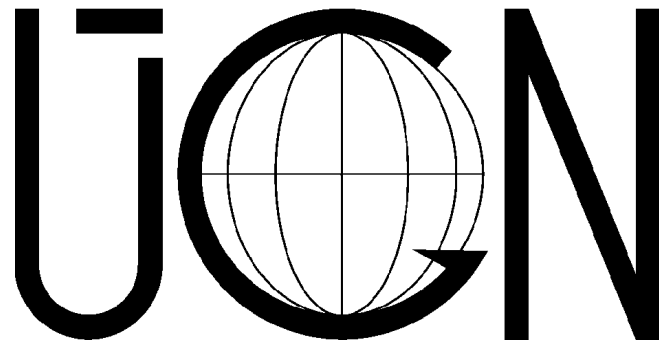


Institute of Geonics AS CR, Ostrava



**Ph.D. WORKSHOP 2007  
PROCEEDINGS**

Ostrava, November 21, 2007

**Organizing committee**

Prof. RNDr. R. Blaheta, CSc.

Mgr. A. Kolcun, CSc.

RNDr. K. Kirchner, CSc.

Bc. T. Nevedělová

Ing. J. Starý, PhD.

J. Vávrová

## **Preface**

These proceedings contain contributions presented at the second Ph.D. Workshop of the Institute of Geonics of the Academy of Sciences of the Czech Republic held in Ostrava on November 21, 2007.

Ph.D. training belongs among the most important activities of not only the universities but also the institutes of the Academy of Sciences of the Czech Republic. It guarantees that the knowledge and experience in the research will be forwarded and extended and, with some other conditions, guarantees the whole development of the research and academic systems.

The aim of the Workshop is to bring together Ph.D. students studying and working or having their supervisors at the Institute of Geonics AS CR. The workshop gives possibility for presentation of their work, showing the achieved progress as well as for meeting together, getting a comparison and perhaps interconnecting some work. For the research community, the workshop gives possibility to watch the new results and progress of the Ph.D. students. In a future, we would like to extend this scope and invite also Ph.D. students from other institutions for enabling comparisons and broader experience exchange.

The topics presented at the workshop reflect wide variety of problems solved at the Institute of Geonics. These problems comprise properties of geomaterials, investigation of processes in rock mass, studying geomechanical, geodynamical and geophysical effects, development of mathematical modeling methods and problems of environmental geography.

I would like to thank the authors for preparing and presenting their contributions as well as the organizers and supervisors for their involvement in the workshop preparation.

Ostrava, November 6, 2007

On behalf of the Institute of Geonics AS CR,

Prof. Radim Blaheta  
director of the Institute



## Contents

J. Běťák, P. Halas Příspěvek k metodice studia diverzity a funkce ekotonových společenstev na příkladu lesních okrajů ...	5
R. Blaheta, K. Krečmer Computer Implementation of $\mu$ FEM .....	11
H. Doležalová Rock Massif Changes near the Margin of Subsidence Depression .....	14
P. Dvorský Zkušenosti s ražbou a stabilitním sledováním třídy 294 225 vyztužené technologií samostatné svorníkové výztuže na Dole ČSM ve Stonavě .....	18
P. Dvořák Settlement development of the Czech Republic border regions from 1930 to 1950 .....	25
B. Frantál Spatial structuration of perception and awareness of regional and local identities: analysis and cartographic representation by the methods of mental mapping (theoretical and methodological terminus a quo) .....	29
V. Kajzar Spatial data in mining and geology .....	34
R. Kukutsch Problematika SDD a ODD ve vztahu k možnostem řešení stability na příkladu Dolu Jeroným .....	38
M. Lednická Příklad použití ultrazvukového prozařování vzorku žuly v laboratorních podmínkách .....	45
L. Peterková Anthropogenic agent – landscape change of the middle Svratka River Valley .....	50
P. Raška, L. Kubalíková Geomorphology of rock-mantled slopes in Czechia .....	53
E. Rudolfová Wavelet solution of the direct problem of the stationary geoelectrical field in the non-homogeneous environment .....	58
M. Stolárik Problematika modelování dynamického zatížení v programovém systému Plaxis 2D .....	63
S. Sysala Algorithm for Semi-Coercive Beam Problem with an Unilateral Elastic Subsoil of Winkler's Type .....	69
L. Vavro Lomová houževnatost hornin a její měření .....	75
PhD students and supervisors at IG AS CR .....	79



# Příspěvek k metodice studia diverzity a funkce ekotonových společenstev na příkladu lesních okrajů

Jan Běťák<sup>1</sup>, Petr Halas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geografický ústav MU, Kotlářská 2, 611 37, Brno, <sup>2</sup>Ústav geoniky Akademie věd České republiky, v.v.i., pobočka Brno, Drobného 28, 602 00 Brno

## Abstract

The aim of this article is to summarise some of the new information about function and biodiversity of ecotonal societies, especially societies of forest edges. Use of a few methods for analysing gradients of ecological factors and plant diversity changes is showed on examples of two transects from non-forest to forest vegetation in Stredomoravske Karpaty Hills. We used the Ellensberg's values (defined for light, temperature, continentality, moisture, soil reaction and nutrient requirements) to find out the average ecological requirements of individual relevés, and so tried to define the main ecological gradients in both transects. These results corresponds to the presumed gradients of light, nutrients, moisture and partly also to continentality. The method mentioned above seems to be a good device to understand the function of plant societies on ecological boundaries.

**Keywords:** Ecotone 1, Edge effect 2, Biodiversity 3, Forest edge 4, Sampling methods 5

## 1 Úvod

Problematice ekotonů se v posledních letech věnuje stále větší pozornost ze strany odborníků různých přírodovědných profesí. Příčinou je stále se zvyšující tlak společnosti na využívání krajiny, který způsobuje neustálý vznik nově utvářených rozhraní a okrajů různě využívaných krajinných segmentů. V krajině, v jejíž struktuře se ostré hranice významně uplatňují, je z hlediska zachování její rozmanitosti a ekologické stability nezbytné porozumět funkci těchto rozhraní a jejich roli pro distribuci rostlin a živočichů v prostoru. Lesní okraje jsou podle našeho názoru ve středoevropském prostoru nejrepresentativnějším příkladem ekotonových společenstev, podílejících se velmi významně na utváření krajinné struktury a ovlivňujících ekologickou stabilitu v regionálním měřítku. Cílem tohoto příspěvku je upozornit na

některé metody studia diverzity a funkce ekotonových společenstev, a na konkrétních příkladech ukázat použití těchto metod a nastínit možnosti aplikací získaných výsledků.

### 1.1 Vymezení základních pojmů

Tradiční definice ekotonu je velmi široce koncipovaná. V pojetí Formana a Godrona (1986) je ekoton "poměrně úzká přechodová zóna mezi dvěma společenstvy". V novější literatuře se však setkáme s přesnějšími definicemi, které zpravidla rozlišují mezi okrajem ("edge") a ekotonem ("ecotone"). Podle Lidickera (1999) lze termín ekoton použít tehdy, pokud na rozhraní mezi dvěma společenstvy můžeme prokázat jejich vzájemné interakce v podobě kladného nebo záporného okrajového efektu ("edge influence"). Okrajový efekt definuje Harper et al. (2005) jako výsledek abiotických či biotických procesů, které vedou k zaznamenaným změnám ve složení, struktuře nebo funkci okrajového společenstva v porovnání se společenstvy na jedné či druhé straně ekologického rozhraní. V anglicky psané literatuře se pojem "edge influence" často zaměňuje s pojmem "edge effect", který se zpravidla vztahuje ke změnám diverzity v ekotonových společenstvech (např. Luczaj et Sadowska 1997). Harper et al. (2005) doporučují vyjadřovat velikost okrajového efektu jako  $(e-i)/(e+i)$ , kde  $e$  = hodnota měřeného parametru na okraji společenstva a  $i$  = hodnota stejného parametru uvnitř společenstva. Velikost okrajového efektu v tomto pojetí kolísá od -1 do +1, a je nulová, pokud okrajový efekt není pozorován. Pozitivní okrajový efekt znamená zvýšení hodnoty měřeného parametru na okraji společenstva, negativní okrajový efekt naopak její snížení – viz obr. 1 (Luczaj et Sadowska 1997). Jiným způsobem vyjádření velikosti okrajového efektu je prostý poměr hodnot měřených na okraji a uvnitř daného společenstva (např. Burton et al. 2002). Prostorově lze ekoton vymežit pomocí hranic, v nichž je okrajový efekt statisticky

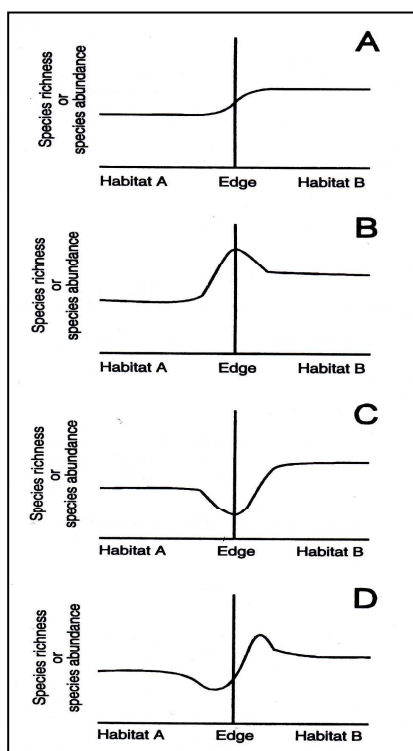
<sup>1</sup> jane.betak@gmail.com

<sup>2</sup> halas@geonika.cz

významný na zvolené hladině významnosti (např. Chen et al. 1992).

## 1.2 Typy ekotonových společenstev

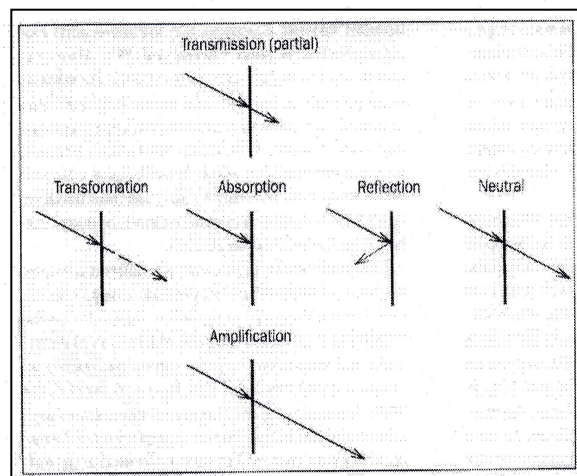
Ekotonová společenstva můžeme typizovat podle různých kritérií. Při úvahách o kategorizaci ekologických rozhraní je třeba mít na paměti, že lidská mysl má tendenci rozdělovat prostor na co možná nejjednodušeji definované části (Cadenaso et al. 2003). Realita v přírodě je zpravidla mnohem nejednoznačnější a složitější. Strmé gradienty mezi prostorovými jednotkami vytvořenými lidskou myslí jsou ve skutečnosti většinou pozvolnější a jejich vypovídací hodnota bývá mnohohodnotnější. Jedním ze zásadních kritérií, podle kterých lze kategorizovat ekotonová společenstva je jejich prostorová struktura.



Obr. 1. Různé kombinace okrajových efektů pozorovatelných na transektech napříč ekotony – převzato z Luczaj et Sadowska (1993) (A- žádný okrajový efekt; B- kladný okrajový efekt; C- záporný okrajový efekt; D- dvojitý okrajový efekt)

Strayer et al. (2003) používají pro charakteristiku prostorové struktury ekologických rozhraní například následující atributy: *rozsah* (ve smyslu absolutní velikosti celé struktury), *šířka rozhraní*, *kontrast a strmost rozhraní*, *kontinuita hranice* (a potažmo četnost a charakter přerušování této kontinuity) a její *geometrický tvar a křivolakost*. Kupříkladu Hardt a Forman (1989) ukázali, že sukcese postupuje rychleji podél konkávních částí lesní hranice – tedy tam, kde bezlesí je z více stran obklopeno lesem – než je tomu v místech, kde lesní porost vyčnívá do bezlesí, které ho z více stran

obklopuje. K dalším kritériím, podle nichž Strayer et al. (2003) ekotony rozděluje, patří jejich funkce (ve smyslu působení ekologického rozhraní na ekologické faktory prostředí) a dynamika. Funkční vlastnosti ekologického rozhraní mohou ovlivňovat toky energie v prostoru a hodně napovědět o rychlosti a směrech šíření organismů v krajině. Procesy probíhající v ekotonech mohou zahrnovat *částečný přenos*, *transformaci*, *absorpci*, *odraz* nebo *zesílení* účinku ekologických faktorů (viz obr. 2). Porozumění procesům probíhajícím na hranicích společenstev je klíčové pro ochrannou praxi, zejména pro navrhování ekologických sítí a chráněných území.



Obr. 2. Různé způsoby působení ekologického rozhraní na ekologické faktory prostředí (podle Strayer et al. 2003) - shora: částečný přenos, transformace, absorpce, odraz, neutrální rozhraní a zesílení

Důležité je nahlížet na ekologická rozhraní jako na měnící se strukturu a mít na paměti, že v podstatě všechny jeho atributy se mohou v čase měnit, a že současná podoba rozhraní je pouze dočasným výsledkem dlouhodobě působících proměnlivých faktorů. Pro popis dynamiky ekologických rozhraní je podle Strayera et al. (2003) rozhodující zodpovědět dvě otázky: (1) Je pozice, struktura a funkce hranice stabilní v čase? (2) Jaké je stáří a jaká je historie vývoje této hranice? Podle odpovědí na tyto otázky můžeme ekotony opět různými způsoby kategorizovat.

## 1.3 Ekologické procesy a gradienty proměnných prostředí na okraji lesa

Na každém ekologickém rozhraní probíhá výměna energie, materiálu a/nebo organismů skrze hranici dvou navzájem sousedících společenstev (Cadenaso et al. 2003). Zpravidla jsou zde také pozorovatelné změny v jejich složení nebo struktuře (Harper et al. 2005) a rozdíly v intenzitě působení abiotických i biotických faktorů. Matlack (1993) podává detailní charakteristiku změn ekologických faktorů prostředí na transektech mezi okrajem opadavého listnatého lesa a jeho interiérem. Z jeho opakovaných měření vyplývá, že



většina proměnných koreluje se vzdáleností od lesního okraje. Směrem do nitra lesa se snižuje výpar z půdy a množství dopadajícího záření na zemský povrch, klesají hodnoty okamžitých teplot a rovněž pokryvnost keřového patra dosahuje nejvyšších hodnot na lesním okraji. Naopak vlhkost vzduchu směrem do lesa roste, podobně jako hloubka opadu a jeho vlhkost. Klíčovou roli mezi faktory prostředí na okraji lesa hraje dopadající sluneční záření. Na něm jsou přímo závislé další proměnné, např. teplota, výpar či vlhkost. Podle Matlacka (1993) může zóna s vyššími měřenými hodnotami slunečního záření zasahovat do 10-35 metrů od okraje lesa, a její šířka odvisí především od orientace lesního okraje a typu společenstva bezprostředně sousedícího s lesem. Na jižně orientovaných okrajích a v sousedství pole nebo louky zasahuje hlouběji do lesa, na severních okrajích, případně v sousedství křovin nebo mladého lesa je relativně úzká. Vzhledem k tomu, že gradienty některých měřených faktorů zasahují až do vzdálenosti okolo 40-50 metrů od hranice lesa, navrhuje Matlack (1993), aby při zakládání lesních rezervací byla z důvodu zachování podmínek prostředí respektována určitá minimální velikost území a šířka ochranného pásma. V praxi je opakované měření proměnných prostředí na různých místech studovaného transektu zpravidla metodicky i časově velmi náročné. Jednodušší je vyjádřit gradienty proměnných prostředí nepřímo pomocí Ellenbergových hodnot (Ellenberg et al. 1992), přiřazených k jednotlivým rostlinným druhům vyskytujícím se ve vegetačních snímcích na transektu mezi dvěma studovanými společenstvy (blíže viz kapitola 3).

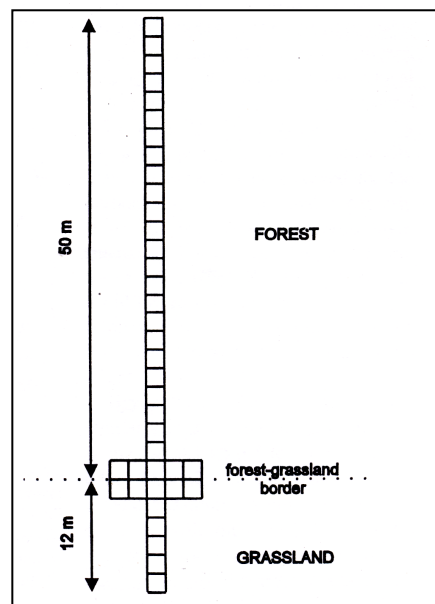
Hloubka okrajového efektu jednotlivých faktorů působících na lesním okraji je funkcí velikosti tohoto okrajového efektu, úhlu dopadajícího slunečního záření a heterogenity lesního společenstva (Harper et al. 2005). Na základě poznatků z literatury uvádějí stejní autoři typy rozhraní, ve kterých bude okrajový efekt zřetelnější nebo bude hrát ekologicky významnou roli. Mohou to být například ostré lesní okraje v regionech, kde je vysoké zastoupení pionýrských, exotických nebo invazních druhů, významně se okrajové efekty uplatňují v krajinách s malou heterogenitou vegetačního nebo půdního pokryvu. Velikost okrajového efektu je rovněž úměrná kontrastu mezi sousedícími společenstvy.

## 2 Metodika studia ekotonových společenstev

### 2.1 Analýza změn struktury a složení vegetace na rozhraní les - bezlesí

Z publikovaných prací různých autorů (např. Matlack 1994; Honnay et al. 2002; Gehlhausen et al. 2000) vyplývá, že základní metodou užívanou pro studium změn biodiverzity a funkce ekologických rozhraní je transekt vedoucí přes studované rozhraní složený z

jednotlivých mapovacích čtverců. Překvapivě málo studií se zabývalo detailním popisem změn vegetace v kontinuálně na sebe navazujících mapovacích plochách v rámci studovaných transektů. Dlouhodobě se tímto přístupem zabývají především polští autoři (Falinska 1979; Luczaj et Sadowska 1997; Orczewska et Glista 2005), jejichž práce jsou pro nás díky podobným přírodním podmínkám a typům studovaných rozhraní (lesní okraje) bohatým zdrojem inspirací. Příkladem vhodného designu studie je např. práce Luczaj et Sadowska (1997). Autorky se zde zabývají diverzitou různých taxonomických skupin (cévnaté rostliny, houby, mechorosty) na gradientech prostředí z lesa do bezlesí. Metodika výzkumu spočívala v detailním a kontinuálním snímkování vegetace na plochách o velikosti 2×2 m, na liniích dlouhých 62 m (12 m směrem do bezlesí, 50m směrem do lesa) a v 10 m dlouhých a 4 m širokých pásech umístěných na rozhraní lesa a louky kolmo na hlavní linii (viz obr. 3).



Obr.3. Uspořádání snímků na studovaných transektech (převzato z Luczaj et Sadowska, 1997)

Výsledky studie poukazují na nárůst druhové bohatosti cévnatých rostlin na lučním okraji oproti snímkům dál od okraje – na okraji jsou zastoupeny jak luční druhy, tak druhy lesních lemů a rovněž některé lesní druhy (pozitivní okrajový efekt). Diverzita na lesním okraji je ale menší nebo stejná než uvnitř lesa – z důvodu vysoké pokryvnosti keřového patra zde chybí řada zástupců bylinného podrostu a mechorostů (spíše záporný okrajový efekt). Kladný okrajový efekt v distribuci stromů a keřů na lučním okraji je v souladu s výsledky většiny prací z různých oblastí světa (např. de Casenave et al. 1995; Ranney et al. 1981). Malá pokryvnost mechorostů ve společenstvech lesních plášťů je pravděpodobně způsobována vysokou pokryvností keřového patra. Směrem do lesa pokryvnost mechů nejprve strmě vzrůstá (nemusí se vždy jednat o nárůst

diverzity) vlivem vyfoukávání opadu a obnažování holé půdy (tento jev označují Balcerkiewicz et Kasprowicz /1989/ termínem „bryofytizace“) a později pomalu klesá směrem do lesního interiéru.

Navzdory předpokladu, že zvláště saprofytické druhy hub by mohly dobře odrážet změny ve vlhkosti půdy a opadu na linii z lesa do bezlesí (změny půdní vlhkosti jsou na lesních okrajích ještě výrazněji působícím faktorem než změny v intenzitě světla, které ovlivňují podstatnou měrou distribuci rostlin – Matlack 1993) se makromycety chovaly jinak než předchozí skupiny organismů. Záporný okrajový efekt byl pozorován jak na lučnících, tak i na lesním okraji. Směrem do lesa pak druhová bohatost hub prudce vzrůstá a přibližně od 5 metrů se již udržuje na podobné úrovni. Na druhé straně výsledky autorů zabývajících se mykosociologií rovněž nepotvrzují předpokládané korelační závislosti mezi fruktifikací hub a ekologickými proměnnými, které zpravidla podmiňují výskyt druhů cévnatých rostlin (např. Lisiewska 1973).

## 2.2 Případová studie změn biodiverzity na příkladu dvou transektů z lesa do bezlesí ve středomoravských Karpatech

### 2.2.1 Základní charakteristika přírodních podmínek v zájmovém území

Studované transepty se nacházejí v NPP Malhotky (respektive v jejím blízkém okolí) na katastru obce Nesovice v okrese Vyškov, ve Ždánicko-Litenčickém bioregionu. NPP Malhotky představují jednu z nejlépe zachovalých lokalit teplomilných stepních lad ve středomoravských Karpatech. Oblast buduje převážně jemně písčité, snadno rozpadavý vápnlitý flyš ždánické jednotky, překrytý vrstvou spraší. Půdní pokryv tvoří převážně kambizemní pararendziny, vázané na vápnlitý substrát. Z hlediska bioty je území zajímavé především svojí polohou na hranicích západokarpatské a severopanonské podprovincie. Vyskytuje se zde řada mezních karpatských a panonských prvků, zvláště bohatá je nelesní flóra s řadou kontinentálních migroelementů a floroelementů. Potenciální vegetaci tvoří karpatské dubohabřiny asociace *Carici pilosae-Carpinetum* Neuhäusl & Neuhäuslová-Novotná 1964, které jsou pouze na nejextrémnějších stanovištích nahrazeny teplomilnými doubravami ze svazu *Quercion petraeae* Zólyomi et Jakucs ex Jakucs 1960 (zejména *Potentillo albae-Quercetum* Liberrt 1933), výjimečně i šípákovými doubravami ze svazu *Quercion pubescenti-petraeae* Braun-Blanquet 1932 nom. mut. propos. (asociace *Sorbo torminalis-Quercetum* Svoboda et Blažková 1962). Podstatnou součástí přirozené náhradní vegetace jsou xerothermní travinobylinné porosty, náležející převážně svazu *Bromion erecti* Koch 1926, na ně často navazují lemová společenstva svazu *Geranion sanguinei* Tüxen in Miller 1961. (Culek 1996)

Právě lemová společenstva tohoto svazu jsou v NPP Malhotky velmi dobře vyvinuta a byla předmětem studia prvního z transektů.

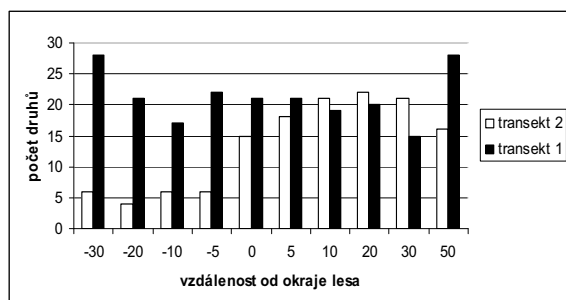
### 2.2.2 Transekt mezi suchým teplomilným trávníkem (svaz *Bromion erecti* Koch 1926) a teplomilnou doubravou (svaz *Quercion pubescenti-petraeae* Braun-Blanquet 1932 nom. mut. propos.)

Studovaný transekt se nachází v NPP Malhotky v nadmořské výšce asi 280m n. m. na jiv. orientovaném okraji rozvolněné teplomilné doubravy na mírně vypuklém svahu se sklonem asi 15°. Celková délka linie byla 60 metrů, 30 metrů směrem do bezlesí, reprezentovaného vegetací suchých trávníků svazu *Bromion erecti* Koch 1926, a 30 metrů směrem do lesa (svaz *Quercion pubescenti-petraeae* Braun-Blanquet 1932 nom. mut. propos.). Na rozhraní mezi těmito dvěma společenstvy je bohatě vyvinuta lemová vegetace svazu *Geranion sanguinei* Tüxen in Miller 1961. Ve studovaném transektu bylo zjištěno celkem 72 druhů cévnatých rostlin v 9 vegetačních snímcích o velikosti 2×2 m, lokalizovaných v následujících místech transektu (záporná čísla vyjadřují polohu snímku v bezlesé části transektu): -30, -20, -10, -5, 0, 5, 10, 20 a 30m. 50 metrů od okraje lesa byl zapsán lesní snímek standardní velikosti 20×20 metrů (viz obr. 4). Použitím Ellenbergem přiřazených hodnot ekologických faktorů k jednotlivým druhům (Ellenberg et al. 1992) a zprůměrováním těchto hodnot pomocí programu JUICE (Tichý 2002) jsme nepřímým způsobem získali gradienty hlavních ekologických faktorů na studovaném transektu (viz obr. 5). Ze získaných výsledků vyplývá, že studované rozhraní vykazuje z hlediska diverzity cévnatých rostlin oboustranný kladný okrajový efekt. Počet druhů cévnatých rostlin je nejvyšší u lučních snímků, směrem k okraji lesa nejprve klesá a přibližně 10 metrů od okraje lesa začíná mírně vzrůstat. Za lesní hranici počet druhů mírně klesá. Dlouhodobě udržovaný rozvolněný lesní okraj s jižní orientací umožňuje existenci řadě světlomilných a teplomilných druhů. Obr. 5 vyjadřuje gradient úbytku dostupného světelného záření ve směru z bezlesí do lesa. Naopak počínaje snímkem č. 4 (5 m od okraje lesa směrem do bezlesí) narůstají skokem hodnoty živin a vlhkosti, a směrem do lesa dále mírně rostou. Kladný okrajový efekt byl zaznamenán u teploty a kontinentality. Ke zdůvodnění těchto výsledků by však bylo zapotřebí analyzovat větší počet transektů.

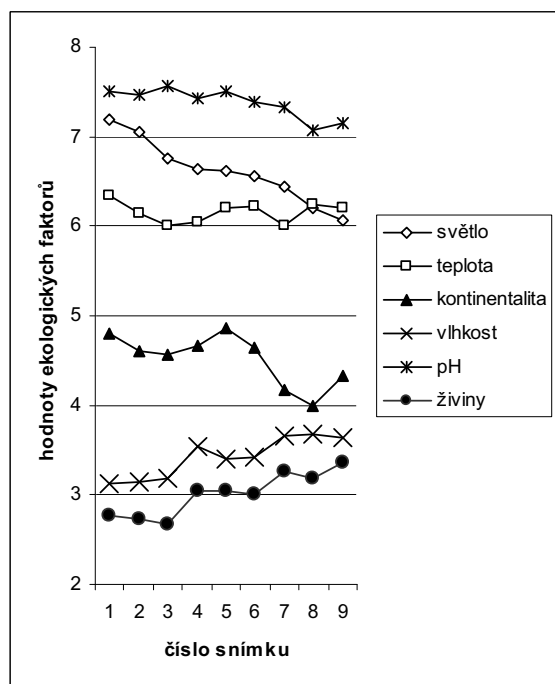
### 2.2.3. Transekt mezi společenstvem polní kultury a společenstvem karpatské dubohabřiny asociace *Carici pilosae-Carpinetum* Neuhäusl & Neuhäuslová-Novotná 1964

Popisovaný transekt se nachází na rozhraní prosného pole a asi 60 let staré dubohabrové pařeziny. Vzhledem k homogenitě druhového složení polní kultury byl transekt analyzován pouze v délce 35m, počínaje 4. snímkem (jednotlivé snímky byly umístěny -30, -20, -

10, -5, 0, 5, 10, 15, 20 a 30 m od okraje lesa podobně jako na prvním transektu). Narozdíl od transektu v NPP Malhotky tvoří rozhraní těchto dvou společenstev dlouhodobě antropogenně udržovaný ostrý lesní okraj. Celkový počet druhů zaznamenaných v deseti snímcích byl 58. Hlavním rozdílem oproti prvnímu transektu je absence okrajového efektu u počtu druhů cévnatých rostlin na hranici lesa. Počet druhů v jednotlivých snímcích směrem do lesa postupně roste (viz obr.4), chybí zde tedy typická ekotonová zóna (srovnej s obr.1).



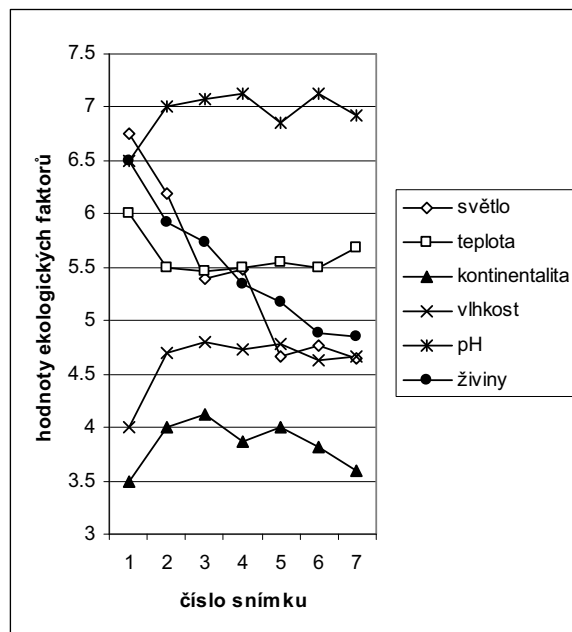
Obr.4. Počet druhů cévnatých rostlin (svislá osa) v jednotlivých snímcích transektů 1 a 2 (vodorovná osa)



Obr.5. Průměrné hodnoty ekologických faktorů (Ellenberg et al. 1992) pro jednotlivé snímky na transektu č. 1

V přísném Lidckerově pojetí (Lidicker, 1999) nemůžeme tedy v tomto případě mluvit o ekotonu a musíme použít termín okraj („edge“). Stejným způsobem jako u prvního transektu jsme i v tomto případě získali gradienty ekologických faktorů (viz obr.6). Podobně jako na prvním transektu je i zde patrný gradient úbytku dostupného světelného záření směrem

do lesa, jednoznačný postupný úbytek živin ve stejném směru dobře odráží eutrofizaci lesního okraje na kontaktu s polní kulturou. Křivky pro teplotu, vlhkost a do jisté míry i pro půdní reakci jsou v lesní části transektu vyrovnané, za lesní hranici skokem buď klesají (vlhkost, pH) nebo rostou (teplota). K přesnější interpretaci těchto výsledků však bude zapotřebí je porovnat s větším množstvím dat.



Obr.6. Průměrné hodnoty ekologických faktorů (Ellenberg et al. 1992) pro jednotlivé snímky na transektu č. 2

### 3 Závěr

Příspěvek předkládá první výsledky studia ekotonových společenstev a nastiňuje možnosti typizace ekologických rozhraní z hlediska jejich funkce v širším krajinném kontextu na základě analýzy gradientů prostředí a změn druhového složení vegetace na transektech spojujících různé typy bezlesé a lesní vegetace. V textu jsme se zaměřili na popis dvou odlišných lesních okrajů. Na transektu mezi polní kulturou a karpatskou dubohabřinou jsme nezaznamenali žádný okrajový efekt, lemové společenstvo v tomto případě je ze strany pole ostře ohraničené a nemá (Lidicker 1999) základní atributy ekotonu. Naopak transekt mezi suchým teplomilným trávníkem a teplomilnou doubravou vykazuje typický kladný okrajový efekt. Kraj lesa je zde rozvolněný a široký a hostí řadu druhů typických pro lemová společenstva. Jedná se tedy o ekoton v užším slova smyslu (Lidicker 1999). Dosavadní výsledky předložené v tomto článku je nutno brát jako neúplné a zatížené chybou v důsledku nedostatečného množství sesbíraných dat. Přesto se ukazuje, že zvolená metodika může být dobrým nástrojem pro porozumění funkcí společenstev na ekologických rozhraních.

## Poděkování

Děkujeme Bc. Zuzaně Pleskové za pomoc při zpracování dat v programu JUICE. Příspěvek vznikl díky podpoře grantu GAČR „Analýza a modelování dynamiky prostorových vazeb ekotonů v prostředí GIS“ č. 205/07/0821.

## Literatura

- Balcerkiewicz S., Kasprowicz M. (1989): Wybrane aspekty synantropizacji ujawniające się na granicy kompleksów leśnej na środowisko. In: Wpływ gospodarki leśnej na środowisko. Scientific seminar, Sekocin, 10-11 November 1988, SGGW-AR, Warszawa, 7-21.
- Burton P.J. (2002): Effects of clearcut edges on trees in the subboreal spruce zone of northwest-central British Columbia. *Silva Fennica* 36: 329-352.
- Cadenaso M.L. et al. (2003): A framework for a theory of ecological boundaries. *BioScience* 53: 750-758.
- Culek, M. (ed.) (1996): *Biogeografické členění České republiky*. ENIGMA, Praha.
- de Casenave J.L., Pelotto J.P. et Protomastro J. (1995): Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semi-arid forest, Argentina. *Forest Ecological Management*.72: 61-69.
- Ellenberg et al. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Ed.2. *Scripta Geobotanica* 18: 1-258.
- Falinska K. (1979): Plant populations in an ecotone. *Wiadomości Ekologiczne* 25/4: 3-24.
- Forman R.T.T, Godron M. (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley&Sons, Inc.
- Gelhausen S.M., Schwartz M.W. et Augspurger C.K. (2000): Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic fragments. *Plant Ecology* 147: 21-35.
- Hardt R.A. et Forman R.T.T.(1989): Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines. *Ecology* 70: 1252-1260.
- Harper K. A. et al. (2005): Edge influence on Forest Structure and Composition in Fragmented Landscapes. *Conservation Biology* 19: 768-782.
- Honnay O., Hermy M. et Verheyen K. (2002): Permeability of ancient forest edges for weedy plant species invasion. *Forest Ecology and Management* 161: 109-122.
- Chen J. et al. (1992): Vegetation responses to edge environments in old-growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications* 2: 387-396.
- Lidicker W.Z. (1999): Responses of mammals to habitat edges: An overview. *Landscape ecology* 14: 333-343.
- Lisiewska M. (1973): Mikoflora zespołów leśnych Puszczy Bukowej pod Szczecinem. *Monogr. Bot.* 15.
- Luczaj L. et Sadowska B. (1997): Edge effect in different groups of organisms: Vasculare plant, Bryophyte and Fungi species richness across a forest – grassland border. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* 32: 343-353.
- Matlack G.R. (1993): Microenvironmental variation within and among deciduous forest edge sites in the eastern United States. *Biol. Conservation* 66: 185-194.
- Matlack G.R. (1994): Vegetation dynamics of the forest edge – trends in space and sucesional time. *Journal of Ecology* 82: 113-123.
- Orcewska A. et Glista A. (2005): Floristic analysis of the two woodland-meadow ecotones differing in orientation of the forest edge. *Polish Journal of Ecology* 53: 365-382.
- Ranney J.W., Bruner M.C. et Levenson J.B. (1981): The importance of edges in the structure and dynamics of forest islands. In: Burgess R.L. et Sharpe D.M. (eds): *Forest island dynamics in man-dominated landscapes*. Springer, New York: 67-95.
- Strayer D.L. et al. (2003): A Classification of Ecological Boundaries. *Bioscience* 53 No. 8: 723-728.
- Tichý L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* 13: 451–453.

# Computer Implementation of $\mu$ FEM

R. Blaheta<sup>1</sup>, K. Krečmer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geonics AS CR v.v.i., Ostrava*

## Abstract

This paper concerns a special application of the finite element method (FEM), which is modelling of microstructure of materials. This “micro” application of FEM brings some specific features, which can be exploited in the numerical realization and computer implementation of the method. These features are briefly discussed in this paper and will be further developed in a future work.

**Keywords:** Microstructure, Finite Element Method, Geomaterials, Computer Implementation

## 1 Introduction

Typical materials have a complicated heterogeneous inner structure, but can be considered as piecewise homogeneous from a certain scale. A standard volume on this scale is called the representative volume (REV) and modelling of problems in mechanics typically begins with the knowledge of material behaviour of such representative volumes. Of course, this behaviour is determined by the inner structure and properties of the individual constituents. Sometime, it is difficult to determine the properties of the representative volume directly by a measurement and in these situations the numerical simulations based on the microstructure modelling can be very helpful.

An example can be the question how to determine properties of bones of human patients. A way how to do it is to define the bone microstructure from a CT scan, determine the properties of the matrix and liquids constituents and compute the properties of the representative volume by numerical simulations with the aid of FEM, see [2], [7], [9].

On the opposite, the size of representative volumes of a rock mass can be such big that it is impossible to test a representative volume in laboratory. Then again numerical simulations can be used for “upscaling”, i.e. determining parameters of effective macroscale mechanical behaviour, see e.g. [8].

Another interesting problems arises in design of material (composites) or investigation of technological problems of material preparation. The latter is also the case of geocomposites, which are geologic materials saturated by a polyuretan resin. The FEM simulation

can be used here for answering a lot of questions how the effective properties are sensitive to perfect filling of microstructures by the resin, properties of resin, what features are critical for fracturing etc.

The last problem of microstructure analysis of geocomposites is our main application of the microstructure analysis.

The FEM used for analysis of microstructure has a lot of specific features as we shall see in the next sections. In this respect we shall speak about  $\mu$ FEM and describe briefly the specific features of  $\mu$ FEM, its application and implementation.

## 2 A model problem

The data describing the inner structure of geocomposites can be determined by CT similarly to the problems of biomechanics. There is only a difference in the scales. For coal geo-composites, the size of REV samples are 75mm, the CT scan define a voxel grid with element of size about  $0.3 \times 0.3 \times 1$  mm, see [10]. This leads to the grid with  $251 \times 251 \times 76 = 4\,725\,075$  nodes and nearly 15 million degrees of freedom in the case of elasticity.

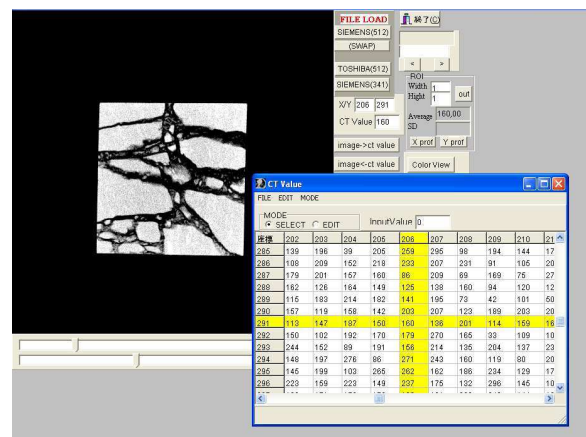


Figure 1: A 2D cut from a CT scan and CT values in a selected point. A coal geocomposite.

The voxel grid and material properties corresponding to CT values enable to create a  $\mu$ FEM model characterized by

- a very fine but uniform FE grid,
- heterogeneous inner structure,

<sup>1</sup> { blaheta | krecmer }@ugn.cas.cz

▪ possibly large jumps in the material parameters.  
The solution of this problem will be discussed in the next sections.

### 3 The FEM analysis

The  $\mu$  FEM analysis can use conforming FEM method, e.g. the linear tetrahedral FE. Then the voxels are divided into six tetrahedral and voxel FE matrices can be formed from the local FEM matrices corresponding to that tetrahedra. Another possibility is to use trilinear brick elements or nonconforming rotated trilinear brick elements, see [2], [7], [9].

A specific feature of the voxel approach is that due to uniform FE grid there is only a few types of the local stiffness matrices. Under these assumptions it can be natural to avoid the assembling of the global matrix but create and optimize an element-by-element procedure of matrix-vector multiplication.

Having the optimized parallelizable procedure for matrix-vector multiplication, it is possible to solve the arising very-large scale FEM linear algebraic systems iteratively, by a conjugate gradient (Krylov space) type method. This approach has a lot of additional advantages as simple implementation, excellent parallelizability as well as possible incomplete solution, which can save the effort e.g. in solving nonlinear problems or multiphysics coupling via staggered schemes.

Thus normally, the arising systems are solved iteratively by the conjugate gradient CG, MINRES, GCG or another Krylov space method. Then each iteration consists from matrix by vector multiplication, inner products, scalar by vector multiplication and additions of vectors. In the case of vectors decomposed into blocks each of the mentioned operations (and therefore also the whole iteration) is easily parallelizable. Note that the decomposition of the vectors can be defined through a decomposition of the computational domain.

