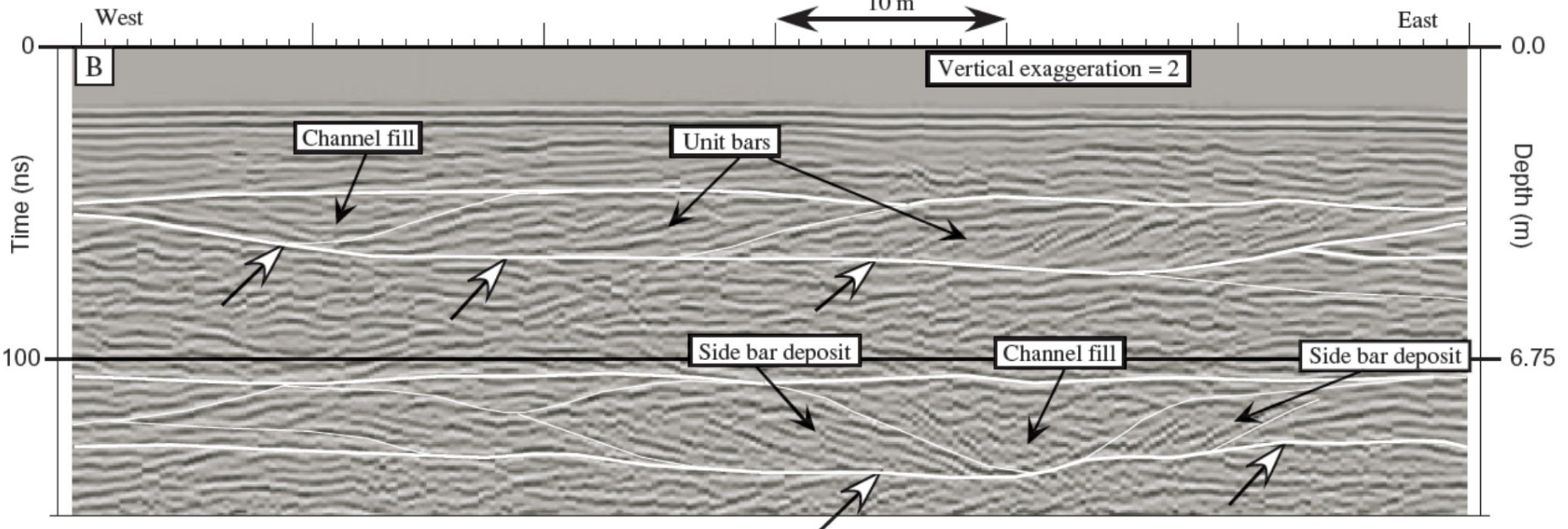
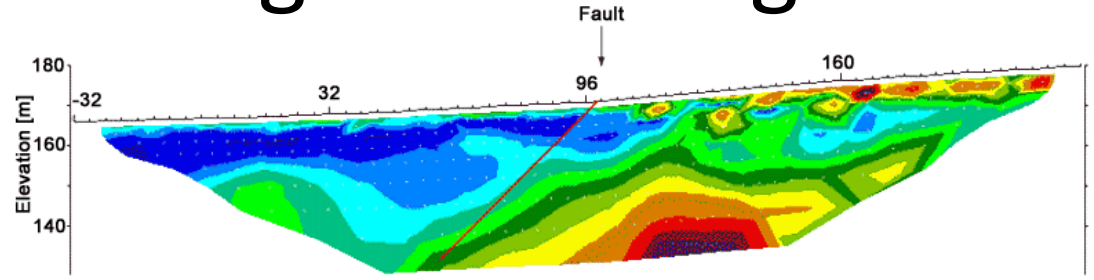
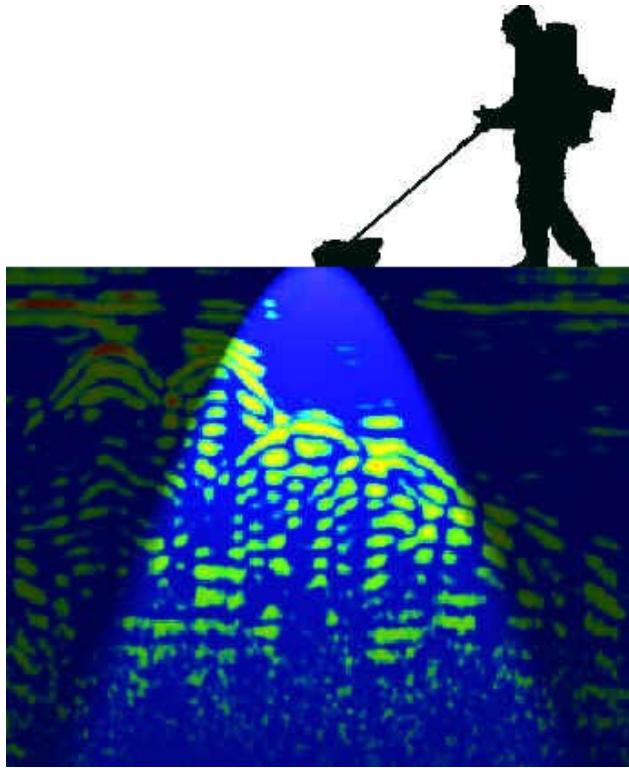


