

Rizika z nestability výsypek

Dopady změny vodního režimu
výsypky vlivem pomalé konsolidace
a v čase

Ing. František Kružík
M. Rybalka 1036
Most

Hydrologie a hydrogeologie výsypek v čase

Část I: Konstrukce výsypek

Část II: Konsolidace a procesy zvětrávání

Část III: Hydrologie a hydrogeologie

Část I: Konstrukce výsypek

- Povrchové dobývání uhlí v Severočeské hnědouhelné pánvi (SHP) je provázeno vytvářením výsypných prostorů již po více než 100 let;
- rozpojování, doprava a zakládání skrývky a výklizu;
- metody zakládání a parametry výsypek;

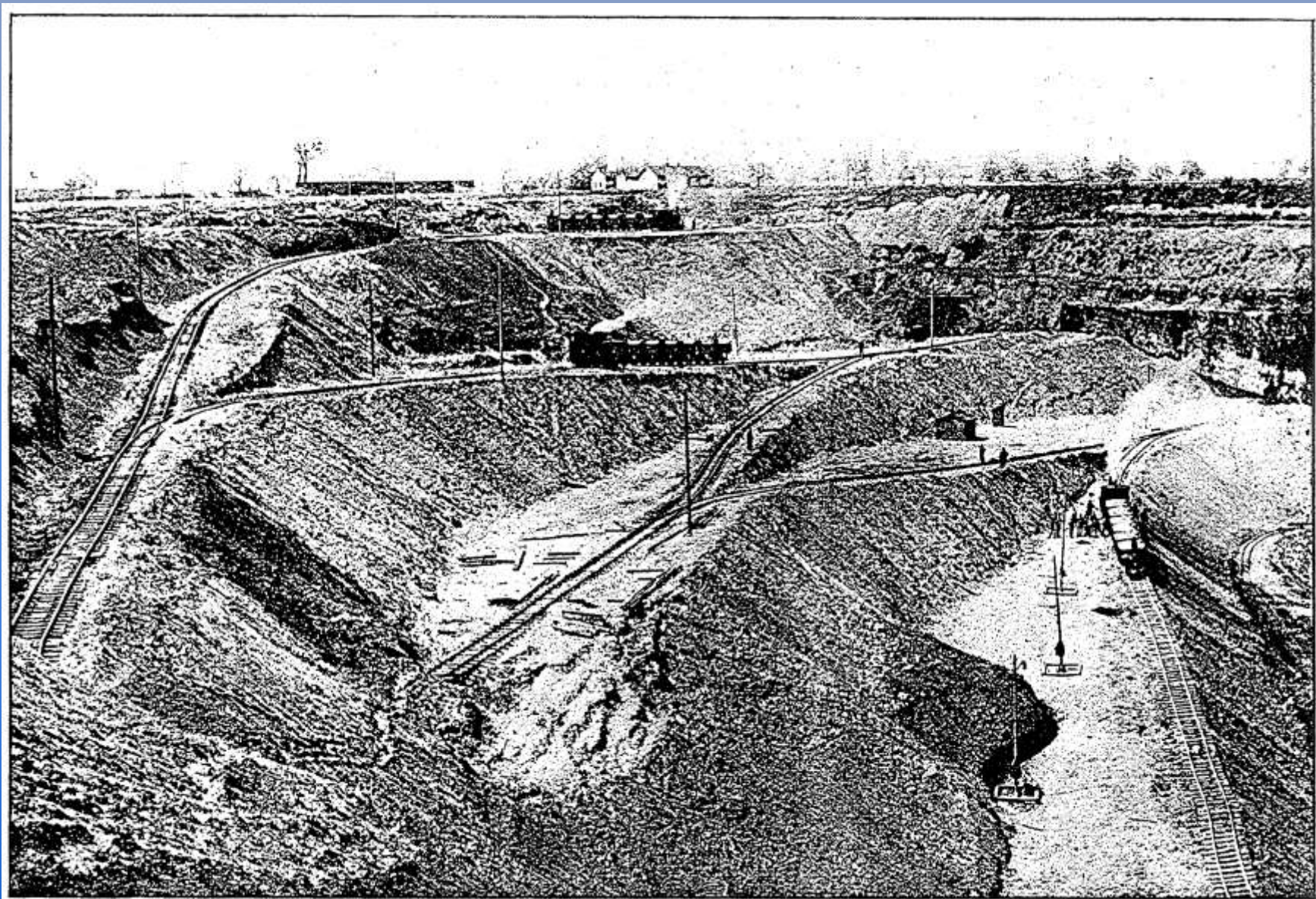
- Podrobnosti - odkazují na přednášku a článek konference EKOMONITOR VI, v roce 2015

Tabulka 1

Celkový přehled počtu hlubinných dolů a povrchových lomů v území SHP podle okresů (Zdroj Schenk; 1973)

Okres	Počet			Celkový počet důlních závodů
	dolů hlubinných	dolů povrchových	štol	
Děčín	12	-	-	12
Chomutov	360	20	1	381
Louny	81	1	-	82
Most	258	48	1	307
Teplice	625	94	9	728
Ústí n.L.	303	23	3	329
Celkem	1639	186	14	1839

Kolejové zakládání (Parma, A. - důl Ludvík v Chudeříně 1925)

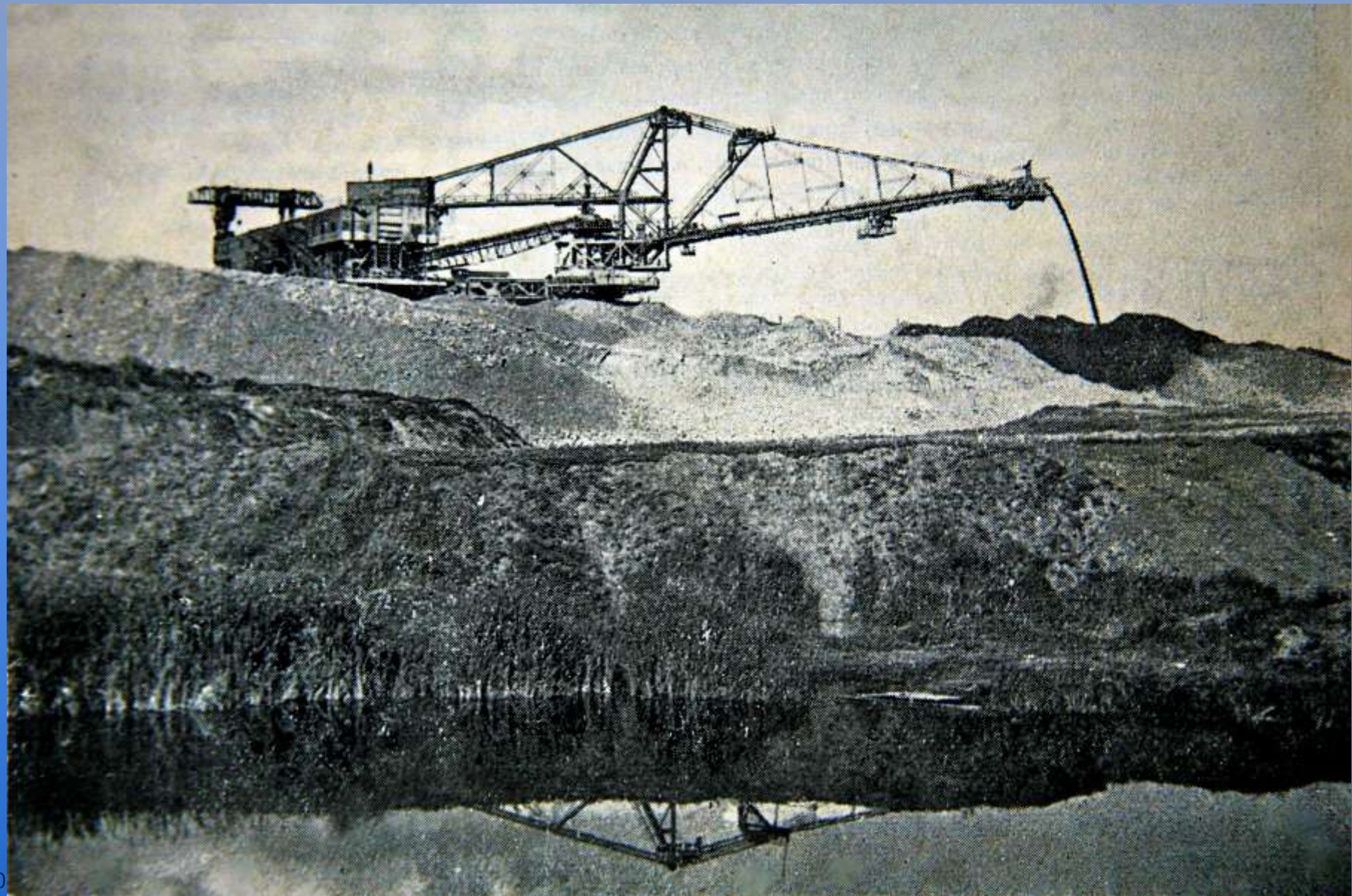


Sypání výsypky z výložníku zakládače



Odhozová parabola výložníku (sklon + rychlost pasu)

Sypání výsypky z výložníku zakládače - Kopisty (rok 1959)



Gravitační vytrídění sypaných hmot na svahu



Zakládání na dvě etáže a gravitační vytrídění na svazích jednotlivých banků



Výsypka,

jako výsledek výsypkových prací, je stavbou v plném slova smyslu.

