

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 BŮŽKOVÁ¹

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.

¹ 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 revidovat 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 km² je hustota prozkoumanosti přibližně 37 dokumentačních bodů na 1 km². 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 km², 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. Uhlíprůčnou 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

Kvartér	
1	navážka
2	humózní hlína
3	hlína jílovitopísčítá
4	písek
5	šterk hlinitý
6	sutě a šterky
7	svahová suť
9	silty nejistého stáří
Nadložní souvrství – neogén	
10	jíly
11	pelosiderit
17	písek
19	nesourodý klastický materiál
21	ztráta jádra
Souvrství hnědouhelných slojí – neogén	
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
Podložní souvrství – terciér	
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
Svrchní křída	
100 až 109	jíly až slepence
190	přeplavená rula (kaolínové splachy)
191	ztráta jádra
Krystalinikum	
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

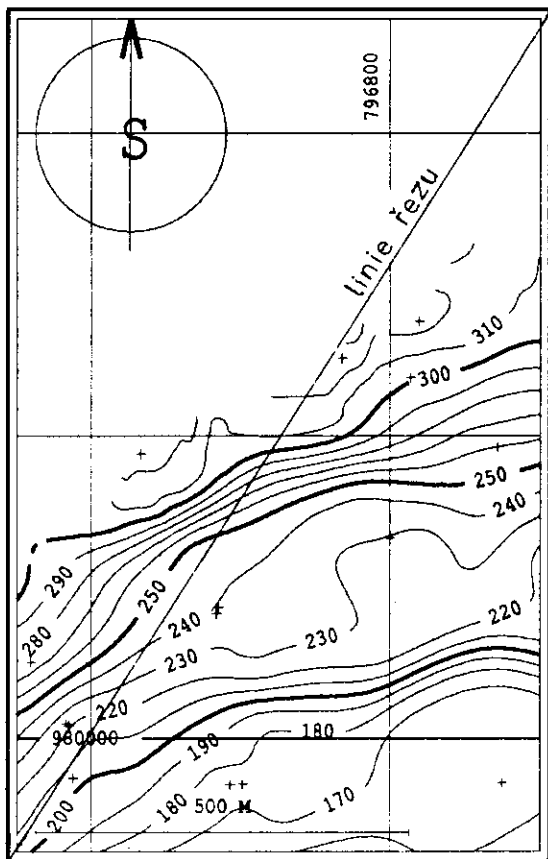
Tabulka 2
Generalizace klasifikačních kódů

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.

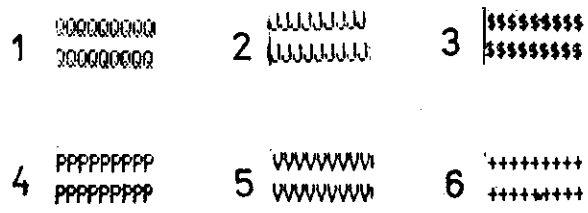
Anomálii vulkanických hornin, patrnou ve vertikálním profilu, můžeme dobře sledovat i v horizontálním řezu v nadm. výšce Z = 300 m. Její poloha uvnitř uhelné slaje v tomto území je ale neobvyklá, i když ne vyloučená. Přijatelnější výskyt by byl uvnitř podložního souvrství. V každém případě je vhodná 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 REZ 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

