.94	797292.50	303.2	F\$\$\$\$IJJJJJJJJJJ
980113.88	797277.00	304.0	F\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980095.81	797265.50	304.4	F\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980077.75	797254.00	304.9	F\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980059.69	797242.50	305.7	+P\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980041.62	797231.00	306.7	+P\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980023.56	797219.50	307.6	+P\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980005.50	797208.00	308.5	P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979987.44	797196.50	309.5	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979969.37	797185.00	310.4	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979951.31	797173.50	311.2	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979933.25	797162.00	311.9	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979915.19	797150.50	312.6	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979897.13	797139.00	313.4	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979879.06	797127.50	314.2	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979861.00	797116.00	314.8	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979842.94	797104.50	315.5	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979824.87	797093.00	316.0	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979806.81	797081.50	316.5	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979788.75	797070.00	316.6	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979770.69	797058.50	316.3	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979752.62	797047.00	316.2	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979734.56	797035.50	316.7	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979716.50	797024.00	317.5	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979698.44	797012.50	318.5	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979680.37	797001.00	319.8	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979662.31	796989.50	321.2	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979644.25	796978.00	322.9	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979626.19	796966.50	324.8	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979608.13	796955.00	326.4	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979590.06	796943.50	327.4	+\$JJJJJJJJJJJJJJ
979572.00	796932.00	327.9	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979553.94	796920.50	327.9	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979535.87	796909.00	327.3	+P\$JJJJJJJJJJJJJJ
979517.81	796897.50	326.6	+PP\$JJJJJJJJJJJJJJ
979499.75	796886.00	327.6	+VVQ
979481.69	796874.50	329.6	+VVQ
979463.62	796863.00	331.8	+VVQ
979445.56	796851.50	334.0	+VVQ
979427.50	796840.00	336.1	+QQ
979409.44	796828.50	338.2	+Q
979391.37	796817.00	340.0	+QQ
979373.31	796805.50	341.3	+Q
979355.25	796794.00	342.3	+Q
979337.19	796782.50	343.4	+Q
979319.13	796771.00	345.4	+Q
979301.06	796759.50	348.6	+QQ
979283.00	796748.00	352.2	+Q
979264.94	796736.50	355.2	+Q.
979246.87	796725.00	357.2	+QQ
979228.81	796713.50	357.9	+QQ
979210.75	796702.00	357.7	+QQ
979192.69	796690.50	358.2	+QQ
979174.63	796679.00	359.6	+QQ
979156.56	796667.50	361.2	+Q
979138.50	796656.00	362.9	+Q.
979120.44	796644.50	364.5	+
979102.37	796633.00	365.5	+
979084.31	796621.50	365.8	+
979066.25	796610.00	365.5	+
979048.19	796598.50	365.1	+Q.



2. Vertikální geologický řez (pseudografický výstup z počítače).  
 1 – kvartérní sedimenty bez rozlišení, 2 – nadožní souvrství neogénu,  
 3 – uhlí včetně vnitřních propláštěk, 4 – podložní souvrství neogénu,  
 5 – tuftické a vulkanické horniny neogénu, 6 – horniny krystalinika.

JJZ

SSV



3. Vertikální geologický řez (grafický výstup z počítače). 1 – kvartérní sedimenty bez rozlišení, 2 – nadožní souvrství neogénu, 3 – prouhelněné sedimenty v nadožní uhelné sloje, 4 – uhlí včetně vnitřních proplátek, 5 – podložní souvrství neogénu, 6 – tuftické a vulkanické horniny neogénu 7 – horniny krystalinika.

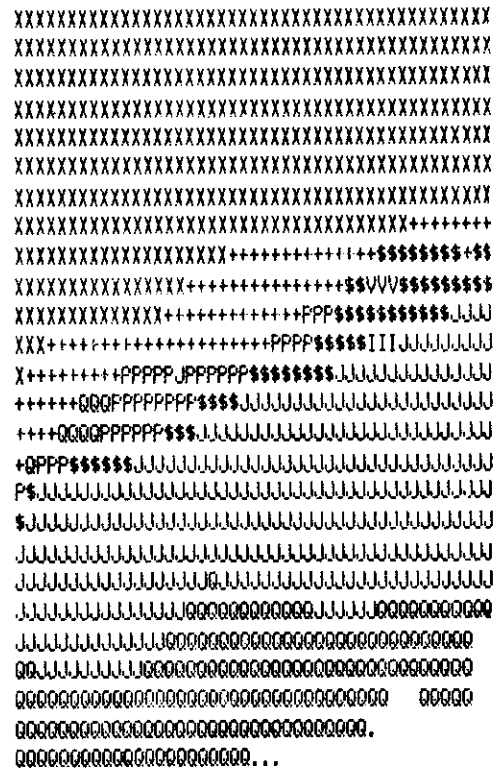
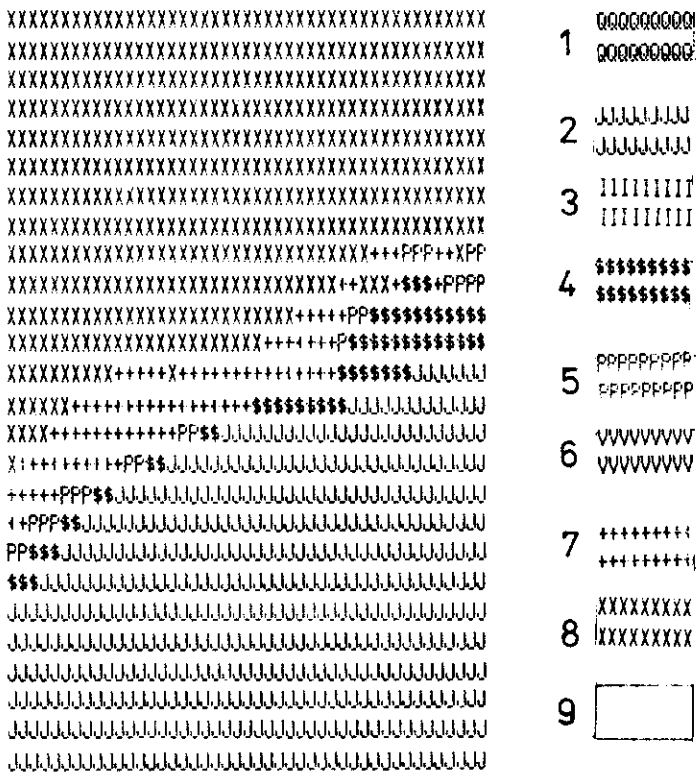
4. Horizontální geologické řezy (pseudografický výstup z počítače). 1 – kvartérní sedimenty bez rozlišení, 2 – nadožní souvrství neogénu, 3 – prouhelněné sedimenty v nadožní uhelné sloje, 4 – uhlí včetně vnitřních proplátek, 5 – podložní souvrství neogénu, 6 – tuftické a vulkanické horniny neogénu, 7 – horniny krystalinika, 8 – území, kde je řez veden hlouběji, než je dosah výpočtu, 9 – území, kde je řez veden nad povrchem terénu.

VODROVNY REZ : Z = 275.00 REGRESE : -1 KRATKA BARVA :

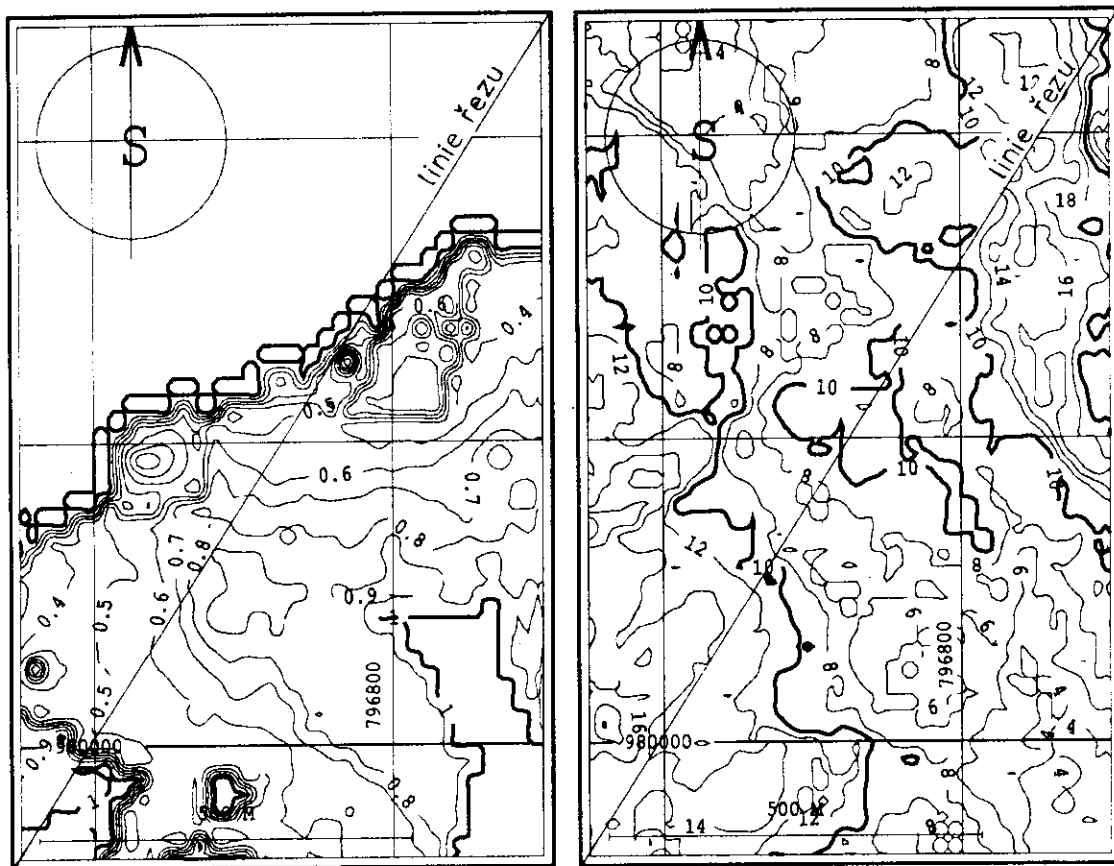
979050.00 797300.00 979050.00 796600.00  
 980150.00 797300.00 980150.00 796600.00

VODROVNY REZ : Z = 300.00 REGRESE : -1

979050.00 797300.00 979050.00 796600.00  
 980150.00 797300.00 980150.00 796600.00







5. Izolinie pravděpodobnosti výpočtu povrchu uhelné slaje (vlevo) a k tomu příslušné izolinie počtu dokumentačních bodů, ze kterých byl povrch uhelné slaje počítán (vpravo). (Výstup z počítače.)

výpočetní síti, že jsou nezřetelné geologické fenomény, např. průběh starého tektonického porušení, dobře patrného v měř. 1 : 10 000 s výpočtovou sítí po 50 m. Z obr. 6 jsou patrné zejména volby programu SG 92, který umožňuje blokdiagram různě natočit a převýšit.

Soubor IZO.DAT, vypočtený programem MMHP 2, byl použit jak k vrstevnicovým mapám, tak i k blokdiagramům.

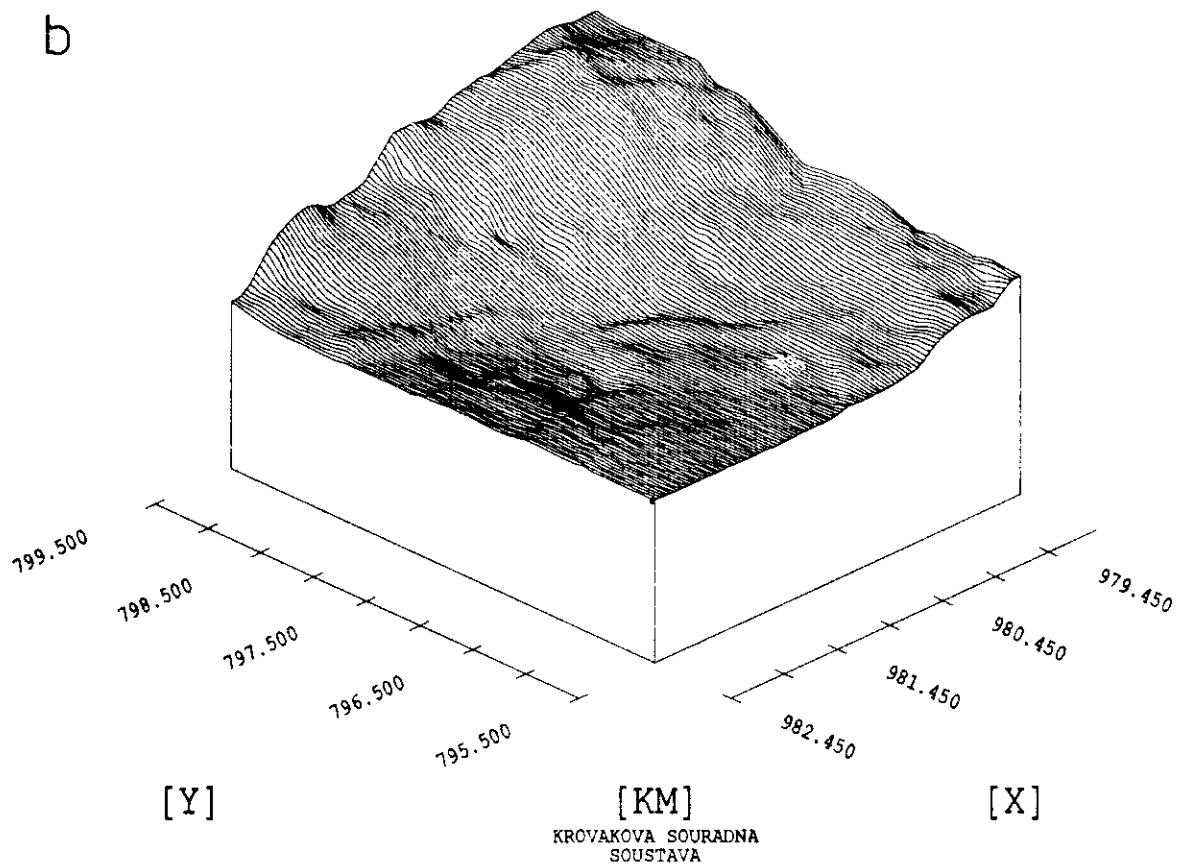
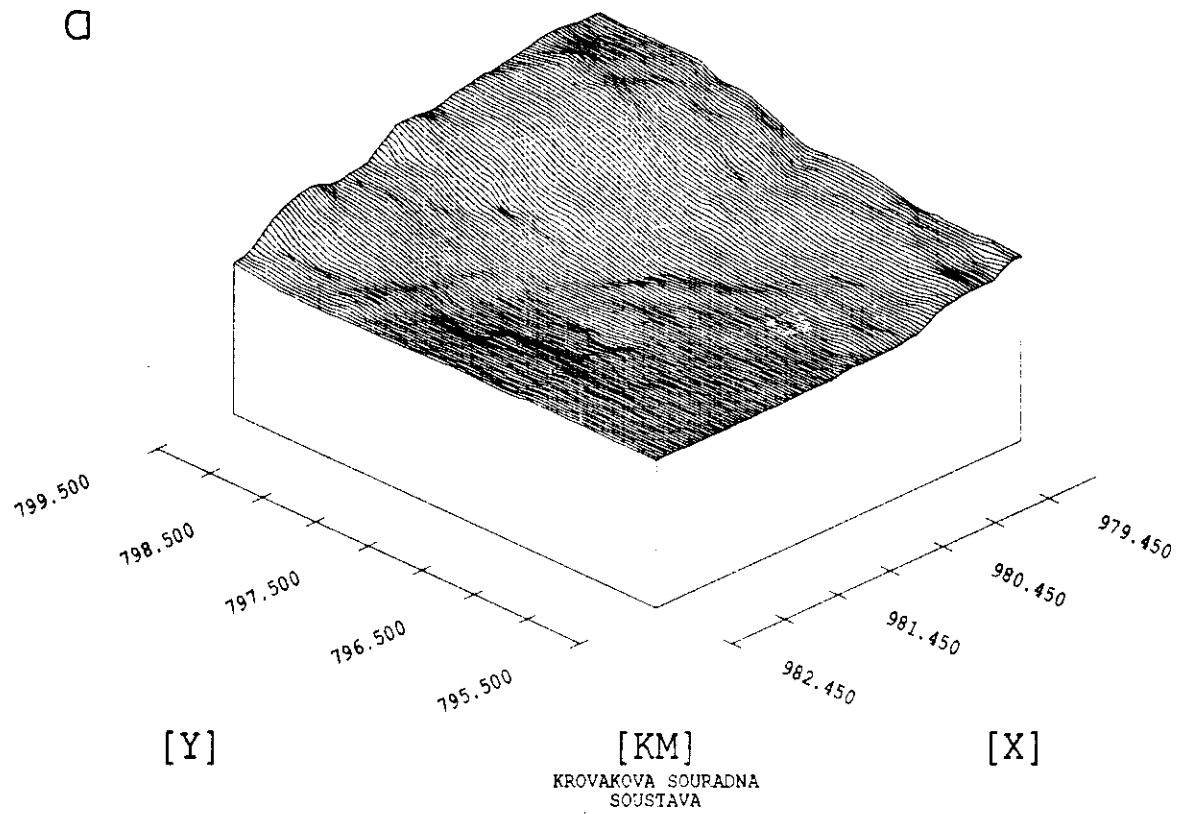
### Diskuse výsledků

Cílem programového systému MMHP je připravit pro geologa-řešitele takové geologické podklady, které by mu umožnily co nejvíc se přiblížit ke skutečnosti, a tedy nikoliv nahradit geologa, napodobit jeho ruční práci. Není možné do algoritmu programu vložit znalosti geologických procesů, praxi a intuici geologa. Je ale možné využít předností poskytovaných počítačem: zohlednění veškerých výsledků okolních dokumentačních bodů při předpovědi geologického profilu v daném místě a použití náročných matematických a grafických postupů, což prakticky není bez použití počítače v silách jednotlivce.

Pokud byl programový systém použit geologem znalým algoritmu MMHP, byl vždy jeho přínos velmi pozitivní

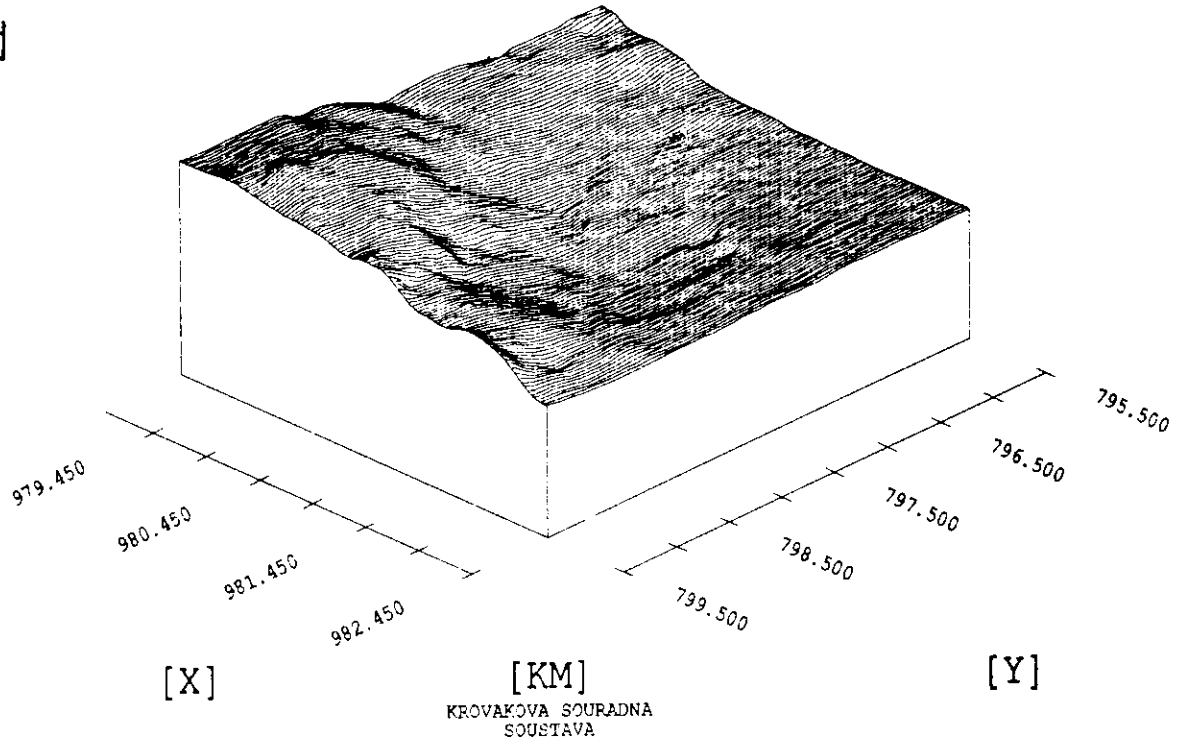
i na jiných lokalitách než Jiřetín. Právě ta okolnost, že program bere do úvahy veškerá data ve zvoleném poloměru dosahu a neprovádí předběžný výběr, tak jako to obvykle činí geolog, má za následek na jedné straně velkou objektivitu výstupu, na druhé straně ale je poznamenán chybami a stratigrafickými omyly dokumentujících geologů i předchozích generací. Tyto chyby však při prostorovém zpracování obvykle jasně vyplnou z anomálií anebo izolovaností jevů (obr. 2, 4 – anomálie vrty 253).

**Posouzení věrohodnosti** a přesnosti vypočteného výstupu je podloženo nejlépe srovnáním vypočtené mapy povrchu terénu s topografickou mapou (obr. 7). Tento obrázek zachycuje stejné území jako obr. 1, 4 a 5, ale s tím rozdílem, že je rozšířeno o 200 m směrem na Z, kde se vyskytuje terénní deprese prakticky bez dokumentačních bodů. Přesnost výpočtu je ovlivněna především hustotou dokumentačních bodů a rovnoměrností jejich rozložení. V plochem území pánve se vypočtený povrch liší od zaměřeného celkem málo. Větší nesrovnalosti jsou v místech erozních rýh a depresí, nedostatečně pokrytých dokumentačními body. Obdobný výsledek lze předpokládat též u geologických rozhraní, tam, kde nemáme možnost srovnání se zaměřenou topografií.

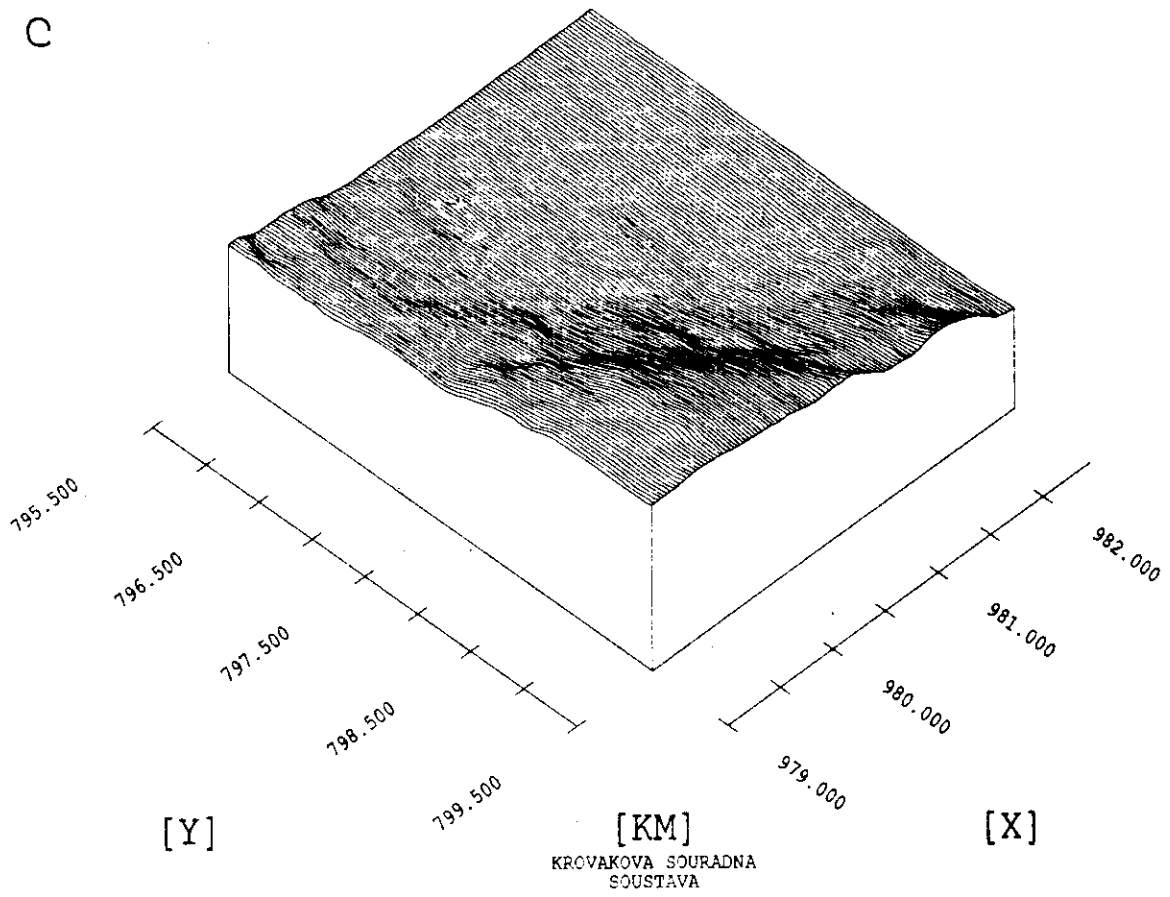


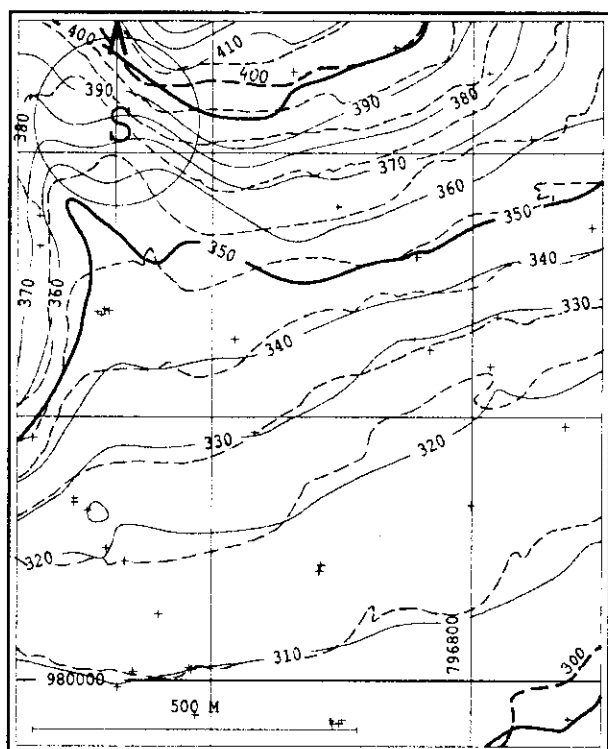
6. Blokdiagram povrchu krystalinika. a – pohled od JV a  $60^\circ$  od vertikály, b – tentýž pohled při převýšení povrchu krystalinika 1,5x, c – pohled od SZ a  $45^\circ$  od vertikály, d – pohled od JZ a  $60^\circ$  od vertikály.

d



c





7. Vrstevnice povrchu terénu (doplňný výstup z počítače). Plně vrstevnice jsou vypočtené, čárkované vrstevnice jsou doplněné z topografické mapy, + poloha dokumentačních bodů.

Statistické testy (programy STAT.DRB a SROV.DRB), kterými je počítán povrch, resp. rozhraní, v místě kteréhokoliv vrtu, tak jako by vrt neexistoval, a pak vypočtená hodnota se srovnává s hodnotou zjištěnou ve vrtu, podávají rovněž velmi dobrý obraz o věrohodnosti výpočtu. Na úkole Jiřetín byl podrobně statisticky studien vypočet povrchu uhelné sloje. Kóta povrchu sloje všech pozitivních vrtů byla vypočtena podle tří matematických postupů: kombinovaným vzorcem (při regresním koeficientu  $-1$ ), kombinovaným vzorcem při regresním koeficientu  $-10$  a při regresním koeficientu  $0$ , tj. pouze váženým průměrem. Současně byl i vypočten povrch terénu prvním z vyjmenovaných postupů. Prvním postupem byla z 210 vrtů vypočtena průměrná odchylka výpočtu od skutečnosti 6,08 m. Rozptyl skutečných hodnot kót povrchu uhelné sloje je 72 až 326 m n. m. Druhým postupem byla vypočtena průměrná odchylka 7,82 m a třetím, tj. váženým průměrem, průměrná odchylka 7,60 m.

Z průměrných odchylek výpočtu vyplývá, že nejlépe úložným poměrům uhelné sloje vyhovuje výpočet podle kombinovaného vzorce s regresním koeficientem  $-1$ . Avšak rozdíl mezi jednotlivými výpočetními postupy je podstatně menší než nejnižší průměrná odchylka od skutečnosti (7,82–6,08 < 6,08).

Výpočet povrchu terénu poskytl příznivější výsledky. Průměrná odchylka výpočtu od skutečnosti z celkového počtu 918 dokumentačních bodů je 5,48 m při rozptylu

hodnot 232–740 m n. m., tedy jen o málo menší než průměrná odchylka výpočtu povrchu uhlí pro regresní koeficient  $-1$ , tj. 6,08 m. Pro vrty ležící v pánvi je průměrná odchylka výpočtu povrchu terénu pouze 1,98 m, tedy podstatně nižší, při rozptylu hodnot cca 232–328 m n. m. Tyto podstatně lepší výsledky jsou ovlivněny vyšším počtem dokumentačních bodů (cca 1,5násobek) vstupujících do výpočtu povrchu terénu v oblasti pánve.

U vypočtených vertikálních geologických řezů v měřítku 1 : 2 000, užívaném pro báňskou projekci lomu i pro stabilitní výpočty, je tedy předpokládána chyba vynesených rozhraní až po uhelnou sloj cca 3 mm, což je jak pro báňskou projekci, tak i pro řešení závěrných svahů přijatelné.

Pravděpodobná chyba výpočtu geologických rozhraní u konkrétního geologického vertikálního řezu vyjde zejména, když do konkrétního vypočteného profilu vynese geolog povrch terénu z topografické mapy a srovná jej s vypočteným. Místa větších nesrovnalostí obvykle připadají na vrub nerovnoměrnému rozdělení vrtů, a ta je třeba opravit.

Geologické vertikální řezy vynášené ručně jsou obvykle pouze inteligentní spojnice mezi vrty a geolog nemá představy o velikosti možné chyby.

Vypočtené geologické řezy, upravené podle představy geologa, jsou optimální variantou. Mají tu výhodu, že je můžeme vynést jakýmkoliv směrem.

**Použití více forem grafických výstupů** je velkou předností upotřebení MMHP před ručním zpracováním. Zatímco používání vrstevnicových map geologických rozhraní je pracné, ale reálné i bez použití počítače (např. hlava nebo pata sloje), horizontální řezy se v geologické praxi nepoužívají a jejich velký přínos k řešení geologické situace vyplývá až z prostorového řešení MMHP.

Výchozová část severočeské hnědouhelné pánve je dosti četně porušena zlomy, které jsou vertikální nebo strmě ukloněné. Horizontální řezy, které jsou na ně téměř kolmé, naznačují daleko lépe jejich směr a celkový průběh než řezy vertikální.

Při studiu těchto nezvyklých výstupů, zejména u výchozu, je možno vidět jak tektoniku, tak i faciální změny, místa strmého uložení vrstev i stratigrafické omyly dokumentátorů vrtů.

Pokud z horizontálních řezů nejsou úložné poměry jasné, je vhodné je doplnit vertikálními řezy, které můžeme libovolně orientovat bez ohledu na umístění vrtů. U nejasných míst je vhodné zadat výpočet vertikálního profilu jen v několika bodech s rozšířeným parametrem výstupního souboru TISKY.DAT, aby bylo jasné, který vrt anomálii způsobuje, zda jde o vliv nerovnoměrně rozložených dat anebo o spornou, případně chybnou dokumentaci vrtů. Při zpracování lokality Jiřetín horizontálními řezy se ukázalo jako velmi problematické správně rozlišit vulkanodetritické sedimenty od jílovitých sedimentů křídových, a to i ve vrtech dokumentovaných bez podpory geochemie. Nakonec nebylo možné v mapách jejich rozšíření spolehlivě vyznačit.

**Podklady pro optimalizaci návrhu další sítě sond** jsou jedním z objektivních výstupů, umožňujících zefektivnit další geologický průzkum jakéhokoliv odborného zaměření. Při výpočtu geologických rozhraní programem MMHP 2 je nejprve počítána pravděpodobnost výskytu vrstvy v zadané síti a zároveň je zřejmé, z kolika okolních vrtů je pravděpodobný geologický profil v daném místě předpovídán.

Dále je možno návaznými programy zhotovit mapu izolinií (resp. izoploch), znázorňujících, z kolika vrtů byl v daných místech prováděn výpočet rozhraní, a mapu izoploch, znázorňujících, s jakou pravděpodobností bylo rozhraní (resp. povrch určité vrstvy) vypočten. Tyto výstupy poskytují *objektivní podklad* pro rozhodování geologa, kam umístit vrt v další etapě průzkumu, týkající se vždy ovšem jedné zájmové vrstvy (např. uhlí), a jsou vedlejším produktem při výpočtu vrstevnicových map MMHP 2.

Zpracování těchto podkladů na lokalitě Jiřetín ukázalo, že podobné mapy mohou v budoucnosti vést ke značným úsporám v nákladech na vrtné práce.

Celkový přínos vytvoření a použití programového systému MMHP byl oceněn především projektanty a těžební organizací. Někteří geologové však nepochopili význam systému MMHP a spatřovali v něm spíše nevíтанou konkurenci.

*K tisku doporučil V. Šánělec*

#### Literatura

- BŮŽKOVÁ, H. (1973): Zpracování inženýrskogeologické mapy na samočinném počítači – list Poruba 1 : 25 000. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1976): Sestavení analytických geologických map pro vodní dílo Kyjice pomocí samočinného počítače. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 13, 51–61. Praha.
- DRBOHLAV, K. et al. (1987): Matematické metody vytváření prostorových geologických modelů vrstevnatého prostředí. – Sbor. Symp. Hornická Příbram ve vědě a technice, Matematické metody v geologii. Příbram.
- (1991): Rock Media Mathematical Model Processing. – Math. Geol. 23, 1, New York.

## Use of mathematic spatial modelling of geological conditions for the giant open pit mine

*(Summary of the Czech text)*

HELENA BŮŽKOVÁ

Received October 4, 1991

The paper deals with the problems of mathematic modelling of geological environment and its practical application. The coal giant mine advancing toward the Krušné hory foothill region required extensive exploration and a program system Mathematic model of the rock environment (further in the text MMHP) was developed.

The essence of the mathematic algorithm of the MMHP main program is that a hypothesis on the geological section in an indifferentially chosen place of the investigated area is set up. The hypothesis is based on the boreholes and other geological documentary points to an optional distance from the studied place. Successively, from above downwards, the sequence of the individual stratigraphic layers is being modelled in such a way that at first the occurrence of a layer of the given kind in the studied place and then the altitude of its surface is being decided. The algorithm for calculation of model deposition of lithological layers in a given place is complicated, however its principal ideas are simple. Interpolation methods are applied even for the calculation of the most probable kind of a layer out of several possible ones. The calculation is carried out in such a way that for each possible kind of a layer the relevant characteristic functions by the interpolation acquire the value of 1 in the boreholes where the considered kind occurs and 0 in the remaining boreholes. Non of the interpolation methods is preferred in the MMHP model. To standard interpolation formulae belong various kinds of weighted means exhibiting great numerical stability but whose application is considerably limited. Standard are also different formulae based on regression methods. Their disadvantage is a numerical instability. Therefore, the authors of the algorithm (DRBOHLAV et al. 1987) developed new, combined formulae better meeting the requirements of the modelling than the standard ones. The mathematical algorithm of the calculation is, i. a., eligible in the MMHP program. Some of the standard or the new combined formulae can be chosen.

The MMHP program system is divided into 5 consequential programs processed in the language FORTRAN 77. The program input data are geological profiles of boreholes designated by numbers of the geological legend and their boundary depth, as well as the borehole lay-out in the X, Y, Z coordinates. The first of the MMHP system programs generalizes the layers according to a set geological legend and arranges the input data into a matrix with respect to the eligible reach of the calculation depending on the borehole network density. The second, most important program, performs the calculation proper involving vertical geological sections, horizontal geological sections, contour lines of geological boundaries or isolines of layer thicknesses. The calculation points network density is set either by the scale of the pseudographic output, or by the number of points in both directions of the calculation grid. The algorithm of the calculation formula is eligible

and the program output is a pseudographic print and a set of calculation values further on processable by graphic programs.

During the calculation further sets arise applicable e. g. in proposing the borehole network optimization. From these sets it is obvious with which probability a certain layer was calculated at the individual calculation stages and also how many points were used for the calculation.

Other programs of the MMHP system serve mainly for verification of the calculation values. The MMHP program system is equipped with further supporting programs – a program, by which a set of geological sections of boreholes can be deposited and a statistical program testing the accuracy of the calculation of boundaries. In the place of the borehole the geological boundary altitude is calculated without using the geological section of the borehole. Then the calculated value is compared with the actual value ascertained in the borehole, and the deviation is calculated. The deviations from all the boreholes are statistically processed which enables the user of the program system make an idea about applicability of the calculated geological data.