Jejím stavebním materiálem jsou skrývkové hmoty v objemu několika stovek milionů m³.

Fakticky každá výsypka představuje jedinečnou (originální) antropogenní strukturu velkých rozměrů, jejíž morfologie a další procesy v nitru výsypky nejsou ani po ukončení sypání konečné.

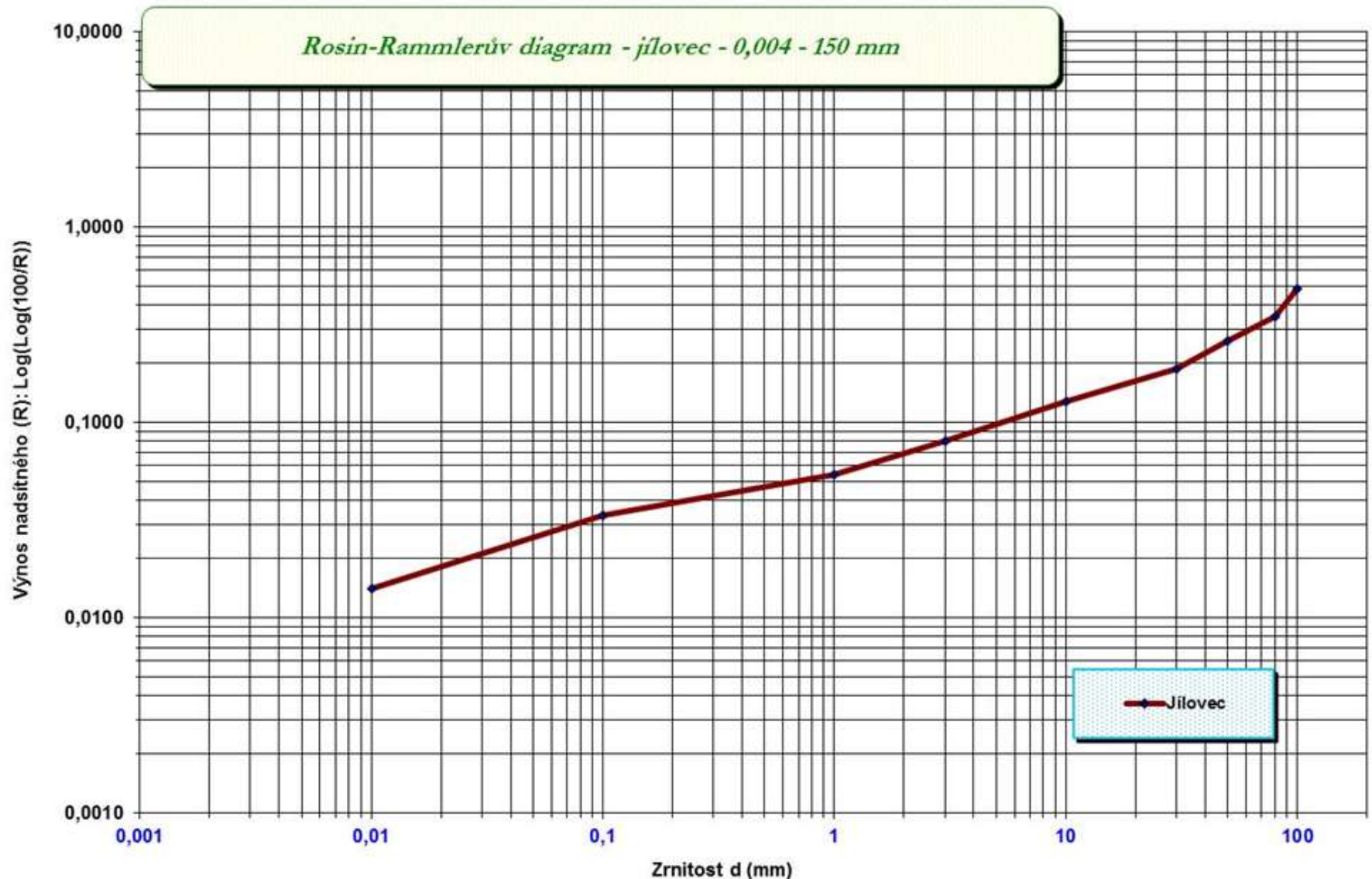
Zeminy a horniny v původním rostlém stavu se rozpojením dobývacími stroji při těžbě mění:

- ve směsici hornin a zemin různého mineralogického a petrografického složení;
- ve směs zrn různých velikostí, tvarů a různých fyzikálně-mechanických vlastností.

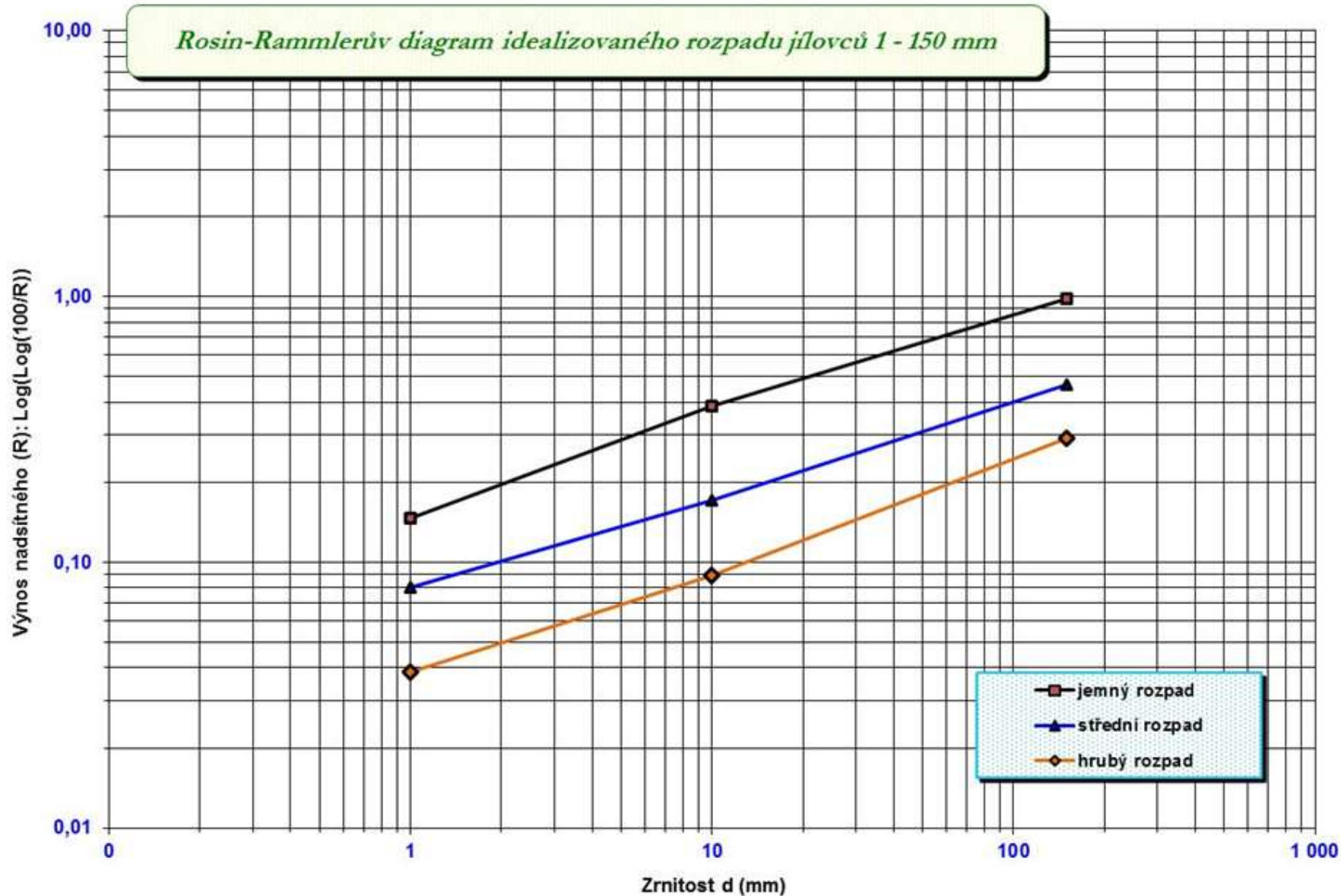
Uložením těchto odklizových hmot do tělesa výsypky je zahájen **proces konsolidace**, při kterém:

- **diametrálně se mění technické vlastnosti sypaniny a tím celé výsypky proti původním rostlým těženým horninám.**

Zákonitost rozpadu skrývkových zemin



Zákonitost rozpadu skrývkových zemin



Část II: Konsolidace a procesy zvětrávání

Konsolidace výsypky

- Od prvního okamžiku sypání výsypky je zahájen komplexní proces, který je souhrnně nazýván **konsolidace výsypky**.
 - je **jistou paralelou procesu diagenese**, který v geologii, speciálně v sedimentologii, vysvětluje, v nekonečném množství variant, přeměnu sedimentu **ve zpevněnou horninu**;
 - v souvislosti s diagenetickými procesy, je jako nepominutelný **parametr vždy zdůrazněn čas**;
 - **pro výsypky a jejich vývoj, je časový faktor stejně nepominutelný**.

