

# Antropogenní geomorfologie

## Ovlivnění přírodních geomorfologických procesů

Vliv lidské společnosti na reliéf Země tři základní způsoby:

➤ přímým nebo nepřímým ovlivňováním přírodních geomorfologických pochodů, a to jak jejich urychlováním, tak zpomalováním

Endogenních procesů

Exogenních procesů

➤ neplánovaným (nezáměrným) vytvářením povrchových tvarů

➤ plánovitým (záměrným) vytvářením nových a antropogenních (technogenních) tvarů antropogenními (technogenními) geomorfologickými pochody.

# Ovlivnění endogenních geomorfologických procesů

Ovlivnění endogenní geomorfologických procesů nejčastěji v oblastech:

- ❑ velké zatížení zemského povrchu (velké kubatury zástavby, přehradní nádrže)
- ❑ intenzivní podpovrchová těžba nerostných surovin
- ❑ oblasti s velkoobjemovým čerpáním podzemní vody.

Endogenní geomorfologické pochody výrazně ovlivňují také aktivity, které vyvolávají velké otřesy (*např. vypouštění a napouštění vodních nádrží, jaderné výbuchy či jiné velké exploze*).

K výraznému ovlivnění endogenní pochodů dochází i v **oblastech podzemního skladování surovin (např. ropy a zemního plynu) či odpadních látek**. V základní typologii lze rozlišit dva základní typy ovlivňování endogenní

- přerozdělení statických tlaků na povrchu reliéfu
- přerozdělení dynamických tlaků v zemské kůře

## Přerozdělení statických tlaků na povrchu reliéfu

K přerozdělení statických tlaků na zemském povrchu, které tak ovlivňuje endogenní geomorfologické pochody, dochází nejčastěji při realizaci velkých staveb, které zatěžují svou vahou podloží. Mezi takové projekty patří například:

- výstavba velkých vodních nádrží,
- výstavba velkých urbanizovaných celků (městských aglomerací),
- výstavba velkých průmyslových areálů,
- výstavba velkých dopravních ploch (velká letiště, mimoúrovňové křižovatky).

## ***Klasický příklad – přehrada Boulder***

(Hoover) dam na řece Colorado. Výstavba 1931. Napouštění v roce 1935, ukončení 1939. Délka přehrady 200 km, hloubka až 150 m, objem  $37,5 \text{ km}^3$ , hmotnost  $3,75 \cdot 10^{10}$ . Hráz délka 379 m, výška 221 m. Na části Black Canyon.



Black Canyon – 1904





Po napuštění byla v letech 1940-41 provedena nivelace opakovaná – prohnutí zemské kůry 0,78 m.

Začaly otřesy zemské kůry v letech 1937-44 asi 6000 otřesů. Zjištěna závislost mezi otřesy a max. hladinou vody v nádrži, úprava přítoku výstavbou dalších nádrží Fleming Gorge a Glen Canyon, zemětřesení na polovinu.