The program system was developed and applied to the exploratory project Jiřetín. The area of interest is indicated in a figure to the paper by H. Bůžková (in the same volume) covering an area of ca. 25 km<sup>2</sup>. Altogether the geological profiles from ca. 1 000 documentary points were deposited in the data base. For the final report on the project all groundwork material for vertical geological sections and maps of geological boundaries and isolines of layer thicknesses was calculated. When suitable, the calculated geological boundaries were – beside in the contour line maps – illustrated also in form of blockdiagrams. Also the horizontal geological sections in chosen above-lying levels were calculated, allowing observation of steeply dipping tectonic faults as well as anomalies in the depositional conditions of the sediments. During the selection of the same mathematic algorithm all the calculated groundwork material – both vertical and horizontal sections, contour lines of geological boundaries and the isolines of the layer thicknesses – are in a mutual accordance. Finally, the statistical deviations of the calculated boundaries from the measured boundaries in the individual boreholes were calculated for the surface of the coal seam and the calculated contour lines of the terrain surface were compared with the contour lines plotted in the topographic map. It has been stated that the mean deviation of the calculation of the geological layers boundaries being ca. 6 m (for a given degree of the documentary points density) is for the scale of 1 : 2 000, used for designing of mining progress in a coal mine, is admissible and the calculated groundwork material is well applicable.

*Přeložila G. Vladyková*

#### **Explanation of tables**

1. Specialized classification.
2. Generalization of classificatory symbols.
3. Boundary calculation.

#### **Explanation of text-figures**

1. Contour lines of the surface of the coal seam, + position of positive documentary points (computer output).
2. Vertical geological section (computer pseudographic output). 1 – undifferentiated Quaternary sediments, 2 – overlying Neogene formation, 3 – coal including inner intercalations, 4 – underlying Neogene formation, 5 – tuffitic and volcanic rocks of the Neogene, 6 – Crystalline rocks.
3. Vertical geological section (graphic computer output). 1 – undifferentiated Quaternary sediments, 2 – Neogene overlying formation, 3 – coalified sediments above the coal seam, 4 – coal including the inner intercalations, 5 – underlying formation of the Neogene, 6 – tuffitic and volcanic rocks of the Neogene, 7 – Crystalline rocks.

4. Horizontal geological sections (pseudographic computer output). 1 – Quaternary sediments, undifferentiated, 2 – overlying Neogene formation, 3 – coalified sediments above the coal seam, 4 – coal including inner intercalations, 5 – underlying formation of the Neogene, 6 – tuffitic and volcanic rocks of the Neogene, 7 – Crystalline rocks, 8 – area where the section reaches deeper than is the reach of the calculation, 9 – area where the section is situated above the terrain surface.
5. Isolines of the probability of the calculation of the coal seam surface (on the left) and relevant isolines of the number of the documentary points used for calculation of the coal seam surface (on the right). Computer output.
6. Blockdiagram of the Crystalline surface. a – view from the SE and 60° from the vertical, b – the same view when raised above the Crystalline surface 1.5x, c – view from the NW and 45° from the vertical, d – view from the SW and 60° from the vertical.
7. Contour lines of the terrain surface (supplemented computer output). Full contour lines are calculated, dashed contour lines are taken over from the topographic map, + position of the documentary points.

Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 20	Str. 23–37	5 obr.	– tab.	10 přil.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
-----------------------------	-------------------------------------	---------------	-----------	-----------	-------------	-------------------	--------------------------------------

## Inženýrskogeologické mapování a geologické poměry v okolí úpatí Krušných hor (Čechy)

### Engineering-geological mapping and geological conditions in the environs of the Krušné hory foothills (Bohemia)

JAN MAREK<sup>1</sup>

Předloženo 14. prosince 1990

1 : 50 000: 02-31, 33

Key words: Crystalline rocks, Neogene basin, Mine development, Neotectonics, Mass movements

MAREK, J. (1994): Inženýrskogeologické mapování a geologické poměry v okolí úpatí Krušných hor (Čechy). – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 23–37. Praha.

**Výtah:** Podrobné inženýrskogeologické mapování rozsáhlých areálů na Mostecku a Chomutovsku v souvislosti s rozvojem velkolomové uhelné těžby pokrylo vrcholovou oblast Krušných hor, jejich svahy, úpatí i přilehlou část neogenní severočeské pánve. Geologická situace je komplikovaná zvláště podél úpatí hor na styku navzájem odlišných prostředí, kde došlo k silnému uplatnění třštivité tektoniky. Tektonickými účinky je krystalinický masív rozčleněn do ker a bloků, jejichž forma je závislá na litologickém charakteru převládajících hornin. Nejvýraznější je rozvolnění granitoidního jádra kateřinohorské klenbové struktury, kde se vyvinul schodovitý tvar horských svahů v důsledku pohybu svahových ker podél mocných poruchových zón. V průběhu neogénu a v kvartéru se projevuje aktivita hlavního horského svahu ve vývoji druhotných tektonicko-gravitačních pohybů včetně mohutných skalních zřícení. V oblastech budovaných paraséríí je tektonická členitost méně nápadná, způsobuje zprohýbání a rozčepení hranice krystalinika. Situaci podél úpatí hor zpestřují satelitní vyvýšeniny různých forem a charakterů. Projektční přípravu velkých zásahů do pásma úpatí Krušných hor je nutno orientovat na přednostní řešení velmi komplikované stabilitní problematiky.

<sup>1</sup> *Stavební geologie, Geologická 4, 152 00 Praha 5*

Inženýrskogeologické mapování pásma úpatí Krušných hor bylo vyvoláno potřebami projekční přípravy rozvoje uhelné těžby v severočeské pánvi a přípravami dalších významných staveb, které si rozvoj této těžby vynucuje. Rozsáhlé otevřené těžebny se dále rozšiřují a část z nich po dosažení krušnohorského úpatí má podél něj postupovat dále. Úložné poměry uhelné sloje jsou však v tomto pásmu komplikovány geologickými zvláštnostmi danými vzájemnou hranicí odlišných regionů krušnohorského krystalinika a severočeské neogenní pánve. Podmínky velkolomové těžby podél krušnohorského úpatí se velmi liší od podmínek v centrálních oblastech uhelné pánve, kde se největší část těžby dosud realizovala. Vcelku dobré zkušenosti z povrchové těžby v centru pánve vedly vedoucí činitele báňských organizací k představám o snadné vydobytečnosti uhelných zásob i v pásmu krušnohorského úpatí. Předpokládalo se, že je v možnostech dobývací techniky zvládnout nejen nezvykle velkou hloubku těžebních jam (až přes 400 m) a nepříznivý skryvkový poměr (až více než 5:1), ale i další eventuální geologické komplikace. Některé zkušenosti z otevřených provozů lomů z poválečného období v pásmu krušnohorského úpatí však vyznívaly varovně. Lomy Kohinoor (S. K. Neumann) v Loučné a Rudý sever v Hamru bylo nutno likvidovat, protože byly potřeby se stabilitou krušnohorských svahů.

Inženýrskogeologické mapování jako průzkumná akce aplikovaného oboru geologických věd má vycházet z podkladů a závěrů základního geologického výzkumu a ze

vcelku vyřešené koncepce geologické stavby regionu. Již v počátečních fázích mapování se však ukázalo, že v místních poměrech bude nutno dokončit celou řadu nevyřešených a závažných problémů, budovat novou koncepci geologické stavby a odhadnout dopad nově zjištěných skutečností i hypotéz na plánované technické zásahy do krajiny.

V koncepci regionální geologické stavby byly nejasnosti ve zcela zásadních otázkách, např. v druhu, původu a účincích tektoniky v pásmu předpokládaného, ale dosud přímo neprokázaného krušnohorského zlomu, v následnosti tektonických, metamorfických, intruzivních, sedimentačních, erozních, gravitačních a jiných pochodů. Všeobecně se uznával jen mladý, převážně kvartérní výzdvih krušnohorského pásma, ke kterému došlo po ukončení sedimentace v neogenní pánvi. Mechanismus tohoto morfologického rozdělení a jeho důsledky však nebyly základním výzkumem vyřešeny. Podobně nevyřešené zůstaly úložné poměry okrajové partie pánevních sedimentů při hranici s krystalinickým masívem.

Inženýrskogeologická mapa je druhem geologické mapy pokryté, která podrobně zobrazuje především kvartérní pokryv a výchozové partie předkvartérních útvarů. Přestože zobrazuje hlavně tyto povrchové fenomény, vyžaduje pro jejich správné řešení alespoň hrubé vyřešení hlubších geologických struktur. V oblasti podél styčné hranice krystalinického masívu a neogenní pánve, kde se předpokládalo silné uplatnění třštivité tektoniky, bylo nutno pře-

dem vyřešit hlavní tektonické problémy. Proto mapovací práce využívaly neobvyklé a netradiční metody a postupy, zvláště hluboké svislé i dlouhé horizontální vrty, a po nich následovaly podrobné inženýrskogeologické průzkumy vytipovaných kritických míst.

### Rozsah, průběh a metodika mapovacích prací

Projekční příprava různých stavebních akcí vyvolaných postupem velkolomové uhelné těžby vyžadovala podrobné inženýrskogeologické mapování zátopných území a okolí přehradních míst náhradních vodních nádrží za likvidovanou velkou Dřínovskou nádrž (Kyjice, Březenec, Kundratice). V předpolí velkolomu Čs. armády, který se měl jako první rozšířit do pásma krušnohorského úpatí, bylo mapování zahájeno v r. 1973, nejprve v rozsahu 40 km<sup>2</sup>. Rozsah mapovaného areálu byl vymezen rozsahem povodí 4 hlavních horských potoků stékajících do prostoru příslušné etapy rozšíření velkolomu (akce Komořany I., II.). Požadavkem objednatele (vedení dolů) bylo zjištění a zobrazení poměrů kvartérního pokryvu, aby bylo možno řešit hydrogeologické problémy s přítokem podzemních vod do rozšířené těžební jámy a vliv snížení hladiny podzemní vody na okolí, zvláště na vegetaci. V té době se zdálo, že hlavním technickým problémem velkolomového dobývání podél úpatí Krušných hor bude odvodnění těžební jámy. Proto při mapování byla hlavní pozornost věnována kvartérnímu pokryvu, jeho charakteru, mocnosti, úložným poměrům a zrnitosti. V průběhu mapování, zvláště na hlavním horském svahu směrem do pánve, však bylo stále jasnější, že hlavní technický problém v dané oblasti bude spíše inženýrskogeologické povahy a že bude spočívat v mimořádně náročném a obtížném vyšetřování stabilitních poměrů projektovaných závěrných svahů velkolomu, jednotlivých pracovních svahů a přilehlých původních svahů horského masívu. Celková výška těchto svahů může dosáhnout až přesáhnout 1 000 m, přičemž se zde může uplatnit řada geologických fenoménů, jejichž charakter a technický význam bude nutno teprve objasnit.

Velkolom Čs. armády se jako první velkoprovaz rychle blížil právě k té nejstrmější partii krušnohorských svahů, u níž bylo zřejmé, že je z křehkých granitoidních hornin. Tyto horniny budují jádro klenbové struktury, které morfologicky výrazně vystupuje nad svůj parametamorfni plášť. Foliace hornin kopíruje tuto strukturu a v kritické části předpolí uhelného velkolomu upadá směrem do pánve. Četné morfologické i geologické jevy svědčily o silném tektonickém rozvolnění krystalinika. Některé indikace dokládají tektonické postižení okrajové partie pánevního sedimentárního komplexu. Při úpatí hor byly zjištěny kvartérní akumulace mimořádných mocností, obsahující pozůstatky mohutných skalních zřícení, ke kterým došlo v pleistocénu z exponovaných částí hlavního horského svahu. Vzhledem k uvedeným zjištěním vyzněl závěr této etapy mapovacích prací varovně, s vyjádřením možnosti katastrofických dopadů pro uhelný velkolom,

pro další vyvolané stavby, uhelné zásoby i pro přírodní a kulturní objekty a hodnoty v okolí (MAREK 1976, 1977, 1980a aj.).

To podnítilo nové průzkumné i výzkumné práce různých institucí v zájmovém území, např. ÚGG ČSAV (DUDEK 1978, RYBÁŘ - KUDRNA 1979, KUDRNA 1982 aj.), ÚÚG (MALKOVSKÝ et al. 1982 aj.), zejména však podrobný inženýrskogeologický průzkum nejkritičtějšího místa u zámku Jezeří (MAREK 1981). Tento průzkum byl realizován pomocí štoly ražené z úpatí hor kolmo do krystalinického masívu pod zámek. Potvrdil existenci mocných tektonických poruchových zón, kernou stavbu krystalinického masívu a závažnost stabilitní problematiky a přinesl důležité vstupní údaje pro dosud neobvyklé výpočty a modelování stability mimořádně vysokého a rozvolněného svahu za podmínek postupného odlehčování jeho paty. Průzkum přinesl nové náměty pro úvahy o reálnosti báňských záměrů v pásmu krušnohorského úpatí a potvrdil naléhavost podrobného ověření detailů geologické stavby nákladnými báňskými pracemi i v dalších kritických místech, např. pod svahem Jezerky (SMOLAŘ et al. 1985). Na základě něho byly vedením uhelných dolů požadovány a postupně realizovány další doplňkové průzkumy, např. ložisková dorozvědka okrajových partií pánve (ALINČE 1985, KNĚŽÍNEK 1986 aj.). Tato dorozvědka doplňuje regionální průzkum zaměřený původně hlavně hydrogeologicky (SYSEL 1978).

Po dokončení mapovacích prací na úseku Komořany bylo zahájeno mapování sousedního úseku Jiřetín. Rozsah tohoto území byl 20 km<sup>2</sup>. Mapování probíhalo v letech 1982–1983 a navazoval na ně komplexní inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum v několika profílech, kde byla vyšetřována stabilitní problematika. Součástí průzkumu byla i dvě nová průzkumná báňská díla u Černic a u Horního Jiřetína, kde se pomocí šachty, horizontálních štol, řady rozrážek a podzemních vrtů ověřovaly detaily geologických struktur na úpatí hor v místech, která se při mapování jevila jako zvláště kritická.

Po dokončení autorského originálu inženýrskogeologické mapy oblasti Jiřetín byly mapovací práce přesunuty podle požadavku vedení dolů k z. výběžku severočeské pánve do předpolí uhelného velkolomu Merkur a dalších, které by měly vytěžit uhelné zásoby podél krušnohorského úpatí mezi Pruněřovem a Chomutovem.

Zájmové území zahrnovalo opět širokou oblast svahu Krušných hor i vrcholovou horskou oblast a mělo rozsah přes 70 km<sup>2</sup>. Na základě zkušeností z mapování předchozích úseků Komořany a Jiřetín bylo objednavatelem výslovně požadováno vytipování úseků náhylných k poruchám stability v případě realizace těžebních záměrů. Mapování probíhalo v letech 1984–1987 a navazoval na ně opět podrobný inženýrskogeologický průzkum několika stabilitních profilů vedených kolmo na hlavní krušnohorský svah. Mapa byla potom reambulována podle výsledků tohoto podrobného průzkumu a vychází postupně tiskem po jednotlivých listech státní mapy 1 : 5 000.

Dosud zmapované areály lemují okraj severočeské uhelné pánve od jejího z. cípu u Pruněřova až k Chomu-



tovu a potom od Jirkova k Janovu; mezi těmito úseky zůstává proluka s městskou aglomerací Chomutov-Jirkov, která není zmapovaná. Dosavadní výhradní objednavatel mapovacích prací (vedení dolů) nemá zájem zmapovat okraj a předpolí pánve v těchto místech, kde je uhelná sedimentace komplikována neuhelnými uloženinami žatecké delty a kde se zatím neprojektuje velkolomová uhelná těžba.

Pro sestavení podrobné inženýrskogeologické mapy 1 : 5 000 se v počátcích mapovacích prací používaly tehdy obvyklé sondovací prostředky: kopané sondy, mělké vrty RNM, vibrátor, ruční vpichy apod. Později, s rozchodem posledních kopáckých čet, se začala uplatňovat pojízdná drapáková souprava Poclair, hloubící širokopřilové sondy do hloubky 6 m. V horském terénu se tato souprava velmi osvědčila. Při úpatí hor, kde jsou geologické poměry složitější a kde je mocný kvartérní pokryv, bylo nutno použít jádrové vrty do hloubky až 200 m. Nezvykle velkou hloubku mapovacích sond v těchto místech si vynucuje nejen velká mocnost pokryvu, ale i potřeba rozpoznání účinků tektoniky a gravitačních deformací v aktivním pásmu horského svahu a při jeho úpatí. Pokusně se použily i horizontální jádrové vrty dlouhé přes 100 m; sloužily k osazení křehkých vodičů pro sledování případných pohybů krystalinického masívu (příl. VIII/3). Pokus se zdařil a této metody bylo následně využito pro geotechnický monitoring vybraných úseků svahů hor. V pánevní oblasti se sondovalo jen sporadicky, mapování se zde opíralo o archívni dokumentaci velkého množství ložiskových vrtů, které bylo nutno přehodnotit. Ze sond se odebraly porušené pytlivé vzorky zemin na laboratorní rozboru zrnitosti, pro určení hydraulických parametrů a pro stanovení jejich případné použitelnosti.

Průběh následného inženýrskogeologického nebo hydrogeologického průzkumu byl sledován a vrtná dokumentace byla využita pro reambulaci výsledků mapování. Podobně se sledoval postup uhelné těžby i jiných staveb v zájmové oblasti a vznikající odkryvy se dokumentovaly. Namáhavá byla dokumentace velmi četných skalních výchozů na horských svazích, z nichž velká část má mohutné rozměry (příl. II/2). Na výchozech se kromě litologie sledovaly foliace, účinky tektonických a gravitačních deformací, způsob rozpadu, účinky exogenních činitelů (mrazu aj.), a to nezdědká s pomocí horolezeckých způsobů zdolávání skalních stěn. Fyzicky náročné bylo též překonávání výškových rozdílů, strmých horských svahů a dalších terénních překážek – polomů stromového porostu, blokových sutí, skalních rozsedlin apod. Významným doplňkem byly průzkum a dokumentace pozůstatků starých (většinou středověkých) báňských prací s rudním zaměřením, nalezených během mapování na mnoha místech horské oblasti (příl. V/1). Podobně významným doplňkem byl i průzkum podzemních prostor jiného účelu, např. protiletectkých krytů v Albrechticích, sklepů zámku Jezeří (příl. IV/2) nebo středověkých pivovarských sklepů v Jirkově. Cenné poznatky poskytlo geologické sledování ražby dvou vodohospodářských štol u Albrechtic a Černic a převedení horských potoků do jiného povodí (příl. III/4).

V pásmu krušnohorského úpatí od Janova k SV do oblasti Litvínova, Oseka, Dubí a dále, tj. v zájmovém prostoru a předpolí uvažovaných uhelných velkolomů Kohinoor a Barbora, navazuje mapování Geoindustrie Praha odlišnou metodou. Výsledky těchto prací ani metodiku zde nekomentujeme.

## Přehled hlavních geologických poznatků

Některé poznatky z mapování úseku Komořany i z následných podrobných průzkumů u Jezeří byly již publikovány (MAREK 1977, 1980 aj.). Proto zde budou poznatky z úseku Jiřetín (MAREK in BŮŽKOVÁ et al. 1988) konfrontovány se staršími poznatky i s novějšími výsledky mapování v úseku Prunčřov–Chomutov (MAREK 1988a).

Velkou část vrcholové horské oblasti pokrývají hlinité písky s proměnlivou příměsí pevnějších úlomků krystalinika. Jde o mírně přemístěné zvětraliny, které obklopují ostrůvky nepřemístěných zvětralin a rozpadů krystalinických hornin. V plochých depresích se místy vyskytují rašelinná vrchoviště. Ze zarovnaného reliéfu vystupují ojedinělé pevnější celky krystalinika jako vypreparované skalní výchozy, často ve formě mrazových srubů (příl. I/2). Výchoz na nejvyšším vrcholu Medvědí skále (923 m n. m.) je obklopen kryoplanační plošinou, kde rozvalené balvany a bloky byly soliflukcí rozptýleny do větších vzdáleností. Mocnosti pokryvu ve vrcholové oblasti jsou všeobecně malé, 1–2 m, jen ojediněle vzrůstají až do 5 m. Místa větších mocností zpravidla indikují tektonicky podmíněné deprese. Splachové deprese zřetelně ilustrují síť tektonické členitosti a rozmístění oslabených zón v krystalinickém masívu.

Hlavní krušnohorský svah i svahy velkých vnitrohorských depresí jsou pokryty deluvii rázu písčítokamenitých sutí s variabilnějšími mocnostmi. Mocnosti do 2 m je možno považovat za obvyklé, větší mocnosti pravidelně vyplňují deprese s výraznou tektonickou predispozicí a modelací. Vytváří se tak častá kapsovitá forma pokryvu, kdy zvětšené mocnosti se střídají s četnými výchozy pevného krystalinika. Výchozy jsou různé velikosti, v oblastech granitoidních hornin dosahují nezdědká gigantických rozměrů, a nesou zřetelné stopy účinků tektoniky a klimatických změn v pleistocénu (příl. II/2). Nabývají tak místy bizarních tvarů (věžovitých, viklanovitých, vztyčených desek apod.), zvláště na j. a jv. svahu Jezerky a nad Černicemi. Často nesou znaky gravitačních deformací dílčích částí nebo i celých bloků. Bývají lemovány balvanitými rozpady někdy až rázu kamenných moří. Deluviální plášť pod velkými výchozy granitoidních typů hornin bývá obohacen o rozptýlené balvany průměru i přes 3 m. Některé z nich mívají vzhled výchozu in situ, což bývá nesnadno rozpoznatelné, pokud jde o horninu bez výrazné foliace. Výchozy pararul jsou zpravidla mnohem menších rozměrů a jen výjimečně dodávají do okolních deluvii balvanitý materiál.

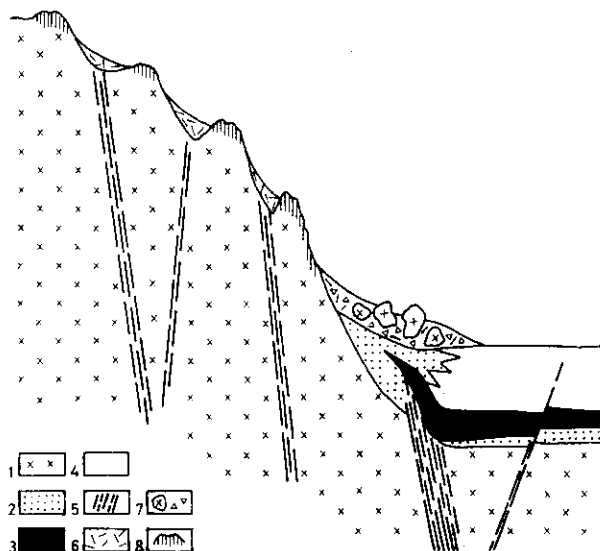
Mapování Komořan poskytlo poznatek o schodovitém tvaru hlavního krušnohorského svahu, zvláště jeho grani-

toidní partie mezi Vysokou Pecí a Horním Jiřetínem. Tato schodovitost je projevem rozčlenění masívu do velkých ker vlivem tektoniky rovnoběžné orientace s linií úpatí hor, tj. SV-JZ až VSV-ZJZ. Hlavní horský svah tak nabývá kulisovitité stavby. Dlíčí partie hlavního svahu jsou rozčleněny různě, např. svah Kapucína do 5 ker, svah se zámekem Jezeří rovněž do 5 ker, přičemž jejich šířka v horní části svahu je 200 m a více, kdežto ve spodní části svahu se zmenšuje na 100 m a méně. Rozčleněný svah nad Horním Jiřetínem má příhodný název Pětihor. Naproti tomu svah Jezerky je členěn jenom jednou plochou šupinou, jinak je velmi strmý. Jde o výsledek procesu, kdy se partie nejvíce vysunutá do pánve zřítily v pleistocénu během vyklenování horského pásma a dnešní svah je v podstatě vypreparovaná zadní plochou omezující jednu z hlavních poruchových zón směrného tektonického pásma. Podobným způsobem je modelována i z. část sousedního Jánského vrchu, zatímco jeho v. část je členěna do několika menších bloků. Nejvyšší partie Jezerky i Jánského vrchu jsou však samy velkými krami vyššího řádu a představují součásti hlavního svahu, který za jejich vrcholy dále pokračuje.

Svahy Jedláku a Macechy nad Vysokou Pecí jsou kromě tektoniky rozčleněny též strukturálně a litologicky. Na jádro klenbové struktury se zde příkládá pararulový obal jižního křídla. Hranice mezi strmou horskou partií budovanou granitoidy a mezi povlovnější partií budovanou paramorfity vede kose k linii úpatí hor, ve směru vnitřních struktur krystalinika, tj. SZ-JV. Tato hranice je zvýrazněna pásmem diaforitických svorových rul, které ŠKVOR (1973) charakterizuje jako výsledek vyrovnávání tlaků na hranici dvou mechanicky odlišných celků krystalinika.

Kerná stavba krystalinického masívu, indikovaná inženýrskogeologickým mapováním, byla prokázána podrobným průzkumem v oblasti zámku Jezeří (MAREK 1981, příl. IV/3), pod Jezerkou (SMOLAŘ et al. 1985), horizontálními mapovacími vrty na úkole Jiřetín (MAREK in BŮŽKOVÁ et al. 1988) i dalšími sondovacími pracemi pro ložiskovou dorozvědku a geotechnický monitoring. Byla ověřena existence strmě ukloněných tektonických poruchových zón rovnoběžných s úpatím horského pásma, doprovázených rozvolněním a chemickými alteracemi okolního krystalinika.

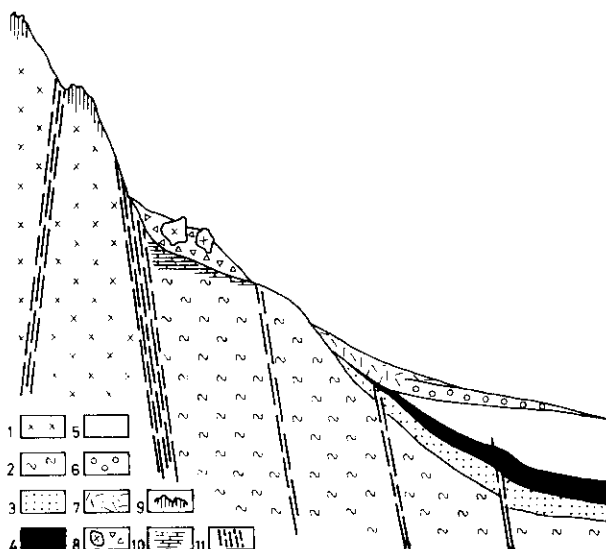
V úseku Jiřetín se kerné rozčlenění masívu stává méně zřetelným v místě, kde se na granitoidní jádro klenbové struktury příkládají horniny parasérie s. křídla. V těchto místech, zejména nad Černicemi, je však výrazným prvkem souvislá galerie mohutných skalních výchozů, které jsou kaskádovitě rozčleněny hustšími tektonickými poruchami rovnoběžnými s linií úpatí hor (obr. 1). Charakter rozčlenění tohoto úseku ilustruje, že jde o předpolí mohutnější směrné poruchové zóny probíhající úpatím. Na výchozech často dominují rovnoběžné směrné pukliny a dislokační plochy vytvářející převisy, kaverny a sluje. Kvartérní pokryv má charakteristickou kapsovitou formu. Morfologie jednotlivých kaskád je zvýrazněna četnými pramennými vývěry vody a přerušování drobných potůčků stékajících se svahu napříč kaskádám. Existence mohutné poruchové zóny podél horského úpatí byla brzy



1. Schematické znázornění poměrů při hranici neogenní pánve s granitoidní partií krystalinika Krušných hor. 1 – granitoidní krystalinikum, 2 – klastické přibřežní a mělkovodní sedimenty, 3 – uhelná sloj, 4 – nadložní jílovce, 5 – tektonické poruchové zóny, 6 – deluvia běžného typu, 7 – akumulace blokových deluvií se zřícenými bloky, 8 – skalní výchozy.

prokázána četnými vrty inženýrskogeologického průzkumu stabilitních profilů i novými průzkumnými báňskými pracemi u Černic a Horního Jiřetína (BŮŽKOVÁ et al. 1988, příl. IV/4). Mocnost zóny je kolem 300 m. Průzkumnými vrty ve stabilitních profilech byla potvrzena existence série doprovodných poruch, které způsobují kaskádovitě rozčlenění svahu a byly předtím indikovány morfostrukturní analýzou.

V závislosti na morfologické charakteristice horských svahů a na její litologické, strukturální a tektonické podmíněnosti se vzájemně liší poměry kvartérního pokryvu při úpatí hor. Pod Jezerkou a Jánským vrchem došlo k extrémně mocné akumulaci blokových deluvií v důsledku zřícení celých souvislých částí krystalinika z exponované partie hlavního horského svahu (VÁNĚ 1960, ŠPŮREK 1974, MAREK 1979a aj.). Mapováním byl zpřesněn rozsah této akumulace a následnými vrty hydrogeologického průzkumu (SYSEL 1978) bylo znovu potvrzeno, že její mocnost místy přesahuje 70 m. Postupem skrývkových prací při rozšiřování uhelného velkolomu došlo k odtěžování této akumulace (příl. VII/2). Během několika let tak bylo možno získat řadu poznatků, které dovolují blíže charakterizovat tyto v Českém masívu dosti neobvyklé jevy. V centru akumulace spočíval blok krystalinika o průměru přes 100 m, který dříve budoval morfologicky výrazné návrší Šibeniční hůrku, vzdálenou od úpatí hor asi 700 m. Z charakteru deformace povrchu terciárního podloží lze soudit, že se blok krystalinika ve svahu hor spíše odvalil a sklouzl, než aby se vylomil a přepadl. Větší část okolních sutí a balvanů i menších bloků sedimentovala dodatečně a zaplnila depresi mezi horským svahem a zříceným největším blokem. Vzhledem k tomu, že stáří většiny kvartérního pokryvu horské oblasti bylo při mapování určeno jako středně pleistocenní, mohlo k odvalení dojít již kon-



2. Schematické znázornění poměrů při hranici neogenní pánve s parametamorfni partii krystalinika Krušných hor a při vnitrohorské hranici granitoidního a parametamorfniho krystalinika. 1 – granitoidní krystalinikum, 2 – parametamorfni krystalinikum, 3 – klastické přibřežní a mělkovodní sedimenty, 4 – uhelná sloj, 5 – nadložní jílovce, 6 – proluviální šterky, 7 – deluvia běžného typu, 8 – akumulace blokových deluvií, 9 – skalní výchozy, 10 – reliktý křídových a paleogenních hornin, 11 – tektonické poruchové zóny.

cem pliocénu nebo v nejstarším pleistocénu při zintenzívnění výzdvihu horského pásma. Z mapování rovněž vyplynulo, že tyto jevy jsou mimořádné svými rozměry a kubaturou, avšak nejsou v zájmové oblasti ojedinělé. Byla nalezena řada obdobných akumulací, které dosvědčují, že jde o jevy charakteristické pro oblast jádra kateřinohorské klenby, budovanou relativně lehkými, tvrdými a křehkými horninami granitoidní povahy. Akumulace různě velkých skalních zřícení lemují nejrychleji a nejvíce stoupající element krystalinického masívu, který se ke svému parametamorfni plášti chová až diapirově. Podél vnitrohorské hranice granitoidního jádra s pararulovým jižním křídlem klenby spočívají zřícené granitoidní bloky na pararulách. Podél vnější okrajové hranice krystalinika s neogenní pávní leží zřícené bloky na pánevních sedimentech. Akumulace drobnějších skalních zřícení lze však nalézt i ve vyšších partiích svahu pod jednotlivými dílčími svahovými krami krystalinika.

Mimo oblast největších skalních zřícení pod Jezerkou a Jánským vrchem je úpatí hor dále k SV lemováno deluvii mocnými 10–20 m. V úsecích, kde se více podílí parasérie, jsou mocnosti deluvií výrazně menší než v úsecích s převládajícími granitoidy. Pokud jde o dlouhé svahy, vydělují se v nejnižších částech svahů z hrubých deluvií postupně drobnozrnné typy rázu svahových písků s menším podílem kamenitých úlomků a ještě dále svahové písčité hlíny s ojedinělými úlomky.

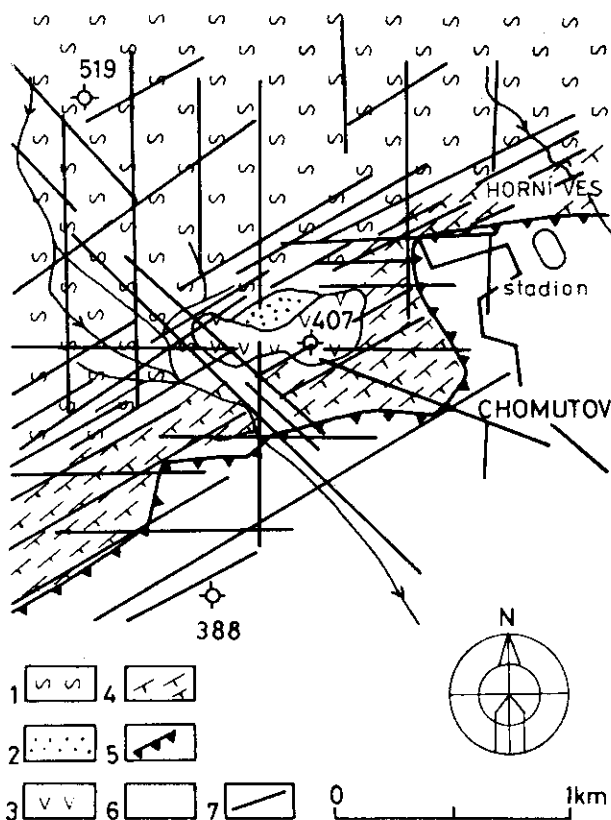
V úseku Pruněřov–Chomutov prochází krušnohorské úpatí širokým jižním křídlem kateřinohorské klenby, kde převažují různé horniny parasérie. Vytvářejí pruhy protažené kose k linii úpatí ve směru V-Z. Rozdílly v mechanických vlastnostech těchto různých hornin a hustší síť

drobných tektonických poruch zde způsobují výrazné zabuzení linie úpatí hor a roztržení okraje neogenní pánve zvláště v okolí Ahníkova a Zásady. Způsobují též rozčlenění hlavního horského svahu do stupňů a tenčích ker, z nichž každá má tendenci vytvářet vlastní plášt deluvií. Proto deluvia zde obvykle nedosahují větších mocností než 2 m, a to ani podél horského úpatí. Hrubé sutě s balvany větších rozměrů se nacházejí jen pod výchozy tvrdších, silněji migmatizovaných pararul (Kukačka), intruzivních ortorul (Poustevna), granulitů, amfibolitů či hadců (Hasištejn). V tomto převážně pararulovém úseku nebyly podmínky pro vývoj velkých skalních zřícení či podobných jevů. Drobnější gravitační deformace, zvláště u rigidnějších elementů, však ani zde nelze vyloučit.

Na opačné straně od oblasti jádra kateřinohorské klenby v s. okolí Horního Jiřetína až k Janovu se rovněž uplatňuje parasérie v severním obalu jádra. U Janova vystupuje při úpatí hor morfologicky separované návrší s výchozem žuloruly na temeni, oddělené od pararulové spodní části horského svahu širší depresí. Dochází zde až k morfologickému zdvojení horského svahu a k nápadnému zabuzení okraje pánve. Po zkušenostech s výskytem skalních zřícení pod Jezerkou a Jánským vrchem se předpokládalo, že i u Janova došlo ke zřícení granitoidů z vyšší partie svahu. Avšak postupem mapování a geofyzikálním průzkumem se prokázalo, že zdvojení svahu zde má jinou genezi. Je zapříčiněno tím, že tektonická linie predisponující úpatí hor zde přeskakuje na jinou rovnoběžnou poruchovou zónu za tvrdý granitoidní blok. Tento blok potom nabývá formy satelitní vyvýšeniny. V depresi mezi původním horským úpatím a satelitní vyvýšeninou byla zjištěna vulkanická diatrema pliocenního stáří o průměru 400 m. Je vyplněna nesourodným materiálem, jehož hlavní součásti jsou miocenní nadslojové jílovce. Tyto jílovce představují relikt pánevních sedimentů vzdálený od dnešního okraje pánve přes 600 m, zachovalý v oblasti krušnohorského svahu v mocnosti až 100 m díky tomu, že byl v trychtýři diatremy uchráněn před erozí. Diatrema se vyvinula na křížení směrné poruchové zóny s několika příčnými poruchami. Komplikované poměry v těchto místech byly ověřeny průzkumnými baňskými pracemi, jádrovými vrty v centru diatremy i kopanými sondami při jejím okraji (BŮŽKOVÁ et al. 1988).