Konsolidace výsypky

- **Konsolidace** bývá v mechanice zemin obvykle vysvětlována velmi obecně jako:
 - deformace vícefázového prostředí vlivem konstantního (gravitace) nebo proměnného zatížení (např. vlivem pohybu vody v tělese výsypky, sufóze, vznik autigenních minerálů);
 - dochází ke změně objemu sypaných hmot vlivem postupného vytlačování pórového vzduchu a vody a dále působením **reologických procesů ve skeletu** zeminy (vliv některých minerálů).
- Prostředí tělesa výsypky je **nehomogenní** a **anizotropní =>**
 - **průběh konsolidace má proto partikulární charakter ve vertikálním i horizontálním směru či v jednotlivých částech (etážích) výsypkového tělesa.**

Konsolidace výsypky - deformace, hydraulika, geochemie, rekrystalizace...

- Veškeré zeminy jsou do výsypky uloženy po rozpojení a transportu:
 - zrnitostní složení fragmentů zakládáné zeminy (viz příklady rozpadové RRGB);
 - koeficient nakypření 25 – 35 %, podle mineralogického složení a dosažené úrovně diagenese => obj. hustota => litostatický tlak;
 - zvláštní pozice tzv. „*regelačních horizontů*“ původních zemin
- významný je podíl:
 - písků;
 - zpevněných sedimentů:
 - chemogenně – pelokarbonátů (zvl. FeCO_3 a všechny formy FeS_2);
 - diageneticky – pískovců, prachovců;
 - zpevnění oběma způsoby – pískovce, slepence, konglomeráty s různou formou tmele nebo základní hmoty;
 - organické (uhelné) hmoty, zejména mezislojových výklizů a proplástek:
 - uhlík zásadně mění redox prostředí výsypky;
 - sirníky a stopové prvky.

Konsolidace výsypky - deformace, hydraulika, geochemie, rekrystalizace...

Výsypkové zeminy jsou predisponovány sedimentačními, diagenetickými, tektonickými a erozními procesy „in situ“ (v původním uložení):

- ❖ proměnlivost mineralogického složení;
- ❖ poloha vzhledem ke zdrojovým (snosovým) strukturám;

Skladba a kusovitost výsypkových zemin (po odtěžení, transportu a uložení)

zásadním způsobem ovlivňuje:

- ✦ atmosférickou a hydraulickou propustnost sypaniny;
- ✦ schopnost rehydratace minerálů;
- ✦ hydraulické vytřídění, zvl. jemnozrnných frakcí;
- ✦ diferenciální kompakci s jejími veškerými dopady na morfologii a stabilitu;
- ✦ geochemické procesy (redox a Eh potenciály);
- ✦ vývoj a akumulace tepla v tělese výsypky;
- ✦ rozklad a rekrystalizace minerálů.

Význam kaolinitu v výsypkových zeminách

- Tzv. jílové minerály jsou reprezentovány triádou kaolinit – illit – montmorillonit (používaná zkratka KIM)
- Dominance kaolinitu v sedimentech SHP je dobře známá;
- illit a montmorillonit jsou, až na lokální výjimky, minerály vedlejší s podíly do 5 hm. %, ale jsou téměř vždy, v proměnlivém podílu zastoupeny.
- Montmorillonit převládá na některých lokalitách v blízkosti vystupujících vulkanitů, typicky oblast v okolí Braňan – MK nebo MKI jíly.
 - Méně známá je skutečnost, že kaolinit, tak výrazně zastoupený v monotónních šedých až tmavošedých jílech, tvořících hlavní část vrstevního sledu nadložních hornin, má jen zřídka idiomorfni habitus.
- Malkovský to popisuje následovně (cit.):

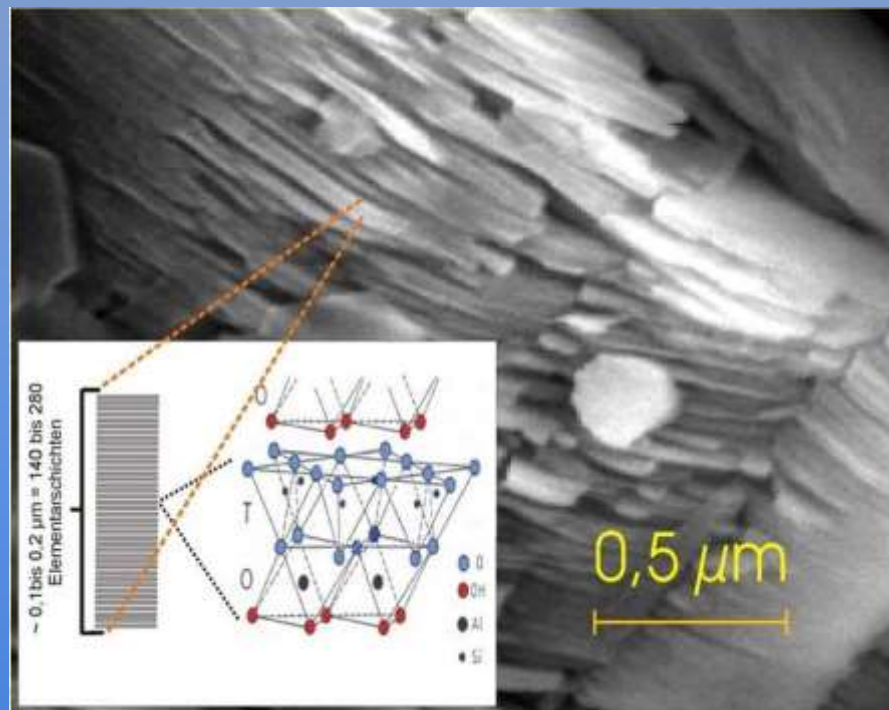
„V litologické charakteristice převažují monotónní šedé až tmavošedé jíly (podle zrnitostních rozborů z centrální části pánve jde většinou o jílový prach až prachový jíl, obsahující 50 – 70 hm. % částic menších než 0,005 mm a 30 – 45 hm. % částic 0,005 – 0,063 mm). Jejich vrstevnatost je začerstva nezřetelná, teprve po snížení napětí a při vysychání se projevuje horizontální odlučnost, až nakonec se střípkovitým rozpadem. Jílová složka je tvořena směsí kaolinitu, illitu a často i montmorillonitu, jílové minerály nenesou znaky rekrystalizace.“

Střípkovitý rozpad skryvkových zemin



Kaolinit

(chemický vzorec: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; **tvrdost: 1,0**; hustota: 2100 až 2600 kg.m^3)



Kaolinit typu I (triklinický – kaolinit T): idiomorní pseudohehexagonální habitus, v krystalu o tloušťce 0,1 až 0,2 mikrometru je elementární vrstvička = $7,14 \cdot 10^{-10}$ až $1,43 \cdot 10^{-9}$ m (tj. v řádu nanometrů).

Tento typ je v sedimentech SHP vzácný.

Kaolinit

(chemický vzorec: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; **tvrdost: 1,0**; hustota: 2100 až 2600 kg.m^3)

Kaolinit typu II (pseudomonoklinický): hypidiomorfní habitus, s porušenou krystalografickou strukturou a vakancemi ve strukturní mřížce;

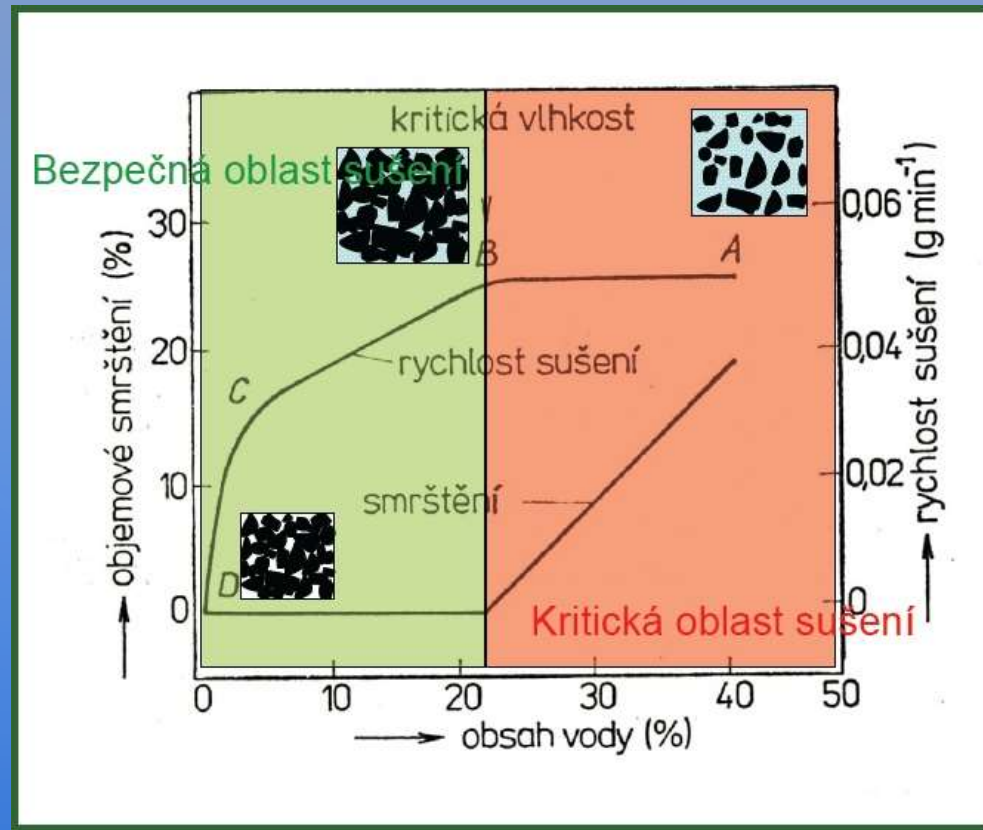
Tento typ je v sedimentech SHP dominující;

Kaolinit typu III (pseudomonoklinický kaolinit s alomorfním habitem - kaolinit M, bývá také označován jako pseudomontmorillonit). Obsahuje vakance v krystalické síti – kombinace oktaedrické a tetraedrické sítě.