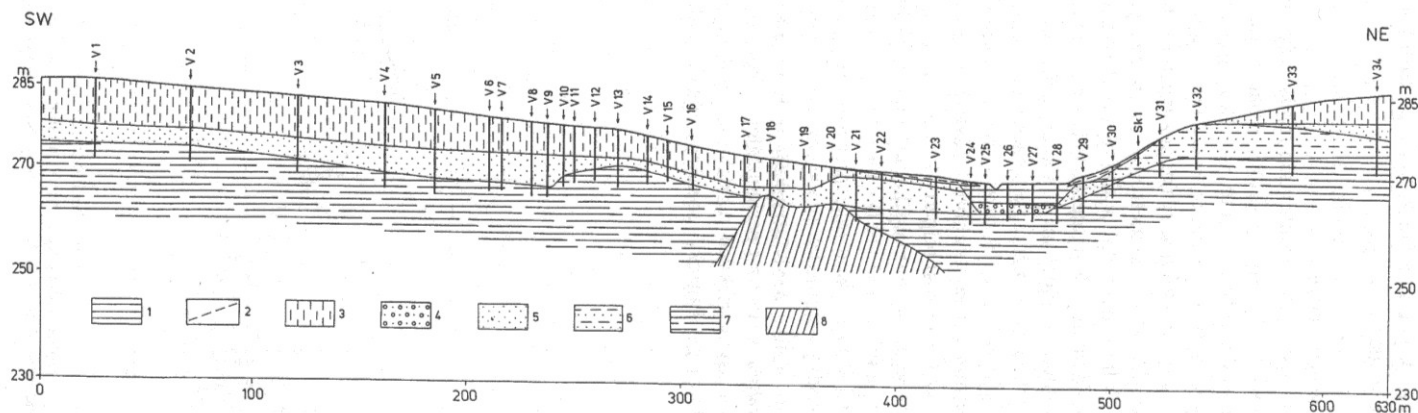
Zdeněk Máčka

*z7551 Metody fyzické geografie*

# Geofyzikální metody v geomorfologii

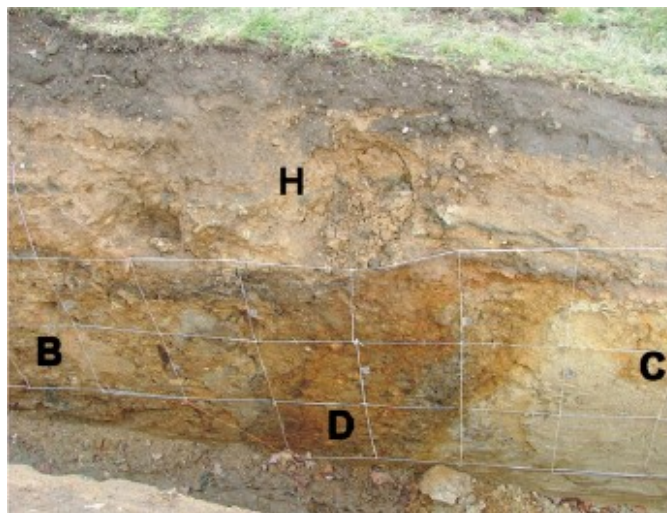


# Destruktivní v. nedestruktivní průzkumné metody



Obr. 52. Sklonově asymetrické údolí sv. od Stachovic v Moravské bráně. 1 - povodňové sedimenty (holocén); 2 - jílovitá hlína (holocén); 3 - sprašové hlíny (svrchní pleistocén); 4 - převážně písek a štěrky (svrchní pleistocén až holocén); 5 - písky s ojed. valouny, polohami jílu a štěrku (glacifluviální sedimenty sálského zalednění); 6 - jemný písek a jílu (glacilimnické sedimenty sálského zalednění); 7 - vápnité jíly s polohami písku (spodní baden); 8 - spodnokarbonské droby a břidlice. V 1–V 34 = vrty, Sk 1 = kopaná sonda. Podle T. Czudka.