The remaining question is the convergence and accelerating of the convergence by a proper preconditioning.

### 4 Preconditioning strategies

We shall now describe two of preconditioning strategies.

The first one is based on the displacement decomposition – incomplete factorization, see [3], [9] for the details. In [9], this approach with two additional ingredients is successfully applied also to  $\mu$  FEM. These ingredients are the use of nonconforming FE and special technique for parallelization. In the paper [9], the authors use the fully assembled matrix and do not exploit the element-by-element approach. We will try to use [3] more directly and in combination with the element-by-element approach.

The displacement decomposition can be also combined with variable preconditioner given by inner iterations [4]. This technique which has recently received bigger attention will be tested in combination with the displacement decomposition.

Another possibility is to use the multilevel approach with creating a coarse discretization for accelerating the convergence. This coarse discretization can be used for accelerating of the Schwarz methods [5], [6] or for constructing an algebraic multigrid. The latter is described in [7] and [9].

### 5 Multiphysics and nonlinearity

The described approach can be used not only for computing and investigation of the mechanical macroscopic behaviour. It can be also used for hydrological and coupled hydro-mechanical modelling, which is interesting for both bio and geo applications. For computations we can use coupling via staggered scheme and properly tuned inner iterations.

Homogenization and  $\mu$  FEM analysis can be also used for solving nonlinear problems. In this case the element-by-element approach is losing its attractiveness. Instead of element wise approach we can try to use a special factorization described in [1], which is again capable to exploit the uniformity of the voxel grid.

### 6 Future work

This paper only indicates some special features of  $\mu$  FEM analysis, which will be further investigated. It is obvious that there are a lot of possible methods, which can be efficient for solving  $\mu$  FEM systems. The future work will concentrate on their implementation and comparison of different approaches.

### Acknowledgements

The work is supported by the project IET400300415 of the Academy of Sciences of the Czech Republic and the research plan of the Institute of Geonics AVOZ 30860518.

### References

- [1] O. Axelsson, I. Gustafsson, An efficient finite element method for nonlinear diffusion problems, Bull. Greek Math. Society, 32(1991), pp. 45-61
- [2] P. Arbenz, G. Harry van Lenthe, U. Mennel, R. Muller and M. Sala A scalable multi-level preconditioner for matrix-free mi-finite element analysis of human bone structures. Int. J. Numer. Meth. Engng. 2007 (in press)
- [3] R. Blaheta, Displacement Decomposition – Incomplete Factorization Preconditioning Techniques for

Linear Elasticity Problems. Numerical Linear Algebra with Applications. 1(1994), pp. 107-128.

- [4] R. Blaheta, GPCG - generalized preconditioned CG method and its use with non-linear and non-symmetric displacement decomposition preconditioners. Numerical Linear Algebra with Applications. 9(2002), pp. 525-550
- [5] Blaheta, R., Kohut, R., Neytcheva, M., Starý, J., Schwarz Methods for Discrete Elliptic and Parabolic problems with an Application to Nuclear Waste Repository Modelling, Mathematics and Computers in Simulation 76(2007), pp. 18–27,
- [6] R. Blaheta, P. Byczanski, R. Kohut, J. Starý, Modelling THM Processes in Rocks with the Aid of Parallel Computing, submitted at GeoProc 2008
- [7] I. Georgiev, J. Kraus, S. Margenov, Multilevel algorithms for Rannacher-Turek finite element approximation of 3D elliptic problems, RICAM Rep. 07-21, Linz 2007
- [8] P.H.S. Kulatilake, Joint network modelling and some scale effects in rock masses, J. of Geomechanics, Balkema (Rotterdam), vol. 91(1992), pp. 139-151
- [9] S. Margenov and Y. Vutov, Parallel PCG algorithms for voxel FEM elasticity systems, Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology, 2007, pp. 379–385
- [10] J. Ščučka, K. Souček, Architecture and Properties of Geocomposite Materials with Polyurethane Binders, Documenta Geonica, Institute of Geonics AS CR Ostrava, 2007, 247 pp.

# Rock Massif Changes near the Margin of Subsidence Depression

Hana Doležalová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geonics of the AS CR*

## Abstract

Repeated geodetic and geophysical surveying near the margin of a creating subsidence depression has shown on a fluctuation of heights of levelled points and on significant rock massif changes. The possible cause of these changes may be found not only in progressive stress-deformational changes due to undermining but also in the changing regime of the groundwater. Confrontation of the levelled height changes with the height of the groundwater level shows that the regime of the groundwater may be a substantial cause of surface height changes. Also the resistivity anomalies found by geophysical measurements can be caused by change of hydro-geological regime.

**Keywords:** Subsidence depression, geophysics, geodesy, groundwater

## 1 Introduction

Due to underground mining there happen significant changes of the rock massif in the surroundings of the exploited deposits and these changes often result in movements and deformations on the surface. This happens not only in the direct overlaying strata and surface but the changes also reach wider area. A subsidence depression is created on the surface. Significant physical-mechanical processes, which occur near the margins of the subsidence depression, can be also complicated by landslides. This situation occurred at locality Ujala near the town of Dětmárovice, and it led to wide geodetic and geophysical surveying.

Size and character of surface changes can be found out by geodetic surveying. It gives us the information about the surface condition in definite time – in definite stage of changes. But if we do geodetic surveying on stabilized points repeatedly, we can also find out some patterns in the process of movements and deformations of the surface. But still we only state the surface condition in a certain phase of mining. What physical-mechanical changes happen to the rock massif and what is their localization, we can partly state after the usage of geophysical methods [4].

## 2 Monitoring – geodetic and geophysical surveying

Geodetic monitoring of both surface undermining influences and slope movements usually means height surveying. Geometric levelling from centre is thanks to its good accuracy the most frequent one. If the levelling is done repeatedly than the heights of different periods can be compared and some patterns of the movements and deformations of the surface can be found.

Geophysical measurements on the landslides and in subsidence depressions usually include surface geophysical methods (geo-electrical methods, seismic method), geophysical methods in system bore-surface (seismic tomography), geophysical methods in bores (logging methods, geo-acoustic measuring, measuring of high-frequency electromagnetic field), methods of deformations measurements (band extensometry, precise inclinometry).

### 2.1 Geodetic surveying

Locality Ujala lies near the town of Dětmárovice in North Moravia. There were some slope deformations detected on the slopes of this locality. Owing to a possibility of approaching of mining influences arose the need to find out, whether the landslides have relation to a developing subsidence depression, especially because the levelling done on landslides was joined to support points, whose height stability was needed to be known. Monitoring has detected changes in heights of these surface points, which led to an increased attention and a repeated observation of heights in this area [4].

There was the geodetic surveying done repeatedly, namely levelling of points stabilized on sliding slopes. The method of technical levelling was chosen because the slope movements of these points supposed of several centimetres were primarily to be detected and for this the technical levelling accuracy is fully adequate. This levelling was joined to the height of point 59 in forefront of sliding slope. According to untypical behaviour of slope points' heights (they seemed to move upwards instead of supposed fall movement), there arose the doubt about the stability of support point 59,

---

<sup>1</sup> dolezalo@ugn.cas.cz



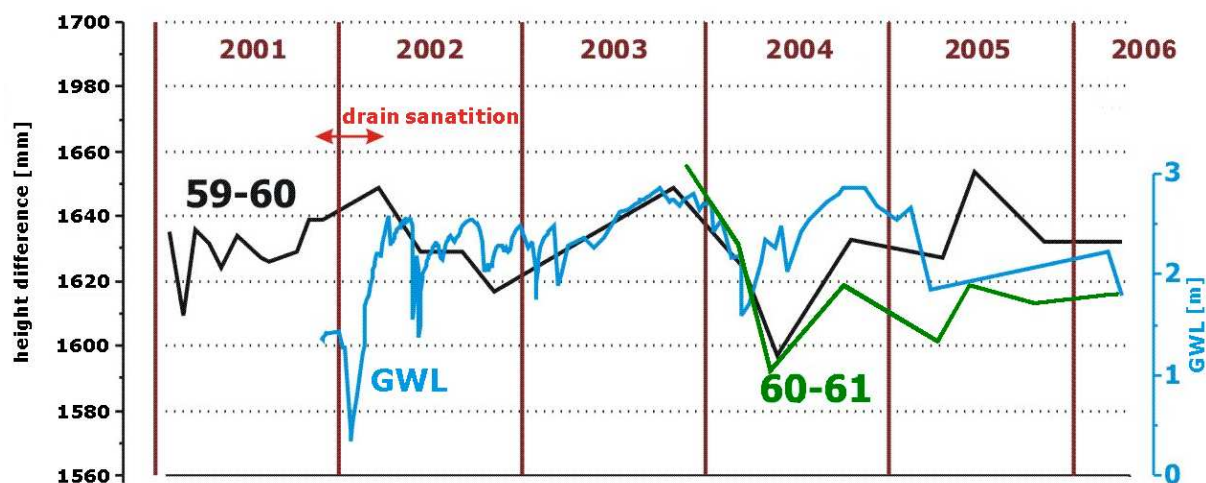


Figure 1: Height differences between points 59-60 and 60-61 and inverse groundwater level

which could be influenced by undermining. And so the levelling of points on landslides was joined to farther points of the levelling run – point 60 and later point 61. The method of technical levelling was used again. Since also the results of the surveying of this connecting levelling run showed some abnormalities, the focus was later centred mostly on this run and the geodetic surveying was done to observe height differences between points of this levelling run, using the method of precise levelling. Owing to local conditions, terrain accessibility and weather conditions the points aren't surveyed in regular intervals.

Height differences (by both Geotest Brno and UGN) between points 59 and 60 since 2001 are depicted on Fig. 1. Relatively scattered values of height differences between points 59 and 60 can be seen. Measured values of height differences reflect on iterative and growing trend of several centimetre falls and subsequent upheavals of points. And fall is always more penetrative in time than upheaval that lasts for a longer time. Changes of the measured height differences between points magnify in time.

Since the changes in height differences between points 59 and 60 were growing and denoted the still major changes in heights of these points, there arose the demand of observing the height state farther northward, i.e. in the area farther from possible influences of undermining, beyond the modelled margin of subsidence depression. In 2004 there was also more northern section of the levelling run, namely the part between points 60 and 61, included to the surveying (see Fig. 1). Changes in height differences between points 59-60 and 60-61 reflect on the same tendency.

There are several possible causes of such behaviour of the support points. The upheavals may be caused by temporary loosening of rock mass in consequence of creation of vacant underground spaces in the wider surroundings owing to undermining. So instead of instantaneous fall there may the upheaval arise at first as a result of stress-deformational changes of massif due to

undermining. And not only the stress but also the prime stability of points, accuracy of surveying and its time incongruity may have an influence on the fluctuation of the points. But it seems that the main cause may be found in the water regime. Observed points lie along watercourses so there may act river activity itself, because it may infiltrate to the rock massif behind the banks. The points are stabilized in concrete objects near the river and some of them possibly aren't stabilized in sufficient depth so there is further the possibility of influences of hydro meteorological conditions [3, 5].

The most important is probably the influence of the groundwater regime. Changes of groundwater level, pressures and permeability lead to changes of drain ratios. The decrease of groundwater leads to the decrease of pore pressures in the rock massif. That probably causes the change in the compactness of materials of the dam and its close surroundings, in which the support points are stabilized. These changes may then lead to changes in the height differences between control points. Anyway, it is possible to state that the regime of groundwater has an influence on changes of heights of terrain in the area of interest. On Fig. 1 there is the groundwater level delineated inverted to the height differences between observed points. After the short period of drain sanitation at the beginning of 2002, the inverted groundwater level copies the trend of the height differences.

## 2.2 Geophysical surveying

Geophysical surveying has been centred on the slopes of the possible landslides. There has been a detailed monitoring done for several years by Geotest Brno, a.s. It contains repeated geophysical prospecting, together with geodetic surveying and extensometric measurements. The geophysical surveying included well logging, geo-electric and seismic measurements. To find out the lithologic characteristics a complex of radionuclide methods was used: Gamma logging (GL), Gamma-gamma logging (GGL), Neutron-neutron

logging (NNL) and acoustic logging (AL). Also the repeated measurements for observing changes of physical properties contained NNL, GGL, AL methods including measurement of velocity attenuation. Dynamic changes in bore were observed by repeated measurements of geo-acoustic activity, measurements of natural high-frequency electromagnetic field and precise inclinometry [1].

The repeated geo-electrical measurements have shown the existence of time-limited anomalies on the deep electrode array (symmetrical electrode array with maximum depth reach of 10 - 15 meters). During the measuring there was found the existence of three anomalies though they were documented only in one period of measuring. First such anomaly was found in 2003. Because any comparison was lacked and the anomaly was not notable in its size, no greater importance was attached to it by that time. Later the measuring in the next period showed that this anomaly did not last long. But still it was a sporadic case and therefore this fact was out of interest.

Then later when such anomaly was found on locality Ujala-I, it caught a greater attention (see Figure 2 where there is a relief of terrain shown in the upper part and time changes of resistivity in anomaly and its surroundings are shown in the lower part). This anomaly lay just above the main scarp of the shallow landslide, and therefore one of the possible explanations was seen in creation of new tension cracks. Since then a great importance was attached to such anomalies and other possible explanations of their existence were looked for. Most of the solutions interfered with the fact that these anomalies occur only in the deep electrode

array. Not a single time was any similar anomaly found in the surface layers.

Third anomaly of this type was found on one of the measured profiles on locality Dětmarovice in summer 2006. This anomaly lies quite out of reach of slope processes so the theory, that such anomalies are connected with slope deformation due to slope movement, proved to be groundless and therefore it is necessary to look for the connection with other processes that happen inside of the rock massif. Very realistic seems to be the explanation that the time-limited resistivity changes are connected with changes of groundwater regime, because various, time-variable groundwater level is created in particular blocks of rock massif [2].

### 3 Conclusion

Near the margin of expanding subsidence depression there was repeated geodetic surveying done and it has shown on untypical behaviour of observed points. Repeated levelling has confirmed that support levelled points show fluctuation of heights, i.e. several-centimetre falls and upheavals. It seems that the main cause of these height changes may be found in the changing groundwater regime. Repeated geo-electrical measurements in this area have proved the existence of resistivity anomalies that confirm that there occur strong time-inconstant changes of physical properties in consequence of fracturing of rock massif and change of hydro-geological regime.

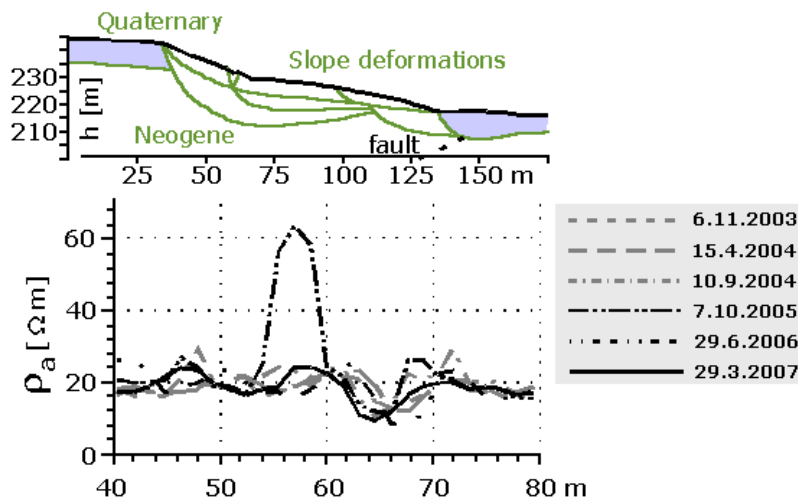


Figure 2: Time-limited resistivity anomaly

## Acknowledgements

Results of geo-electric measurements and their interpretation were provided by Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc. (Geotest Brno, a.s.) and Prof. Ing. Karel Müller, DrSc. (ÚGN AV ČR) and I thank them for their help.

This contribution was enabled thanks to a financial support of Research project AS CR OZ 30860518.

## References

- [1] P. Bláha, H. Doležalová, R. Duras, J. Lukeš, K. Müller. *Rock Massif Changes Caused by Undermining*. In Transactions of the VŠB-TUO, Civil Engineering Series. Ostrava: VŠB-TUO, 2007. ISSN 1213-1962.
- [2] P. Bláha, H. Doležalová, R. Duras, K. Müller. *Resistivity Changes of Rock Massif on the Margin*

*of Subsidence Depression*. To appear in Górnictwo zrównowazonego rozwoju 2007 Conference Proceedings. Gliwice Politechnika Śląska, 2007.

- [3] P. Bláha, H. Doležalová, K. Müller, R. Skopal. *Observation of Heights on the Margin of Subsidence Depression*. Transactions of the VŠB-TUO, Civil Engineering Series. Ostrava: VŠB-TUO, 2006. ISSN 1213-1962.
- [4] H. Doležalová. *Causes of Height Changes on the Margin of Subsidence Depression*. Ph.D. Workshop 2006 Proceedings. Ostrava: ÚGN AV ČR, 2006. ISBN 80-86407-11-X.
- [5] H. Doležalová, K. Müller, P. Bláha. *Analysis of Geodetic Surveying on the Margin of Subsidence Depression*. In Górnictwo zrównowazonego rozwoju 2006 Conference Proceedings. Gliwice: Politechnika Śląska, 2006. PL ISSN 0372-9508.

# Zkušenosti s ražbou a stabilitním sledováním třídy 294 225 vyztužené technologií samostatné svorníkové výztuže na Dole ČSM ve Stonavě

Petr Dvorský<sup>1</sup>

<sup>1</sup> OKD, DPB, a.s., Paskov

## Abstract

This contribution describes progress of heading the main gate No 294 225 for the panel No 294 205, situated in the seam No 29b sp.l. sp.č. (648) on ČSM mine in Stonava, by using technology supporting only with rockbolts. Authors briefly gives practice with load measurements on rockbolts and stability observations of this main gate during heading and subsequently during extraction of the panel No 294 205. The emphasis is laid on the practical aspect of execution rockbolt support, measurements and evaluation of monitoring results.

## 1 Úvod

Současné použití samostatné svorníkové výztuže je již založeno na celosvětově zvládnuté technologii vyztužování s použitím sofistikovaných materiálů a techniky a na propracovaném a ověřeném systému kontroly a monitoringu výztuže a důlního díla. Při použití svorníkové výztuže na Dle ČSM byl aplikován systém úspěšně zavedený na Dle černouhelných dolech ve Velké Británii. Použité technické prostředky a způsoby zpevnění nadloží aplikací kotevních systémů lepených svorníků typu AT a lanových kotev jsou známé a technologicky dostupné.

## 2 Výběr a stručná geologická charakteristika lokality

Po analýze podmínek, při zohlednění časových a prostorových vazeb na ostatní hornickou činnost plánovanou dle dlouhodobé koncepce hornické činnosti, byla jako nejvhodnější shledána sloj 29b sp.l. sp.č. (648) v oblasti 2.a kry na závodě Sever a byla vybrána třída 294 225 v úseku staničení 431 m – 963 m. Ražba třídy 294 225 byla realizována pod stropem sloje 29b sp.l. sp.č. (648) s přibírkou průvodních hornin (prachovec).

Mocnost sloje se v oblasti 2.a kry pohybuje od 170 do 270 cm. Úklon sloje je relativně rovnoměrný a pohybuje se od 5° do 7°, s generálním směrem úklonu k severovýchodu. Hloubka uložení sloje v oblasti chodby je 920 – 960 m pod povrchem.

Přímé nadloží sloje je tvořeno vrstvami prachovce a střednězrného pískovce. Jílovec nacházející se v bezprostředním podloží vrchní části sloje 29b v.l.

přechází do kořenového prachovce a je silně rozpukaný. V přímém podloží sloje 29b sp.l. sp.č. (648) je uložen jílovec až prachovec, místy kořenový s místním výskytem pelosideritů o mocnosti od 1 do 2 m. Pak následuje zpravidla nebilanční neoznačená slojka 642 (nebo její reprezentant) o mocnosti od 0,5 m do 0,7 m. Dále do podloží se střídají polohy pískovce a prachovce až po nejbližší podložní sloj 30 (634) v bilančním vývoji, uloženou cca 13 m pod slojí 29b sp.l. sp.č. (648).

Porubem 294 205 pokračuje exploatace spodních sušských vrstev v oblasti 2.a kry na závodě Sever.

V nadloží chodby 294 225 (resp. plochy celého porubu 294 205) byly vydobyty sloje 23 (1994, 1995-1996), 24 (1996-1997, 1999-2001), 25 (1997-1998, 2001-2002), 26 (2002-2003) a 28 (2002-2003) ve vzdálenostech 192m, 168m, 148m, 120m a 46m v mocnostech 180cm, 110cm, 180cm, 100cm a 120cm. Méně významné tektonické poruchy orientované ve směru Z-V s amplitudou maximálně 0,9 m byly zaznamenány v závěru ražby chodby 294 225 a svým charakterem odpovídaly doprovodné tektonice poruchy „B“.

Chodba 294 225 je situována v oblasti, jejíž prozkoumanost důlními díly jak ve sloji, tak v nadložních slojích je dobrá.

## 3 Projektování svorníkové výztuže

Návrh svorníkové výztuže, stabilitní posouzení a výpočet parametrů výztuže vycházel z geomechanického posouzení ke stanovení geomechanického koeficientu RMR (Bieniawski 1989), který v součtu bodových

charakteristik horského masivu v podmínkách třídy 294 225 dosahoval hodnoty 53. To odpovídá III. horninové třídě dle Bieniawského klasifikace a stále poměrně příznivým geomechanickým podmínkám vhodným pro použití svorníkové výztuže.

Pro návrh a výpočet parametrů svorníkové výztuže byly použity pevnostní vlastnosti jednotlivých litologických typů v nadloží sloje.

Z provedeného odborného posouzení a s ohledem na to, že plánovaná ražba třídy byla situována v části horského masivu bez nebezpečí otřesů a byla orientována téměř ve směru hlavního horizontálního

napětí, byl navržený typ svorníku AT lepený po celé délce pryskyřicí shledán jako vhodný pro podmínky ražby třídy 294 225. Tento svorník zaručuje kvalitní ukotvení v horninovém prostředí, které se v celém úseku ražby vyskytovalo. Minimální únosnost svorníku 250 kN zajišťuje dostatečnou funkčnost po celou požadovanou dobu životnosti důlního díla. Parametry svorníkové výztuže a způsob stabilizace důlního díla jsou popsány v další kapitole tohoto příspěvku.

## 4 Použitá technologie a materiál

### 4.1. Základní údaje

- celková délka důlního díla - 1094m,
- podpěrná výztuž (profil OO-O-12) - 0m až 430m (K24/0,5m), 963m až 1094m (K24/0,8m),
- svorníková výztuž a podpěrná výztuž (profil SBR) - 430m až 546m (K24/1,0m), výška profilu - 3,4m, šířka profilu - 5,1m, strop - 7 ks svorníků v řadě, boky - 2 ks svorníků v každém boku, vzdálenost řad - 1,0m,
- svorníková výztuž - 546m až 963m, výška profilu - 3,4m, šířka profilu 4,8m, strop - 7 ks svorníků v řadě, boky - 2 ks svorníků v každém boku, vzdálenost řad - 1,0m,
- odtěžení - TP 630,
- doprava - ZD 24,
- rozpojování - razicí kombajn AM 50,
- mocnost sloje - 1,7 - 2,7 m,
- úklon důlního díla - 3° až 6° generelně k J - JV.

### 4.2. Technologie vyztužování stropu

- ocelová kotevní tyč systému AT (typ APB-1-k), průměr tyče - 21,7mm, délka tyče 2400mm (při vyčnívající části závitů z vývrtnu 100mm činí délka kotevní tyče ve vývrtnu 2300mm),
- lepicí ampule - LOKSET HS (1 ks rychletuhnoucí - mezikruží u kořene kotevní tyče, 1 ks pomalutuhnoucí - zbývající část mezikruží k ústí vývrtnu), průměr ampule 24mm (Pro zalepení kotevní tyče po celé délce byla použita jedna ampule rychletuhnoucího lepidla délky 450mm a jedna ampule pomalutuhnoucího lepidla 800mm),
- ocelový pramencový kotevní prvek (typ Flexibolt), počet drátů - 7, průměr pramence - 23mm, délka - 5000mm (při vyčnívající části zámku z vývrtnu 150mm činí délka pramence ve vývrtnu 4850mm),
- lepicí ampule - LOKSET HS (1 ks super pomalutuhnoucí - v celém mezikruží až k ústí vývrtnu), průměr ampule 25mm (Pro zalepení pramence v jeho kořenové části byla použita jedna ampule super pomalutuhnoucího lepidla 2000mm).

### 4.3. Technologie vyztužování boků

- ocelová kotevní tyč systému AT (typ APB-1-k), průměr tyče - 21,7mm, délka tyče 1500mm (při vyčnívající části závitů z vývrtnu 100 mm činí délka kotevní tyče ve vývrtnu 1400mm),
- sklolaminátová kotevní tyč (typ FIB 24/BO), průměr tyče - 24mm, délka tyče 1500 mm (při vyčnívající části závitů z vývrtnu 100mm činí délka kotevní tyče ve vývrtnu 1400mm),
- lepicí ampule - LOKSET HS (1 ks pomalutuhnoucí - v celém mezikruží až k ústí vývrtnu), průměr ampule 24mm (Pro zalepení kotevní tyče po celé délce byla použita jedna ampule pomalutuhnoucího lepidla 800mm a pro zkrácení doby manipulace při kotvení byla u kořene použita jedna „krátká“ ampule rychletuhnoucího lepidla).

Schéma rozmístění kotevních prvků v profilu

je znázorněno na obr. 1. Obdobné schéma vyztužování bylo použito i ve fázi vedení ražby pouze v samostatné svorníkové výztuži.

## 5 Monitoring v průběhu ražby třídy 294 225 a při dobývání porubu 294 205

Pro sledování stability svorníkové výztuže a důlního díla byly v průběhu ražby třídy 294 225 nainstalována do stropu a boků důlního díla následující zařízení:

### 5.1. Extenzometry mechanické

Dvoúrovňové extenzometry pro sledování rozsazování nadložních vrstev v horizontu vyztuženém ocelovými kotvami délky 2400mm

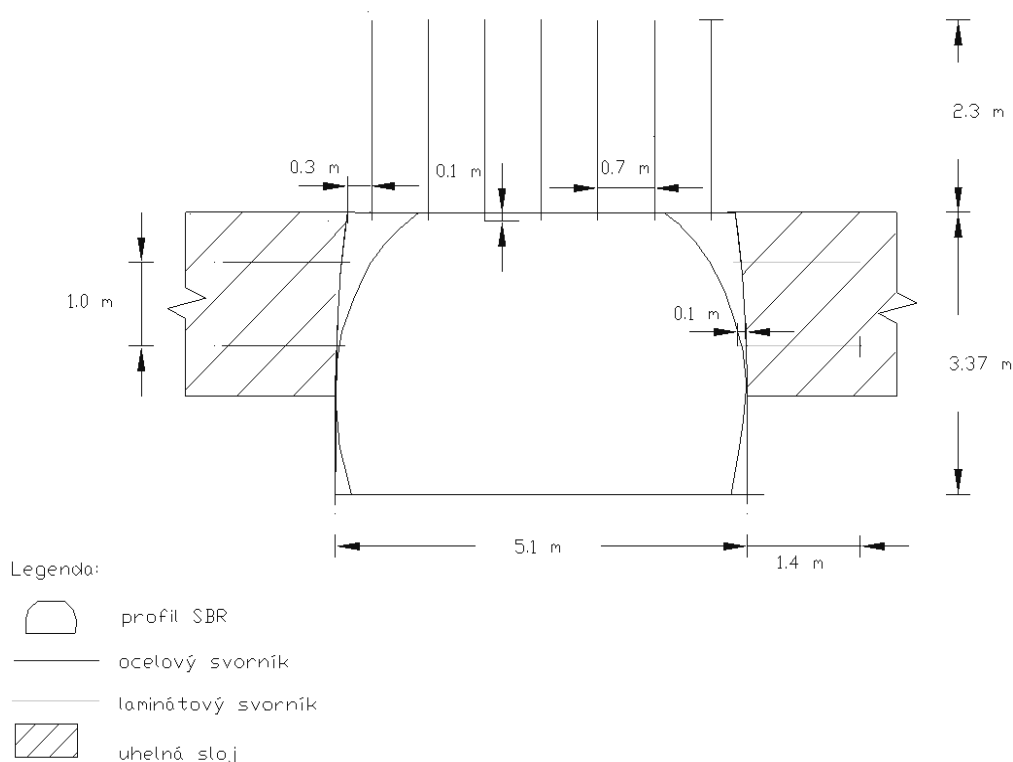
a ve vyšším nadloží do výšky 5m nad stropem důlního díla. Výška kotvy „A“ nad stropem důlního díla byla 2100mm a výška kotvy „B“ byla 5000mm nad stropem důlního díla.

Tříúrovňové extenzometry pro sledování rozsazování nadložních vrstev v horizontu vyztuženém ocelovými kotvami délky 2400 mm a ve vyšším nadloží do výšky 7 m nad stropem důlního díla. Výška kotvy „A“ nad stropem důlního díla byla 2100 mm, výška kotvy „B“ byla 4800 mm nad stropem důlního díla a výška kotvy „C“ byla 7000 mm nad stropem důlního díla.

Dvoúrovňové extenzometry byly instalovány s roztečí maximálně 20 m v celé délce třídy 294 225 vyražené v samostatné svorníkové výztuži. Další doplňkové extenzometry byly instalovány v místech geologické anomálie. V místech, kde byly instalovány doplňkové pramencové kotvy délky 5000 mm byly instalovány navíc tříúrovňové extenzometry. Pro zaznamenání výchozího stavu nadloží chodby byly všechny tyto extenzometry instalovány pokud možno co nejbližše za postupující čelbou ražby. extenzometry.

V místech všech dvouúrovňových extenzometrů byly zřízeny body pro měření svislé a vodorovné konvergence důlního díla.

Rutinní sledování extenzometrů bylo prováděno všemi zaměstnanci na všech směnách s povinností hlásit jakékoli zjištěné změny. Přesný odečet na stupnicích „A“, „B“ a „C“ v milimetrech a měření svislé a vodorovné konvergence se záznamem do „knihy kontrol svorníkové výztuže“ bylo prováděno po celou dobu ražby, v období po vyražení a je dále prováděno při dobývání porubu 294 205 s četností 1 x za týden zaškolenými zaměstnanci (inženýr pro svorníkování, technologové svorníkování a autorský dozor).

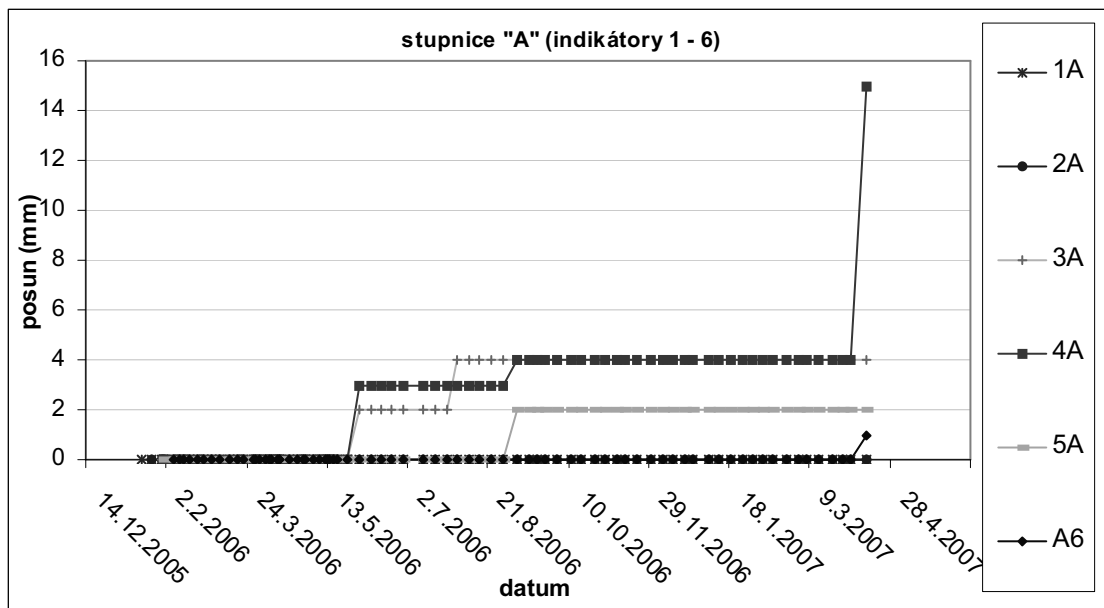


Obr.1 Schéma rozmístění výztuže v profilu chodby

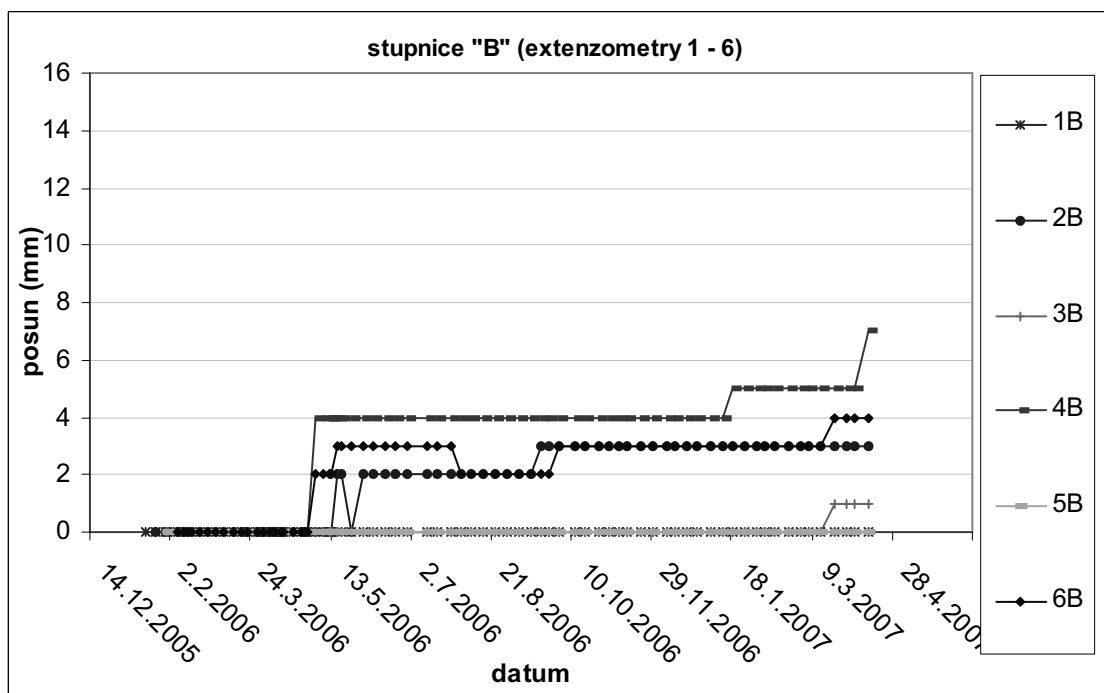
V průběhu ražby byly prováděny zkoušky pevnosti zalepení kotev k tomuto účelu určeným „tahoměrem“. Zkoušky byly prováděny na 3% namátkově vybraných instalovaných stropních svorníků a na všech svornících pro zavěšení dopravní a technologické dráhy ZD 24. Navíc byly před zahájením vyztužování svorníkovou výztuží a dále v průběhu ražby provedeny tahové zkoušky na ověření pevnosti vazby svorník – lepidlo – hornina tzv. „pull test“ dle

Britské normy pro použití svorníkové výztuže. Veškeré provedené tahové zkoušky byly ve všech případech hodnoceny jako pozitivní.

Vývoj hodnot na stupnicích „A“ a „B“ mechanických extenzometrů je znázorněn na Obr. 2 a Obr. 3, tj. při stavu ke dni 20.4.2007, kdy porubní fronta porubu byla ve vzdálenosti 77m od extenzometru č.1 („L“ – pro porub 294 205 činí 75 m.



Obr. 2. Graf rozvolnění nadloží (výška "A") na dvouúrovňových mechanických extenzometrech 1 – 6



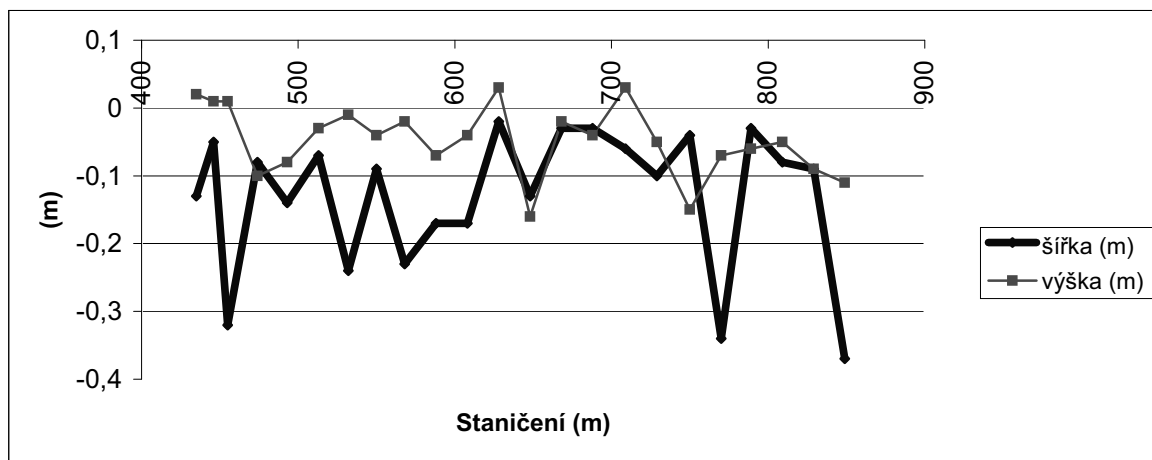
Obr. 3. Graf rozvolnění nadloží (výška "B") na dvouúrovňových mechanických extenzometrech 1 – 6

Ke dni 20.4.2007 bylo v provozu posledních 6 extenzometrů. Z naměřených výsledků lze konstatovat, že celková hodnota rozvolnění („A“ + „B“) doposud nepřekročila 22 mm (viz extenzometr č. 4 na Obr. 2 a Obr. 3). Je nutné podotknout, že prudký nárůst dne 13.4.2007 byl způsoben uvolněním cca 15 cm mocné

vrstvičky prachovce ve stropu chodby, ve které je ukotvena referenční trubice extenzometru. Toto uvolnění bylo způsobeno bodově upnutím kotvicí stojky překládacího zařízení sběrného dopravníku v těsné blízkosti extenzometru. Mimo této „anomálie“ nepřekročila hodnota

rozvolnění v úrovni „A“ - 9 mm a v úrovni „B“ - 7 mm, tj. „A“ + „B“ = maximálně 16 mm.

Výsledky měření svislé a vodorovné konvergence třídy 294 225 jsou znázorněny v grafu na Obr. 4.



Obr. 4. Vývoj změn hodnot šířek a výšek třídy 294225 od vyražení do 20.4.2007

Obdobný charakter, z hlediska stability třídy 294 225, má i vývoj naměřených hodnot svislé a vodorovné konvergence. K maximálnímu „zmenšení“ šířky (až o 37 cm) došlo v místech kde byla šířka třídy 5,5 m (tj. výklenky pro elektro zařízení) a to již v období po vyražení, před zahájením dobývání porubu 294 205. Při vlastním dobývání porubu nebyl ani v bezprostředním předpolí porubu zaznamenán výrazný nárůst konvergence. V úsecích zjištěného nárůstu hodnot svislé konvergence došlo i k výraznějšímu zmenšení výšky (až o 16 cm), přičemž s ohledem na výsledky měření zjištěné na extenzometrech se jednalo o pohyb počvy důlního díla.