Morfologicky obdobné poměry při krušnohorském úpatí byly ověřeny i při z. okraji Chomutova. Jako satelitní vyvýšenina zde vystupuje návrší Černý vrch, s opuštěným čedičovým lůmkem. Čedičový výlev překrývá tektonicky rozlámanou lavici paleogenních silicifikovaných pískovců se subhorizontálním uložením. Tato pozice dokazuje, že návrší Černý vrch náleží geneticky ještě do areálu pánve, kdežto vlastní horské úpatí je několik set metrů severněji. Je odděleno širokou depresí, která je vyplněna kvartérními deluviofluviaálními sedimenty anomálních mocností (přes 10 m). Tyto poměry indikují přítomnost výrazné směrné poruchové zóny predisponující a lemující horské úpatí v tomto úseku.

Mezi Pruněřovem a Chomutovem je ještě několik jiných drobných satelitních návrší, která představují tvrdší suky



3. Geologická situace Černého vrchu (kóta 407 m) a tektonická skica s hlavní směrnou poruchovou zónou podél úpatí Krušných hor při z. okraji Chomutova. 1 – paraly, 2 – paleogenní pískovce a kvarcity, 3 – čedič, vulkanické tufy nebo aglomeráty na povrchu terénu, 4 – podložní jílovce s vulkanogenní příměsí před čelem uhelné sloje, 5 – výchozová linie uhelné sloje, 6 – nadložní jílovce, 7 – tektonické linie.

pevnějších hornin (migmatitů a ortorul), odkryté erozí v okrajové partii pánve. Jsou obklopena erozními zbytky pánevních podslojových sedimentů ležících před čelem výchozu uhelné sloje. Zvláštním jevem mezi nimi je nízké návrší u Ahníkova, budované ultrabazickými horninami (serpentinizovanými pyroxenity). Tyto horniny jsou postřiženy zvětřením za tropického klimatu a druhotnou silicifikací při povrchu terénu. Silicifikace způsobila vývoj nepravidelně hlízovitých útvarů převážně zelené barvy a dosti atraktivního vzhledu, které by bylo možno klenotnický využít jako ozdobné kameny (MAREK 1988b). Asi 200 m s. od tohoto návrší bylo geofyzikálním průzkumem indikováno a několika jádrovými vrty prokázáno úzké dlouhé pásmo ultrabazik s orientací V-Z, sledovatelné více než 10 km, které na povrch terénu nevychází. Ultrabazika spočívá v podrcených paraulách, kde zřejmě doprovázejí významnější tektonickou poruchovou zónu kosé orientace vůči generální linii úpatí hor.

Satelitním vyvýšeninám se podobají i jiná morfologicky nápadná návrší při úpatí Krušných hor, která ale geologicky zůstávají součástí krušnohorské oblasti. Mají však izolovanou pozici při okraji krystalinického masívu. Vesměs jde o odělení vlivem intenzivního uplatnění tektonických poruchových zón v hlavním horském svahu. Kerná

(kulisovitá) stavba je zde zvýrazněna natolik, že místo vzniku schodovitého tvaru horského svahu došlo až k morfologickému izolování dílčích ker. Příkladem je Skřivánčí vrch u Málkova (jz. od Chomutova), vrch Hradiště (z. okraj Chomutova) nebo Kamenný vrch u Jirkova, které jsou zajímavé i z jiných důvodů. Paraulový Skřivánčí vrch je prokuttán středověkou dobývkou na stříbrnosný galenit. Novou dokumentací této dobývky během mapování se ověřilo, že sleduje zrudněné tektonické poruchové zóny vz. orientace a rozrážky z hlavní sledné štoly jsou v místech křížení s poruchami systému S-J (příl. 2).

Vrch Hradiště je budován ortorulami i paraulami silně zvětřalými, kaolinizovanými a při povrchu i lateritizovanými. Na temeni vrchu spočívá subhorizontální lavice silicifikovaných pískovců asi 12 m mocná, představující erozní zbytek miocenních sedimentů nadslojové série, zachovalý v horské oblasti mimo dnešní rozsah neogenní pánve, zřejmě díky zmíněné silicifikaci (příl. VI/1).

Silicifikovaná lavice uchránila před erozí i mocnou a silně zvětřalou zónu podložního krystalinika. Tropicky zvětřalé krystalinikum na svahu tohoto návrší je proto zdrojem mimořádně mocných a barevně pestrých deluvií, tzv. „pestrých sutí“. Pestrá deluvia zasahují daleko do pánevní oblasti, až do vzdálenosti 3 km od linie úpatí hor. Silicifikovaná lavice na temeni vrchu se podél svého obvodu rozpadá na bloky, balvany i menší úlomky, které „plavou“ ve svrchních partiích deluvií a dostávají se spolu s nimi daleko do pánve. Tyto balvany se zde vyhledávaly a opracovávaly jako kvalitní stavební kámen, na mlýnské kameny, sokly, obrubníky aj. řadu staletí při s. okraji Černovic. Jednotlivé izolované balvany s průměrem často přesahujícím 2 m se na některých místech ploché pánevní oblasti druhotně nakoncentrovaly do shluků a linií. Morfostrukturní analýza širšího okolí potvrzuje, že tyto shluky bývají protaženy v některém z význačných tektonických směrů a ke koncentraci dochází na tektonických liniích. Zřejmě to způsobila soliflukce v pleistocénu, kdy se balvany pohybující po permafrostu nahloučily pod dřívě výraznějšími terénními hranami predisponovanými tektonikou.

Na Kamenném vrchu jsou poměry zčásti analogické. Na temeni spočívá rovněž erozní troska silicifikovaných pískovců, avšak jiného stáří i geneze; HOKR a KRÍŽ (1976) prokázali její mořský původ a tím i křídové stáří. I zde silicifikace pokryvných sedimentů zabránila erozi hluboce zvětřalého krystalinika, až došlo k inverzi reliéfu. V důsledku toho při úpatí hor dnes morfologicky vyčnívá kra zcela zvětřalého (v ruce rozpadavého) krystalinika (svorových rul), zatímco území dále do hor, budované pevnějším krystalinikem, má naopak tvar široké deprese. Na bočním svahu návrší byly identifikovány schodovitě zakleslé útržky sedimentů z temene návrší. K jejich zaklesnutí došlo podél tektonických zón příčného systému SZ-JV, který též predisponoval koryto sousední Bíliny. V údolním dnu Bíliny byly zjištěny pozůstatky skalních zřícení pravděpodobně z bočních svahů, z období zvýrazňování jejich reliéfu (zahlabování toku) – MAREK (1979b).

Částečně analogické jsou poměry též při úpatí Jedláku u bývalé obce Kundratice. Na plochem výběžku pararulového krystalinika zde byly identifikovány relikty miocenních podslojových sedimentů (příbřežních brekcí) i křídových silicifikovaných pískovců a slínovců. Důvodem uchování těchto sedimentů i hluboce zvětralého krystalinika při úpatí hor pod strmými svahy granitoidního jádra kateřinohorské klenby je relativně opožděný výzdvih dílčí tektonické kry. Eroze ještě nestačila odstranit relikty miocenního i křídového pokryvu.

Jiné výskyty křídových hornin na povrchu terénu nebo pod kvartérním pokryvem byly zaznamenány ve výkopu pro podkrušnohorský vodní převáděč u Černic. Rovněž v řadě vrtů inženýrskogeologického či hydrogeologického průzkumu byly křídové sedimenty identifikovány dosti hojně v podloží miocenních pánevních uloženin podél krušnohorského úpatí. Potvrzuje se tak rozšíření sedimentů cenomanského i turonského stáří od SV i JV až k Chomutovu. Jde o glaukonitické i bezglaukonitické pískovce, v jejichž nadloží jsou místy též slínovce s různě výraznými stopami kaolinizace i lateritizace.

V úseku strmých svahů Krušných hor nad Albrechticemi a Černicemi bylo vymapováno fosilní koryto Černického potoka, kdy ještě zachovával směr toku SZ-JV ve smyslu tehdy převládajících tektonických dispozic před maximálním výzdvihem horského pásma a převládáním jiných tektonických dispozic. Původní koryto využívá potok jen ve vrcholové horské oblasti, která má tvar ploché paroviny. Na horní hraně hlavního horského svahu se dnes potok náhle zalámuje a teče ve směru největšího spádu, před dosažením úpatí potom nápadně meandruje podél směrných tektonických zón systému SV -JZ. V původním opuštěném korytu v horní partii horského svahu drapáková sonda potvrdila výskyt šterkovitých uloženin. Při úpatí hor byl vymapován fosilní výplavový kužel (příl. 1).

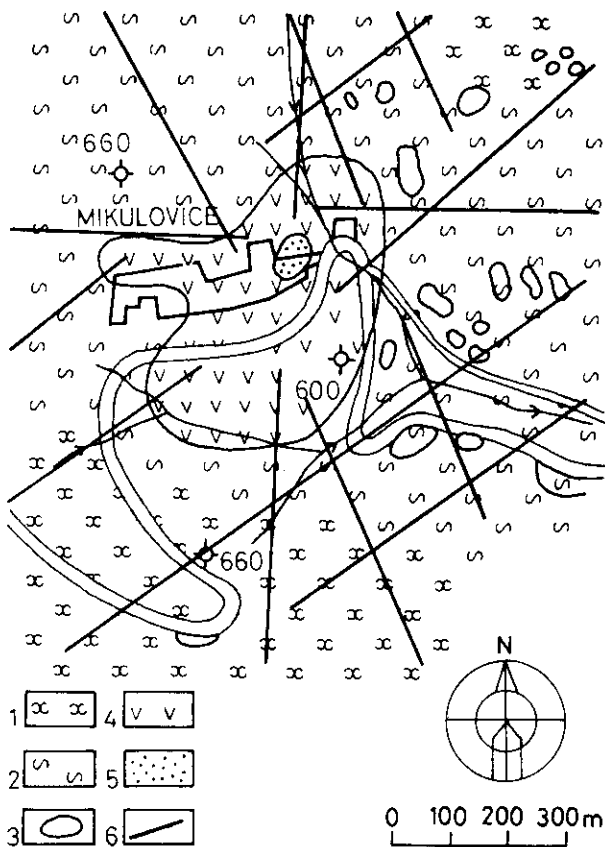
Méně nápadné, ale dosti četné analogie opuštěných potočních koryt byly nalezeny i v prostoru Pruněřov–Chomutov. Horské potoky Lideňský, Lužnička, Hačka aj., s převážující orientací S-J, protínají opuštěné bezvodé deprese s orientací SZ-JV nebo Z-V, kudy dříve protékaly. Asi 700 m s. od Málkova byly v takové opuštěné vnitrohorské depresi nalezeny pod kvartérním pokryvem pevné limonitizované slepence. Tvoří lavici mocnou asi 1 m a představují stmelенý fluvialní sediment z doby před maximálním výzdvihem horského pásma, tj. asi z počátku pliocénu. Jsou tedy zhruba soudobé se silicifikovanými pískovci z vrcholu Hradiště (obr. 5, příl. VI/4).

Úpatí hor je téměř souvisle lemováno šterkovitými proluviálními sedimenty. Obsahují materiál vyplavený výhradně z krušnohorské oblasti. Nemají větší charakter „hrnutého materiálu“, jakési nevytřídněné směsi úlomků pevných hornin, písku a hlíny, jak se o nich dříve soudilo. Obvykle jde o dobře zaoblené hrubé šterky s písčitou výplní, kde kamenité součásti zcela převládají a tvoří kostru a hlinitá příměs je jen slabá (příl. VII/1). Granitoidní horniny do nich dodaly velké balvany, které jsou proto hojné pod těmi svahy, kde tyto horniny převládají (Jedlák, Jezerka, Jánský vrch, Jezeří, Kapucín). Příměs

hlinitých součástek je výraznější jen při povrchu šterkovitých akumulací v blízkosti hlavního horského svahu, tj. bezprostředně podél linie úpatí hor. Hlinitá příměs pochází převážně z mladších deluvií, které překrývají nebo dříve překrývaly proluviální akumulace. Kromě těchto případů byla jen výjimečně zastižena proluvia více hlinitá, drobnozrná nebo s nízkým podílem šterkovitých valounů. Prstovité výběžky výplavových kuželů jsou roztaženy až přes 3 km do centra pánevní oblasti. Podél úpatí hor je celá řada výplavových kuželů (některé z nich fosilní), které se často překrývají či spojují a vytvářejí tak víceméně souvislý plošný pokryv. Mocnosti jsou různé, v závislosti na nepravidelném nanášení a erozi horských potoků, na nerovnostech podkladu v důsledku tektoniky nebo různých dalších vlivů, jako je promrzání v pleistocénu a naduřování jilovitého podloží apod. Největší mocnosti se blíží 20 m.

V materiálu výplavových kuželů byly místy zaznamenány neobvyklé komponenty, např. balvany křídových hornin, jaké se dnes v horské oblasti již nenacházejí (barevně pestré slínovce či pískovce). V kuželu Mořicova potoka u Kundratic byly v průběhu skrývkových prací uhelného lomu odkryty vrstvy redeponovaných miocenních jílů i uhlí. V kuželu Hutné u Málkova jsou mocné mezivrstvy kaolinických jílů, které pocházejí ze sousedního vrchu Hradiště a představují deluvium tropicky zvětralého krystalinika. Některé tyto polohy dokazují dřívější větší rozsah pánve. Ve všech takových případech jde o oblasti, kde v krušnohorském pásmu převládají horniny parasérie a kde se v důsledku jejich mechanických vlastností vyvinul mírnější reliéf. V takových oblastech mohla pánve v minulosti zasahovat ještě několik set metrů (max. cca 2 km) za dnešní hranici. Naproti tomu v oblastech s převažujícími granitoidními horninami se zpravidla vyvinuly strmé horské svahy a dnešní okraj pánve je zhruba v těch místech, kde byl i v miocénu. Dokazují to též úložné poměry pánevních sedimentů, zejména výskyt hrubých příbřežních klastik, do kterých vyklíňuje nebo vyhluchává uhelná sloj při úpatí hor.

Ve vrcholové horské oblasti nad Horním Jiřetínem u Mikulovic je nápadná terénní deprese mísovitého tvaru (příl. V/3, obr. 4). Mapování i podrobný vrtový průzkum zde ověřily existenci vulkanické diatremy o průměru asi 500 m. Vyvinula se v místech křížení několika významnějších tektonických poruch systémů V-Z, S-J a SV-JZ. Vrt NOV-2 v centru deprese zastihl přírodní kanál vyplněný intruzivní brekcí dvou generací. Ve výkopu pro obecní vodovod byly nalezeny těsně pod povrchem terénu středně zrnité rozpadavé pískovce. Tvoří vrstvu mocnou asi 1 m a spočívají v subhorizontální poloze na zvětralých vulkanických tufech. Mikroskopická analýza potvrdila, že materiál pískovců pochází z nejbližšího okolí, rostlinné zbytky určila M. Benešová (in BŮŽKOVÁ et al. 1988) jako pliocenní. Je tedy zřejmé, že jde o maarový sediment. V žádném případě nejde o reliktní pánevních miocenních sedimentů, který by se uchoval ve vrcholové oblasti Krušných hor, kdyby se zde takové sedimenty dříve vyskytovaly (ve smyslu velevrásové teorie HURNÍKA a HAVLENY, 1984).



4. Geologická situace pliocenní diatremy ve vrcholové oblasti Krušných hor u Mikulovic a její tektonická predispozice. 1 – ortoruly, 2 – pararuly, 3 – výchozy krystalinika, 4 – vulkanické tufy a brekcie, 5 – pískovce, 6 – tektonické linie.

Další drobné vulkanické proniky (brekcie, čediče) byly nalezeny i na jiných místech údolí Jiřetínského potoka i ve vrcholové horské oblasti. Pokud se tyto výskyty uvedou do souvislosti s výše popsanou diatremou, s dříve uvedenou diatremou u Janova i s dříve známými proniky u Hory Svaté Kateřiny a v Louce u Litvínova, potvrdí se existence významné tektonické vulkanizované linie směru Z-V, aktivní v pliocénu, kterou KOPECKÝ (1988) nově nazývá „janovskou vulkanickou linií“.

Rovněž jiné tektonické poruchové zóny v krystaliniku obsahují vulkanické proniky. Byly např. zjištěny horizontálními mapovacími vrty ve svahu Pětihoru i jinde. Proniky bývají silně zvětralé, mívají podobu žlutozeleného jílu, charakter původní horniny lze jen stěží identifikovat. Rozsáhlejší poruchové zóny však mohou obsahovat i pevnou nerozloženou vulkanickou horninu. Například v horní partii strmého svahu za dlíčem vrcholem Jezerka byl ve směrné poruchové zóně hlouben hluboký svislý jádrový vrt pro osazení monitorovacího zařízení (JZ-54). Prošel pevným čedičem s nepravou mocností téměř 100 m, který evidentně intrudoval do rozdrčeného krystalinického materiálu poruchové zóny a na povrch terénu nevychází. Na sousedním vrcholu Jedlák je na křížení několika tektonických zón drobná kupa čediče odkrytá malým lůmkem (příl. V/4).

V oblasti Prunéřov–Chomutov se drobné čedičové proniky i rozsáhlejší diatremy nápadně orientují do linie směrově souběžné s linií úpatí hor. Jsou v místech, kde se tato linie kříží s některým příčným tektonickým systémem. Asi nejrozsáhlejší je výskyt u statku Ušák, kde je v odřezu železniční tratě odkrytá komínová brekcie s kulovitými balvany rozloženého čediče a s rulovými xenolity. Většinou asi jde o erupční aktivitu z období II. neovulkanické fáze, před sedimentací bazálních členů pánevního souvrství a před hlavním morfologickým rozdržením horské a pánevní oblasti. Nejsou však vyloučeny ani mladší intruze. Podle KOPECKÉHO (1988) se tato magmata vyznačují svéráznou minerální asociací, dokládající hlubinný dosah tektonických poruchových zón.

Výchozy nebo přirozené odkryvy pánevních sedimentů jsou a byly podél úpatí hor jen vzácné. Obvykle to byla místa, kde eroze potoků stékajících z hor odstranila kvartérní pokryv a odkryla nadložní jílovce, někdy i uhelnou sloj. Sloj nebo sedimenty z jejího bezprostředního sousedství se staly předmětem těžby už v dávnějších dobách a sloužily pro různé účely (barviva, hnojiva, kamence, posléze i palivo). V rozsáhlejší oblasti Prunéřov–Chomutov bylo pouze jedno takové místo u Ahníkova (charakteristický název „Na sklípku“), v oblasti Jiřetín dvě (u Albrechtic a u Horního Jiřetína). Rozsáhlejší plošné odkryvy pánevních sedimentů jsou až dále od úpatí hor, mimo dosah proluviálních či deluviálních jazyků zasahujících do pánevní oblasti.

Kromě proluvií a deluvií je povrch pánevní plošiny pokryt kvartérními fluviálními nánozy potoků, splachovými sedimenty v neprůtočných depresích a limnickými uloženinami mladých holocenních jezer. Mocnosti těchto sedimentů jsou obvykle nevelké, do 6 m, ale geologicky dosti významné. Úzké pruhy potočních a splachových sedimentů indikují linie tektonických systémů a zón, které bývají jinak v ploché pánevní oblasti málo zřetelné, a proto často zpochybňované. Tektonické linie většinou projevují návaznost na tektonické systémy v horském pásmu, kde jsou snadněji rozpoznatelné v reliéfu terénu i jinak. To napomůže odhadnout tektonickou členitost a porušenost pánevní výplně. Výskyty jezerní gytty, křemeliny nebo slatinné rašeliny dokládají původní rozsah holocenních jezer. Pod strmými svahy hor mezi Jirkovem a Horním Jiřetínem se rozprostíralo rozsáhlé Komořanské jezero, ještě v historické době největší v Čechách. Postupně se zanášelo a stahovalo do centra pánve. Zbytek jezera o rozsahu asi 500 ha mezi Dřínovem a Dolním Jiřetínem byl uměle vysušen v 30. letech minulého století. Samotná existence kvartérního jezera dokládá poklesovou tendenci té části pánve, která bezprostředně sousedí s nejlépe vyzdvihovanou částí horského masívu – s granitoidy jádra kateřinohorské klenby. Tektonický původ tohoto kontrastu dokládá ve stejném místě i pánevní struktura – anomálním zvětšením mocnosti uhelné sloje podél úpatí hor v pásmu Jezeří–Albrechtice–Černice–Horní Jiřetín (ELZNIC 1961).

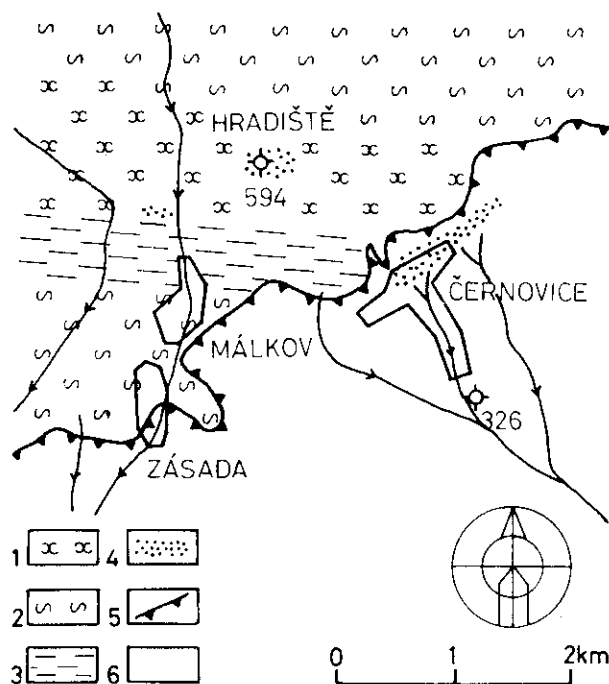
Pod strmými svahy hor mezi Kandraticemi a Horním Jiřetínem výchozová partie uhelné sloje vytváří jenom

úzký lem okraje pánve. V tomto úseku se vyvinul zvláštní prvek sedimentárního komplexu – jílovitopísčité slídnaté splachy z krystalinika. K splachům docházelo v průběhu ukládání pánevních sedimentů v důsledku souběžného vyklenování hor a intenzivní eroze krystalinika i rozsáhlých tektonických poruchových zón protínajících granitoidní horniny. Jsou přítomny v rámci různých stratigrafických členů miocenního souvrství, zejména v nadloží jílovců nadslojové série pod kvartérním pokryvem. V úseku mezi Albrechticemi a Černicemi tvoří až několikametrovou vrstvu, která svými mechanickými vlastnostmi (nízkou smykovou pevností) představuje prvek podstatně snižující stabilitu svahu v případě rozsáhlejších zemních prací při patě svahu.

Naproti tomu pod mírnějšími svahy hor, např. v oblasti Prunéřov–Chomutov, kde převládá parasérie, výchozová partie uhelné sloje vytváří širší pásmo oddělené od krystalinika horského masívu plošně rozsáhlými zbytky podslojových sedimentů, zvláště jílovců pestrých barev s vulkanogenní příměsí. Tyto zbytky se uchovaly hlavně v depresích předpánevního reliéfu v mocnosti od několika dm až do desítek m.

U Drmal sv. od Jirkova jsou při úpatí hor velké starší pískovny. Výše ve svahu byly vymapovány reliktů zpevněných pískovců (příl. VI/2) a ještě výše morfologické znaky starého toku, který tyto sedimenty akumuloval. Směrem do centra pánve tato klastika pokračují se stále vzrůstající mocností v podloží slojového souvrství, až u Kyjic dosahují mocnosti kolem 100 m. Je tak dáno jejich nejméně spodnomiocenní stáří. Ojedinele obsahují čočky bělavých kaolinických jílů, které napovídají, že jde o redeponované zbytky sedimentů křídového stáří erodované z krušnohorských svahů v paleogénu, před vznikem uhlovtorného močálu v neogenní pánvi. Pruh těchto klastických sedimentů i morfologické zbytky koryta v horách nesou znaky tektonické predispozice příčného systému SZ-JV. Klastická akumulace byla později schodovitě rozčleněna, příp. až roztrhána tektonikou systému SV-JZ při vyklenování horského pásma podle tohoto tektonického systému.

U Černovic jz. od Chomutova byly v nadloží uhelné sloje již v minulosti pozorovány pískovce v několika vrtech uhelného průzkumu. Podobně byly zastiženy i ve vrtech inženýrskogeologického průzkumu pro podkrušnohorský vodní převáděč (NĚMEČEK 1959). Tyto údaje se dlouho považovaly za nevěrohodné, jelikož všude jinde byly z nadloží sloje známy jen monotónní šedé jílovce, anebo pískovce byly považovány za kvartérní pokryv. Při výkonu převáděče v letech 1960–1961 v nich však Váně a Bůžek našli zbytky miocenní fauny (nepublikováno), takže potom byly s určitou nevěrou považovány za zvláštní klastickou facii nadložního miocenního souvrství. V průběhu mapování byly při přehodnocování archivní dokumentace konstatovány v celé řadě starších ložiskových vrtů, kde unikly evidenci, jejich přítomnost byla nakonec potvrzena výkopem na místním fotbalovém hřišti. V areálu Černovic tak vychází dosti rozsáhlá oblast klastické facie svrchní části miocenního nadložního sou-



5. Geologická situace klastických sedimentů svrchnomiocenního až pliocenního stáří na Hradišti, u Černovic a u Málkova (tektonika není vyznačena). 1 – ortoruly, 2 – pararuly, 3 – granulitové ruly, 4 – pískovce, kvarcité, konglomeráty, 5 – výchozová linie uhelné sloje, 6 – miocenní nadložní jílovce.

vrství, mocná několik desítek metrů, která časově i prostorově navazuje na výskyt pískovců na temeni vrchu Hradiště sz. od obce, přestože mezi oběma lokalitami je výškový rozdíl přes 200 m a vzdálenost přes 1,5 km. Pravděpodobně jde o uložení jednoho toku zasahujícího do pánve z horské oblasti (HOKR et al. 1978). Značný výškový rozdíl byl ovlivněn pozdějším výzdvihem horského pásma. Zatímco pískovce na Hradišti jsou silně silicifikovány, pískovce u Černovic nikoli. Z toho lze vyvodit, že silicifikace v závěru neogénu neměla již regionální charakter. Byla spíše vázána na některé významnější tektonické linie a zóny uplatněné v procesu vyklenování hor.

Výchozová linie uhelné sloje pod kvartérním pokryvem podél úpatí Krušných hor (tzv. čelo sloje) je generálně orientována ve směru úpatí, tj. SV-JZ až VSV-ZJZ. Směrem jz. i sv. od přínosového kuželu žatecké delty má však tato generální linie četné místní odchylky ovlivněné litologickými změnami podložního krystalinika a tektonicky. Protože jde většinou o erozní hranici, lemuje dnes čelo sloje výběžky odolnějších hornin a v detailu se přizpůsobuje tektonickým poruchovým zónám. Dochází tím k prohýbání až roztržení výchozové linie, což je důležitým znakem pro identifikaci tektonických zón a systémů v pásmu úpatí hor (příl. 1, 2). Zprohýbání čela sloje bývá výraznější než zprohýbání okraje pánve, který ohraničuje výskyt reliktů podložních sedimentů před čelem sloje.

Úklony uhelné sloje i ostatních pánevních sedimentů podél úpatí jsou různé. Je možno konstatovat, že v úsecích,

kde v podloží a předpolí pánve převládají parametamorfity, jsou úklony sedimentů převážně mírné do 20°, jen s ojedinělými výjimkami, kdy jsou strmé až svislé. Zatímco převládající mírné úklony bývají známy z vrtné dokumentace uhelného průzkumu, k odkrytí úseků se strmými svahy dochází spíše náhodou až během těžby v důlních provozech. Například v r. 1984 byl zastižen svislý úsek v šířce několika set metrů ve velkolomu Merkur u Prunéřova, přestože v jeho těsné blízkosti je sloj uložena subhorizontálně. Místa strmých anomálií jsou s největší pravděpodobností modifikována tektonikou z krystalinického podloží pánve, přestože vlastní zestržení sedimentů mává formu plastické bezzlomové deformace. V oblastech, kde v podloží a v předpolí pánve převládají granitoidy, jsou úklony okrajové partie pánevních sedimentů vesměs strmé. Potvrzení tohoto poznatku přinesl zvlášť podrobný inženýrskogeologický průzkum u Jezeří (MAREK 1981). Zde se též ověřil úzký vztah strmých úklonů pánevních sedimentů k strmé tektonické poruchové zóně v jejich podloží.

Celkově vyniká mimořádný význam tříštivé tektoniky v geologické stavbě regionu a při řešení inženýrskogeologických otázek pásma úpatí Krušných hor. Již na počátku mapovacích prací však bylo nutno konstatovat, že problémy týkající se tektoniky zůstaly nejslabším článkem předchozího základního geologického výzkumu i ložiskového průzkumu oblasti. Bez nového řešení tektoniky nelze podat inženýrskogeologické podklady odpovídající projekci velkorosých zásahů do krajinného prostředí. Ve zmlazeném reliéfu horské oblasti jsou účinky tektoniky dobře zřetelné, kdežto v pánevní oblasti naopak zastřené, deformované exogenními činiteli a navíc báňskými geology často zpochybňované (přes velké odkryvy v uhelných provozech chybí soustavná dokumentace a evidence projevů). Při úpatí hor jsou účinky tektoniky navíc zastřeny mocným kvartérním pokryvem. Proto vzrůstá význam rozpoznání tektonických projevů v horské oblasti, neboť na jeho základě lze snáze řešit poměry v podloží pánve, odhadnout deformace pánevní výplně a správně pochopit detaily geologické stavby dočasně odkrývané v příležitostných odkryvech (např. v důlních provozech). Inženýrskogeologické mapování na velkých územních areálech v předpolí uhelných velkolomů poskytlo příležitost doplnit chybějící znalosti i vyvinout vhodnou metodiku zjišťování tektonického rozvolnění prostředí (MAREK 1985b). Uvedeme ty závěry, jejichž platnost se jeví pro pásmo krušnohorského úpatí jako obecnější.

Celá rozsáhlá střední část Krušných hor od Klášterce nad Ohří po Litvínov je postížena četnými tektonickými poruchovými zónami několika geometrických systémů, které se vzájemně protínají bez nápadných horizontálních posunů, takže je nsnadné a nejisté dešifrovat jejich relativní stáří, resp. uplatnění. Většinou je lze považovat za staré, nejméně variského stáří, spíše jsou ještě starší. V průběhu morfotektonického vývoje regionu docházelo k jejich postupné rejuvenaci za rozdílných a měnících se podmínek napětí. Přitom se tvořily nové poruchy, které se však odvíjejí ze staršího tektonického plánu a respektují

původní směry (nikoli však již sklony). V ploše mapy jde o 3 navzájem zhruba kolmo se protínající dvojice linií. Každá z dvojic vykazuje charakteristickou orientaci i rozestup (ekvidistance), které se místo od místa poněkud mění podle mechanických vlastností hornin převládajících v krystalinickém masívu.

Jako pravděpodobně nejstarší se projevuje systém SZ-JV (tzv. příčná krušnohorská tektonika). Tento systém měl dominantní roli až do silnějšího morfologického uplatnění (oživení) systému SV-JZ (tzv. směrné krušnohorské tektoniky). Rozestupy hlavních poruch obou těchto systémů jsou zhruba 80–200 m. Ve větších celcích ortorul a granitoidů jsou poruchy řidší, ale výrazné; v měkčích a plastičtějších horninách parasérie jsou hustší, ale málo výrazné. Jako mladší se uplatňují systémy S-J a V-Z, avšak dosti nerovnoměrně. Rozestupy jejich hlavních poruch jsou obvykle poněkud řidší než u předchozí dvojice. Výrazný je zejména systém S-J v granitoidních oblastech, který lze sledovat na dlouhé vzdálenosti i v pánevním prostředí. Jako nejmladší se projevuje dvojice systémů SSZ-JJV (až ZSZ-VJV) a SSV-JJZ. Uplatnění těchto systémů je nejméně pravidelné, většinou s rozestupy ještě řidšími; zatímco v oblasti Jirkov–Horní Jiřetín jsou poměrně vzácné, v oblasti Prunéřov–Chomutov jsou dosti hojné a místy i hustě koncentrované. V celé popisované střední části Krušných hor a v přilehlé části severočeské pánve byly zaznamenány jenom tyto uvedené systémy. Nebyly zaznamenány žádné jiné, odchýlné nebo místní systémy. Pouze při hranicích granitoidních celků masívu dochází k nápadnému rozestupování a mírnému stáčení směru jednotlivých linií. Tektonické linie zřetelné v horské oblasti většinou pokračují bez nápadného přerušování i do pánevní oblasti, ve které se jejich evidence postupně zeslabuje a vytrácí.

Tektonické poruchy jsou vesměs strmého úklonu 60° až 90°, s variabilním úklonem na obě strany (1, 2). V jednotlivých morfotektonických liniích se střídavě uplatňují velké zlomy doprovázené mylonity, drobnější zlomy a dislokace i pásma silnějšího rozpukání bez registrovatelného pohybu, v závislosti na místních podmínkách. Často jsou zvýrazněny doprovodnými jevy. Byly zaznamenány tektonické brekcie, cizorodé výplně (aplit, pegmatit, silicity, křemenné žíly s rudami, hematitové šmouhy, porfyr, neovulkanity), volné kaverny (místy s vývinem krystalů, zvláště křemene), rozsáhlé chemické alterace, ojediněle i zvýšená radioktivita. Pro poruchy příčného systému SZ-JV jsou typické hematitové šmouhy nebo častá výplň křemen-hematitové či fluorit-barytové žiloviny. Pro poruchy směrného systému SV-JZ jsou typické chemické alterace okolí v rozsahu desítek metrů výskyt brekcií a mylonitů, zvláště v pásmu podél úpatí hor. Hlavní porucha tohoto systému při úpatí hor (která není všude totožná s linií úpatí horského pásma nebo s generelním okrajem pánve) nabývá mocnosti až kolem 300 m. Alterace podél některých směrných poruch je tak intenzívní, že krystalinické horniny nabývají charakteru písčito-jílovité zeminy s různě velkými celky méně rozloženého krystalinika, případně až monotónního kaolinického jílu bez patrné





1	2
3	
4	



1. Strmé svahy granitoidní partie Krušných hor v oblasti jádra kateřinohorské klenby. V popředí vrchol Jezerky, vzadu nad úpatím zámek Jezeří.
2. Výchoz krystalinika ve vrcholové oblasti hor s výraznými stopami tektoniky a pleistocenních klimatických změn.
3. Žalorula na temeni Jezerky a Jánského vrchu postrádá foliaci. Z horninové masy nápadně vystupují velké vyrostlice živečů.
4. Silně migmatizovaná rula s výraznou foliací v údolí Pruněfovského potoka pod Hasištejnem. Rozpadá se do velkých plochých lavic a desek.

Foto J. Marek



1	2
3	4

1. Rozpad krystalinika ve vrcholové horské oblasti je zdrojem kamenitých úlomků, které byly odstraňovány při zemědělské kultivaci pozemků.
2. Výchozy krystalinika na horských svazích mají často mohutné rozměry a jsou většinou omezeny tektonickými plochami.
3. Rozvěřená sluj v horní části svahu Jezerky. Dokládá účinky tektoniky a pohyb ker v horském svahu.
4. Rozvolňování výchozů krystalinika na hlavním horském svahu podél tektonických ploch účinky mrazu a gravitačními pohyby.

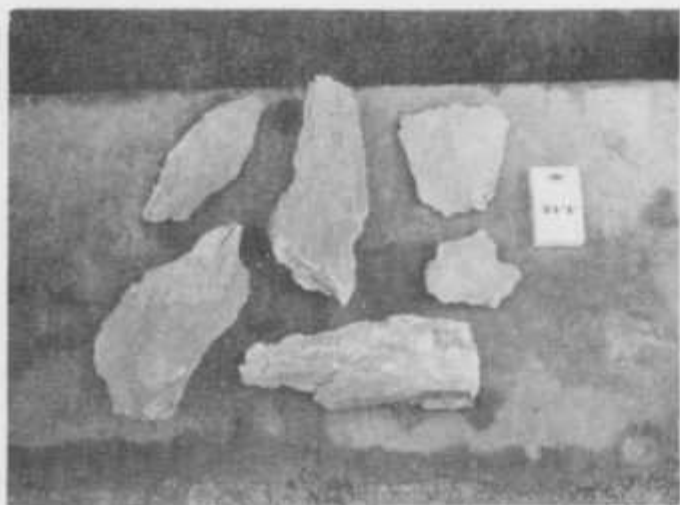
Foto J. Marek



1	2
3	4

1. Hluboká rokle v oblasti svorových rul při úpatí hor u Nové Vízky. Je projevem významné směrné tektonické zóny.
2. Středověká štola na železnou rudu u Jezeří sleduje tektonickou zónu příčné orientace. Vlevo vyhlazená plocha zlomu, která tvoří jednu stěnu štoly.
3. Část rozsáhlé tektonické poruchové zóny v krystaliniku na úpatí Krušných hor v podzemních prostorách u Albrechtic.
4. Vyhlazená zlomová plocha odkrytá při ražbě vodo hospodářské štoly při úpatí Krušných hor u Albrechtic.

Foto J. Mrázek (1, 2, 3) a J. Štoviček (4)



1	2
3	
4	



1. Tektonické souvky mylonitizované ruly ze směrné tektonické poruchové zóny zastižené vodohospodářskou štolou u Albrechtic.
2. Kontakt pevné ortoruhy (ve spodní části snímku) s drceným materiálem poruchové zóny, odhalený ve sklepe zámku Jezeří.
3. Průzkumná štolá ražená z úpatí hor kolmo do krystalinického masívu pod zámkem Jezeří.
4. Průzkumná šachta se štolou ověřující geologickou situací na úpatí Krušných hor u Černic.