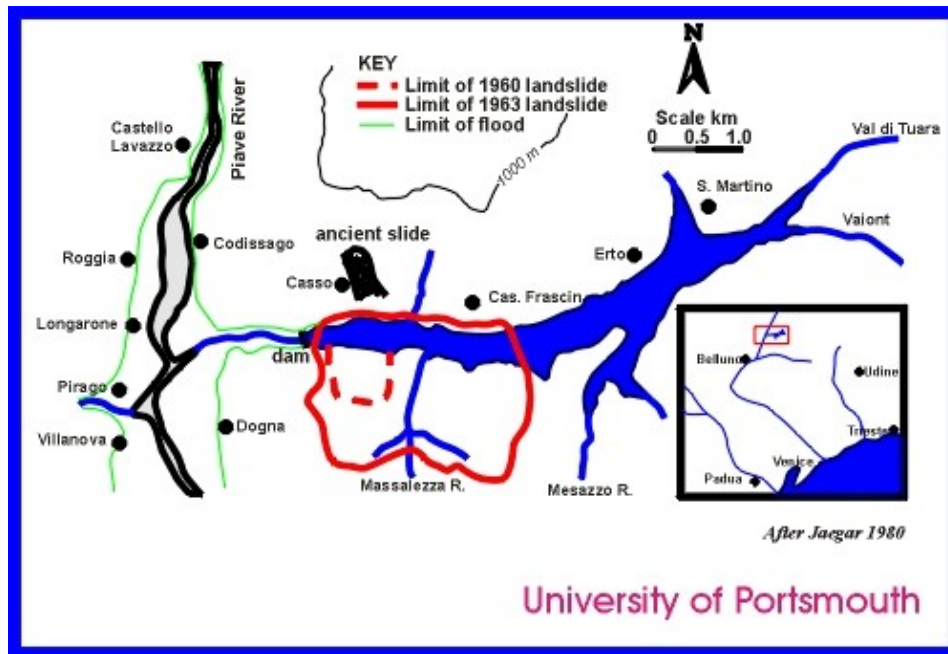


# Přehrada Vaiont

Itálie. Klenbová hráz 265,5 m, objem 0,17 km<sup>3</sup>, hloubka 130 m. Stavba zakončena v roce 1960, otřesy při napouštění, vápence, dolomity, zlomy.

Při poklesu hladiny otřesy ustaly, 9.10. 1963 deště - max. zdvih obrovský sesuv, 165 m vysoká vlna, sesuv, 100 mil m<sup>3</sup> objem, rychlost 100 km. hod<sup>-1</sup>  
vlna vysoká 165 m, přelilo se 40 mil m<sup>3</sup>

Směrem k řece Piavě ztratila výšku, 2117 m mrtvých



Tal des Lago di Vaiont im Oktober 1963. In den Stausee stürzten die Felsmassen des Monte Toc.





***vodní nádrž Koyna*** – Indie. Dekkánské tabule u města Koyna. Stavba vodní nádrže v roce 1961. **103 metrů vysokou hrází**, za kterou se vytvořila vodní plocha o celkovém objemu 2,8 km<sup>3</sup>. **Přehradní jezero 60 km délka.** ***Po naplnění přehrady v roce 1967*** došlo k zemětřesení o magnitudu 6,3 s epicentrem 3 kilometry jižně od vodní nádrže. Důsledkem otřesů byl vznik trhlin a zlomů o délce 10 až 60 metrů s šířce od několika centimetrů do 0,4 metrů. Při zemětřesení zahynulo 177 obyvatel.





**Afrika** - indukovaná seismicita u **vodní nádrže Kariba**, řeka Zambezi, státy Zambie-Zimbabwe. Hráz 128 metrů vysoká, 180 km<sup>3</sup> vody. Délka jezera 280 km.

Seismická aktivita byla v regionu i před napuštěním přehrady, ale po jejím dokončení se několikanásobně zvýšila. Největší otřesy jsou registrovány při naplnění vodní nádrže na maximální vodní stav a dosahují magnituda až 5,8.



# Asuánská přehrada

sypanou hrází pyramidového tvaru z žulového kamene a jádrem z cementu a jílu. Hráz – šířka základny je 980 m, zatímco horní částí hráze měří 40 m. Hráz je vysoká 111 m. Základní kámen byl položen 9. ledna 1960 a stavba byla slavnostně ukončena 15. ledna 1971. Nádrž objemu 165 km<sup>3</sup> se začala plnit už v průběhu stavby roku 1964 a plné kapacity přehrady bylo dosaženo až roku 1976. Nassirovo jezero - délku 500 km a šířku 35 km

Seizmická činnosti v oblasti - tlak vody způsobuje otřesy a odborníci se obávají protržení hráze následkem zemětřesení. Bezprostřední nebezpečí zatím nehrozí, neboť hráz nepoškodilo ani zemětřesení o síle 5,3 stupňů RichtEROVY škály v roce 1981, jehož epicentrum bylo vzdáleno 55 km od přehrady.





Přírodní poklesy zemského povrchu nejsou obvykle rychlejší než 0,5 mm za rok, zatímco poklesy ovlivněné lidskou činností mnohonásobně rychlejší.

Na území České republiky se velká přehrada v mezinárodní klasifikaci, tj. vodní nádrž s hrází vyšší než 100 metrů nenachází. Největšími vodními nádržemi jsou vodní nádrž **Dalešice na Jihlavě s hrází vysokou 99,5 metrů**, vodní nádrž **Orlík** s největším zadržovaným objemem vody a vodní nádrž **Lipno** s největší vodní plochou.