## 5.2. Extenzometry elektroodporové

V případě ražby třídy 294 225 byly použity čtyřúrovňové extenzometry pro měření rozsazování nadložních hornin ve stropu a uhelného pilíře v bocích důlního díla. Tyto extenzometry byly stejně jako mechanické instalovány pokud možno ihned za postupující čelbou ražby. Měření místa a velikosti pohybu ve stropu (boku) důlního díla je prováděno v intervalu 0 až 5000 mm nad stropem (resp. v boku) důlního díla ve čtyřech úrovních (strop: 1400 mm, 2100 mm, 2700 mm, 5000 mm, bok: 1000 mm, 2000 mm, 3000 mm, 5000 mm). Přesnost měření je 0,1 mm. Informace z měření slouží ke zjištění toho, zda strop je stabilní a v případě pohybu k určení místa, kde k tomuto

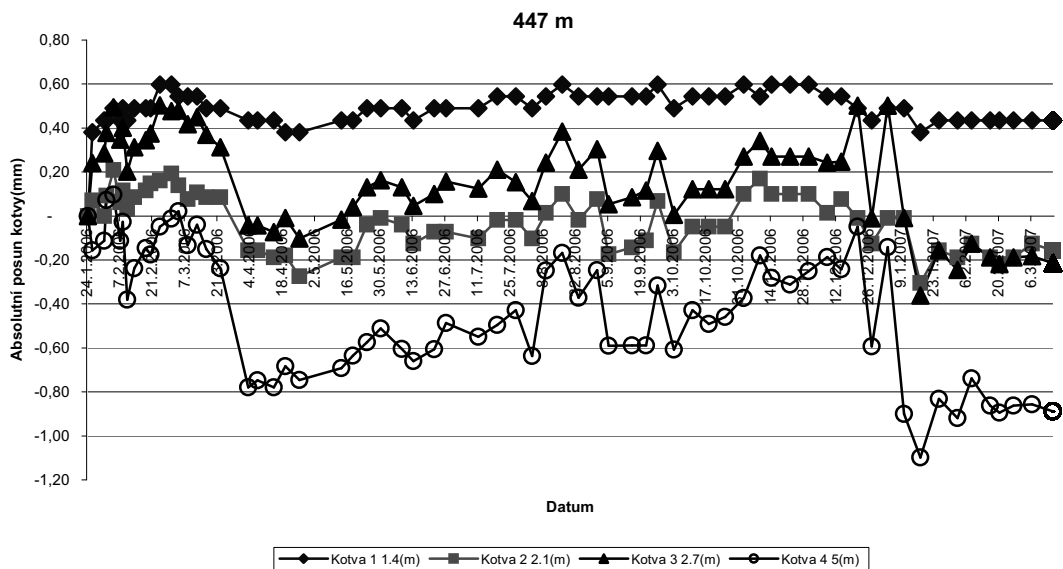
pohybu dochází. Odečítání měření je dálkové. Měření pohybu ve stropu (boku) třídy 294 225 elektrickými extenzometry je prováděno ve staničeních 418 m, 447 m, 576 m a 881 m.

V současné době jsou tyto extenzometry pouze ve staničení 447 m (nefunkční) a ve staničení 418 m (funkční). Na Obr. 5 jsou záznamy z měření ve stropu ve staničeních 447 m. Z grafů je patrné, že zaznamenané absolutní hodnoty rozvolnění nadloží se v jednotlivých úrovních pohybují v řádu desetin milimetrů.

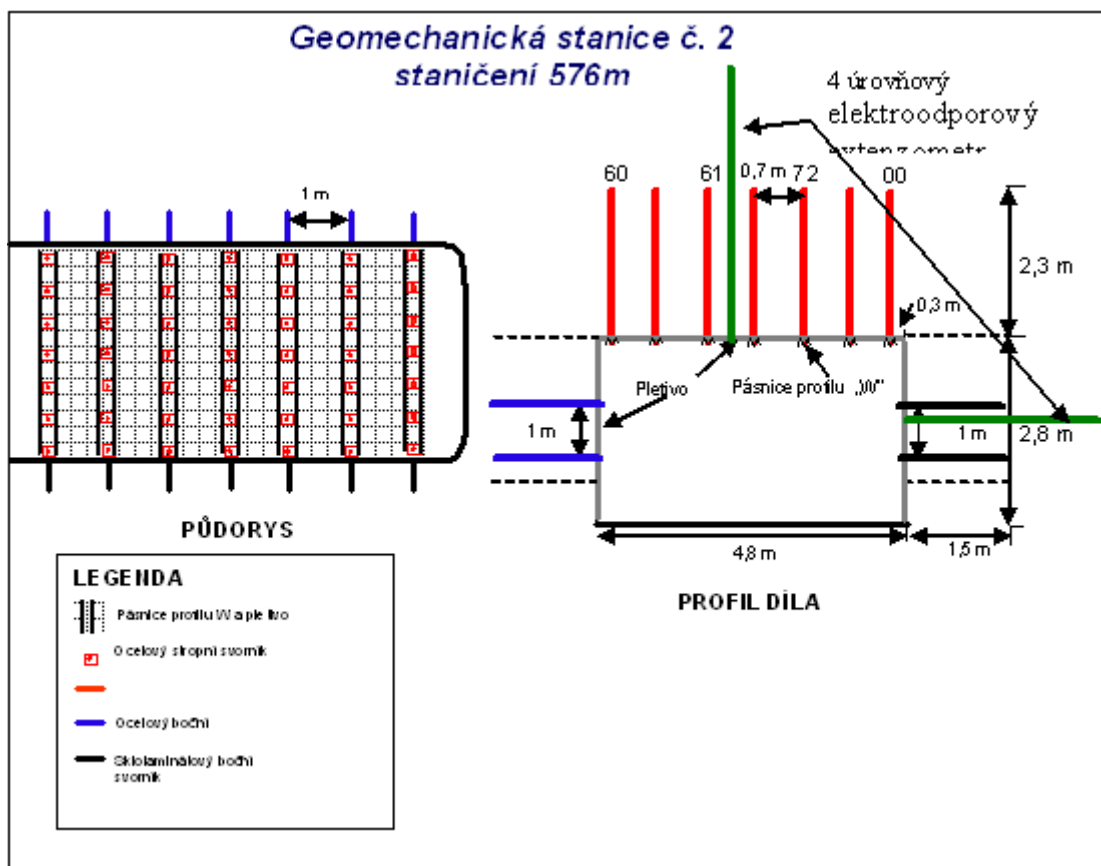
## 5.3. Extenzometrické svorníky

Pro měření osově a ohybové deformace po celé délce svorníku jsou na standartních výztužních svornících ve dvou drážkách proti sobě připevněna tenzometrická čidla, vzájemně propojená vodiči vyvedenými do konektoru u jejich závitové části. Tyto svorníky jsou pak orientovaně (drážky všech svorníků jsou v jedné rovině kolmé na osu důlního díla) nainstalovány v řadě jako ostatní výztužné prvky. Tyto řady byly nainstalovány ve stejných místech jako elektroodporové extenzometry. Informace (výsledky) z měření jsou použity pro stanovení parametrů souvisejících s chováním systému svorníkové výztuže, včetně míry deformace svorníku, maximálního zatížení a ohybového momentu na svorníku, reakce na pohyb ve stropu, stability zatížení a rezervy zatížení svorníkové výztuže pro období kdy se dostane do vlivu přídatného napětí od postupující porubní fronty porubu.

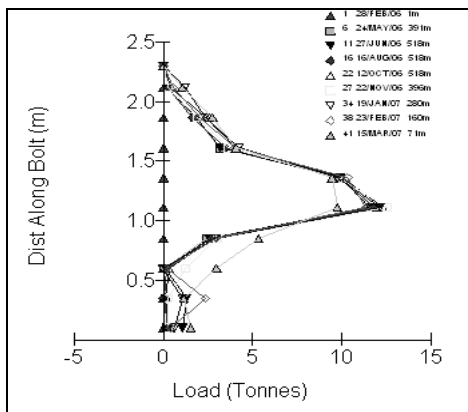




Obr. 5. Čtyřúrovňový elektroodporový extenzometr ve staničení 447 m - strop



Obr. 6: Komplexní geomechanická stanice ve staničení 576 m



Obr.7: Záznam měření zatížení na extenzometrickém svorníku "00" ve staničení 576 m

## 6 Závěry a poznatky

V příspěvku byl stručně shrnut postup prací při návrhu výztuže a při realizaci vyztužování třídy 294 225 samostatnou svorníkovou výztuží. Z dosavadních zkušeností s realizací, monitorováním stability výztuže a třídy 294 225, lze vyvodit následující závěry:

- V průběhu ražby a v dalším období po vyražení je nezbytný soustavný monitoring důlního díla a svorníkové výztuže, včetně okamžitých reakcí na jakékoliv zjištěné změny a zpětné vazby na systém vyztužení důlního díla.
- Potvrdilo se, že systém svorníkové výztuže navržený a realizovaný v průběhu ražby třídy 294 225 byl dostatečně stabilní i při dalším zatížení přídatným napětím působícím od hrany porubní fronty porubu 294 205. Maximální zatížení zaznamenané na extenzometrických svornících činilo 20 tun a vyskytovalo se ve výšce 0,8 m a 1,5 m nad stropem důlního díla. Při postupu porubní fronty a při jejím přibližování k těmto měřicím svorníkům nedošlo k výraznému nárůstu zatížení svorníků.
- Vývojový trend na všech instalovaných extenzometrech byl stabilní bez jakýchkoliv prudkých nárůstů a to ani v místech geologických anomálií. Rozvolnění v horizontu instalovaných svorníků nepřekročilo po celou dobu dobývání porubu 294 205 hodnotu 9 mm. Rozvolnění nad horizontem instalovaných svorníků nepřekročilo hodnotu 7 mm. Celkový posun jako součet hodnot na obou horizontech nepřekročil 15 mm. Obdobný trend měl vývoj naměřených hodnot svislé a vodorovné konvergence.

- Při dobývání porubu v prvních třech měsících bylo zjištěno, že svorníková výztuž třídy 294 225 je dostatečně dimenzovaná a chodbovou sekci by bylo možné nahradit „klasickými“ porubními sekcemi, čímž by došlo ke zlepšení přímosti zálomové hrany i v prostoru této třídy.
- Při dobývání porubu je nezbytné realizovat BTPMR do nadloží chodby vyztužené v samostatné výztuži za účelem usnadnění vývinu závalu za zálomovou hranou v prostoru této chodby a snížení přenosu napětí na část chodby situovanou v předpolí porubu.
- Energeticky významné seismologické jevy registrované v období 1. a 2. měsíce roku 2007 ( fáze rozvíjení porubu od výchozí prorážky a vývin závalu ve vyšším nadloží) a ani ostatní v dalším období dobývání, se na třídě 294 225 vyztužené samostatnou svorníkovou výztuží nijak neprojevíly

## Literatura

- [1] P. Dvorský. *Posouzení možnosti použití samostatné svorníkové výztuže při ražbě třídy 294 225 na Dole ČSM Stonava*. OKD, DPB, a.s., Paskov (2006).
- [2] P. Dvorský. *Projekt samostatné svorníkové výztuže pro ražbu chodby 294 225 na Dole ČSM Stonava*. Důl ČSM, Stonava (2005).
- [3] Č. Nastulczyk, M. Chodura. *Výsledky monitoringu chodby 294 225 - „Kniha kontrol svorníkové výztuže“*. Důl ČSM, Stonava (2006 – 2007).
- [4] L. Meyer. *Zpráva RMT z 1.a 2. etapy ražby chodby 294 225*. Důl ČSM, Stonava (2006).

## Poznámka

Text článku byl redakčně upraven a zkrácen.

# Settlement development of the Czech Republic border regions from 1930 to 1950

Petr Dvořák<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geonics AS CR, Department of Environmental geography, Brno*

## Abstract

The article describes population and settlement development of Czech border regions between 1930 and 1950. The study deals with the evaluation of the process of settlement desertion after 2<sup>nd</sup> World War, especially after the expulsion of the German population from the Czech Republic. After we analysed about 250 settlement units which were perished in these two decades, we formulate main factors of settlement desertion process.

**Keywords:** settlement, settlement desertion, border region

## 1 Introduction

A big difficulty is the word meaning of border regions, because we have many definitions of these areas, e.g. it is an area of various scale administrative units or an area limited according to national structure of population and last but not least an area limited with a certain distance from state boundary-line. (Compare e.g. Chromý 2000, Jeřábek, Dokoupil, Havlíček 2004, Kučera 2007, Kubeš 2007). In subsequent text the border area means a complex of administrative units authorized by the civil service in location near the boundary line.

The main data source is confrontation of census in 1930 and 1950. The census outcome is in both cases presented in Statistic Lexicon of Villages (Statistický lexikon obcí v Republice československé Díl I., II., Statistický lexikon obcí republiky Československé), which describes a list of permanently populated villages and their settlements. The seat means populated area with a village status or its part (settlement), more detailed segmentation of local parts of settlements (secluded dwellings, gamekeeper's lodges etc.) is impossible to use for difficulty of comparison. The defunct village can be perceived like a village or its part, which has vanished administratively (in this category there are not included seats linked with other seats) or a seat permanently unpopulated on the 1st of March 1950.

## 2 Population development and settlement system changes

The Czech Republic border area in the period between 1930 and 1950 went through many population changes, what has radically changed character of this area. The changes have reflected in area organization, penetrability and use. The period of twenty years went through several migration flows which are entirely connected with historical events before World War II (the leaving of a part of Czech nationality population after German capturing of an area called Sudety). During this period and particularly after it (German nationality people resettlement, comeback of native people and other settlement of border area from neighbouring areas, the rest of Czechoslovakia or abroad people). On the whole in period between 1930-1950 the population reduced with 30.2%, that means 883.5 thousand inhabitants less. Importance of consequences in society and landscape shows the fact that this number is almost congruent with ½ of decrease in the whole Czech Republic population in this period.

The reduction of population relates to the whole border area with only exceptions of 9 regions: Brumov-Bylnice (+0.8%), Hodonín (+1.2%), Slavičín (+1.4%), Hlučín (+2.5%), Havířov (+3.0%), Uherský Brod (+6.0%), Třinec (+6.5%), Jablůnkov (+6.5%) and Svoboda nad Úpou (+14.4%) (see Fig. 1). Other 101 regions decreased between 1930-1950, the count in range from 0.5% (Valašské Klobouky) to worrying 72.3% (Kraslice). Not much visible was the depopulation in Czech-Slovak borderland (maximum the region of Břeclavsko 12.9%) because of low German population density. The highest depopulation was in mountain range region of Novohradské hory Mts., central Šumava Mts., Český Les Mts. and the range of Krušné hory Mts. Obvious reduction is noticed also in marginal regions on Czech-Polish boundary line, mainly Šluknovsko, Frýdlantsko, Broumovsko and Osoblažsko. So huge population decrease caused ensuant responses like reduction of facilities, the regions became even more marginal towards bigger seat centres, lack of job opportunities, and these all in association with bad

---

<sup>1</sup> Dvorak@geonika.cz

agricultural conditions. The above mentioned factors caused in further years other depopulation.

In settlement system the depopulation is manifested by seat reduction. Some villages and settlements were defunct immediately (concerning population and buildings), other were affected by gradual depopulation or got striking lower count of inhabitants or changed their original settlement function to recreational function. Reduction of villages was caused by several aspects which can be divided into two categories:

- Geographical conditions and location of the settlement
- Social conditions – economic and political factors

Location of a settlement concerning accessibility and its position in the settlement system as well as geographical conditions, especially relief character, altitude and climatic conditions meant a lot for future settlers. These factors influence intensity of population increase, village size and afterwards facilities, service accessibility, job opportunities etc. In addition they represent the limits for character and effectiveness of agricultural production. So primarily small mountain country seats were not settled again and after leaving of native people have stayed dead. The main social factor we can see in establishment of border area separating Czechoslovakia from other countries of capitalistic Western Europe. As a result of this political command many villages and settlements in this several kilometres wide area have been gradually completely cancelled since 1948 and newly settled inhabitants were resettled again, this time to interior of the republic. This factor was even more significant after 1950 when we can consider it the most important cause of seat structure changes in this part of border area. Economy influenced the life of villages constantly, mostly in 60s and 70s when a lot of villages disappeared because of mining brown coal in coalfield of Northern Bohemia.

### 3 Defunct settlement

Between years 1930 and 1950 vanished 251 settlement units of the border area (see Fig. 2). It was home of more than 38.3 thousand people. In absolute majority it relates to German nationality (in 1930 was more than 93% of population in actual seats registered like Germans). Size range of dead villages is various, from the settlement Sobina (region of Rychnov nad Kněžnou) with 3 inhabitants to the village Stodůlky (Sušice) with 1636 inhabitants in 1930. In most cases these were smaller seats to 200 inhabitants (almost 77.7%). Size range of villages describes the following table (see Table 1).

In our limited border area is village vanishing most obvious in stretch from Nové Hradky to Aš, it means Novohradské hory Mts., Šumava Mts. and Český Les

Mts. In this case few factors cumulated: these are regions with higher altitude, with unwilling marginal location to centres in interior of the republic, the seats often spread exactly next to Czech-Bavarian or Czech-Austrian boundary line, which separated socialistic and capitalistic part of Europe, in addition most of this area was depopulated even before World War II. Its role holds also establishment of military training area Dobrá Voda or building the Lipno dam. Together with sizes of the seats the settlement system presented by diffused buildings with a lot of secluded dwellings. The most of seats vanished within boundaries of regions Vyšší Brod (37 seats) and Kaplice (30 seats).

In the border area next to Poland and Eastern Germany i.e. next to socialistic countries vanished only less than 1/5 of absolute count of defunct seats. Concerned were smaller seats on highland of Krušné hory Mts., Krkonoše Mts., Orlické hory Mts. and Jeseníky Mts. The vanishing process did not affect regions between Opava town and Český Těšín, it is also not visible in Czech-Slovak border area and except one seat (Ječmeniště – region Znojmo) also in South Moravia. Most of seats vanished because of complex of reasons, in the process the most important reason is resettlement of German population and no other comeback. Generally we can divide the reasons of settlement vanishing into 5 main categories:

- Resettlement of native German population
- Political establishment of the border area and separating socialistic and capitalistic countries –“IRON CURTAIN”
- Establishment of military training areas
- Mineral resources mining
- Dam building

### 4 Conclusion

Village cancelling or vanishing and establishing of the border areas and military areas had also positive aspects. Definitely it was plus for nature. In countryside the human influence was fractional, the land use was extensive, entrance to these large areas was often forbidden, so many of rare plant and animal species could be preserved and the adequate conditions for whole ecosystems stayed saved. One proof may be National parks – Podyjí National Park and Šumava National Park and Český Les landscape protected area. Their most valuable parts were exactly in the forbidden border area.

The settlement structure of the border area was obviously changed between years 1930-1950, it went through distinctive decrease of seat count, most people cumulated in bigger seats and the seat structure became simpler. The seat system reacted to German population resettlement, not enough of new inhabitants came back and significant decrease of population. The value of many villages came down, facilities became worse and as a result they were not attractive for living which

caused other vanishing and other seat structure changing.

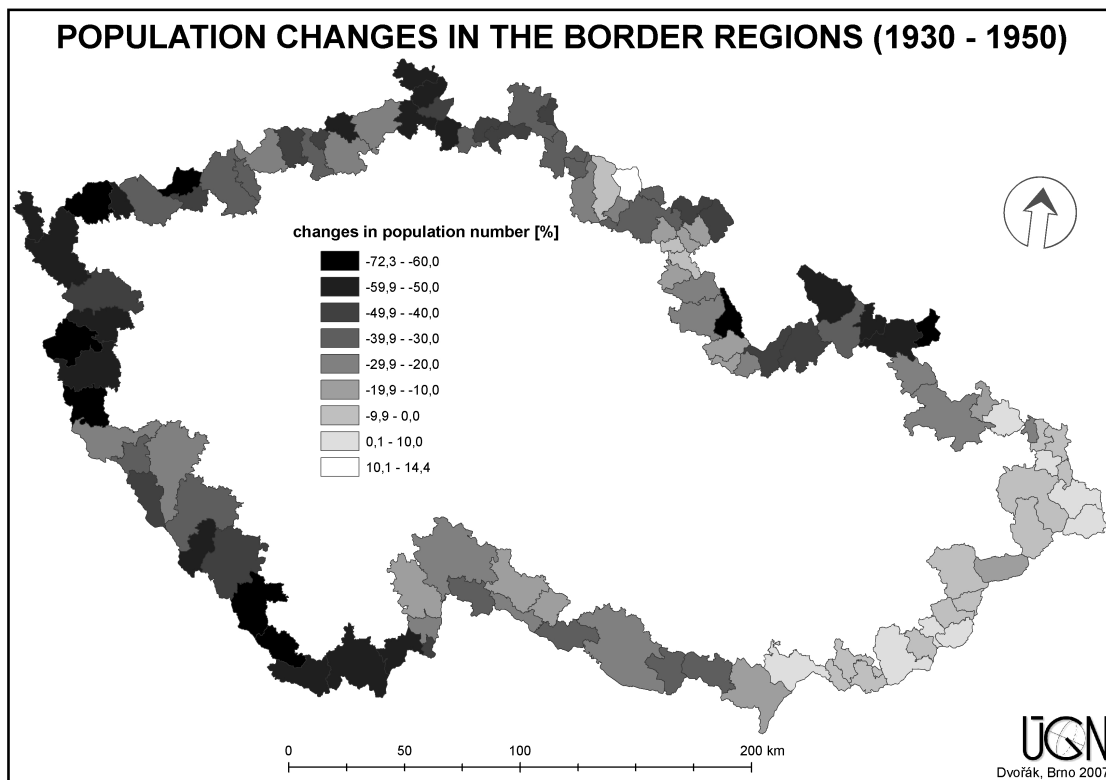


Figure 1. Population changes in the border regions of the Czech Republic (1930 -1950)

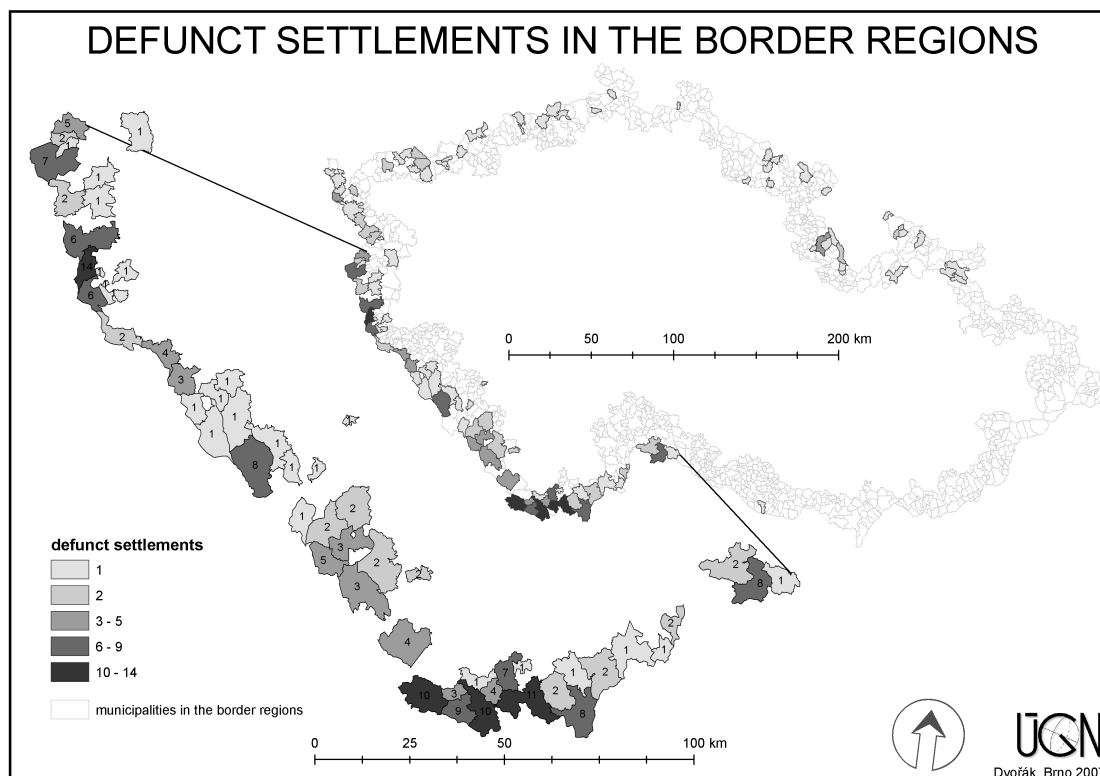


Figure 2: Defunct settlement in the border regions of the Czech Republic (1930 – 1950)

Population size (inhabitants)	Count of units	Distribution of population (%)
1 – 49	69	5,4
50- 99	63	12,5
100 - 199	63	23,6
200 - 499	48	39,9
500 and more	8	18,6

Table 1: Population size of defunct settlement units in border regions (1930-1950)

## References

- [1] *Statistický lexikon obcí v Republice československé*. Díl I. Čechy. Státní úřad statistický, Orbis, Praha, 613 pp.
- [2] *Statistický lexikon obcí v Republice československé*. Díl II. Země Moravsko - slezská. Státní úřad statistický, Orbis, Praha, 212 pp.
- [3] *Statistický lexikon obcí republiky Československé*. Státní úřad statistický a ministerstvo vnitra, Praha, 574 pp.
- [4] Chromý, P. (2000): *Historickogeografické aspekty vymezení pohraničí jako součást geografické analýzy*. Geografie – Sborník České geografické společnosti, Vol. 105, No. 1, p. 63-76.
- [5] Jeřábek, M., Dokoupil, J., Havlíček, T. et al. (2004): *České pohraničí – bariéra nebo prostor zprostředkování?* Academia, Praha, 296 pp.
- [6] Kučera, Z. (2007): *Zanikání sídel v pohraničí Čech po roce 1945*. In: Mičková, K. (ed.): "Historická geografie" – sborník z 21. sjezdu ČGS v Českých Budějovicích. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, katedra geografie, p. 1194 – 1200, compact disk.
- [7] Kubeš, J. (2007): *Rozdílný vývoj obyvatelstva v sídlech české a rakouské části přeshraničního regionu „Novohradské hory – Freiwald“ mezi lety 1869- 2001*. [online]. c2007, [cit 2007-10-12]. URL: <http://www.klaudyancz>

# Spatial structuration of perception and awareness of regional and local identities: analysis and cartographic representation by the methods of mental mapping (theoretical and methodological terminus a quo)

Bohumil Frantál<sup>1</sup>  
*Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.,  
Oddělení environmentální geografie, Brno*

## Abstract

The project following transdisciplinary approach comprising geographical, sociological and environmental-psychological view of the issue is about to be theoretically and empirically concerned with a question of subjective perception and construction of space and creation of territorially tied collective identities. Using the method of mental mapping and other behavioural-geographical, sociological and psychosemantic methods a spatial structure of awareness of local and regional identities, preferences, values and attitudes will be investigated. The factors affecting creation of subjective sense of places and relations (identifications) with places will be analysed and classified. The main result should be a set of mental maps (cartographic syntheses) delimiting and representing a model area (region) at different spatial hierarchical levels based on selected aspects, characteristics and subjective criteria.

## 1 Current state of the problem in international and national context

In connection with a fall of the policy of blocks in Europe after 1989 and ensuing dynamic liberation, extension and integration of European space, with reduction of function of original politically delimited borders and with regard to global (social, economic and environmental) processes questions of local, regional and national identities have been becoming discussed issues and practical problems to be solved. In a time characteristic of perpetual change, uncertainty, fragmentation of social life and diversity of its forms the identity of a single

person and their embedment in social-geographical space is getting more and more important. A number of documents have been written (e.g. 2001 Council of Europe statement “Looking for the elements of European political identity”) declaring “respect for national, regional and local identities of the EU member states” (according to: Šindlářová, 2002: 265). In 2001 a report “Vision of development of the Czech Republic until 2015” was issued, which in the chapter “National and cultural identity” suggests spontaneous creation of national and cultural identity from bottom up by support of communal and regional activities, (...) or by creation of uniqueness of cities and region. (cf. Vize rozvoje ČR do roku 2015, 2000: 105).

Concept of territorially based identities is a research subject of many scientific disciplines. Regional and local identity is a traditional theme of geography (Tuan, 1977, Buttner, Seamon, 1980, Paasi, 1986, 2003, etc.), but recently this theme is attractive also for sociology and political science (Hummon, 1992, Schmidt-Egner, 2002, Balsinger, 2006, etc.), history (Nobles, 1999) or environmental psychology (Steele, 1981, Hidalgo, Hernández, 2001, Auburn, Barnes, 2006). Sense of belonging can emerge at different spatial hierarchical levels (from place to globe) and at the same time it represents different cognitive and behavioural consequences for individuals and participant groups and therefore it is possible to encounter different theoretical concepts, terminology and methodological approaches to the research of this issue. Regional identity is connected with topical terms such as “social capital” or “learning region” (Keating, 2001), high rate of regional or local identity is connected with effectiveness of implementation of political programmes and social interventions (so called regional solidarity), with environmental planning and conservation with deliberate use of natural resources and sustainable development (Uzzell et al., 2002, Bonaiuto et al., 2002). In context of increasing competition among municipalities and regions in a sense of resource use the identity is a powerful marketing tool enabling to attract visitors, labour

---

<sup>1</sup> frantal@geonika.cz

force and investments by expression of typical distinctiveness and difference (place branding) (*cf.* Anholt, 2005).

Agreement of the fact that regional and local identity has its importance and practical application goes hand in hand with the problem of its empirical appreciation. Scientific approaches of different disciplines work this concept up under different names, often independently of on another. There is an agreement that it is a complex, multidimensional concept. Extensive questionnaire surveys, ethnographic observations or different methods of mental (cognitive) mapping are typical methods of empirical research of identities.

In the national context the issue of regional and local identities is solved mainly at the level of theoretical (e.g. Roubal, 2001, Drulák, 2001, Šindlářová, 2002, etc.) or political considerations, while it is most frequently connected with our EU accession. Empirical sociological research was aimed at the border regions (Zich, 2003, Laštovková, 2005). Similarly, the Czech geographical literature (e.g. Chromý, 2000, 2006) discussed the theme in the form of more or less “isolated” spaces (municipality, city, microregion etc. – often in peripheral areas) and their regional geographical characteristics. More complex research of the Czech Republic is still missing. In 2005 Focus agency carried out representative qualitative research (Focus, 2005) aimed at the questions of regional identity and stereotypes towards selected nationalities of neighbouring countries, however this thematically narrow survey comprised only a question of an individual’s tie to area at different hierarchical level (quarter, municipality, region, country, Europe). Withal foreign experience shows (Polič et al. 2000, Polič, Repovš, 2004) that detailed empirical cover of wider area is feasible and does not demand for large research team or financial costs. It is intended to follow recent development and knowledge, work them up and on the basis of empirical studies to map the Czech Republic from the point of view of subjective perception and construction of space, awareness of local and regional identities and related value preferences and to fill the gap in the complex human geographical and spatial sociological research.

## **2 Formulation of research questions and objectives**

Identity is considered as an expression of two important psychological needs typical of every human being: on one hand desire for difference and on the other need of belonging to a higher whole.

Local and regional identities can be considered as territorially, politically, culturally, economically, administratively or historically delimited identities, whose important characteristic is connectedness to certain space (Šindlářová, 2002). Geographical affiliation is only one aspect of socially constructed identity, which builds on other factors such as sex, religion, ethnicity, social class etc., while these sources of identity coexist and determine one another. Social identity is regionalized and regionalizing. Regional and local identities as forms of collective identity represent a way, how groups of individuals specify and identify with landscape and culture of an area and how they perceive uniqueness of an areas and their existence in an area. Collective identity satisfies a number of functions, the most important being an integration function creating awareness of solidarity with places and member of local community. If we want to analyse territorially related identity, it is necessary to differentiate between two of its aspects: the first aspect is an identity of place – distinctive character, personality or genius loci of every place, which differs it from others, the second aspect is an identification of people with this place (sense of belonging). In the human geography these aspects are referred to as place and locale or sense of place and topophilia. The first aspect represents environment, in which everyday social interactions take place, the second aspects expresses identification with this environment built upon living and mutual interactions among people and place (*cf.* Agnew, Duncan, 1989). Territorial identity can be researched as “mutual connections of psychoanalytical, social and environmental processes, which are created and participate in flexible relations of people with specific physical character of places“ (Gosgrove, 2001: 731).

Similarly as identities are social constructs, places (localities, regions) are social constructs as well. The question is, to what extent there is a correspondence in meaning of construct of these identities within a community and society. Incorrectly chosen frame (e.g. administrative region delimited outside geographical, historical, cultural, social, economic traditions and natural integrating flows) can bring about problems with seeking and existence of identity of people in given areas and their identity with given locality (quarter, municipality, city, region) (*cf.* Šindlářová, 2002). Therefore it is important how geographical, administrative (political), socio-cultural, socio-psychological or environmental-psychological delimitation and structuration of localities (regions) differ. These differences depending on the degree of identification with a place can be significantly reflected in real function of localities and regions, in different degree of involvement (economic, cultural, political etc.) of



people living in a given area, in the degree of participation and solidarity, in approach to resource use and development strategies etc. If these localities and region are to be viable it is worth researching for those components attracting people, important to them, and strengthening them.

**Research problem has two basic dimensions:**

(a) **identity of a place** /locality, region/ – representing distinctive character of a place differing it from others – the research will be aimed at subjective perception of this identity and its mental image

(b) **identification of people with this place** /sense of belonging/ – the research will be aimed at the relationship to place and interaction with place

**Research questions and partial objectives are as follows:**

***What is a mental map of a given area (locality, region)?***

- *Delimitation of borders of localities and regions and their mutual relations based on subjective perception*
- *Identification of position of the cores (geographical, historical, cultural, economic etc.) at the regional and local level*
- *Analysis of differences between perceived and observed distances among regional and local centres*
- *Identification of places which are within regions and localities considered typical and attractive (e.g. from the point of view of landscape character and its dominants, historic events, tourism, quality of life and environment, etc.)*
- *Identification and classification of factors, which represent characteristic components of the regional and local identity*
- *Analysis of external perceptions (at the horizontal and vertical level) and their difference from internal perceptions*
- *Attempt to identify and document changes in spatial structuration of perception from the historic point of view (comparison of present image with images gained from historic documents)*

***To what extent people identify themselves with a given area?***

- *Classification of localities and regions on the bases of popularity and settlement preferences*
- *Identification and classification of factors affecting settlement preferences*
- *Identification of the most frequent destinations of short-term mobility in the region*
- *Classification of localities and regions based on the degree of subjective identification and interaction with an area (satisfaction, loyalty, solidarity, involvement, active participation)*

### **3 Research methodology and supposed outcomes**

Complex and relative nature of researched problems demands transdisciplinary and multiparadigmatical approach as far as the choice of research strategy and methodology are concerned. Fulfilment of partial objectives will comprise specific procedures including both quantitative and qualitative methods of sociological and behavioural geographical research (mental mapping, in-depth interviews, psychosematical projections, questionnaire surveys, analysis of literary and cartographic documents, statistical processing and data analysis etc.). Solution of research problems and processing of acquired data will be based on methods of mental mapping, which enables to depict and represent the spatial structure of perception, preferences, values and attitudes.

Mental map is graphical (cartographic or schematic) representation of a person's images of geographical space, mostly of its quality or organisation. Mental mapping has been intensively developed since the 1960s mostly in Anglo-American world in the behavioural geography, where it is fostered by geographers, sociologists, psychologists and urban planners (*cf.* Maříková, Petrušek, Vodáková et al. 1996, Drbohlav, 1991). Mental maps can be used for application in different branches of planning, they can contribute to prognosis of migration flows, to strategies of regional development etc. Concept of mental maps is worked up in the basic levels aiming either at perception or preferences. These approaches are connected with their founders K. Lynch and P. Gould. The former approach understands a mental map as "spatial image expressing an individual's perception of extent, position or shape of components in selected environment, its spatial orientation, typology etc." (Voženílek, 1997:9). Map is represented by concrete scheme or image of a part of space. The latter

approach understands a map as an image of attractiveness, spatial preferences etc. This type is constructed by research by transformation of verbal or numerical information to a map (by cartograms, isolines, anamorphoses etc.) (Voženílek, 1997, Siwek, Kaňok, 2001). Maps are constructed on the basis of data acquired through different questionnaire surveys, interviews etc. from numerous, spatially differentiated and socially and demographically specific population samples – “methodological sociologization” (cf. Drbohlav, 1991).

From the point of view relations of researched subjects to objective reality maps can be divided into two groups. The first is comparative, when it is possible to compare a map created on the basis of subjective data with existing reality (to assess its correctness by comparison with hard statistical data or real geographical organisation). As an example we can mention maps of unemployment, religiosity, distances of different points (settlements), administrative division etc. The second type of maps is non-comparative. Such maps cannot be compared with reality, for it is not possible to assess their “correctness” or conformity to reality, since there are no objective data on researched phenomena. As an example we can mention maps of locality preferences in relation to permanent residence, quality of environment, landscape character attractiveness, historic sites etc. This is the main field of research of mental maps.

In the proposed project I plan to use a combination of all above-mentioned approaches or types of mental mapping in relation to hierarchical level of researched area and possibilities of comparison of researched subjective phenomena with objective reality. Based on preliminary exploratory surveys using qualitative methods and techniques I will construct a complex questionnaire, which will be used as a measure tool for extensive representative research (quota sample) covering a larger area (region). Besides I will carry out partial case studies of selected localities at a lower hierarchical level (municipality, city, protected area etc.) in order to construct detailed perception maps of a given area. Cartographic analysis will be carried out in GIS.

## References

- Agnew, J.A., Duncan, J.S. (eds.) (1989): The power of place: bringing together geographical and sociological imaginations. Unwin Hyman, Boston. p. 1-8.
- Anholt, S. (2005): Why is branding so important for places? [online]. c2005, [cit. 2007-05-15]. URL: <<http://www.earthspeak.com>>
- Auburn, T., Barnes, R. (2006): Producing place: A neo-Schutzian perspective on the psychology of place. In: *Journal of Environmental Psychology* 26 (1), p. 38-50
- Balsinger, J. (2001): Regional identity and resource policy effectiveness: sustainable mountain development in the Swiss Alps and California's Sierra Nevada. In: *Papers from the International conference 'Human dimensions of global environmental change'* (November 9, Berlin) (online). [cit. 2007-01-16]. URL: <<http://web.fuberlin.de/ffu/akumwelt/bc2006/papers/Balsiger-RegionalIdentity.pdf>>
- Bonaiuto, M., et al. (2002): Local identity processes and environmental attitudes in land use changes: the case of natural protected areas. In: *Journal of Economic Psychology* 23, p. 631-653.
- Buttimer, A., Seamon, D. (eds.) (1980): *The Human experience of Space and Place*. St. Martin's Press, New York.
- Drbohlav, D. (1991): Mentální mapa ČSFR. Definice, aplikace, podmíněnost. In: *Sborník České geografické společnosti* 96 (3), p. 163-177.
- Drulák, P. (2001): Introduction: The Return of Identity to European Politics. In: Drulák, P. (ed.): *National and European Identities in EU Enlargement*. Institute of International Relations, Praha. p. 11-20.
- Focus (2005): Regionální identita a stereotypy k vybraným národnostem (online). [cit. 2007-03-20]. URL: <<http://www.focus-agency.cz/download/ukaz364398c3cdb252c.pdf>>
- Gosgrove, D. (2001): Sense of Place. In: Johnston, R.J., Gregory, D., Pratt, G., Watts, M. (eds.): *The Dictionary of Human Geography*. Blackwell, Oxford, p.731-734
- Hidalgo, M., Hernández, B. (2001): Place attachment: conceptual and empirical questions. In: *Journal of Environmental Psychology* 21 (3), p. 273-281.
- Hummon, D. (1992): Community attachment: local sentiment and sense of place. In: Altman, I., Low, S. (eds.): *Place attachment*. Plenum, New York, p.253-278
- Chromý, P. (2000): Historickogeografické aspekty vymezení pohraničí Česka jako součást

- geografické analýzy. *Geografie – Sborník ČGS*, 105, č. 1, Praha, s. 63-76.
- Chromý, P. (2006): Změny krajiny a formování identity regionů v Česku v 19. a 20. století. In: Mičková, K. (ed.): *Česká geografie v evropském prostoru. Sborník příspěvků z XXI. sjezdu České geografické společnosti, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, katedra geografie*. 6 pp.
- Keating, M. (2001): *The new regionalism in Western Europe*. Elgar, Cheltenham.
- Kong, L. (2000): "Value conflicts, identity construction and urban change", in Bridge, G. and Watson, S. (eds.) *A Companion to the City*, Blackwell, Oxford, p. 354-365
- Laštovková, J. (2005): Regionální identita a vědomí domova v českých pohraničních regionech (přednáška na 8. pracovní konferenci Biografu (27.-29. května 2005, Suchomasty) (online). [cit. 2007-03-10]. URL: <<http://www.biograf.org/konference/2005/program.htm>>
- Maříková, H., Petrušek, M., Vodáková, A., et al. (1996): *Velký sociologický slovník - I. část*. Karolinum, Praha, p. 591.
- Nobles, G., H. (1999): Cognitive Cartography: Rethinking Regional Identity in American History. In: *Reviews in American History* 27 (1), p.58-64
- Paasi, A. (1986): The institutionalization of regions: a theoretical framework for understanding the emergence of regions and the constitutions of regional identity. In: *Fennia* 164, p.105-146.
- Paasi, A. (2003): Region and place: regional identity in question. In: *Progress in Human Geography* 27 (4), p. 475-485.
- Polič M., et al. (2000): *Spoznávní zemljevid Slovenije (Cognitive map of Slovenia)*, Final Research Report, ZIFF, Ljubljana.
- Polič, M., Repovš, G. (2004): Cognitive map of Slovenia: spatial representations and identity. (online). [cit. 2007-03-10]. URL: <[http://www.psychologieaktuell.com/psychologyscience.htmlsupp01-2004/ps\\_supp1\\_2004\\_065-088.pdf](http://www.psychologieaktuell.com/psychologyscience.htmlsupp01-2004/ps_supp1_2004_065-088.pdf)>
- Roubal, O. (2003): Když se řekne identita...regionální identita – část I, II. In: *Socioweb*, 1 [13-17]. (online). [cit. 2007-03-10]. URL: <<http://www.socioweb.cz/index.php?disp=teorie&shw=138&lst=116>>
- Schmitt- Egner, P. (2002): The concept of Region: theoretical and methodological notes on its reconstruction. In: *Journal of European Integration* 24 (3), p.179-200.
- Siwek, T., Kaňok, J. (2001): *Vědomí slezské identity v mentální mapě. Spisy prací filozofické fakulty Ostravské univerzity*. 90 pp.
- Steele, F. (1981): *The Sense of Place*. CBI Publishing Company, Inc., Boston.
- Šindlářová, J. (2002): Otázky regionální identity. In: *AGRIC. Econ.*, 48, 2002 (6), p. 263-268.
- Tuan, Y.,F. (1977): *Space and place: the perspective of experience*. University of Minnesota Pres, Minneapolis.
- Uzzell, D. et al. (2002): Place identification, social cohesion, and environmental sustainability. In: *Environment and Behavior* 34 (1), p. 26-53.
- Vize rozvoje ČR do roku 2015 [online]. Centrum pro sociální a ekonomické strategie, Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd. Praha, 2000. 162 s. URL: <<http://ceses.cuni.cz/CESES-34-version1-vize2015.pdf>>
- Voženílek, V. (1997): Mentální mapa a mentální prostorové představy. In: *Geodetický a kartografický obzor* 43 (1), p. 9-14.
- Yuval-Davis, N. (1997): National spaces and collective identities: borders, boundaries, citizenship and gender relations. Inaugural lecture, University of Greenwich (cit. in: Kong, L. (2000))
- Zich, F. (2003): Regionální identita obyvatel v pohraničí. Sborník příspěvků přednesených na konferenci „Evropská, národní, či regionální identita?“ konané dne 3. 10. 2003 v Praze. Sociologický ústav AV ČR, Praha.