Spolu s typem II se vyskytuje nejčastěji ve svrchních částech nadložních vrstev.

- Během snosu, transportu a v prostředí jezerně-deltové a jezerní sedimentace byly pelity vícenásobně redeponovány, fyzikálně-chemicky rozrušovány – procesy **interkalace** a **exfoliace** jílových minerálů.

Schéma sušení a zvlhčování

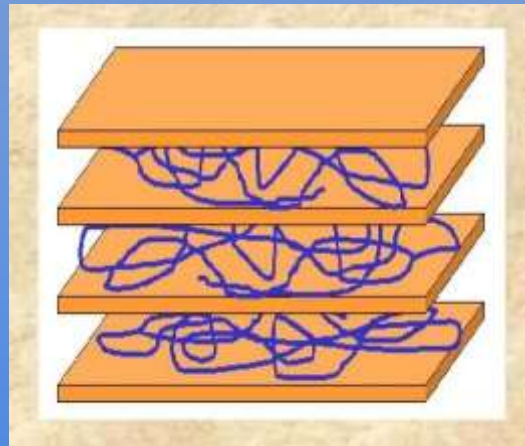


Vlček, J. 2004 přednáška – Technologie silikátů, jílová keramika

Schéma interkalace a exfoliace



+ H₂O



+ H₂O



Viček, J. 2004 přednáška –Technologie silikátů, jílová keramika

Dílčí závěr

Ani v jezerním prostředí a po ukončení sedimentace, kdy původní mocnost nadložních sedimentů dosahovala, podle odhadů různých autorů, dvoj- až trojnásobek současných maximálních mocností nadložních vrstev (tj. 600 až 1000 m), nedošlo k rekrystalizaci kaolinitu ani dalších doprovodných jílových minerálů.

Nelze proto očekávat, že by to bylo možné v prostředí výsypkového tělesa, kde litostatický tlak, daný mocností výsypky, nedosahuje ani zlomku hodnot původního litostatického tlaku v přírodním sedimentačním prostředí pánevního komplexu sedimentů, nemluvě o dalších faktorech, jako je teplota a doba uložení.

Zvláštní zeminy ve výsypkovém hospodářství

a) kvartérní zeminy (pedologické horizonty):

- nejmladší zeminy stratigrafického profilu nadloží;
- mají významnou úlohu;
- na základě profilů geologického průzkumu a analýzy pedogeneze, jsou vymezeny objemově;
- podle charakteru pedogeneze, zrnitostního složení a chemismu (obsahu živin) jsou posuzovány na vhodnost použití k rekultivačním účelům;
- před zahájením otvírkových prací lomu a posléze v předpolí postupujícího lomu jsou skrývány separátně a deponovány na zvláštních skládkách;
- během rekultivačních prací opět odtěženy a vrstveny na upravený povrch výsypek;
- tvoří základ nově tvořené kulturní vrstvy, vhodné pro lesnickou nebo zemědělskou rekultivaci.

b) obvykle se jedná o dva horizonty:

- ornice o mocnosti 0,2 až (výjimečně) 0,8 m;
- podorničí o mocnosti 0,1 až 1,0 m;

Zvláštní zeminy ve výsypkovém hospodářství

c) **spraše:**

- vyskytují se lokálně;
- velmi ceněné pro rekultivační účely (bohaté na volné živiny);
- jejich mocnost kolísá ve značném rozsahu, v závislosti na morfologických strukturách periglaciálního povrchu;
- tvoří návěje a závěje o mocnosti až prvních desítek metrů;
- Obvykle však 1,0 až 7,0 m (lokality v SHP).
- Jsou většinou (podle parametru - průměrná mocnost) skrývány a ukládány separátně a během rekultivací jsou užívány jako živinami bohatý substrát;

d) **tzv. „regelační horizonty“ – erozní zbytky permafrostu na denudačním povrchu miocénu:**

- kvartérně kryogenní (mrazově) porušené miocenní sedimenty;
- výrazně odlišné fyzikálně-mechanické vlastnosti oproti neporušeným sedimentům;
- výrazně vyšší propustnost;
- mocnost obvykle okolo 20 m, výjimečně až 60 m.

Erozní procesy na povrchu výsypky



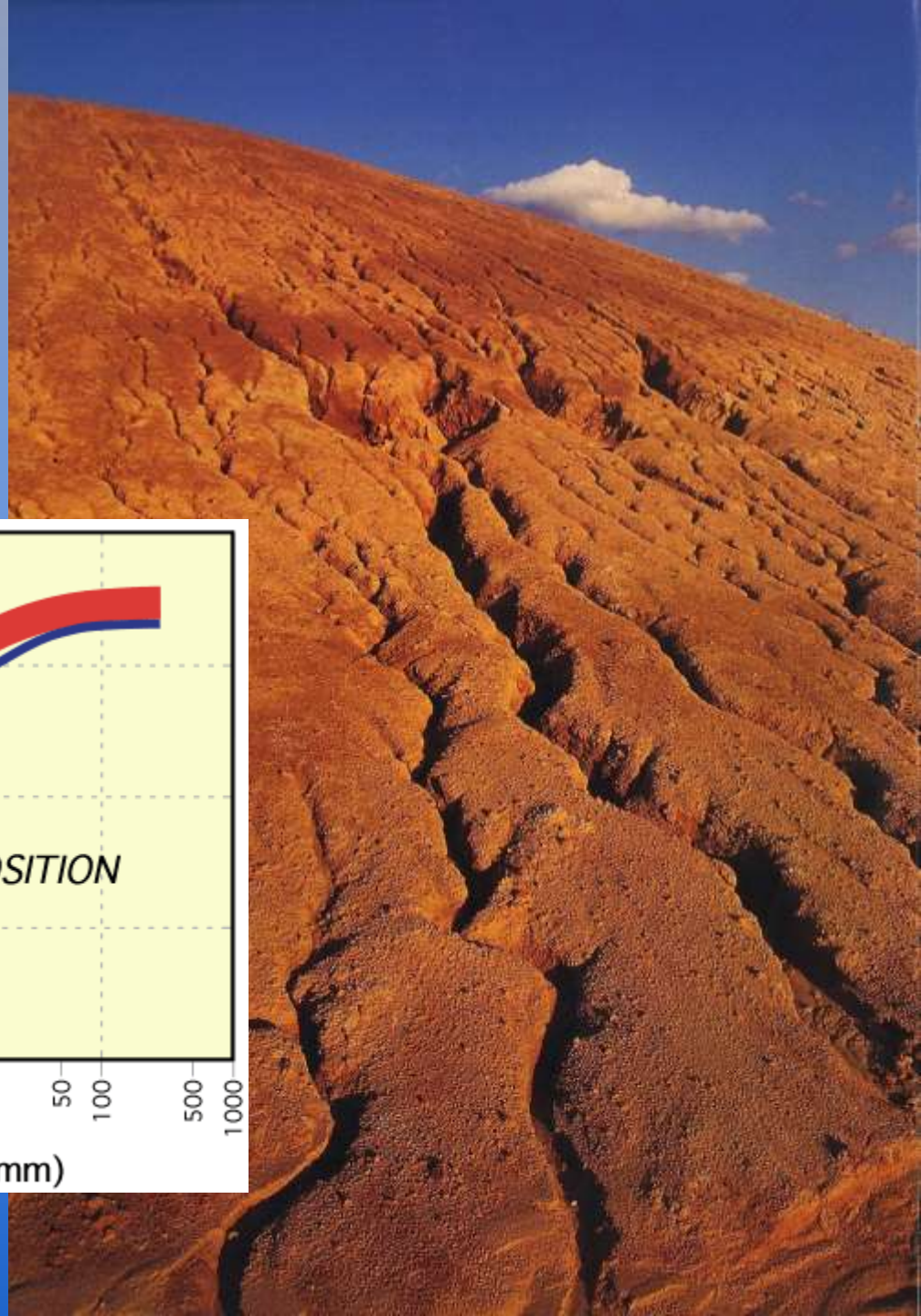
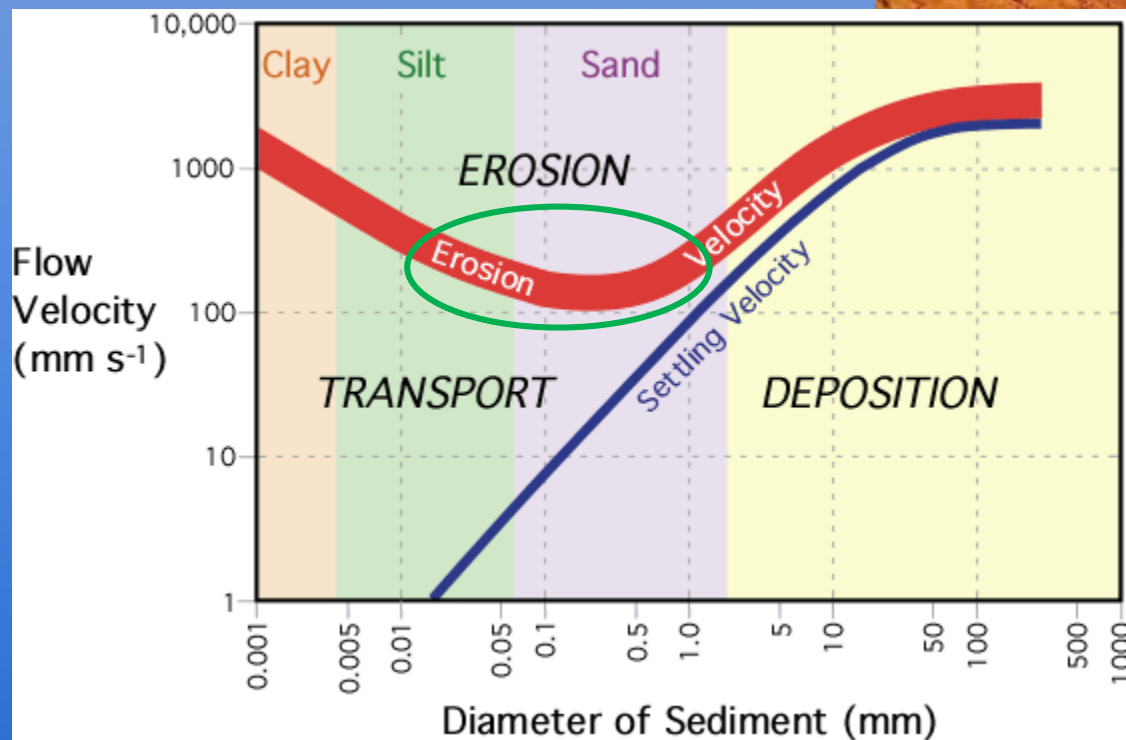
Ronová eroze a hydraulické vytrídění