Dalešice: Délka vzdutí: hlavní nádrž 22 km, vyrovnávací nádrž 7 km

Zatopená plocha: 480 ha a 118 ha

Objem zadržované vody: 127,3 mil. m<sup>3</sup> a 17,1 mil. m<sup>3</sup>

Stálý objem: 59,5 mil. m<sup>3</sup> a 5,6 mil. m<sup>3</sup>

Hlavní hráz: délka v koruně 300 m, šířka v koruně 8 m, šířka v základnové spáře 300 m, maximální výška hráze nad základnovou spárou 99,5 m, kubatura hráze 1,95 mil. m<sup>3</sup>

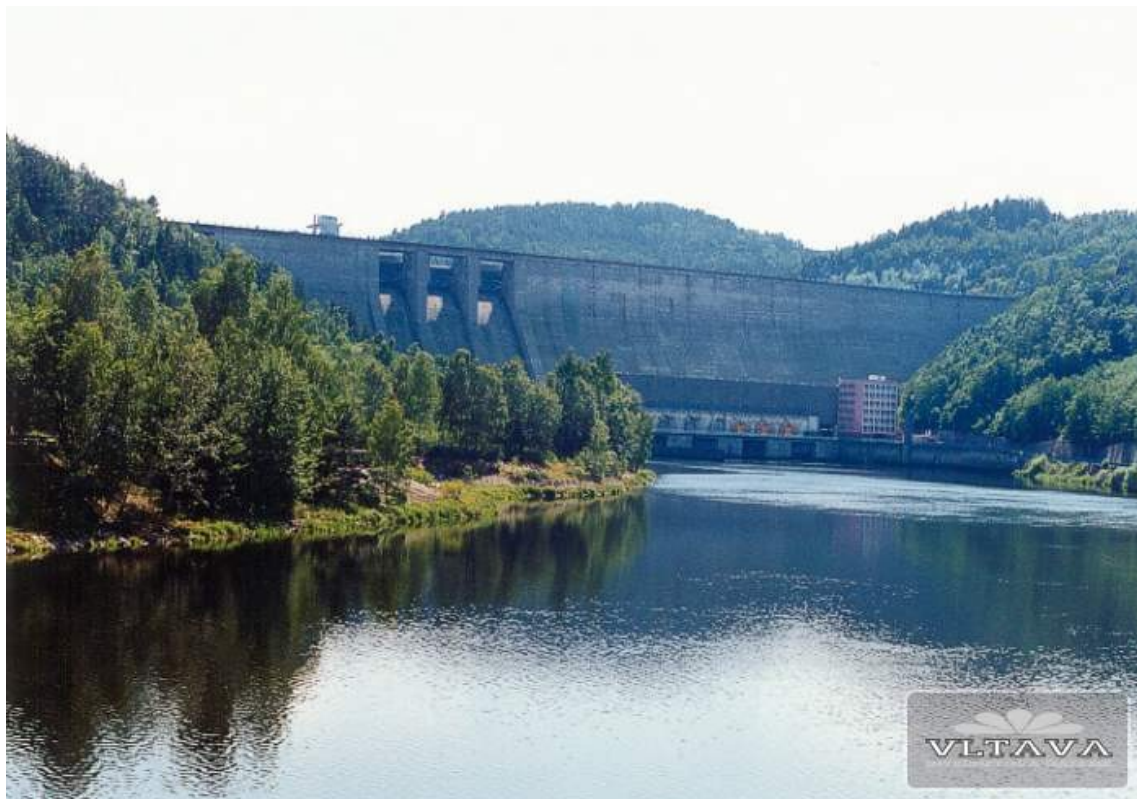
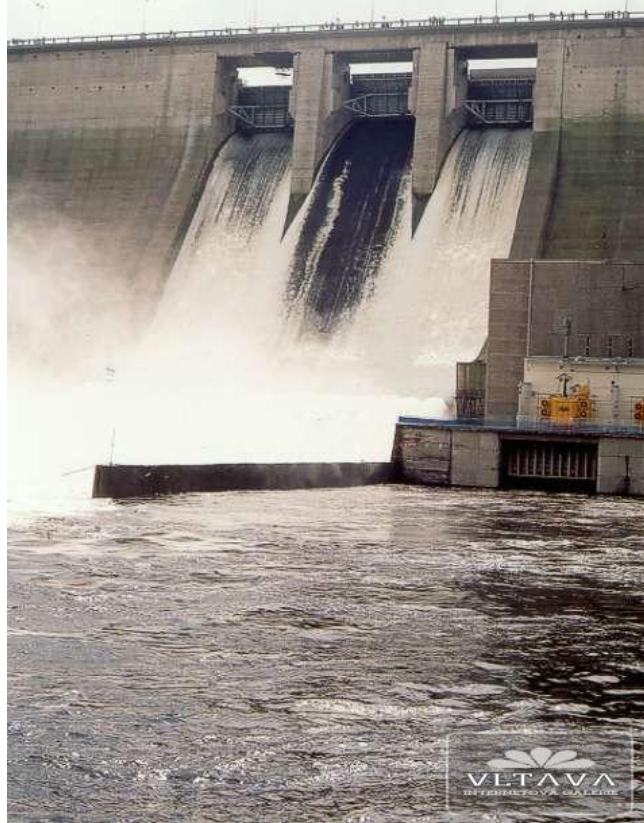
Hráz vyrovnávací nádrže: délka 185 m, šířka v koruně 7,75 m, šířka v zákl. spáře 32 m, výška 49 m, kubatura betonu 89 400 m<sup>3</sup>