# Spatial data in mining and geology

Vlastimil Kajzar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geonics AS CR, Ostrava*

## Abstract

This manuscript deals with methods used in modern technics and software tools in the field of geoinformatics for obtaining, processing and presentation of spatial data in mining and geology.

**Keywords:** spatial data, geoinformatics, GPS, data conversion, map outputs.

## 1 Introduction

Modern computer technics and their processes are more applicable in human activities. These technics are mostly used in the science of mining and geology. My task here therefore is to use modern geoinformatics processes for the work of spatial data in this scientific section. An example of a project in which I have applied these modern technics is GA CR – Character and development of movements and deformations of surface above exploited sedimentary deposits under nontrivial geomechanical conditions – under the leadership of RNDr. Lubomír Staš, CSc. (Institute of Geonics AS CR). A second project is GA CR - Digital model of South Moravia lignite coalfield - base of representative modern complex evaluation of coal deposit for future exploitation project – under the leadership of doc. RNDr. František Staněk, Ph.D. (VSB-Technical University in Ostrava). My participation to solutions on these projects act as the base for my dissertation work.

Problems encountered with spatial data work (data, which are stretch to specific places in space and which are in useful level to known position of places). [1] We can divide to three basic phases, which are relatively complementary and dissolve:

- *Phase of purchase spatial data.* Its deal with modern technic of genuine spatial data with the use of various surveying methods. With exception from others. Example methods of GPS measuring or aerial photogrammetry.
- *Phase of processing of spatial data.* This utilizes modern software for work with spatial data. It solve the practise of saving geodata, their analyses and successive modeling of geobjects, it can also develop new derived input data for next processing, it makes possible conversion for input or derived

data to common use data formats. This enables their next processing to another software.

- *Phase of presentation of spatial data.* Here is the creation of map compositions for presentation of measured and moduled data with respect of requirement of classic geologic documentation. It is therefore obvious that if we are not able to present our results to the end user in a clear and plain form, the possibility of losing the data will be greater for no clear interpretation.

## 2 Purchase of spatial data

This exists in many surveying ways on how to get spatial data. In my work I concentrated on the section of data obtaining with system of GPS a possibility of obtaining data from aerial photogrammetry.

### 2.1 GPS

Global Positioning System (GPS) is one of the global positioning and navigate satellite systems (GNSS). It is a satellite radio system for determination of highly exact estimate of 3D position and speed of motion with further possibility of purchasing a precise time signal. [2] GPS pursue by U.S. Army and is also widely accessible to civil users.

In our work we use *static method of GPS mapping*. This method enable us to record position in space with millimetre precision (with basic method of measurement we can obtain position with deviation in meters). The duration of observation with using of technology for fast determination of ambiguitis from this method achieve several minutes. Static method therefore need two-frequency receiver with P code and advantageous configuration of satellites (five to six satellites with elevation more than 150). If pair of receivers are realized, measurement can be in radius of several kilometres from elected reference point. This surveying method is usually use for thickening basics on close fields of points and building of spatial networks of lower precise. We can improve the precision of measurement in laboratory during post-processing (by using precise ephemerids downloaded from internet).

In using this method of surveying, it is necessary to acquaint with the following terms:

- current observation on at least two points;

---

<sup>1</sup> kajzar@ugn.cas.cz

- sufficient large visible part of sky;
- absence of object cause multipath diffusion of signals.

Described procedures of measurements are used for regular gaining of information on spatial positioning, in stabilizing points of field of points. It also serve to recognize specific behaviour of surfaces affected by mining activities from underground. This can be noticed during the phase of creating and forming area of subsidence in time and space of nontrivial geomechanic conditions.

Reference station is used when mapping. This station is placed above trigonometric point. For this point we know precisely the geocentric coordinates (ETRS-89). This point is out of range of influence of undermine in maximum distance 2,5 kilometres from place of survey.

Those geodetic measurements are time-knit with beginning, processing and finishing of mining selected coalfaces. In the north area of this mining field of mining Důl ČSM-sever act as a demarcation mining Důl Darkov. In subject to relative historical consolidated area are (or will be) in 36<sup>th</sup> seam in 2006 and 2007 (or 2008 and 2009). There will be an exploitation of the two coalfaces with length of about 180 meters. Mine coal seam occur about 950 meters underground. The subjected area is assign to a variable width (1,4 - 2 meters). In about 15 % of coalface surface is the seam affected with erosive evolution. Rock massive in this area if formed by typical rocks of structure of carbon mountain chain in northsilesian basin with tafrogenneous structure.



Figure 1: Leica GPS1200.

This surveys are executed in regular months intervals above 86 stabilized field points through the use of surveying technic by Leica GPS1200.

## 2.2 Photogrammetry

For verification of spatial evolution, shape and extend of created subsidence, depression and detection of the size of motion in such area, behind the Polish state boundary, aerial photogrammetry methods are used.

Photogrammetry discipline deals with obtaining information about real objects on the ground of analysis of pictures (in our case only aerial pictures are used).

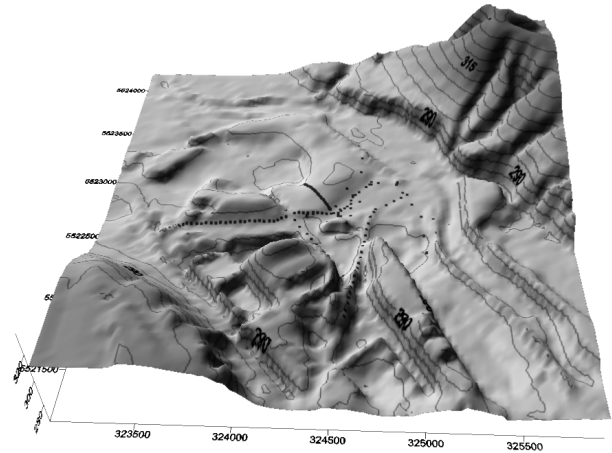


Figure 2: Model of area of interest based on data from aerial photogrammetry.

The first data we get form scanning are suitable for the next processing. This is going to be used to execute the beginning of mining this year. The next scanning would be needed for the analysis of processes of landscape change in the next year. The precision of elevation data obtained about 10 centimetres. This method of obtaining data with help of aerial photogrammetry will evidently enrich and supplement GPS surveying. Precise measurement by GPS can not be done on all the interested area with reasons based on lack of technical, financial and time. Therefore aerial scanning is one possible way to detect possible influence of ongoing mining in close Polish area.

## 3 Processing of spatial data

In many software exists the analysis and modeling of geological objects. To mention one of these is the application on Golden Software Surfer or Rockware Rockworks. Wide spectrum of functions of work with spatial data are offered by geographic information systems (GIS). In this branch we find a great deal of offer. In includes many programs from simple applications with viewing of geodata to complex systems. Most popular GIS product are ranked under software of ESRI (ArcGIS, ArcView etc.).

### 3.1 Types of data used

In my present work, I deal mostly with processing of types of data that are suitable for modeling of coal deposits.

#### 3.1.1 Grid

This type of data (grid) is suitable for modeling of coal deposit. Grid is a matrix made up of numerical values (cells), from which must be defined its proportion and the proportion of elemental cell. Grids are especially suitable for representation of geographical events, which changes continuously in space and spatial modeling. For example grids are used in structuring of digital model of terrain (the value of the cell is the elevation) It can also be used in the description of thickness of layers, concentration of some substances in given environment and in many other geoinformational focused applications as the case may be.

#### 3.1.2 Vector data

Next type of data used for modeling coal deposit are spatial data in vector form. Most vector data are at disposal to their attributes, which are usually stored alone in overview compositions (text documents, tables).

### 3.2 Program system of evaluating of coal deposits

One of software systems, provide complex outputs in foregoing types of data is Interactive Program System for Application of Modern Methods of Evaluation of Coal Deposits and Their Parts at Complicated Conditions (IPSHUL), with which is my work close-knit. IPSHUL enables modeling of seam and subsequent evaluation of the coal deposit by modern mathematic, statistic, geostatistic and graphic methods, has been elaborated. The process is based on data from deposit database and includes text and graphic outputs. A possibility most accurate appreciation of deposit data for future utilization of coal, including data on deposits by the system. [4]

Additional modules of the system enable selection of balanced coal seam parts (i.e. intervals corresponding to given technological-economical criteria) in particular boreholes, creation of borehole logs and geological cross sections. Graphic outputs (contour maps, 3D maps of modeled inner deposit attributes, maps of coal reserves or resources) and final text sets of particular variant evaluation are part of the system. One of the modules of this software system is the modeling for the transformation of the results to GIS environment.

### 3.3 Data conversion

Most graphical outputs of models of geological objects include coal deposits) are processed by using various software products. It is possible to plot and analyse only

in software, in which they are developed. This can be done without connection to other applications, which enable their next processing. GIS software offers extended possibilities to make various operations with this data. Namely, to show it, edit it, query it, analyze it and make map outputs with other events as the case may be. The necessary precondition is the possibility of automatic transmission of created models to GIS environment.

Very few software for the modeling of geological objects offers correct possibility of conversion of modeling data to data formats, with which GIS software can work. Therefore it is usually necessary to solve the conversion by other techniques.

#### 3.3.1 Possibilities of data conversion

Practical conversion between particular data formats usually proceed several basic procedures:

- Data conversion to GIS environment using conversion functions are build-in directly in software for modeling (export) or in GIS software (import). This way is the simplest, but it is very often problematic. Some programs offer for example conversion of vector data to Shapefile data format, which is very often used in GIS. They don't offer possibility for adding of attributes to this data.
- Creating of new standalone application by using one of many development tools (for example Visual Basic) by using of program objects. It allows simple processing of spatial data (ESRI MapObjects). The newly created program usually after starting and assigning of necessary parameters make the conversion on the designed conversion algorithm ground. To request output format, includes joining of appropriate components.
- Extend of previous possibility is the creating of conversion function directly for using GIS software. It is directly implemented in some software by the development tools, which usually offers simple ways of creating new functions. The advantage is the possibility of joining new and existed functions.

The technique of conversion of foregoing data types is described in following text.

#### 3.3.2 Conversion of grids

The structure of most data formats for saving grids is similar. It is formed by two parts. On the top of the file is the head. This defines the basic parameters of grid and behind this usually follows the listing of values of individual cells of matrix.

We usually have problems in the creating of algorithms for transformation. For example, the direction for the purpose of reading of grid cells, the procedure of assigning of individual cells with dependence on their plotting, the possibility of using of irregular grids etc.

Some programs offer program objects for processing of grid type files in various developing software. Through the use of methods and properties of those

objects, it is possible to create new grids, read data files, query for data, modify and save them (for example object Grid of Surfer software). That makes programmers work simpler.

### 3.3.3 Conversion of vector data

Vector data are relative to specific place in space geofeatures. Conversion of each one of these three basic types of geofeatures (point, line, polygon) is necessary to solve separately. One common step is by conversion of vector data in joining of geometry and attribute part of data. Attention must also be paid in the treatment of transmission of non-typical geofeatures (for example island polygons). These problems can not be solved with functions of other software. In many cases it is necessary to make data transformation by conversion. For example transmission of polygon layer to line layer, re-count of coordinates to correct plot of line – moved, type of structure of line with regard to created map outputs.

## 4 Presentation of spatial data

GIS environment offer the possibility to design map compositions by requirement to classic map geological documentation. The map composition is defined like deploying of basic belongings of map work on map sheet. It depends on top purpose of the map scale, cartographic projection, shape and size of drawing area and format of map sheet.

The appearance of a map output depends largely on the extend use of software application. Some products offer complex tools for map outputs creation. They are usually big system containing many functionable modules (i.e. ESRI ArcGIS). In these systems is the creation of a request for map outputs, that are trouble-free and the output always fill the requirement. In the event of other GIS products creation, such outputs are usually complicated and the user in many cases can not boycott the adjustment of data, creation of own function or experiment. In such events, the expert is always able to create a high quality work.

### 4.1 Data resources

Is used in the creation of map outputs are at disposal raster, vector and grid data.

Raster data serve usually like map background. It can be a map sheet of an area with planimetry, geological map with rock type marking or aerial picture of area. Like a map background serve grids obtaining from previous steps.

In case of vector data, that are obtained in previous phases by direct measurement of terrain, derived from existing sources of by modeling on the basis of other data (for example by generating of line of thickness and other technological parameters of coal deposit on basis of adequate grids). Each type of this vector geofeatures

is necessary in defining symbols to plot geofeatures in GIS.

Except raster and vector layers, which usually supplement map composition legend to used layers and symbols, graphic scale, map label and other useful map features. In addition to the map extend it is necessary to design adequate scale, print size and if we don't want to print direct from current application is essential to choose the suitable graphic data format for the export of final map composition.

## 5 Conclusion

The possibilities of using of methods and processes of geoinformatics to work with geodata by using modern technology and software are varied. This article therefore present some ways of using of geoinformatics in mining and geological disciplines to describe individual phases of work processes in spatial data. This work deals with obtaining of data, cross processing and final presentation, which reveals a wide area of possibility for next applications.

## Acknowledgements

This document was written by support of GA CR within framework of projects No. 105/05/1264 a No. 105/07/1586.

## References

- [1] P. Rapant: *Geoinformatika a geoinformační technologie*. VŠB - Technical University of Ostrava, 2006.
- [2] P. Rapant: *Družicové polohové systémy*. VŠB - Technical University of Ostrava, 2003.
- [3] K. Pavelka: *Fotogrammetrie*. ZČU, Plzeň. 2003.
- [4] F. Staněk et al.: *Interaktivní programový systém pro aplikaci moderních metod hodnocení uhelných ložisek a jejich dílčích částí v komplikovaných podmínkách*. Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava, Mining and Geological Series, 2006.

# Problematika SDD a ODD ve vztahu k možnostem řešení stability na příkladu Dolu Jeroným

Radovan Kukutsch<sup>1</sup>  
Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.

## Abstract

This paper appears from dissertation work themed „Problems of selected technical and economical aspects of mines technical liquidation in ore and coal mining conditions“. Article deals with aspects of old and abandoned mining works, which in the long term represent a controversial issue of mines technical liquidation process. The Jeronym Mine was selected as a sample locality of old and abandoned mine, on which the author presents and interprets the survey approaches and discusses the future and problems related to accessing of this unique mining work.

**Keywords:** old mining works, abandoned mining works, Jeronym Mine

## 1 Úvod

Počet všech důlních děl, tj. starých i opuštěných, která se na území České republiky nachází, činí 14626. Tento počet znemožňuje detailní poznání všech těchto děl. Avšak ani současný evidenční stav nevyhovuje požadavkům, které sebou přináší báňská praxe. Poznání starých důlních děl (dále jen SDD) a opuštěných důlních děl (dále jen ODD) je v současné době pouze strohého, informativního charakteru, kdy informační přínos lze označit za vyhovující, nikoliv dostačující. Chybí zde komplexní, ucelený zdroj informací, který by byl přínosný a populární nejen v řadách báňských odborníků, ale stal se i nástrojem edukace širšího okruhu zájemců o hornickou historii. Na příkladu Dolu Jeroným je dokládáno zajištění tohoto dolu s využitím moderních metod, které přispívají k poznání tohoto díla a umožňují rozvíjet myšlenku na jeho zpřístupnění

Přestože v odborných kruzích je téma SDD málo zmiňováno, odborníci, zabývající se vyhledáváním a zajišťováním SDD, hovoří o aktuálnosti tohoto problému. K prozatímnímu opomíjení a podceňování přispívá i nízký počet havárií - propadů, úrazů při vniknutí do takového díla aj., což vede k výše

zmiňovanému stavu. Je nutné poznamenat, že problematika SDD je časově náročná, což však nelze brát jako uspokojuvounou odpověď na daný stav. Vzdávající životní úroveň, velká bytová a průmyslová výstavba, zájem o regionální turistiku, to jsou otázky, které jsou nepřímo spjaty s problematikou SDD, protože v konečném důsledku může dojít ke kontaktu se SDD a vzniku havarijní situace, proto lze požadavky na komplexní metody průzkumu a informační systém s podrobnou fotodokumentací považovat za aktuální a odpovídající současné situaci.

## 2 Charakteristika a registr starých a opuštěných důlních děl

### 2.1 Charakteristika SDD a ODD

**Starým důlním dílem** se podle § 35 zákona č. 44/1988 Sb., v platném znění (horní zákon) rozumí důlní dílo v podzemí, které je opuštěno a jehož původní provozovatel ani jeho právní nástupce neexistuje nebo není znám. Starým důlním dílem je také opuštěný lom po těžbě vyhrazených nerostů, jehož původní provozovatel ani jeho právní nástupce neexistuje nebo není znám (úprava platná od roku 2002).

**Opuštěným důlním dílem** se rozumí díla, která jsou mimo provoz, a která mají svého majitele nebo jeho právního nástupce.

**Opuštěná průzkumná důlní díla** (dále jen OPDD) se rozumí díla provozovaná ze státních prostředků v rámci geologického průzkumu, která nebyla po ukončení prací předána těžbě.

**Ostatní objekty** (jiné), většinou podzemní prostory, které byly vyraženy za jiným účelem než pro těžbu a průzkum nerostných surovin. V rámci jednotlivých ohlášení může být uvedeno i více důlních děl (objektů).

<sup>1</sup> kukutsch@ugn.cas.cz



## 2.1 Stav registru starých důlních děl k 31.12.2006

V roce 2005 byl schválen úkol „Revize zajištění starých důlních děl“. V souvislosti s tím byly v databázové struktuře registru SDD provedeny změny a úpravy, které umožnily ukládání a sledování jednotlivých údajů v čase. Na základě provedených revizí je registr SDD aktualizován a doplňován o nově získaná data, viz. tabulka č. 1. Od provedení revize připadal nejvýznamnější počet ohlášených objektů v roce 2005 na oblast kladensko-rakovnické pánve a severočeské hnědouhelné pánve. Značný počet důlních děl byl tehdy ohlášen i na území bývalého okresu Bruntál (jde o SDD po těžbě zlatonosných a železných rud). Rok 2006 se v tomto směru jevil oproti předchozím létům co do ohlášení SDD jako velmi příznivý.

Hromadná ohlášení jsou evidována až od roku 1997 a neovlivňují počty objektů v tabulce č. 1. Teprve v případě řešení nějakého starého důlního díla (tzn. zejména přiřazení souřadnic apod.) z hromadného ohlášení se dostane tento objekt do registru SDD pod samostatným číslem a je zahrnut i do statistického zpracování. Hromadná ohlášení, která jsou považována spíše za informaci o existenci určitých důlních děl, se zatím týkají třech hlavních oblastí. V severočeské uhelné pánvi se řeší především zajišťování starých

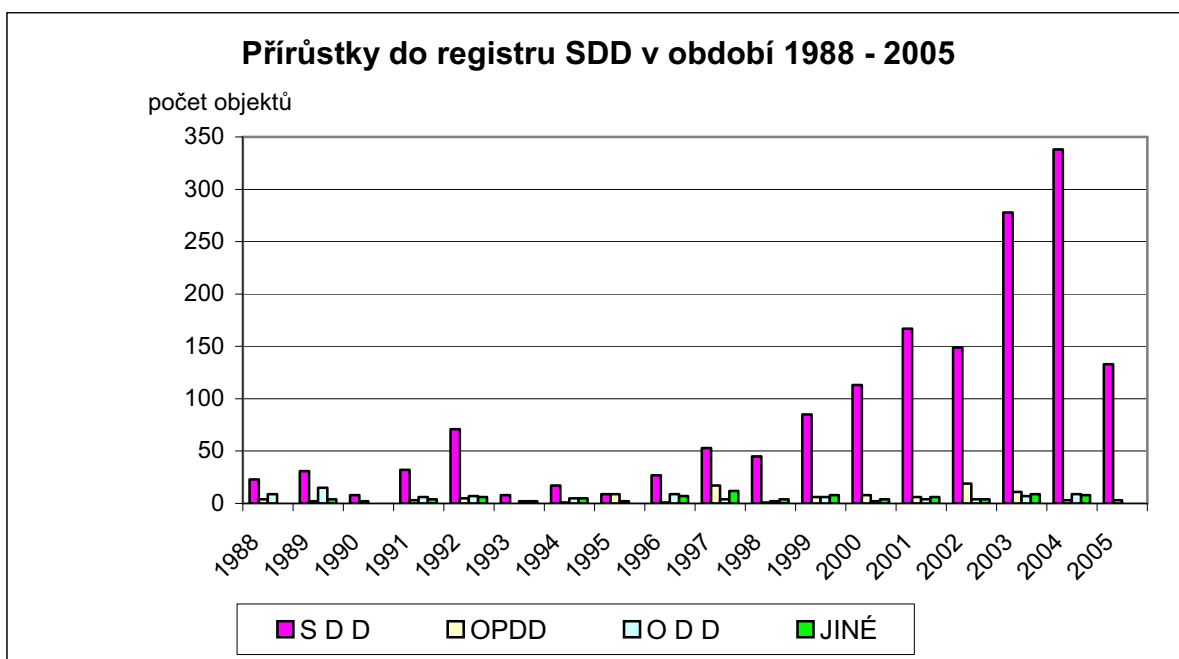
šachet po těžbě hnědého uhlí, v kladensko-rakovnické pánvi se zabezpečují jámy po těžbě černého uhlí a v oblasti ostravsko-karvinského revíru je největším problémem zabezpečování báňských děl s výskytem důlních plynů. Obr. 1 znázorňuje přírůstky do registru SDD do roku 2005, rok 2006 nebyl pro neúplnost dat znázorněn.

## 2.2 Řešení starých důlních děl

Tabulka č. 2 je vztažena pouze ke kategorii „staré důlní dílo“. Ukazuje počty nahlášených objektů za jednotlivé roky a jejich rozdělení na neproblematické“ (neohrožují) a „nebezpečné“ (ohrožují). Ty jsou dále členěny na dosud zabezpečená díla (zajištěno) a dosud nerealizovaná díla (nezajištěno), která by měla být řešena v budoucnu podle priority ohrožení a finančních možností. Jde tedy o jakousi „tabulku restů“, kde nejdůležitější položkou je sloupec „nezajištěno“. Zajištěná SDD jsou v této tabulce uváděna jako jedinečná položka. Pokud bylo některé dílo v minulosti zajišťováno několikrát nebo po etapách (např. Čistá – Jeroným), figuruje v tabulce jako jeden zajištěný objekt (SDD, lokalita) započítaný k roku ohlášení, nehlédě na počet akcí, kdy byla lokalita zabezpečována. Proto se také liší počty zajištěných děl v tabulce č. 2.

Rok ohlášení	Počet ohlášení	Počet objektů	Typ díla			
			SDD	OPDD	ODD	jiné
1988	31	36	23	4	9	0
1989	52	52	31	2	15	4
1990	10	10	8	2	0	0
1991	45	45	32	3	6	4
1992	75	89	71	5	7	6
1993	12	12	8	0	2	2
1994	26	28	17	1	5	5
1995	20	21	10	9	2	0
1996	42	46	28	1	10	7
1997	83	86	53	17	4	12
1998	51	52	45	1	2	4
1999	102	106	86	6	6	8
2000	105	128	114	8	2	4
2001	173	183	167	6	4	6
2002	171	176	148	19	4	5
2003	273	304	277	11	7	9
2004	346	358	338	3	9	8
2005	135	135	132	3	0	0
2006	138	138	121	5	7	5
<b>Celkem</b>	<b>1890</b>	<b>2005</b>	<b>1709</b>	<b>106</b>	<b>101</b>	<b>89</b>

Tab. 1: Počet ohlášených důlních děl v jednotlivých letech v období let 1988-2006



Obr. 1: Přírůstky do registru SDD

Rok ohlášení	Počet SDD	Neohrožují	Ohrožují	
			Zajištěno	Nezajištěno
1988	23	4	19	0
1989	31	11	19	1
1990	8	1	7	0
1991	32	14	18	0
1992	71	27	44	0
1993	8	1	7	0
1994	17	5	11	1
1995	9	1	8	0
1996	27	6	21	0
1997	53	8	45	0
1998	45	18	27	0
1999	85	7	76	2
2000	113	5	105	3
2001	167	17	146	4
2002	149	14	130	5
2003	278	19	216	43
2004	338	11	167	160
2005	133	7	52	74
2006	121	8	43	70
<b>Celkem</b>	<b>1708</b>	<b>184</b>	<b>1161</b>	<b>363</b>

Tab. 2: Počty zajištěných SDD

### 3 Definice problémů spojených s SDD

Problém SDD a částečně ODD (v oblasti dohledávání a revizí) se aktuálně odvíjí ve dvou rovinách – ve fázi nalezení, ohledání, provedení průzkumu na straně jedné a v zavedení do evidence na straně druhé. Velký počet ohlašovatelů a realizátorů zajištění vede již v prvotních krocích ke vzniku chyb

a nepřesností, neboť hloubka samotného poznání důlního díla není nijak stanovena, což vede k diferenciaci dat. K další diferenciaci dochází na místě evidence jednotlivých záznamů, zejména převody zeměpisných souřadnic mezi systémy GPS a JTSK. Patrný je rovněž chybějící jednotný prováděcí předpis průzkumu a zajištění důlních děl, který by stanovoval zjištění základních parametrů o SDD, způsobu jejich zajištění a provedení analýzy možných rizik (bezpečnostní, environmentální, hydrogeologická aj.).

V tomto kontextu lze sledovat nedostatky týkající se např. chybějícího znázornění průběhu důlního díla v mapové dokumentaci, chybějících informací o délce díla, profilech, řezy důlními díly, hloubce pod povrchem apod. Jsou rovněž postrádány informace o výskytu důlních vod – jejich chemismu a vlivu na ŽP, způsobu zajištění a zejména podrobná fotodokumentace, která je v současné době již nezbytnou nutností.

Jak bylo uvedeno výše, problematiku SDD lze chápat v několika rovinách. V rovině, kdy jsou SDD problematická svým počtem a úrovní prozkoumanosti nebo tím, že představují potenciální bezpečnostní riziko. Je nutné se zmínit i o další možnosti nahlížení na tento problém. Tím problémem je v souvislosti s SDD a ODD neřízené chátrání hornických památek. Jako příklad lze uvést Důl Jeroným v Čisté, který je svým rozsahem unikátním dokladem mistrné hornické práce horníků v 16. století. Je unikátní nejen tím, že co do rozsahu je památkou největší, ale i jedinou svého druhu v ČR, která může být zpřístupněna. Další podobné lokality oficiálně neexistují, není vytvořen systém evidence hornických památek. Přesto existují lokality, které se těší nemalému zájmu amatérských montanistů. V této souvislosti vyvstává otázka ochrany vybraných SDD a jejich možné zpřístupnění laické veřejnosti.

## 4 Experimentální měření na Dole Jeroným

### 4.1 Distribuovaný měřicí systém

V historickém důlním díle Jeroným je postupně budován distribuovaný měřicí systém, který umožní měření seismického zatížení, úrovní hladin důlních vod, rozevírání puklin v horninovém masivu, konvergence, změn geometrie důlního díla (deformace komor) a změn tenzoru napjatosti horninového masivu. Jako řídicí jednotka se využívá jednodeskový počítač seismické registrační aparatury. Její komunikace s vyhodnocovacím centrem v Ústavu geoniky AV ČR přes GSM síť se využívá také pro přenos naměřených dat. Měřicí systém lze podle potřeby rozšířit i o měření jiných veličin. V současné době jsou instalována 2 čidla k měření úrovní hladin vod a 2 senzory pro měření rozevírání puklin v horninovém masivu a 1 senzor pro měření konvergence.

### 4.2 Geotechnický monitoring

Geotechnický monitoring je v kvartálech realizován od roku 2001 ve čtyřech stanovených

termínech na měřicích úrovních instalovaných v důlních dílech:

- konvergenční profily v liniových dílech – profily P 1 – P 16;
- konvergenční profily v prostorových dílech (komorách) – profily KL 1 – KL 5;
- profily úrovně podzemních vod – profily V 1 – V 4.

Profily P 1 – P 16 byly monitorovány konvergenční stojkou s přesností odečítání měřených hodnot 0,1 mm, monitoring profilů KL 1 – KL 5 byl realizován laserovým dálkoměrem DISTO fy. Leica s přesností 1 mm a úroveň hladiny podzemních vod v profilech V 1 – V 4 byla odečítána na stabilně instalovaných měřidlech s přesností 0,5 cm.

V profilech V2 a V3 byla úroveň hladiny podzemních vod nově sledována pomocí kontinuálních



Obr. 2: Měřicí profil V4

snímačů instalovaných v profilu V2 dne 15. 3. 2006 a v profilu V3 dne 21. 4. 2006. Na obou stanovištích byly instalovány sondy pro kontinuální měření výšky hladiny vody. Jako senzor jsou použita čidla LMP331i (JSP, s.r.o) s rozsahy 3m (V2) a 10m (V3). Výstupní signály se ze sond přenáší proudovými smyčkami 4-20 mA do měřicí ústředny s funkční jednotkou MU611. Sondy jsou zavěšeny na neprotahujícím se závěsu ukotveném v hornině. Vstupy pro snímání atmosférického tlaku jsou od důlní atmosféry odděleny jemnou pryžovou membránou. Pro trvalý provoz je v současnosti nastaven vzorkovací interval 1 hodina. Datum, čas měření a aktuální naměřené hodnoty relativní změny výšky hladiny vůči počátečnímu umístění čidla jsou zapisovány do textového souboru, který se telemetricky přenáší ke zpracování do ÚGN.

Výsledky geotechnického monitoringu jsou za rok 2006 uvedeny v tabulkách č. 3a, 3b.

Symbol a číslo měřicí úrovně	Datum instalace měřicí úrovně	Rozměr	Výsledky měření ke dni				
			13.10.2005	15.3.2006	18.5.2006	29.8.2006	19.10.2006
P 1	10.7.2001	cm	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4
			109,5	109,03	109,03	109,05	109,03
P 2	10.7.2001	cm	118,35	118,32	118,32	118,35	118,35
			83,15	83,15	83,15	83,15	83,15
P 3	10.7.2001	cm	79,74	79,75	79,74	79,75	79,75
			78,95	78,95	78,95	78,95	78,95
P 4	10.7.2001	cm	108,2	108,2	108,2	108,2	108,2
			103,7	103,7	103,7	103,7	103,7
P 5	10.7.2001	cm	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
			117,11	117,1	117,1	117,1	117,1
P 6	10.7.2001	cm	102,8	102,8	102,8	102,8	102,8
			123,74	123,72	123,72	123,75	123,73
P 7	10.7.2001	cm	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5
			82,4	82,4	82,4	82,4	82,4
P 8	10.7.2001	cm	118,05	118,08	118,07	118,05	118,05
			110,74	110,7	110,7	110,7	110,7
P 9	10.7.2001	cm	118,76	118,77	118,77	118,75	118,75
			99,85	99,87	99,87	99,85	99,85
P 10	10.7.2001	cm	108,8	108,78	108,78	108,8	108,8
			96,42	96,42	96,42	96,4	96,4
P 11	17.9.2001	cm	99,75	99,75	99,75	99,75	99,75
			78,2	78,2	78,2	78,2	78,2
P 12	17.9.2001	cm	99,76	99,75	99,76	99,76	99,76
			79,41	79,45	79,45	79,45	79,45
P 13	17.9.2001	cm	93,35	93,35	93,35	93,35	93,35
			76,7	76,7	76,7	76,7	76,7
P 14	17.9.2001	cm					
			78,5	78,5	78,5	78,5	78,5
P 15	17.9.2001	cm					
			84,4	84,4	84,4	84,4	84,4
P 16	17.9.2001	cm	107,2	107,15	107,15	107,15	107,15
			77,4	77,4	77,4	77,4	77,4

Tab 3a: Hodnoty profilů P1-P16 v liniových důlních dílech (zpravidla ve dvou kolmých směrech)

Hodnoty konvergence v liniových stavbách i prostorových dílech nevykazují žádné změny a jsou shodné s výsledky měření vykázaných už v roce 2001.

Na hodnoty konvergence nemají vliv ani technologické operace v Dole Jeroným, trhací práce na blízkém lomu Krásno a provoz vozidel na blízké komunikaci.

#### 4.3 Hydrogeologická situace na Dole Jeroným z pohledu stability

Jedním z hlavních problémů souvisejících se stabilitou je rovněž hydrogeologická situace celého dolu. Interpretace kolísání úrovně hladiny důlních vod je složitá z důvodu dnešní neznalosti zatopených

prostor, tzn. jejich prostorové situování, velikost (objem), hloubka a možné vzájemné propojení systémem chodeb nebo puklin. Z dosavadního sledování v Dole Jeroným je zřejmé, že časový průběh změn úrovně hladiny důlních vod je složitý. Systém je ovlivněn také dalšími faktory, především fyzikálními vlastnostmi hornin v důlním díle a v okolním masivu, zvláště propustností hornin a existencí ploch či zón nespojitosti. V neposlední řadě ovlivňuje chování důlních vod aktuální úroveň hladiny podzemních vod v blízkém okolí, způsob umělého odvodnění a také stavební zásahy do stávajících podzemních prostor přímo v důlním díle, nebo zásahy v blízkém okolí. Všechny tyto faktory mají významný vliv na chování celého systému důlních vod.

Symbol a číslo měřicí úrovně	Datum instalace měřicí úrovně	Rozměr	Výsledky měření ke dni				
			13.10.2005	15.3.2006	18.5.2006	29.8.2006	19.10.2006
V 1	10.7.2001	cm	61,5	59	59,5	59	60,2
V 2	10.7.2001	cm	0	18	-15	20	-25
V 3	10.7.2001	cm	52	53,2	53,5	55	50
V 4	17.9.2001	cm	28,3	28,2	28,5	29,5	28,5
KL 1	17.9.2001	cm	529,5	529,3	529,3	529,3	529,3
K L 2	17.9.2001	cm	346,3	346,2	346,2	346,2	346,2
K L 3	17.9.2001	cm	353,8	353,9	353,9	353,9	353,9
K L 4	17.9.2001	cm	727,7	727,8	727,8	727,8	727,8
K L 5	17.9.2001	cm	1080,4	1080,5	1080,5	1080,5	1080,5

Tab 3b: Úrovně hladiny podzemních vod a hodnoty profilů KL1-KL5

S ohledem na výsledky kvartálních měření byla pro kontinuální měření úrovně hladiny důlních vod vybrána stanoviště V2 a V3. Na stanovišti V2 byly již z kvartálních odečetů dokladovány významné změny, na stanovišti V3 došlo v roce 2003 ke značnému poklesu hladiny – rychlost poklesu nebylo možno stanovit.

Pro období březen 2005 – říjen 2006 byla provedena studie vlivu atmosférických srážek na změny výšky hladin podzemních vod. K této studii byly použity kontinuální záznamy pohybu hladin na stanovišti V2 a V3 a údaje z 15 km vzdálené srážkoměrné stanice v Krásném Údolí (Hydrometeorologický ústav Plzeň). Závěry této studie lze shrnout do následujících bodů:

- náhlé a výrazné nárůsty úrovně hladiny důlních vod zřejmě souvisí s významnými změnami množství vod povrchových (mimořádně vysoké úhrny srážek, tání velkého množství sněhové pokrývky).
- pozvolné a dlouhodobé změny úrovně hladiny důlních vod neprokazují žádnou významnou souvislost s úhrny srážek na povrchu.

Nejspíše jde o velmi složitý systém odtokových a přítokových cest. Lze při tom předpokládat následující komunikace povrchových vod do důlního díla:

- přímo přes masiv nad důlním dílem, například propustné prostředí, pukliny, plochy nespojitosti nebo více či méně zavalené důlní prostory (předpokládané i v současné době neznámé),
- přímá komunikace mezi rybníky a důlními prostory (zřejmě nepřichází v našem případě v úvahu),
- přes podzemní vody, které změnou své úrovně reagují na množství vod povrchových,
- jiný způsob komunikace dosud neuvažovaný.

## Závěr

Na příkladu starých a opuštěných důlních děl byla ve stručnosti charakterizována jejich problematika, která se týká evidence a zajištění. V neposlední řadě se tento problém odvíjí i v rovině vytvoření takového systému, který by vyúsťoval ve schopnost efektivně rozpoznat a zajišťovat taková důlní díla, která jsou nebezpečná a ohrožují. Činnosti prováděné na Dole Jeroným, který posloužil jako reprezentant v této problematice, je dokládán soubor činností, který by měl být ve větším či menším měřítku praktikován při ohledávání, revizi a zajištění důlních děl. V rámci měření prováděných na Dole Jeroným lze říci, že z hlediska geotechnického i geologického nedošlo k žádným extrémním projevům v souvislosti se změnami stability horského masivu, avšak důraz bude i nadále kladen na trvalé sledování seizmického zatížení díla. Je žádoucí, aby se přešlo ke kontinuálnímu sledování co jak nejvíce jeví a mohlo se tak docílit ještě přesnějšího poznání chování horského masivu. Pohyby hladiny podzemních vod nevykázaly tak významné změny jako v roce 2003, kdy v profilech V3 a V4 došlo k poklesu úrovně hladiny o 3 metry. Výše uvedená sledování a měření jsou realizována v rámci grantu, s pomocí kterého lze na Dole Jeroným rozšiřovat a uvádět do praxe nová měřicí zařízení a techniku, a získávat tak nové poznatky o této lokalitě, nabýt nových zkušeností s měřicí technikou a podílet se na zlepšování této techniky.

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu GAČR 105/06/0068.

## Použitá literatura\*

Česká geologická služba – Geofond: Hlavní důlní díla 2006. Praha 2006

\* Pozn. Použitá literatura není citována v příspěvku, protože by to neúměrně zvětšilo rozsah článku.