Foto J. Marek (1) a J. Mrázek (2, 3, 4)



1	2
3	
4	

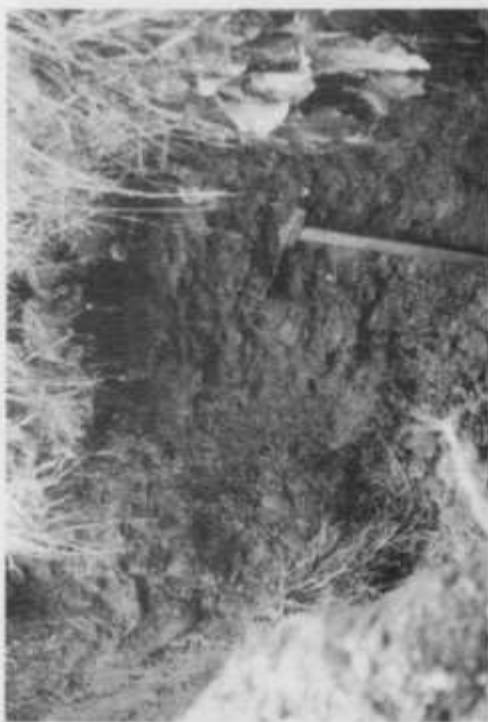
1. Ústí jedné z mnoha starých štol v krušnohorské oblasti. Poskytují cenné doklady o účincích tektoniky v krystalinickém masívu.

2. Nově upravený portál středověké dobývky prorážející Skřivánčí vrch u Málkova. Dokládá přítomnost zruďněných tektonických zón systému V-Z a S-J.

3. Terénní deprese ve vrcholové horské oblasti s osadou Mikulovice nad Horním Jifetínem. Byla zde ověřena přítomnost pliocenní vulkanické diatremy, jejíž vznik byl podmíněn křížením několika tektonických zón.

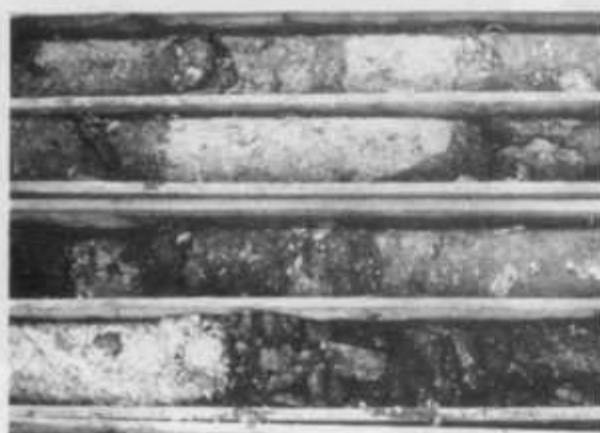
4. Čedičový výlev ve vrcholové horské oblasti na temeni Jedláku. Byl podmíněn křížením několika výraznějších tektonických zón.

Foto J. Marek



1	2
3	4

1. Mocná lavice silicifikovaných pískovců na temeni Hradiště se podél obvodu rozlamuje na bloky, které sjíždějí po kaolinicky zvětralém krystaliniku.
2. Horizontálně zvrstvené pískovce na horném svahu nad Drnaly. Jejich pozice dokládá paleogenní nebo spodnomiocenní stáří a původ materiálu z krušnohorské oblasti.
3. Odhrýv rozpadavých pískovců ve vodovodní rýze v Mílnovíciích. Společně v centru pliocenní dilatace a představují maaarový sediment ve vrcholové oblasti Krušných hor.
4. Hrubý konglomerát z opušteného koryta horáckého potoka nad Málkovem. Jde o fluviaální sediment zřejmě pliocenního stáří.



1	2
3	4

1. Mocná akumulace proluviálních štěrků při úpatí Krušných hor u Kunderatic. Kostru tvoří dobře zaoblené valouny krystalických hornin krušnohorského původu.
2. Počátek odštěžování blokových deluvií akumulovaných v okolí Šibeniční hůrky u Dřínova. V popředí zřícené bloky pod svahem Jezerky.
3. Vrtné jádro z úpatí Krušných hor pod Jezeřím. Dokládá rušení tvorby uhelné sloje přínosy krystalinického materiálu z horského svahu.
4. Deformované kmeny stromů dokládají plazivý pohyb deluvií na horském svahu u Lídně.

Foto J. Marek



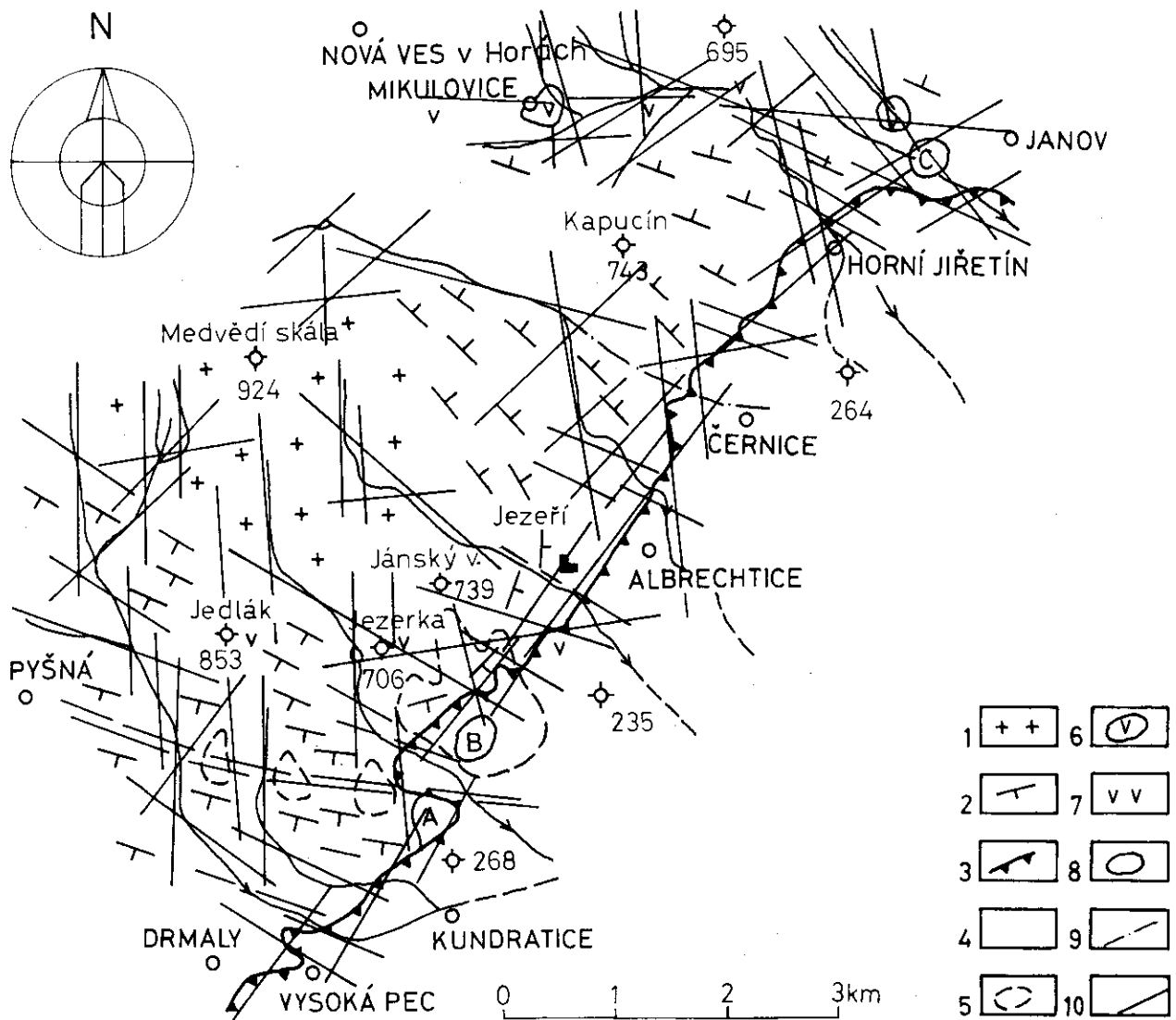
1	2
3	
4	



1. Těžba skrývky při postupu uhlénoho velkolomu Čs. armády zasáhla v r. 1982 do pásma úpatí Krušných hor pod Jezerkou a Jánským vrchem.
2. Sesuv několika skrývkových řezů v jarních měsících r. 1988 odkryl zlomovou plochu směrné poruchové zóny při úpatí Krušných hor.
3. Horizontální mapovací vrt v horském svahu nad Horním Jiřetínem. Ověřil tektonickou postíženost masívu a byl využit pro osazení geotechnické aparatury (křehkých vodičů) pro sledování případných pohybů.
4. Samohybná drapáková souprava Poclair hloubící širokoprofilové sondy do hloubky 6 m. Je vhodnou náhradou za kopané sondy a v horském terénu se velmi osvědčila.

Foto J. Marek (1, 2, 4) a J. Berenda (3)

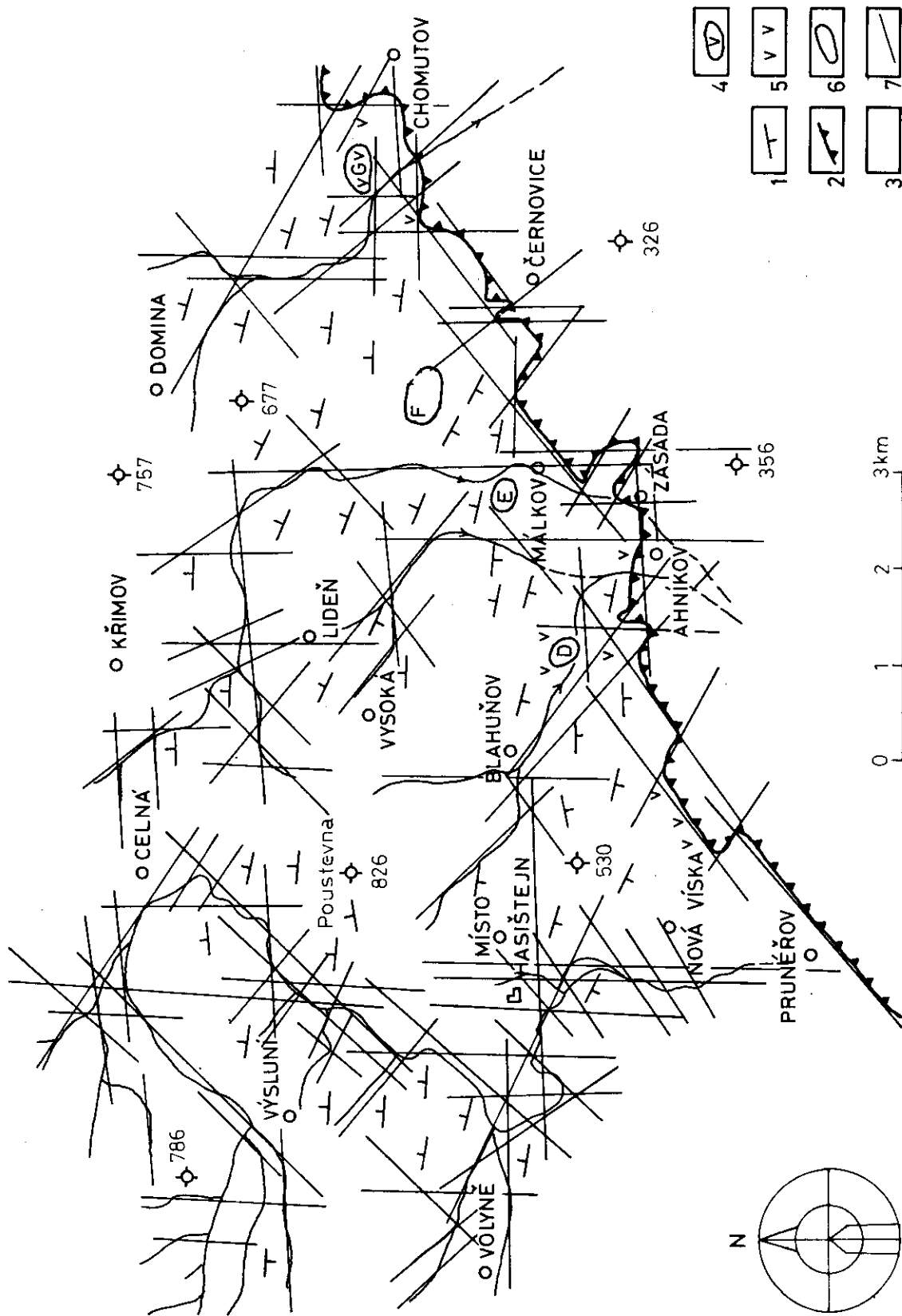




Tektonická predispozice výchozové linie uhelné sloje a koryt horských potoků mezi Drmalý a Janovem

1 – granitoidní krystalinikum bez výrazné foliace, 2 – směr a sklon převládající foliace v krystaliniku, 3 – výchozová linie uhelné sloje, 4 – jílovité pánevní sedimenty, 5 – akumulace blokových deluvií, 6 – neovulkanické diatremy, 7 – neovulkanické intruze, 8 – morfologicky izolovaná návrší při úpatí hor (A – ostroh u Kundratic s relikty svrchní křídly, B – Šibeniční hůrka v centru akumulace zřícených krystalinických hmot, C – granitoidní suk u Janova), 9 – fosilní koryto Černického potoka, 10 – tektonické linie.





Tektonická predispozice výchozové linie uhelné sioje a koryt horských potoků mezi Pruněřovem a Chomutovem  
 1 – směr a sklon převládající foliace v krystaliniku, 2 – výchozová linie uhelné sioje, 3 – jílovité pánevní sedimenty, 4 – neovulkanické výlevy na povrchu terénu, 5 – neovulkanické výlevy, intruze a diatremy zakryté, 6 – morfologicky izolovaná návrší při úpatí hor (D – ultrabazika u Ahníkova, E – Skřivánčí vrch s polymetalickým zrudněním, F – Hradiště s relikty silicifikovaných pískovců, G – čedičový Černý vrch), 7 – tektonické linie.



struktury (příl. IV/2). Směrné poruchy tak většinou vytvářejí nepropustné bariéry oběhu puklinových vod v masívu.

Strmé poruchové zóny na hlavním horském svahu do pánve i na svazích větších vnitrohorských depresí jsou často doprovázeny drobnějšími poruchami, zlomy a puklinami stejného směru, ale jiné geneze. Mohou vykazovat podstatně mírnější úklony, zvláště po svahu. Jde o exfoliační pukliny a „epidermální“ či „retardační“ zlomy drhotně vyvinuté v procesu vyklenování horského masívu. Je zřejmé, že v daném terénu nebývá ostrá hranice mezi pohyby tektonickými a gravitačními. Pokud hranice je, i v takovém případě gravitační pohyby s patrnou pravidelností navazují na pohyby tektonické. Na části hlavního horského svahu mezi Černicemi a Horním Jiřetínem, kde se zachovaly zbytky parametamorfního pláště na granitoidním jádru kateřinohorské klenby, byly v průzkumných vrtech dokumentovány též mylonity v mocnosti několika dm až 2 m, lemující vzájemnou hranici těchto mechanicky odlišných strukturních celků masívu.

### Praktický význam poznatků

Pásmo úpatí Krušných hor se projevuje jako oblast komplikované a dosud ne zcela vyřešené geologické situace na hranici rozdílných jednotek – krystalinického masívu a neogenní pánve. Tato hranice předznamenává i osobitou inženýrskogeologickou problematiku. Regionální geologickou situaci ani inženýrskogeologickou problematiku nelze uspokojivě řešit na základě omezené znalosti pouze jedné z hraničících jednotek. Regionální inženýrskogeologické mapování poskytlo možnost zevrubného poznání obou prostředí, zvláště podrobným studiem kvartérního pokryvu, geodynamických jevů a tektonických projevů za pomoci morfostrukturní analýzy, přehodnocení velkého množství archivní dokumentace, vlastních sondovacích prací i sledováním dalších sondovacích prací, těžebních postupů apod.

Technický význam poznatků vynikne zvláště v souvislosti s probíhajícími nebo připravovanými velkorysími zásahy do krajinného prostředí. Rozšiřováním povrchové těžby uhlí do pásma úpatí Krušných hor a dalšími vyvolanými stavbami a pracemi dochází k neobyčejně intenzivnímu ovlivnění prostředí, kdy technogenní procesy nabývají velké převahy nad přírodními. Dochází především k rozsáhlému odlehčení paty svahu tektonicky rozvolněného krystalinického masívu, který je tektonickými poruchovými zónami rozčleněn do dílčích ker a bloků. Souběžně s úpatím hor vedou směrné poruchové zóny doprovázené intenzivními změnami kvality a pevnosti hornin, způsobující vzdouvání puklinových vod. Evidované pozůstatky skalních zřícení a dalších gravitačních pohybů svědčí o dlouhodobé aktivitě hlavního horského svahu, zvláště jeho nejstrmější partie v rozsahu granitoidního jádra kateřinohorské klenbové struktury. Intenzivní výzdvihový trend tohoto jádra zapříčinil i vývoj různých doprovodných tektonicko-gravitačních jevů včetně zaklesávání dílčích uvolněných bloků v horském svahu. Pravděpodobně to vše ovlivňuje přirozenou napjatost v masívu

při patě svahu, čímž vzniká nebezpečí anomálně zvětšené horizontální složky napětí směřující do pánve, a to zvláště v některých disponovaných úsecích jádra klenbové struktury. Stanovit nebo odhadnout stav rovnováhy na takto postiženém svahu je mimořádně obtížný a dosud ne zcela zvládnutý problém.

Inženýrskogeologickým mapováním spojeným s morfostrukturní analýzou bylo možno zjistit hlavní strukturní znaky masívu, ověřit základní i detailnější tektonické rozvolnění, porušenost zvětrávacími procesy a gravitačními deformacemi, charakterizovat kvartérní pokryv i rozpoznat včas nejdůležitější problémy a hrozící nebezpečí pro lidské aktivity nebo pro krajinné prostředí. Byla vytypována místa, kde je zvláště zapotřebí podrobný inženýrskogeologický průzkum, který se v takových poměrech zpravidla neobejde bez nákladných průzkumných děl a různých netradičních postupů. Výsledky by měly sloužit pro regionální územní plánování, projekční přípravu rozmanitých zásahů do krajiny i pro potřeby ochrany přírodního a životního prostředí před nepředvídanými negativními dopady různých aktivit, zvláště velkolomové uhelné těžby. Zejména by měly poskytnout hodnověrný vstupní materiál pro geotechnické studie a pro matematické i fyzikální modelování stability v přirozených podmínkách i v podmínkách těžebních či jiných záměrů.

Problematika stability krušnohorských svahů v těsné blízkosti závěrných svahů hlubokých otevřených velkolomů se potvrzuje jako nejzávažnější a její uspokojivé vyřešení jako limitující pro záměry rozšíření těžby do pásma krušnohorského úpatí i pro jiné stavby a zásahy situované do tohoto pásma. Výsledky mapování jsou podkladem pro řešení i jiných báňských problémů, jako stability krátkodobých těžebních svahů, skrývkových řezů, odvodnění těžebních jam, situování vnějších výsypek apod.

Pro účely uhelné těžby a staveb jsou též významné poznatky umožňující uvažovat o využitelnosti a těžitelnosti různých hornin a zemin jako proluviálních štěrků, deluviálních hlín a sutí, fosilních zvětralin krystalinika, pevných krystalinických hornin pro podsypy důlních velkostrožů, těsnící prvky hrází, konstrukční materiál pro násypy, silniční kamenivo apod. Bylo by žádoucí, aby se výsledky mapování více využily pro řešení čím dál tím naléhavějších problémů ochrany a tvorby životního prostředí, pro rekultivace devastované krajiny nebo pro ochranu zbývajících přírodních či kulturních hodnot v okolí těžby. V dynamicky přetvářené krajině nelze přehlížet ani dokumentační význam podrobných inženýrskogeologických map, které zachycují geologické poměry před jejich podstatnými antropogenními či technogenními přeměnami, resp. před jejich částečnou až úplnou likvidací.

Stručně byly uvedeny hlavní poznatky získané podrobným inženýrskogeologickým mapováním na ploše více než 150 km<sup>2</sup> po dobu téměř 20 let. Podrobněji jsou rozvedeny v závěrečných zprávách jednotlivých průzkumných úkolů. V přehledu byly zmíněny hlavně ty poznatky, které mohou mít větší význam pro regionální geologii, pro případné analogie v jiných srovnatelných terénech a pro technickou či ochrannou praxi. Při jejich zvažování je

treba neztráčet ze zřetele, že zásahy do přírodních poměrů, ke kterým dochází nebo které se připravují v pásmu úpatí Krušných hor, nemají ve světě obdoby. Chybí větší sbírka inženýrskogeologických poznatků ze srovnatelných terénů i zobecněných zkušeností ze zásahů obdobného charakteru. Zkušenosti z dosavadních těžebních provozů z centrálních oblastí severočeské pánve nejsou většinou aplikovatelné do poměrů pásma krušnohorského úpatí. Pokud jinde ve světě existují hluboké otevřené těžební jámy, jsou vesměs v jiných geologických a zejména morfologických poměrech. Nemají v těsném sousedství tektonicky rozvolněný krystalinický masív, který by převyšoval těžební jámy o stovky metrů a vykazoval dlouhodobý výzdvihový trend. Nemají rovněž v blízkosti hustě osídlené aglomerace bezprostředně ovlivnitelné katastrofickými dopady nevhodných technických zásahů. Bylo by proto žádoucí, aby poznatky z mapování i z dalších navazujících průzkumů byly doplňovány, kontrolovány a případně opravovány soustavným sledováním nových příležitostných odkryvů a jejich objektivní dokumentací.

Z dosavadních zkušeností vyplývá, že z hlediska inženýrské geologie nejsou možnosti aplikace získaných poznatků neomezené. Nelze proto inženýrskogeologické poměry pásma úpatí Krušných hor, v délce kolem 100 km, podat souhrnně. Inženýrskogeologické poměry se mění v závislosti na litologii horninových celků v krystalinickém masívu. Litologie ovlivňuje struktury i charakter tektoniky, vývoj kvartérního pokryvu i další geologické fenomény, jako gravitační pohyby apod. Rozdílly jsou hlavně mezi celky masívu, kde převládají granitoidy, a mezi celky, kde převažuje parasérie. Proto i když byly charakterizovány hlavní rysy a obecné zákonitosti, je třeba posuzovat ve vztahu k technickým zásahům do krajinného prostředí jednotlivé úseky pásma krušnohorského úpatí po zhruba 200 až 300 m. Pouze tak lze podat skutečně hodnotěrné a reprezentativní inženýrskogeologické údaje pro geotechnické studie a modelování, baňské prognózy, projekty těžebních i různých jiných staveb a činností.

*K tisku doporučil J. Rybář*

## Literatura

- ALINČE, Z. (1985): Jezerka – realizace. Průvodní zpráva k dokumentaci vrtů. – MS Staveb. geol. Praha.
- BŮŽKOVÁ, H. et al. (1988): Závěrečná zpráva o výsledcích geologickoprůzkumných prací na úkole Jířetín – VČSA – realizace. – MS Staveb. geol. Praha.
- DUDEK, J. (1978): Zhodnocení strukturálně geologických poměrů krystalinika na svazích Krušných hor v předpolí Velkodolu Čs. armády z hlediska stability. – MS Geol. úst. Čs. akad. věd. Praha.
- ELZNIC, A. (1961): Severozápadní omezení Chomutovsko-Mostecko-Teplické pánve. – Věst. Ústř. úst. geol., 38, 4, 245–251. Praha.
- HOKR, Z. et al. (1978): Základní geologická mapa 1:25 000, list M-33-51-D-a Pruněřov. Vysvětlující text a přílohy. – MS Ústř. úst. geol. Praha.
- HOKR, Z. - KRŤZ, J. (1976): Paleontologický důkaz rozšíření svrchní křídly u Chomutova v severozápadních Čechách. – Čas. Mineral. Geol., 21, 1, 83–86. Praha.
- HURNÍK, S. - HAVLENA, V. (1984): Podkrušnohorské hnědouhelné pánev a Krušné hory jako součásti neotektonické velevrásové struktury. – Čas. Mineral. Geol., 29, 1, 55–67. Praha.
- KNĚŽÍNEK, V. (1986): Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro řešení stability svahu v předpolí Velkodolu ČSA v prostoru Jánský vrch a Albrechtice. – MS Staveb. geol. Praha.
- KOPECKÝ, L. (1988): Mladý vulkanismus Českého masívu. – Geolog. Hydrometalurg. Uranu, 12, 1, 3–40. Stráž p. Ralskem.
- KUDRNA, Z. (1982): Inženýrskogeologický výzkum stabilitních poměrů předpolí velkodolu ČSA. – MS Úst. geol. a geotechn. Čs. akad. věd. Praha.
- MALKOVSKÝ, M. et al. (1982): Analýza stavby a tektoniky Krušných hor a Severočeské hnědouhelné pánve. – MS Ústř. úst. geol. Praha.
- MAREK, J. (1976): Závěrečná zpráva inženýrskogeologických mapovacích prací v předpolí velkolomu Čs. armády. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1977): Inženýrskogeologické problémy vyvolané rozšířením uhelných velkolomů k úpatí Krušných hor. – Geol. Průzk., 19, 6, 164–166. Praha.
- (1979a): Šibeniční hůrka u Dřínova před odtěžením. – Uhlí, 27, 11, 498–501. Praha.
- (1979b): Inverze reliéfu úpatí Krušných hor u Jirkova a její geologické příčiny. – Geol. Průzk., 21, 3, 67–69. Praha.
- (1980a): Výsledky inženýrskogeologických mapovacích prací v oblasti Krušných hor a přilehlého podhůří a jejich praktický význam. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- (1980b): Štolové převedení Šramnického a Černického potoka v Krušných horách. – Geol. Průzk., 22, 9, 269–271. Praha.
- (1981): Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro řešení stability areálu Jezeří v předpolí uhelného velkolomu Čs. armády. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1983a): Inženýrskogeologický průzkum stability zámku Jezeří v předpolí uhelného velkolomu. – Geol. Průzk., 25, 8–9, 234–236. Praha.
- (1983b): Vývoj krušnohorských svahů a svahové pohyby. – Sbor. Prací Geograf. Úst. Čs. akad. věd, 1, 175–180. Brno.
- (1985a): Existuje krušnohorský zlom? – Čas. Mineral. Geol., 30, 1, 34–51. Praha.
- (1985b): Výzkum tektonického rozvolnění krystalinika. Dílčí zpráva SVÚ C-52-347-205. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1988a): Závěrečná zpráva o výsledku inženýrskogeologických mapovacích prací v prostoru Pruněřov-Chomutov. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1988b): Silicická mineralizace na úpatí Krušných hor u Ahníkova. – Čas. Mineral. Geol., 33, 1, 65–70. Praha.
- NĚMEČEK, K. (1959): Inženýrsko-geologický průzkum pro průmyslový přivaděč vody z Ohře. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlovy. Praha.
- RYBÁŘ, J. - KUDRNA, Z. (1979): Inženýrskogeologický výzkum stabilitních poměrů předpolí velkodolu ČSA. – MS Úst. geol. a geotechn. Čs. akad. věd. Praha.
- SMOLAŘ, Z. et al. (1985): Zhodnocení výsledků inženýrskogeologického a geotechnického průzkumu na modelové lokalitě Jezerka. – MS Staveb. geol. Praha.
- SYSEL, P. (1978): Vyhodnocení hydrogeologického průzkumu předpolí VČSA v Komořanech. – MS Staveb. geol. Praha.
- ŠKVOR, V. (1973): Geologie české části Krušných hor a Smrčín. – MS Ústř. úst. geol. Praha.
- ŠPŮREK, M. (1974): Sesuvné jevy u Dřínova na Mostecku. – Věst. Ústř. úst. geol., 49, 4, 231–234. Praha.
- VANĚ, M. (1960): Sutě a sesuvy na úpatí Krušných hor. – Čas. Mineral. Geol., 5, 2, 174–177. Praha.

## Engineering-geological mapping and geological conditions in the environs of the Krušné hory foothills (Bohemia)

*(Summary of the Czech text)*

JAN MAREK

Received December 14, 1990

Due to extension of brown coal mining in form of giant coal open casts in the North Bohemian Basin and for the purpose of preliminary projects of other reerected constructions, detailed engineering-geological mapping of vast areas was performed within the past 20 years. The mapping covered the peak region of the Krušné hory Mts. as the coal mining is to be extended as far as the mountain base and continue along the mountains onwards. This zone possesses best part of resting coal supplies but, at the same time, has most complicated geological situation. It is a contact zone of two different environments – a crystalline massif and a Neogene basin.

The engineering-geological mapping successively covered namely the foreland area of the first giant open cast which was to touch the Krušné hory slopes in the steepest part of the mountains. It is a core of an arch structure built of solid and fragile granitoid rocks strongly affected by tectonic fault zones in a mobile zone of the Krušné hory fault. Firstly the mapping was motivated by the need to resolve hydrogeological problems with ground and surface water inflow into the working pit. However, progressing mapping revealed that the key technical problem is to ensure the stability of closing and working slopes of the working pit and adjacent mountain slopes. Progressing coal working will relieve the heel of the loosened massif which is divided into very uncertainly balanced blocks.

The mapping disclosed massive accumulations of block debris fringing the granitoid core of an arch structure. They are over 70 m thick and contain large crystalline blocks foundered from the mountain slopes by the close of the Neogene or onset of the Pleistocene. The block structure of the crystalline massif and the existence of tectonic fault zones along the mountain base were proved by subsequent detailed engineering-geological exploration using costly mining works (galleries and shafts), horizontal boreholes and other works. The marginal parts of the Neogene formation in the neighbouring basin have a clastic character and the coal seam is mostly steeply dipping.

In the crystalline areas built by parametamorphites the mountain relief is more moderate with lower slopes. The tectonic division of the massif is less prominent although it depends on the same geometric fault systems. The debris accumulation at the mountain base exhibits lower thickness (2–10 m). The basin formation at the mountain base shows mostly a subhorizontal deposition. In front of the outcrop line of the coal seam numerous underlying sediment relics occur. The basin boundary is strongly curved, even frayed.

The mountain foothill zone is fringed by numerous morphologically isolated hills having a form of satellite elevations. In most cases they are a result of intensive assertion of tectonic fault zones. On some hills relics of Cretaceous, Paleogene or Neogene silicified sediments have been preserved. Even the deeply kaolin-weathered and lateritized crystalline complex in the sediment basement was protected from erosion thanks to the sediment silicification. At the foot of such hills thicker and varicoloured delluvia occur.

The mountain foot is covered with sandy gravels water-transported from the mountain region, which have a form of alluvial cones or continuous areal cover and attain as much as 20 m in thickness. Exposures of the Neogene basin sediments were just occasional in the past in the places where erosion of streams running down the mountains had removed the Quaternary cover. In such places, coal and other deposits for different purposes have been worked even in the Middle Ages. The exposed overlying sediments have usually claystone, extraordinarily sandy character.

The tectonic disruptions of the basin area are mostly obscured and therefore often cast into doubt. In the mountain region they are more expressive and easily detectable by a morphostructural analysis. Recognition of tectonic effects in the mountain region helps determine tectonic manifestations in the crystalline basement of the basin and estimate the faulting of the basin fill.

The geological situation in the Krušné hory foot zone has proved to be complicated and still partly obscured. Information yielded from the mapping should help the coal mining and rebuilding designers avoid catastrophic impacts of unexpected geological complications, namely various tectonic fault zones and consequences of tectonic loosening of the environment. Detailed engineering-geological maps are also a significant document of the original state of the geological environment before its substantial anthropogenic and technogenic changes. They should contribute also to protection of significant environmental elements and recultivation of the land devastated by coal mining.

*Přeložila G. Vladyková*

## Explanation of text-figures

1. A sketch illustrating the conditions along the boundary of the Neogene basin with the granitoid part of the Krušné hory crystalline complex. 1 – granitoid crystalline complex, 2 – clastic near-shore and shallow-water sediments, 3 – coal seam, 4 – overlying claystone, 5 – tectonic fault zones, 6 – deluvia of common type, 7 – accumulations of block deluvia with foundered blocks, 8 – rock outcrops.
2. A sketch illustrating the conditions along the boundary of the Neogene basin with the parametamorphic part of the Krušné hory crystalline complex and along the intramountain boundary of the granitoid and parametamorphic crystalline complex. 1 – granitoid crystalline complex, 2 – parametamorphic crystalline complex, 3 – clastic near-shore and shallow-water sediments, 4 – coal seam, 5 – overlying claystone, 6 – proluvial gravel, 7 – deluvia of common type, 8 – accumulation of block deluvia, 9 – rock outcrops, 10 – relics of Cretaceous and Paleogene rocks, 11 – tectonic fault zones.
3. Geological situation of Černý vrch hill (point 407) and a tectonic sketch with the main fault zone along the foot of the Krušné hory Mts. at the western margin of Chomutov. 1 – paragneiss, 2 – Paleogene sandstone and quartzite, 3 – basalt, volcanic tuffs or agglomerates on the terrain surface, 4 – underlying claystone with a volcanogenic admixture in front of a coal seam face, 5 – outcrop line of a coal seam, 6 – overlying claystone, 7 – tectonic lines.
4. Geological situation of Pliocene diatrema in the top area of the Krušné hory Mts. near Mikulovice and its tectonic predisposition. 1 – orthogneiss, 2 – paragneiss, 3 – outcrops of the crystalline complex, 4 – volcanic tuffs and breccias, 5 – sandstone, 6 – tectonic lines.
5. Geological situation of clastic sediments of Upper Miocene to Pliocene age at Hradiště, near Černovice and near Málkov (tectonics not indicated). 1 – orthogneiss, 2 – paragneiss, 3 – granulite gneiss, 4 – sandstone, quartzite, conglomerate, 5 – outcrop line of a coal seam, 6 – Miocene overlying claystone.

## Explanation of plates

### Pl. I

1. Steep slopes of the granitoid part of the Krušné hory Mts. in the area of the core of the Hora Sv. Kateřiny Dome. In the fore front Mt. Jezerka's peak, aback, above the foot, the Jezeří Castle.
2. Outcropping crystalline rocks in the peak area of the mountains with marked traces of tectonics and Pleistocene climatic changes.
3. Granite gneiss on the top of Mt. Jezerka and Jánský vrch Hill lacks foliation. From the rock mass large feldspar phenocrysts protrude.
4. Strongly migmatitized gneiss with expressive foliation in the Pruněřovský potok brook valley below Hasištejn. It disintegrates into large flat banks and blocks.

Photos by J. Marek

### Pl. II

1. Decomposition of the crystalline complex in the peak mountain area is a source of rock fragments which were removed during agricultural recultivation of the land.
2. Outcrops of the crystalline complex on mountain slopes are often sizeable being mostly delimited by tectonic planes.
3. Opened cavern in the upper part of Mt. Jezerka slope. It evidences the effects of tectonics and movement of the blocks in the mountain slope.
4. Loosening of the crystalline rock outcrops in the major mountain slope along the tectonic planes as a result of frost and gravitational movement effects.

Photos by J. Marek

1. Deep gorge in the area of mica schist gneiss at the mountain foot near Nová Víska. It is a manifestation of a significant tectonic zone.
2. Medieval gallery for iron ore near Jezeří follows the tectonic zone of transverse orientation. On the left, smoothed fault plain creating one face of the gallery.
3. Part of an extensive tectonic fault zone in the crystalline complex at the foot of the Krušné hory Mts. in the underground spaces near Albrechtice.

4. Smoothed fault plane exposed during tunnelling of a water-management gallery at the foot of the Krušné hory Mts. near Albrechtice.

Photos by J. Mrázek (1, 2, 3) and J. Štívočík (4)

### Pl. IV

1. Tectonic pebbles of mylonitized gneiss from a tectonic fault zone reached by a water-management gallery near Albrechtice.
2. Contact of solid orthogneiss (lower part of the photo) with a crushed material of the fault zone detected in the cellar of the Jezeří Castle.
3. Exploration gallery tunnelled from the mountain foot perpendicularly into the crystalline massif below the Jezeří Castle.
4. Exploration shaft with a gallery verifying the geological situation at the foot of the Krušné hory Mts. near Černice.

Photos by J. Marek (1) and J. Mrázek (2, 3, 4)

### Pl. V

1. Opening of one of many old galleries in the Krušné hory region. They provide a valuable evidence on the tectonics effects in the crystalline massif.
2. Reconstructed portal of a medieval stove breaking through Skřivánčí vrch Hill near Málkov. It proves the presence of mineralized tectonic zones of E-W and N-S systems.
3. Terrain depression in the peak mountain region with the settlement Mikulovice above Horní Jiřetín. Presence of Pliocene volcanic diatrema, whose origin was conditioned by crossing of several tectonic zones, was proved here.
4. Basaltic lava flow in the peak mountain region on the top of Mt. Jedlák. It was conditioned by crossing of several more expressive tectonic zones.