Na základě měření v oblasti **Orlické přehrady** byly zjištěny poklesy dna vodní nádrže dosahující průměrné hodnoty 0,12 mm/rok (Mačák, 1980). S ohledem na stavbu jaderné elektrárny Temelín byla 90. letech 20. století provedena podrobná měření v lokalitě, při kterých byla zjištěna epicentra zemětřesení jako reakce zemské kůry na zatížení přehradním jezerem Orlické přehrady

## Orlická přehrada

Její 450 m dlouhá hráz dosahuje v koruně výšky 91 m. Zadržuje jezero o ploše 2.732 ha, dlouhé na Vltavě 68 km, na Otavě 23 km a na Lužnici 7 km. Největší hloubka je 74 m. Jezero obsahuje 717 mil. metrů krychlových vody a je objemem zadržené vody největším v republice.



<b>Region</b>	<b>Druh lidské aktivity (antropogenní ovlivnění)</b>	<b>rychlost poklesu (mm/ rok)</b>
delta Pádu s Benátkami (Itálie)	čerpání podzemních vod	5-10
Wilmington (USA)	těžba ropy a plynu	740
Las Vegas (USA)	čerpání podzemních vod	35
Taipei (sever ostrova Tchaj-wan)	čerpání podzemních vod	100
Ekofisk (Severní moře)	těžba ropy a plynu	30-70
jezero Mead (Colorado, USA)	přehradní jezero	20
Toktogul, řeka Narin (Kyrgyzstán)	přehradní jezero	20-30
Kariba, řeka Zambezi (Zambie, Zimbabwe)	přehradní jezero	12,7
Orava (Slovensko)	přehradní jezero	5,0

Rychlost poklesů zemského povrchu podmíněných lidskou činností  
*Pramen: Kukal (1990), Kukal, Reichmann (2000)*

## ***Sídlní aglomerace - poklesy zemské kůry***

- v městě a v okolí kompenzační zdvihy (např. Moskva poklesy 12 mm v letech 1936-50). Komplex jevů: hmotnost objektů, odstraňování hornin při ražbě podzemních prostor, odčerpávání podzemní vody, v létě přehřátí a sesedání půdy při ochlazení. Např. vysoká budova na Smolenském nám. v Moskvě deprese o poloměru 120 m, hloubka 50 cm.