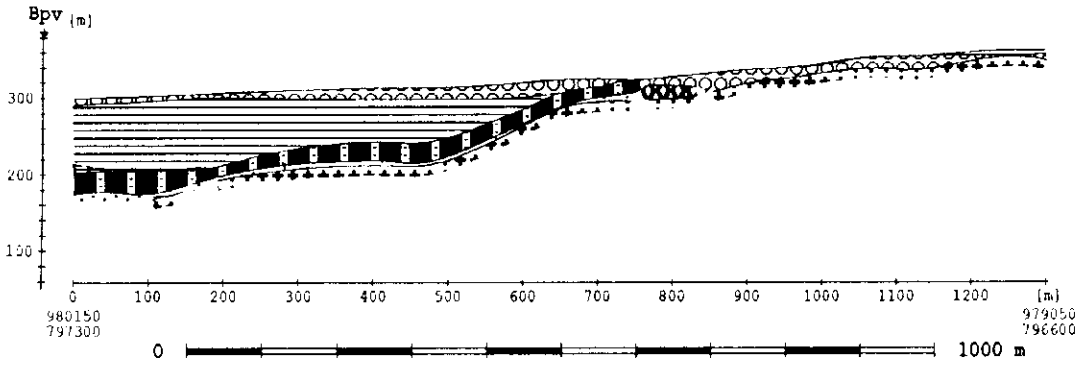
980150.00	797300.00	302.0	P\$\$\$\$IJJJJJJJJJJ
980131.94	797292.50	303.2	F\$\$\$\$IJJJJJJJJJJ
980113.88	797277.00	304.0	F\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980095.81	797265.50	304.4	F\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980077.75	797254.00	304.9	F\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980059.69	797242.50	305.7	+P\$\$\$\$JJJJJJJJJJJJ
980041.62	797231.00	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 proplátek, 4 – podložní souvrství neogénu,
 5 – tuftické a vulkanické horniny neogénu, 6 – horniny krystalinika.

JJZ

SSV

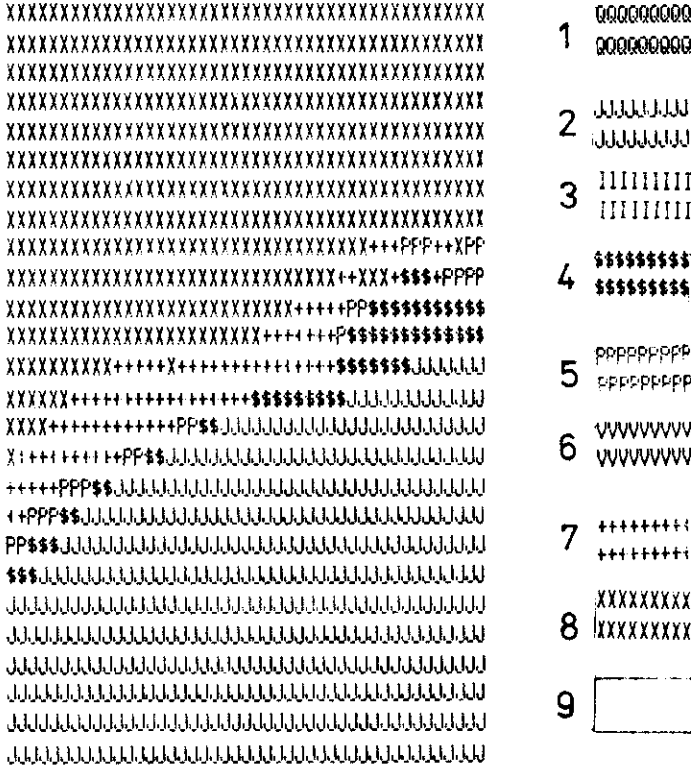


3. Vertikální geologický řez (grafický výstup z počítače). 1 – kvartérní sedimenty bez rozlišení, 2 – nadožní souvrství neogénu, 3 – prouhelněné sedimenty v nadožní uhelné sloje, 4 – uhlí včetně vnitřních proplátek, 5 – podložní souvrství neogénu, 6 – tuftické a vulkanické horniny neogénu 7 – horniny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