Photos by J. Marek

### Pl. VI

1. Thick bank of silicified sandstone on Mt. Hradiště top dissects into blocks along its circumference, which slide over kaolin-weathered crystalline rocks.
2. Horizontally bedded sandstones on a mountain slope overlooking Drmaly. Their position proves Paleogene or Lower Miocene age and origin of the material from the Krušné hory region.
3. Exposure of disaggregating sandstone in a water piping trench at Mikulovice. It rests in the centre of a Pliocene diatrema representing an explosion pit sediment in the top part of the Krušné hory region.
4. Coarse conglomerate from an abandoned bed of a mountain stream above Málkov. It is a fluvial sediment, probably of Pliocene age.

Photos by J. Marek

### Pl. VII

1. Thick accumulation of proluvial gravel at the foot of the Krušné hory Mts. near Kundratice. Well rounded pebbles of crystalline rocks of Krušné hory origin create the skeleton.
2. Beginning of mining of block deluvia accumulated in the surroundings of Šibeniční hůrka near Dřínov. In the fore front foundered blocks below Mt. Jezerka slope.
3. A core from the foot of the Krušné hory Mts. below Jezeří. It documents that the formation of the coal seam was disrupted by supplies of crystalline material from the mountain slope.
4. Deformed stems of the trees evidence the crawling of the deluvia over the mountain slope near Lideň.

Photos by J. Marek

### Pl. VIII

1. Working of an overburden during the advance of the giant coal mine Čs. armády reached in 1982 the zone of the Krušné hory foothill below Mt. Jezerka and Jánský vrch Hill.
2. A slide of several overburden sections in the spring months of 1988 exposed a fault surface of a fault zone at the foot of the Krušné hory Mts.
3. A horizontal mapping borehole in the mountain slope above Horní Jiřetín. It verified the extent of tectonic affection of the massif and served for installation of a geotechnic equipment (fragile conductors) for observation of incidental movements.



4. Self-moving grab set Poclain sinking a wide-profile test pits to the depth of 6 m. It suitably substitutes for dug pits and proved good in a mountain terrain.

Photos by J. Marek (1, 2, 4) and J. Berenda (3)

#### Pl. 1

Tectonic predisposition of the outcrop line of the coal seam and mountain stream beds between Drmaly and Janov. 1 – granitoid crystalline complex without prominent foliation, 2 – direction and dip of the prevailing foliation in the crystalline rocks, 3 – outcrop line of a coal seam, 4 – clayey basin sediments, 5 – accumulation of block deluvia, 6 – neovolcanic diatremes, 7 – neovolcanic intrusions, 8 – morphologically isolated hills at the mountain foot (A – a spur near Kundratice with relics

of the Upper Cretaceous, B – Šibeniční hůrka in the centre of an accumulation of foundered crystalline masses, C – granitoid knob near Janov), 9 – a fossil bed of the Černický potok brook, 10 – tectonic lines.

#### Pl. 2

Tectonic predisposition of the outcrop line of the coal seam and mountain stream beds between Pruněřov and Chomutov. 1 – direction and dip of the prevailing foliation in the crystalline complex, 2 – outcrop line of a coal seam, 3 – clayey basin sediments, 4 – neovolcanic lava flows on the terrain surface, 5 – neovolcanic effusions, intrusions and diatremes covered, 6 – morphologically isolated hills at the mountain foot (D – ultrabasic rocks near Ahníkov, E – Skřivánčí vrch hill with polymetallic mineralization, F – Hradiště with relics of silicified sandstone, G – basaltic Černý vrch Hill), 7 – tectonic lines.



Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 20	Str. 39–44	1 obr.	– tab.	– příl.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
--------------------------	----------------------------------	------------	--------	--------	---------	----------------	--------------------------------------

## Stabilita svahu uhelného velkolomu stanovená metodou konečných prvků

### Slope stability of the open pit coal mine defined by the finite element method

KAREL KLOSS<sup>1</sup>

Předloženo 8. dubna 1992

*Key words: Slope stability, Open pit coal mine, Finite element method*

KLOSS, K. (1994): Stabilita svahu uhelného velkolomu stanovená metodou konečných prvků. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 39–44. Praha.

Výtah: Stabilita svahů Krušných hor je v současnosti postupně narušována těžbou skrývek a uhelné substance při jejich úpatí. Těžbou se vytváří rozsáhlý umělý svah, který navazuje na svahy hor. Výška a sklon vytvářeného svahu má vliv na stabilitu masívu. Článek popisuje postupy a výsledky matematického modelování přirozeného svahu hor a svahu uhelného velkolomu v profilu III lokality Jiřetín. Posudek stability je odvozen z analýzy napětí a deformace masívu provedené metodou konečných prvků. Předložená práce obsahuje popis výpočetního modelu včetně jeho vytvoření, vstupní data, koncepci modelování, postup při konstruování původní napjatosti, popis dosažených výsledků a jejich vyhodnocení.

<sup>1</sup> AGE, s. r. o., Italská 15, 120 00 Praha 2

Na základě analýzy mechanického chování modelovaného masívu byla posouzena stabilita svahu velkolomu Čs. armády (dále jen VČSA) v profilu III lokality Jiřetín. Problém byl řešen metodou konečných prvků (dále jen MKP) na matematických modelech, které byly vyhodnoceny z hlediska přetvoření, napjatosti a porušení. Úloha byla pojata jako rovinný případ napjatosti. Výpočet byl proveden vlastními programy Stavební geologie, s. p., Praha, na zařízeních jejího výpočetního střediska.

#### Vytvoření modelu

Při konstruování matematického modelu svahu velkolomu je třeba respektovat geologická rozhraní, průběhy dislokací, hladiny podzemní vody a navržené těžební stupně. Dále musí model umožnit vytvoření vhodné původní napjatosti.

Částečnou idealizací obrysů geologických vrstev v geotechnickém profilu byl model rozdělen na kvazihomogenní bloky materiálů konstantních velikostí. Celkem bylo modelováno 11 různých geologických prostředí.

Charakter dislokací byl členěn podle jejich rozevření, výplně a kontaktovaných okolních hornin. Pro matematický model byly vytvářeny 4 druhy kontaktů. Za kontaktní linii bylo též určeno rozhraní sedimentů s krystalinikem. Toto rozhraní je charakteristické silně alterovanou kaolinizovanou rulou, jejíž mocnost značně kolísá. Vrstva s mocností cca do 10 m byla modelována pouze kontaktními liniemi, zatímco vrstva s mocností vyšší byla simulována kontaktními liniemi a ještě kvazihomogenními vrstvami. Některé dislokace byly prodlouženy přes sedimenty jako fiktivní linie s vlastnostmi kontaktovaných materiálů.

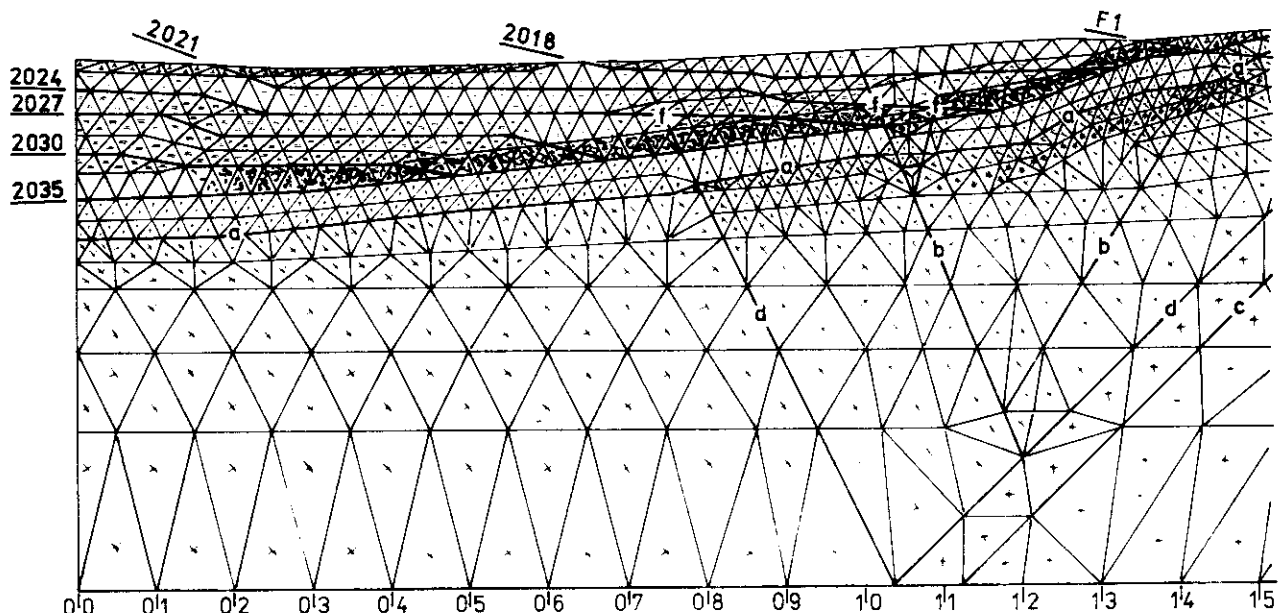
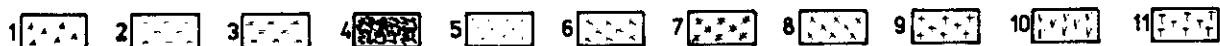
Pro vytvoření původní napjatosti byly použity čtyři pomocné zóny, pomocí nichž byla napjatost dále popsány způsoby konstruována. Původní hladina podzemní vody byla definována následovně: Až do staničení 1,503 km, tj. zhruba do poloviny modelu, byla rozlišena napjatá hladina (artéský strop) a volná hladina tvořená výtlačnou výškou. V druhé polovině modelu byla pouze volná hladina.

Postup těžby zadaný pro léta 2018, 2025, 2030 a 2035 byl doplněn na základě jednání s projektantem vhodnou interpolací pro léta 2021 a 2027. Pro každý odtěžovaný úsek byla prognózována hladina podzemní vody, jejíž kóty byly ve výpočtu respektovány.

Návrh sítě modelu byl konstruován ručně v měřítku 1 : 2 000. Uzlové body byly očíslovány a jejich souřadnice sejmuty na digitalizátoru DG1. Převodním programem byly hodnoty založeny do výpočetního systému GOLEM, pomocí něhož byla vytvořena trojúhelníková síť prvků a deklarovány potřebné zóny. Vytvořená síť byla v tomto systému odladěna bez kontaktních linií a potom převedena do výpočetního systému GEOFEM. Po vložení kontaktních prvků byla síť doladěna a připravena do konečné podoby pro vlastní řešení (obr. 1).

#### Výpočetní programy

Vlastní výpočet napjatosti jednotlivých odtěžovacích kroků byl realizován systémem GEOFEM. Tento systém je obecně určen k řešení rovinných nelineárních úloh mechaniky kontinua příměstkovou metodou. Systém používá trojúhelníkových prvků s bázovými funkcemi ve tvaru lineárních polynomů, má zabudován konstitutivní model



1. Matematický model pro řešení stability svahu VČSA na lokalitě Jiřetín metodou konečných prvků. Materiály blokových prvků: 1 – kvartérní sedimenty, 2 – nadožní jíly, vrstva 1, 3 – nadožní jíly, vrstva 2, 4 – uhelná sloj, 5 – podložní souvrství; 6 – kaolinizovaná rula; 7 – silně alterovaná rula, 8 – navětralá rula, 9 – zdravá žulorula, 10 – vulkanická brekcie, 11 – tektonicky porušená rula. Materiály kontaktních prvků: a – kaolinizovaná rula – rozhraní s krystalinikem, b – písčité jíly tuhé, jílopísčité drť v navětralé rule, c – jílopísčité drť, alterovaná rula ve zdravé žulorule, d – jílopísčité drť, alterovaná rula v tektonicky porušené rule, e – alterovaná rula v zdravé žulorule, f – dislokace v sedimentech obecně. Plán skryvek je udán letopočtem 2018, 2021, 2024, 2027, 2030 a 2035. Vytvoření původní napjatosti přispíváním zón: F0 – základní, F1 – 1. fáze, F2 – 2. fáze, F3 – 3. fáze.

(DOLEŽALOVÁ 1985) respektující dráhy napětí a je vybaven pre-processingem vstupních údajů. Systém pracuje na podnikovém počítači I 102 F a je uživatelsky ovládan z terminálu. Segmentová struktura systému GEOFEM a frontální metoda řešení soustavy lineárních rovnic umožňuje řešení rozsáhlých úloh (až 2 000 uzlů) v poměrně krátkém časovém prostoru.

Pro přípravu modelu byly využity přednosti systému GOLEM v oblasti tvorby sítě. Tento systém má podobné pracovní charakteristiky jako výše popsany systém, ale úlohy zpracovává na počítačích typu IBM dávkovým způsobem. Vzhledem k vysokým cenovým relacím za strojový čas a problémům s vlastnsky vstupních periférií jsme volili cestu převedení úlohy na systém GEOFEM a tímto systémem ji vyřešili.

### Konstitutivní model

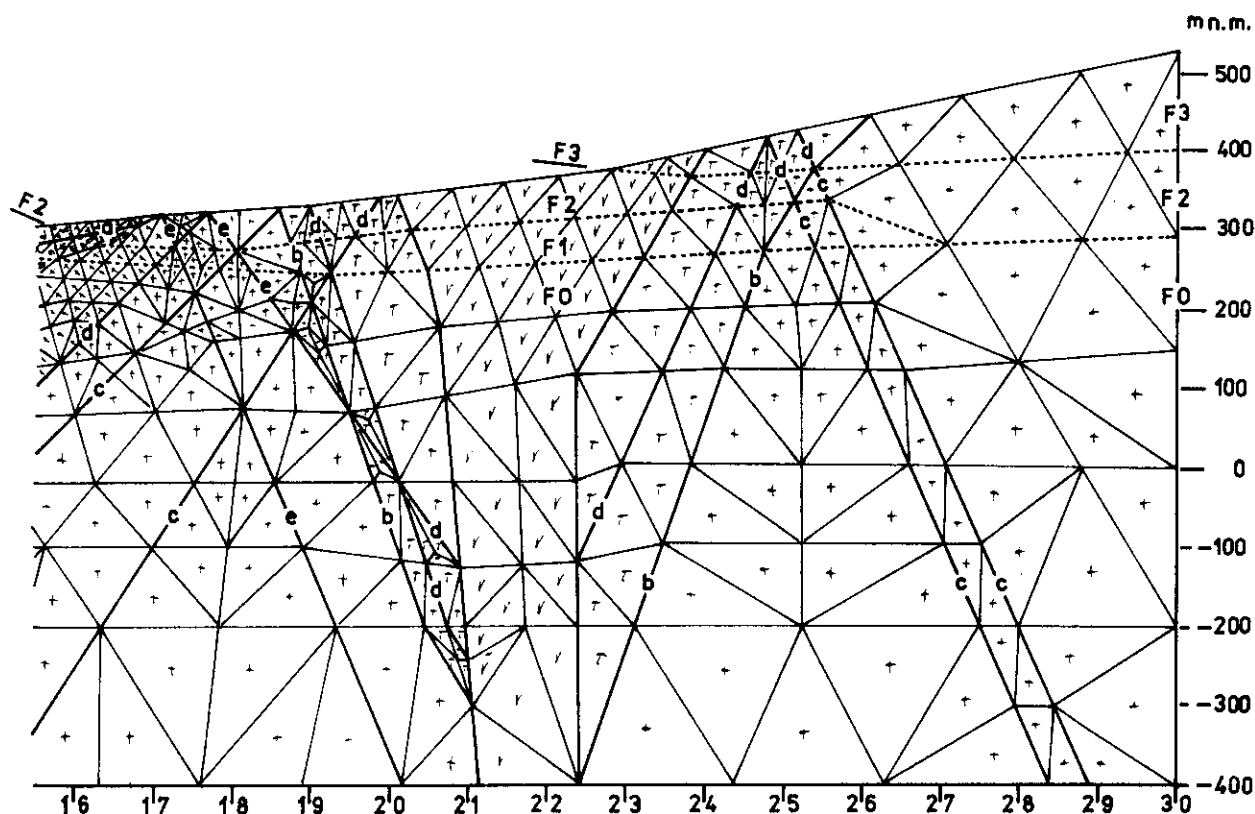
Základním problémem aplikací numerických metod v geomechanice je matematické vyjádření vztahů mezi napětím, přetvořením a časem. Tyto vztahy se nazývají

konstitutivní a jejich soubor potřebný pro řešení úlohy označujeme jako konstitutivní model.

V použitém výpočetním programu je zabudován prakticky vyzkoušený a osvědčený konstitutivní model (DOLEŽALOVÁ 1986). Model je dráhově závislý a přírůstkově nelineární, pracuje s krokovým zpožděním a respektuje rozdílné chování látek v tlaku a tahu, při přitížení, odlehčení a porušení. Příslušné programové zabezpečení má k dispozici algoritmus pro redistribuci nezachycených napětí v případě překročení pevnosti dané látky v tahu a smyku.

### Síť prvků a okrajové podmínky

Při dělení modelované oblasti na konečné prvky byly respektovány hranice geologických vrstev a zadané stupně odtěžovaných etap. V oblasti těžbou vytvářeného svahu byla síť zahuštěna, aby se zachytily důsledky případného zvýšení gradientů napětí. Všechny dislokace zobrazené v geotechnickém profilu byly na modelu simulovány kontaktními liniemi složenými z kontaktních prvků.



Vytvořený matematický model sestává z 1 054 uzlů, z 1 501 trojúhelníkových prvků a z 214 kontaktních prvků. V modelu je rozlišeno celkem 11 geologických materiálů pro blokové prvky a 6 materiálů pro kontaktní prvky (viz obr. 1).

Situování modelu a jeho délka byly voleny tak, aby model dostatečně vykryval okolí těžbou vytvořeného svahu. Do matematického modelu nebyla zahrnuta část geotechnického profilu v délce 1 km s poddolovaným územím. Bylo konstatováno, že tento fenomén nebude mít v žádném případě vliv na stabilitu vytvářeného svahu vzhledem k jeho značné vzdálenosti od analyzovaného místa.

Modelovaná oblast byla na svém spodním okraji limitována horizontální linií na kótě minus 400 m n. m. Styčnický v této linii jsou pevné, tj. neposuvné ve směru obou souřadných os.

Matematický model byl omezen svislými liniemi ve staničení geotechnického profilu  $x_1 = 1\ 000$  m a  $x_2 = 4\ 000$  m. Jeho délka je 3 000 m. Ve svislých bočních stranách modelu byly definovány styčnický jako posuvné ve směru osy Y. Ostatní styčnický v modelu byly volné.

### Vstupní data

Výchozím podkladem pro vytvoření souboru vstupních dat k řešení zadané úlohy byly vlastnosti hornin, zemín a dislokací zjištěné geotechnickým průzkumem. Korelační

s dřívějšími pracemi (KLOSS - ŠILAR 1987, 1988, 1989) byla data revidována a pomocnými výpočty, resp. odborným odhadem, doplněna o potřebné koeficienty konstitutivních vztahů.

Vzhledem k sedmnácti modelovaným materiálům a devatenácti, resp. jedenácti, potřebným hodnotám ke každému blokovému (kontaktnímu) materiálu není možné takto rozsáhlý soubor údajů zde publikovat.

### Koncepce řešení

Účelem řešení zadané úlohy bylo posoudit stabilitu přirozeného a uměle vytvářeného svahu. Umělý svah se bude vytvářet při úpatí Krušných hor v důsledku odtěžování skrývek a uhelné substance ve VČSA. Předpokládá se, že těžba postoupí k modelované lokalitě ve 20. a 30. letech příštího století.

Analyzovaný profil III má své specifikum v tom, že protíná sopouch – lokální geologický fenomén – o údajném průměru 200 m, při povrchu se rozšiřující. Je otázkou, zda volba průběhu profilu je vhodná pro rovinné řešení, resp. zda rovinné řešení vhodně postihne tento prostorový element. Po konzultaci uvedeného problému s příslušnými experty jsme se rozhodli zahrnout sopouch do základní varianty výpočtu. O účinku jeho vypuštění (tj. posunutí profilu mimo něj) jsme se chtěli přesvědčit na základě alternativního výpočtu.

Základní varianta (a) respektuje zadanou geologii, za-

dané vstupní parametry a zadané kóty hladiny podzemní vody. Podzemní voda tvoří v levé části modelu pod pánevními sedimenty napjatou zvodeň se stropním izolátorem představovaným polohou kaolinizované ruly. Výtlačná výška dosahuje horní vrstvy jílu. V průběhu těžby skrývek dochází k postupnému snižování hladiny podzemní vody v daném profilu. Tento proces je na modelu simulován snížením hladiny v každém modelovaném skrývkovém stupni.

Vzhledem k důležitosti řešeného stabilitního problému jsme považovali za žádoucí provést kromě výpočtu základní varianty ještě další alternativní výpočty. Otázkou bylo, který parametr alternovat. Při pohledu na problematiku stability svahů Krušných hor v jiných řešených profilech se nabídl otázka posoudit stabilitu svahu se sníženými pevnostními a přetvárnými vlastnostmi rozhraní sedimentů a krystalinika, tvořeného kaolinizovanou rulou.

Doplňková varianta (b) je počítána ze stejné výchozí původní napjatosti jako varianta základní. Pro výpočet jednotlivých odtěžovacích kroků byly změněny pevnostní a přetvárné parametry kontaktu č. 1 (kaolinizovaná vrstva rul) podle výsledků sblížovací studie MKP na dole Jiří (DOLEŽALOVÁ 1987).

## Původní napjatost

Stěžejním problémem řešení stability svahů pomocí MKP je vytvoření původní geostatické napjatosti masívu v okolí analyzovaného svahu. Tento problém je obtížně řešitelný a není jednoznačný. Nejdůležitějším požadavkem je, aby původní napjatost byla v rovnováze s vlastní tíhou materiálů. Dále se požaduje, aby vodorovná napětí odpovídala naměřeným hodnotám v masívu (pokud se prováděly např. vodní tlakové trhací zkoušky či jiné zkoušky vedoucí ke stanovení bočního součinitele  $K$ ). Důležitým hodnotícím faktorem původní napjatosti je též výchozí stav porušení. Požaduje se, aby napjatost nepřekročila pevnostní meze, resp. aby výskyt tahem porušených prvků byl minimální.

Splnění všech uvedených požadavků obvykle vyžaduje provést řadu variant. Jejich vyhodnocením se zváží realita vytvořené napjatosti a nejuhodnější varianta, resp. varianty, se zvolí za výchozí stav výpočtu.

Pro dosažení optimální původní napjatosti, která je ve skutečnosti výsledkem dlouhodobých geologických procesů, máme obecně k dispozici několik možností: (a) můžeme změnit (přechodně jen pro účely vytvoření původní napjatosti) přetvárné vlastnosti kvazihomogenních bloků, (b) můžeme volit různý postup „přisypávání“, tj. vytváření přírodního svahu, (c) v průběhu vytváření původní napjatosti můžeme dočasně upravovat okrajové podmínky modelu.

K postupu (a) nutno dodat, že skutečné hodnoty přetvárných vlastností (zjištěné standardními metodami) nelze obvykle pro účely vytvořené původní napjatosti použít. Důvodem je skutečnost, že v takovém případě se měkčí

bloky zavěšují na tužší a výsledek je pak nereálný. To potvrzují zkušenosti z četných prací (DOLEŽALOVÁ 1983, KLOSS - ŠILAR 1987).

V našem případě jsme provedli studii původní napjatosti o šesti různých variantách. Za výchozí stav výpočtu byla zvolena varianta, ve které jsme aplikovali různé moduly pružnosti pro různé geologické vrstvy:  $E = 10, 20, 30, 40$  a  $50$  MPa pro materiály č. 1, 2, 3, 4 a 5. Pro ostatní materiály včetně kontaktů jsme zavedli  $E = 200$  MPa. U všech materiálů bylo použito Poissonovo číslo  $\mu = 0,4$ . Pro prostor sopouchu jsme zvolili snížený modul pružnosti v poměru odpovídajícímu poměru objemové tíhy tektonické brekcie (výplně sopouchu) a krystalinika v okolí sopouchu, a to pouze v nultém výpočetním kroku. Ve všech třech přítěžovacích krocích byl dosazen modul pružnosti stejný jako u ostatních materiálů.

Výsledná napjatost vyhovuje na začátku popsaným požadavkům. Čtyři porušené prvky v prostoru sopouchu jsou vzdáleny cca  $0,5$  km od svahu lomu, přičemž jejich stupeň bezpečnosti, jako převrácená hodnota čerpání smykové pevnosti, se pohybuje okolo  $0,8$ . Tato skutečnost nemůže podstatně ovlivnit napjatost v průběhu těžby.

Pro posouzení vlivu přítomnosti či nepřítomnosti sopouchu na mechanické chování masívu jsme vytvořili další verzi původní napjatosti. Z vnesených průběhů součinitelů bočního tlaku ve čtvrtině a polovině modelu je patrné, že vypuštění sopouchu z modelu nemá podstatný vliv na napjatost v okolí svahu. Lze proto předpokládat, že také výpočet odtěžovacích stupňů s tímto modelem by nevedl k výsledkům lišícím se od výsledků základní varianty.

Pokusili jsme se zkonstruovat ještě původní napjatost se zvýšeným horizontálním napětím. Při jejím vytváření bylo naším cílem zvýšit napjatost v prostoru, kde byly prováděny polní zkoušky. Postupovali jsme následovně: Po druhém přítěžení jsme zvýšili přetvárné moduly z hodnot použitých v základní variantě na  $200$  MPa. Výsledná napjatost ve čtvrtině modelu vyhovuje zadanému požadavku, avšak srovnání těchto variant uprostřed modelu ukazuje pokles hodnoty součinitele bočního tlaku v hloubkách  $50$  až  $250$  m pod terémem.

Právě z tohoto prostoru jsou však k dispozici vodní tlakové trhací zkoušky, a proto můžeme konstatovat, že základní varianta se naměřeným hodnotám blíží více než varianta posledně vytvořená. Na základě tohoto poznatku nebyl výpočet odtěžovacích kroků s touto původní napjatostí realizován.

## Vyhodnocení výsledků MKP

Chování masívu jako odezva na odtěžování skrývek se obecně jeví jednak jako odlehčení, způsobující posuny převážně vzhůru, a jednak jako posun do odebraného prostoru (v případě povrchu krystalinika). Velikost vektorů je ovlivněna tloušťkou odtěžované vrstvy, modulem přetvárnosti a přítomností dislokací. Maximální posuny se vyskytují v prostoru pánve vždy na povrchu odtěžovaného

stupně. Pokud je odtěžovaná vrstva rovnoměrná, mají posuny vertikální směr s orientací vzhůru. Maximální hodnota přírůstku posunu v jedné etapě činí 20–30 cm u základní varianty a 25–35 cm u doplňkové varianty. Celkové maximální nadzvednutí činí u první varianty cca 60 cm a u druhé varianty cca 80 cm. Celkový vodorovný posun krystalinika do pánve má maximum 5 cm, resp. 6 cm.

Stav napjatosti charakterizovaný osami hlavních napětí svědčí o dostatečné hladkosti řešení, tj. o vhodné podrobnosti sítě a pozvolných přechodech z více zahuštěných oblastí do méně zahuštěné sítě. Tahové zóny rozhodující pro posouzení stability se v průběhu odtěžování u obou variant nevytvářejí.

Nejinformativnější údaje o tendenci porušování masívu lze získat z výkresů porušení a z výkresů hodnot lokálních stupňů bezpečnosti. Ojedinelý výskyt porušených prvků v průběhu celého výpočtu nemá praktický význam a žádný dopad na stabilitu. Z hlediska čerpání smykové pevnosti je možné konstatovat, že lokální stupně bezpečnosti ojedinelé poklesnou na povrchu pod hranici 1,5.

Výsledky řešení MKP jsme použili pro výpočet celkové stability svahu. K výpočtu stupně stability svahu ( $S$ ) jsme zvolili smykovou plochu, jdoucí kontaktem č. 1 v místě nejstrmějšího svahu a vybíhající na povrch v místě klínu. Dále jsme použili hodnoty vypočtených napětí a parametry smykové pevnosti.

Stupeň stability svahu byl stanoven jako poměr součtu pasívních sil k součtu sil aktivních. Pro základní variantu byly počítány stupně stability za předpokladu  $c = 70$  kPa (výsledek  $S = 2,6$ ) a za předpokladu  $c = 0$  (výsledek  $S = 2,2$ ). Obdobně pro doplňkovou variantu byly počítány stupně stability za předpokladu  $c = 30$  kPa (výsledek  $S = 2,7$ ) a za předpokladu  $c = 0$  (výsledek  $S = 2,5$ ).

## Závěr

Z provedeného řešení stabilitního problému na matematických modelech (za uvedených okrajových podmínek

a při zadaných vstupních údajích) vyplývá, že závěrné svahy velkolomu, navržené ve III. profilu lokality Jiřetín včetně svahu krystalinika, jsou stabilní. Lokální stupně bezpečnosti jsou vesměs větší než 1,5 – jen ojedinelé se vyskytují při povrchu nižší hodnoty, které jsou z hlediska celkové stability nepodstatné. Provedený výpočet stupně stability svahu podle zvolené smykové plochy, o níž si myslíme, že je jednou z nejnebezpečnějších, vykázal u obou výpočetních variant hodnoty větší než 2. Vzhledem k těmto zjištěním by z hlediska stability území neměly nastat žádné větší problémy při těžbě v daném profilu. Pro další postup jsme doporučili, aby na základě výsledků modelového řešení MKP byla vytvořena síť monitorovacích objektů, které by umožňovaly měření deformací masívu během těžby. Srovnáním deformací s výpočtem by se ověřila správnost provedeného řešení a z toho vyplývající bezpečnost těžby v analyzovaném profilu.

*K tisku doporučil J. Rybář*

## Literatura

- DOLEŽALOVÁ, M. (1983): Jezeří – výpočet stability bočního svahu uhelného velkolomu pomocí MKP. – MS Hydroprojekt. Praha.
- (1985): Požadavky na přípravu vstupních dat při řešení geomechanických úloh MKP. Zpráva 48 úkolu C-52-347-205. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1986): Dráhově závislý pseudoelastický konstitutivní model pro zeminy a horniny užívané při výpočtech MKP. – MS Dopravoprojekt Brno.
- (1987): Modelování povrchového velkolomu s využitím výsledků měření. Čs. příspěvky pro 11. konferenci O mechanice zemín. – ÚTAM ČSAV, Praha.
- KLOSS, K. - ŠILAR, J. (1987): Zpráva o výsledku analýzy stability svahů provedené MKP na profilech „13“ a „JZ“ Jánského vrchu. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1988): Stabilitní studie MKP - kap. 3. 4. 2 ze závěrečné zprávy o výsledcích IG, HG a GT prací úkolu: Prunčřov - Chomutov - realizace. – MS Staveb. geol. Praha.
- (1989): Matematické modelování stability závěrného svahu lomu Sítěleč. – MS Staveb. geol. Praha.

## Slope stability of the open pit coal mine defined by the finite element method

*(Summary of the Czech text)*

KAREL KLOSS

Received April 8, 1992

The article describes the techniques, procedures and results of mathematical modelling of the natural slope and the artificial slope of the open pit coal mine in section No. 3 near Jiřetín, North Bohemia. The slope stability has been derived from the finite element analysis of stress and deformation state. The stability of the Krušné hory mountain slopes is affected by overburden removal and by the dip and height of the subsequently created artificial slope.

An outline of the conception of the modelling method is given. The computational model and the procedure of its composition are described. The original stress generation, the FEM results and their interpretation are presented.

### Explanation of the text-figure

1. Mathematical model for finite element method applied to the slope stability problem at the Jifetín locality.

Block materials: 1 – Quaternary sediments, 2 – overlying clays, layer 1, 3 – overlying clays, layer 2, 4 – brown coal seam, 5 – underlying formation, 6 – kaolinized gneiss, 7 – highly weathered gneiss, 8 – low weathered gneiss, 9 – fresh granite-gneiss, 10 – volcanic breccia, 11 – highly fractured gneiss.

Contact materials: a – kaolinized gneiss, crystalline rocks – sediments

boundary, b – plastic sandy clay, clay-sandy rubble in low weathered gneiss, c – clay-sandy rubble, weathered gneiss in fresh granite-gneiss, d – clay-sandy rubble, weathered gneiss in highly fractured gneiss, e – weathered gneiss in fresh granite-gneiss, f – faults in sediments generally.

Plan of the overburden disposal is given by the years 2018, 2021, 2024, 2027, 2030 and 2035.

Initial state of stress was created by adding of zones: F0 – basic, F1 – first, F2 – second, F3 – third.



Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 20	Str. 45–51	3 obr.	– tab.	– příl.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
--------------------------	----------------------------------	------------	--------	--------	---------	----------------	--------------------------------------

## Srovnání poznatků o průzkumných důlních dílech mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách

### Comparison of data on exploratory mining works between Jezerka and Horní Jiřetín in the Krušné hory Mts.

MILOŠ HORÁČEK<sup>1</sup>

Předloženo 11. května 1992

I : 50 000: 02-31

Key words: Foot hills fault zone, Volcanic breccia, Tectonic breccia, Mylonite, Crystalline

HORÁČEK, M. (1994): Srovnání poznatků o průzkumných důlních dílech mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 45–51. Praha.

Výtaž: Předložená práce shrnuje poznatky získané důlními průzkumnými díly v prostoru lomu Čs. armády mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem v Krušných horách, které se týkají rozšíření a geotechnických vlastností úpatního poruchového pásma krušnohorského krystalinika. Uvedené výsledky, kromě jiných, sloužily jako vstupní informace pro výpočet stability závěrných svahů probíhající či plánované velkolomové těžby hnědého uhlí v lomu Čs. armády. Srovnávaná důlní průzkumná díla Jiřetín, Černice, Jezeří a Jezerka zastihla poruchové pásmo v různých morfoloických a hloubkových úrovních a strukturních projevech. Uvedená díla tak jednoznačně prokázala existenci a velkou variabilitu rozšíření poruchového pásma in natura a zároveň ověřila její geotechnické vlastnosti.

<sup>1</sup> Plynoprojekt Praha, a. s., Sokolská 44, 120 00 Praha 2

V 80. letech se předpokládalo, podle předpovědi odborníků, že energetické nároky společnosti v příštích desetiletích se budou mimo jiné zajišťovat využitím fosilních paliv, zejména spalováním jejich méně hodnotných druhů. ČSFR kryla uhlím více než 70 % svých energetických potřeb. Nyní, kdy do popředí zájmů ekonomických i politických vstupují ekologická hlediska, zájem o tato fosilní paliva klesá.

Předpokládaný rozvoj těžby hnědého uhlí v mostecké neogenní pánvi při úpatí Krušných hor nutil těžební organizace zajišťovat v dostatečném předstihu podrobný inženýrskogeologický průzkum zaměřený převážně na řešení stabilitních poměrů přilehlých svahů Krušných hor. Nutnost získat co nejpodrobnější geologické, hydrogeologické a geotechnické informace o přilehlém krušnohorském krystaliniku byla potvrzena a stále se potvrzuje zkušenostmi při dobývání hnědouhelných zásob v přilehlých partiích Krušných hor, v prostoru lomu Merkur a lomu Čs. armády.

Jednou z nejvíce průkazných a zároveň nejnákladnějších metod inženýrskogeologického průzkumu je ražba důlního díla. V tomto článku jsou shrnuty a porovnány takto získané výsledky ze všech dosud provedených důlních děl v prostoru mezi Jezerkou a Horním Jiřetínem, tj. v oblasti současné či budoucí lomové těžby lomu Čs. armády. Bude tak pojednáno o důlních dílech Jezerka, Jezeří, Černice a Jiřetín s důrazem na dvě poslední jmenovaná díla, vyprojektovaná v rámci průzkumných prací v předpolí výše jmenovaného lomu (BŮŽKOVÁ 1988).

Srovnání důlních děl je provedeno na základě jejich

pozice vůči prokázanému úpatnímu poruchovému pásmu Krušných hor a srovnány geotechnické vlastnosti jednotlivých zastížených horninových typů.

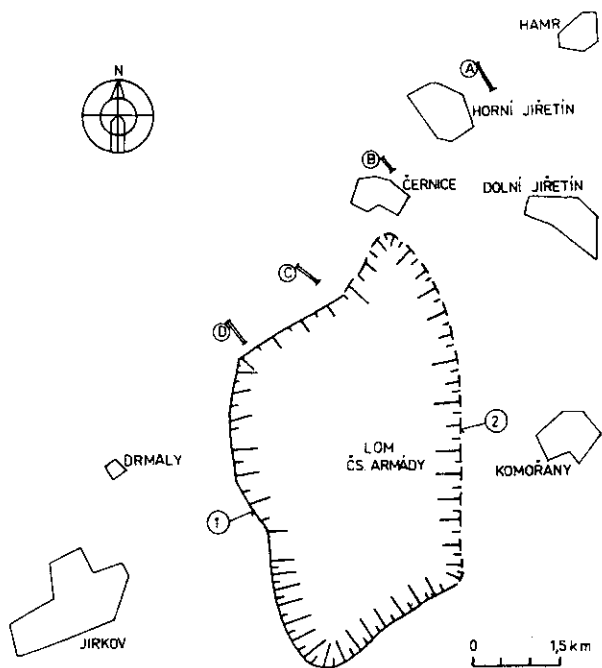
Předložená práce čerpá z vlastních poznatků získaných během dokumentace a vyhodnocení důlních děl Černice a Jiřetín (HORÁČEK 1988a, b). Podklady pro zpracování průzkumných děl Jezerka a Jezeří byly převzaty od jiných autorů (MÜHLDFORF 1981, MAREK 1981, SMOLAR 1985).