- ❖ probíhá v interferujících cyklech, odpovídajících aktuálním meteorologickým podmínkám (krátkodobě);
- ❖ ročním obdobím (střednědobě);
- ❖ klimatické poloze (dlouhodobě)
- ❖ vliv polohy v prostoru a intenzity expozice:
 - ❖ sluneční záření;
 - ❖ vítr;
 - ❖ vlhkost ...;
 - ❖ ale i geotermální gradient.



Výsypkové zeminy s podstatným podílem klastické složky (aleuritické a jemnozrnné psamity) podléhají ronové erozi zvláště ochotně.

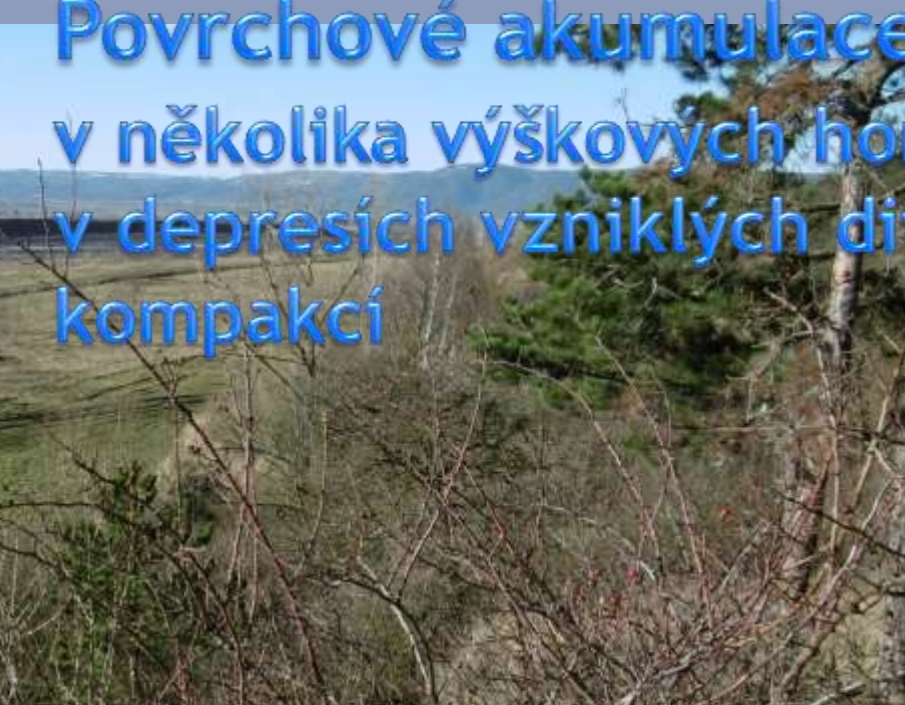
HJULLSTRÖMŮV DIAGRAM



Výsypkové zeminy s podstatným podílem klastické složky (aleuritické a jemnozrnné psamity) podléhají ronové erozi zvláště ochotně.



Povrchové akumulace vody v několika výškových horizontech v depresích vzniklých diferenciální kompakcí



Povrchové akumulace vody na temeni výsypky



Odvodňovací vrty nemají požadovaný efekt - kromě finančního. Vysoký prvek náhodnosti...



Povrchová voda v okolí HG vrtu

Případ Benedikt

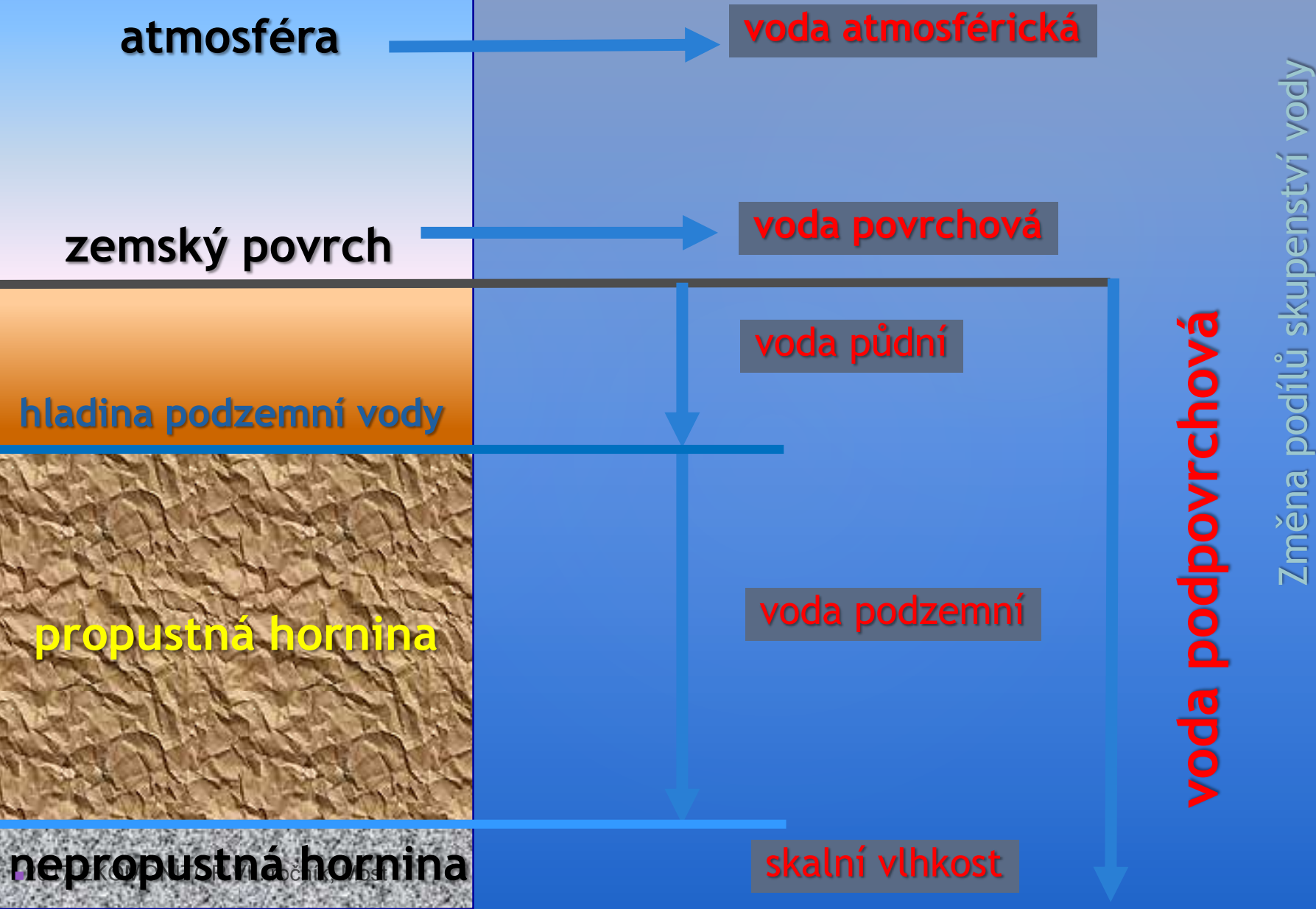


Případ Benedikt



Část III: Hydrologie a hydrogeologie

Obečná klasifikace vod podle výskytu v zemské kůře



Rovnice hydrologické bilance

Vychází se z premisy, že objem vody obíhající v hydrosféře se krátkodobě podstatně nemění

a k jeho vyjádření se používá bilanční rovnice:

$$H_S = O_V + O_P + O_Z + O_S + H_{E(p)} + H_{E(r)} + H_{E(t)} + H_{E(v)} \pm \Omega_1 \pm \Omega_2 \pm \Omega_3 \pm \Omega_4 \pm \Omega_5$$