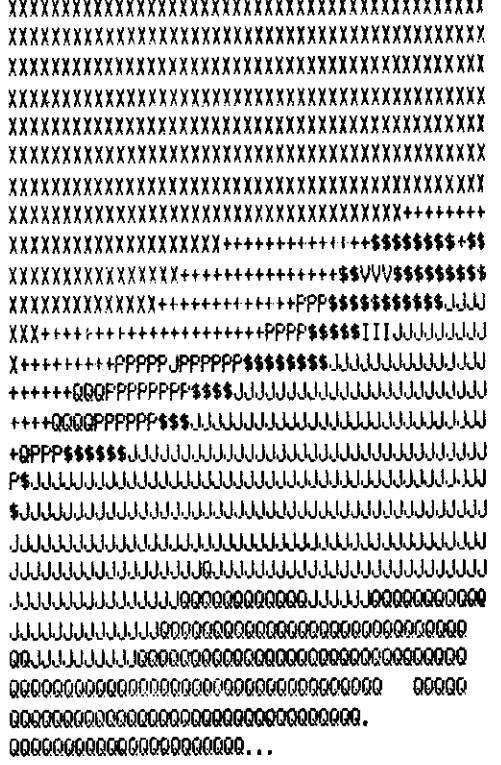
VODROVNY REZ : Z = 275.00 REGRESE : -1 KRATKA BARVA :

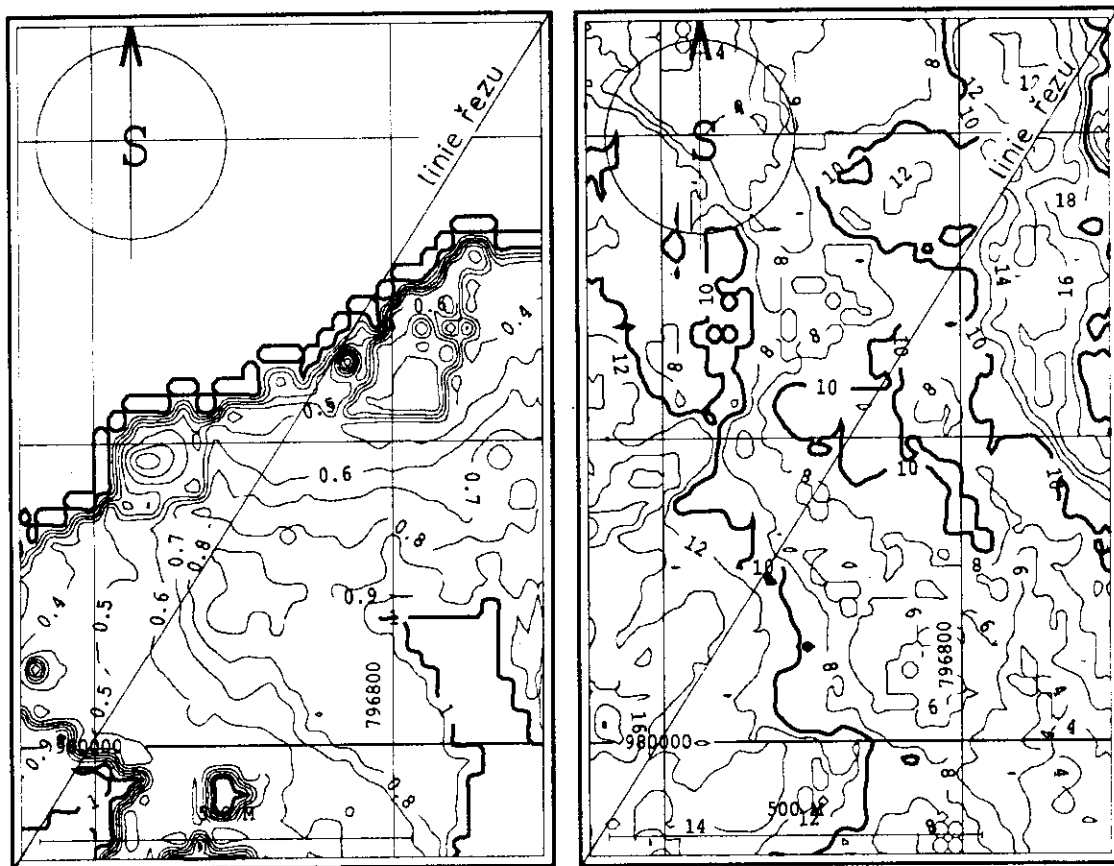
979050.00 797300.00 979050.00 796600.00
 980150.00 797300.00 980150.00 796600.00



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 blokdigram různě natočit a převýšit.