# Přerozdělení dynamických tlaků v zemské kůře

K přerozdělení dynamických tlaků v zemské kůře dochází zejména při vyčerpávání a načerpávání velkých množství tekutin, při otřesech způsobených výbuchy či propady v místech hlubinných děl. Nejvíce antropogenních zásahů ovlivňujících přerozdělení dynamických tlaků v zemské kůře je v oblastech:

- těžby ropy a zemního plynu,
- čerpání velkých objemů podzemních vod
- poddolovaných hornickou činností (nejvíce hlubinná těžba uhlí)
- pozemních výbuchů (průmyslová a vojenská činnost)

Narušení zemské kůry, které vede k přerozdělení dynamických tlaků je čtené v lokalitách, kde se těží ropa a zemní plyn. Jejich čerpáním může dojít k takovému narušení, které vyvolá silné otřesy. Registrovaná zemětřesení jsou v oblasti ropných polí v Texasu, oblasti Kaspického moře nebo Severního moře.

Vedle těžby ropy a zemního plynu dochází k narušení dynamických tlaků také čerpáním podzemní vody nebo solných roztoků na jedné straně, na straně druhé načerpáváním tekutin a plynů.

velkoměsto	příčina poklesu	období	celkový pokles (cm)
Mexico City	nestabilní podklad	1985-1990	850
Londýn	zástavba, čerpání vody	1750-1990	50
Bangkok	nestabilní podklad, čerpání vody	1900-1990	100
Osaka	zástavba, čerpání vody	1928-1990	300
Tokio	zástavba, nestabilní podklad, čerpání vody	1950-1990	450
Long Beach, Kalifornie	čerpání vody	1941-1990	900

Rychlost poklesu zemského povrchu v některých světových velkoměstech (podle Kukala 1990)

Příkladem ***načerpávání tekutin*** je vtlačení odpadních vod v ***oblasti Denveru v USA***.  
***V roce 1961 zde byl vyvrtán 3 671 metrů hluboký vrt***, do kterého byly postupně pod tlakem čerpány tekuté odpady. Čerpání odpadů doprovázela od samého počátku seizmická aktivita. Za prvních sedm let načerpávání bylo naměřeno více než 600 otřesů s magnitudem i vyšším než 5. Průměrně bylo každý měsíc do vrtu vtlačeno 27 mil. litrů kapalných odpadů a registrováno více než 50 otřesů, jejichž ohniska ležela v hloubce 4,5 až 5,5 kilometru.

K načerpávání tekutin dochází i z důvodů doplnění zásob podzemních vod. Pokusy se realizovaly například v oblasti Krymu (v okolí města Simferopol), kde po zdvihu hladiny podzemní vody ve vodonosných vrstvách o 5 až 12 metrů došlo k registrovanému zemětřesení s epicentrem v místě umělé infiltrace.