Její zjednodušené vyjádření

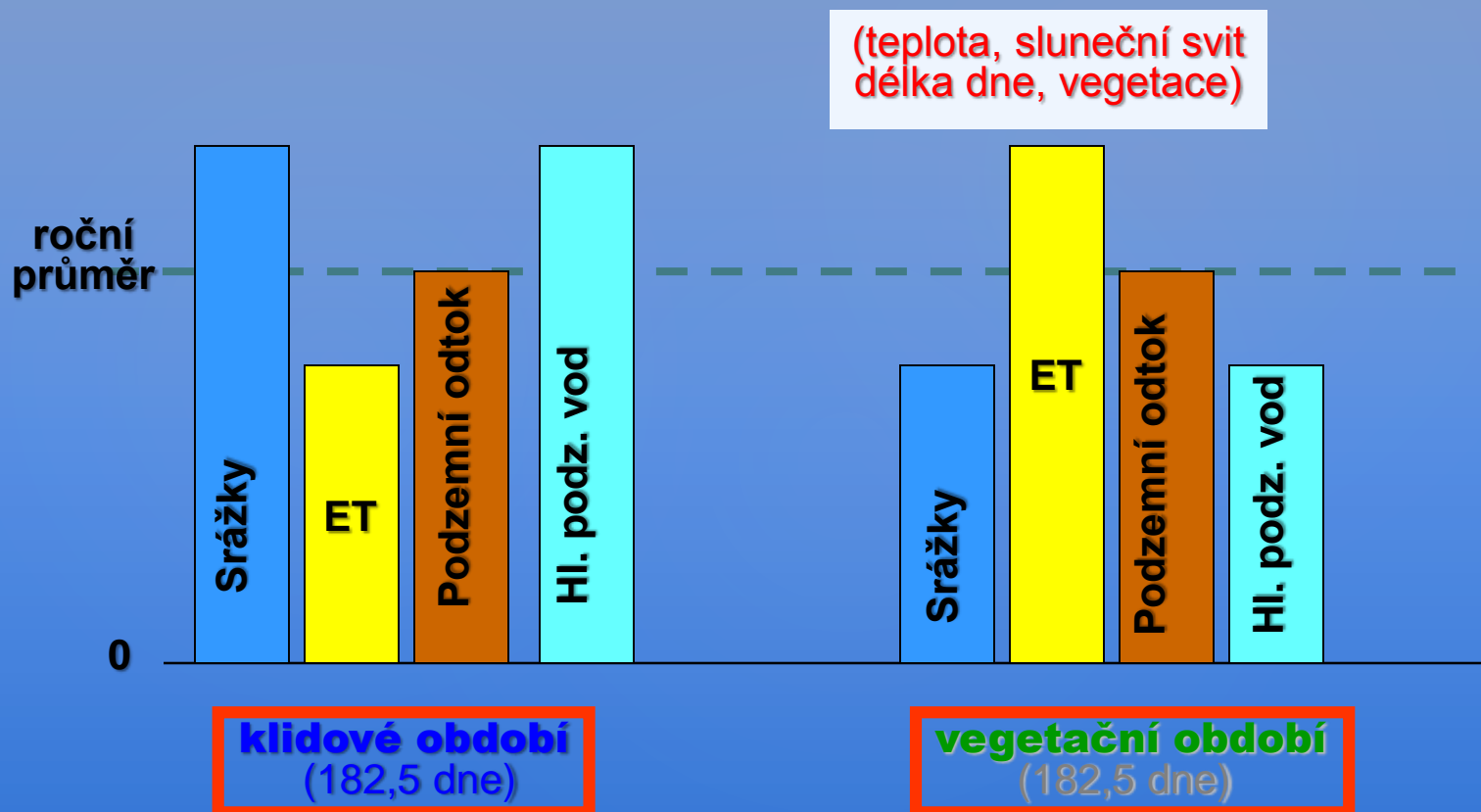
$$H_S = O + H_E \pm \Omega$$

kde:

- H_S - celkové atmosférické srážky
- O - odtok vody celkem:
 - O_V - soustředěný povrchový odtok (ve vodních korytech)
 - O_P - nesoustředěný povrchový odtok (plošný)
 - O_Z - odtok podzemní vody
 - O_S - odtok vody do hlubších vrstev (nevyvěrá na povrch v uvažovaném území)
- H_E - klimatický výpar (**evaporace**) celkem:
 - $H_{E(p)}$ - výpar z půdy (**evaporace**)
 - $H_{E(r)}$ - výpar z povrchu rostlin (**intercepce**), neproduktivní výpar části srážek zachycených nadzemními částmi porostů a předměty (10 až 50 % srážek)
 - $H_{E(t)}$ - produktivní výpar z rostlin (**transpirace**) - dýchání rostlin, spotřeba vody rostlinami pro vlastní stavbu buněk (např. u lesních porostů 150 až 450 mm/rok)
 - $H_{E(v)}$ - výpar z vodní hladiny (popř. ze sněhu a ledu)
- Diference Ω je množství vody, které zvýšilo nebo snížilo zásoby povrchové a podzemní vody:
 - Ω_1 - přírůstek nebo úbytek vody povrchové a podzemní
 - Ω_2 - přírůstek nebo úbytek vody v nádržích
 - Ω_3 - přírůstek nebo úbytek vody v ovzduší
 - Ω_4 - přírůstek nebo úbytek vody v biomase rostlinstva
 - Ω_5 - přírůstek nebo úbytek vody v biomase živočišstva
- Složky $\Omega_3, \Omega_4, \Omega_5$ jsou kvantitativně zanedbatelné a obvykle se s nimi neuvažuje