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

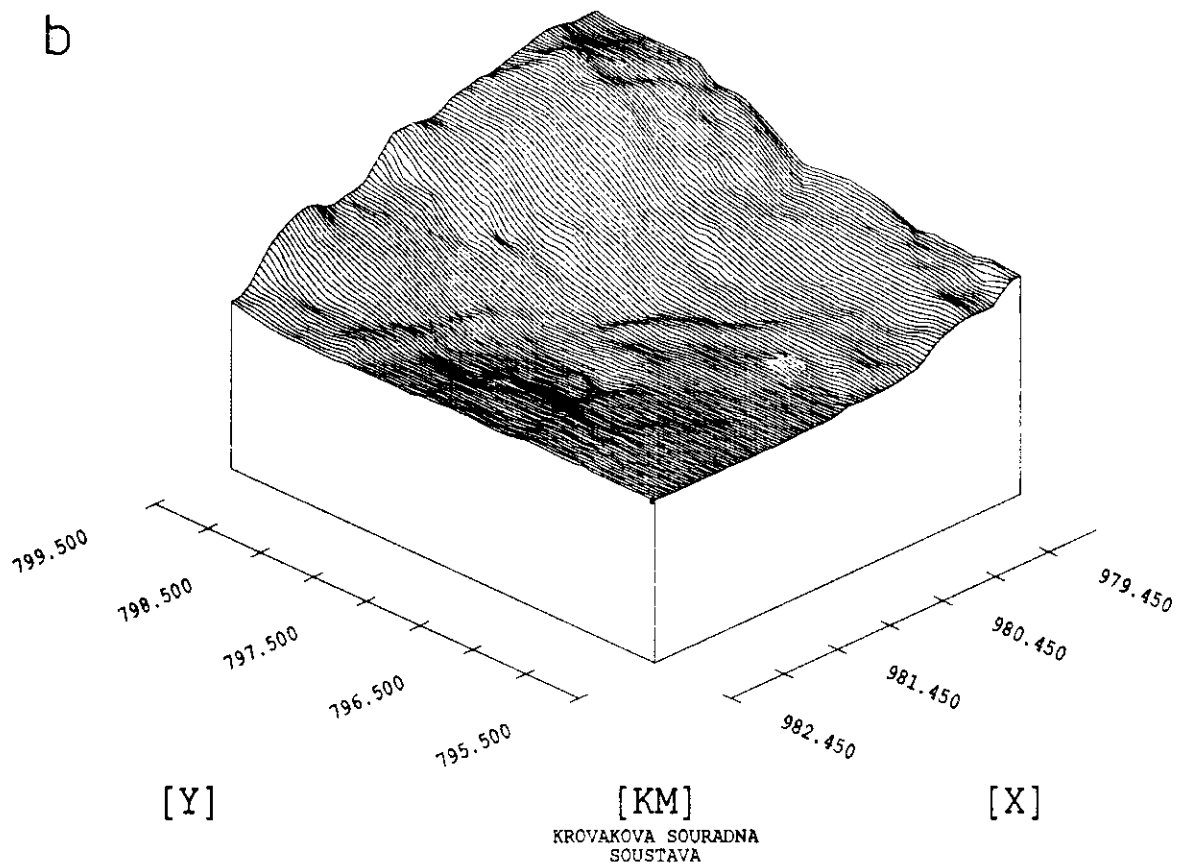