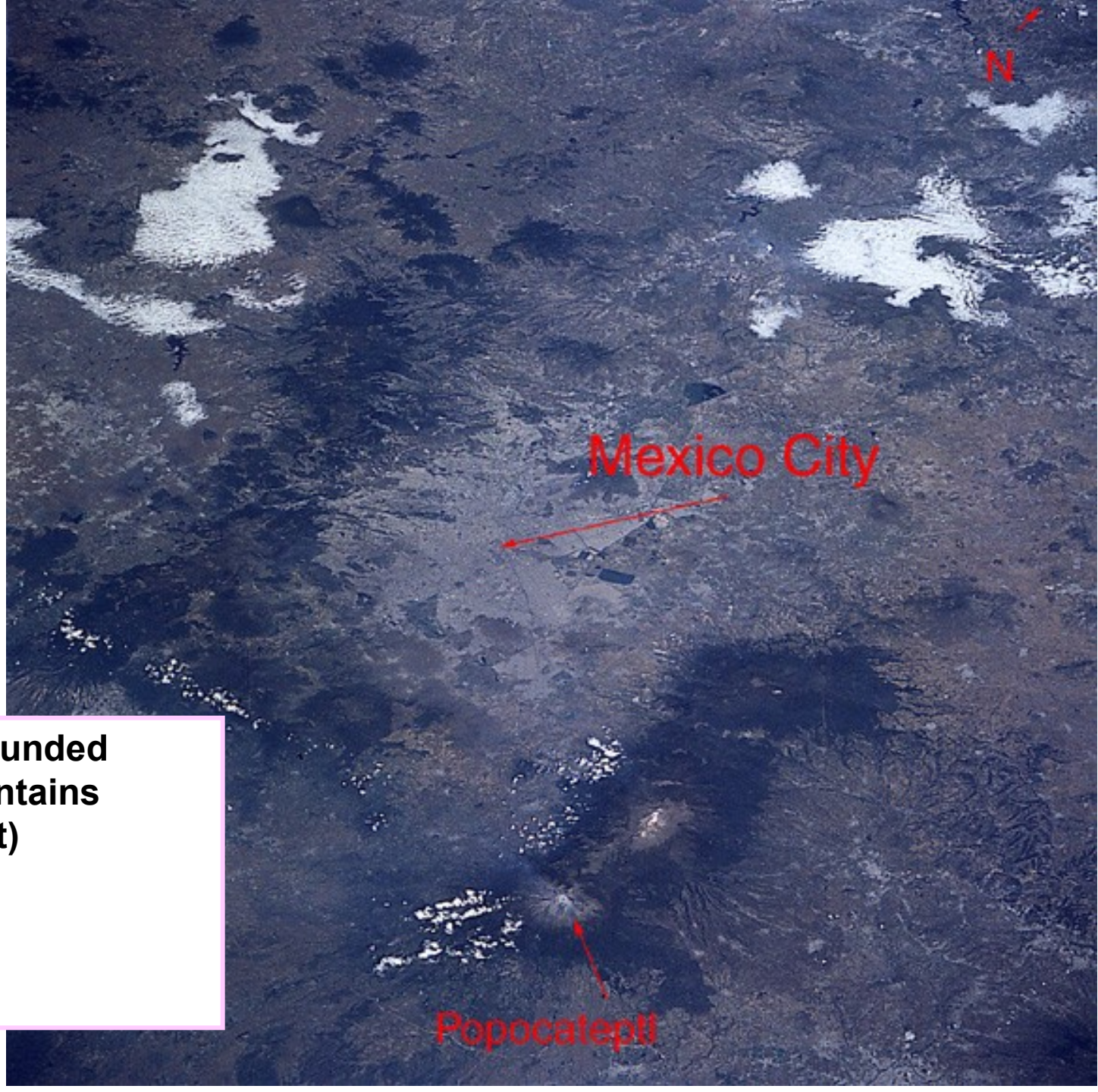
### ***Gazifikace uhlí, těžba soli, těžba uhlí – důlní otřesy***

#### ***Podzemní jaderné výbuchy***

– Nevada pokusný polygon, zemětřesení, výbuch o síle 0,1 až 1,2 megatun TNT vyvolal zemětřesení o M 5-6., vertikální pohyby na povrchu až 1,2 m, horizontální 0,15 m, oživen= zlomy 0,3 – 8 km.

*střelnici na Nové Zemi (tzv. Severní novozemská střelnice),  
Semipalatinský výzkumný polygon (SIP) v Kazachstánu  
Indie pouštní střelnice v provincii Rádžasthán*





**Lake basin surrounded  
by volcanic mountains  
(Miocene - recent)**

**120 x 60 km.**



**By 1521 Spaniard conquerors  
defeated Aztecs.  
New city over the ruins**



**Tenochtitlán under  
Mexico's city down town**





Pohled z Torre Latinoamericana k severu





Pohled z Torre Latinoamericana k západu





**Uncontrolled spread of the city  
pumping of water enhanced by half of 19. Century  
since (cca) 1940 problems with subsidence**





Sever ul. Alameda



Basilica de Guadalupe



**Building usually without any permission  
Urbanization reaches foothill of volcanoes**







**Palacio de la Antigua Escuela de  
Medicina - Museum**



## ***Podzemní zásobníky plynu***

Skladování plynu, skladování letních přebytků pro pokrytí zvýšené spotřeby v zimě, potřeba uskladnit 20-25% objemu roční spotřeby, nejpříjemnější způsob podzemní uskladňování.