- HDD-DIA (databáze hlavních důlních děl). Ostrava, Diamo s.p., 2006
- Kaláb, Z., Lednická, M., Kukutsch R.: Důlní vody na lokalitě Čistá, Důl Jeroným. Uhlí Rudy Geologický průzkum, roč. 14, číslo 5, str. 25-29, ISSN 1210-7697
- Kaláb, Z.: Posouzení seismického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. Acta Montanistica Slovaca. 2003, roč. 8, č.1, Košice, Slovensko, ISSN 1335-1788, str. 36-41
- Knejzlík, J. a Skotnica, M.: Záznam seismických dat v počítači přes paralelní port. In: Kaláb, Z. (ed.): Analýza dat v seismologii a inženýrské geofyzice. Sborník referátů regionální konference, Ústav geoniky AV ČR, Ostrava, 1996, str. 122-130
- Knejzlík, J. and Kaláb, Z.: Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-24(340), 2002, str. 187-194
- Kořínek, R., Žůrek, P.: Odborný báňský posudek „Zpřístupnění technické kulturní památky bývalého Dolu Jeroným v Čisté, okres Sokolov“. VŠB-TU Ostrava, květen 1999
- Kořínek, R., Žůrek, P.: Odborný báňský posudek „Posouzení stávajícího stavu horninového prostředí Dolu Jeroným v Čisté, okr. Sokolov, na základě dlouhodobého sledování stability v přímé souvislosti s hydrogeologickými poměry ložiska a odvodněním důlních prostor“. VŠB-TU Ostrava, duben 2006
- Kořínek, R., Žůrek, P.: Odvodňování historických dobývek na lokalitě Čistá, Slavkovský les, IX. národní hydrogeologický kongres, ISBN 80-7078-855-0, Ostrava, 2001
- Kukutsch, R.: Problematika vybraných technických a ekonomických aspektů technické likvidace dolů v rámci rudného a uhelného hornictví. VŠB – TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 2007, 121 s., disertační práce obhájena
- Lednická, M., Kukutsch, R.: Sledování pohybů hladiny důlních vod v historickém důlním díle Jeroným. Mezinárodní konference Geotechnika, Ostrava, duben 2007
- Šír, P.: Registr starých důlních děl. Přehled stavu databáze za rok 2006, Česká geologická služba – Geofond
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 363/1992 Sb. o zjišťování starých důlních děl a vedení jejich registru
- Žůrek, P. a kol.: Geomechanická stabilita kulturní památky Důl Jeroným-Čistá, okr. Sokolov Odborný báňský posudek, ISBN 80-7078-897-6, Ostrava, duben 2001
- Žůrek, P., Kořínek, R., Michalčík, P., Daněk, T., Kukutsch, R., Kaláb, Z., Knejzlík, J., Lednická, M. (2005): Komplexní sledování geotechnických problémů lokality Čistá - Důl Jeroným, období 2004-2005. Uhlí Rudy Geologický průzkum, roč. 12, číslo 9, str. 31-34
- Žůrek, P., Michalčík, P., Kukutsch, R., Kořínek, R., Daněk, T.: Analýza stabilitních poměrů dolu Jeroným v Čisté během obnovy dědičné štoly. Hornická Příbram ve vědě a technice, 45. ročník, 2006, Příbram

# Příklad použití ultrazvukového prozařování vzorku žuly v laboratorních podmínkách

Markéta Lednická<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>VŠB-Technical University of Ostrava, <sup>2</sup>Institute of Geonics AS CR

## Abstract

This contribution describes ultrasonic measurement of the granite specimen in laboratory conditions. Instrumentation TICO was used for this experimental measurement on the rock. Changes in spreading velocities detect existence of fissure in the granite specimen.

**Keywords:** ultrasonic measurement, granite, instrumentation TICO

## 1 Úvod

Účinkem vnějších sil dochází ke změnám tvaru tuhých těles, jejich velikosti a vzájemné vzdálenosti malých částic v tomto tělese. Jde-li o lineární napětí, při němž uvažujeme napětí pouze v jednu směr, a uvažujeme-li těleso jednoduchého tvaru, pak můžeme definovat základní deformační charakteristiky, jako jsou poměrné (podélné) prodloužení, poměrné příčné zkrácení, smykové posunutí, Poissonovo číslo, poměrné stlačení a další. Pro experimentální stanovení těchto charakteristik je nezbytné znát mj. rychlost šíření seizmických vln.

Podle Drouillarda a Varyho (1994) akusticko-ultrazvuková měření jsou chápána v praxi jako nedestruktivní technika pro charakterizování testovaného objemu daného materiálu z pohledu k jeho vlastnostem a defektům v něm. Podstatou je aktivní technika umožňující využití mechanického kmitání k testování vzorku nebo struktury. Vibrace procházejí daným objemem, jsou v něm modifikovány a následně zaznamenány a interpretovány. V příspěvku budou prezentovány první zkušenosti s použitím ultrazvukových měření při laboratorních zkouškách.

## 2 Ultrazvukové vlnění

Ultrazvukem nazýváme mechanické vlnění, které už lidské ucho není schopno vnímat; toto vlnění má frekvenci vyšší než 20 kHz, v některých literárních zdrojích se uvádí hodnota již 16 kHz. Při využití

ultrazvukového (dále též UZ) vlnění pro testování a zkoumání materiálových vlastností ve stavebnictví se využívá kmitočtů nad 20 kHz. Ultrazvukové vlnění se řídí obecnými zákony pro kmitavý pohyb, především Hookovým zákonem, Huyghensovým principem, zákonem odrazu a lomu, Dopplerovým jevem, principem interference, zákonem o absorpci a dalšími. V pevných látkách se ultrazvukové vlnění šíří od zdroje do okolí jako postupné vlnění podélné a příčné, v plynech a kapalinách potom pouze jako vlnění podélné.

Kmitání se postupně šíří od zdroje postupným předáváním energie z částice na částici. Vznikající pružné vlny se šíří rychlostmi, které vychází z pružnostních parametrů (např. Youngův modul pružnosti a Poissonovo číslo) a objemové hmotnosti prostředí. Základní vztahy popisující šíření ultrazvukového vlnění jsou stejné jako pro mechanické kmitání (např. Horák a Krupka, 1976, Smetana et al., 1998). Rychlosti šíření podélné a příčné vlny jsou definovány vztahy.

$$v_p = \sqrt{\frac{E \cdot (1-\nu)}{\rho_0 \cdot (1+\nu) \cdot (1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2 \cdot \rho_0 \cdot (1+\nu)}} \quad (2)$$

v nichž:  $v_p$  ... rychlost šíření podélné vlny ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  
 $v_s$  ... rychlost šíření příčné vlny ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  
 $\rho_0$  ... objemová hmotnost prostředí ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  
 $\nu$  ... Poissonovo číslo (-),  
 $E$  ... Youngův modul pružnosti (Pa).

Z uvedených vztahů plyne, že rychlosti šíření vln nezávisí na frekvenci vlnění, ale pouze na materiálových parametrech prostředí. Volba frekvence zdroje při měřeních tedy neovlivňuje absolutní výsledky, ale pouze „kvalitu“ měření. V daném prostředí dochází ke ztrátám přenášené energie (absorpce), což významnou měrou závisí právě na kmitočtu vlnění, dále pak na vlhkosti, teplotě a dalších parametrech. Pro horniny, které jsou nehomogenní

<sup>1</sup> marketa.lednicka@vsb.cz

<sup>2</sup> lednicka@ugn.cas.cz



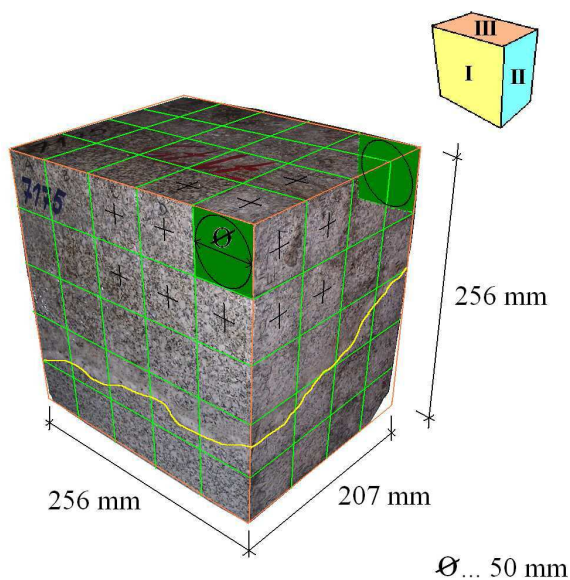


na rozhraní), případně šíření UZ vln ze sondy do horniny vůbec neumožní. Při UZ měření v laboratoři na opracovaných vzorcích s rovným povrchem lze využít tzv. vázací pastu (akustický vazebný prostředek, je součástí aparaturního vybavení). Bohužel při měření na neopracovaném hrubém povrchu horniny (hrubě opracované vzorky, měření v terénu, v důlním díle) nelze tuto vázací pastu použít (nevhodná konzistence), proto byl dle doporučení z literatury vyzkoušen jiný akustický vazebný prostředek – plastelína (Svoboda a Cikrle, 2007). Funkčnost plastelíny jako akustického vazebného prostředku byla odzkoušena na vzorcích v laboratoři a výsledky měření vhodnost plastelíny potvrdily. Nejnovější měření byly provedeny také s využitím různých typů silikonů.

Při laboratorním měření na vzorcích je možno aplikovat tři způsoby měření (dle vzájemné polohy sond) – přímé, polopřímé a nepřímé (viz obr. 1). Při experimentálním měření na horninovém vzorku tvaru kvádrů je využíváno především přímé měření.

## 5 Experimentální měření

Pro ultrazvukové prozařování v laboratoři byl vybrán vzorek žuly, který nám zapůjčilo Oddělení petrologie ÚGN (vzorek č. 7175 z příručního skladu horninových vzorků - slezská žula, lokalita Žulová, lom Erlich). Jak je možné vidět na obrázku č.3, vzorkem žuly prochází vyhojená puklina, která by se měla projevit při prováděném ultrazvukovém měření (předpokládáme, že v místě poruchy se mění fyzikální vlastnosti prozařovaného materiálu).



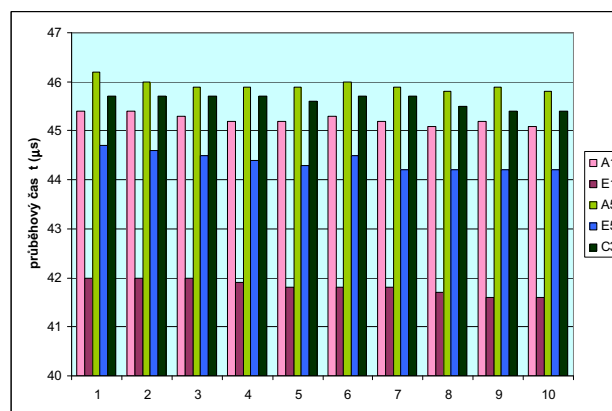
Obr 3: Vzorek žuly č. 7175 pro ultrazvukové prozařování s naznačeným schématem měřících bodů a vyhojenou puklinou

### 5.1 Postup měření

Jak již bylo uvedeno výše, pro prozařování menších vzorků ve tvaru kvádrů se využívá především měření

přímé. Vzorek o rozměrech cca 250 x 250 x 200 mm (obr.3) bylo třeba prozařit ve třech vzájemně kolmých směrech. Pro dostatečně přesné měření byla zvolena síť měřících bodů s krokem 50 mm ve všech třech směrech (vzdálenost měřících bodů 50mm odpovídá průměru kruhové ultrazvukové sondy). Schéma měřících bodů je možno vidět na obrázku č.3, sondy jsou umístěny přímo proti sobě (ne šikmo). Na odvrácené straně vzorku byla jedna z hran značně nerovná a proto v jednom ze směrů prozařování odpadly 3 měřící body (velmi špatný kontakt sondy s horninou). Celkem bylo tedy provedeno 62 měření, což poskytuje značné množství vstupních dat pro konečné vyhodnocení.

Při každém postavení sond bylo provedeno celkem 10 měření průběhového času  $t$ , přičemž na jedno přímáčknutí sond se zaznamenalo 5 hodnot a na druhé přímáčknutí sond dalších 5 hodnot. Tímto postupem lze ověřit stabilitu naměřených hodnot při opakovaném měření, případně zjistit chybu měření způsobenou špatným kontaktem sondy s horninou. Během laboratorního měření na vzorku žuly nedocházelo k žádnému výraznému rozptylu naměřených hodnot, lze tedy konstatovat, že kontakt sondy s horninou byl během měření dostatečný (příklad vybrané množiny naměřených hodnot průběhového času  $t$  je na obr.4).



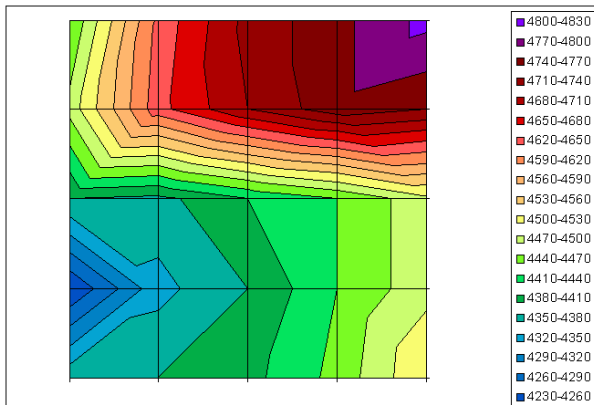
Obr 4: Množina naměřených hodnot průběhových časů ve vybraných pěti měřících bodech (na každém měřícím bodě bylo provedeno vždy 10 měření)

Jako akustický vazebný prostředek byl použit univerzální transparentní silikon, který během předešlých testovacích měření vykazoval stejné (místo i lepší) vlastnosti jako běžně používaný akustický vazebný prostředek – plastelína.

Z naměřených hodnot průběhových časů  $t$  a z dráhy šíření UZ vlny (vzdálenost sond = vzdálenost dvojice měřících bodů) byly dopočítány průběhové rychlosti, které byly následně vyneseny do původní sítě a graficky zpracovány. Ze souboru desíti hodnot naměřených na jednom prozařovaném místě byla pro konečné vyhodnocení vybrána vždy maximální hodnota průběhové rychlosti.

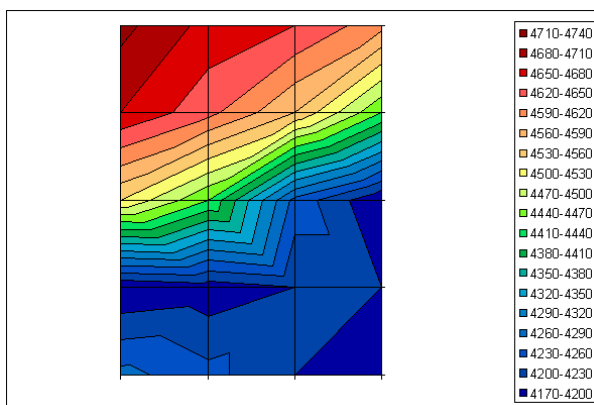
## 5.2 Vyhodnocení měření

Na obr.5 je zobrazeno plošné rozdělení maximálních hodnot průběhových rychlostí při ultrazvukovém prozařování kolmo k ploše I (umístění plochy I viz obr.3). Směr prozařování byl téměř rovnoběžný se směrem procházející vyhojené pukliny. Na základě grafického zpracování můžeme říci, že v okolí procházející pukliny dochází k velmi rychlé změně průběhových rychlostí, přičemž nad puklinou dosahují průběhové rychlosti vyšších hodnot (až 4800 m/s), v místě pukliny dochází k rychlému poklesu rychlostí řádově o 300 m/s a pod puklinou dosahují rychlosti hodnot nejnižších (až 4200 m/s).



Obr. 5: Hodnoty průběhových rychlostí při prozařování kolmo na plochu I (hodnoty rychlostí jsou uváděny v m/s)

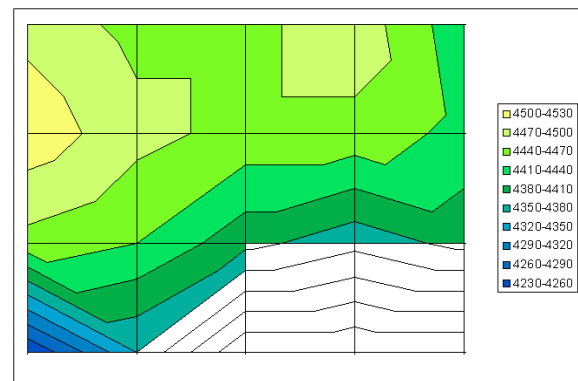
Prozařování kolmo k ploše II probíhalo také rovnoběžně se směrem procházející vyhojené pukliny, výsledky grafického vyhodnocení jsou tedy velmi podobné (obr.6). V okolí procházející pukliny opět vidíme rychlý pokles průběhových rychlostí.



Obr. 6: Hodnoty průběhových rychlostí při prozařování kolmo na plochu II (hodnoty rychlostí jsou uváděny v m/s)

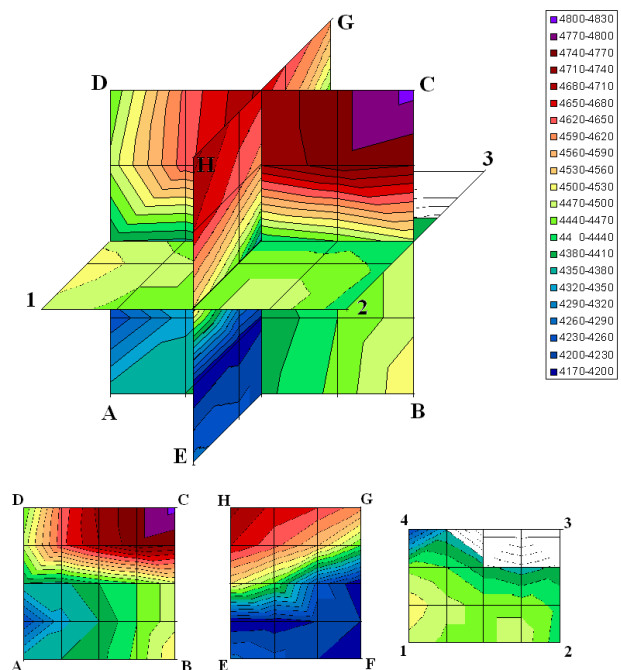
Zcela odlišný výsledek ukazuje třetí graf – prozařování kolmo k ploše III (obr.7). Prozařování probíhalo víceméně kolmo k rovině probíhající pukliny, účinky změny parametrů horniny v místě pukliny se tedy musely projevit ve všech měřicích bodech

podobně. Hodnoty průběhových rychlostí jsou oproti ostatním dvěma směrům prozařování nižší, k žádné významné změně rychlostí nedochází. Graf je neúplný z důvodu chybějících třech měřicích bodů v místě nerovné hrany.



Obr. 7: Hodnoty průběhových rychlostí při prozařování kolmo na plochu III (hodnoty rychlostí jsou uváděny v m/s)

Z uvedených výsledků lze říci, že ve vzorku žuly dochází k významné změně průběhových rychlostí UZ vln (obr.8). Procházející vyhojená puklina dělí vzorek na dvě části, z nichž jedna má vyšší hodnoty průběhových rychlostí (až 4800 m/s) a druhá naopak nižší hodnoty průběhových rychlostí (až 4200 m/s). Nejrychlejší změny průběhových rychlostí nastávají v okolí procházející pukliny.



Obr. 8: Prostorové zobrazení výsledných hodnot průběhových rychlostí ve všech třech směrech prozařování

## 6 Závěr

V příspěvku je popsáno jedno z testovacích měření ultrazvukovou impulsovou metodou, které bylo provedeno v laboratorních podmínkách. K dispozici byl vzorek žuly, vzorek č. 7175 z příručního skladu horninových vzorků Oddělení petrologie ÚGN. Následující výzkumné práce budou též zaměřeny na porovnání výsledků měření naší aparaturou TICO a laboratorním zařízením používaným na oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů (Konečný et al, 2004, Konečný, 2007).

Toto laboratorní měření, které je jednou z experimentálních laboratorních prací, předcházelo terénnímu měření, které proběhlo v historickém důlním díle Jeroným v Čisté u Mariánských lázní (Kaláb a Lednická, 2007). Během terénního měření postupně vyvstaly některé problémy, které bude třeba vyřešit. Prvním úkolem je najít vhodný akustický vazebný prostředek, který by splnil všechny požadavky nejen při měření v laboratoři, ale i v náročnějších podmínkách v důlním díle. Dále bude nutno odzkoušet nástavce na sondy (kuželového či podobného tvaru), jejichž smyslem bude zmenšit dotykovou plochu; povrch horniny je místy velmi nerovný a zmenšení dotykové plochy by mohlo zlepšit kvalitu měření (zmenšení rozptylu naměřených hodnot).

## Poděkování

Příspěvek byl zpracován za finanční podpory GAČR, projekt číslo 105/06/0068 „Výzkum faktorů ovlivňujících stabilitu středověkého Dolu Jeroným v Čisté“.

Poděkování patří Ing. Kožušníkové, CSc., vedoucí oddělení 11, za laskavé zapůjčení horninových vzorků pro laboratorní měření.

## References

- [1] Drouillard, T.F. and Vary, A.(1994): *AE Literature – Acoustic-Ultrasonic Reflectins*. Journal Acoustic Emission, Vol. 12, No. 1/2, 71-78.
- [2] Hardy, H.R., Jr. (2003): *Acoustic Emission/ Microseismic Aktivita*. Vol. I, A.A. Balkema Publishers, The Netherlands.
- [3] Horák, Z. a Krupka, F. (1976): *Fyzika. Příručka pro vysoké školy technického směru*. SNTL/ALFA.
- [4] Kaláb, Z. a Lednická, M. (2007): *Ověření použitelnosti aparatury TICO pro ultrazvukové měření v historickém důlním díle*. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2007, sborník příspěvků na CD.
- [5] Konečný P. (2007): *Laboratorní měření mechanických vlastností hornin na ÚGN*. Proc. of the Intern. Conf. Geonics 2007, Documenta Geonica 2007/2, Ostrava.
- [6] Konečný, P., Kožušníková, A., Knejzlík, J., Rambouský, Z. (2004): *Měření rychlosti průchodu podélných ultrazvukových vln horninovými zkušebními tělesy v průběhu zatěžování*. Geotechnika 3/2004, Praha
- [7] Smetana, C. et al. (1998): *Hluk a vibrace, měření a hodnocení. Sdělovací technika*, Praha.
- [8] Svoboda, D. a Cikrle, P. (2007): *Zjišťování poruch v masivních betonových blocích s využitím ultrazvukové impulsové metody* [http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce\\_2.5/Svoboda\\_David\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_2.5/Svoboda_David_CL.pdf)
- [9] ČSN 73 1371 *Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu*

# Anthropogenic agent – landscape change of the middle Svatka River Valley

L. Peterková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Masaryk University, Brno

## Abstract

This article deals with landscape and relief changes in the middle Svatka River Valley, specifically in surroundings of Brno and Veverská Bítýška (NW neighbourhood of Brno) which are conditioned due a anthropogenic influence in last c. 225 years (let us say in last 70 years – in 1939 began the construction of the dam). The article is trying to characterize most expressive changes which occur in the middle part of the Svatka River Valley – like deforestation, growth of built-up area, flooding of the valley, creation of the abrasion cliffs on the banks and so on.

In this research it is used some old photos of the valley and old maps (like 1<sup>st</sup> Military Survey) and similar sources.

**Keywords:** The Svatka River, abrasion cliff, the Brno reservoir, landscape changes, land cover changes.

## 1 Introduction

One part of the research of the middle Svatka River Valley development is study of anthropogenic influence on the relief or change of landuse and change of landscape generally in history too. The Svatka River (as most of Czech rivers) was used as a transportation corridor in the past. And of course we can notice great landscape changes mostly along big rivers, because there is huge accumulation of people along the rivers. I would like to locate these changes and to compare past and present.

## 2 Anthropogenic influence and landscape changes in the middle Svatka River Valley

The place of my interest is located in the surroundings of the Brno reservoir - in surroundings of Brno and Veverská Bítýška (NW neighbourhood of Brno). This valley has a character of a rupture. The river cuts sharply here to the surrounding relief of the SW part of Bobravská vysočina Highland. This valley is influenced by the tectonic movements in the past too (it is divided

into short right-angled segments and it does not run linearly across the Bobravská vysočina Highland) and is situated on the interference between the Boskovická brázda Furrow and Brno masiff and near by the boundary of two different large geological unites - Bohemian masiff and the Carpathian fore-deep. There are many river terraces on the slopes of the middle Svatka River Valley - system of river terraces levels.

In the year 1939 it began with the construction of the dam, which could divided the Svatka River Valley near Brno, and gradual filling of the valley. In the year 1940 the construction was done, it was the beginning of the regulation of the Svatka River in this area and it occurs some changes of the relief and landscape of course. One village (Kníničky) has to be moved, because it was partly flooded.

Following figures (see Fig. 1, 2) show some changes of landscape or the relief, which occurs in last 70 years. New, actual pictures was made according to some photos, which were created just before the construction of the dam started and it shows, how the landscape was looking before this big antropogenic intervention. Biggest changes took place just in southeast part of the reservoir.



Figure 1: View on the valley and constructed dam (source: Photo Collection 1939, afford by doc. Miroslav Šlezinger – VUT Brno)

On the fig. 1 we can see the character of SE part of the valley – shallow valley with tame slopes. We can

<sup>1</sup> peterkova@mail.muni.cz

see here also construction of the dam and on the upper right part of the picture we can see the moved village Kníničky.

Figure 2 shows us present status – flooded valley and flooded village Kníničky. This picture cannot be photographed from the same site as the fig. 1, because of heavy stand. The picture is made from the dam.



Figure 2: Present view of the valley (Brno reservoir), photo: author

The pictures show us that the changes were relatively expressive. One of the aspects of the river dam construction and creation of the dam lake was formation of abrasion cliffs. The most expressive abrasion cliffs are about 5 m high and are developed in sediments (loess, slays). The area with largest dynamic is located near the Osada haven (on the left bank of the reservoir). This theme solved for example Linhart (1954), Kratochvil (1969), Kubíček (1987) and Šlezinger (1999, 2004) already.

The most relevant reason of abrasion cliff formation is above all right geological structure (sediments - loess, which has column cleat), than wave produced by SE winds (so not by dominant SW flow) and by the wave which is produced by boat activity on the dam lake. As a most relevant factor it appears the intensive (the flow have to take some days) SE winds when the water level is sufficiently high - above all after the spring snow melting.

In my dissertation thesis I would like to compare dynamic of the development of the abrasion cliffs in the past and present (there is a premise that the dynamic will decline and it will get the abrasion terminant). Banks in some exposed places have to be protected with some antiabrasion proceedings because of their possible negative influence on surrounding buildings.

### 3 Evaluation of the land cover changes

Within the frame of the evaluation of the land cover changes in interested area it was created maps which present the changes.

Land cover taken from the maps from 1<sup>st</sup> Military Survey (1780 – 1783) was compared with the present status taken from the colour orthophoto pictures (source: Czech office for surveying, mapping and cadastre 2005). So the c. 225 year old change of the land cover was recorded.

The change between this two settings was analysed on the basis of change some basic layers – forests, ground, green fields (permanent grass growth, gardens and so on), built-up area, water area and water flows, ways and routes – which were mutually compared in time.

From the compare it results that the land cover changes in the region were not so expressive. The area of forests is similar to present forest area, but there is deforestation of the area (because of construction of new buildings – huts, gardens – and routes) obvious. But because of the relatively broken relief the forests area is hardly the same. The other land cover change refers to change of the built-up area – it is naturally growing (it attends to spreading of settlements permanently). Than it occurs to change of water area because of construction of the dam and consequently contrariwise to reduce of the green fields area.

### 4 Conclusion

From the research it results the fact that during the last c. 225 watched years it occurs some anthropogenic conditioned changes concerning relief and landscape – deforestation, growth built-up area, flooding of the valley because of the dam construction, creation of expressive abrasion cliffs and so on. We can also say that the dynamic of the abrasion cliffs development is relatively intensive. Large antropogenic impact has of course the fact that the Brno reservoir is popular recreational area for the inhabitants from the town Brno and surroundings.

Most expressive changes of the valley have occur in last 70 years because of the construction of the dam on middle part of the Svratka River.

### Acknowledgements

The research is supported by the Grant Project No. 205/06/1024.

### References

- [1] Kratochvil S. (1969): Parametry větrových vln na přehradní nádrži. Vodohospodársky časopis, Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie vied, Bratislava, XVII, č. 4, s. 321 – 339

- [2] Kubiček P. (1987): Vývoj břehů Brněnské přehrady a jejich zázemí. Diplomová práce, UJEP Brno, 65 s.
- [3] Linhart J. (1954): Abrasní činnost na Kníničské přehradě. Sborník Československé společnosti zeměpisné, roč. 59, s. 185 – 194
- [4] Photo Collection 1939, afford by doc. Miroslav Šlezinger – VUT Brno
- [5] Šlezinger M. (1999): Zhodnocení vlivu zvýšené srážkové činnosti v červenci 1997 na stabilitu břehů Brněnské přehrady. Vodní hospodářství 8/99, s. 174 – 175
- [6] Šlezinger M. (1999): Prezentace výsledků monitoringu postupu abraze na březích údolní nádrže Brno v letech 1989 – 1999, Vodní hospodářství 9/99, s. 192 – 193
- [7] Šlezinger M. (2004): Břehová abraze: Příspěvek k problematice zajištění stability břehů. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 160 s.

# Geomorphology of rock-mantled slopes in Czechia

Pavel Raška<sup>1</sup>, Lucie Kubalíková<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of J. E. Purkyně in Ústí nad Labem, <sup>2</sup>Masaryk University Brno, <sup>3</sup>Institute of Geonics Brno/Masaryk University Brno

## Abstract

Rock-mantled slopes represent one of the most common geomorphic phenomena, which may be used for palaeogeographical reconstructions, research of the Quaternary environmental change due to climatic oscillations and other issues of a special interest. Authors examine two Czech regions typical of the presence of rock-mantled slopes, however of different origin and character of accumulations. The research shows some significant principles of spatial distribution of the rocky accumulations conditioned by lithology and palaeogeomorphic development of the territory. Further, it brings the information about probable origin of these, their geochronology and finally the differences in recent environmental change.

**Keywords:** rock-mantled slopes, scree field, boulders field, periglacial geomorphology, landscape development, environmental change, the České středohoří-mts., NP Podyjí

## 1 Introduction

Since the term “periglacial” was firstly used by Polish geologist Walery von Lozinski at the beginning of the 20<sup>th</sup> century for mechanical disintegration of sandstones and their accumulations called periglacial facies (French 2007; p. 3), the slope deposits of diverse origin and character have been studied as a major periglacial phenomena by several authors throughout the whole 20<sup>th</sup> century. From different regions these are usually referred to as block-fields, felsenmeer, kurums, screes etc. While the genetic character, morphology and recent dynamics of these significantly differ, it brought many terminological ambiguities, which are not yet resolved. In a most general way, these landforms could be termed slope covers (Pawelec 2006) and, when focusing only on those, which are formed by coarse rocky material, they are also termed rocky accumulations, or rock-mantled slopes to express their morphologic background (Abrahams 1994). In this paper, we use the general term rock-mantled slopes regarding different character of the

accumulations in two examined regions and trying to avoid the possible terminological misunderstandings.

The periglacial research of rock-mantled slopes in the Czech Republic has been conducted in several regions since the 60s of the 20<sup>th</sup> century. An overview of the research is summarized in the Fig. 1, which also shows the model regions examined by the authors.

In the last third of the 20<sup>th</sup> century, the research of rock-mantled slopes was improved considering the fact, that especially in the temperate zone in both Alpine and non-Alpine environment they represent a specific terrestrial ecosystem reacting sensitively on global (climatic) changes caused by both natural and human-induced driving forces. General effects of global change on terrestrial ecosystems are discussed e.g. by Canadell et al. (2007). More specifically, the environmental significance and change of rock-mantled slopes in the temperate climatic zone has been studied with an attention paid to the microclimatic and ecological factors (Kubát et al. 2000) to the glacial floral and faunal relics (e.g. Zacharda 2000), or to the natural and anthropogenic forces of their change throughout the Holocene period (Hétu, Gray 2000).

In spite of the improvement of research scopes and methods, there are still many issues which remain to be solved. For instance, French (2007) emphasizes especially the significance of lithologic conditions in formation of rock-mantled slopes; Boelhouwers and Meiklejohn (2002) mention the specifics of climatic conditions and the unsuitability of a simple transfer of the Northern Hemisphere climatic model onto the southern regions. Several other authors emphasize the recent dynamics, or the biogeomorphic gist of landforms dynamics (Stoffel 2005; Raška 2007). All these aspects may be aptly expressed by Leopold’s note (Leopold et al. 1964 in French 2007; p. 216) saying that “*the similarities of form in diverse climatic regions and the differences of form in similar climatic environments emphasize the need not of classification but of understanding the interrelation of climate, lithology, and process*”. Considering the previous lines, it should be clear, that it is not possible to study the rock-mantled slopes only in a geomorphologic manner, but rather in a more systemic and transdisciplinary way.

---

<sup>1</sup> Author: raska@sci.ujep.cz

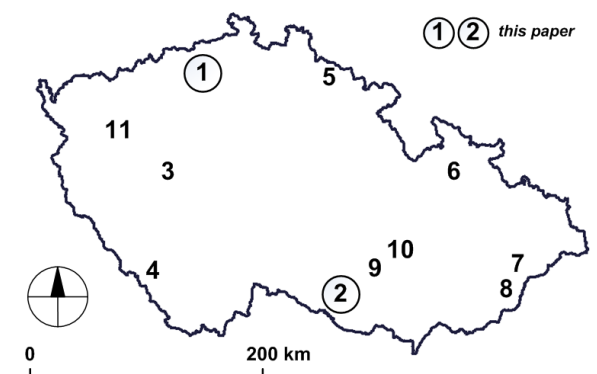
<sup>2</sup> Author: luciekubalikova@seznam.cz

Recognizing the above mentioned problems, the research presented in this paper is focused primarily on: a) the principles of spatial distribution of rock-mantled slopes in selected regions of Czechia; b) the geochronologic analyses of their age, origin and consecutive development and finally c) recent dynamics and environmental change.

## 2 Methods

### 1.1 Study areas

Study areas of the research are located in regions with different geological and geomorphologic settings within the Bohemian Massif. Both study areas are characterized in the Fig. 1 and Tab. 1.



- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1 České středohoří-mts.    | Ložek (1972); Kirchner, Čílek, Máčka (2001); Kubát (2000); Raška (2007) |
| 2 NP Podyjí                | Brzák (2000)  |
| 3 Brdy-mts.                | Čílek, Ložek (1993)   |
| 4 NP Šumava                | Chábera (1954, 1955); Mentlík (2003)                                    |
| 5 NP Krkonoše              | Migoň (1999); Křížek (2007)   |
| 6 Jeseníky-mts.            | Chábera (1956); Netopil (1956); Czudek (1960, 1962)                     |
| 7 Hostýnsko-vsetínské-mts. | Czudek, Demek, Stehlík (1961); Křížek (2003)                            |
| 8 Moravské Karpaty-mts.    | Pelišek (1952); Demek (1964)  |
| 9 Kohoutovická vrch.-mts.  | Ivan (1980)   |
| 10 Dražanská vrch.-mts.    | Štecl, Štecl (1966)   |
| 11 Karlovarská vrch.-mts.  | Fencel, Svatoš (1967)   |

Figure 1: Regional review of the research on rock-mantled slopes in Czechia (Source: by authors)

	1 České středohoří	2 NP Podyjí
<b>Area</b>	1265 km <sup>2</sup>	63 km <sup>2</sup>
<b>Geomorphologic region</b>	Krušnohorská subprovince	Českomoravská subprovince
<b>Lithology of rock-mantled slopes</b>	neovolcanic rocks	metamorphic rocks
<b>Morphology</b>	valley slopes, cones	valley slopes
<b>Term for material</b>	scree, boulder, stony debris	boulder
<b>Climate*</b>		
annual temp.	4-9 °C	7-9 °C
annual precip.	450-800 mm	450-550 mm
<b>Position of rock-mantles</b>	valley slopes	valley slopes
	cones	

\* Climate according to *Climate Atlas of Czechia (2007)*

Table 1: Basic characteristics of studied regions (Source: by authors)

### 1.2 Analysis of the spatial distribution

Spatial distribution of periglacial landforms in Czechia has been analysed by several authors in both regional (e.g. Křížek 2007) and national scale (e.g. Czudek 2005), while these usually appreciate the need of relatively similar general methodical procedure, which is followed also by authors of this paper.

The analysis of principles in spatial distribution of rock-mantled slopes proceeds in several steps represented by distinct methods. Firstly, it is necessary to go through manifold literary (e.g. Brzák 2000; Král 1966; Kubát et al. 2000; Kirchner, Čílek, Máčka 2001), map and geodatabase sources. Together with preliminary observation these steps emerged in a preparation of catalogue form used during the field work to summarize the substantial information about each location of rock-mantled slope.

The catalogue forms (lists) for the two examined regions are similar to a large degree with a few exceptions, which are due to other more detail aspects emphasized in each of these regions. The form consists of the following parts: a) location (coordinates, geomorphologic region, etc.); b) morphology (altitude, slope inclination, specific landforms, etc.); c) material (rock type, clast size, weathering of a surface, etc.); d) vegetation (types and distribution) and the textual or graphical representation of a shape and general setting of a rock-mantled slope.

Present-day, there are some 30 characterized rock-mantled slopes in the České středohoří-mts. of approximately 135 identified by authors using orthophoto maps, and proportionally slightly lower number of characterized rock-mantled slopes in the Podyjí National Park.

After the final catalogue of rock-mantled slopes is finished, the principles of their spatial distribution will be assessed using statistical analyses and the significance of each condition/factor in a spatial distribution will be evaluated. Considering these analyses, authors will rectify the preliminary typology of rock-mantled slopes made for each studied region.

### 1.3 Geochronology

The chronologic-developmental view on the Earth surface landforms is a primary concern to geomorphology and was well expressed by Andrew S. Goudie in his *Global geomorphology* by a note, that geomorphology is to a significant extent a historical science. The geochronologic assessments are necessary for a comparison of the origin (also the age), the consecutive development and the recent dynamics of landforms including also the rock-mantled slopes.

Manifold tools and methods of various technological and financial demands are used for dating of processes related to rock-mantled slopes. The methods used in scope of the research presented can be divided into two groups.



(1) The first one is based on tests and analyses of geologic material and comprises in situ tests of clast compactness using Schmidt hammer NR type, clast shape and size analyses, geomorphologic measurements of morphometry and dynamics, and laboratory analyses of particles using photomicroscope and AxioVision 4.6.3 software for microimage analyses.

Schmidt hammer tests have been widely discussed since the 50s of the 20<sup>th</sup> century as an efficient tool of relative dating of solid rock surfaces (for the review see Goudie 2006). The method is based on the measurement of strength of rock expressed by so called rebound values (R) which are inversely related to the age of the surface (which is represented by a degree of weathering). Sedimentologic and geomorphologic investigations of clasts as well as of the whole rock-mantled slope and of its vertical sedimentary sequence then indicate different processes taking part in a development of the specific accumulation and forced by diverse factors being typical of various geochronologic periods. Laboratory analyses then enable to assess the shape and other qualities of single particles of the material and therefore they give information about the degree of weathering and its type (mechanical, chemical).

(2) The second group of geochronologic methods is related to biological proxy indicators (e.g. Naylor, Viles, Carter 2002). These enable the reconstruction for shorter period than the previous ones, however the information about age is quite more accurate. We use especially the dendrologic methods to analyse the frequency of rock-fall activity as an important factor of rock-mantled slopes formation, and to evaluate the protective and erosional effects of trees. Dendrochronologic methods, formerly used primarily for climatic reconstructions, have found their stable position in geomorphologic research since 70s of the 20<sup>th</sup> century, when they were introduced by Jouko Alestalo in Fennia journal. The assessment of rock-fall activity has been done using the sample stem discs taken under the frost-riven cliff and analysing the scars at their tree-rings. The second dendrogeomorphologic method is based on the quantification of vertical and directional orientation of scars (cf. Stoffel 2005; Raška 2007). The last method exploiting the potential of trees was aimed at quantification of bioprotective effects of these at rock-mantled slopes and will be discussed in the following chapter in detail.

## 1.4 Recent dynamics

As it was mentioned in the introduction, in some localities (regions) of rock-mantled slopes their consecutive development during the Holocene period is probable. Several factors play the role in this development and recent dynamics. While it is difficult to separate the differences in significance of these factors, it is necessary to combine more methods and to evaluate the geosystemic gist of rock-mantled slopes

and the consequence of dynamics in the environmental change of these landforms (e.g. Raška, in press).

The recent dynamics, which is typical especially of the České středohoří-mts. model region, was examined by dendrogeomorphologic methods evaluating the bioprotective and bioerosive effects of trees in different distances from frost-riven cliff (up to 2, 5, 10, 20, 30 and more than 30 meters). Climate-induced activity related to frost-thaw cycles (frost weathering, rock-fall activity, sliding) was evaluated by identification of specific landforms (e.g. frost-coated clast flows) and dendrologic record of rock-fall activity.

Furthermore, the Richard Forman's landscape ecological patch-corridor-matrix paradigm was applied to analyse the spatio-structural dynamics of rock-mantled slopes and their surrounding forest vegetation. We created an orthogonal photo-sequence of an ecotone zone and identified the major changes in features at the transmission between rock-mantled slope and forest stand (% coverage, material size, presence of lichens, mosses, woody debris, förna, flowers and trees).

## 3 Results

While the systematic research is still in progress, we can only presuppose the general principles of the spatial distribution of the rock-mantled slopes. Nevertheless, some of these presumptions may be documented with concrete research from parts of the research regions. In both examined regions it seems that the morphology and lithology play the leading role.

Palaeogeomorphic development, for instance, preconditioned the existence of basic macro-landforms (valleys, eroded cones) which represent the typical sites of rock-mantled slopes, and the climatically induced geomorphic processes then played the important role in the weathering of solid bedrock, disintegration of material and its transport and consecutive accumulation at slopes.

The intensity of rock-mantled slopes formation and their spatial frequency is also conditioned by lithology (rock types), and tectonic features of the relief predispose the local differences in degree of solid bedrock disintegration. For example, in the České středohoří-mts. the dynamics of rocky accumulations is conditioned, besides other factors, by clast size, which highly corresponds with a character of frost-riven cliffs and their heterogeneity. Frost-riven cliffs, which are oriented parallelly with tectonic features, usually disintegrate in a form of relatively large clasts. To the contrary, those oriented perpendicularly to tectonic features exhibits high heterogeneity, are suitable for climate triggered weathering (frost-thaw cycles inside fissures), and disintegrate in form of smaller clasts. In the National park Podyjí, the lithology plays the significant role, too. While most of the rock-mantled slopes are well developed on granites and gneiss, their presence on phyllites and mica schists is poor or almost absent.