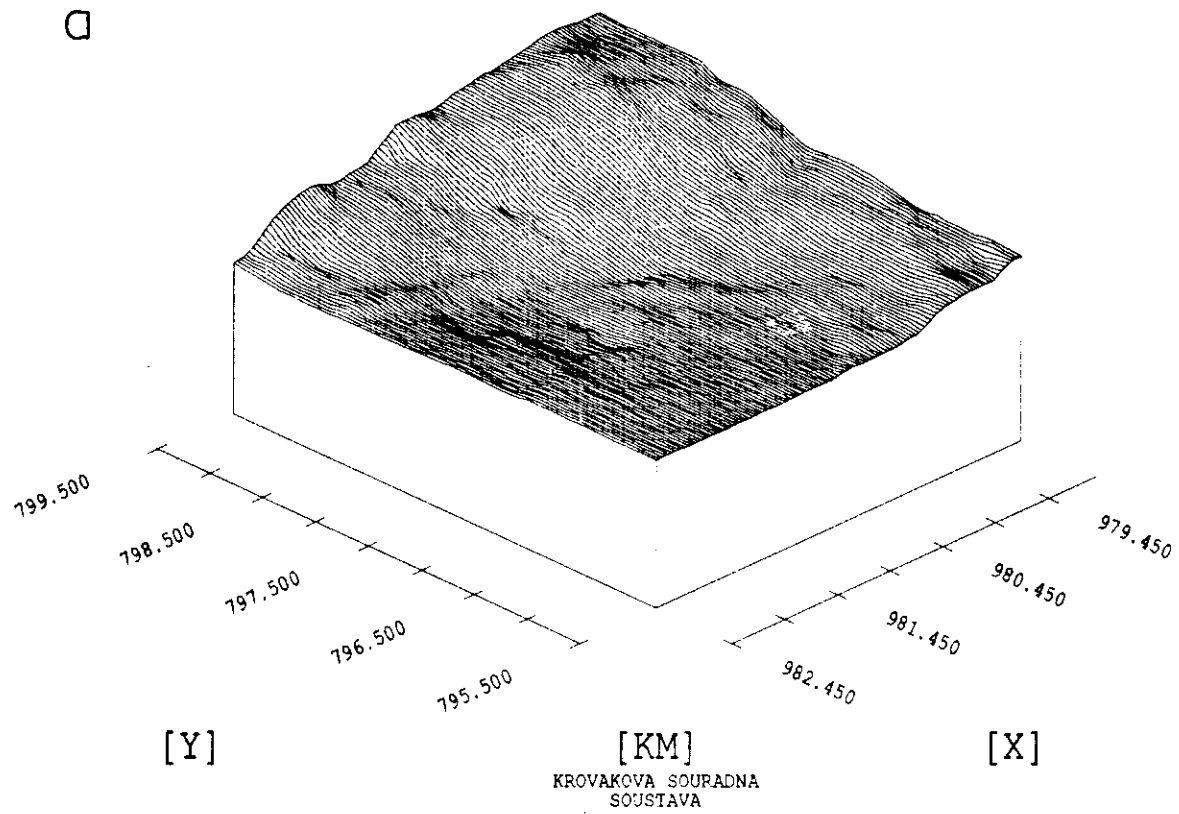
Diskuse výsledků