Od poloviny 19.století rozmach výroby, potřeba skladování svítiplynu (plynojemy –

chicagský s kapacitou 600 000m<sup>3</sup> ,***zemní plyn - využití vytěženého ložiska, 1915-16***

***využití vytěženého ložiska*** Wellandský okres státu Ontario Kanada, USA podzemní zásobník na ložisku Zoar-Erie ve státě New York kapacita 62 mil. m<sup>3</sup> , na konci 70 let v USA 400 podzemních zásobníků plynu s celkovou kapacitou 212 mld. m<sup>3</sup> plynu.

Další cesta hledání vhodných geologických struktur, které by byly schopny plyn přijmout

***podzemní zásobníky akviferového typu*** první pokus v USA v roce 1946, rozpukané vápencové souvrství v hloubce 170 m na pomezí států Kentucky a Indiana, nepodařilo se

vytěsnit vodu, v roce 1950 ve státě Iowa ve vrstvách pískovců v hloubce 530-580 m

uskladněno 530 mil. m<sup>3</sup> , ***akviferové struktury – zásobníky v porézních strukturách***

***vodonosné propustné vrstvy, voda vytlačena přetlakem plynu***

***kavernové podzemní zásobníky*** : - loužením mohutných ložisek soli, - kaverny vytvořené

výbuchem, - hornickým způsobem (rubáním) volné podzemní prostory staré opuštěné

hlubinné doly nebo speciálně vyrubané, - zmrazením okolní horniny (zmrzlá voda v pórech

vytváří bariéru pro uhlovodíkové látky)

Pohyby nadloží související s funkcí zásobníku: ***zásobník Hrušky opakovaná geodetická***

***měření od roku 1978 periodické oscilace odpovídající tlakovým cyklům, nárůst***

***náklonu 0,4 až 0,5 mm za rok***, náklony celého území s poklesem do centra propadliny,

recentní pohyby podél tektonických poruch.

**Lobodice** – podzemní zásobník akviferového typu, 1965-1990 svítiplyn, od roku 1990 zemní plyn, klastické sedimenty spodního badenu, těsnící hornina bádenské jíly

**PZP Tvrdonice**, ložisko Hrušky – původní plynové ložisko, vybudován v letech 1972-74, uskladňování v hloubkách 1600 m baden, 1250 m sarmat, 1100 m sarmat

**PZP Štramberk** – plynové ložisko Příbor –jih, karpatský horizont, zahájen provoz v roce 1983

**PZP Dolní Dunajovice** – (stejnojmenné ložisko) 1989 – ložiskovou nádržní horninou jsou bazální klastika eggenburgu, pískovce

**PZP Háje (Příbram)** – kavernový podzemní zásobník, budován hornickým způsobem, zahájení provozu v roce 2000

**PZP Třanovice** – oblast ložiska Horní Žukov-Třanovice-Mistřovice, plynové ložisko, 1949-82 těžba, na žukovském hřbetu tři pohřbená údolí jako stratigrafický typ pasti, klastický materiál spodní baden, nadloží spodnobádenské tégly

**PZP Dolní Bojanovice** - dříve ložiska ropy a zemního plynu objevena v roce 1974, pět ložiskových objektech (původních ložiscích ropy a zemního plynu), které se nachází v hloubkách 750 až 2 070 metrů. Vtláčení plynu do zásobníku bylo zahájeno v roce 1999. Ložiskovou nádržní horninou podzemního zásobníku jsou bazální klastika eggenburgu a pískovce.

# Seizmicita

technická seizmicita vzniká spolupůsobením přírodních i antropogenních faktorů v důlní oblasti např. české části hornoslezské pánve (indukovaná seizmicita).

**Technickou seizmicitou** se rozumí seizmické otřesy vyvolané umělým zdrojem nebo indukovaná seizmicita.

**Indukovaná seizmicita** (stojí na rozhraní mezi přirozenou a technickou) je dnes považována za nedílnou součást lokální a regionální seizmicity. Patří sem také seizmické jevy vyvolané v okolí přehrad, při vtlačení média do masivu a při odebírání média z masivu .

Posledně jmenovaná indukovaná seizmicita byla monitorována (bez měřitelného efektu) při testech s trháním uhelných slojí na Frenštátsku s cílem uvolnit metan.