## Vrtný transekt asymetrickým údolím v Moravské bráně



Trench napříč okrajovým sudetským zlomem

# *Nejpoužívanější geofyzikální metody a jejich aplikace v geomorfologii*

- Georadar
  - zemní radar
  - ground penetrating radar (GPR)
- Geoelektrický průzkum (měrný elektrický odpor)
  - elektrická odporová tomografie
  - 1-D DC resistivity (VES = vertical electrical sounding)
  - 2-D a 3-D DC resistivity
- Refrakční seismika

Základní úlohy v  
geomorfologii

```
graph TD; A[Základní úlohy v geomorfologii] --> B[Rozlišení kontaktu mezi sypkými sedimenty a skalním podložím]; A --> C[Studium vnitřní stavby akumulčních tvarů / sedimentárních těles];
```

Rozlišení kontaktu mezi  
sypkými sedimenty a  
skalním podložím

Studium vnitřní stavby  
akumulčních tvarů /  
sedimentárních těles

# *Obecné kroky při geofyzikálním průzkumu*

- Terénní měření

posouzení vlastností  
horninového podloží



nastavení měřící  
aparatury

- Zpracování naměřených dat

- Interpretace grafického výstupu (hloubkového profilu)



# Georadar – princip měření

- ✓ Opakující se pulsy EM záření, reflexe od rozhraní v podloží
- ✓ 2 antény (vysílač → přijímač), určení tranzitního času vlny

Frekvence vysílače: 10 MHz až 1 GHz  
vyšší frekvence

=

větší prostorové rozlišení + menší hloubkový dosah



pulseEKKO PRO (Sensors & Software)  
100 MHz antény o délce 1 m

Vliv dielektrických vlastností podloží:

- ✓ Permitivita ( $\epsilon$ )  
relativní permitivita ( $\epsilon_r$ )
- ✓ Konduktivita (měrná elektrická vodivost) ( $\sigma$ ) ( $S \cdot m^{-1}$ )

Rostoucí hodnoty těchto veličin → větší pohlcování signálu

Vysoké hodnoty  $\epsilon$  a  $\sigma$  způsobují: podzemní voda, jíly, zasolení

# *Hlubkový dosah a prostorové rozlišení*

## HLOUBKA PENETRACE

Suché zeminy s vyššími hodnotami rezistivity:

30 až 60 m

Písčité sedimenty:

Ize dosáhnou 15 až 30 m

Vlhký prach:

< 5 m

## ROZLIŠENÍ

Závisí na frekvenci a rychlosti EM záření

Při střední rychlosti šíření vln 0,1 m/ns

25 MHz anténa → 1 m

100Mhz anténa → 0,25 m

1 GHz anténa → 2,5 cm

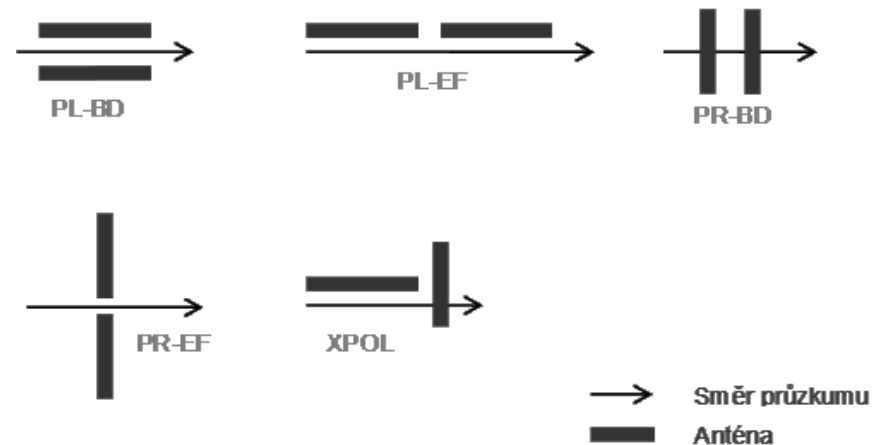
# Postup měření

- ✓ Prosvícení (aplikace ve stavebnictví, archeologii, ...)
- ✓ Reflexní profily (geologie, geomorfologie, archeologie, ...)
- ✓ Režimy měření: krokový, kontinuální

Očekávaná hloubka hledaných těles, jejich rozměr, ...