In comparison with systematic and therefore long-term and regional research of the spatial distribution, geochronologic studies may be carried in model sites, and thus enables to summarize some major results. The probable age of the rock-mantled slopes is usually given to relation with climatic oscillation during the last glacial period, resp. climatic fluctuations called Dansgaard-Oeschger cycles. However, several dating methods and their correlation proved this presumption to be correct only to a certain degree (e.g. Cílek 2000). Present-day, it seems to be probable, that many of such landforms (according to the region) may be:

a) polycyclic, i.e. developed in the older as well as in younger periods in phases conditioned by alternating accumulative and erosional cycles;

b) influenced by intensive recent processes, i.e. their development has continued since the Late Glacial until now.

Furthermore, the comparison of the two studied regions showed some significant differences in the age and development of rock-mantled slopes. While in the NP Podyjí, these are relatively stable and were probably formed by a short-term event, in the České středohoří-mts., the rock-mantled slopes are to a large degree dynamic phenomenon with a polygenetic development since at least the Late Glacial period. Furthermore, Schmidt hammer tests in situ indicated the high diversity in age of these landforms even at one single site.

The recent dynamics and environmental change investigated by means of various methods is can be proved especially for the České středohoří-mts. Dendrogeomorphologic measurements resulted in a typology of tree bioerosive and bioprotective effects of four major types distinguished by Raška (2007). These are: a) dam-like effect, b) halt effect, c) chaotic bouncing effect (indicated by scars), and d) weathering effect (weathering intensified by fallen leafs and woody debris). These effects seem to represent beside the climate-triggered processes (in the following text) the major component of the transport stabilization, transformation and denudation of material. Weathering of solid bedrock, resp. frost-riven cliffs (i.e. origin of material) is then due to lithologic conditions and frost-thaw cycles (see previous paragraphs). This can be documented with macromorphologic observation of landforms (clast flows, sliding, etc.) as well as with micromorphologic analyses of surface particle shape. In the figure 2, we can see the highly differentiated particle sample showing the slight roundness and the smaller particle of higher roundness both taken from the similar clast at the Plešivec hill (České středohoří-mts.). These two show different rate of weathering conditioned by distinct exposure. Finally, transport of material is intensified especially by climate-triggered processes, and zoogeomorphologic action.

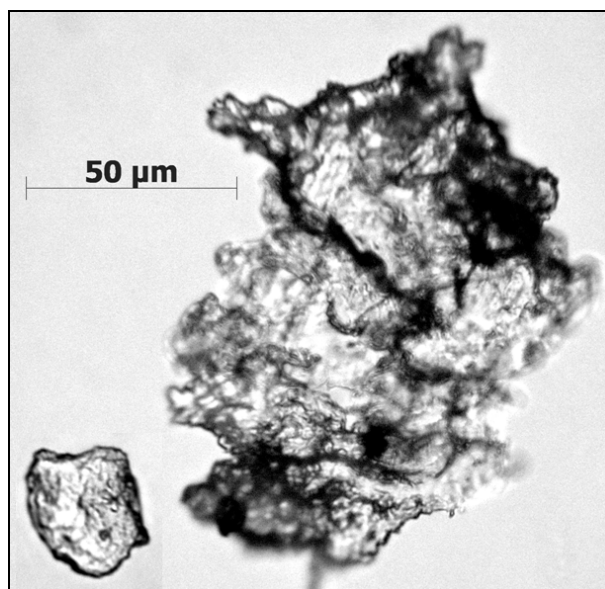


Figure 2: Weathering of clast surface particle: sampling site Plešivec hill, České středohoří-mts.  
(Source: by authors)

## 4 Discussion

During the research and after the concurrent comparison of knowledge achieved and some general remarks from other regions made throughout the second half of the 20<sup>th</sup> century, we determined the following maintaining ambiguities or lacks of rigour in a scientific interest, which should be solved and improved in the future:

a) Systematic field research using comparable list for description is necessary, emerging into the regional comparisons and statistical assessments (role of lithology, etc.);

b) Process-oriented research should focus on the intensity and factors of recent activity, especially on chemical and climate-triggered weathering and biogeomorphologic observations of the dynamics. Therefore, for instance, this winter the microclimatic measurements using MINIKIN TH Dataloggers and their correlation with geomorphic character of sites will be conducted.

c) The age of the rock-mantled slopes may be studied only with appreciation of the (b) aims, of the geosystemic and therefore polygenetic and nonlinear gist of rock-mantled slopes, and at last of the correlation of relative and absolute dating techniques including Schmidt hammer measurements, sedimentary record, dating of biological material, geomorphologic measurements and others. However, application of these methods is often limited by unsuitable conditions at mostly steep and rocky slopes.

## Conclusions

In the article, we deal with a geomorphologic research of rock-mantled slopes in the model regions of the České středohoří-mts. and National Park Podyjí. Firstly,

we focused on some general consideration on the development of the research of these landforms in the World and in Czechia, and of their environmental significance. Further, using manifold methods varying from systematic field work, geomorphologic measurements, to relative dating and laboratory analyses, we summarize the most important results of the concurrent research and determine the crucial issues for future studies.

## References

- [1] Abrahams, A., Howard, A. D., Parsons, A. J. *Rock-mantled slopes*. In: Abrahams, A., Parsons, A. (eds.): *Geomorphology of Desert Environments*. Chapman & Hall, London, 1994, 173-212
- [2] Boelhouwers, J. C., Meiklejohn, K. I. *Quaternary periglacial and glacial geomorphology of Southern Africa: review and synthesis*. South Africa Journal of Science 98 – Periglacial Research, 2002, 47-55
- [3] Brzák, M. *Balvanové proudy a skalní tvary v údolí Dyje (NP Podyjí)*. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol. 85, Brno, 2000, 135-150
- [4] Canadell, J.G., Pataki, D.E., Pitelka, L.F. (eds.). *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2007, 336 p.
- [5] Cílek, V. *Scree Slopes and Boulder Fields of Northern Bohemia: Origin, Processes and Dating*. In: Kubát, K. (et al): *Stony Debris Ecosystems*. Acta Universitatis Purkinianae 52, Studia Biologica IV, UJEP, Ústí nad Labem, 2000, 5-18
- [6] Czudek, T. *Vývoj reliéfu krajiny České republiky v Kvartéru*. Moravské zemské muzeum, Brno, 2005, 238 p.
- [7] French, H. M. *The Periglacial Environment*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2007, 478 p.
- [8] Goudie, A. The Schmidt Hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography* 30 (6), 2006, 703-718
- [9] Héту, B., Gray, J. T. *Effect of environmental change on scree slope development throughout the postglacial period in the Chic-Choc Mountains in the northern Gaspé Peninsula, Quebec*. *Geomorphology* 32, 2000, 335-355
- [10] Kirchner, K., Cílek, V., Máčka, Z. *Nové údaje o podmrzajících sutích v Českém Středohoří*. In: Prášek, J. (ed.): *Současný stav geomorfologických výzkumů*, ČAG, PřF Ostravské Univerzity, Ostrava, 2001.
- [11] Král, V. *Geomorfologie střední části Českého středohoří*. Rozpravy ČSAV, řada matematických a přírodních věd 78/9, Academia, Praha, 1966, 65 p.
- [12] Křížek, M. *Periglacial landforms above the alpine timberline in the High Sudetes*. In: Kalvoda, J., Goudie, A. S. (eds.): *Geomorphological variations*. P3K Publishing, Praha, 2007, 313-338
- [13] Kubát, K. *Luftströmung in der Blockhalden des Böhmisches Mittelgebirges als ein mikroklimatischer Faktoren*. In: Mösel, B. M., Molenda, R. (eds.): *Lebensraum Blockhalde. Zur Ökologie periglazialer Blockhalden im Ausseralpinen Mitteleuropa*. Decheniana 37, Bonn, 1999, 81-84
- [14] Kubát, K. et al. *Stony Debris Ecosystems*. Acta Universitatis Purkinianae 52, Studia Biologica IV, UJEP, Ústí nad Labem, 2000, 202 p.
- [15] Naylor, L. A., Viles, H.A., Carter, N.E.A. *Biogeomorphology revisited: looking towards the future*. *Geomorphology* 47, 2002, 3-14
- [16] Pawelec, H. *Origin and palaeoclimatic significance of the Pleistocene slope covers in the Cracow Upland, southern Poland*. *Geomorphology* 74, 2006, 50-69
- [17] Raška, P. *Comments on the recent dynamics of scree slopes in the České středohoří-mts*. In: Hradecký, J., Pánek, T. (eds.): *Geomorfologický sborník 6 - Stav geomorfologických výzkumů v roce 2007*, Malenovice 2. - 4. 4. 2007, OSU - ČAG, Ostrava, 2007, 47
- [18] Raška, P. *Geomorfologické aspekty environmentálních změn suťových akumulací*. In: Herber, V. (ed.): *Fyzickogeografický sborník, 24. výroční konference FG sekce ČGS, MU, Brno*, (in press)
- [19] Stoffel, M. *Spatio-temporal variations of rockfall activity into forest - results from tree-ring and tree analyses*. Ph.D. Thesis, Universität Freiburg, 2005, 190 p.
- [20] Zacharda, M. *Biogeographic significance of the ice-retaining talus formations in central Europe - a research project of the Czech Academy of Sciences 1999-2001*. In: Kubát, K. (et al): *Stony Debris Ecosystems*. Acta Universitatis Purkinianae 52, Studia Biologica IV, UJEP, Ústí nad Labem, 2000, 37-40

# Wavelet solution of the direct problem of the stationary geoelectrical field in a non-homogeneous environment

Eva Rudolfová

College of Logistics, p.u., Přerov

## Abstract

The contribution deals with a solution of the direct geophysical problem for the stationary electrical field in the non-homogeneous environment. The environment is represented by a planar domain composed from several subdomains, i.e. homogeneous environments with different resistivity. The solution is based on a wavelet-Galerkin discretization of the problem via a fictitious domain formulation. Therefore two kinds of the Lagrange multipliers are considered: the first one enforces the boundary condition on the real domain while the second one is located on interfaces of the homogeneous environments and ensures the continuity of the potential of the electrical field. Multilevel structure of the wavelet spaces enables to solve efficiently the linear systems arising from the discretization. The numerical experiments described in the paper confirm the efficiency of the method as well as the agreement with the physical reality.

**Keywords:** electrical potential, wavelet, Galerkin method, fictitious domain

## 1 Introduction

The computation of electrical potential in an non-homogeneous environment of terrestrial half-space is a problem that is necessary to solve as a part of the geoelectrical problems (see Fig.1).

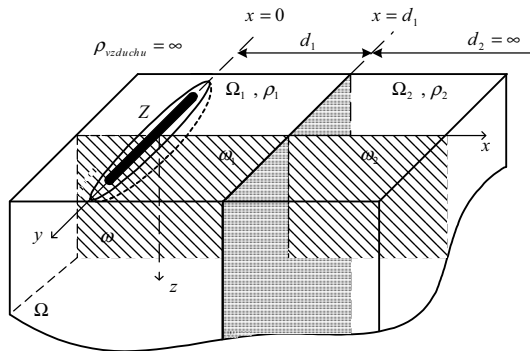


Figure 1 : Section at terrestrial half-space

The mathematical model leads to the Laplace or Poisson equation in the homogeneous environment without or with sources, respectively. The values of the potential far from sources may be conceived as zero and therefore we obtain a Dirichlet boundary value problem for PDE's of elliptic type on composed domain. The

Galerkin discretization is the suitable tool for numerical solution such problems and the standard finite element method (FEM) using polynomial basis functions is one of its realizations.

The wavelet-Galerkin discretization based on the use wavelet basis functions is an alternative to the FEM. Its implementation is rather different due to the different importance of the mesh in the discretization process. The mesh in the FEM is defined as a partition of the domain representing the environment and the basis functions are defined on this mesh. On the other hand the wavelet-Galerkin discretization in our approach uses the mesh independent on the domain of the solved PDE's problem. The wavelets are usually introduced as functions of one variable on a certain equidistant mesh. The wavelets of two (and more) variables are defined then by tensor product technique and therefore their definition domain is the rectangle with the rectangular mesh obtained as the cartesian product of meshes from one variable. A natural way how to solve PDE's problems by means of wavelets on a general domain  $\omega$  is to embed  $\omega$  in a larger rectangular (fictitious) domain  $\Omega$ . The PDE's problem is then solved on  $\Omega$  with the boundary conditions enforced by means of a Lagrange multiplier introduced on the boundary of  $\omega$ . Two kinds of the Lagrange multipliers are considered in this paper. The first one enforces the boundary condition on the domain  $\omega$  while the second one is located on interfaces of the homogeneous environments and ensures the continuity of the potential of the electrical field.

## 2 Formulation of the problem

Let us consider a system of  $s$  homogeneous environments given as non-overlapping domains  $\omega_i \in \mathbf{R}^2$  with sufficiently smooth boundaries  $\gamma_i \equiv \partial\omega_i$  and with constant electrical resistivities  $\rho_i$  (see Fig.2). The non-homogeneous environment is represented by the domain  $\omega$  composed from  $\omega_i$  by  $\bar{\omega} = \cup_{i=1}^s \bar{\omega}_i$  with a sufficiently smooth boundary  $\gamma \equiv \partial\omega$ . We call an *interface* the non-empty intersection between the boundaries of two neighbouring different homogeneous environments, we denote them by  $\Theta_j \equiv \partial\omega_j \cap \partial\omega_{j+1}$ ,  $1 \leq j \leq s-1$ .

Finally we define  $\Theta$  by  $\bar{\Theta} = \cup_{j=1}^{s-1} \bar{\Theta}_j$ . The current source will be situated in the center of certain subdomain  $\omega_i$  and we will compute the electrical potential in the middle of domain  $\omega$ .

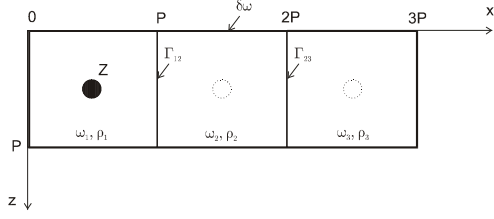


Figure 2 : System of homogeneous environments

The electrical potential  $u$  defined in  $\omega$  by  $u(X) = u_i(X)$ ,  $X \in \omega_i$ ,  $1 \leq i \leq s$ , satisfies the following equations:

$$-\frac{1}{\rho_i} \Delta u_i = f_i \quad \text{in } \omega_i \quad (2.1)$$

$$u = 0 \quad \text{on } \gamma \quad (2.2)$$

$$u_j = u_{j+1} \quad \text{on } \Theta_j \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{\rho_j} \frac{\partial u_j}{\partial n_j} = \frac{1}{\rho_{j+1}} \frac{\partial u_{j+1}}{\partial n_j} \quad \text{on } \Theta_j \quad (2.4)$$

where  $1 \leq i \leq s$ ,  $1 \leq j \leq s-1$ ,  $f_i \in L^2(\omega_i)$  and  $n_j$  denotes the unit normal vector to  $\Theta_j$ . Let us point out that  $f_i \equiv 0$  in environments without electrical sources.

Before we give a weak formulation of this problem, we first introduce the following notations:

- the constrained Sobolev space

$$\mathbf{V}(\omega) = \left\{ v = (v_1, \dots, v_s) : v_i \in H^1(\omega_i), v_i = 0 \text{ on } \gamma \cap \gamma_i, 1 \leq i \leq s, v_j = v_{j+1} \text{ on } \Theta_j, 1 \leq j \leq s-1 \right\}$$

- the bilinear functional  $a_\omega : \mathbf{V}(\omega) \times \mathbf{V}(\omega) \rightarrow \mathbf{R}$ ,

$$a_\omega(u, v) = \sum_{i=1}^s a_{\omega_i}(u_i, v_i), \quad (2.5)$$

$$a_{\omega_i}(u_i, v_i) = \frac{1}{\rho_i} \int_{\omega_i} \nabla u_i \cdot \nabla v_i dx$$

- the linear functional  $b_\omega : \mathbf{V}(\omega) \rightarrow \mathbf{R}$ ,

$$b_\omega(v) = \sum_{i=1}^s b_{\omega_i}(v_i), \quad (2.6)$$

$$b_{\omega_i}(v_i) = \int_{\omega_i} f v_i dx.$$

By the weak formulation of (2.1)-(2.4) we mean the problem

$$(P(\omega)) \quad \begin{cases} \text{Find } u \in \mathbf{V}(\omega) \text{ such that} \\ a_\omega(u, v) = b_\omega(v) \quad \forall v \in \mathbf{V}(\omega). \end{cases}$$

In order to obtain an equivalent formulation of the problem more suitable for the wavelet-Galerkin discretization, we impose each domain  $\omega_i$  in a large rectangular fictitious domain  $\Omega_i$  such that  $\bar{\omega}_i \subset \Omega_i$ .

Define  $\Omega$  by  $\bar{\Omega} = \cup_{i=1}^s \bar{\Omega}_i$  and notice that now the domains  $\Omega_i$  may be overlapping. Instead of  $(P(\omega))$ , we shall solve the problem on the constrained Sobolev space

$$\mathbf{V}(\omega, \Omega) = \left\{ v = (v_1, \dots, v_s) : v_i \in H^1_{per}(\Omega_i), v_i = 0 \text{ on } \gamma \cap \gamma_i, 1 \leq i \leq s, v_j = v_{j+1} \text{ on } \Theta_j, 1 \leq j \leq s-1 \right\}$$

reading as follows:

$$(P'(\Omega)) \quad \begin{cases} \text{Find } w \in \mathbf{V}(\omega, \Omega) \text{ such that} \\ a_\Omega(w, v) = b_\Omega(v) \quad \forall v \in \mathbf{V}(\omega, \Omega) \end{cases}$$

where  $a_\Omega$ ,  $b_\Omega$  are defined by (2.5) and (2.6) replacing  $\omega$  by  $\Omega$ . It is easy to show that the problem  $(P'(\Omega))$  has an unique solution  $w$  and that its restriction  $u \equiv w|_\omega$  solves the problem  $(P(\omega))$ .

Our aim is to state the problem  $(P'(\Omega))$  on the unconstrained Sobolev space

$$\mathbf{V}(\Omega) = \left\{ v = (v_1, \dots, v_s) : v_i \in H^1_{per}(\Omega_i), 1 \leq i \leq s \right\}.$$

For this purpose, we chose the Lagrange multiplier spaces as

$$\Lambda(\gamma) = \left\{ \lambda_\gamma = (\lambda_{\gamma_1}, \dots, \lambda_{\gamma_s}) : \lambda_{\gamma_i} \in H^{-1/2}(\gamma \cap \gamma_i), 1 \leq i \leq s \right\}$$

$$\Lambda(\Theta) = \left\{ \lambda_\Theta = (\lambda_{\Theta_1}, \dots, \lambda_{\Theta_{s-1}}) : \lambda_{\Theta_j} \in H^{-1/2}(\Theta_j), 1 \leq j \leq s-1 \right\}$$

Here  $H^{-1/2}(\chi)$  denotes the dual space of  $H^{1/2}(\chi)$  and  $\langle \cdot, \cdot \rangle_\chi$  is the duality pairing between these two spaces.

Finally we define

$$\langle \lambda_\gamma, v \rangle_\gamma = \sum_{i=1}^s \langle \lambda_{\gamma_i}, v_i \rangle_{\gamma \cap \gamma_i},$$

$$\langle \lambda_\Theta, v \rangle_\Theta = \sum_{j=1}^{s-1} \langle \lambda_{\Theta_j}, v_{j+1} - v_j \rangle_{\Theta_j},$$

for  $\lambda_\gamma \in \Lambda(\gamma)$ ,  $\lambda_\Theta \in \Lambda(\Theta)$ ,  $v \in \mathbf{V}(\Omega)$ . Introducing the Lagrange multipliers as additional unknowns we can rewrite the problem  $(P'(\Omega))$  in the equivalent form called the *saddle-point formulation*:

$$(P(\Omega)) \left\{ \begin{array}{l} \text{Find } (w, \lambda_\gamma, \lambda_\Theta) \in \mathbf{V}(\Omega) \times \Lambda(\gamma) \times \Lambda(\Theta) \text{ such that} \\ a_\Omega(w, v) + \langle \lambda_\gamma, v \rangle_\gamma + \langle \lambda_\Theta, v \rangle_\Theta = b_\Omega(v) \quad \forall v \in \mathbf{V}(\Omega), \\ \langle \mu_\gamma, w \rangle_\gamma + \langle \mu_\Theta, w \rangle_\Theta = 0 \quad \forall (\mu_\gamma, \mu_\Theta) \in \Lambda(\gamma) \times \Lambda(\Theta). \end{array} \right.$$

The first Lagrange multiplier  $\lambda_\gamma$  enforces the boundary condition (2.2), while the second one  $\lambda_\Theta$  guarantees the continuity of the electrical potential (2.3) and in weak sense the condition (2.4).

### 3 Wavelet discretization

The wavelet-Galerkin discretization of the problem  $(P(\Omega))$  consists in replacing  $\mathbf{V}(\Omega)$ ,  $\Lambda(\gamma)$ , and  $\Lambda(\Theta)$  by their finite dimensional approximations associated with wavelet functions and wavelet meshes. Therefore we will briefly introduce the definition of the orthogonal compactly supported wavelets and describe their basic properties.

#### 3.1 Scaling and wavelet spaces

The *scaling function*  $\phi$  is determined as unique solution of the equation

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} h_k \phi(2x-k) \quad (3.1)$$

such that  $\phi(\cdot-k)$ ,  $k \in \mathbf{Z}$  is an orthogonal system in  $L^2(\mathbf{R})$ . This orthogonality property is satisfied by providing a special choice of the real numbers  $h_k$ . Then the corresponding wavelet is defined by

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} g_k \phi(2x-k)$$

where  $g_k = (-1)^k h_{2N-1-k}$ . Both the scaling function and the wavelet have compact support,  $\text{supp } \phi = \text{supp } \psi = (0, 2N-1)$ , and are mutually orthogonal in  $L^2(\mathbf{R})$ . Moreover for each  $m \in \mathbf{Z}$ , we define the following sets of orthogonal functions  $\phi_k^m(\cdot) = 2^{m/2} \phi(2^m \cdot -k)$ ,  $\psi_k^m(\cdot) = 2^{m/2} \psi(2^m \cdot -k)$ ,  $k \in \mathbf{Z}$ .

Now let us consider the finite interval  $(0, P)$ ,  $P \in \mathbf{N}$ ,  $P \geq 4N-3$ . The scaling spaces  $V^m = V^m(0, P)$  and the *wavelet spaces*  $W^m = W^m(0, P)$  over the interval  $(0, P)$  are introduced by means of periodization:

$$V^m = \left\{ v : v(x) = \sum_k c_k^m \phi_k^m(x), c_{k+n}^m = c_k^m, x \in (0, P) \right\},$$

$$W^m = \left\{ v : v(x) = \sum_k d_k^m \psi_k^m(x), d_{k+n}^m = d_k^m, x \in (0, P) \right\},$$

where  $n \equiv 2^m P = \dim V^m = \dim W^m$ . It is well-known that  $V^m$  and  $W^m$ ,  $m \in \mathbf{Z}$  form multiresolution analysis of  $L^2(0, P)$ . In particular, it means that the following relations are hold:

$$V^m = V^{m-1} \oplus W^{m-1}, \quad V^{m-1} \perp W^{m-1}, \quad m \in \mathbf{Z}, \quad (3.2)$$

i.e.  $W^{m-1}$  is the orthogonal complement of  $V^{m-1}$  in  $V^m$ . As a consequence, we obtain two ways how to express  $v \in V^m$  by the orthogonal functions  $\phi_k^m$  or  $\phi_k^{m-1}$ ,  $\psi_k^{m-1}$ :

$$v(x) = \sum_k c_k^m \phi_k^m(x) = \sum_k c_k^{m-1} \phi_k^{m-1}(x) + \sum_k d_k^{m-1} \psi_k^{m-1}(x)$$

The computation of the coefficients  $c_k^{m-1}$ ,  $d_k^{m-1}$  from the known  $c_k^m$  is the *wavelet transform* while the reverse computation is the *inverse wavelet transform*. The numerical realization is based on the formulas

$$c_k^{m-1} = \sum_l h_{l-2k} c_l^m, \quad d_k^{m-1} = \sum_l g_{l-2k} c_l^m \quad (3.3)$$

and

$$c_k^m = \sum_l h_{k-2l} c_l^{m-1} + \sum_l g_{k-2l} d_l^{m-1}. \quad (3.4)$$

Introducing the vectors  $\mathbf{c}^m \in \mathbf{R}^n$  of  $c_k^m$  and  $\mathbf{d}^m \in \mathbf{R}^n$  of  $d_k^m$ , the wavelet transform may be expressed more compactly by the transform matrix  $\mathbf{M}^m \in \mathbf{R}^{n \times n}$  as

$$\begin{pmatrix} \mathbf{c}^{m-1} \\ \mathbf{d}^{m-1} \end{pmatrix} = \mathbf{M}^m \mathbf{c}^m. \quad (3.5)$$

The comparison of (3.4) and (3.3) implies that the inverse wavelet transform is given by the transpose matrix:

$$\mathbf{c}^m = (\mathbf{M}^m)^T \begin{pmatrix} \mathbf{c}^{m-1} \\ \mathbf{d}^{m-1} \end{pmatrix}. \quad (3.6)$$

Therefore the matrix  $\mathbf{M}^m$  is orthogonal.

Definition of the scaling and the wavelet spaces over the rectangular domain  $\Theta = (0, P_x) \times (0, P_y)$  is based on the tensor product of the function spaces:

$$V^m(\Theta) = V^m(0, P_x) \otimes V^m(0, P_y),$$

$$W_{0,1}^m(\Theta) = V^m(0, P_x) \otimes W^m(0, P_y),$$

$$W_{1,0}^m(\Theta) = W^m(0, P_x) \otimes V^m(0, P_y)$$

$$W_{1,1}^m(\Theta) = W^m(0, P_x) \otimes W^m(0, P_y)$$

Here, the all spaces have the same dimension equal to  $n = n_x n_y$  where  $n_x = \dim V^m(0, P_x)$ ,  $n_y = \dim V^m(0, P_y)$ . Similarly as in the case of the one variable, we obtain the multiresolution analysis of  $L^2(\Theta)$  and therefore the relations analogous to (3.2) are hold:

$$V^m(\Theta) = V^{m-1}(\Theta) \oplus W_{0,1}^{m-1}(\Theta) \oplus W_{1,0}^{m-1}(\Theta) \oplus W_{1,1}^{m-1}(\Theta),$$

where the spaces on the right-hand side are mutually orthogonal. The scaling space  $V^m(\Theta)$  can be represented by means of the scaling function  $\phi$  as

$$V^m(\Theta) = \left\{ v : v(x, y) = \sum_{kl} c_{k,l}^m \phi_k^m(x) \phi_l^m(y), \right. \\ \left. c_{k+n_x, l}^m = c_{k, l}^m = c_{k, l+n_y}^m, x \in (0, P_x), y \in (0, P_y) \right\}$$

The wavelet spaces  $W_{0,1}^m(\Theta)$ ,  $W_{1,0}^m(\Theta)$  and  $W_{1,1}^m(\Theta)$  have an analogous representation using the wavelet  $\psi$ . Now the matrix of the wavelet transform  $\mathbf{M}^m \in \mathbf{R}^{n \times n}$  is given by the tensor product of the matrices  $\mathbf{M}_x^m \in \mathbf{R}^{n_x \times n_x}$  and  $\mathbf{M}_y^m \in \mathbf{R}^{n_y \times n_y}$  representing the wavelet transform in the case of the one variable, i.e.

$$\mathbf{M}^m = \mathbf{M}_x^m \otimes \mathbf{M}_y^m \quad (3.7)$$

Let us point out that the wavelet transform and its inversion are formally the same as in (3.5) and (3.6), respectively. However, now the vectors  $\mathbf{c}^{m-1}$ ,  $\mathbf{d}^{m-1}$  have an inner block structure corresponding to the tensor product definition of  $\mathbf{M}^m$ .

### 3.2 Approximation of $(P(\Omega))$

The approximation of the unconstrained space  $\mathbf{V}(\Omega)$  is simple. We replace each space  $H_{per}^1(\Omega_i)$  in the definition of  $\mathbf{V}(\Omega)$  by the scaling space  $V^m(\Omega_i)$ , i.e.

$$\mathbf{V}^m(\Omega) = \{v = (v_1, \dots, v_s) : v_i \in V^m(\Omega_i), 1 \leq i \leq s\}.$$

In order to obtain an inner approximation of  $\mathbf{V}(\Omega)$ , we have to consider the scaling function  $\phi$  with the parameter  $N \geq 3$  in the equation (3.1). Then  $\mathbf{V}^m(\Omega) \subset \mathbf{V}(\Omega)$ . Moreover, we introduce still  $\mathbf{W}_{0,1}^m(\Omega)$ ,  $\mathbf{W}_{1,0}^m(\Omega)$  and  $\mathbf{W}_{1,1}^m(\Omega)$  replacing  $H_{per}^1(\Omega_i)$

by  $W_{0,1}^m(\Omega_i)$ ,  $W_{1,0}^m(\Omega_i)$  and  $W_{1,1}^m(\Omega_i)$  respectively in the definition of  $\mathbf{V}(\Omega)$ .

An appropriate approximation of the Lagrange multiplier spaces  $\Lambda(\gamma)$  and  $\Lambda(\Theta)$  uses the *wavelet mesh*. At first we show an approximation of  $H^{-1/2}(\chi)$  where  $\chi$  is a curve (part of a boundary) in  $\Theta = (0, P_x) \times (0, P_y)$ . The wavelets are defined on the rectangular mesh

$$D^m(\Theta) = \{R_{k,l} : R_{k,l} = (2^{-m}(k-1), 2^{-m}k) \times (2^{-m}(l-1), 2^{-m}l), \\ 1 \leq k \leq n_x, 1 \leq l \leq n_y\}$$

The rectangles intersected by  $\chi$  form the set

$$D^m(\Theta, \chi) = \{R_{k,l} : R_{k,l} \in D^m(\Theta), \bar{R}_{k,l} \cap \chi \neq \emptyset\}$$

and the approximation of  $\chi$  is given by

$$[\chi] = \bigcup_{R_{k,l} \in D^m(\Theta, \chi)} R_{k,l}.$$

Our approximation of  $H^{-1/2}(\chi)$  is defined by

$$\Lambda^m([\chi]) = \{\lambda \in L^2([\chi]) : \lambda|_{R_{k,l}} \text{ is a constant for any } R_{k,l} \\ R_{k,l} \in D^m(\Theta, \chi)\}$$

Obviously,  $p \equiv \dim \Lambda^m([\chi]) = \text{card } D^m(\Theta, \chi)$  and the basis functions of  $\Lambda^m([\chi])$  are indicator functions of the rectangles  $R_{k,l} \in D^m(\Theta, \chi)$  (equal to one inside and zero outside of  $R_{k,l}$ ). Notice that  $\Lambda^m([\chi])$  is an external approximation of  $H^{-1/2}(\chi)$ . Therefore we have to choose a appropriate approximation of the duality pairing  $\langle \cdot, \cdot \rangle_\chi$ . A natural way used below is the  $L^2([\chi])$ -scalar product denoted by  $(\cdot, \cdot)_{[\chi]}$ .

For the sake of simplicity, we consider that the conforming wavelet meshes are used to discretize  $(P(\Omega))$ . By this we mean that the meshes  $D^m(\Omega_i)$  and  $D^m(\Omega_j)$  are identical on the non-empty intersection  $\Omega_i \cap \Omega_j$ ,  $i \neq j$ . Now we are prepare to approximate the Lagrange multiplier spaces

$$\Lambda^m([\gamma]) = \{\lambda_{[\gamma]} = (\lambda_{[\gamma_1]}, \dots, \lambda_{[\gamma_s]}) : \lambda_{[\gamma_i]} \in \Lambda^m([\gamma \cap \gamma_i]), \\ 1 \leq i \leq s\}$$

$$\Lambda^m([\Theta]) = \{\lambda_{[\Theta]} = (\lambda_{[\Theta_1]}, \dots, \lambda_{[\Theta_s]}): \lambda_{[\Theta_j]} \in \Lambda^m([\Theta_j]), 1 \leq j \leq s-1\}$$

and the approximation of the problem  $(P(\Omega))$  reads as follows:

$$(P^m(\Omega)) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Find } (w, \lambda_{[\gamma]}, \lambda_{[\Theta]}) \in \mathbf{V}^m(\Omega) \times \Lambda^m([\gamma]) \times \Lambda^m([\Theta]) \text{ such that} \\ a_{\Omega}(w, v) + (\lambda_{[\gamma]}, v)_{[\gamma]} + (\lambda_{[\Theta]}, v)_{[\Theta]} = b_{\Omega}(v) \quad \forall v \in \mathbf{V}^m(\Omega), \\ (\mu_{[\gamma]}, w)_{[\gamma]} + (\mu_{[\Theta]}, w)_{[\Theta]} = 0 \quad \forall (\mu_{[\gamma]}, \mu_{[\Theta]}) \in \Lambda^m([\gamma]) \times \Lambda^m([\Theta]). \end{array} \right.$$

The equivalent algebraic representation of  $(P^m(\Omega))$  has the following form:

$$(P^m(\Omega)) \left\{ \begin{array}{l} \text{Find } (\mathbf{w}^m, \lambda_{[\gamma]}^m, \lambda_{[\Theta]}^m) \in \mathbf{R}^{n_s} \times \mathbf{R}^{p_{\gamma}} \times \mathbf{R}^{p_{\Theta}} \text{ such that} \\ \mathbf{A}^m \mathbf{w}^m + (\mathbf{B}_{[\gamma]}^m)^T \lambda_{[\gamma]}^m + (\mathbf{B}_{[\Theta]}^m)^T \lambda_{[\Theta]}^m = \mathbf{b}^m, \\ \mathbf{B}_{[\gamma]}^m \mathbf{w}^m = \mathbf{0}, \\ \mathbf{B}_{[\Theta]}^m \mathbf{w}^m = \mathbf{0}. \end{array} \right.$$

Here,  $\mathbf{A}^m$  is the stiffness matrix of the type  $(n_s \times n_s)$  where  $n_s = \dim \mathbf{V}^m(\Omega)$  and  $\mathbf{B}_{[\gamma]}^m$ ,  $\mathbf{B}_{[\Theta]}^m$  are the transformation matrices of the type  $(p_{\gamma} \times n_s)$ ,  $(p_{\Theta} \times n_s)$ , respectively where  $p_{\gamma} = \dim \Lambda^m([\gamma])$ ,  $p_{\Theta} = \dim \Lambda^m([\Theta])$ . The matrix  $\mathbf{A}^m$  has the block-diagonal structure with the diagonal blocks  $\mathbf{A}_i^m$  corresponding to the domains  $\Omega_i$ . Therefore  $\mathbf{A}_i^m$  are the singular matrices of the tensor product type. However the matrix of the whole linear system in  $(P^m(\Omega))$  is regular.

## 4 Numerical experiments

Let us consider the non-homogeneous environment with  $s=3$ , i.e. three homogeneous environments  $\omega_1 = (0,9) \times (0,9)$ ,  $\omega_2 = (9,18) \times (0,9)$  and  $\omega_3 = (18,27) \times (0,9)$  with the resistivities  $\rho_1 = 10^2$ ,  $\rho_2 = 10^{-1}$  and  $\rho_3 = 10^5$ , respectively. The fictitious domains are chosen as  $\Omega_1 = (-2,11) \times (-2,11)$ ,  $\Omega_2 = (7,20) \times (-2,11)$  and  $\Omega_3 = (16,29) \times (-2,11)$ .

The discretization level is chosen as  $m=1$ . Hence, the stiffness matrix  $\mathbf{A}$  has order  $n=2028$  and the condition number of the whole matrix in  $(P^m(\Omega))$  is

estimated as  $5.95 \cdot 10^8$ . The Figure 3 shows the potentials computed for three problems with different localization of the electrical sources occurring in the centers of  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  or  $\omega_3$ , respectively. The interfaces represented by the lines  $x=9$  and  $x=18$  are well visible on the all graphs.

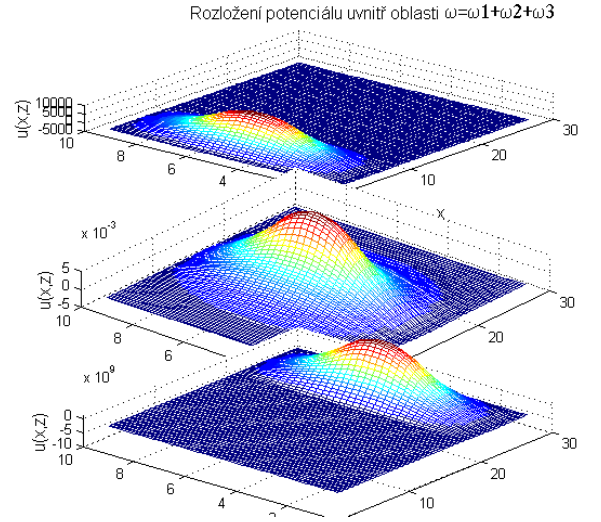


Figure 3: Three examples of the electrical potentials

## References

- [1] N. Častová, E. Dršáková, R. Kučera, *A wavelet multilevel solution of the stationary geoelectrical field in the non-homogeneous environment*, Mathematical modelling, Vol. 14, No 5, 2002, Moscow, Nauka, RAS, pp. 98-108, ISSN 0234-0879
- [2] R. Kučera, E. Dršáková, *Fast solution of saddle point system of linear equations*, Proceedings of conference Contemporary mathematical method in engineering, ed. VŠB-TU Ostrava, 2002
- [3] N. Častová, E. Dršáková, R. Kučera, *Solving of the Stationary Geoelectrical Field in the Non-Homogeneous Environment*, 2nd International Conference APLIMAT 2003, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic, 2003, pp. 236-268, ISBN 80-227-1813-0



# Problematika modelování dynamického zatížení v programovém systému Plaxis 2D

Martin Stolarík<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>VŠB-Technical University of Ostrava, <sup>2</sup>Ústav Geoniky AV ČR

## Abstract

Paper deals with search study themed modelling of dynamical load by utilize the finite element method of Plaxis 2D programming system. In this article, four dynamical model examples are presented, which represent natural and technical seismicity with different access to setting of own dynamic load into models.

**Keywords:** technical seismicity, dynamic load.

## 1 Úvod

Matematické modelování zažívá v posledních letech obrovský rozvoj a je nedílnou součástí projektu a realizace téměř jakékoliv stavby. Samostatnou kapitolu tvoří modelování geotechnických problémů, v nichž narozdíl od klasických pozemních a průmyslových staveb modelujeme prostředí, v němž většinou neznáme přesně ani parametry stavebního materiálu (zeminy či horniny) ani přesné geometrické uspořádání, z něhož vychází geometrie modelu.

Příspěvek je zpracován jako rešeršní studie zabývající se modelováním dynamických účinků za použití programového systému Plaxis 2D [1].

## 2 Programový systém Plaxis 2D – obecná charakteristika z hlediska možností modelování vlivů technické a přirozené seizmicity

Programový systém Plaxis byl vyvinut pro statickou i dynamickou analýzu napětíodeformačního stavu v geotechnických úlohách. Systém pracuje na principu konečných prvků. Dynamický modul umožňuje řešit úlohy týkající se jak dynamických vlivů v důsledku lidské činnosti (technická seizmicita), tak i vlivů přirozené seizmicity. [2]

Obecně můžeme tyto úlohy rozdělit do dvou základních skupin:

- 1) Modelování dynamických vlivů v důsledku osamělého zdroje vibrací: Dynamický problém je modelován jako axisymetrický, vlny se v tomto modelu šíří radiálně, analogicky jako v reálné prostorové situaci. Vibrační energie se se vzdávající radiální vzdáleností od zdroje snižuje (geometrické tlumení), není nutno zohledňovat materiálové tlumení.
- 2) Modelování vlivu zemětřesení: Dynamické zatížení je v případě úloh tohoto typu aplikováno podél spodní hranice modelu, přičemž smykové vlny se šíří od této hranice směrem nahoru. Tento typ úloh je modelován pomocí rovinného přetvoření, nezahrnuje tedy geometrické tlumení. Pro získání realistických výsledků modelu je nutno do výpočtu zahrnout materiálové tlumení.

## 3 Tvorba dynamického modelu

Při tvorbě dynamického modelu je obecný postup analogický jako v případě statické analýzy, zahrnuje zadání geometrie modelu, hraničních podmínek, generaci sítě a zadání počátečních podmínek.

### Základní parametry modelu

V závislosti na typu řešené úlohy se volí základní typ modelu (rovinné přetvoření nebo axisymetrický model). Do základního nastavení patří rovněž zadání parametrů určujících výšku a délku modelu, zadání gravitačního zrychlení a používaných fyzikálních jednotek.