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 algoritmů MMHP, byl vždy jeho přínos velmi pozitivní

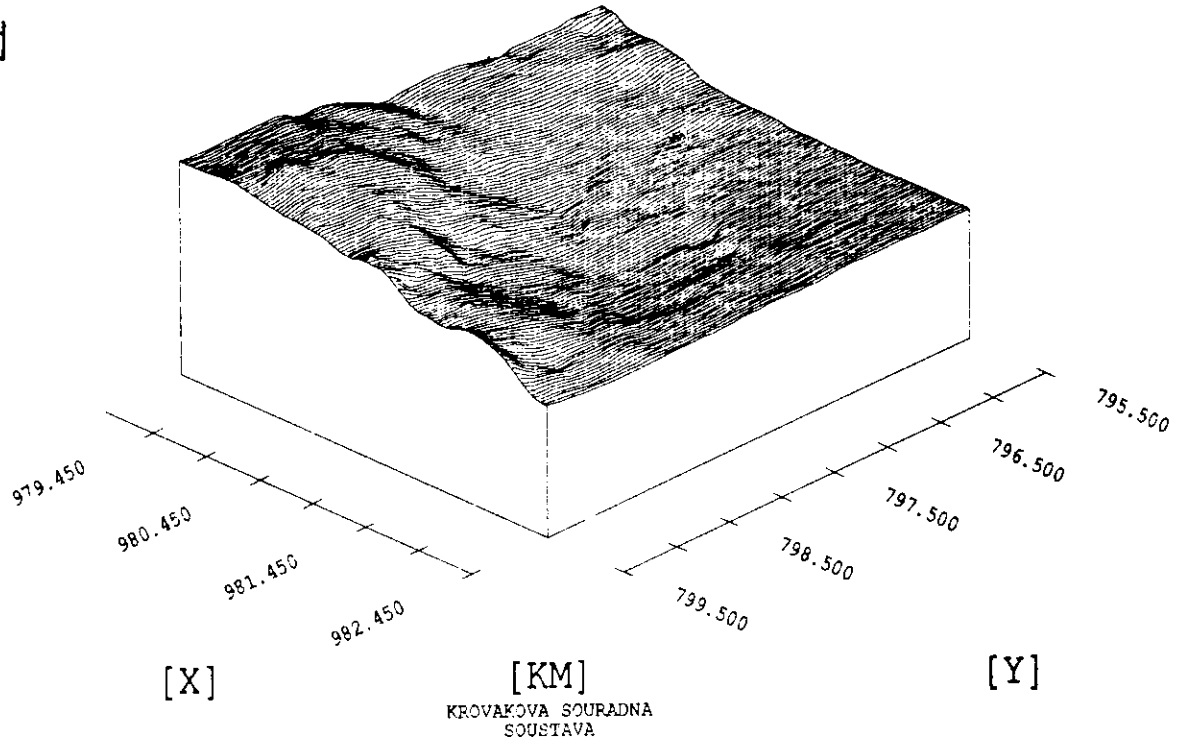
i na jiných lokalitách než Jiřetín. Právě ta okolnost, že program bere do úvahy veškerá data ve zvoleném poloměru dosahu a neprovádí předběžný výběr, tak jako to obvykle činí geolog, má za následek na jedné straně velkou objektivitu výstupu, na druhé straně ale je poznamenán chybami a stratigrafickými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