#### Inženýrskogeologické poměry důlních děl

Štola Jiřetín byla ražena v letech 1984 až 1986. Zájmový prostor důlního díla leží mezi Horním Jiřetínem a Hamrem u Litvínova. Přilehlé svahy Krušných hor mají generelní sklon 10° až 15° a jsou zcela zalesněné. Morfoloicky je svah stupňovitě zvlněný a kryje jej proměnlivá vrstva zvětralín krystalinika, zčásti přemístěný tufitický materiál a proluviační štěrky. Portál štoly byl situován ca 70 m s. od výchozu uhelné sloje, v nadmořské výšce ca 300 m, v prostoru bývalého hnědouhelného dolu Himmelsfürst (obr. 1 a 2).

Štola tak byla situována v předpokládaném závěrném svahu lomu ČSA na úpatí východní části kateřinohorské klenby krušnohorského krystalinika, s. od rozšíření sedimentů mostecké hnědouhelné pánve. Průzkumné dílo tedy zastihlo kvartérní uložení, jílovité horniny kaolinizovaného krystalinika nejistého stáří, horniny krystalinika a vulkanickou brekcii mladší vulkanické fáze neogénu.

Kvartérní sedimenty byly zastíženy do staničení 78 m.



1. Přehledná situace průzkumných důlních děl. A – štola Jiřetín, B – šachta a štola Černice, C – štola Jezeří, D – štola Jezerka, 1 – omezení lomů 1989, 2 – výhledové omezení lomu Čs. armády.

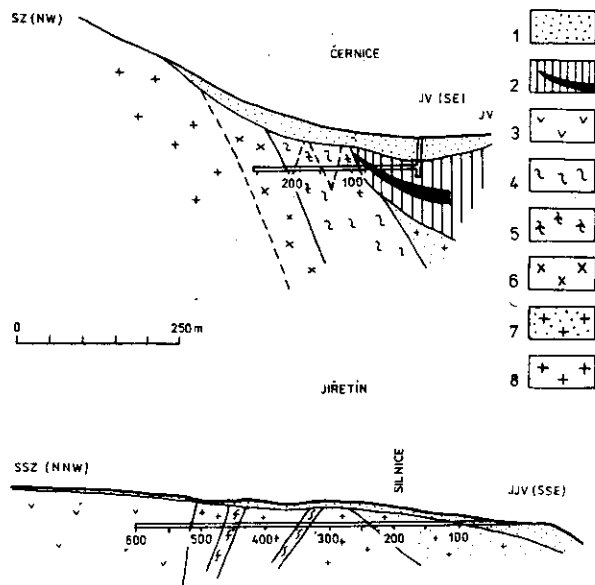
Jsou to převážně proluviální uloženiny charakteru hlinito-písčitých až hlinitokamenitopísčitých ulehlých sutí, bez výrazného zvrstvení. Proluviální uloženiny místy ostře přecházejí do fluvialních písčitých štěrků s ččkami písčitých kaolinických jíílů. Tohoto materiálu přibývá ke kvartérní bázi a od staničení 78 m přecházejí do souvislé polohy kaolinických jíílů slabě písčitých.

Štola Jiřetín narazila horniny krystalinika od staničení 95 m, kde se jílovitý kaolinický materiál začíná svými texturními a strukturálními znaky projevovat jako silně kaolinizované krystalinikum a zejména pak zde chybějí subhorizontální čočky splachů a plošky tektonických ohlazů. Tato zóna ostře přechází do silně zvětralé ruly a sleduje zvlněnou foliační plochu ukloněnou 45° k JV.

Z hlediska alterace a tektonického porušení lze celý zastížený úsek krystalinika rozčlenit na tři geotechnicky podobné bloky.

Úvodní blok krystalinika je tvořen plástevnatou, místy okatou rulou, zčásti migmatitizovanou, bez výrazné kaolinizace. Hornina je však výrazně hematitizovaná a chloritizovaná. Silně alterovaná rula (drobivá) přechází do slabě alterované ruly velmi pozvolně. Plochy diskontinuit se makroskopicky projevují až od staničení 135 m, sledují převážně foliační plochy a bývají vyplněné kaolinickým jíílem a rulovou drtí. Tato partie silně až slabě alterovaného krystalinika je omezena ve staničení 237 m výraznými v.-z. dislokacemi, doprovázenými chloritizací okolní horniny.

Uvedená zóna krystalinika tektonicky ohraničuje převážně zdravé krystalinikum charakteru zrnitoplástevnaté,



2. Schematický geologický profil v oblasti průzkumných báňských děl Černice a Jiřetín. 1 – kvartérní pokryv, 2 – terciární sedimenty, 3 – terciární vulkanická brekcie, 4 – tektonická brekcie, 5 – blok tektonické brekcie, 6 – dislokované krystalinikum, 7 – alterované krystalinikum, 8 – krystalinikum slabě navětralé až technicky zdravé.

nevýrazně okaté ruly, ojediněle chloritizované, s mezipolohami migmatitizované pararuly, většinou alterované. Tato hornina pak přechází od staničení 330 m do všesměrné žuloruly slabě alterované, silně rozpukané. Žulorula je dále omezena ve staničení 361 m poruchovým pásmem, dokumentovaným až do 370 m. Pásmo je tvořeno blokem žuloruly až plástevnatookaté ruly alterované, tektonicky drcené, přecházející až v tektonickou brekciu. Dále zde byly zachyceny polohy silně rozložené žilné horniny (minety).

Na výrazné poruchové pásmo krystalinika pak navazuje úsek zrnitoplástevnaté ruly, místy chloritizované a kaolinizované, celkově silně rozpukané. V hornině byly dokumentovány též mezipolohy migmatitizované pararuly silně rozložené, ostře přecházející do okolní horniny. Tektonické porušení je intenzívní, s tím, že lze vyčlenit výrazně porušený úsek 33 metrů nepravé mocnosti. Hornina je zde „blokovitě“ porušena s převažujícími silně chloritizovanými a kaolinizovanými polohami. Hornina je celkově detailně provrášněna. Krystalinikum je ve svém celku proměnlivě tektonicky porušené, místy až s úplnou destrukcí původně rigidní horniny. Z charakteru tektonického porušení lze usuzovat na dlouhodobé etapovitě porušení krystalinika.

Ve staničení 514 m je krystalinikum ostře tektonicky omezeno a přechází do vulkanické brekcie, ve které bylo raženo až do konečného staničení 600 m. Kontakt podle důlní dokumentace má v.-z. směr ukloněný k S, strmý 70°–90°. Materiál má charakter vulkanického lapilového konglomerátu, tvořeného poloopracovanými, převážně

však ostrohrannými, chaoticky uspořádanými úlomky čedičové horniny, úlomky ruly, křemene, uhlí a jílovců. Podíl úlomků kolísá od 20 do 70 %. Intenzita rozpukání a zároveň pevnost (stmelení) horniny je celkově proměnná. Z charakteru vulkanického materiálu, jeho tektonického porušení a celkové pozice lze usuzovat na ryze explozivní neovulkanit (diatremu), patřící k mladší vulkanické fázi (BRUS - HURNÍK 1984).

Z hydrogeologických a hydrochemických poznatků (geochemických analýz vody, čerpacích pokusů) vyplývá, že není hydraulická spojitost mezi vodou kvartéru a podzemní vodou krystalinika a vulkanitu. Výrazně zvodnělé poruchy zastižené důlním dílem mají převážně ssz.-jiv. směr (HORÁČEK 1988b).

**Důlní dílo Černice** bylo realizováno v letech 1983 až 1986 a je situováno ca 500 m s. od obce Černice při úpatí krušnohorských svahů, které zde mají generelní sklon  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$ . Zalesněný svah je na povrchu tvořen malou vrstvou sutí, ze kterých vystupují skalní výchozy rul. Při patě svahu se sklon výrazně zmírňuje na  $5^{\circ}$  až  $10^{\circ}$  a současně zde dochází ke změně úložných poměrů; mocnost kvartérních uloženin výrazně narůstá a horniny krystalinika přecházejí do pánevních sedimentů.

Průzkumné dílo Černice sestává z jámy hluboké 60 m, hloubené v kvartérních uloženinách a v nadložním souvrství hnědouhelné sloje neogenní pánve. V hloubce 50 m byla z jámy vyražena chodba dlouhá 256 m. Hlavní chodba zastihla terciérní sedimenty, poruchové pásmo krystalinika a krušnohorské krystalinikum (obr. 1 a 2).

Kvartérní sedimenty zastižené jámou lze rozčlenit na deluviální a proluviální uloženiny, které jsou podobného charakteru jako uloženiny v oblasti stoly Jiřetín, a na typ příbřežních sedimentů, u kterých kvartérní stáří není zcela doloženo.

Tyto sedimenty byly jámou zastiženy v hloubce 30 m, v 9 metrů mocné poloze, která sleduje protáhlou úpatní depresi ssz.-jiv. směru. Litologicky jsou sedimenty značně různorodé. Zde byly dokumentovány písčité kaolinické slídnaté jíly tuhé konzistence s úlomky ruly, dále silty až jemnozrnné písky silně slídnaté, slabě soudržné s částečně opracovanými úlomky ruly do 1 cm a mezipolohy hlinitopísčitého štěrčiku s úlomky ruly do 3 cm. V jílovitých polohách byly dále dokumentovány čočky hlinitopísčitých splachů jako v nadložních proluviálních štěrčích. Hydrogeologicky jílovité a siltovité polohy příbřežních sedimentů tvoří izolátory mezipoloh dobře propustných štěrčků, které jsou bohatě dotovány podzemní vodou.

Nadložní prachovité, ojediněle slabě písčité jílovce, silně slídnaté, převážně tvrdé konzistence byly zastiženy jak jámou (30 až 62 m), tak i hlavní chodbou do staničení 74 m. Blíže k hlavě hnědouhelné sloje byly dokumentovány rostlinné zbytky s hojnými xylitickými vrstvičkami. V jílovcích byly též zastiženy čočky a mezipolohy písčitých pelosideritů. Tence vrstevnaté či kostkovité až blokovitě rozpadavý jílovec byl zde prostoupen řadou proklouzaných ploch, které svědčí o intenzivním postsedimentárním dotvarování. Vrstevnatost byla zřetelná pouze ojediněle, převládalo prohnětení či úplná destrukce

původní vrstevnatosti. Na základě analýzy strukturních znaků byly nadložní jílovce rozčleněny na bloky, navzájem oddělenými výrazněji porušenými pásmy s přidruženým systémem odlučných ploch.

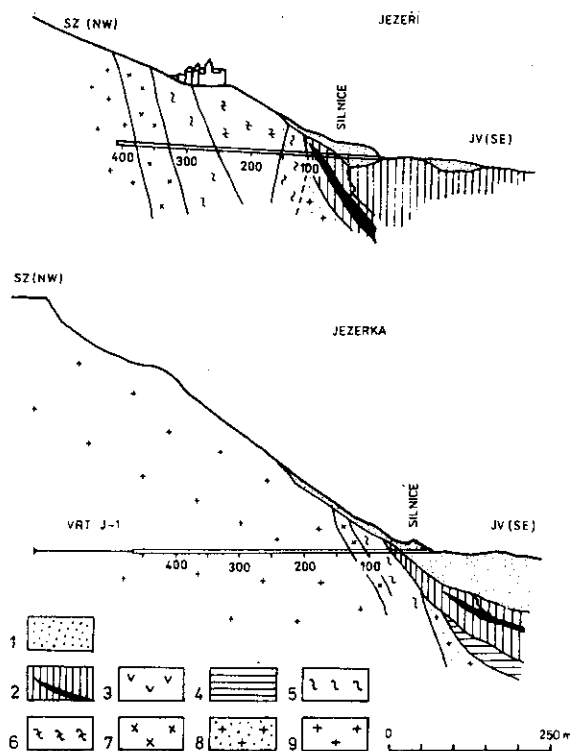
Hnědouhelná sloj byla zastížena hlavní chodbou v nepravé mocnosti 15 metrů. Sloj má charakter převážně jílovitého detritického uhlí, s ojedinělými lamelami xylitu. Uhlí je silně rozpukané (převažuje diakláza). Pukliny jsou zde často ohlazené a rýhovány s impregnační pyritu. Charakter vrstevnatosti, podobně jako v nadložních sedimentech, je ovlivněn tektonickým i atektonickým napětím. Sklon vrstevnatosti má vzrůstající tendenci od  $30^{\circ}$  do  $50^{\circ}$ .

Rozhraní podložního souvrství a uhelné sloje je ostré, částečně tektonické a ukloněné  $50^{\circ}$  až  $70^{\circ}$  k JV. Podloží sloje je tvořeno různorodými kaolinickými slídnatými pískovci s uhelným pigmentem až drtí, slabě stmelenými, dále slepenci až sedimentární brekcii s úlomky ruly do 2 cm a uhelným pigmentem v písčité základní hmotě. Dále byly zachyceny polohy uhelnatého jílovce s bloky alterované ruly. Celé souvrství má charakter silně tektonicky postižené polohy s řadou neprůběžných kluzných ploch a rychlých litologických změn. Zvodnění i oproti propustné slojové partii je výraznější.

Od staničení 95 metrů přešla hlavní chodba ostrým členitým tektonickým kontaktem do hornin krušnohorského krystalinika. Tyto horniny lze rozčlenit podle jejich dokumentovaných vlastností a projevů na dva základní typy: na poruchové pásmo krystalinika a na krystalinikum blokovitě porušené.

Poruchové pásmo krystalinika dokumentované od staničení 95 m do 207 m v hlavní chodbě má výrazně litologicky nehomogenní charakter. Byly zde zastiženy desítky metrů mocné bloky plástevnatošupinaté ruly chloritizované, silně až slabě alterované se strmou či silně provrásněnou foliací ( $55^{\circ}$  až  $90^{\circ}$ ). Samotné bloky jsou středně rozpukány četnými dislokacemi. Často je rula silně kataklasticky porušena. Dále byly dokumentovány partie horniny zcela tektonicky porušené, bez zachované původní struktury, charakteru jílovitopísčité, slídnaté, nerovnoměrně stmelené hmoty, místy silně provrásněné. V ní „plavou“ různé objemné bloky různě alterované, chloritizované nebo kaolinizované ruly. V základní hmotě byly zastiženy pouze reliktly původně rigidního krystalinika.

Kontakt poruchového pásma s blokovitě porušeným krystalinikem je výrazný, tektonický a je tvořen systémem výrazných dislokací, vyplněných až 15 cm mocnou polohou jílovitopísčitých mylonitů s valounky křemene. Hraniční systém dislokací má sklon  $50^{\circ}$  až  $80^{\circ}$  a je ukloněný k J až JV. Krystalinikum je tvořeno zrnitoplástevnatou, místy okatou rulou, kataklasticky porušenou. Stupeň zvětrání je velmi proměnlivý. Hornina je silně rozpukaná, pukliny mají často charakter dislokací vyplněných tektonickým jílem či mylonitem. Z měřených foliace vyplývá vlastní „blokovitost“ krystalinika (dislokovanost). V okolí dislokací je hornina značně tektonicky porušená a vytváří na jejich křížení „kapsy“ tvořené silně kaolinizovanou rulou. Bloky jsou často navzájem výrazně posunuty. Rozsah takto blokovitě porušeného krystalinika byl určen,



3. Schematický geologický profil v oblasti průzkumných báňských děl Jezeří a Jezerka. 1 – kvartérní pokryv, 2 – terciární sedimenty, 3 – terciární vulkanické brekcie, 4 – křídové sedimenty, 5 – tektonická brekcie, 6 – blok tektonické brekcie, 7 – dislokované krystalinikum, 8 – alterované krystalinikum, 9 – krystalinikum slabě navětralé až technicky zdravé.

vzhledem k dosahu chodby, pouze na základě povrchového geofyzikálního průzkumu.

Z hydrogeologického hlediska je blokovitě porušené krystalinikum oproti poruchovému pásmu výrazně propustnější (puklinově).

**Štola Jezeří** (MAREK 1981, MÜHL DORF 1981) byla vyražena v průběhu roku 1980. Štola dlouhá 430 m je situována v patě krušnohorského stupňovitě členitého svahu pod zámekem Jezeří. Portál je v umělé vyhloubené rýze v prostoru bývalého zámeckého parku pod silnicí I/13, v současné době zrušenou (obr. 1 a 3).

Kvartérní uloženiny charakteru jílovitopísčítokamenité proluviální a deluviální suti byly štolou zastíženy až do staničení 65 metrů.

Následující sedimenty terciárního stáří byly štolou sledovány až do staničení 117 m. Terciární sedimenty jsou zastoupeny hrubozrnnými pískovci s kaolinickým či křemitým tmelem, které přecházejí často až do sedimentární brekcie. Tato přibřežní facie miocenní sedimentace obsahuje v sobě strmě ukloněnou ( $50^\circ$ ) uhelnou sloj. Sloj je silně jílovitá s protáhlými vrstvičkami xylitického uhlí. Svrchní hranice s uhelnou slojí je nerovná, stratigrafická. Spodní hranice je hladká, rovná. Bezprostřední podloží je tvořeno pískovcem a sedimentární brekcií s uhelným pigmentem až úlomky uhlí.

Terciární sedimenty jsou od poruchového pásma krystalinika ostře odděleny 2 m mocnou dislokací, ukloněnou  $65^\circ$  k JV.

Poruchové pásmo dokumentované ve štolu Jezerka vykazuje kvalitativní zonálnost s tím, že jednotlivé zóny (bloky) jsou vzájemně odděleny výraznými mylonitizovanými dislokacemi. Poruchové pásmo bylo štolou sledováno až do staničení 327 metrů. V úvodu je pásmo tvořeno silně tektonicky postiženou (drcenou) rulou s úplnou ztrátou původní struktury. Hornina je silně kataklasticky postižená a má charakter hrubého jílovitého písku, slídnatého, s polohami tektonického jílu. V základní hmotě „plavou“ úlomky až balvany ruly různě alterované. Toto pásmo přechází ostře tektonickým mylonitovým kontaktem ukloněným  $80^\circ$  k SZ ve staničení 156 m do bloku plástevnatých rul. Foliace je výrazná, jednotná. Hornina je silně rozpukaná a celkově proměnlivě alterovaná s převahou technicky zdravých partií. Od staničení 250 m přechází pevnější rulový blok poruchové zóny do rozpadavých, tektonicky značně porušených rul. Přejít je pozvolný, doprovázený hustou sítí dislokačních ploch ukloněných  $70^\circ$  k JV. Plástevnatá rula je zde silně kaolinizovaná, místy drcená; foliace je detailně provrášněná až nezřetelná. Hornina je celkově snadno mechanicky rozpojitelná s četnými dislokačními plochami, místy s pevnějšími rulovými celky. Ve staničení 327 m je pak poruchové pásmo ostře tektonicky odděleno 2 metry mocným mylonitovým dislokačním pásmem, ukloněným  $75^\circ$  k JV od blokovitě (dislokovaného) krystalinika podobného charakteru jako ve štolu Černice. Takto porušené krystalinikum postupně přechází ca ve 383 metrech do technicky zdravé plástevnaté ruly s výraznou foliací, středně až slabě rozpukané. Zde, ve staničení 410 metrů, byla štola ukončena.

**Štola Jezerka** (SMOLAŘ 1985) je situována pod strmým jv. svahem vrchu Jezerka, v jeho úpatní části na kótě 320 m n. m. Strmý svah vrchu Jezerka s generelním sklonem  $30^\circ$ – $35^\circ$  je kryt slabou vrstvou zvětralin, ze kterých vystupují četné skalní výchozy tvořené rulou. Přilehlá pánevní neogenní část stupňovitě upadá do lomu ČSA. Celý přilehlý pánevní prostor, tvořící závěrný svah lomu ČSA, je postižen četnými svahovými pohyby.

Úvodní část vlastní štoly Jezerka prošla navázkou bývalé silnice I/13 Litvínov-Chomutov a po 26 m zastihla kvartérní svahové (deluviální) uloženiny stejného charakteru jako v prostoru jámy Černice – hlinitokamenitopísčité suti.

Podloží těchto svahových uloženin je tvořeno v zastížené úpatní části přibřežními sedimenty ca 3 m mocnými. Litologicky to jsou, podobně jako v oblasti Černic, sedimenty značně variabilní. Jsou zde zastoupeny různozrnné písky až silty, jemně slídnaté, s částečně opracovanými úlomky ruly do 1 cm. Písčité polohy mají náznak vrstevnatosti a při bázi byly zastíženy šmouhy se zuhelnatělými zbytky rostlin. Kvartérní stáří těchto sedimentů nebylo doloženo.

Výše uvedené sedimenty ostře přešly ve staničení 70 m pod úhlem  $60^\circ$  do poruchového úpatního pásma krystalinika, do polohy charakteru tektonické brekcie. Tato polo-

ha, v místě štoly ca 30 m mocná, je složena z úlomků a bloků silně alterovaných rul a jejich minerálních součástí. Segmenty jsou obklopeny jemnozrnnou jílovitopísčitou slídnatou hmotou. Někdy je v základní hmotě rozptýlen siderit s koncentricky vrstevnatou až radiálně paprčitou stavbou. Hornina bývá často detailně provrášněna. I zde je charakteristickým znakem tektonické brekcie výrazná zrnitostní nejednotnost, prostorová proměnlivost a celkově nízká pevnost (soudržnost).

Tektonická brekcie je ve staničení 102 m ostře tektonicky omezena výrazným mylonitizovaným dislokačním pásmem, ukloněným  $75^\circ$  k J a mocným ca 1 m. Za tímto výrazným dislokačním pásmem byly štolou zastíženy silně alterované dislokované ruly, tvořící přechodovou partii vlastního masívu krušnohorského krystalinika a poruchového úpatního pásma. Rula je zde silně rozpukaná, místy až kataklasticky postižená, kladivem snadno rozpojitelná, až v ruce lámateľná.

Výše popsané, tektonicky omezené poruchové pásmo přechází ve štole ve staničení 132 m do vlastního komplexu rul krušnohorského krystalinika. Je tvořeno zrnitoplástevnatými nebo zrnitošupinatými, místy okatými rulami. Hornina je celkově technicky zdravá až slabě navětrálá. Kontakt poruchového pásma je výrazně tektonický, ukloněný  $70^\circ$  k JV.

Intenzita rozpukání zastíženého krystalinika je značně proměnlivá a lze ho tak rozčlenit podle intenzity a charakteru rozpukání (tektonického porušení) na dva základní bloky, kde prvý okrajový blok vykazuje výraznější variabilitu směrů rozpukání na rozdíl od druhého bloku. V obou celcích však převládá rozpukání sv.-jz. a v.-z. směru. Vlastní rozhraní těchto bloků je tvořeno výraznou směrovou poruchou a intenzivnějším porušením okolního horninového prostředí. Kromě této uvedené dislokace ve staničení 269 m byla v krystaliniku zastížena řada více či méně výrazných dislokačních ploch, vyplněných mylonitem nebo jen tektonickým jílem a tyto plochy člení masív na méně výrazné bloky.

V koncové čelbě štoly, ve staničení 467 m, byl proveden 150 m dlouhý horizontální vrt, který neprokázal žádnou výraznější změnu tektonického postižení krystalinika.

Kromě uvedené štoly byla v prostoru portálu vyhloubena 60 m hluboká jáma s 20 m dlouhou rozrážkou, vedenou paralelně s výše uvedenou štolou. Toto průzkumné důlní dílo mělo původně ověřit a zdokumentovat hlubší partie kontaktu pánevních sedimentů a poruchového pásma krystalinika. Z důvodu havárie bylo důlní dílo ukončeno v poloze silně zvodnělých přibřežních sedimentů v podloží kvartérních svahových uloženin obdobného litologického charakteru jako ve štole Jezerka a Černice.

### **Celkový charakter úpatního poruchového pásma**

Uvedené inženýrskogeologické poměry důlních děl jednoznačně potvrdily přítomnost úpatního poruchového pásma krušnohorského krystalinika jako vůdčího, strukturně geologického fenoménu v dané oblasti lomu ČSA mezi Horním Jiřetínem a Jezerkou.

Ryze tektonický postsedimentární původ poruchového pásma vyplývá z jeho charakteru oboustranně ověřeného kontaktu s pánevními sedimenty a vlastním krušnohorským krystalinikem, doloženým v dílech Černice, Jezeří a Jezerka. Kontakt s pánevními sedimenty je v uvedených dílech ostrý a strmý, doprovázený kluznými dislokačními plochami. Podlošní souvrství hnědouhelné sloje má výrazně chaotický charakter s řadou rychlých litologických změn, jak to bylo dokumentováno v chodbě Černice.

Kontakt poruchového pásma s krystalinikem v uvedených dílech má podobný zonální charakter. Vlastní poruchové pásmo, tvořené tektonickou brekcií, přechází ostře a poměrně strmě ( $70-90^\circ$ ) přes dislokační mylonitizované pásmo do výrazně dislokovaného krystalinika, které tvoří přechodovou zónu úpatního poruchového pásma. Kontakt mezi tímto blokovitě porušeným krystalinikem a technicky zdravým až slabě navětrálým krystalinikem byl zachycen pouze štolou Jezerka a Jezeří. Zde je tvořen více či méně mocným dislokačním pásmem, které ve štole Jezeří pomalu doznívá. Ve štole Jezerka je naopak přechod velmi ostrý.

V těchto třech dílech (Jezerka, Jezeří a Černice), na rozdíl od štoly Jiřetín, byly prokázány i celkově obdobné litologické a strukturní tektonické poměry poruchového pásma (obr. 2, 3).

Vlastní tektonická brekcie má charakter zcela mechanicky a částečně chemicky destruované horniny. Je tvořena jílovitopísčitou, silně slídnatou hmotou, ve které jsou zachovány relikty úlomků až několik metrů velkých bloků původně rigidní horniny.

Jak vyplývá z inženýrskogeologické charakteristiky celého poruchového pásma, v jednotlivých dílech jsou intenzita porušení a mocnost rozdílné. Intenzita (stupeň) porušení je zřejmě závislá na mocnosti predisponovaného variského tektonického oslabení, tedy na strukturně geologické pozici (SMOLAŘ 1985, MAREK 1981). Zároveň, jak ukazují obr. 2 a 3, byla poruchová zóna zastížena důlními díly v různých výškových úrovních v následujících nepravých mocnostech: štola Jezerka – 32 m tektonická brekcie, 30 m dislokované krystalinikum, štola Jezeří – 210 m tektonická brekcie, 56 m dislokované krystalinikum, chodba Černice – 112 m tektonická brekcie, 60 m dislokované krystalinikum.

Zvláštní postavení, vzhledem k charakteru porušení úpatního krušnohorského pásma, má štola Jiřetín. Toto důlní dílo bylo situováno v mírně zvlněném svahu za výchozem uhelné sloje (prostor bývalého dolu Himelfürst) v jihovýchodně vysunuté kře krušnohorského krystalinika, tedy v oblasti tektonicky exponované, kde je křížení příčných a podélných zlomových pásem. Štola Jiřetín tak zde zastihla jiný charakter úpatního poruchového pásma. Štolou dokumentované krystalinikum je celkově blokovitě porušené, jednotlivé „megabloky“ vykazují odlišný stupeň alterace a rozpukání a lze vysledovat i petrografickou odlišnost. Bloky jsou pak navzájem odděleny výraznými dislokacemi, dále až poruchovými pásmi, tvořenými tektonickou brekcií či výrazně dislokovanou horninou.

Za takto porušeným krystalinikem byla zastižena ostře omezená vulkanická brekcie neovulkanické diatremy. Podle vysledovaného náznaku zonálnosti stupně tektonického porušení vulkanitu můžeme usuzovat na jeho následné tektonické porušení v důsledku oživeného výzdvihu krušnohorské klenby v pliocénu až pleistocénu (HORÁČEK 1988a). Vzhledem k tomu, že štolou nebyl zdokumentován celý profil vulkanitu, ani jeho s. kontakt s krystalinikem, nelze zde celé poruchové pásmo blíže specifikovat a vyjádřit se o jeho plošném rozsahu.

### Geotechnický průzkum důlních děl

Nedílnou součástí průzkumných prací v důlních dílech bylo získání fyzikálně mechanických vlastností zastižených horninových typů, zejména poruchového pásma, a jejich kontaktů. Pro tyto účely byly vyraženy geotechnické rozrážky a využity též hlavní chodby, kde byly ve vybraných úsecích provedeny krátké, až 6 m hluboké vrtv. Ve všech zmíněných dílech byl aplikován obdobný komplex geotechnických a geofyzikálních zkoušek.

Byly tak vyšetřovány indexové vlastnosti, pevnostní a deformační charakteristiky, stav napjatosti horninového prostředí a ve vybraných úsecích štol Jezerka, Jezeří a chodby Černice petrofyzikální vlastnosti.

Základní indexové vlastnosti (objemová hmotnost, pórovitost, stupeň nasycení, vlhkost, konzistence aj.) byly získány z výsledků laboratorních zkoušek na vzorcích odebíraných ze stěn výrubu a vrtného jádra krátkých vrtů. Laboratorní určení základních fyzikálních vlastností bylo doplňováno metodami užitými geofyziky, a to měření v důlním díle nebo v laboratořích. Tam se stanovovaly petrofyzikální vlastnosti (hustotní, elektrické, elastické parametry). Takto získané fyzikální vlastnosti, po vzájemné korelaci, průběžně charakterizovaly fyzikální stav a charakter celých zastižených geologických profilů. Z průběhu polních měření objemové hustoty a elastických parametrů v tektonické brekcii, zastižené chodbou Černice a doplněné údaji z přílehlého hlubokého vrtu CN-71, byla potvrzena její výrazná prostorová i hloubková anizotropie. Z výsledků dále vyplynulo nevýrazné hloubkové ovlivnění výše uvedených fyzikálních vlastností tělesa tektonické brekcie v hloubkovém rozsahu do ca 240 m (CAHYNA 1988).

Pevnostní charakteristiky byly zkoušeny laboratorními i polními zkouškami. Laboratorní zkoušky se prováděly na nepravidelných vzorcích a na vrtných jádrech získaných z krátkých vrtů. Soubor výsledků laboratorních zkoušek byl doplněn polními smykovými zkouškami na vybraných horninových blocích. Takto byly vyšetřeny pevnostní charakteristiky zastižených horninových typů v různých oborech napětí (zatížení), a to 0 až 1 MPa, 1 až 2 MPa a 2 až 4 MPa. Byly určeny vrcholové i reziduální pevnosti hornin.

Pevnostní charakteristiky horninových celků byly doplněny nepřímou metodou měření odrazového čísla (tvrdošti) Schmidovým kladivem. Z odrazového čísla a objemo-

vé tíhy testované horniny byly pomocí Müllerova nomogramu stanoveny pevnosti v prostém tlaku. Někdy byla aplikována zkouška bodové pevnosti, z které byla pomocí korelačních vztahů určována pevnost v prostém tahu a tlaku.

Přetvárné vlastnosti byly zkoušeny laboratorně a polními zkouškami. V geotechnických rozrážkách byly prováděny různé orientované rozpěrné zkoušky. V krátkých, 6 m hlubokých vrtech, vyhloubených ve vybraných úsecích důlních děl, pak byla prováděna presiometrická měření. Z vrtů byly také odebrány vzorky pro laboratorní určení přetvárných vlastností.

Uvedená přímá měření byla doplněna seizmickým měřením podél stěn výrubů či v krátkých vrtech. Ze získaných rychlostí elastických vln, uměle vyvolaných v horninových typech, byly vypočteny dynamické moduly přetvárnosti a pružnosti. Na rozdíl od bodových určení statických modulů, dynamické moduly průběžně kvalitativně charakterizovaly zastižený horninový profil v jednotlivých důlních dílech. Statické moduly pak horninový masív charakterizovaly kvantitativně.

Původní (přírodní) napjatost horninového masívu byla vyšetřována konvergenční metodou v těsné blízkosti ražených čeleb. Vzhledem ke značným obtížím při upevňování měřičských fixů v silně porušené hornině zastiženého poruchového pásma se uskutečnilo pouze omezené množství měření. Z výsledků měření v důlních dílech, provedených zejména v přílehlých partiích krystalinika, a z měření ve vrtech vodními trhacími zkouškami vyplynul větší podíl horizontálních napětí vůči vertikálním, což je obrazem prošlé tektonické aktivity úpatní části Krušných hor.

Uvedená geotechnická měření byla doplněna seizmickým měřením, určujícím intenzitu a rozsah vlivu trhacích prací v důlních dílech na porušení okolní horniny.

Celkový přehled geotechnických vlastností všech horninových typů zastižených důlními díly je uveden v literatuře (MÜHLDFORF 1981, SMOLAŘ 1985).

*K tisku doporučil J. Rybář*

### Literatura

- BRUS, R. - HURNÍK, S. (1984): Explozivní vulkanické struktury v severočeské hnědouhelné pánvi. – Čas. Mineral. Geol., 29, 3, 255–269. Praha.
- BŮŽKOVÁ, H. (1988): Závěrečná zpráva Jiřetín VČSA – realizace. – MS Geofond. Praha.
- CAHYNA, F. (1988): Geofyzikální průzkum chodby Černice. – MS Geofond. Praha.
- HORÁČEK, M. (1988a): 14. dílčí zpráva Jiřetín VČSA – realizace – důlní dílo Černice. – MS Geofond. Praha.
- (1988b): 15. dílčí zpráva Jiřetín VČSA – realizace – důlní dílo Jiřetín. – MS Geofond. Praha.
- MAREK, J. (1981): Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu pro řešení stability areálu Jezeří v předpolí uhelného Vělkolomu čs. armády. – MS Geofond. Praha.
- MÜHLDFORF, J. (1981): Závěrečná zpráva Komořany II. C – Jezeří. – MS Geofond. Praha.
- SMOLAŘ, Z. (1985): Závěrečná zpráva Jezerka. – MS Geofond. Praha.

## Comparison of data on exploratory mining works between Jezerka and Horní Jiřetín in the Krušné hory Mts.

*(Summary of the Czech text)*

MILOŠ HORÁČEK

Received May 11, 1992

The paper summarizes information gained from exploratory mining works in the space of the Československé armády open pit mine between the villages Jezerka and Horní Jiřetín in the Krušné hory Mts. It concerned the range and geotechnical properties of the foothills fault zone at the Krušné hory Crystalline foot. Beside other results, the mentioned ones served as input information for calculation of the stability of pit slopes of the passing off as well as the planned brown coal mining coal mining in the Čs. armády open pit mine.

The mining works compared – Jiřetín, Černice, Jezeří and Jezerka – reached the fault zone at different morphological and depth levels and structural manifestations. Thus the mentioned mining works unequivocally proved the existence and great variability of the foothills fault zone in natura and at the same time verified its geotechnical properties.

*Přeložila G. Vladyková*

### Explanation of text-figures

1. Situation of the exploratory mining works. A – Jiřetín gallery, B – gallery and shaft Černice, C – gallery Jezeří, D – gallery Jezerka, 1 – boundaries of mines in 1989, 2 – perspective boundaries of the Čs. armády open pit mine.
2. Schematic geological profile in the region of the exploratory mining works Černice and Jiřetín. 1 – Quaternary cover, 2 – Tertiary sediments, 3 – Tertiary volcanic breccia, 4 – tectonic breccia, 5 – block of the

- tectonic breccia, 6 – faulted Crystalline, 7 – altered Crystalline, 8 – weakly weathered to technically healthy Crystalline.
3. Schematic geological profile in the region of the exploratory mining works Jezeří and Jezerka. 1 – Quaternary cover, 2 – Tertiary sediments, 3 – Tertiary volcanic breccia, 4 – Cretaceous sediments, 5 – tectonic breccia, 6 – block of the tectonic breccia, 7 – faulted Crystalline, 8 – altered Crystalline, 9 – weakly weathered to technically healthy Crystalline.





Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 20	Pages 53–60	1 fig.	2 tabs.	– pl.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
-----------------------------	-------------------------------------	----------------	-----------	------------	----------	-------------------	--------------------------------------

## Hydrogeochemical investigation in the region of Horní Jiřetín and Jezeří forests in North Bohemia

### Hydrogeochemický výzkum v oblasti Horního Jiřetína a Jezeřských lesů v severních Čechách

ZDENĚK JEZERSKÝ<sup>1</sup>

Received May 31, 1991

1 : 50 000: 02-31

Key words: Hydrogeochemistry, Groundwater, Quaternary, Tertiary, Gneiss, Acidification

JEZERSKÝ, Z. (1994) : Hydrogeochemical investigation in the region of Horní Jiřetín and Jezeří forests in North Bohemia. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 53–60. Praha.

**Abstract:** The subject of the hydrogeochemical study in the Horní Jiřetín and Jezeří forests region in North Bohemia was groundwater from Quaternary deposits, volcanic breccia, Tertiary sediments of the North Bohemian Basin and from gneisses forming the basement of the Tertiary basin and the adjacent massif of the Krušné hory Mts. The investigation results are a contribution of geological sciences to recognition of the environmental state in this anthropogenically loaded part of our Earth.