**Průmyslová seizmicita** - seizmické otřesy buzené činností strojů. Skupina otřesů vyvolaných umělým zdrojem je tvořena především vibracemi vzniklými při trhacích pracích, automobilovou a kolejovou dopravou, pulsací vodního paprsku, činností strojů a lidí nebo průmyslovou činností.

Doprava a průmysl nositel i velmi významných vibrací – některé časově omezené, např. zhutňování podloží cest a parkovišť, těžká doprava podobu výstavby, slabá trhací práce jako součást technologie úpravy horninového masivu atd.

Jiné mohou nabývat na intenzitě jako např. zvyšování mohutnosti dopravy a průmyslové aktivity.

V české části hornoslezské pánve je dokumentována důlně indukovaná seizmicita již více než 100 let. Nejsilnější důlní otřes vznikl na Dole ČSA v Ostravsko-karvinském revíru (OKR) v roce 1983 s magnitudem  $M = 3,8$ .

Např. nyní je seizmickou monitorovací sítí v karvinské části OKR zaregistrováno až 50 tisíc jevů ročně, z toho přibližně 100–500 otřesů, jejichž energie je větší než  $9 \cdot 10^3$  J (lokální magnitudo rovno asi jedné).

Přes útlum v objemu těžby v OKR není v současné době pozorován úměrný pokles počtu a intenzity jevů (např. Konečný et al., 2003). Je to způsobeno jednak tím, že útlumový program vyvolává z ekonomických důvodů selektivní těžbu, která ve svém důsledku přináší vyšší zatížení důlních polí a složité geometrie vyrubaných prostor, jednak postupem dobývání do větších hloubek i nutností dobývat zbytkové plochy uhelných slojí ve složitých podmínkách na styku dobývacích prostorů a ker oblastí, kde se dříve nadložní sloje často nedobývaly.



<b>Datum</b>	<b>Lokální magnitudo</b>	<b>Oblast</b>		<b>Datum</b>	<b>Lokální magnitudo</b>	<b>Oblast</b>
7. 3. 1997	2,7	důl Darkov		26. 2. 2001	2.2	Ostrava
15. 4. 1999	2,9	důl ČSA		13. 6. 2002	3.9	důl Doubrava
22. 4. 1999	2,2	důl ČSA-Doubrava		7. 10. 2003	2,1	důl Darkov
8. 1. 2000	2,5	Ostrava		11. 3. 2004	3,1	důl Lazy
25. 5. 2000	2,2	Ostrava		12. 7. 2004	2,7	Důl Doubrava
24. 8. 2000	2,7	Ostrava		12. 3. 2006	3,0	Ostrava

Největší antropogenně podmíněné otřesy v ČR za období let 1996 – 2006, pramen ČGS

Příkladem je otřes na dole Doubrava (13. 6. 2002, 12. 7. 2004) či na dole Darkov (7. 10. 2003). Při seismickém otřesu na dole Lazy (11. 3. 2004) zahynulo celkem sedm horníků. K závalu o délce 50 metrů došlo v hloubce 680 metrů pod zemským povrchem. Jednalo se o největší důlní neštěstí v České republice od roku 1990.

Poddolovaná území – čs. legislativě považují oblasti s doloženou nebo předpokládanou existencí hlubinných důlních děl. Mapování- od 1983, kdy byl vytvořen základ „Registru poddolovaných území“.

Pro potřeby orgánů územního plánování ČR byly v letech 2002–2006 průběžně zpracovávány a aktualizovány grafické, mapové a datové údaje o jednotlivých poddolovaných územích celé ČR.

Poddolovaná území jsou řazena mezi tzv. území se zvláštními podmínkami geologické stavby, které mohou mít vliv na vypracování územně plánovací dokumentace a na životní prostředí.

K 31. 12. 2006 bylo v Registru poddolovaných území evidováno na území ČR celkem **5 483 objektů na ploše 1 988,9 km<sup>2</sup>**.

V současné době jsou poddolováním a následnými poklesy terénu nejvíce postiženy části dobývacího prostoru Louky v oblasti Louckých rybníků na Karvinsku, kde se do roku 2008 očekávají poklesy terénu až o 380 cm (případně až 425 cm). Do ukončení hornické činnosti se předpokládá prohloubení obou poklesových kotlin až na 8 metrů (případně až 12,5 m).