### Charakteristika hraničních podmínek modelu dynamického zatížení

Při modelování seizmických vlivů je vždy nutno do výpočtu kromě standartních geometrických hraničních podmínek (nejčastěji tzv. tuhá vana), omezující na hranici posuny v příslušném směru, zavést rovněž podmínky absorpce na hranici. Bez zavedení absorpčních podmínek by docházelo k nereálnému

<sup>1</sup> martin.stolarik@vsb.cz

<sup>2</sup> stolarik@ugn.cas.cz

odrazu seizmických vln zpět do modelu a k jejich vzájemné interakci.

Pro axisymetrický model se tento typ hraničních podmínek zadává pro pravou a spodní hranici modelu. V případě modelování zemětřesných jevů (rovinné přetvoření) se hraniční podmínky zadávají na obou bočních a na spodní hranici modelu.

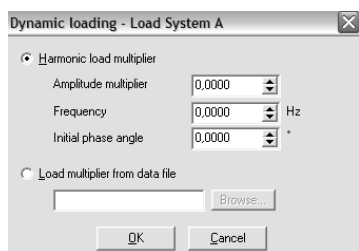
### Materiálové charakteristiky

V případě modelování dynamických vlivů je nutno kromě základních charakteristik horninového prostředí zadat rychlosti šíření vln v horninovém prostředí a charakteristiky materiálového tlumení (tzv. Rayleighovy parametry tlumení alfa a beta).

### Charakteristiky dynamického zatížení a jeho aktivace

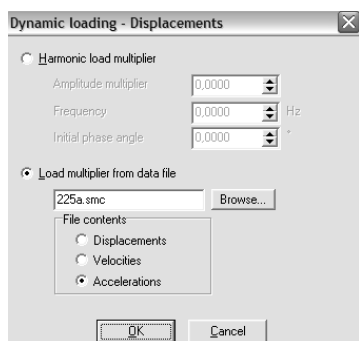
Dynamické zatížení může být v tomto výpočetním systému zadáno:

- 1) Charakteristikami harmonického kmitání (amplituda a frekvence kmitání) (Obr. 1)



Obr. 1: Zadání dynamického zatížení charakteristikami harmonického kmitání

- 2) Načtením příslušných časových hodnot posunů, rychlostí, případně zrychlení z ASCII souboru nebo ze souboru SMC (Obr. 2)



Obr. 2: Zadání dynamického zatížení ze souboru SMC

Kromě těchto uvedených charakteristik se zadává časový interval  $\Delta t$ , po který působí toto dynamické zatížení.

### Možnosti výstupů modelování seizmické odezvy programovým systémem Plaxis 2D

Programovým systémem Plaxis 2D lze vyhodnotit:

- tvar deformované sítě
- hodnoty celkových, horizontálních a vertikálních posunů
- hodnoty přetvoření
- hodnoty totální, horizontální a vertikální rychlosti
- hodnoty totálního, horizontálního a vertikálního zrychlení
- hodnoty pórových tlaků
- lokalizaci plastických bodů
- křivky časové závislosti posunů, rychlostí resp. zrychlení
- křivky pro vyhodnocení vývoje dynamického zatížení v čase

Výpočetní systém umožňuje animovat průběh vypočtených hodnot v jednotlivých časových krocích. [2]

## 4 Příklady modelování seizmických vlivů programovým systémem Plaxis 2D

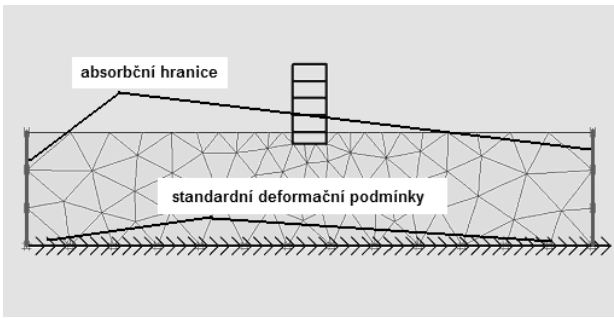
### 4.1 Modelování vlivu zemětřesení na budovu

Tento příklad ilustruje modelování chování čtyřpodlažní budovy s podsklepením a jejího podloží v průběhu zemětřesení. Šířka budovy je 6 m, délka 25m. Výška budovy nad úrovní terénu je 12 m, sklep je hluboký 2 m. Do výpočtu je zavedeno zatížení každého podlaží o velikosti  $5 \text{ kN/m}^2$ , a to prostřednictvím tíhy podlahy a stěn budovy.

Jak již bylo uvedeno, při modelování tohoto typu úlohy je nutno předpokládat podmínku rovinného přetvoření. Bezprostřední podloží budovy je tvořeno relativně měkkými zeminovými vrstvami, pod touto vrstvou je již pevná horninová vrstva, jejíž vliv není v modelu zohledněn. Samotná budova je modelována systémem nosíkových elementů. Fyzikální materiálové tlumení je realizováno prostřednictvím Rayleighova tlumení ( $\alpha_R = \beta_R = 0,01$ ).

Na hranicích modelu jsou zadány standardní deformační podmínky (tuhá vana), standardní podmínky pro modelování zemětřesení (tj. na spodní hranici modelu předepsány horizontální posuny o velikosti 1 cm) a na levé a pravé vertikální hranici modelu jsou dále uvažovány absorpční hranice (Obr. 3).

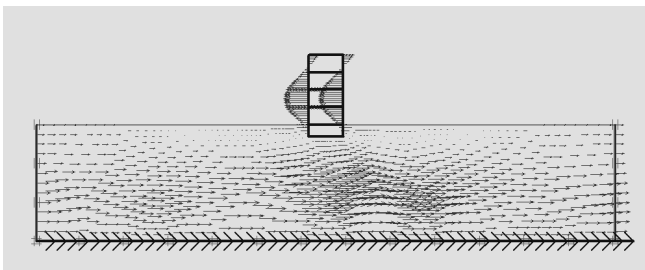
Dynamické zatížení se v tomto případě načítalo ze souboru SMC, obsahující zápis zrychlení. [2]



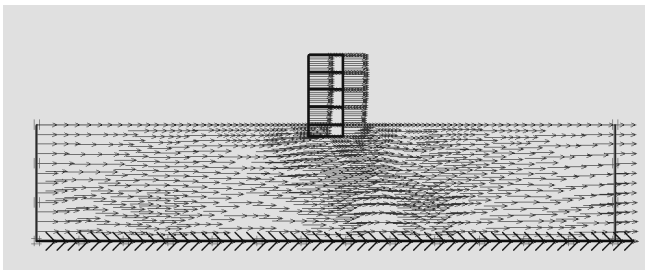
Obr. 3: Geometrie modelu

Příklady výsledků dynamického modelu jsou na obrázcích 4 a 5. V grafu 1 jsou znázorněny průběhy rychlosti a zrychlení kmitání v horizontálním směru v bodech:

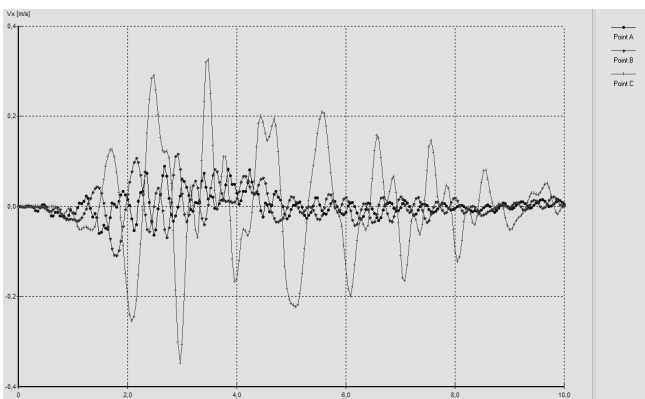
- A–bod ve středu střechy budovy
- B–bod ve středu sklepní podlahy
- C–bod na spodním okraji modelu ležící na svislici vedoucí středem budovy



Obr. 4: Grafické znázornění horizontálních rychlostí



Obr. 5: Grafické znázornění horizontálních posunů



Graf 1: Průběh rychlosti kmitání v bodech A, B, C v horizontálním směru

## 4.2 Modelování vlivu beranění štětovicových stěn na blízké podzemní dílo

Další příklad se zabývá stanovením odezvy vlivu beranění štětovicových stěn na vodovodní potrubí.

Beraněná štětovicová stěna délky 6 m je provedena ze štětovic IIIIn a je realizována v zeminovém prostředí, které je charakterizováno jílovitými zeminami s převážně vysokým stupněm plasticity pod níž je cca šesti metrová šterková vrstva, v níž je lokalizována pata štětovicové stěny. Pod touto šterkovou vrstvou je pak opět vrstva vysoce plastických jílů. Uvažované ocelové vodovodní potrubí o průměru 500/8 je umístěno v prostředí jílovitých zemin v hloubce 0.5 m pod povrchem ve vzdálenosti 1.5 m od štětovicové stěny. Beranění štětovicové stěny je prováděno beranidlem o hmotnosti 3900 kg s frekvencí 2300 ot./min (tj 38 Hz) a odpovídající amplitudou  $y=12$  mm.

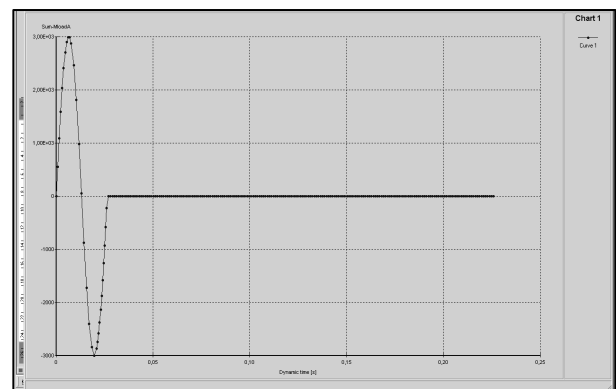
Dynamické zatížení beranidlem je v modelu určeno charakteristikami harmonického kmitání – amplitudou  $F^*$ , frekvencí kmitání  $f$  a fázovým posunem  $\Phi_0$ :

$$F = F^* \sin(\omega t + \Phi_0), \quad \omega = 2\pi f$$

Pro uvažovaný typ beranidla byla v modelu použita frekvence  $f = 38$  Hz a amplituda beranící síly  $F^* = a \cdot m = (2\pi f)^2 \cdot y$  a  $m =$  cca 3000 kN.

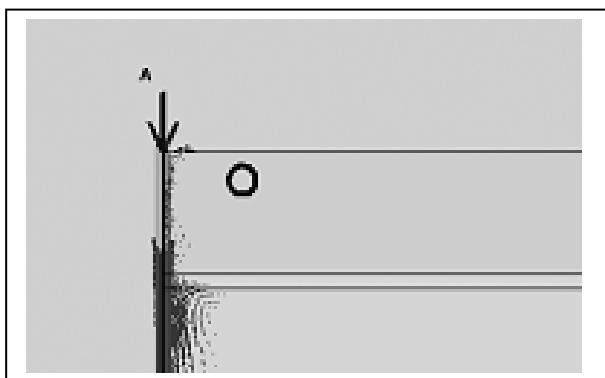
Fázový posun v této úloze nebyl uvažován, protože zavedení fázového posunu nezpůsobuje změny a materiálové tlumení lze v tomto případě zanedbat (Rayleighovy koeficienty tlumení jsou nulové).

Na základě dynamických výpočtů byly vyhodnoceny posuny (celkové, vertikální i horizontální), rychlosti a zrychlení v zeminovém prostředí a hodnoty vnitřních sil ve vodovodním potrubí v jednotlivých časových krocích  $t=0.0078$  s, 0.021 s, 0.026 s a 0.226 s. První dva uvedené časové intervaly odpovídají extrémním hodnotám vertikálních posunů hlavy piloty, třetí časový interval pak času  $t=1/f$  (tj. časovému úseku odpovídajícímu 1 rázu) a poslední hodnota odpovídá celkovému času sledování dynamických vlivů (za předpokladu, že po 1 rázu bylo beranidlo vypnuto). Časový průběh dynamického zatížení je zobrazen na obrázku 6. [3, 4]

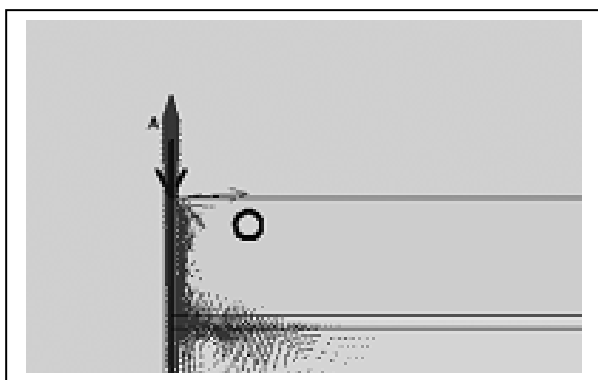


Obr. 6: Časový průběh dynamického zatížení

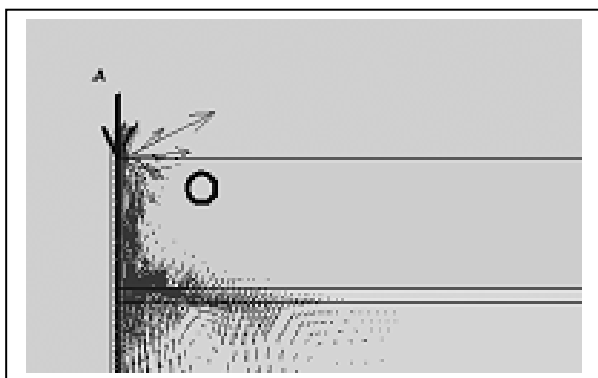
Na následujících obrázcích (Obr. 7 – 10) jsou ilustrovány příslušné hodnoty celkových posunů v jednotlivých časových fázích.



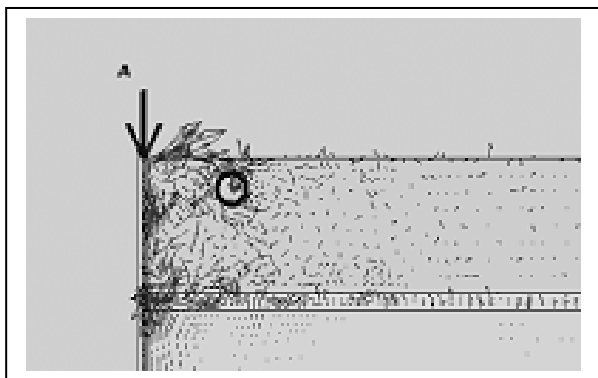
Obr. 7: Časový krok  $t=0.0078$  s,  $u_{\max}=0.1E-3$  m



Obr. 8: Časový krok 0.021 s,  $u_{\max}=0.09E-3$

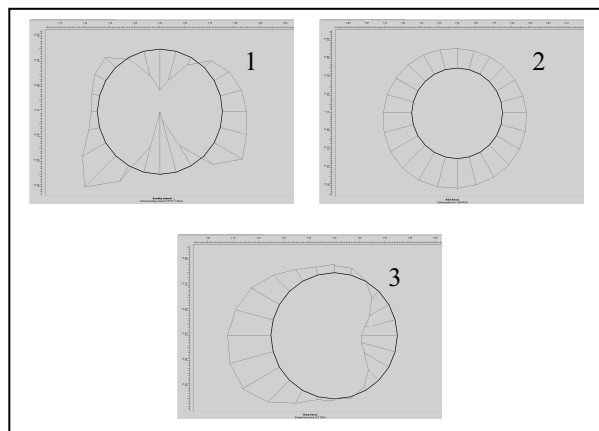


Obr. 9: Časový krok 0.026 s,  $u_{\max}=0.088E-3$



Obr. 10: Časový krok  $t=0,226$  s,  $u_{\max}=0.067E-3$  m

Obrázek 11 zobrazuje maximální hodnoty vnitřních sil ve vodovodním potrubí v průběhu dynamické analýzy a to max. normálovou silou  $-3.48$  kN/m (1), max. ohybový moment  $5.47E-3$  kNm/m (2) a maximální příčnou horizontální silou  $-6.21$  kN/m (3).



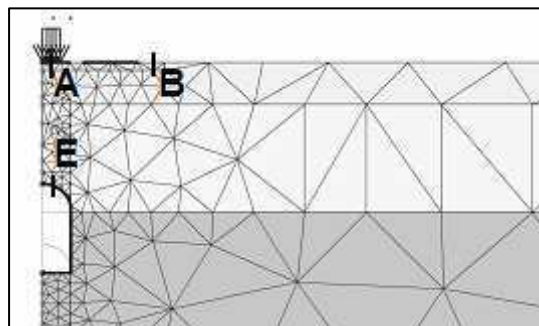
Obr. 11: Maximální hodnoty vnitřních sil

### 4.3 Modelování vlivu dynamických účinků dopravy na mělké podzemní dílo

Typickým příkladem technické seizmicity je dynamický účinek projíždějící kolové či kolejové dopravy. Následující příklad představuje model dynamického zatížení městského kolektoru projíždějící tramvajovou dopravou.

Matematický model byl vytvořen na základě měření dynamických veličin od tramvajové dopravy. Konkrétním modelovaným případem byla odevza tramvajové dopravy na kolektor „Centrum“ v Ostravě – základní geometrie modelu je na obrázku 12. Tramvajovým vozem, jehož dynamické účinky byly zaznamenávány registrační aparaturou, byla čtyřnápravová, nízkopodlažní tramvaj o celkové hmotnosti 24200 kg.

Vrstevnaté zeminové prostředí odpovídá charakteristické geologii pro dané území (šterkové kolejové lože, navážka a jíly s nízkou až velmi vysokou plasticitou).



Obr. 12: Geometrie modelu

Zatížení je kombinací statického a dynamického účinku od tramvaje. Statický účinek byl stanoven ze znalosti maximální hmotnosti částečně obsazené tramvaje připadající na jednu nápravu v hodnotě 7000kg. Z toho statické zatížení:

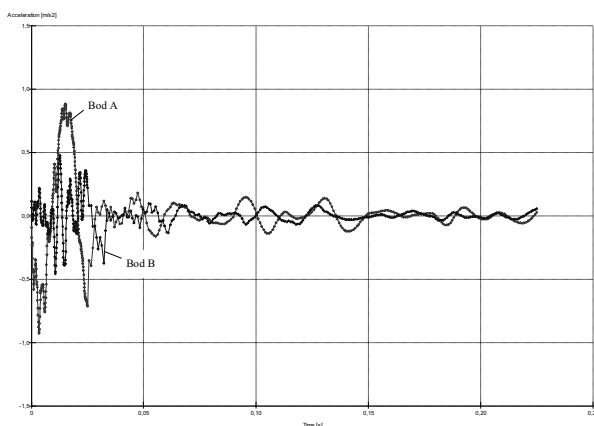
$$q = \frac{F}{A} = \frac{70000}{1,5 \cdot 1} = 46,67 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

K určení dynamického zatížení byla k dispozici data z měření in-situ. Maximální hodnoty zrychlení měřené na povrchu nad podzemním dílem (bod B v modelu) byly ve směru osy Z (svislá složka) a nepřesáhly hodnotu  $0,463 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Převládající frekvence zrychlení se pohybovala v rozsahu 42-68 Hz. Na ostění kolektoru (bod E v modelu) se hodnoty zrychlení pohybovaly v desetinách těchto hodnot.

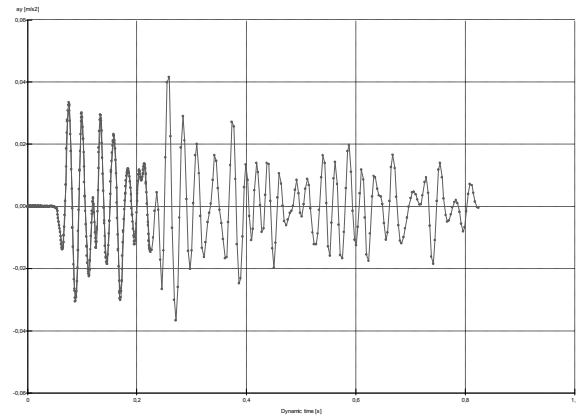
Fázový posun v tomto případě opět nebyl uvažován. Zbývající dvě neznámé (tj. silového účinek od zrychlení kmitání vlivem seismického působení a příslušná frekvence) vycházejí z parametrických výpočtů. Zdrojová frekvence zrychlení kmitání byla uvažována  $f = 40 \text{ Hz}$ . Silový účinek byl stanoven na 3,7 kN. Časový interval odpovídající dynamickému působení byl:

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ s}$$

Ověření správnosti určení zdrojových veličin bylo učiněno srovnáním naměřených a vypočtených hodnot zrychlení kmitání v bodě B a E. Z grafu 2 vyplývá, že v bodě B nepřesáhlo maximální zrychlení ve svislém směru hodnotu  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Zdrojové zrychlení kmitání v bodě A, který se nachází v působení dynamického zatížení, dosáhlo téměř  $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Graf 3 pak znázorňuje průběh zrychlení kmitání ve vertikálním směru v bodě E. [5]



Graf 2: Závislost zrychlení kmitání na čase v bodech A a B



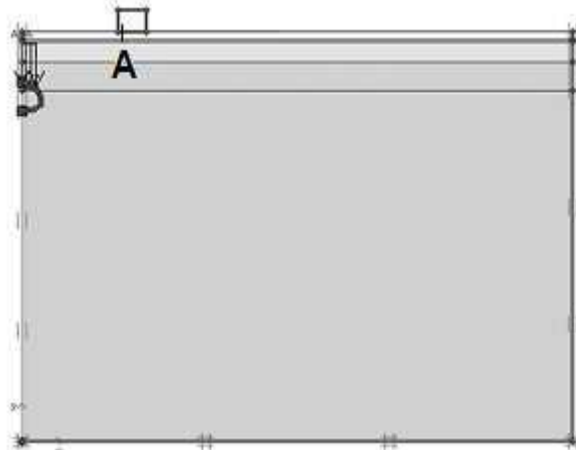
Graf 3: Závislost zrychlení kmitání na čase v bodě E

#### 4.4 Modelování vlivu trhacích prací na povrchovou zástavbu

Poslední příklad představuje model trhací práce v mělce pod povrchem raženého tunelu a odezvu této trhací práce na objekt na povrchu.

Model byl opět vytvořen na základě měření in-situ technické seismicity, která probíhala v průběhu ražby tunelu Klimkovice. Měření bylo prováděno na objektu rodinného domku na povrchu v malé vzdálenosti od probíhající ražby (v modelu bod A).

Fyzikální vlastnosti zemin a mocnosti jednotlivých vrstev byly do modelu zadány na základě výsledků IG průzkumu a doplněny tabulkovými hodnotami. V modelu byly použity jílovce a prachovce zdravé či slabě zvětralé, droby a kvartérní vrstva tvořena jílovou hlínou (Obr. 13).



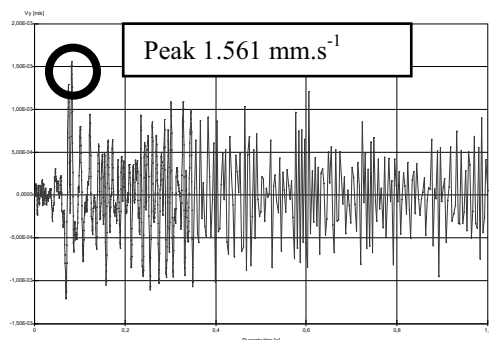
Obr. 13: Geometrie modelu

Silový účinek (amplituda) byl spočítán za použití vztahu profesorky Fotieové pro dynamické zatížení  $p_{dyn}$  do něhož vstupují informace z měření.

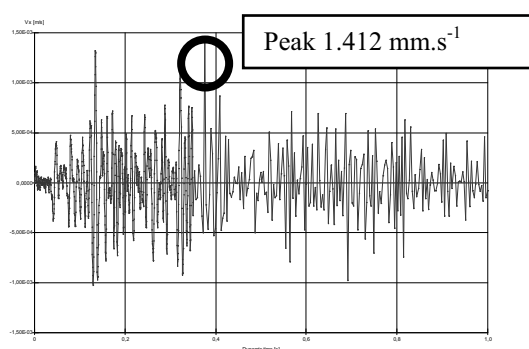
$$p_{dyn} = \frac{1}{2\pi} \cdot Kc \cdot \gamma \cdot Vp \cdot To \approx 92 \text{ kPa}$$

Fázový posun v tomto případě opět nebyl uvažován. Na obrázcích 14 a 15 je grafický výstup průběhů rychlosti kmitání v bodě A v horizontálním směru a vertikálním směru. V tabulce 1 jsou srovnány spočítané

maximální amplitudy rychlosti kmitání v bodě A a maximální amplitudy rychlosti kmitání naměřené na objektu rodinného domku při monitoringu. Umístění těchto bodů si v reálu i v matematickém modelu ve vertikálním řezu odpovídá. [6]



Obr. 14: Průběh rychlosti kmitání – horizontální směr



Obr. 15: Průběh rychlosti kmitání – vertikální směr

<b>Bod A</b>	maximální amplituda rychlosti kmitání - horizontální směr [mm.s-1]	maximální amplituda rychlosti kmitání - vertikální směr [mm.s-1]	maximální amplituda rychlosti kmitání - vertikální plocha/prostor [mm.s-1]
matematický model	1,412	1,563	1,583
měření IN-SITU	1,7	1,6	2,2

Tab. 1: Srovnání výsledků matematického modelu a měření in-situ

## 5 Závěr

V příspěvku byly prezentovány celkem čtyři odlišné modely dynamického zatížení. V prvním případě se jednalo o model přirozené seizmicity (zemětřesení), v němž bylo dynamické zatížení do modelu zaimplementováno pomocí souboru formátu SMC. Tento formát je užíván U.S. Geological Survey National Strong-motion Program pro záznam zemětřesení případně dalších silných vibrací. V druhém a čtvrtém modelu byla amplituda beranící síly resp. trhací práce

spočítána podle známých vztahů a frekvence kmitání dodána na základě reálných hodnot. V takovýchto případech jde vždy o individuální přístup k řešenému problému. Další možnost představuje třetí příklad, v němž nebylo možno spočítat dynamické zatížení tramvajové soupravy na základě známých vzorců a bylo nutno určit toto zatížení pomocí parametrické studie.

Jak již bylo řečeno, ke každému modelu dynamického zatížení vytvářeného programovým systémem Plaxis 2D metodou konečných prvků za použití dynamického modelu je nutno přistupovat zcela individuálně a je nutno dodržet pouze základní pravidla tvorby modelu. Všechny prezentované modely byly oproti reálné situaci pro potřeby matematického modelování zjednodušeny. Jednotlivé vrstvy, které měly různý úklon a v geologickém řezu měnící se mocnost, byly do modelů zaimplementovány jako vrstvy vodorovné o stejné mocnosti a byl zanedbán také vliv podzemní vody.

## Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován při řešení projektu GAČR 103/05/H036 „Analýzy spolehlivosti konstrukcí, vystavených účinkům mimořádného zatížení“

## Literatura

- [1] Manuál programu PLAXIS 2D.
- [2] Hrubešová, E.: 2003, Zhodnocení výpočtových možností a typových výpočtů seizmické odezvy objektů programem Plaxis (zpráva ke smlouvě č.77/003), Ostrava.
- [3] Hrubešová, E., Aldorf, J.: 2004, Analysis of ramming of a steel pile on the underground structures in its surrounding, Geotechnika – the conference proceeding, 57-62.
- [4] Luňáčková, B.: 2007, Determination of response of the soil mass and underground construction to the dynamic load caused by sheet pile driving, Collection of abstracts, 9th Professional Conference of Postgraduate Students.
- [5] Marek, R., Luňáčková, B.: 2007, Dynamic effect of traffic insertion into loading design of utility tunnel, Transactions of the VŠB-Technical University of Ostrava, Civil Engineering, 205-212.
- [6] Stolárik, M.: 2007, Modelování seizmického efektu trhacích prací v mělce vedeném tunelu, Sborník na CD, II. setkání studentů doktorského studia kateder geotechnik.

# Algorithms for Semi-Coercive Beam Problem with a Unilateral Elastic Subsoil of Winkler's Type

Stanislav Sysala <sup>1</sup>  
*Institute of Geonics AS CR*

## Abstract

In this article, so-called "projected" and "non-projected" algorithms for semi-coercive beam problem with a unilateral elastic subsoil of Winkler's type are presented. These algorithms are based on the minimisation of the energy functional for the considered problem. In each the iteration step of the algorithms, the linear problem with bilateral elastic springs is solved. The convergence properties of the algorithms are summarised and demonstrated on numerical examples.

**Keywords:** unilateral elastic subsoil of Winkler's type, semi-coercive beam problem, solvability, finite element approximation, minimisation of functional

## 1 Semi-coercive Problem with Beam on Unilateral Elastic Subsoil

In this section, the problem is formulated, the solvability and the dependence of the solution on data are summarised. Then the family of approximated problems is defined and convergence results are described. For more details, see the article [5].

We introduce the notation  $H^k(\Omega) \equiv W^{k,2}(\Omega)$ ,  $k = 0, 1, 2, 3, 4$ , for the Sobolev spaces which are described in the book [1]. Their standard norms are denoted as  $\|\cdot\|_{k,2,\Omega}$ . The  $i$ -th seminorm,  $i = 0, 1, \dots, k$ , of the spaces  $H^k(\Omega)$  are denoted as  $|\cdot|_{i,2,\Omega}$ . The space of polynomials of the  $k$ -th degree is denoted as  $P_k$ .

Since we will mainly use the interval  $\Omega := (0, l)$  in the remaining parts of the article, we will denote the norms and seminorms of the Sobolev spaces  $H^k(\Omega)$ ,  $k = 0, 1, 2, 3, 4$ , without the symbol  $\Omega$  for this concrete choice of the interval.

The dual space to  $H^2(\Omega)$  will be denoted  $V^*$  and its norm  $\|\cdot\|_*$ .

### 1.1 Setting of the Problem

We consider a beam of the length  $l$  with free ends which is situated in the interval  $\Omega = (0, l)$ , and assume that the beam is supported by a unilateral elastic subsoil in the interval  $\Omega_s := (x_l, x_r)$ ,  $0 \leq x_l < x_r \leq l$ . Such the subsoil is active only if the beam deflects against it. Let  $E$ ,  $I$  and  $q$  denote functions that represent, respectively, the Young's modulus of the beam material, the inertia moment of the

cross-section of the beam and the stiffness coefficient of the subsoil. The aim is to find the deflection  $w^*$  of the axes of the beam caused by the load of the beam. The situation is depicted in Figure 1.

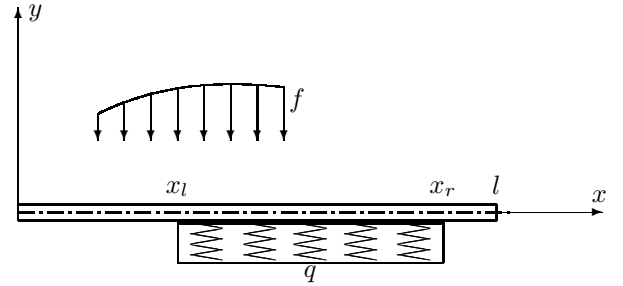


Figure 1: Scheme of the subsoiled beam with axes orientation.

We will assume that the functions  $E$ ,  $I$ ,  $q$  belong to the Lebesgue space  $L^\infty(\Omega)$  and there exist positive constants  $E_0$ ,  $I_0$  and  $q_0$  such that

$$\begin{aligned} E(x) &\geq E_0, & I(x) &\geq I_0, & \text{a.e. in } \Omega, \\ q(x) &\geq q_0 & \text{a.e. in } \Omega_s. \end{aligned}$$

Then we can define the forms

$$\begin{aligned} a(v_1, v_2) &:= \int_{\Omega} EI v_1'' v_2'' dx, \\ b(v_1, v_2) &:= \int_{\Omega_s} q v_1 v_2 dx \end{aligned}$$

in  $H^2(\Omega)$  to represent the work of the inner forces and the subsoil, respectively. The forms  $a, b$  are bilinear and bounded on the space  $H^2(\Omega)$ .

The beam load will be represented by a functional  $L \in V^*$ .

The total potential energy functional for the problem has the form

$$J(v) := \frac{1}{2} (a(v, v) + b(v^-, v^-)) - L(v), \quad v \in H^2(\Omega).$$

The functional  $J$  is Gâteaux differentiable and convex on the space  $H^2(\Omega)$ .

The variational formulation of the problem can be written as the minimisation problem  $(P)$

$$? w^* \in H^2(\Omega) : \quad J(w^*) \leq J(v) \quad \forall v \in H^2(\Omega),$$

or equivalently as the non-linear variational equation

$$a(w^*, v) + b((w^*)^-, v) = L(v) \quad \forall v \in H^2(\Omega). \quad (1)$$

Notice that for sufficiently smooth data, problem means to solve the non-linear differential equation of the fourth order with the homogeneous Neumann boundary conditions.

## 1.2 Solvability and Stability of the Problem

Since the beam does not have fixed ends (it is only laid on the subsoil), the problem solvability depends on the beam load. The existence and uniqueness of the solution  $w^*$  of the problem ( $P$ ) is ensured by the condition

$$L(p) < 0 \quad \forall p \in P_1, \quad p > 0 \quad \text{in } \Omega_s, \quad (2)$$

where the polynomials  $p$  represent the rigid beam motions for which the subsoil is not active. Notice that the functional  $J$  is coercive if this condition holds.

For other analyses, it will be useful to equivalently rewrite the condition (2) by the following way:

$$F < 0 \quad \text{and} \quad x_l < T < x_r, \quad (3)$$

where  $F := L(1)$  is the load resultant and  $T := L(x)/L(1)$  is the balance point of the load. The condition (3) means that the load resultant is situated in  $\Omega_s$  and oriented against the subsoil, which causes that the beam deflection activate the subsoil on the set  $M \subset \Omega_s$  with a positive one-dimensional Lebesgue measure, i.e.  $w^* < 0$  in  $M$ . In addition, the balance point  $T$  lies in the convex closure of the set  $M$ .

To determine the dependence of the change of the problem ( $P$ ) solution on the change of the load, we will consider the class  $\mathcal{S}_{\delta,\xi,\eta}$  of the loads  $L \in V^*$  such that  $T \in (x_l + \delta, x_r - \delta)$ ,  $F < -\xi < 0$  and  $\|L\|_* \leq \eta$ , with respect to positive parameters  $\delta, \xi, \eta$ . Then there exists a positive constant  $c$  which depends on the loads from  $\mathcal{S}_{\delta,\xi,\eta}$  only through the parameters  $\delta, \xi, \eta$  such that

$$\|w_1^* - w_2^*\|_{2,2} \leq c \|L_1 - L_2\|_* \quad \forall L_1, L_2 \in \mathcal{S}_{\delta,\xi,\eta}, \quad (4)$$

where  $w_i^* = w_i^*(L_i)$  solve the problem ( $P$ ) with respect to the loads  $L_i$ ,  $i = 1, 2$ .

Notice that if the balance point  $T$  is closed to the end points of the subsoil or if the size of the load resultant is small with respect to  $V^*$ -norm of the load, then the solution of the problem ( $P$ ) need not be stable with respect to the small change of the load, since  $\delta \rightarrow 0$  or  $\xi/\|L\|_* \rightarrow 0$  implies  $c \rightarrow +\infty$ .

## 1.3 Approximation of the Problem

Let us define a partition  $\tau_h$ ,

$$0 = x_0 < x_1 < \dots < x_N = l,$$

of the interval  $\overline{\Omega} = [0, l]$ , with the nodal points  $x_j$ ,  $j = 0, 1, \dots, N$ , and with the parameters

$$h := \max_{j=1, \dots, N} (x_j - x_{j-1}), \quad h_{min} := \min_{j=1, \dots, N} (x_j - x_{j-1}).$$

We will assume that the partitions includes the end points  $x_l, x_r$  of the subsoil. With respect to a positive parameter  $\theta$ , we will consider the system  $\mathcal{T}_\theta$  of the partitions  $\tau_h$  such that  $\theta h \leq h_{min}$ .

For a partition  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$ , we will define the function space  $V_h \subset H^2(\Omega)$  of continuously differentiable and piecewise cubic functions.

Since the evaluation of the term  $b(w_h^-, v_h)$ ,  $w_h, v_h \in V_h$ , cannot be computed directly due to the non-linear term  $w_h^-$ , an approximation of the form  $b$  by a numerical quadrature is used. Concretely, the same type of the numerical quadrature is used for all the intervals  $(x_{j-1}, x_j) \subset \Omega_s$ . We will assume that the numerical quadrature is exact at least for polynomials of the first degree. Then we can define the approximation of  $b$  by the following way:

$$b_h(v_1, v_2) := \sum_{i=1}^{m(h)} r_i v_1(z_i) v_2(z_i), \quad v_1, v_2 \in H^2(\Omega),$$

where  $z_i$ ,  $z_1 < z_2 < \dots < z_{m(h)}$ , are the points of the numerical quadratures and  $r_i$  contains the products of the stiffness coefficients and weights of the numerical quadrature. With respect to the assumption on  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$ , it holds that there exists constants  $c_1, c_2 > 0$  such that

$$c_1 h \leq r_i \leq c_2 h, \quad i = 1, 2, \dots, m(h).$$

Notice that we substitute the subsoil by insulated springs in such an approximation.

If we set

$$\mathcal{V}_N := \{v \in H^2(\Omega) \mid \exists p \leq N, \exists y_1, y_2, \dots, y_{2p} \in \overline{\Omega}_s : \{x \in \overline{\Omega}_s \mid v^-(x) = 0\} = \bigcup_{i=1}^p [y_{2i-1}, y_{2i}]\},$$

$N > 0$ , then there exists positive constants  $c_1, c_2$  and  $c_3 = c_3(N)$ , which are independent on the choice of  $\tau_h$ , such that

$$\begin{aligned} |b_h(u, v)| &\leq c_1 \|q\|_{\infty, \Omega_s} \|u\|_{1,2} \|v\|_{1,2}, \\ |b(v^-, u) - b_h(v^-, u)| &\leq c_2 h \|v\|_{1,2} \|u\|_{1,2}, \end{aligned}$$

for any  $u, v \in H^1(\Omega)$ , and

$$|b(v^-, u) - b_h(v^-, u)| \leq c_3 h^2 \|v\|_{2,2} \|u\|_{2,2},$$

for any  $u \in H^2(\Omega)$  and  $v \in \mathcal{V}_N$ .

Now, we set the approximated problem. For the sake of simplicity, we will not consider a numerical quadrature of the forms  $a$  and  $L$ . The approximated problem ( $P_h$ ) corresponding to the partition  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$  has the form

$$\begin{cases} ?w_h^* \in V_h : J_h(w_h^*) \leq J_h(v_h) \quad \forall v_h \in V_h, \\ J_h(v_h) := \frac{1}{2} a(v_h, v_h) + \frac{1}{2} b_h(v_h^-, v_h^-) - L(v_h). \end{cases}$$



Since the functional  $J_h$  is convex and has the Gâteaux derivative on the space  $V_h$ , the problem  $(P_h)$  can be equivalently rewritten to the nonlinear variational equation

$$a(w_h^*, v_h) + b_h((w_h^*)^-, v_h) = L(v_h) \quad \forall v_h \in V_h. \quad (5)$$

The existence of the problem  $(P_h)$  solution is ensured by the condition

$$F < 0 \quad \text{and} \quad z_1 < T < z_{m(h)}, \quad (6)$$

This condition also ensures the uniqueness of the solution for sufficiently small  $h$ . Notice that if the condition (3) holds and the discretisation parameter  $h$  is sufficiently small, then the condition (6) also holds.

It holds that the set

$$A_h^* := \{i \in \{1, \dots, m(h)\} \mid w_h^*(z_i) < 0\}$$

of the active springs is non-empty. In addition, the balance point  $T$  belongs to the convex closure of the points  $\{z_i; i \in A_h^*\}$ .

For the approximated problems  $(P_h)$ , it holds the following estimates and convergence result:

$$\begin{aligned} \|w^* - w_h^*\|_{2,2} &\leq c_1 h^2 \|w^*\|_{4,2} & w^* &\in H^4(\Omega) \cap \mathcal{V}_N, \\ \|w^* - w_h^*\|_{2,2} &\leq c_2 h \|w^*\|_{3,2} & w^* &\in H^3(\Omega), \\ \|w^* - w_h^*\|_{2,2} &\rightarrow 0 & w^* &\in H^2(\Omega), \end{aligned}$$

where  $w^*$  and  $w_h^*$  are respectively the solutions of the problems  $(P)$  and  $(P_h)$ .

## 2 Non-projected and Projected Algorithms

In this section, the so-called "non-projected" and "projected" algorithms are presented as a numerical realisation of the problem  $(P_h)$ . The reason of the words "projected" or "non-projected" will be explained at the end of this section. Since the uniform convergence properties of the algorithms are summarised, the algorithms are described in the functional form. We will assume that the solvability conditions (3) hold.