Hydrologický rok

Charakteristické hodnoty hydrologické bilance



Klasické rozdělení sezónních srážek

Bilancování vody ve výsypkách

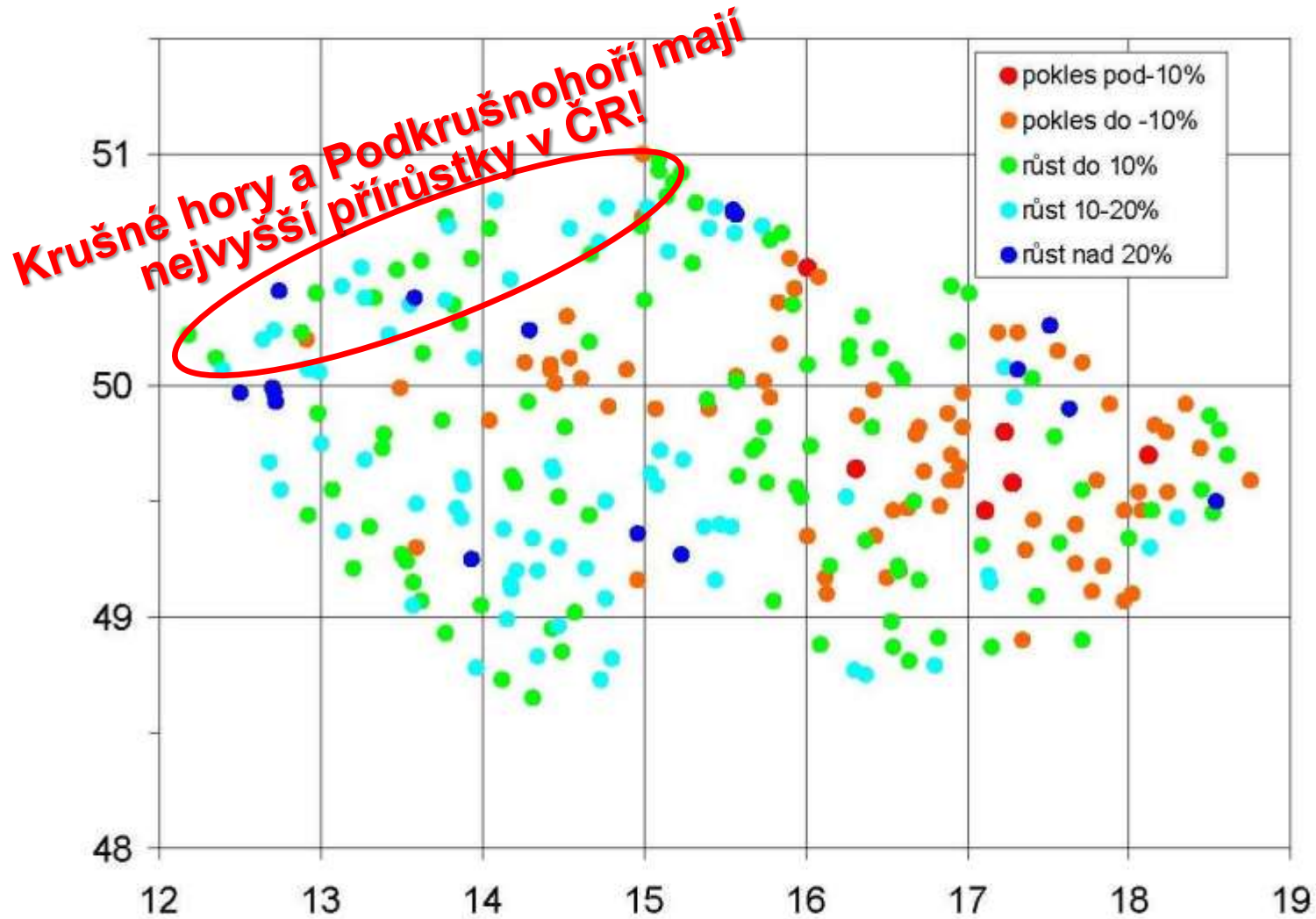
- Hydrologické poměry, za kterých byla projektována většina výsypek, se výrazně lišily od dnešní reality:
 - široké používání zastaralých dat (dostupnost, cena, nutnost akribického zpracování);
 - viz legenda o „srážkovém stínu Krušných hor“;
 - pod dojmem alarmistických představ o GW se v souvislosti plánovanými hydrickými rekultivacemi tato problematika velmi zásadním způsobem zanedbala - obrovská a nenahraditelná ztráta času.
- Hydrogeologie těles výsypek byla vždy na okraji zájmu:
 - pozornost pouze při řešení pohybů výsypky, sesuvů;
 - náročnost hodnocení antropogenně vytvořených struktur, s jinými než přírodními zákonitostmi geneze;
 - opakovaná snaha řešit pomocí vrtného „hydrogeologického“ průzkumu...

Odhady vývoje úhrnu srážek

- **Dvě citace ilustrující výsledky klimatologických výzkumů:**
 - *„I přes poměrně malý rozsah území České republiky v zeměpisné délce, lze pozorovat významnou zákonitost: v západní polovině státu srážky převážně rostou, s výjimkou Polabí a nejbližšího okolí, zatímco ve východní polovině jen mírně rostou, převážně klesají s výjimkou horských oblastí (Jeseníky a Beskydy).“*
 - *„Nejvíce rostou srážky v Podkrušnohoří – přírůstek 13,2%“*

zdroj: Rožnovský (2014)

Oblasti přírůstků a úbytků dlouhodobých průměrných srážkových úhrnů

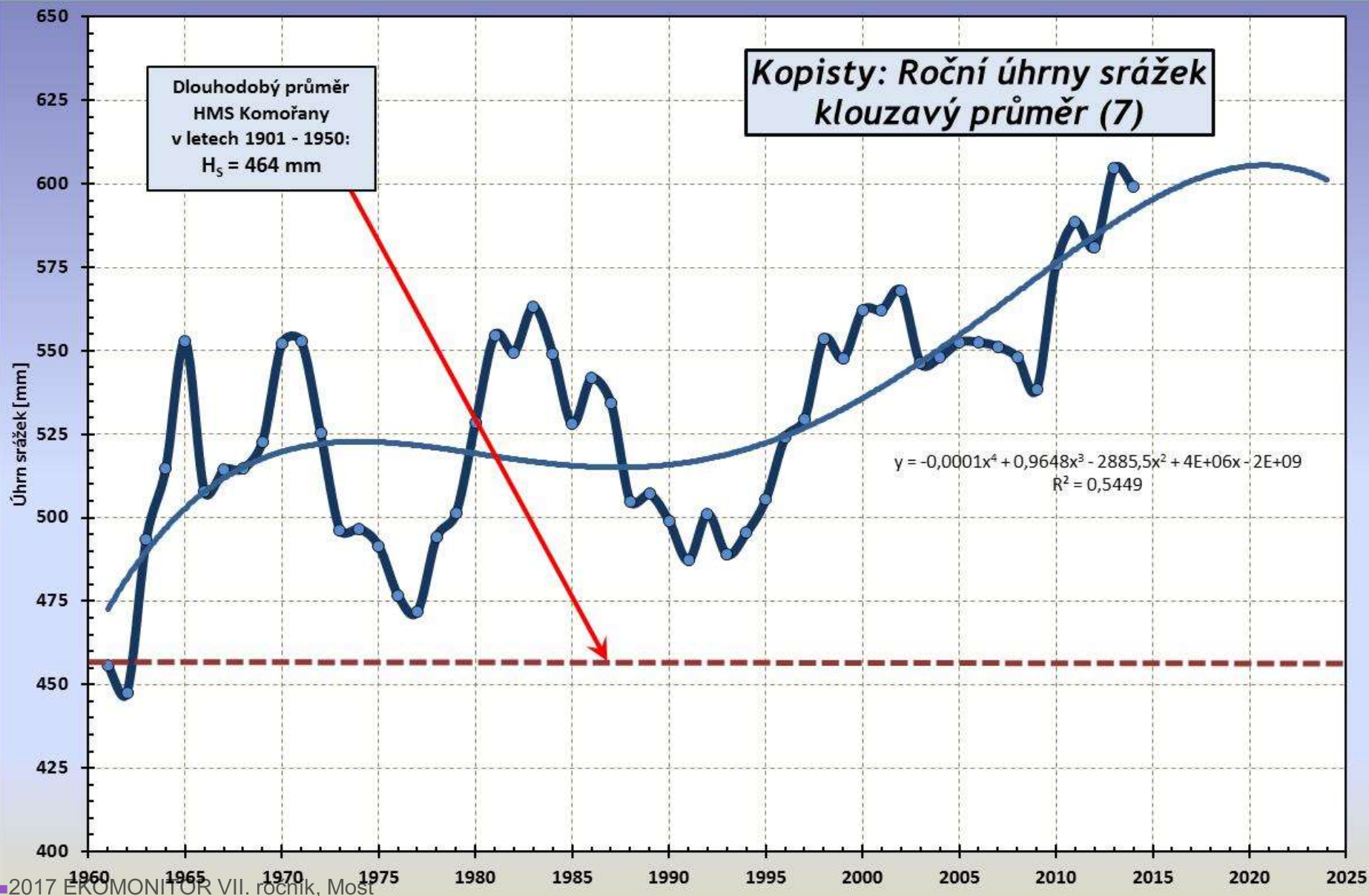


Obr. 4. Rozložení růstu a poklesu ročních srážkových úhrnů na území České republiky

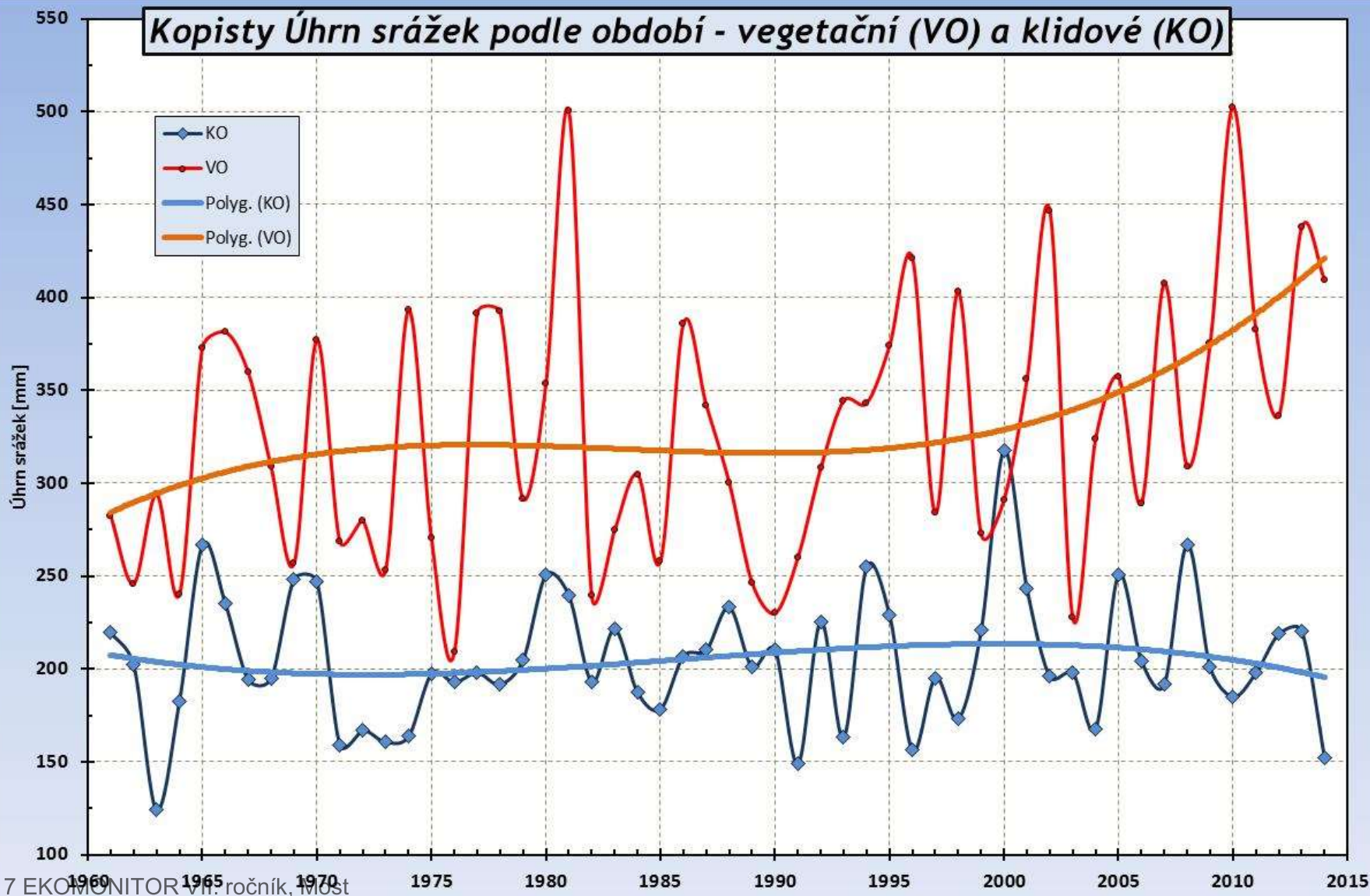
v období 1961-2012.