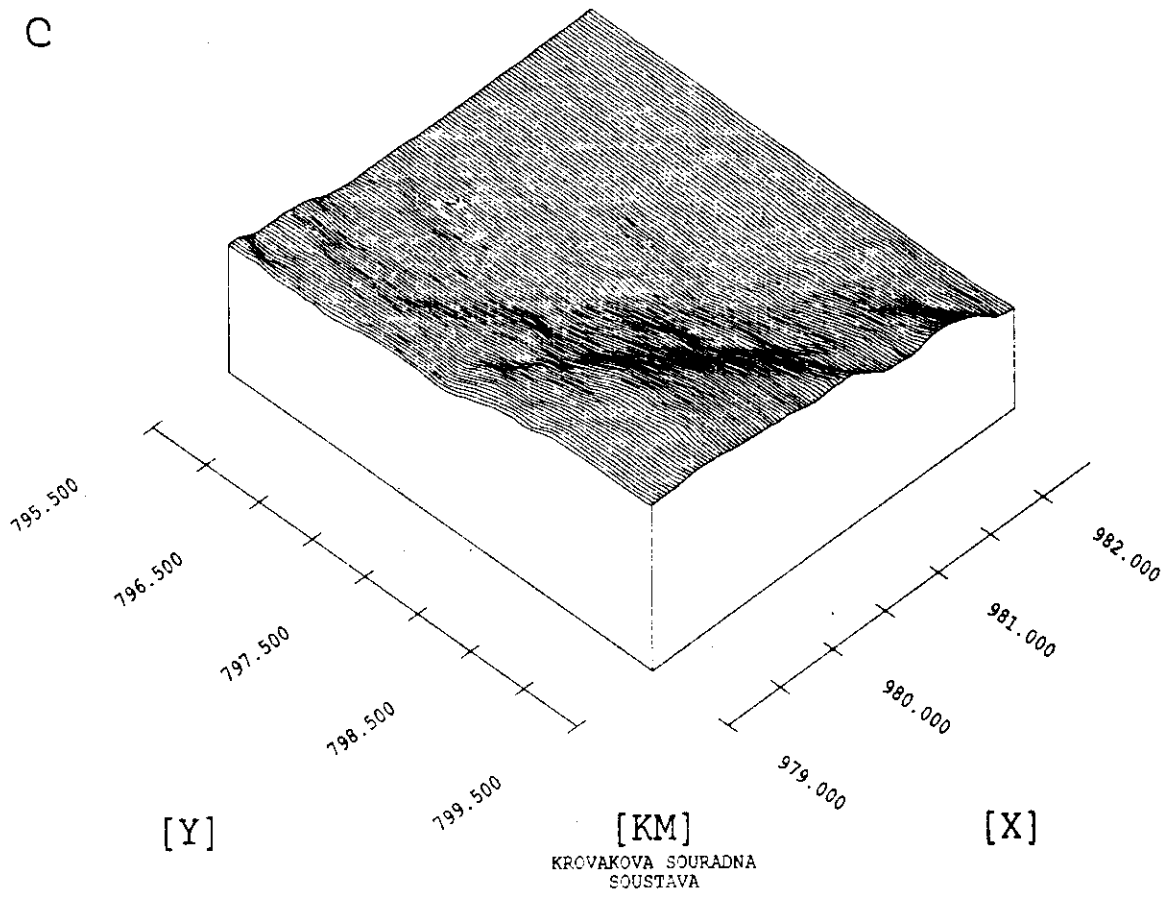


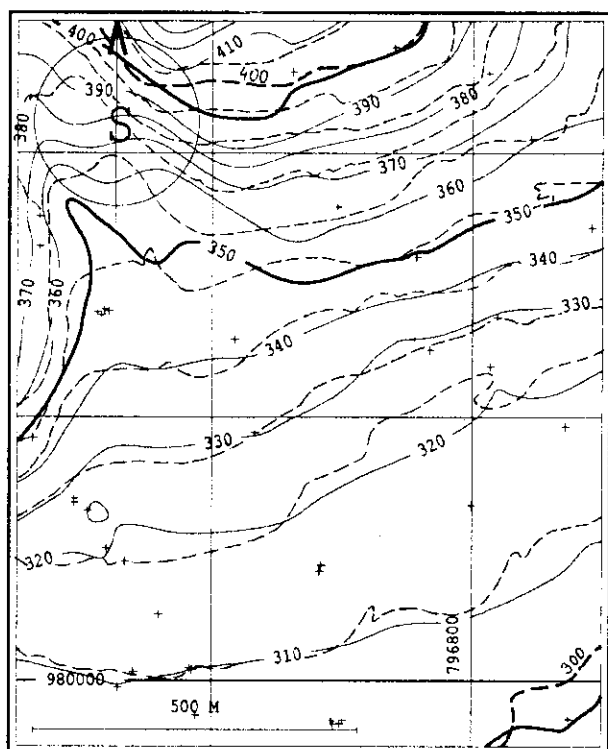
6. Blokdiagram povrchu krystalinika. a – pohled od JV a 60° od vertikály, b – tentýž pohled při převýšení povrchu krystalinika 1,5x, c – pohled od SZ a 45° od vertikály, d – pohled od JZ a 60° od vertikály.

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 vyplyne 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 předstihu 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 upotřebením 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 vrty 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 nevítanou 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 km². 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.