The investigation verified specific chemical and physico-chemical properties of groundwater from shallow collector of Quaternary deposits (dominant ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , pH = 5.8–6.4,  $\delta^{34}\text{S} = +3.1\text{‰}$  and from deeper situated collectors of Tertiary sandstones and gneisses (prevailing ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , pH = 7.2–7.9,  $\delta^{34}\text{S} = -0.5\text{‰}$  and  $-1.4\text{‰}$  – gneisses) and volcanic breccia ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , pH = 7.1). The ascertained vertical hydrochemical zoning (shallow collector – sandstones, gneisses) and local occurrence of groundwater of Mg- $\text{HCO}_3$  type are connected with long lasting input of anthropogenic sulfur in form of acidic atmospheric deposition into the hydrogeological system of the studied part of the Krušné hory region, with different petrochemical character and hydraulic properties of the collector studied and with the occurrence of Tertiary claystones and argillized volcanites, separating hydrochemically different shallow and deep collectors functioning as a hydrogeological insulator.

<sup>1</sup>Aquatest, SG Inc., Geologická 4, 150 00 Praha 5

In the years 1982–1985, the region of Horní Jiřetín and Jezeří forests in the Krušné hory Mts. underwent a hydrogeochemical exploration which was part of a complex geological exploration of the foreland of the open pit brown-coal Československé armády Mine.

The research was carried out on a morphologically prominent territory (264–924 m a.s.l.) covering part of the

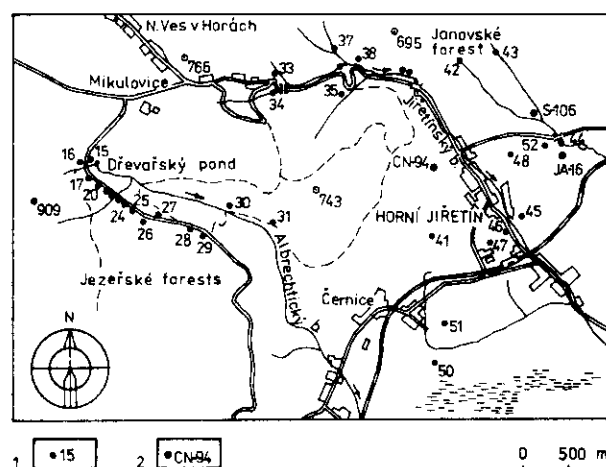
North Bohemian Basin between the villages of Janov and Černice and the adjacent Krušné hory massif as far as Mikulovice village.

Owing to a complicated geological structure, on the comparatively small area (ca. 30 km<sup>2</sup>) we could study chemical and physical properties of groundwater from several collectors, differing in their stratigraphic position, hydraulic parameters and petrochemical character (Quaternary deposits, volcanic breccia, Tertiary basin sediments, crystalline complex of the basement of the basin and the Krušné hory mountain slopes).

The hydrogeochemical investigation of the water-saturated zone was, with respect to the searched origin of selected compounds in groundwater, supplemented by an orientational study of qualitative properties of wet atmospheric deposition in the given area.

#### Methods

The samples of groundwaters were taken from debris spring, which in the mountainous part of the studied area in many places naturally drain the collector of Quaternary deposits, from hydrogeological wells by the end of pumping tests, and from artesian wells with positive delivery level directly from the overflow at the head of the well.



1. The region of the hydrogeochemical investigation 1 – taking places of naturally issuing groundwater; 2 – wells with overflow.

Hydrogeological boreholes constructed in such a way that in one point it was possible to study separately groundwater from several collectors enabled us to study vertical hydrochemical zoning.

The groundwater was sampled into polyethylene bottles of 0.1 and 2 litre volume, washed with hydrochloric acid and distilled water and rinsed with the groundwater assigned for the analysis.

In the laboratories of Aquatest the water samples were subjected to a standard set of analyses involving pH, electroconductivity, chemical oxygen demand, total hardness ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ), acid and alkali neutralization capacity, alkali metals ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Average contents of selected compounds are given in table 1.

In the following text as well as in the equilibrium calculations only laboratory values of pH are presented. Because it is known that these values can prominently differ from the pH values obtained directly in the field (PAČES, 1972), a linear model  $Y = a + b.X$  was additionally tested by means of regression analysis, and samples from 17 taking places of the studied area the relation between laboratory pH (PHL) and field pH (PHT) was verified and expressed by the equation

$$\text{PHL} = 0.52 + 0.93 \cdot \text{PHT} \quad (1)$$

The close relationship between PHL and PHT is indicated also by a high positive value of the correlation coefficient (0.9). So it is obvious that in this case the laboratory values of pH will not substantially influence the results of the equilibrium calculations, and at the same time they can be used as one of the characteristic qualitative parameters of the studied collectors.

In perennial springs and artesian wells the chemical and physico-chemical properties of the groundwater were observed in dependence upon time, for a period of at least one year, in about one-month intervals.

With respect to the presumed influence of the groundwater by a long-lasting admission of anthropogenic sulfur into hydrogeological system of the studied Krušné hory region, and in order to verify the relationship between the precipitation water and groundwater, the standard chemical analyses were supplemented by an isotopic study of sulfur in dissolved sulfates ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ) and water molecules ( $^3\text{H}$ ). These analyses were performed in the Research Institute of Brown Coal in Most ( $^3\text{H}$ ) and in the Czech Geological Survey in Prague (sulfur isotopes).

Atmospheric water (melted snow) underwent the same set of analyses as the groundwater.

### Compound contents in groundwater

Average contents of selected ions and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  in groundwater of the studied collectors are given in table 1.

From the given outline it is evident that of the groundwater from shallow collector of the Quaternary deposits are characteristic molar ratios of alkaline earths to alkali metals and hydrogencarbonates to sulfates [(Ca + Mg) :

(Na + K) = 2.0,  $\text{HCO}_3^-$  :  $\text{SO}_4^{2-}$  = 0.6]], acid reaction of the solution (average pH = 6.1) and low average of Li ( $0.002 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) and  $\text{F}^-$  ( $0.01 \text{ mmol.l}^{-1}$ ). Mean  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfates of naturally issuing groundwater make  $+3.1 \pm 0.9 \text{ ‰}$  (6 streams in the mountainous part of the studied area,  $n = 44$ ).

Different chemical properties were verified in groundwater from deeper collectors, composed of volcanic breccia, Tertiary sandstones and gneisses.

Of the given collectors, ratios of hydrogencarbonates to sulfates (6.7), nearly neutral reaction of water (pH = 7.3) and higher average contents of Li ( $0.02 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) and  $\text{F}^-$  ( $0.021 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) are characteristic. In groundwater from gneisses and sandstones the main cations are represented by alkali metals [(Ca + Mg) : (Na + K) = 0.43]]. In the case of the volcanic breccia the prevailing contents of alkaline earths with dominant role of Mg was ascertained [(Ca + Mg) : (Na + K) = 2.4, Ca : Mg = 0.7]].

Isotopic composition of sulfate sulfur of deeper circulating groundwater was studied from an overflow well JA-16, collecting water from gneisses with argillized basalt in the overlie (depth of the well 150 m, open section 42–81 m, constant overflow  $0.8 \text{ l.s}^{-1}$ , constant temperature of water  $13.2 \text{ °C}$ ,  $n = 17$ ) and further from the well CN-94, drilled in gneisses passing directly into Quaternary deposits (well depth 82 m, open section 20–82 m, seasonal water overflow from March to October with the yield of ca.  $0.01 \text{ l.s}^{-1}$ , temperature of groundwater  $8 \text{ °C}$ , one measurement of sulfur isotopic ratio performed in August 1985).

Groundwater from both the boreholes had slightly negative  $\delta^{34}\text{S}$  (JA-16,  $-1.4 \pm 0.1 \text{ ‰}$ , CN-94,  $-0.5 \text{ ‰}$  – V. Šmejkal, pers. comm.).

Tritium activity of three samples taken from the overflow well JA-16 was lower than 3 T.U. (P. Trýzna, pers. comm.).

MOSER and RAUERT (1980) give the value  $5 \pm 5 \text{ T.U.}$  as the average tritium activity of precipitation water in Europe before 1952.

Groundwater of phreatic water body as well as of the deeper situated collectors with exception of artesian wells exhibited roughly the same average  $\text{Cl}^-$  contents ( $0.4\text{--}0.5 \text{ mmol.l}^{-1}$ ).

Contents of all dissolved substances fluctuated from  $3.5 \text{ mmol.l}^{-1}$  (Quaternary deposits of the mountainous part of the area) to  $12.3 \text{ mmol.l}^{-1}$  (basement gneisses).

In all the groundwater samples the  $\text{Na}^+$  ion contents were by an order of magnitude higher than those of  $\text{K}^+$  ions in spite of the fact that the average contents of these elements in the upper continental crust are almost equal (Na – 2.89 %, K – 2.80 % – TAYLOR and MCLENAN, 1985). This relationship between the contents of dissolved alkali metals is of general validity for groundwater uninfluenced by anthropogenic agents (agricultural activity) and is being explained by an easy bond of  $\text{K}^+$  ion with small ionic radius in structures of clay minerals and a high resistivity of K feldspar compared with Na-Ca feldspars during weathering processes (HEM, 1970).

Table 1  
Average chemical composition of the studied groundwater

source	streams		S-106				wells	
rock	Quaternary deposits		volcanic breccia	sandstones	basement gneisses	gneisses of the Krušné hory mountain slope		
number of assessment	688	39	1	11	12	32	17	
Na <sup>2+</sup>	0.41	0.63	0.62	1.6	4.6	1.6	0.8	
K <sup>+</sup>	0.056	0.095	0.08	0.15	0.3	0.15	0.05	
Li	0.001	0.003	0.004	0.014	0.05	0.006	0.009	
Ca <sup>2+</sup>	0.58	0.99	0.72	0.61	0.42	0.52	0.69	
Mg <sup>2+</sup>	0.29	0.50	0.97	0.54	0.39	0.27	0.52	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.006	0.017	0.009	0.09	0.26	0.06	0.01	
Mn	0.001	0.011	0.001	0.005	0.01	0.009	0.0005	
Fe	0.004	0.07	0.007	0.09	0.054	0.24	0.029	
Cl <sup>-</sup>	0.32	0.41	0.14	0.52	0.50	0.44	0.16	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.21	0.22	0	0.11	0.1	0.04	0.013	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.28	0.82	3.25	2.05	4.6	2.2	2.6	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.71	1.2	0.37	0.58	0.52	0.44	0.29	
F <sup>-</sup>	0.01	0.01	0.011	0.026	0.028	0.026	0.014	
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0.61	0.59	1.8	0.42	0.45	0.62	1.1	
H <sup>+</sup> .1000	1.58	0.4	0.079	0.063	0.012	0.05	0.063	

Contents of the substances in mmol.l<sup>-1</sup>

The concentration of both Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> ions in the groundwater of all the collectors studied overtops several times the contents of another alkali metal, lithium. This ratio is conditioned by low average Li contents in the upper continental crust (20 ppm – TAYLOR - MCLENNAN, 1985).

Higher average Fe contents in the Earth's crust compared with the average crustal abundance of manganese explains the prevailing concentration of Fe over Mn in groundwater of all the collectors studied.

Nitrate contents were raised both in the Quaternary collector and locally even in deeper circulating groundwater. This fact is associated with anthropogenic effects in the studied area – either with the agricultural activity, nitrogen atmospheric deposition (MATTHESS, 1988) or large-area deforestation of the Krušné hory Mts. resulting from negative impact of industrial exhalation linked up with nitrogen washing off of the soil into groundwater collectors (BORMAN - LIKENS, 1970).

### Formation of groundwater chemical composition

#### Effects of acid atmospheric deposition

The studied region of the Krušné hory Mts. is upon an intensive load of acid atmospheric deposition (PAČES, 1984). This is acid wet fall-out with pH averaging 4.19, prevailing SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ions and comparatively high NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> contents, moreover dry atmospheric fall-out in form of acid SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> gases and deposition of fly ash bearing acidifying particles.

Natural pH of precipitation water is 5.66 and it is a result of chemical balance between atmospheric water and carbon dioxide, in the atmosphere represented by 0.03 % (STUMM - MORGAN, 1981).

The acidity of the precipitation water in the Krušné hory region is conditioned by industrial exhalations. During winter time, with inversion temperatures of the air, in the lower part of the atmosphere the sulfur dioxide concentration can reach for short time as much as about 6000 µg.m<sup>-3</sup> (information from the Czech hydrometeorological survey in Ústí nad Labem from the year 1993).

According to MOLDAN (1980) the average pH of cumulative precipitation from the Most region was in 1977–1979 3.82 and other ions contents were as follows (mmol.l<sup>-1</sup>): SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 0.19, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.14, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0.061, Ca<sup>2+</sup> 0.0435. In 1986–1987 the same author (B. Moldan, 1988 – personal communication) mentions the average pH of precipitation from Vysoká Pec – 4.26, and adds the contents of other ions (mmol.l<sup>-1</sup>): SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 0.1, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.1, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0.06, F<sup>-</sup> 0.017, Ca<sup>2+</sup> 0.03. From the isotopic analysis of sulfur in sulfates of melted snow taken by the present author in the March of 1987 in the region of the Jezeří forests we obtained the value of δ<sup>34</sup>S = +4.4 ‰. The sulfate contents in the snow water was 0.13 mmol.l<sup>-1</sup> and its pH made 3.98.

The effects of the acid atmospheric deposition as a whole are in the studied area most expressively manifested in the chemistry of rapidly circulating groundwater from the shallow collector of Quaternary deposits of the mountain region.

In the area of the Jezeří forests, some 900 m a.s.l., with expressive negative effects of acid exhalation on perennial conifers, chemical composition of 16 groundwater issues was monitored within the years 1982–1985. From 251 measurements of pH resulted the average value of 5.4, and, at the same time, the lowest average pH of all the taking places including other springs in the Krušné hory foot was ascertained here – pH 4.4 (JEZERSKÝ, 1987). The same average value of pH (5.4) of groundwater influenced by acid industrial exhalations was determined e.g. in south-east Sweden in shallow wells and small springs (NORDBERG, 1985).

Beside low pH, of naturally issuing groundwater in the studied area are characteristic prevailing contents of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , or  $\text{NO}_3^-$ , and the average  $\text{F}^-$  contents ( $0.01 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) identical with the average contents of this ion in the Krušné hory Mts. region precipitation water ( $0.017 \text{ mmol.l}^{-1}$ ). The contents of all dissolved substances is given by the mentioned principal ions  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  and equals to  $3.5 \text{ mmol.l}^{-1}$ .

Comparing the chemical composition of 16 springs discharging about 800 m a.s.l. with that of the lowermost situated sources (ca. 400 m a.s.l.), it is obvious that with the lowering sea-level of the issue and rising distance from watershed the average pH of groundwater increases from 5.4 in the mountain region to 6.5 at the foot of the Krušné hory slope, and at the same time the contents of other components go up ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ):  $\text{SO}_4^{2-}$  0.55–0.96,  $\text{HCO}_3^-$  0.17–0.43,  $\text{Ca}^{2+}$  0.47–0.94,  $\text{Na}^+$  0.23–0.83.

Average values of  $\delta^{34}\text{S}$  of sulfates of naturally issuing groundwater (+1.3 to 4.3 ‰) get close to the  $\delta^{34}\text{S}$  value of snow water from the Krušné hory Mts. (+4.4 ‰). The small difference observed between these values result from the influence of the groundwater from the shallow aquifer by precipitation water with anthropogenic sulfates, however, natural origin of the sulfates dissolved in the water of the phreatic collector cannot be excluded.

Chemical properties identical with natural issues of groundwater exhibited also the groundwater detected by hydrogeological wells in Quaternary deposits and sporadically even in gneisses of the Krušné hory slope (acid reaction of the solution, principal ions  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , fluorides contents corresponding to the precipitation water from Krušné hory region). This chemical state of the gneisses is a result of overflowing of the groundwater from phreatic collector influenced by anthropogenic agents into deeper collector without hydrogeological isolator.

In collectors formed of volcanic breccia, Tertiary sandstones and gneisses in the basement of the basin, and in most of the groundwater samples from gneisses of the Krušné hory mountain slope the influences of the acid atmospheric deposition are not traceable. This implies from the chemical composition of the groundwater obtained from the mentioned collectors during unrepeatd takings (dominant ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , or  $\text{Mg}^{2+}$  in the case of volcanic breccia,  $\text{HCO}_3^-$ , alkaline reaction of the solution)

as well as from long-lasting monitoring of chemical properties of the overflow from the well JA-16, capturing groundwater from gneisses with argillized basalts in the overlie (characteristic ions  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$ , alkaline reaction of water). Different source of sulfates of the overflowing water compared with the groundwater from Quaternary collector is indicated by negative values of  $\delta^{34}\text{S}$  (–1.4 ‰ on the average). The isolation of the groundwater circulation in the mentioned borehole is shown by the tritium activity of water being lower than 3 T.U., stationary chemical composition of the groundwater, constant yield, as well as the temperature of the overflow.

Complicated hydrogeological conditions in gneisses of the Krušné hory mountain slope are indicated by the well CN-94 with seasonal overflow of the groundwater. According to the overflow in the period from March to October and the groundwater level below the surface in the remaining months we may guess that water in the gneiss is supplied from snow melting.

The measurement of the tritium activity of the overflow (less than 3 T.U.) showing that the water is over 30 years old, the  $\delta^{34}\text{S}$  value (–0.5 ‰) differing from that of the shallow groundwater, and inexpressive changes in the groundwater chemical composition with time do not, however, support this idea.

#### Influences of the rock environment

The minerals of the rock through which the studied water flows, are the quartz, aluminosilicates, and accessory phases. These may be a source of most ions and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  contained in the studied water.

From the viewpoint of rock chemical composition we can speak about groundwater circulation in two different environments – acid rocks (gneisses, Tertiary sandstones, Quaternary deposits) and a mafic rock (volcanic breccia). The differences in the chemical composition are given, among other, also by a general higher MgO content in the mafic rock than in the acid ones (BOUŠKA et al., 1980). Higher MgO content in the volcanic breccia in form of easily decomposable mafic aluminosilicates conditions the dominant role of the  $\text{Mg}^{2+}$  ion in the groundwater from the mafic rock (molar ratios  $\text{Ca/Mg} = 0.7$ ,  $\text{Na/Mg} = 0.6$ ) in contrast to the groundwater from Quaternary deposits ( $\text{Ca/Mg} = 2$ ,  $\text{Na/Mg} = 1.3$ ) and sandstones and gneisses ( $\text{Ca/Mg} = 1.3$ ,  $\text{Na/Mg} = 6.5$ ).

The mineral phases forming acid aluminosilicate rocks have strong weathering resistance. This fact is being reflected especially in low pH of debris streams draining the collector of mountain Quaternary deposits, influenced by the support of anthropogenic ions of  $\text{H}^+$ .

Table 2 summarizes the results of calculations of average deviations of the studied groundwater from individual collectors, from the equilibrium with chosen mineral couples and individual minerals, particularly with orthoclase, albite, anortite, and clay minerals illite and montmorillonite with respect to kaolinite in the environment

Table 2

Deviations of the groundwater from collectors of the studied region from equilibria (influence of ion couples on chemical equilibrium is neglected)

source	streams	S-106	wells			JA-16	
rock	Quaternary deposits		volcanic breccia	sandstones	basement gneisses	gneisses of the Krušné hory mountain slope	
partial pressure CO <sub>2</sub> 1000	2.2	1.62	1.29	0.65	0.28	0.55	0.81
Albite-kaolinite	-4.08	-3.31	-1.7	-2.1	-1.16	-2.18	-1.95
Orthoclase-kaolinite	-2.11	-1.29	0.24	-0.65	0.51	1.64	-0.3
Anortite-kaolinite	-9.87	-8.47	-7.2	-7.08	-5.86	-6.94	-7.01
Illite-kaolinite	-2.51	-1.68	-1.44	-0.88	0.12	0.47	-0.67
Ca-montmorillonite-kaolinite	-0.14	0.09	0.91	0.085	0.395	0.35	0.64
Gypsum	-2.15	-1.75	-2.4	-2.28	-2.52	-2.44	-2.49
Calcite	-3.1	-1.9	-0.7	-0.9	0.004	-0.8	-0.7
Forsterite	-18.47	-15.75	-12.55	-12.65	-10.09	-12.65	-12.26
Pyrite	-112.5	-120.5	-	-	-	-	-1.6
Limonite	0.097	3.1	-	-	-	-	-4.1

Deviations of the groundwater from the Quaternary deposits from the chemical equilibrium with pyrite and limonite were calculated for presumed Eh = 0.4 V, in the case of well JA-16 measured Eh = -0.14 V

of the given solution. The calculations were based on the average chemical composition of groundwater from individual collectors, relationships for calculation of ionic strength of the solution and activity coefficients mentioned by PITZER (1980) and equations for calculation of nonequilibrium indexes proper (PAČES, 1983, CHROBOK, 1975, ZVEREV, 1967).

From the outline in Table 2 it is obvious that kaolinite is in the environment of studied solutions a thermodynamically stable phase when compared with orthoclase and the final members of the row of Ca-Na feldspars. An exception is the groundwater from the Krušné hory mountain slope gneisses, where kaolinite with regard to orthoclase is unstable.

In the groundwater of all collectors rising negative values of deviations of feldspars from the equilibrium with kaolinite in the direction orthoclase-albite-anortite have been ascertained. This fact is associated with a generally valid lowering resistivity of feldspars during exogenic processes in the row orthoclase-albite-anortite (OLLIER, 1984).

In the environment of groundwater from the Quaternary collector and from volcanic breccia, kaolinite is a stable phase with respect to illite. In collectors built of gneisses and Tertiary sandstones both the minerals are roughly equilibrated. In the groundwater of all collectors equilibrium between kaolinite and Ca-montmorillonite has been verified. Kaolinite stability with respect to feldspars and clay minerals, and/or equilibrium between kaolinite and clay minerals, was verified by PAČES (1983) on a larger set of groundwater samples from acid aluminosilicate rocks.

Groundwater of all collectors was unsaturated with respect to gypsum and forsterite and also as regards calcite

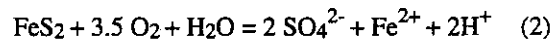
(with exception of basement gneisses, where calcite is in equilibrium with water).

From the comparison of deviation values of groundwaters of all collectors from equilibrium with forsterite and values of feldspars deviations from the equilibrium with kaolinite it is obvious that in the Quaternary collector, contrary to deeper takings in volcanic breccia, sandstones, and gneisses, the highest negative values have been recorded. This fact is probably conditioned by a short period during which the rapidly circulating groundwater could dissolve the minerals.

The raising relative saturation of the groundwater as regards calcite in the sequence Quaternary collector – sandstones, volcanic breccia, gneisses of the Krušné hory mountain slope – basement gneisses is due to a drop of balanced partial pressure of carbon dioxide in the same direction.

Supposing that Eh of the groundwater from freatic collector is +0.4 V (HEM, 1970), and further values on the contents of substances determined by chemical analyses (Fe, H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), by means of balanced calculations it has been found out that shallow groundwater can dissolve pyrite and that it is equilibrated to oversaturated with respect to ferric hydroxide.

One litre of the groundwater from the collector of the Quaternary deposits contains 0.7 to 1.2 mmol SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> on the average. This amount is, with respect to the groundwater circulation in the environment with continuous supply of atmospheric oxygen, much higher than would correspond to the pyrite oxidation according to the equation



at maximum solubility of oxygen in water with a 10 °C

temperature ( $0.36 \text{ mmol.l}^{-1}$  – REMY, 1971). In this case the sulfate contents would make just  $0.21 \text{ mmol.l}^{-1}$ .

The relatively low  $\text{SO}_4^{2-}$  contents in groundwater from deeper collectors, especially from gneisses (borehole JA-16) and volcanic breccia ( $0.29\text{--}0.39 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) roughly correspond to the mentioned equation of pyrite oxidation (2) at limited oxygen solubility.

The balanced calculations with the used value of  $E_h = -0.14 \text{ V}$  measured in the field indicated a slight undersaturation of the groundwater from well JA-16 as concerns pyrite ( $-1.6$ ) as well as limonite ( $-4.1$ ).

A different source of sulfate sulfur in groundwater from this pilot well if compared with the phreatic collector results from a slightly negative average value of  $\delta^{34}\text{S}$  ( $-1.4 \text{ ‰}$ ).

Besides the chemical properties of the rock environment, the chemical composition of the groundwater is being influenced also by physical properties of the rocks, namely their permeability expressed by the filtration coefficient  $k$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ). The evaluation of pumping tests on wells from the individual collectors studied yielded the following average values of  $\log k$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ): Quaternary deposits ( $-5.5$ ), Tertiary sandstones ( $-6.2$ ), gneisses of the Krušné hory mountain slope ( $-7.3$ ), basement gneisses ( $-8.5$ ) – SYSEL et al. (1988). The comparison of these values with the averages of a selective molar coefficient  $(\text{Ca} + \text{Mg})/(\text{Na} + \text{K})$  for groundwater from Quaternary deposits (2), Tertiary sandstones (0.66), gneisses of Krušné hory mountain slope (0.45) and the basement gneisses (0.17) reveals that with the increasing permeability of the rock environment the values of the ratio between the mentioned cations change in favour of alkali earths.

This fact can be explained by an easier release of the alkalis in comparison with the alkali earths from aluminosilicates into the solution, by a rapid water exchange in the shallow collector which causes a rapid removal of alkalis from the shallow water-body in comparison with the deeper collectors.

At present, especially the anortite component of Ca-Na feldspars is probably being dissolved in phreatic collector, because alkali metals have been already been leached out from this solid solution prior to.

### Influences of carbon dioxide

By a balanced calculation using the activity of hydrogen-carbonates and groundwater pH of studied collectors it has been ascertained that the solution got mineralized under a balanced partial pressure of carbon dioxide ( $p\text{CO}_2$ ) between  $2.8 \cdot 10^{-4} \text{ MPa}$  and  $2.2 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$ . These pressures accord with the balanced partial pressure of  $\text{CO}_2$  in the soil air ( $5 \cdot 10^{-4}$  to  $1 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}$ ) in Central European climatic conditions (GAZDA - PAČES, 1975). The studied groundwater is at the same time oversaturated with respect to  $p\text{CO}_2$  in the atmosphere ( $3 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}$ ).

Table 2 indicates that the highest partial pressures of  $\text{CO}_2$  are in the Quaternary collector, which is being con-

nected with an intense decomposition of the organic substance in the surficial layer of weathered rocks. Higher partial pressures of  $\text{CO}_2$  in the shallow collector in comparison with deeper circulations cause a higher reaction ability of phreatic water. The interaction period of water with the rock is, however, very short and this is connected with higher negative values of nonequilibrated indexes for couples water-mafic mineral, feldspars-kaolinite, illite-kaolinite, and at the same time the expressive undersaturation of water in the shallow collector with respect to calcite.

Relatively low partial pressure of carbon dioxide in deeper collectors together with a comparatively low groundwater mineralization and high pH indicate that the circulation paths are isolated from the supplying channels of  $\text{CO}_2$  from the depth.

An example of solutions mineralized under higher partial pressures of carbon dioxide are gas-saturated mineral waters. For instance, from newly discovered sources near the studied area we can mention the brine from the well H-8, encountered in the basin gneisses of the Merkur mine dump during the hydrogeological exploration concerned with the prepared driving of a drainage tunnel (JEZERSKÝ, 1986). This brine exhibited the following parameters: total dissolved solids  $63.8 \text{ mmol.l}^{-1}$ , principal ions  $\text{Na}^+$   $22.2 \text{ mmol.l}^{-1}$ ,  $\text{HCO}_3^-$   $33.2 \text{ mmol.l}^{-1}$ , contents of free  $\text{CO}_2$  in the solution (measured in the field)  $15 \text{ mmol.l}^{-1}$ , pH in situ 6.7, Li  $0.16 \text{ mmol.l}^{-1}$ , Rb  $0.0015 \text{ mmol.l}^{-1}$ , temperature  $17^\circ\text{C}$ . A balanced calculation indicated that the studied solution got mineralized at  $p\text{CO}_2$  attaining to  $0.03 \text{ MPa}$ . A higher activity of  $\text{CO}_2$  was in the studied area ascertained also during a gas prospection. In the casing of the mentioned well and in the surrounding cut cracks 70 % contents of  $\text{CO}_2$  was determined.

### Influences of geological conditions

In the hydrology as well as in hydrogeochemistry of geologic structures, especially of a basin character, an important role is being played by spatially extensive occurrences of rock substances with minimum permeability (hydrogeological isolators). They influence pressure conditions in the basement collectors and separate deeper circulations from the phreatic collector with groundwater, whose chemical composition is modified both by natural processes (oxidation of sulfides, dissolution of soil carbon dioxide, intensive hydrolysis of mineral phases) and by not seldom anthropogenic processes (application of fertilizers and pesticides in agriculture and forestry, emissions of acid exhalations during exploitation of fossil energy sources with high sulfur contents, production of gaseous, liquid, and solid wastes in the anthropogenic sphere in general).

The function of hydrogeological isolators in the basin part of the studied area is being fulfilled by up to 150 m thick claystones, in the mountain part of the area by

argillized gneisses, and in the case of local occurrence of volcanic breccia by an argillized mafic rock.

The mentioned low-permeable rocks condition the existence of two hydrogeologically isolated and hydrochemically different zones particularly in the basin part of the studied area – a shallow collector with a fast groundwater circulation, influenced by acid industrial exhalations, and deeper situated, hydraulically interconnected collectors of Tertiary sandstones and basin gneisses with a slow groundwater circulation, without apparent manifestations of anthropogenic influences.

A separate circulation of groundwater qualitatively different from that of the Quaternary collector was observed also in an areally limited occurrence of volcanic breccia and further in most wells in the gneisses of the Krušné hory mountain slope.

## Conclusion

The hydrogeochemical investigation in the environs of Horní Jiřetín and in the region of the Jezeří forests was focused on groundwater from Quaternary deposits, volcanic breccia, Tertiary sandstones, basement gneisses and gneisses forming the mountain part of the studied area.

The investigation revealed prominent differences in chemical properties of groundwater from the Quaternary deposits (principal ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , acid reaction of the solution,  $\text{Li } 0.002 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) that from gneisses and sandstones which circulates deeper (principal ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , alkali reaction of the solution,  $\text{Li } 0.02 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) as well as the groundwater from the areally limited body of volcanic breccia ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , pH 7.1,  $\text{Li } 0.004 \text{ mmol.l}^{-1}$ ).

The isotopic ratios of sulfur of dissolved sulfates indicated a different source of these ions in the groundwater from phreatic collector ( $\delta^{34}\text{S} = +3.1 \text{ ‰}$ ) and from the gneisses ( $\delta^{34}\text{S} = -0.5$  and  $-1.4 \text{ ‰}$ ) and at the same time a similarity of the shallow groundwater and the atmospheric water ( $\delta^{34}\text{S} = +4.4 \text{ ‰}$ ).

The differences in the chemical composition of groundwaters from the individual collectors (Quaternary deposits, volcanic breccia, gneisses of Krušné hory mountain slope and hydraulically interconnected Tertiary sandstones and basement gneisses) are given by 1. long-lasting action of acid atmospheric deposition, 2. groundwater circulation in chemically different rock environment (acid aluminosilicate rocks – mafic rock), different time of groundwater maintenance in the circulation environment,

and 4. specific geologic conditions of the investigated region (occurrence of hydrogeological isolators on the boundary of the phreatic and deeper-situated collector).

*K tisku doporučil T. Pačes  
Přeložila G. Vladyková*

## References

- BORMAN, F.H. - LIKENS, G.E. (1970): The nutrient cycles of an ecosystem. – *Sci. Amer.*, 223, 92–101. New York.
- BOUŠKA, V. et al. (1980): *Geochemie*. – Academia. Praha.
- CHROBOK, J. (1975): *Hydrochemie Ranského masívu*. – MS přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- GAZDA, S. - PAČES, T. (1975): Použitie termodynamiky pri riešení genetických problémov prírodných vod. – *Geol. Práce, Správy*, 62, 161–185. Bratislava.
- HEM, J.D. (1970): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. – *Geol. Surv. Wat. Supply Pap.*, 1473. Washington.
- JEZERSKÝ, Z. (1986): Zpráva o prospekci oxidu uhličitého v prostoru rážby odvodňovací štoly ve zbytkové jámě lomu Pruněfov. – MS Aquatest. Praha.
- (1988): *Hydrochemie předpolí dolu Československé armády*. In: Sysel, P. et al. (1988): *Závěrečná zpráva úkolu Jiřetín VČSA*. – MS Aquatest. Praha.
- MATTHESS, G. (1988): Veränderungen der Sicker- und Grundwasser Beschaffenheit durch saure oder Säure-bildende Schwefel und Stickstoff-Deposition. – *Meyniana*, 40, 1–20. Kiel.
- MOLDAN, B. (1980): The analysis of atmospheric precipitation in Czechoslovakia. In: Pačes, T. (1983): *Základy geochemie vod*. – Academia. Praha.
- MOSER, H. - RAUERT, W. (1980): *Isotopenmethoden in der Hydrogeologie*. – Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.
- NORDBERG, L. (1985): Effects of sulfur compounds and other air pollutants on soil and groundwater. – *Nat. Swedish Environment Prot. Board, Report 3002*. Solna.
- OLLIER, C. (1984): *Weathering*. – Longman. London, New York.
- PAČES, T. (1972): *Chemické rovnováhy v přírodním systému voda–horna–atmosféra*. – Ústř. úst.geol. Praha.
- (1980): Genetické typy podzemních vod a hydrochemické pole v Českém masívu. – *Geol. Průzk.*, 229–231. Praha.
- (1983): *Základy geochemie vod*. – Academia. Praha.
- (1984): *Geochemie okyselování životního prostředí*. – *Geol. Průzk.*, 6, 169–173. Praha.
- PITTER, P. (1981): *Hydrochemie*. – St. nakl. techn. lit. Praha.
- REMY, H. (1971): *Anorganická chemie*. – St. nakl. techn. lit. Praha.
- STUMM, W. - MORGAN, J.J. (1981): *Aquatic chemistry*. – J. Wiley and sons. New York.
- SYSEL, P. et al. (1988): *Závěrečná zpráva úkolu Jiřetín VČSA*. – MS Aquatest. Praha.
- TAYLOR, S.R. - MCLENNAN, S.M. (1985): *The continental crust: Its composition and evolution*. – Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.
- ZVEREV, V. P. (1967): *Gidrogeochimicheskije issledovanija sistemy gipsy–pozemnyje vody*. – Nauka. Moskva.

# Hydrogeochemický výzkum v oblasti Horního Jiřetína a Jezeřských lesů v severních Čechách

(Resumé anglického textu)

ZDENĚK JEZEŘSKÝ

Předloženo 31. května 1991

V letech 1982–1985 probíhal v okolí Horního Jiřetína a v oblasti Jezeřských lesů v severních Čechách hydrogeochemický průzkum jako součást regionálního hydrogeologického průzkumu v předpolí povrchového hnědouhelného dolu Česko-slovenské armády (dnes DUK Komořany).

Zkoumaná oblast o rozloze ca 30 km<sup>2</sup> zahrnuje část severočeské pánve a přilehlý krušnohorský masív. Zde byly sledovány chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody z kvartérních uloženin, vulkanické brekcie, terciérních pískovců, podložních rul a rul, tvořících přilehlý svah Krušných hor. Pro studium chemismu podzemní vody bylo využito četných vývěřů podzemní vody, přirozeně odvodňujících kolektor kvartérních uloženin v horské části zkoumané oblasti, a dále hydrogeologických vrtů, z nichž byla podzemní voda odebírána v závěru čerpacích zkoušek, ověřujících hydraulické vlastnosti jednotlivých kolektorů. Ojedinele byly odběry vody provedeny z přetoku v případě vrtů s kladným piezometrickým niveaem hladiny podzemní vody.

Všechny vzorky podzemní vody byly v laboratoři Aquatestu podrobeny kompletním chemickým analýzám (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe, Mn, Li, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, pH), v některých případech bylo provedeno stanovení izotopického poměru sulfátové síry (izotopická laboratoř ČGÚ) a určení tritiové aktivity podzemní vody (laboratoř aplikované jaderné fyziky Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě).

Z analýz vyplynuly výrazné rozdíly mezi kvartérním kolektorem (hlavní ionty Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, pH 6,1, Li 0,002 mmol.l<sup>-1</sup>, δ<sup>34</sup>S = +3,1 ‰) a hlouběji uloženými zvodněmi v terciérních pískovcích a rulách (hlavní ionty Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH 7,5, Li 0,02 mmol.l<sup>-1</sup>, δ<sup>34</sup>S = -0,5 a -1,4 ‰) a plošně omezeným tělesem vulkanické brekcie (hlavní ionty Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH 7,1, Li 0,004 mmol.l<sup>-1</sup>).

Na tvorbě chemického složení podzemní vody se ve zkoumané oblasti uplatňují přirozené procesy v systému voda–hornina–půdní atmosféra (rozpuštění půdního oxidu uhličitého, hydrolyza živců, forsteritu a kalcitu, tvorba jílových minerálů, rozpouštění sádrovce, oxidace pyritu) a antropogenní vlivy, související s využíváním hnědého uhlí s vysokým obsahem síry v podkrušnohorských průmyslových komplexech (atmosférická depozice kyselých látek).

Vlivy kyselé atmosférické depozice jako celku se projevují především v mělkém kvartérním kolektoru v horské oblasti v nadmořské výšce okolo 900 m. Zde byly monitorovány prameny s nízkým pH (4,4) a převažujícími obsahy iontů sulfátových a nezářadka i nitrátových. Izotopické poměry síry v sulfátech přirozeně vyvěrající podzemní vody (δ<sup>34</sup>S = +1,3 až 4,3 ‰) byly podobné izotopickému poměru síry v sulfátech atmosférické vody (+4,4 ‰).