Zdroj: Rožnovský (2014)

Porovnání ročních úhrnů srážek stanice Kopisty

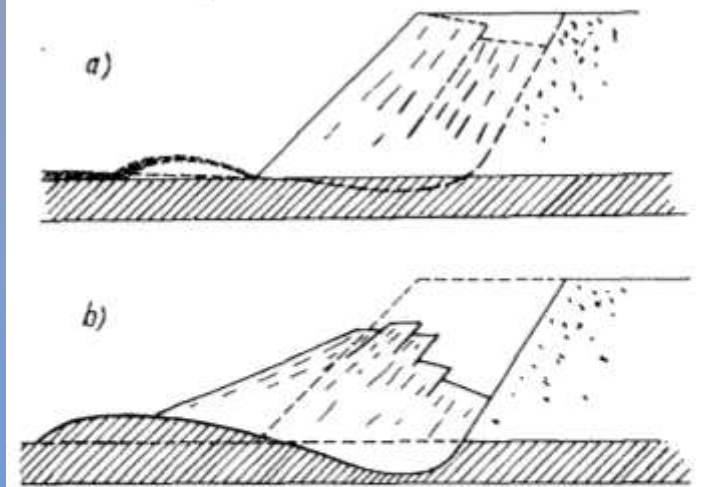


Porovnání ročních úhrnů srážek stanice Kopisty - vegetační období a období vegetačního klidu

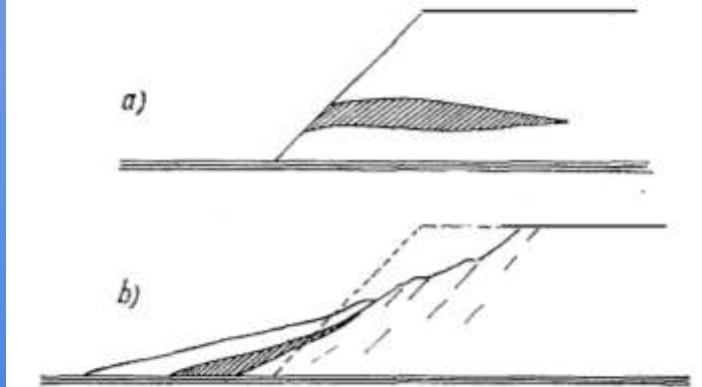


Klasické příklady havárie výsypky

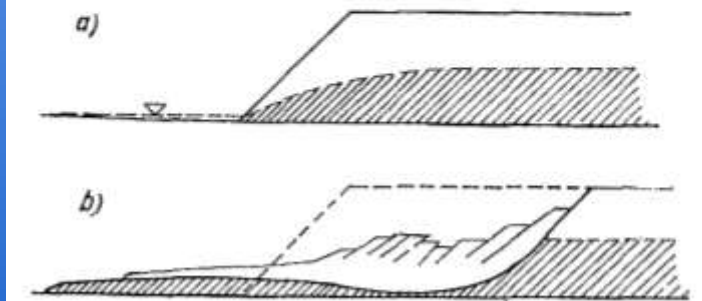
Sesuv výsypky do vodního prostředí může, mj. snadno vyvolat řetězovou reakci, jejímž výsledkem je minitsunami...



Obr. 37. Skluz v plastickém podloží



Obr. 38. Vytlačení vrstvy ze svahu



Obr. 39. Skluz způsobený podmáčením

Zdroj: Hotový, Lang (1967)

Shrnutí

- ✦ Výsypky z důvodů stabilitního řešení **mohou být navýšeny jen do omezené výšky**, obvykle však z praktických důvodů se používá plná hodnota kritické výšky
 - ✦ jejich stavební materiál je nakypřený a nerovnoměrně zrnitý;
 - ✦ mocnost není dostačující pro vytvoření litostatického tlaku k rekrytalizaci minerálů;
 - ✦ doby potřebné k úplné konsolidaci výsypek jsou pouze empiricky odhadovány na 50 – 150 let;
 - ✦ **s ohledem na vlastnosti a charakteristiky dominujících minerálů a saturaci výsypek vodou je to nepravděpodobné.**
- ✦ To se týká dlouhodobého vývoje morfologie, hydrologie, pedogeneze, v povrchových částech výsypky a hydrogeologie, mechaniky zemin, geochemie a dalších aspektů vnitřních částí výsypky, které jsou zatím prakticky neznámé.
- ✦ Z dosud provedených pozorování vyplývá, že stále probíhá saturace výsypkových těles vodou – místo vytěsňování vody.
- ✦ Pokusy o jejich odvodňování nenesou prokazatelné výsledky.

Použitá literatura

- [1] KRYL, V., MILIČ, J. (1993): Technologie lomového dobývání uhelných ložisek – dobývání v obtížných podmínkách, skriptum ES VŠB Ostrava, Ostrava, 1993, 117 s
- [2] PARMA, A. (1927): Jak se dobývá hnědé uhlí. I. DOBÝVÁNÍ POVRCHOVÉ. Hornicko-hutnické nakladatelství Prometheus, Praha, 1927. s. 81
- [3] SCHENK, J. (1973): Jména a názvy štol, dolů a důlních závodů chomutovsko-mostecko-duchcovsko- teplicko-ústeckého hnědouhelného revíru a jejich změny v období 18. Až 20. Štoletí (1762-1972). Zpravodaj vědeckých a technických informací Hornického ústavu ČSAV č. 8/1973; Praha, 1973
- [4] KLIMECKÝ, O. a kol. (1988): Lomové dobývání ložisek II. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1988. s. 288
- [5] MAĽKOVSKÝ, M. a kol. (1985): Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. Ústřední ústav geologický; ACADEMIA, nakladatelství Československé akademie věd, 1. vydání. Praha, 1985. s. 424
- [6] VRÁBLÍKOVÁ, J. (2010): Metodika revitalizace krajiny v Podkrušnohoří. UJEP Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, projekt MMR –ČR WD-44-07-1 („Modelové řešení revitalizace průmyslových regionů a území po těžbě uhlí na příkladu Podkrušnohoří“); Ústí nad Labem, 2010. ISBN: 978-80-7414-340-3. s. 63
- [7] HOTOVÝ, A., LANG, P. (1967): Projektování, výstavba a provoz uhelných lomů. SNTL - Nakladatelství technické literatury; vytiskla Polygrafia, n.p., Praha, 1967. s. 316
- [8] KUČAL, Z. (1964): Geologie recentních sedimentů. ACADEMIA - Nakladatelství Československé akademie věd; vytiskl Mir 3, n. p., Praha 2; Praha, 1964. s. 444
- [9] ŠTÝS, S. (1998): Rekultivace. Mostecká uhelná společnost, a.s. Most, 1998. s. 83
- [10] ŠTÝS, S. (1998): návraty vypůjčených krajin. Severočeské doly, a. s. Chomutov, Nakladatelství Bílý slon, Praha, 1998. ISBN 80-902063-9-5 s. 47
- [11] ROŽNOVSKÝ, J. et al. (2014) Změna ročních a sezónních srážkových úhrnů v České republice v letech 1961 – 2012. Extrémy oběhu vody v krajině, Mikulov á. – 9. 4. 2014, s. 13. ISBN 978-80-87577-30-1

Děkuji za pozornost.

Kontakt:

František Kružík - fr.kr@email.cz