First of all, we will define the family of linear auxiliary problems with bilateral elastic springs and introduce their uniform properties. Such the problems will be solved in each of steps of the algorithms, which will be presented below.

Let  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$  be a partition of  $\bar{\Omega}$  and  $A_h \subset \{1, \dots, m(h)\}$  be a non-empty set of indices. Let us define the bilinear form

$$b_h^{A_h}(v_1, v_2) := \sum_{i \in A_h} r_i v_1(z_i) v_2(z_i), \quad v_1, v_2 \in H^2(\Omega),$$

where the coefficients  $r_i$  and the spring points  $z_i$  were described in the previous section. Let us define the functional

$$J_h^{A_h}(v_h) := \frac{1}{2} a(v_h, v_h) + \frac{1}{2} b_h^{A_h}(v_h, v_h) - L(v_h).$$

The corresponding linear problem  $(P_h^{A_h})$  with bilateral elastic springs means to find  $w_h = w_h(A_h) \in V_h$  such that

$$J_h^{A_h}(w_h) \leq J_h^{A_h}(v_h) \quad \forall v_h \in V_h,$$

or equivalently

$$a(w_h, v_h) + b_h^{A_h}(w_h, v_h) = L(v_h) \quad \forall v_h \in V_h.$$

Notice that the problem  $(P_h^{A_h})$  has a unique solution if the set  $A_h$  contains at least two indices. Therefore, it will be useful to introduce the following notation:

$$\begin{aligned} \mathcal{A} &:= \bigcup_{\tau_h} \{A_h \subset \{1, \dots, m(h)\} \mid \text{card}(A_h) \geq 2\}, \\ \mathcal{A}_\rho &:= \bigcup_{\tau_h} \{A_h \subset \{1, \dots, m(h)\} \mid \text{card}(A_h) \geq \\ &\geq \min\{m(h), \max\{2, \rho/h\}\}\}, \quad \rho > 0. \end{aligned}$$

Notice that the parameter  $\rho$  means the relative number of active springs, since

$$\exists c_1, c_2 > 0 : c_1/h \leq m(h) \leq c_2/h \quad \forall \tau_h \in \mathcal{T}_\theta.$$

We will also use the notation

$$A_h(v) := \{i \in \{1, \dots, m(h)\} \mid v(z_i) < 0\}.$$

for any  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$  and  $v \in H^2(\Omega)$ .

If the solvability condition (3) holds then there exist positive constants  $h_0$  and  $\rho$  such that for any  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$ ,  $h \leq h_0$ , and  $A_h \in \mathcal{A}$ , it holds  $A_h(w_h) \in \mathcal{A}_\rho$ , where  $w_h$  solves the problem  $(P_h^{A_h})$ .

We will also define the auxiliary problem  $(P_h^{v_h})$  for any partition  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$  and any function  $v_h \in V_h$ , which means to find  $p_h = p_h(v_h) \in P_1$  such that

$$J_h(v_h + p_h) \leq J_h(v_h + p) \quad \forall p \in P_1,$$

or equivalently

$$b_h((v_h + p_h)^-, p) = L(p) \quad \forall p \in P_1.$$

The problem  $(P_h^{v_h})$  means to solve the system of two non-linear equations with two unknowns. The solvability of  $(P_h^{v_h})$  ensures the same conditions as for the problem  $(P_h)$ . Notice that the problem  $(P_h^{w_h^*})$  solves the zeroth polynomial, where  $w_h^*$  solves the problem  $(P_h)$ .

Let  $c, \theta > 0$ . If the solvability condition (3) holds then there exist positive constants  $\rho > 0$  and  $h_0$  such that for any  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$ ,  $h \leq h_0$ , and any  $v_h \in V_h$ ,  $|v_h|_{2,2} \leq c$ ,

$$A_h(v_h + p_h) \in \mathcal{A}_\rho,$$

where  $p_h$  solves  $(P_h^{v_h})$ .

Let  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$  be a partition and  $z_i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, m(h)\}$ , be the corresponding set of springs.

### Non-projected algorithm

*Initialisation*

$$\begin{aligned} w_{h,0} &= 0, \\ A_{h,0} &= \{1, 2, \dots, m(h)\}. \end{aligned}$$

*Iteration*  $k = 0, 1, \dots$

$$\begin{aligned} s_{h,k} &\in V_h, \quad w_{h,k} + s_{h,k} \text{ solves } (P_h^{A_{h,k}}), \\ \alpha_{h,k} &= \arg \min_{0 \leq \alpha \leq 1} J_h(w_{h,k} + \alpha s_{h,k}), \\ w_{h,k+1} &= w_{h,k} + \alpha_{h,k} s_{h,k}, \\ A_{h,k+1} &= A_h(w_{h,k+1}). \end{aligned}$$

## Projected algorithm

*Initialisation*

$$\begin{aligned} w_{h,0} &= p_h(0), \quad p_h(0) \text{ solves } (P_h^0), \\ A_{h,0} &= A_h(w_{h,0}). \end{aligned}$$

*Iteration*  $k = 0, 1, \dots$

$$\begin{aligned} s_{h,k} &\in V_h, \quad w_{h,k} + s_{h,k} \text{ solves } (P_h^{A_{h,k}}), \\ \alpha_{h,k} &= \arg \min_{0 \leq \alpha \leq 1} J_h(w_{h,k} + \alpha s_{h,k}), \\ \tilde{w}_{h,k} &= w_{h,k} + \alpha_{h,k} s_{h,k}, \\ p_{h,k} &= p_h(\tilde{w}_{h,k}), \quad p_h(\tilde{w}_{h,k}) \text{ solves } (P_h^{\tilde{w}_{h,k}}), \\ w_{h,k+1} &= \tilde{w}_{h,k} + p_{h,k}, \\ A_{h,k+1} &= A_h(w_{h,k+1}). \end{aligned}$$

Notice that

$$J'_h(u_{h,k}; s_{h,k}) = -a(s_{h,k}, s_{h,k}) - b_h^{A_{h,k}}(s_{h,k}, s_{h,k}) \leq 0$$

and consequently  $\alpha_{h,k} > 0$  for  $s_{h,k} \neq 0$ . For the projected algorithm, it holds  $J_h(w_{h,k}) \leq J_h(\tilde{w}_{h,k})$ .

The condition (3) ensures that there exist positive constants  $\rho, c_1, c_2, c_3$  and  $h_0$  such that for any  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta, h \leq h_0$ , and any  $k \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} A_{h,k} &\in \mathcal{A}_\rho, \\ \alpha_{h,k} &\geq c_1, \\ J_h(w_{h,k+1}) &\leq J_h(w_{h,k}) - c_2 \|s_{h,k}\|_{2,2}^2, \\ \|w_{h,k} - w_h^*\|_{2,2} &\leq c_3 \|s_{h,k}\|_{2,2} \end{aligned}$$

where  $A_{h,k}, \alpha_{h,k}, s_{h,k}$  and  $w_{h,k}$  are generated by the projected or non-projected algorithm.

The above estimates yield that the sequences  $\{w_{h,k}\}_k$  converges uniformly (with respect to sufficiently small  $h$ ) to the solution  $w_h^*$  of the problem  $(P_h)$  in  $H^2(\Omega)$  for the both algorithms. Moreover, for any fix  $\tau_h$  there exists  $k_0 > 0$  such that  $w_{h,k_0} + s_{h,k_0} = w_h^*$ .

The convergence results of the algorithms hold for parameters  $h \leq h_0$ , for some  $h_0$ . With respect to analyses in [5], we can assume that the size of  $h_0$  depends on the stability of the problem, i.e. how much the balance point is closed to the end points

$x_l, x_r$  of the subsoil and how much the size of the load resultant is relatively closed to zero.

Numerical examples shows that the algorithms converge for almost all initial choices of  $A_{h,0}$ . However, the initial choices of  $A_{h,0}$  ensured in tested examples that  $\alpha_{h,k} = 1$  for any  $k \geq 0$  due to inclusions  $A_{h,k+1} \subset A_{h,k}$ . These inclusions are shown in [3] for a concrete choice of the load.

We can also substitute  $\alpha_{h,k}$  by

$$\tilde{\alpha}_{h,k} := \min_{\alpha \geq 0} J_h(w_{h,k} - \alpha s_{h,k}) \quad (7)$$

in these algorithms and it is possible to show the same convergence properties for such a modification of the algorithms. The comparison of the algorithm will be illustrated on numerical examples.

There are many numerical methods how to find the values  $\alpha_{h,k}$  or  $\tilde{\alpha}_{h,k}$  which does not depend on the parameter  $h$ . Here, the regula falsi method was used.

The algorithms can also be used for coercive beam problems with the same convergence result but without the restricted assumption on the parameter  $h$ .

For an implementation of the problem  $(P_h^{v_h})$  (projection step in the projected algorithm), we can use the small modification of the non-projected algorithm with the same convergence results:

*Initialisation*

$$\begin{aligned} p_{h,0} &\in P_1, \quad b_h(v_h + p_{h,0}, p) = L(p) \quad \forall p \in P_1, \\ A_{h,0} &= A_h(v_h + p_{h,0}). \end{aligned}$$

*Iteration*  $k = 0, 1, \dots$

$$\begin{aligned} \tilde{p}_{h,k} &\in P_1, \quad b_h^{A_{h,k}}(v_h + p_{h,k} + \tilde{p}_{h,k}, p) = L(p) \\ &\quad \forall p \in P_1, \\ \alpha_{h,k} &= \arg \min_{0 \leq \alpha \leq 1} J_h(v_h + p_{h,k} + \alpha \tilde{p}_{h,k}), \\ p_{h,k+1} &= p_{h,k} + \alpha_{h,k} \tilde{p}_{h,k}, \\ A_{h,k+1} &= A_h(v_h + p_{h,k+1}). \end{aligned}$$

Let  $\tau_h \in \mathcal{T}_\theta$  be a partition and  $z_i, r_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ , be the corresponding set of springs and coefficients of the form  $b_h$ . The algebraic form of the problem  $(P_h)$  will be denoted by  $(\mathbb{P})$  and has the form

$$\begin{cases} ?w^* \in \mathbb{R}^n : J(w^*) \leq J(w) \quad \forall w \in \mathbb{R}^n, \\ J(w) := \frac{1}{2}(Kw, w)_n + \frac{1}{2}(D(Bw)^-, (Bw)^-)_m - \\ \quad - (f, w)_n, \end{cases}$$

where  $n = 2N + 2, u_i^- := \min\{0, u_i\}, i = 1, 2, \dots, m, u \in \mathbb{R}^m$ , and  $K \in \mathbb{R}^{n \times n}, f \in \mathbb{R}^n, D \in \mathbb{R}^{m \times m}$  and  $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$  are respectively the stiffness matrix, the load vector, the diagonal matrix containing coefficients  $r_i$  and the matrix, which transforms the function values and the values of the first derivatives at the nodal points  $x_j, j = 0, 1, \dots, N$ , onto the points  $z_i, i = 1, \dots, m$ . The symbol  $(\cdot, \cdot)_k$  standardly denotes the Euclidean scalar product in  $\mathbb{R}^k$ . The problem  $(\mathbb{P})$  can be equivalently rewritten as a non-linear

system of the equations:

$$?w^* \in \mathbb{R}^n : Kw^* + B^T D(Bw^*)^- = f.$$

Let the matrix  $R \in \mathbb{R}^{n \times 2}$  given by the functions 1 and  $x$  represent all polynomials from  $P_1$ . Notice that  $KR = 0$ . Let us denote  $G := BR \in \mathbb{R}^{m \times 2}$  and  $e := R^T f = (F, FT)^T \in \mathbb{R}^2$ .

The auxilliary linear problems  $(P_h^{A_h})$  and  $(P_h^{v_h})$  have the following algebraical forms:

$$(\mathbb{P}^A) \quad ?w = w(A) \in \mathbb{R}^n : (K + B^T DAB)w = f,$$

where the diagonal matrix  $A \in \mathbb{R}^{m \times m}$  represents the set  $A_h$ , and

$$(\mathbb{P}^v) \quad ?c = c(v) \in \mathbb{R}^2 : G^T D(Bv + Gc)^- = e.$$

Now, we explain the reason of the word "projected". Let us consider the set

$$\Lambda := \{\lambda \in \mathbb{R}^m \mid \lambda \leq 0, G^T D\lambda = e\}.$$

The set  $\Lambda$  is closed, convex and due to the solvability condition (6) also non-empty and bounded in  $\mathbb{R}^m$ . Let  $\lambda \in \Lambda$  and let

$$A(\lambda) := \{i \in \{1, \dots, m\} \mid \lambda_i < 0\}.$$

Then  $A(\lambda) \neq \emptyset$  and the balance point  $T$  of the load belongs to the convex closure of the points  $z_i$ ,  $i \in A(\lambda)$ . Notice that the vector  $(Bw^*)^-$ , where  $w^*$  solves the problem  $(\mathbb{P})$ , belongs to the set  $\Lambda$ .

We can uniquely define the projection  $P$  of the space  $\mathbb{R}^m$  onto the set  $\Lambda$  with respect to the scalar product  $(D., .)_m$  in  $\mathbb{R}^m$ :

$$(D(\eta - P(\eta)), \lambda - P(\eta))_m \leq 0 \quad \forall \lambda \in \Lambda. \quad (8)$$

Let  $v \in \mathbb{R}^n$  and let  $c = c(v) \in \mathbb{R}^2$  solve the problem  $(\mathbb{P}^v)$ . Then it can be shown that  $P(Bv) = (Bv + Gc)^-$ . Therefore, if we denote  $w^{(k)} \in \mathbb{R}^n$  as the vectors representing the functions  $w_{h,k}$  generated by the projected algorithm, we obtain  $(Bw^{(k)})^- \in \Lambda$ .

The projected step is mainly important for unstable cases of the load. For example, if we suppose that the balance point  $T$  is closed to the end points  $x_l, x_r$  of the subsoil then the diameter of the set  $\Lambda$  is closed to zero. Therefore, the vectors  $w^{(k)}$  are closed to the vector  $w^*$  and we can expect the better convergence property for the projected algorithm than for non-projected algorithm.

### 3 Numerical Examples

In this section, the convergence results of the algorithms will be demonstrated on the numerical examples.

We will consider the beam of the length  $l=1m$  with the parameter  $EI = 5 * 10^5 Nm^2$ . The beam is

supported in the interval  $(x_l, x_r)$ , where  $x_l = 0.1 m$  and  $x_r = 0.9 m$ , by the unilateral elastic subsoil with the stiffness coefficient  $q = 2 * 10^7 Nm^{-2}$ . At the end points  $0, l$  of the beam, we will consider the point loads  $F_0$  and  $F_l$ , which will be specified for the concrete examples. The interval  $(0, l)$  will be divided into  $10 * 2^j$ ,  $j = 2, 3, \dots, 8$ , equidistant parts. Situation is depicted in Figure 2.

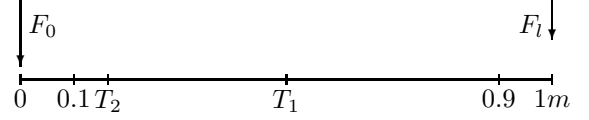


Figure 2: Scheme of the tested problem.

We use the following stopping criterion:

$$\frac{\|r^{(k)}\|_n}{\|f\|_n} \leq \varepsilon, \quad r^{(k)} := f - Kw^{(k)} - B^T DB(w^{(k)})^-,$$

where  $\varepsilon = 10^{-6}$ ,  $w^{(k)}$  represents the functions  $w_{h,k}$  generated by the algorithms and  $r^{(k)}$  is the residuum at the step  $k$  in the algorithms. The symbol  $\|\cdot\|_n$  denotes the Euclidean norm in  $\mathbb{R}^n$ . For an approximation of the bilinear form  $b$ , the reference numerical quadrature

$$\int_{-1}^1 \phi(\xi) d\xi \approx \phi(-\sqrt{3}/3) + \phi(\sqrt{3}/3)$$

is used. The linear problems with bilateral elastic springs are solved by the Cholesky factorisation.

In the following examples, the non-projected algorithm is denoted as ALG 1, the modification of ALG 1 with  $\tilde{\alpha}_{h,k}$  defined by (7) is denoted as ALG 2 and the projected algorithm is denoted as ALG 3.

#### Example 1

Let  $F_0 = -5000 N$  and  $F_l = -5000 N$ . Such a load fulfills the solvability condition (3) and is stable, since the balance point  $T_1 = 0.5 m$  is situated in the centre of the subsoil interval. The dependence of the number of iterations on smoothing parameter  $j$  of the partition is shown in Table 1.

Ex. 1	2	3	4	5	6	7	8
ALG1	4	3	4	4	4	4	4
ALG2	3	3	3	3	3	4	4
ALG3	3	3	3	3	3	3	3

Table 1: Numbers of iterations for Examples 1.

Notice that the numbers of iterations does not depend on  $j$  and are practically the same for all of the algorithms. The numbers of iterations for the "projected" step in ALG 3 are about four. The approximated solution for  $j = 8$ , i.e. for 2560 elements, is depicted in Figure 3.

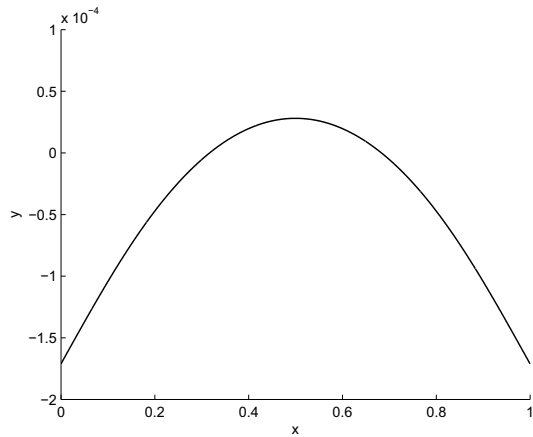


Figure 3: Approximated beam deflections  $w$  for Examples 1.

### Example 2

Let  $F_0 = -5000 N$  and  $F_l = -1000 N$ . Such a load fulfills the solvability condition (3) and is not too stable, since the balance point  $T_2 = 0.1667 m$  is closed to the end point  $x_l$  of the subsoil. The dependence of the number of iterations on smoothing parameter  $j$  of the partition is shown in Table 2.

Ex. 2	2	3	4	5	6	7	8
ALG1	6	6	7	8	7	8	8
ALG2	5	5	6	6	6	6	6
ALG3	2	2	2	2	2	2	2

Table 2: Numbers of iterations for Examples 2.

Notice that the numbers of iterations does not depend on  $j$ . The numbers of iterations for ALG 3 are smaller than for ALG 1,2 which illustrates the theoretical results from the end of the previous section.

The approximated solution for  $j = 8$  is depicted in Figure 4.

## 4 Conclusion

The other methods of the numerical realisation of the problem can be obtained after deriving the dual formulation of the problem, see [4]. The dual problem is a problem of convex quadratic programming with linear constraints and it is suitable for a numerical realisation of the problem. The vectors  $-\lambda$ , where  $\lambda \in \Lambda$  represent the admissible Lagrange multipliers corresponding to the dual problem.

Other numerical methods suitable for the problem are described in [2].

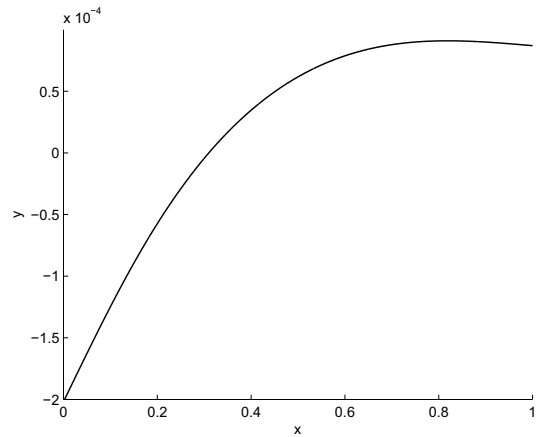


Figure 4: Approximated beam deflections  $w$  for Examples 2.

## Acknowledgements

I would like to thank for the support from the grant 1ET400300415 of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

## References

- [1] R.A. Adams. Sobolev Spaces. Academic Press, New York, 1975.
- [2] J.V. Horák, H. Netuka. Matematický model třídy nelineárního podloží Winklerova typu. In: Proceedings of 21<sup>st</sup> Conference Computational Mechanics 2005, ZČU v Plzni, pp 235-242, 431-438, in Czech.
- [3] S. Sysala. Modelování nosníku na jednostranně pružném podloží. In: Proceedings of 14<sup>th</sup> International Seminar "Moderní matematické metody v inženýrství", VSB-TU Ostrava, 2005, pp 193-197, in Czech.
- [4] S. Sysala. On a Dual Method to a Beam Problem with a Unilateral Elastic Subsoil of Winkler's Type. In: Proceedings of Seminar on Numerical Analysis - SNA'07, Institute of Geonics AS CR, Ostrava, 2007, pp 95-100.
- [5] S. Sysala. Unilateral Elastic Subsoil of Winkler's type: Semi-Coercive Beam Problem. Applications of Mathematics. Accepted.

# Lomová houževnatost hornin a její měření

Leona Vavro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geonics*

## Abstract

This paper gives basic information about principles and methodology of fracture toughness measurement of rock. Fracture toughness is a relatively new parameter in geomechanics and put a great requirements on laboratory preparation of rock specimen.

**Klíčová slova:** Lomová mechanika, geomechanika, lomová houževnatost, křehké porušení, trhliny, hnací síla trhliny.

## 1 Úvod

Horniny jako materiál používaný v průmyslu mají pro lidskou populaci velký význam. Každá hornina má specifické mechanické, teplotní a chemické vlastnosti, které získala během svého vzniku před miliony lety. Z těchto vlastností se vychází při jejich využití v praxi. Při zkoumání chování hornin během jejich porušování pomocí geomechanických metod lze pozorovat vznik a šíření trhlín. Pro objasnění tohoto procesu porušování tak k mechanice hornin přistupuje lomová mechanika hornin.

Tématem mé připravované disertační práce je studium lomové houževnatosti hornin. Vzhledem k tomu, že příslušný výzkum v rámci vědecké výchovy je teprve na počátku, nelze ještě poskytnout výsledky měření lomové houževnatosti na horninách. Proto byla první fáze zaměřena na studium teorie lomové mechaniky a hlavně na přípravu zkušebních těles před vlastním měřením.

## 2 Lomová mechanika

Obor tvořící základ pro všechny pozdější teorie, se nazývá lineární elastická lomová mechanika a mimo jiné zavedla materiálové charakteristiky  $K_{IC}$  (lomová houževnatost) a  $G_{IC}$  (hnací síla trhliny), které kvantifikují houževnatost materiálu. Lineární se jí říká proto, že se předpokládá lineární závislost mezi deformací a napětím. Lomová mechanika se zabývá vznikem porušení (trhliny), hodnocením podmínek šíření trhlín a zákonitostmi chování trhlín.

Používá se hlavně pro prevenci katastrofických destrukcí výrobků z plastových a keramických materiálů, ocelových a železobetonových konstrukcí. Studium lomové mechaniky hornin má význam pro

predikci anomálních jevů v horském masivu, např. důlních otřesů a průtrží, pro řešení stabilitních problémů apod. Teorie, kritéria a testovací metody v lomové mechanice byly původně rozvinuty na materiálech vyrobených člověkem (kovy, sklo, keramika, plasty, betony) a pro zkoumání hornin je třeba je přizpůsobit s ohledem na jejich často proměnlivé vlastnosti. U plastů a kovů jsou parametry lomových vlastností zjišťovány během technologie výroby a počítá se s nimi i při navrhování a posuzování výrobku. Při jejich zkoušení jsou k dispozici také normy, na rozdíl od hornin. Podle mých informací se lomovou mechanikou u hornin v Česku nikdo hlouběji nezabývá, na rozdíl od zahraničí, kde byly metody zkoumání lomové houževnatosti hornin rozvíjeny od 60tých let 20. století. Bylo to na aplikacích pro řešení horských otřesů a neřízených závalů v hlubinných dolech v Jižní Africe. [2] Od té doby byl učiněn značný pokrok v predikci nestability a porušení hornin na bázi lomové mechaniky a v rozvíjení metod, ze kterých budu vycházet při svých měřeních.

Při aplikaci lomové mechaniky na horninách předpokládáme, že v hornině již existují zárodečné trhliny, které jsou koncentrátorem napětí. Za určitých okolností dochází v důsledku působících sil k nestabilnímu šíření trhlín. Tehdy se v tělese uvolňuje velké množství energie elastické deformace, která je potřebná pro tvorbu povrchu rozšiřující se trhliny (nebo propojení více trhlín). Vznikají plochy porušení a těleso se rozpadá. Lomová mechanika na rozdíl od klasické mechaniky nepracuje s napětím, ale s faktorem intenzity napětí. Neuvažuje pevnost, ale lomovou houževnatost (mezní faktor intenzity napětí). Protože lomová mechanika specificky popisuje chování a vliv trhlín v namáhaném tělese, liší se zkoušky lomové houževnatosti od běžných pevnostních zkoušek tím, že vyžadují zkušební tělesa s přesně definovanými trhlínami.

## 3 Lomová houževnatost

Problematikou trhlín se začal zabývat Griffith v roce 1920. Uvědomil si a jako první ukázal, že materiály dosahují nižších hodnot pevností v tahu, než by se dalo předpokládat. Vysvětlil to tím, že běžný materiál obsahuje *trhliny* (ve skutečnosti to jsou také póry, nečistoty, dislokace, atd.) a na špičkách těchto trhlín se pak během namáhání objevují vysoké koncentrace napětí. Přítomnost i malých trhlín má pak za důsledek značné snížení odolnosti materiálu (trhliny se mohou nekontrolovatelně šířit). Trhliny může vzniknout, nebo existující trhliny může růst pouze tehdy, jestliže tento

<sup>1</sup> vavro@ugn.cas.cz

proces způsobí, že celková energie systému zůstane konstantní. Kritické podmínky pro vznik lomu je tedy možno definovat jako okamžik počátku růstu trhliny za rovnovážných podmínek → energie systému se nemění. [5]

Griffith odvodil vztah, který ukazuje vlastnost materiálu v tom smyslu, že pro přímou trhlinu délky  $2a$  v rovině lze vyjádřit **velikost kritického napětí**  $\sigma_{cr}$ , kdy dojde k jejímu růstu:

$$\sigma_{CR} \sqrt{a\pi} = \sqrt{2E'\gamma} = \text{konst.}$$

$\gamma$  - měrná povrchová energie, neboli práce potřebná k vytvoření jednotkového povrchu trhliny.

$E'$  - modul pružnosti

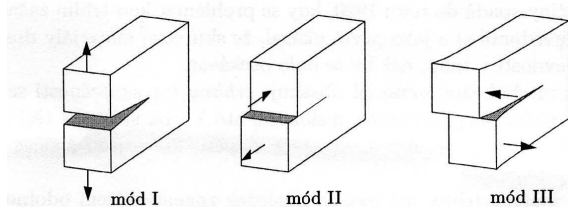
Protože Griffithova rovnice platí pouze pro ideálně křehké těleso, upravil v roce 1956 Irwin jeho model tak, aby byl použitelný pro řešení technických problémů. Irwin definoval veličinu  $G$  jako rychlost uvolňování energie, která představuje energii potřebnou k velice malému (inkrementálnímu) přírůstku trhliny. Dnes se tato veličina nazývá hnací síla trhliny.

Griffithovu rovnici lze interpretovat i tak, že dojde-li k rozeběhnutí trhliny, dojde zároveň k jejímu nekontrolovatelnému šíření, neboť rozšiřující se trhlina se spokojí se stále menším napětím. Hnací síla trhliny ( $G$ ) roste s rostoucí délkou trhliny v případě měkkého zatěžování a klesá s rostoucí trhlinou v případě tvrdého zatížení:

- **Měkké zatížení** – zatížení s konstantním přírůstkem síly
- **Tvrdé zatěžování** – zatížení s kontrolovaným přírůstkem deformace.

V této souvislosti rozlišujeme dva způsoby růstu trhliny:

- **Stabilní** – trhlina se nešíří, pokud neroste zátěžná síla
- **Nestabilní** – trhlina se šíří samovolně, bez nutnosti dalšího přitěžování



Obrázek 1: Tři módy (způsoby) prostorového zatěžování trhliny

Levá strana Griffithovy rovnice představuje **součinitel intenzity napětí**  $K$ , který je funkcí působícího napětí  $\sigma$  a poloviční délky trhliny  $a$ .

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} \quad [\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}]$$

Pravá strana Griffithovy rovnice představuje materiálové konstanty ideálně křehkého tělesa. Jinak řečeno: k nestabilnímu šíření trhliny dojde tehdy, když  $K$  dosáhne konstantní kritické hodnoty. Tato kritická hodnota se nazývá také **lomová houževnatost**  $K_C$  a je dána kritickou hodnotou součinitele intenzity napětí  $K$  na čele trhliny v okamžiku nestabilního šíření trhliny. [3] Parametr  $K$ , vyjadřující faktor intenzity napětí v bezprostřední blízkosti špičky trhliny, uvádíme s indexem, který rozlišuje ze tří módů prostorového namáhání trhliny: (viz. obr. 1)

- Namáhání prostým tahem  $K_I$
- Namáhání smykem  $K_{II}$
- Namáhání střihem  $K_{III}$

Hodnota lomové houževnatosti  $K_C$  je tedy dána dvěma parametry: nominálním napětím  $\sigma$  a délkou trhliny  $2a$ . Z toho vyplývá: Těleso s trhlinou velikosti  $2a$ , namáhané napětím  $\sigma$ , se poruší křehce v okamžiku, kdy jeden z parametrů ( $\sigma$  nebo  $a$ ) dosáhne takovou hodnotu, že odpovídající hodnota  $K_C$  překročí odpor materiálu proti nestabilnímu šíření trhliny.

## 4 Měření lomové houževnatosti

V současnosti se testování lomové houževnatosti provádí pomocí mnoha metod a na různých typech zkušebních těles. Jak už bylo zmíněno výše, jde obvykle o testování materiálů vyrobených člověkem. Moje disertační práce se bude zabývat výhradně horninami a proto budu vycházet z metodického doporučení ISRM pro horniny.

Navrhované metody vycházejí z módu I. Dále budou popisovány jako metoda 1 a metoda 2. Každá metoda vyžaduje určitý typ zkušebního tělesa a jejich rozměry je nutno přesně dodržovat.

- **Metoda 1** – bude použit ohybové zkušební těleso CB (chevron bend specimen) se zářezem kolmým k ose jádra tělesa. Těleso bude umístěno na dvou podpěrných válečkách a tlakové zatěžování způsobí narůstání trhliny a zkušební těleso se příčně rozdělí.
- **Metoda 2** – zde bude použit krátkotyčové zkušební těleso SR (short rod specimen), které má zářez paralelní s osou jádra. Zde se bude aplikovat tahové zatěžování tak, aby se roztáhly boky zářezu a těleso se podélně rozdělilo. [1]

Zkušební těleso CB použité při metodě 1 by mělo být dostatečně dlouhé, aby se zbývající poloviny mohly využít na tělesa SR při testu 2. Použití dvou zkušebních těles s rozdílnými orientacemi trhlín je zdůvodněno častým výskytem anizotropie v horninovém materiálu. Obě metody nabízejí dvě testovací úrovně:

- **Testovací úroveň I** vyžaduje pouze záznam maximálního zatížení během testu a musí probíhat, až dojde k destrukci zkušebního tělesa. Je k tomu třeba zařízení, na němž lze regulovat rychlost zatěžování. Hodnotu lomové houževnatosti lze stanovit jednoduchým výpočtem, ale hodnota je to

pouze orientační, proto je třeba použít také testovací úroveň II.

- **Testovací úroveň II** vyžaduje nepřetržité zatížení a měření deformace. Na provedení je mnohem složitější a během testu je nutno realizovat minimálně čtyři cykly odlehčení/zatížení.

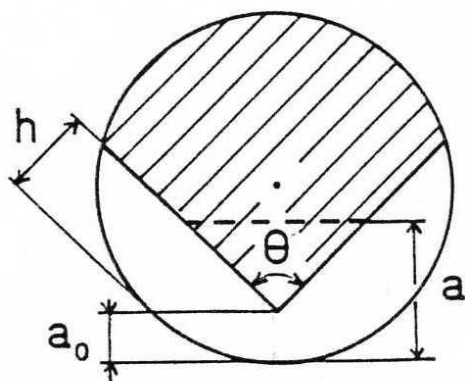
#### 4.1 Příprava zkušebních těles

Pro vlastní měření lomové houževnatosti budou použita zkušební tělesa ve formě jádra s přesně definovaným zářezem. U obou metod má naříznutý profil tvar „V“. Jak je patrné (obr.2), parametry zářezu jsou přesně zadány a je nutno je dodržet. Také bude nutno přesně dodržovat stejné podmínky při přípravě zkušebních těles a při jejich měření.

Jak již bylo uvedeno výše, jsou 2 metody měření a také 2 typy zkušebních těles s odlišnou orientací zářezu vůči ose jádra (tělesa). V první fázi měření bude věnována pozornost metodě 1 a proto také bude použit typ zkušebního tělesa vhodný pro tuto metodu tj. typ CB:

- **Průměr jádra D** je nutno vztáhnout k rozměru největšího zrna v hornině v poměru minimálně 10:1 s přesností 0,1 mm.
- **Délka zkušebního tělesa L** musí být minimálně 4D
- Zářez musí být umístěn přesně ve středu zkušebního tělesa a **šířka zářezu t** nesmí být větší než 0,03D.
- Z každého vzorku udělat výbrus, mikro a makroskopický petrografický popis horniny, změřit pevnost v prostém tlaku  $\sigma_1$ .

Vzhledem k tomu, že vrub má být vyřezán přesně do pravého úhlu s přesností 1,0°, je třeba vyrobit přípravek, který umožní jeho přesné vyřezání.



- h – hloubka řezu v boční straně vrubu
- a – délka trhlíny
- $\Theta$  - úhel klínu 90°
- $a_0$  – odstup špičky klínu od povrchu vzorku (0,15D)

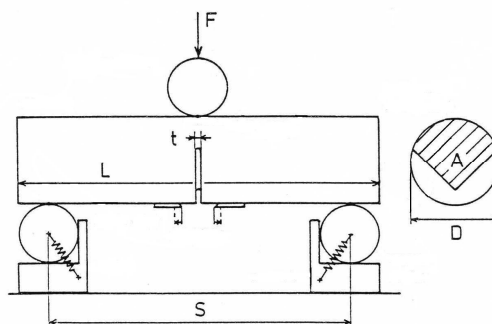
Obrázek 2: Rozměry vyřezaného zkušebního tělesa pro metodu 1

#### 4.2 Příprava měření

Testovací zařízení musí mít dostatečnou zatěžovací sílu a musí umožňovat regulaci rychlosti zatěžování a deformace. Ohybové testování vyžaduje aplikaci tlakového zatížení. Je vhodné použít upínadlo, které minimalizuje třecí vlivy. Podle doporučení ISRM bude použita konstrukce (viz obr. 3), ve které je umožněno podpěrným válečkům přidržovaným měkkými pružinami, aby rotovaly směrem ven a udržovaly valivý kontakt během testu. V současné době Ústav Geoniky disponuje vhodným zařízením s dostatečnou kapacitou zatížení, bude však nutno vyrobit konstrukci s podpěrnými válečky pro ohybová měření a také zařízení pro měření deformace.

Dále je nutno při této metodě použít speciální upínací pomůcky, které umožňují přesné ustavení zkušebního tělesa v zatěžovacím systému. Konstrukce musí být taková, aby adjustační pomůcka mohla být odstraněna, jakmile je poloha zkušebního tělesa zajištěna. [1]

V první fázi výzkumu počítám s měřeními na testovací úrovni I, to je bez náročných měření deformací. Po zvládnutí této fáze výzkumu se počítá i s realizací testovací úrovně II, pro kterou budou muset být vytvořeny i příslušné přípravy.



- D – průměr zkušebního tělesa
- L – délka zkušebního tělesa (4D)
- t – šířka zářezu
- F – zatížení tělesa
- S – rozestup mezi podpěrnými body (3,33D)
- A – projektovaná plocha vazu

Obrázek 3: Rozměry zkušebního tělesa CB a schéma měření lomové houževnatosti metodou 1

### 5 Závěr

Neustálý pokrok dosahovaný v mechanice hornin ve výzkumu i praxi vyžaduje mimo jiné i rozvíjet moderní metody zjišťování nových netradičních parametrů hornin, kam můžeme řadit i lomovou houževnatost. Cílem připravované disertační práce bude jednak rozvinout měření lomové houževnatosti v podmínkách laboratoří Ústavu geoniky, jednak stanovit typické

hodnoty tohoto parametru na vybraných vzorcích hornin. Předpokládá se přínos práce jak v oblasti metodické, tak i faktografické.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru Ústavu Geoniky AV ČR: AVOZ 30860518

## Literatura

- [1] International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods. *Suggested Methods for Determining The Fracture Toughness of Rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 25, No. 2, pp. 71-96, (1988)
- [2] Stibor, M. *Lomové parametry kvazikřehkých materiálů a jejich určování*. Doktorská disertační práce. Stavební fakulta, Vysoké učení technické, Brno, 234, (2004).
- [3] Konečný, P. *Lomová houževnatost – další fyzikální parametr pro hodnocení porušování hornin*. Sborník jubilejní vědecké konference ke stému výročí narození Prof. Ing.Dr. mont. Aloise Římana, DrSc. Hornicko geologická fakulta, Vysoká škola báňská, Ostrava, 42-53,(1996)
- [4] Whitaker, B. N., Singh,R. N., Sun, G. *Rock Fracture Mechanics*. Elsevier Science Publisher B. V., Amsterdam, 569,(1992)
- [5] Vlach, B. *Základy lomové mechaniky*. Učební text. FSI VUT , Brno, 13, (2001)





## PhD students and supervisors

List of PhD students working at IG and external PhD students supervised by scientists of IG.

Student	University	Supervisor
Běťák Jan, Mgr.	PřF MU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Cetkovský Stanislav, Mgr.	PřF MU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Dobiáš Daniel, Mgr.	PřF MU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Doležalová Hana, Ing.	HGF VŠB-TUO	doc. Ing. Miroslav Tyrner, CSc.
Dvorský Petr, Ing.	HGF VŠB-TUO	Doc. Ing. R. Šňupárek, CSc.
Dvořák Petr, Mgr.	PřF MU	RNDr. Vladimír Herber, CSc.
Filipová Kamila, Mgr.	LDF MZLU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Frantál Bohumil, Mgr.	PřF MU	doc. RNDr. Václav Toušek, CSc.
Halas Petr, Mgr.	PřF MU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Handzelová Barbora, Ing.	FS VŠB-TUO	prof. Ing. Petr Martinec, CSc.
Kajzar Vlastimil, Ing.	HGF VŠB-TUO	Doc. RNDr. František Staněk, Ph.D.
Klusáček Petr, Mgr.	PřF MU	doc. RNDr. Václav Toušek, CSc.
Koutecký Tomáš, Ing.	LDF MZLU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Krejčí Tomáš, Mgr.	PřF MU	doc. RNDr. Václav Toušek, CSc.
Krečmer Karel, Ing.	FEI VŠB-TUO	prof. RNDr. Radim Blaheta, CSc.
Kubalíková Lucie	PřF MU	RNDr. Karel Kirchner, CSc.
Lednická Markéta, Ing.	FS VŠB-TUO	doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.
Martinát Stanislav, Mgr.	PrF KU v Bratislavě	doc. RNDr. Peter Spišiak, CSc.
Marvánek Ondra, Mgr.	FřF MU	RNDr. Karel Kirchner, CSc.
Nováková Eva, Mgr.	PřF MU	doc. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc.
Pelišek Igor, Mgr.	PřF OU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Peterková Lucie, Mgr.	PřF MU	RNDr. Karel Kirchner, CSc.
Raška Pavel, Mgr.	PřF MU	RNDr. Karel Kirchner, CSc.
Rudolfová Eva, Ing.	FEI VŠB-TUO	prof. RNDr. Radim Blaheta, CSc.
Stolárik Martin, Ing.	FAST VŠB-TUO	Doc. RNDr. Z. Kaláb, CSc.
Sukeník Štefan, Ing.	FAST VŠB-TUO	Doc. RNDr. Z. Kaláb, CSc.
Sysala Stanislav, Mgr.	PřF UP	doc. RNDr. J.V. Horák, CSc.
Šaňková Blanka, Mgr.	PřF MU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Švec Pavel, RNDr.	PřF OU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Vavro Leona, Ing.	HGF VŠB-TUO	Doc. Ing. P. Konečný, CSc.
Veska Jiří, Mgr.	LDF MZLU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.
Vlková Veronika, Mgr.	PřF MU	doc. Ing. Jan Lacina, CSc.



Title: PhD Workshop 2007 proceedings

Editors: Radim Blaheta, Alexej Kolcun

Published by: Institute of Geonics AS CR, Ostrava

Printed by: Publishing Centre of VŠB – TU Ostrava

Ostrava, 2007

79 pages, 50 copies

Not for sale

ISBN 978-80-86407-27-2