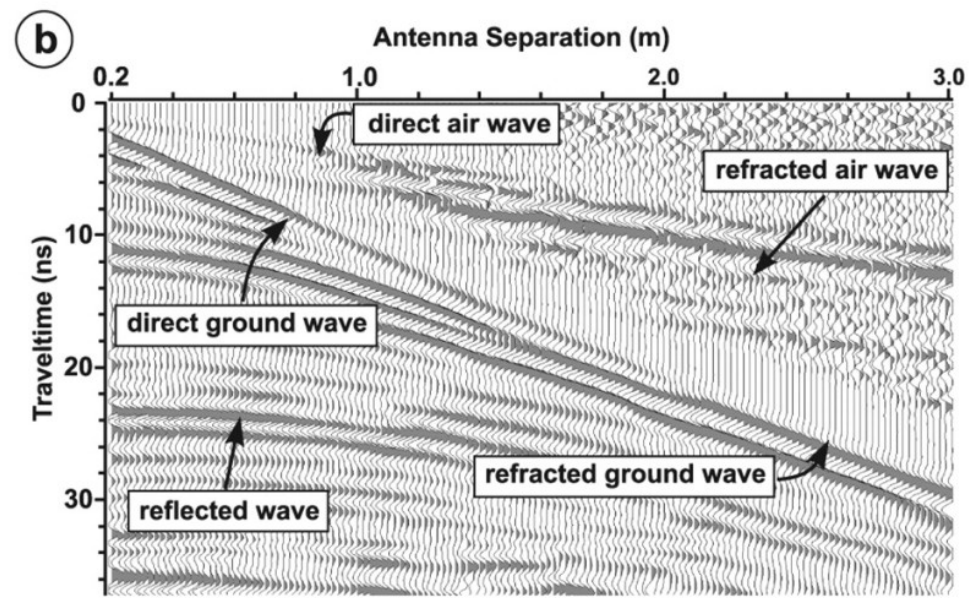
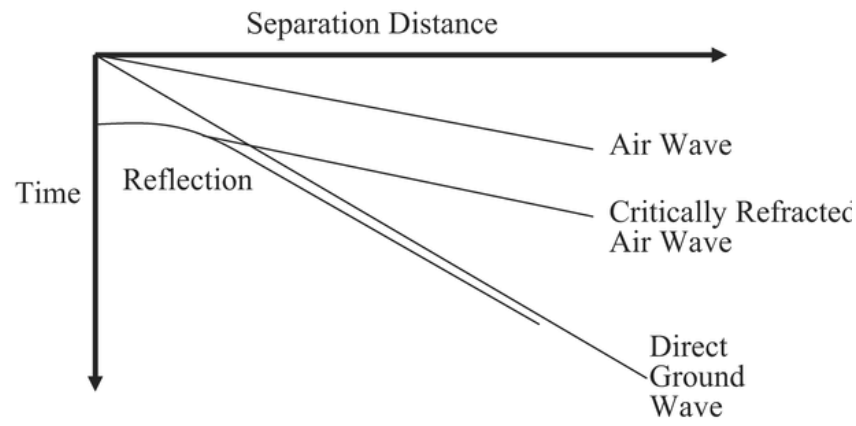
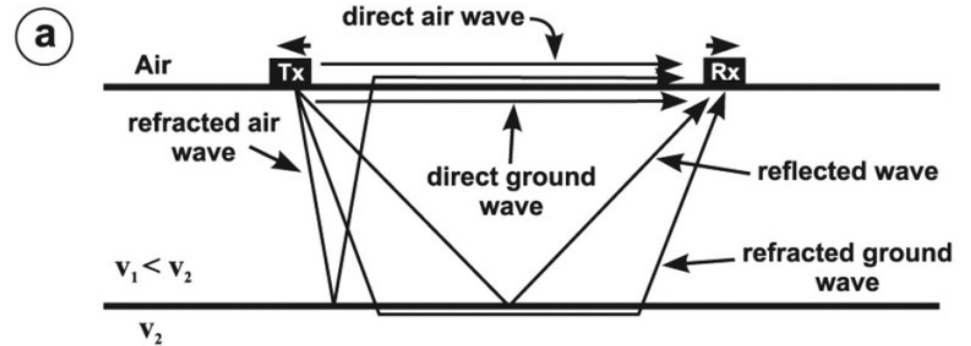
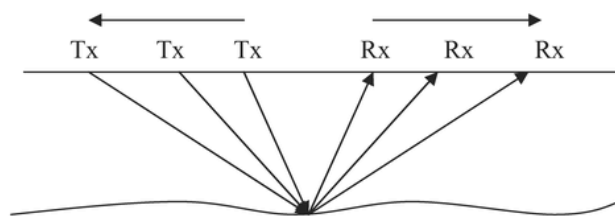
vzdálenost antén  
krok měření