Chemismus podzemní vody z hlubších zvodní (vulkanická brekcie, terciérní pískovce, ruly) je výrazně odlišný od mělké zvodně a uvedené antropogenní okyselování zde nebylo ani z dlouhodobého monitorování chemismu (vrt JA-16) pozorováno. Izolovaný oběh podzemní vody zastižená vrtem JA-16 potvrdilo i měření tritiové aktivity vody, jež byla nižší než 3 T.U. Výjimkou mezi hlubšími kolektory jsou některé vrty v rulách, přímo přecházejících do kvartérních uloženin. Jejich podzemní voda má podobné chemické vlastnosti jako podzemní voda z mělkého kolektoru kvartérních uloženin (hlavní ionty Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, kyselá reakce roztoku) a lze předpokládat, že v místech takových vrtů dochází k přetékání vody z freatické zvodně do hlubšího kolektoru.

Specifické chemické složení hlouběji obíhající podzemní vody z vulkanické brekcie, terciérních pískovců, podložních rul a ve většině případů vzorků z rul tvořících horskou část zkoumaného území je dáno existencí terciérních jílovců nebo zjílovatělých vulkanitů a rul s nízkou propustností na rozhraní freatické a hlubší zvodně, pomalým prouděním podzemní vody v hlubších zvodních s koeficientem  $k$  (m.s<sup>-1</sup>) o jeden až tři řády nižším v porovnání s kvartérním kolektorem a cirkulací podzemní vody v chemicky odlišném horninovém prostředí (převaha iontů Ca<sup>2+</sup> nebo Na<sup>+</sup> v podzemní vodě z kyselých alumosilikátových hornin a Mg<sup>2+</sup> v podzemní vodě z mafické horniny).

## Vysvětlivky k tabulkám

1. Průměrné chemické složení zkoumané podzemní vody. Obsahy látek v mmol.l<sup>-1</sup>.
2. Odchyly podzemní vody z kolektorů zkoumané oblasti od chemických rovnováh (vliv iontových párů na chemickou rovnováhu je zanedbán). Odchyly podzemní vody z kvartérních uloženin od chemické rovnováhy s pyritem a limonitem byly počítány za předpokladu Eh = +0,4 V, v případě vrtu JA-16 je změřené Eh = 0,14 V.

## Vysvětlivky k obrázku

1. Oblast hydrogeologického výzkumu. 1 – odběrová místa přirozeně vyvěrající podzemní vody; 2 – přetokové vrty.



Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologic, 20	Str. 61–66	3 obr.	– tab.	– přil.	ČGÚ Praha 1994	ISBN 80-7075-174-6 ISSN 0036-5289
--------------------------	----------------------------------	------------	--------	--------	---------	----------------	--------------------------------------

## Prognóza snížení hladiny podzemní vody na úpatí Krušných hor postupem povrchové těžby uhlí – matematický model AQUIFEM 1

### Prognosis of groundwater level decrease due to the progressing open pit coal mining at the foot of the Krušné hory Mts. – groundwater flow model AQUIFEM 1

JOSEF HORÁK<sup>1</sup>

Předloženo 1. října 1990

1 : 50 000: 02-31

Key words: Hydrogeology, Groundwater, Hydraulics, Mathematical models

HORÁK, J. (1994): Prognóza snížení hladiny podzemní vody na úpatí Krušných hor postupem povrchové těžby uhlí – matematický model AQUIFEM 1. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 20, 61–66. Praha.

Výtah: Stručné seznámení s matematickým modelem AQUIFEM 1, řešícím dvojrozměrné proudění podzemní vody při použití metody konečných prvků. Model byl prakticky použit při prognóze ovlivnění hladin krystalinika na úpatí svahů Krušných hor vlivem postupu těžby uhlí lomem VČSA v období let 1990–2030. Modelové řešení bylo jedinou možností stanovit hladiny podzemní vody pro posouzení stability svahů ve výpočtových profilech.

<sup>1</sup> Aquatest, SG Inc., Geologická 4, 150 00 Praha 5

#### Popis modelu AQUIFEM 1 podle kritérií Mezinárodního ústavu pro systémovou analýzu (IASA)

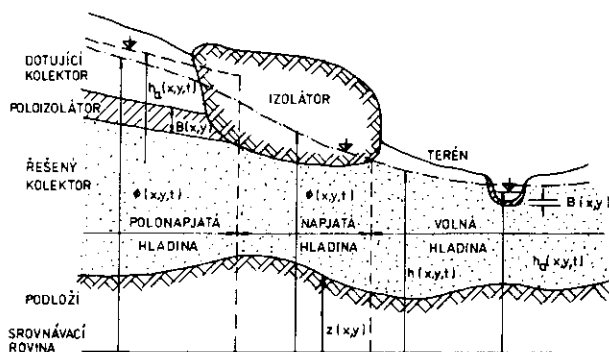
Modelový systém: dvojrozměrné proudění podzemní vody ve zvodněném kolektoru s napjatou i volnou hladinou při použití metody konečných prvků (trojúhelníková síť) – viz obr. 2.

Cíl: výpočet úrovní a změn úrovní hladiny podzemní vody v ploše a čase.

Časové měřítko: výpočet volitelný v denních intervalech, délka neomezena.

Hraniční podmínky: tři typy vnějších a vnitřních hraničních podmínek –  $H = \text{konst.}$ ,  $q = \text{konst.}$ ,  $q = f(H)$ .

Vstupy: vstupní data sestávají z hydrogeologických parametrů horninového prostředí (báze, mocnosti) a definování hraničních podmínek, doplněné hydrologickými bilančními prvky (infiltrace, výpar, povrchové odtoky) a uvažováním umělých zásahů.



1. Řez definující hypotetický zvodněný kolektor.

Výstupy: úrovně hladiny podzemní vody v čase, změny úrovně hladin oproti výchozímu stavu, bilance přítoků a odtoků v řešeném území.

Omezení: přesnost omezená spolehlivostí a reprezentativností vstupních dat, znalostí odtokových poměrů území a výší přesnosti iterativních výpočtů časových kroků.

Počítač: původní program sestaven pro IBM-370-168, ve Stavební geologii upraven pro minipočítač (I-102-F) a počítače kompatibilní s IBM-PC.

Programovací jazyk: FORTRAN IV.

Náklady: řešení problematiky jednoho území (300–500 uzlů sítě) v podmínkách ustáleného a neustáleného proudění včetně verifikace výchozího stavu a grafické dokumentace – podle strojového času I-102-F činí cca 25 000 Kč.

Kalibrace: kalibrován podle analytických řešení radiálního ustáleného proudění (Dupuitova rovnice) a neustáleného proudění (Theisova rovnice).

Demonstrace: přehled použití modelu uvádějí TOWNLEY a WILSON (1980) a WILSON, TOWNLEY a SA DA COSTA (1979).

Reference: model vznikl na základě požadavku UNDP – Projekt 85054 Agentury pro mezinárodní rozvoj, U. S. Department of State.

Dosavadní uživatelé: Univerzita v Káhiře, v rámci projektu UNDP v Jugoslávii a Řecku, běžně užíván v zahraničí. V ČSFR byl použit ve Stavební geologii, s. p., na úkolech Tlustecký blok (1983), Kvartér plzeňské kotliny (1986), SVÚ – Výzkum vlivu zvýšené míry exploatace podzemních vod na tvorbu jejich zásob (1987), Syntéza české křídly (1987) a na vodárenských zakázkách: Vestřev (1988), ochrany podzemních vod: Mělník-Podvlčí (1986)

a 1988), Lučební závody Kolín (1988), Chvaletice (1988), Stráž pod Ralskem – odkaliště (1989) a jiné.

Autoři a kontakty: L. R. Townley, J. L. Wilson, A. Sa da Costa, Ralph M. Parsons Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA. Listing programu a uživatelský manuál byly získány v rámci výměny vědeckých publikací s citovaným ústavem a kolektivem v roce 1981.

### Aplikace modelu na zakázce Jiřetín – realizace

V rámci úkolu Jiřetín – realizace, jehož cílem bylo posoudit stabilitu svahů Krušných hor při povrchové těžbě uhlí velkolomem ČSA, byl model AQUIFEM 1 použit pro stanovení úrovní hladiny podzemní vody krystalinika v těžené části pánve a na přilehlých svazích.

Modelové řešení bylo provedeno na ploše cca 26 km<sup>2</sup>; obsahovalo zájmové území oblasti Komořan a Jiřetína. To bylo dáno faktem, že řešená oblast je ovlivňována těžbou dolu VČSA současně s lomovou linií dolu Obránců míru. Území bylo zvoleno s ohledem na rozšíření těžby v roce 1985, který byl určen jako výchozí (počáteční) stav řešení.

### Hydrogeologické vstupy

Pro modelování počátečního stavu bylo nutno zpracovat mapy izolinií hladiny podzemní vody v celém zájmovém území spolu s mapami báze uhelné sloje, která v celé pánevní oblasti představuje prakticky nepropustný strop napjatého zvodnění krystalinika a podložních písků. Koeficienty filtrace uhelné sloje jsou zhruba o dva řády nižší než u řešeného kolektoru. Podložní písky podle výsledků hydrodynamických zkoušek mají propustnost vyšší než krystalinikum a jejich hladiny jsou v celém území na prakticky stejné nebo nižší úrovni než hladiny krystalinika. Hydraulicky jsou kolektory krystalinika a podložních písků propojeny, takže při snížení hladin v krystaliniku dojde i k snížení hladin v podložních sedimentech a v důsledku jejich vyšších propustností s větším efektem než v krystaliniku samém. Tato skutečnost opravňovala k modelování společného kolektoru krystalinika a podložních písků v pánevní oblasti řešeného území.

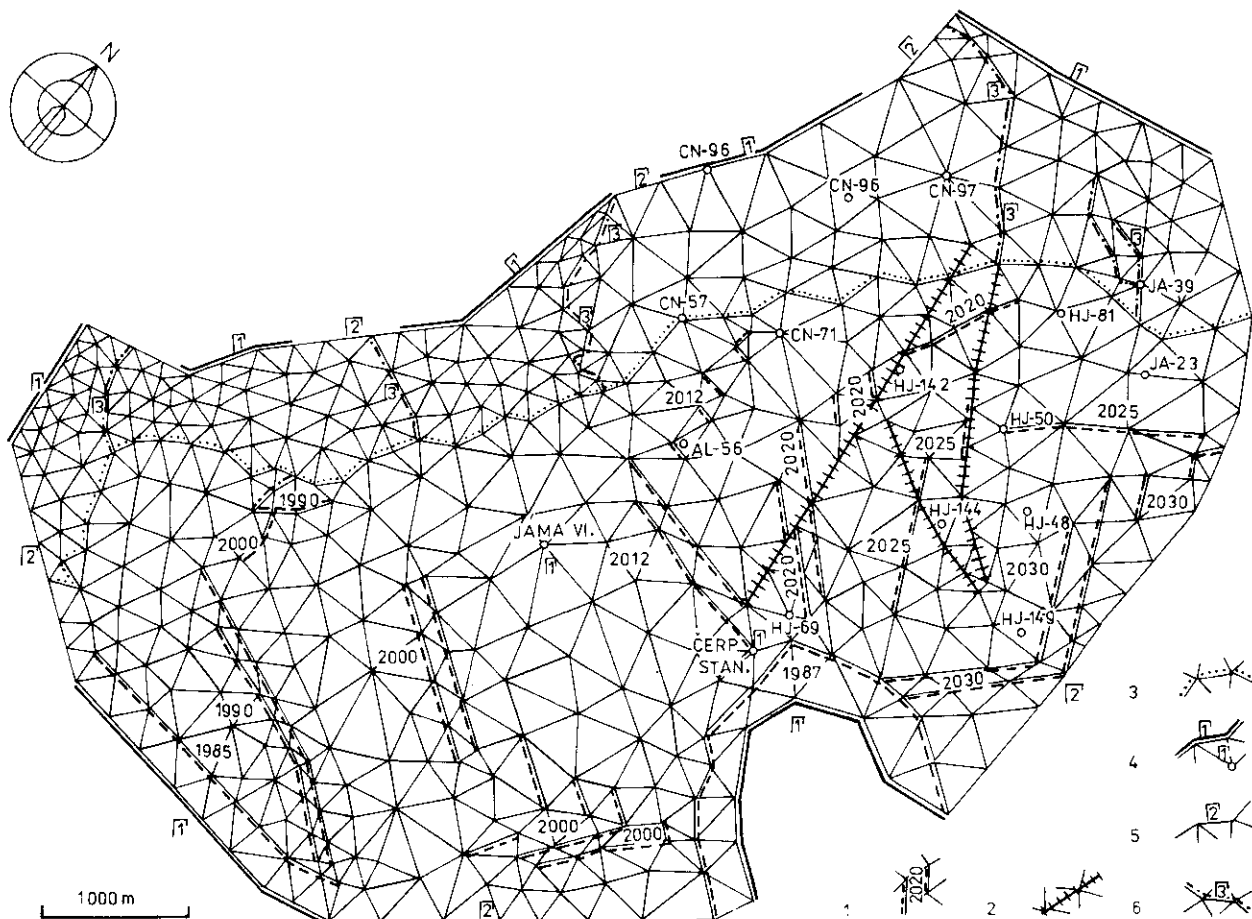
Modelovaný zvodněný kolektor krystalinika a podložních psamitů vystupuje v podloží uhelné sloje v pánevním uložení. Jeho vyšší křídlo vychází na den na svazích Krušných hor; místně je překryto kvartérem s malou mocností. Je dotováno vodou z atmosférických srážek přímo nebo zprostředkovaně přes kvartérní sedimenty. Řešený kolektor má zde volnou hladinu podzemní vody a jeho dílčí odvodňování tvoří potoky v zařízených údolích. Plocha infiltračního území je 8,98 km<sup>2</sup>.

Linie vyznačená na obr. 2 jako hranice území s infiltrací srážek představuje okraj části pánevní výplně, tvořené uhelnou slojí a terciárními sedimenty. Přibližně na této linii také přechází zvodnění řešeného kolektoru z volné hladiny podzemní vody na napjatou. Otevření nižšího křídla pánevního systému lomovou těžbou umožňuje vol-

ný výtok podzemních vod modelovaného souvrství v ustáleném proudění na dně lomu. Infiltrace srážkových vod nebyla stanovena přímo na podkladě hydrologické bilance území, ale z analogie podle údajů HMÚ (1931–1960) pro povodí Jiřetínského potoka v profilu Dolní Jiřetín (plocha povodí 26,36 km<sup>2</sup>). Zde specifický odtok 330denní vody (130 l. s<sup>-1</sup>) je 4,93 l. s<sup>-1</sup> · km<sup>-2</sup>, tj. cca 21 % ročního normálu srážek. Přírodní zdroje na aktivní části modelového území činí 44,27 l. s<sup>-1</sup>. To zhruba odpovídá součtu vydatností čerpání vod z lomu Obránců míru, VČSA a jámy VI v období let 1983–1985, uvažujeme-li také přítok kvartérních vod a odvodnění nadloží v těchto objektech. Stanovené přírodní zdroje v modelu byly dále rozděleny podle velikosti srážek a jejich závislosti na nadmořské výšce (z 8 srážkoměrných stanic) do výškových pásem po 100 m a plošně i místně vyjádřeny zadáním do elementů sítě – při uvažování konstantního procenta infiltrace ze srážek 21,15 %. Mocnost zvodnění v modelu byla uvažována v pásmu s volnou hladinou cca 150 m (báze odečtena od hladin). Pod pánevní výplní, kde je napjatá hladina, byla zadána mocnost kolektoru 100 m (báze kolektoru byla odečtena od úrovně báze uhelné sloje). V modelovém řešení byly také uvažovány nepropustné zlomy v pánvi, které zhruba navazují na průběh údolí Jiřetínského potoka (obr. 2), rozdělující proudění podzemní vody na několik proudů. Koeficienty filtrace řešeného kolektoru nebyly zpracovány ve formě izolinií, ale vyneseny do mapy bodově. Tyto hodnoty byly použity při lokálním zadání propustnosti v prvním odhadu řešení v odpovídajících uzlech sítě.

### Okrajové podmínky modelového řešení

Modelové území je dáno rozsahem použitelných hydrogeologických a hydraulických podkladů. Jihozápadní okraj struktury tvoří linie těžby VČSA, kde dochází k odvodňování části struktury na kótě dna lomu ( $H = \text{konst.}$ ). Směrem na S pokračuje okraj modelu kolmo na průběh hydroizohyps krystalinika (nulový přítok z území mimo model –  $q = 0$ ) a přechází pásma zhruba odpovídající hydrogeologické rozvodnici Vesnického potoka, kde se může vyskytovat malý boční přítok do území ( $H = \text{konst.}$ ). Na svazích Krušných hor pak hranice pokračuje na V místy po dílčích rozvodnicích s minimem přítoků ( $H = \text{konst.}$ ), místy napříč údolními vodotečí kolmo na izolinie hladiny podzemní vody ( $q = 0$ ). Omezení modelového území na svazích je dáno rozšířením průzkumu mimo oblast řešené problematiky (pata svahů a pánev s liniemi těžby), které požaduje a financuje investor úkolu. Podmínkou bezchybné aplikace modelu je vymezení okrajů modelového území mimo dosah současné i navrhované deprese, dokumentované minimálními změnami přítoků a zanedbatelnými změnami úrovně hladin. Tyto podmínky byly na celém území splněny (maximální změna přítoků v modelových řešeních činí na okrajích modelu celkově 0,6 l. s<sup>-1</sup>). Západní okraj území je veden ve směru kolmém na izolinii hladiny podzemní vody v těsné blízkosti lomové linie roku 2030, což negativně ovlivňuje



2. Síť modelu s okrajovými podmínkami. 1 – linie lomové těžby ( $H = \text{konst.}$ ), 2 – nepropustná zlomová linie, 3 – hranice území s infiltrací srážek – okraj pánevní výplně, 4 – okrajová podmínka  $H = \text{konst.}$ , 5 – okrajová podmínka  $q = 0$ , 6 – okrajová podmínka  $q = f(H)$ .

přesnost tohoto výpočtu. Linie těžby dolu Obránců míru, na níž dochází k dalšímu odvodňování, je vyjádřena v modelu hraniční podmínkou  $H = \text{konst.}$  na úrovni báze uhelné sloje. Jižní okraj, spojující obě lomové linie, je uvažován bez přítoku a odtoku ( $q = 0$ ).

Odvodnění podzemní vody do povrchových toků na svazích Krušných hor v úsecích kontaktu vodotečí se zvodněným kolektorem krystalinika je v modelu definováno okrajovou podmínkou III. typu –  $q = f(H)$ . V pánvi, kde vodoteče protékají na terciárním pokryvu a ztrácejí pro řešený kolektor funkci, nejsou uvažovány. V modelu jsou zadány i další skutečnosti – existence čerpacích stanic (jáma VI a stanice lomu Obránců míru), které jsou definovány jako  $H = \text{konst.}$  v úrovni, na kterou snižují hladinu podzemních vod.

### Počáteční stav (1985)

Simulace počátečního stavu měla za úkol vymodelovat, za uvažovaných okrajových podmínek a definovaných hydrogeologických poměrů, průběh hladiny podzemní vody krystalinika, který by byl ve shodě s konstruovanými

izoliniemi hladin podle záměrů ve vrtech. Shoda byla nutná v trendech a směrech odtoku, spolu s dostatečnou přesností co do absolutní úrovně, zvláště v místech vrtů (maximální rozdíl  $\pm 10$  m). Modelové řešení ve výsledku představuje i stanovení plošně platných koeficientů filtrace v celém zájmovém území. Tyto hodnoty se mohou lišit od bodových výsledků HDZ na vrtech, ale musí respektovat obor hodnot stanovených z terénních prací. Shoda modelových a vypočtených hodnot koeficientů filtrace je doložena statisticky v histogramech četnosti. Parametry kolektoru krystalinika, stanovené na základě hydrodynamických zkoušek, se pohybují v rozsahu řádu  $10^{-5}$  až  $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (69 dokumentačních bodů). Jejich rozsah je shodný s hodnotami koeficientů filtrace ověřenými modelovým řešením. Vyšší z hodnot propustnosti se objevují v pánvi a údolích toků, nízké hodnoty ve svazích Krušných hor. Mapa izolinií plošného rozdělení koeficientu filtrace na celém modelovém území je jedním z grafických výstupů závěrečného zpracování, stejně jako mapa hydroizohyps počátečního stavu s bilancí přítoku podzemní vody do čerpacích stanic, linií těžby a jejím odvodňováním do vodotečí.

## Postupy těžby v letech 1990–2030

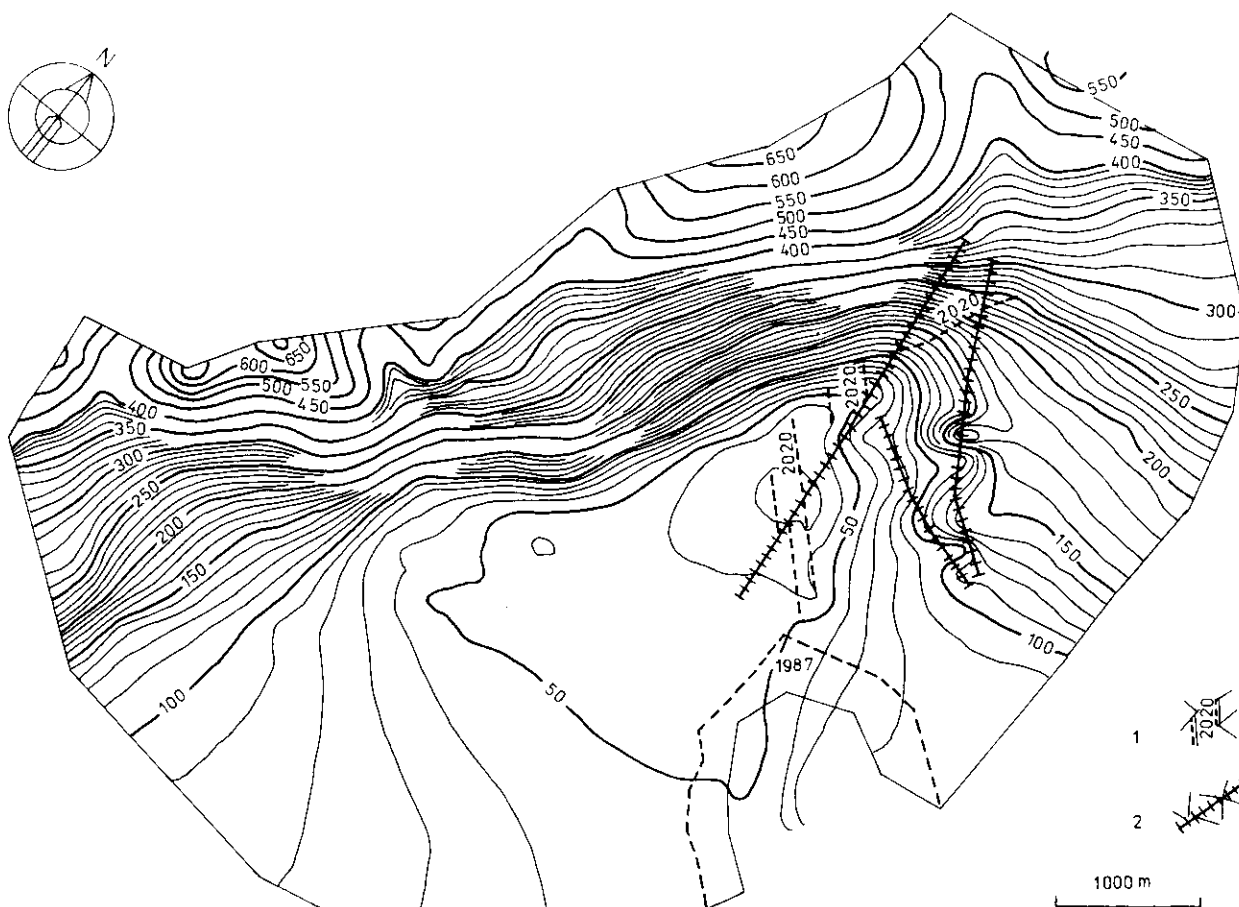
Další varianty modelového řešení měly za úkol stanovit ovlivnění zájmového území při postupu lomu podél svahů Krušných hor a vliv přirozeného odvodňování v lomových liniích na hladiny krystalinika v přilehlých svazích. Možnost umělého odvodňování svahů byla vyloučena pro vysoké finanční nároky na výstavbu odvodňovacího systému (např. podélné odvodňovací štoly) a malou efektivnost jeho účinku (nízké propustnosti horninového prostředí ve svazích a s nimi související případné velké množství vrtů a velká snížení hladin), kterou umocňuje existence puklinových systémů. Varianty řešení postupu těžby byly modelovány jako ustálený stav proudění podzemní vody, protože model při řešení neustáleného proudění v čase vylučuje možnost změny počtu okrajových podmínek (počet uzlů se zadáním úrovně hladin v liniích těžby).

Porovnání výpočtů při ustáleném a neustáleném proudění jsme ověřili zvláštním výpočtem při změnách lomové linie mezi rokem 1985 a 1990. Řešení prokázalo, že snížení hladiny na úroveň blízkou ustálenému stavu nastane dříve než za deset let (maximální rozdíl hladin v prostoru před linií těžby v roce 1990 činí v roce 2000 zhruba 5 cm oproti ustálenému stavu proudění). Jestliže uvažíme ply-

nulý postup lomu v cca desetiletých mezidobích mezi řešeními, budou vypočtené ustálené hladiny v prostoru kolem těžební linie v řešeném čase nižší než skutečné, ale s minimální odchylkou (maximálně několik metrů v předpolí lomu).

Varianty řešení úrovně hladin byly provedeny pro stavy roků 1990, 2000, 2012, 2020 a 2030 podle podkladů investora o postupu dobývacích řezů. Při modelovém řešení se počítá s postupem lomové těžby od linie roku 1985 do linie roku 2030. Uvažuje se o úplném odtěžení celé plochy pod pánevním pokryvem, s výjimkou pilíře pod zámekem Jezeří, a o plošné drenáži pod výsypkami. Při výpočtu ovlivnění úrovně podzemní vody k určitému datu se proto zadává snížení hladiny v celém těžebním prostoru za řešenou linií. Ve všech uzlech sítě, kde vychází piezometrická úroveň hladiny výše než je báze uhelné sloje, je snížení vyjádřeno 1. okrajovou podmínkou ( $H = \text{konst.}$ ) na úrovni báze sloje v daném uzlu. Současně je v těchto uzlech vypočteno množství odvodněné podzemní vody. Otevřená lomová linie v řešených časech je vykreslena na obr. 2.

Výpočty prokázaly, že maximální ovlivnění hladin i největší přítoky podzemních vod krystalinika do těžebního prostoru (cca  $30 \text{ l. s}^{-1}$ ) nastanou v roce 2020, kdy se linie lomu dostane do nejhluběji uložené části uhelné



3. Izolinie hladiny podzemní vody krystalinika v roce 2020. 1 – linie lomové těžby ( $H = \text{konst.}$ ), 2 – nepropustná zlomová linie.

sloje (na kótu 25 m n. m.). Na okraji pánve bude na svazích Krušných hor dosahovat snížení hladin v profilu I od 30 m (v období roku 2012) do 40 m v letech 2020-2030. V profilu II budou hladiny krystalinika nejvíce ovlivněny těžbou v období kolem roku 2020. Pokles hladiny na okraji pánve bude činit až 100 m od současného stavu. Snížení hladiny podzemní vody v profilu IIa zmenšuje vliv Jiřetínského potoka, který komunikuje s kolektorem krystalinika. Největší snížení by činilo cca 18 m v roce 2020. V doplňkové variantě bylo uvažováno snížení hladiny v údolí Jiřetínského potoka na okraji pánve čerpací clonou na úrovni 305 m n. m. To se příznivě projevilo na průběhu izolinií podzemní vody v úpatí svahů a přispělo k zajištění stability svahu. Profil III bude nejvýznamněji ovlivněn těžbou až v období 2020–2030, kdy dojde na okraji pánve ke snížení hladiny o cca 27 m.

Všechny varianty výpočtů jsou v závěrečné zprávě doloženy mapami izolinií hladiny podzemní vody spolu s přehledem ovlivnění povrchových toků a změn přítoků podzemní vody do linií těžby. Pro ukázkou je na obr. 3 zobrazen průběh izolinií hladiny krystalinika pro stav roku 2020.

## Závěr

Simulační matematický model AQUIFEM 1 se při aplikaci na zakázce Jiřetín – realizace osvědčil. Modelové řešení ovlivnění hladiny krystalinika zájmového území bylo jedinou možností, jak zhodnotit míru účinků těžby na hladiny podzemní vody v daném prostoru. Upřesnění modelového řešení a posouzení jeho objektivit může být výhledově provedeno v dalších letech podle porovnání se skutečným ovlivněním hladin v síti pozorovacích vrtů při pokračující těžbě dolu VČSA.

Obecně lze po zkušenostech s použitím modelu AQUIFEM 1 (cca 20 modelových řešení) říci, že velmi dobře vystihuje popis proudění podzemní vody v jednovrstevném kolektoru s průlinovou nebo i všesměrně puklinovou pórovitostí, při zohlednění všech běžných přírodních i umělých vlivů (infiltrace srážek, vliv vodních toků, tektonika, vliv odběrů apod.). Omezeně je použitelný i pro dvouvrstevný kolektor, kde u přilehlé (nemodelované) vrstvy předpokládá konstantní úroveň hladiny, neovlivněnou změnami hladin řešeného kolektoru. Je však možno zadat předpokládané změny hladiny sousedního kolektoru v čase. Komunikace mezi sousedními zvodněmi je definována úrovněmi hladin a parametry dělicího poloizolátoru.

Doplnění, která se provedla v a. s. Aquatest SG (automatické zahuštění sítě v okolí vybraných uzlů pro popis hladiny v blízkosti jímacích vrtů, výpočet vektorů rychlosti a proudnic v okolí uzlů spolu s výpočtem doběhových dob vodních částic), rozšíří aplikaci modelu i pro použití na zakázkách orientovaných na ochranu zdrojů podzemní vody a posuzování možnosti jejich kontaminace.

Model AQUIFEM 1 se tak stává univerzálním modelem pro běžné zakázky regionálního i lokálního rozsahu v hydrogeologické praxi.

*K tisku doporučil V. Homola*

## Literatura

- TOWNLEY, L. R. - WILSON, J. L. (1980): Description of and user's manual for a finite element aquifer flow model AQUIFEM 1. – Report No. 252, MIT, Massachusetts.
- WILSON, J. L. - TOWNLEY, L. R. - SA DA COSTA, A. (1979): Mathematical development and verification of a finite element aquifer flow model AQUIFEM 1. – Report No. 248, MIT, Massachusetts.

## Prognosis of groundwater level decrease due to the progressing open pit coal mining at the foot of the Krušné hory Mts. – groundwater flow model AQUIFEM 1

*(Summary of the Czech text)*

JOSEF HORÁK

Received October 1, 1990

The mathematical model AQUIFEM 1 by L. R. Townley, J. L. Wilson and A. Sa da Costa from the Massachusetts Institute of Technology has been applied in regional and local projects performed by the Stavební geologie, Prague since 1983. The two-dimensional model solves groundwater flow under the conditions of phreatic, confined and semiconfined groundwater levels by the finite elements method (grid of triangular elements) – see fig. 1. Three types of boundary conditions can be used for simulation:  $H = \text{const.}$ ,  $q = \text{const.}$  and  $q = f(H)$  and additional input information in area and time, such as rainfall infiltration, local anisotropy of the aquifers, semipermeable or unpermeable tectonic faults and others. The programming language is FORTRAN IV and the original code is IBM-PC compatible.

The model AQUIFEM 1 has been used in ca 20 hydrogeological projects concerning regional hydrogeology, groundwater protection (a proposal for setting pits, hydraulic barriers), evaluation of local sources of groundwaters and evaluation of interaction between ground and surface waters.

The project Jiřetín was aimed at evaluation of the effect of surface brown-coal mining by the ČSA Giant Open Mine on the stability of the Krušné hory Mts. slopes. The model AQUIFEM 1 was used to determine the attitude of groundwater

level in consideration profiles and its changes caused by mining in the period 1990–2030. Crystalline aquifer was modelled in the area of Komořany and Horní Jiřetín (26 km<sup>2</sup> total area) with respect to the initial state in 1985 defined by the mining profile of the Obránců míru and ČSA Mines.

Maps of crystalline aquifer groundwater levels at the initial state and maps of coal seam basis, which forms an unpermeable aquitard of the aquifer, were processed as input data in the given area.

At the slopes of the Krušné hory Mts., where the crystalline complex exhibits a free groundwater surface, the infiltration of rainfall was determined at 4.93 l. s<sup>-1</sup>. km<sup>-2</sup> (total 44.27 l. s<sup>-1</sup>) and the drainage of surface water into surface streams was also considered. In the basin, where the crystalline complex is overlain by Mesozoic and Tertiary deposits and has a confined groundwater level, the infiltration of rainfall was not considered and communication with surface streams does not exist there. The thickness of groundwater aquifer at the slopes of the Krušné hory Mts. is estimated at 150 m (measured from groundwater level) and that in the basin 100 m (measured from coal seam base). The model also simulates unpermeable fault lines which are the continuation of the Jiřetín brook valley in the basin.

Margins of the model territory in mountain slopes were defined by boundary condition  $q = 0$  individual hydrogeological divides or at the line perpendicular to groundwater level isolines with a condition  $H = \text{const.}$  at the margin course parallel with hydroisohypses. The model solution proved that the boundaries of the model territory were designed outside the range of provoked groundwater level depressions. Lines of mine in the initial stage were defined by a boundary condition  $H = \text{const.}$  together with pumping stations in the mine foreland which keep down the water at a constant level (see fig. 2.).

Hydraulic parameters of the crystalline aquifer expressed by the filtration coefficient range between 10<sup>-5</sup> and 10<sup>-8</sup> m . s<sup>-1</sup> (69 documentation points according to hydrodynamic tests). The model range of the input data of the filtration coefficient is the same. Areal development of permeability is documented by a map attached to the project report together with the verified levels of the initial state (1985) for comparison with the course of hydroisohypses drawn on the basis of terrain measurements.

Additional variants of solution simulated the process of mining in the years 1990–2030 and its influence on the groundwater levels of the crystalline complex. Solutions were modelled for a steady state groundwater flow in the following time periods: 1990, 2000, 2012, 2020, 2025 and 2030. Simultaneously, a steady state period was verified according to unsteady state groundwater flow and was calculated to be less than 10 years (maximum difference between the steady state groundwater flow and the state after 10 years is 5 cm in the foreland of the coal-mine). The results of the model can be considered representative during continuous mining. Maximum influence on water levels and maximum inflows into the mining area (ca 30 l. s<sup>-1</sup>) can be expected around the year 2020 when the mine line would run through the deepest part of the seam (at the elevation point 25 m above sea level). The course of groundwater levels is shown in fig. 3. All variants of the solution are documented by maps of isolines of groundwater levels and balance of inflows into the mining area in the project report.

The application of the AQUIFEM 1 model at the project Jiřetín has proved to be suitable. The results of model solution can be verified in practice at assessing the monitoring net of levels in boreholes during the coming years. At present, the Aquatest SG Inc. has complemented the model to broaden its applicability namely in the field of groundwater protection (automatic increase of the model network density in the vicinity of selected points – water intake wells, calculation of velocity vectors and streamline together with calculation of water particles time distribution).

The experience with application of AQUIFEM 1 simulation mathematical model permits to state that the model is universally suitable for hydrogeology and reflects very well natural situation under conditions of two-dimensional groundwater flow.

*Přeložila T. Hlavatá*

#### Explanation of text-figures

1. Section defining a hypothetical aquifer.
2. Model grid with boundary conditions. 1 – line of mining ( $H = \text{const.}$ ), 2 – unpermeable fault line, 3 – boundary of the area with rainfall

- infiltration – margin of the basin filling, 4 – boundary condition  $H = \text{const.}$ , 5 – boundary condition  $q = 0$ , 6 – boundary condition  $q = f(H)$ .
3. Isolines of the crystalline aquifer in the year 2020. 1 – line of mining ( $H = \text{const.}$ ), 2 – unpermeable fault line.





SBORNÍK GEOLOGICKÝCH VĚD  
JOURNAL OF GEOLOGICAL SCIENCES

hydrogeologie,  
inženýrská geologie

hydrogeology,  
engineering geology

20 1

Vydal Český geologický ústav  
Praha 1994-2001

Vědecký redaktor: RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Překlady: Gabriela Vladyková, Tatána Hlavatá  
Obálku navrhl Miloslav Cihelka  
Odpovědná redaktorka: Vlasta Čechová  
Technická redaktorka: Jaroslava Pavlíčková *Hana Hlavatá*  
Sazba: Jana Kušková *Ladislav Hlavatý*  
Tisk: Český geologický ústav, Klárov 3, Praha 1  
1. vydání, 68 stran (22 obr.); 2 barevné a 8 křídových příloh  
Náklad 300 výtisků  
03/9 446-427-04 *491-01*  
ISBN 80-7075-171-0 ISSN 0036-5289

520-2