Elektrické pole se nachází podél antény.  
PL rovnoběžně, PR kolmo  
BD příčné vyzařování, EF podélné vyzařování  
XPOL křížová polarizace

# Způsoby určení rychlosti průchodu EM vln podloží

CMP (common mid-point)



WARR (wide-angle reflection and refraction)



# *Výhody a nevýhody georadaru*

- ✓ Lepší prostorové rozlišení než jiné geofyzikální metody
- ✓ Vcelku velká rychlost průzkumu
- ✓ Nízkofrekvenční antény jsou rozměrné, obtížná manipulace v terénu
- ✓ Proměnlivost dosažitelné hloubky podle stavu podloží  
neuspokojivé výsledky při rezistivitě menší než cca 50-100  $\Omega/m$
- ✓ Drobné rozdíly v obsahu vody a zrnitosti mohou vyvolat výraznější odrazy než rozhraní, která hledáme
- ✓ Silný šum v signálu při měření v zalesněném terénu

# Možnosti použití georadaru

Těžiště použití leží ve studiu sedimentárních hornin

- ✓ detekce pohřbených struktur
- ✓ studium vnitřní stavby sedimentárních těles
- ✓ určení hloubky a průběhu skalního podloží

- Údolní a poříční nivy

- Delt

- Detekce pohřbených říčních koryt

- Sypké sedimenty v periglaciálních oblastech:

- Morény (koncové, náporové)
- Kamenné ledovce
- Suťové svahy (osypy)

- Sedimentární struktury v rašelinách

- Poloha hloubka sufozních tunelů

- Sesuvy špatné zkušenosti, sesuvy bývají zamokřené (prameny)

- Permafrost a glaciologie:

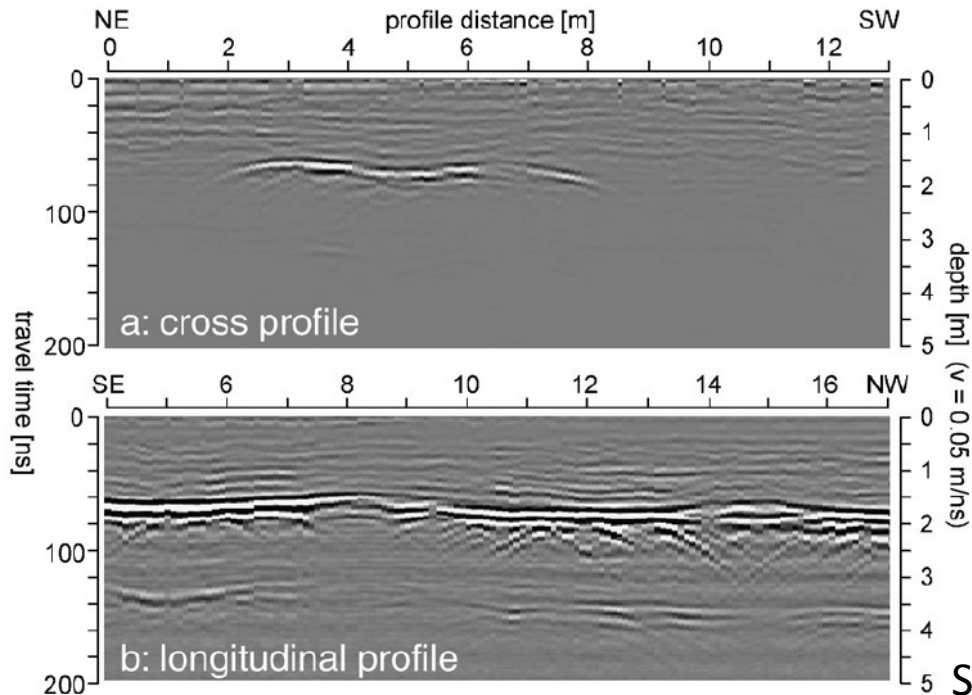
- Mocnost činné vrstvy
- Detekce menších ledových těles
- Mocnost a vnitřní stavba glaciálního ledu

- Geoarcheologie

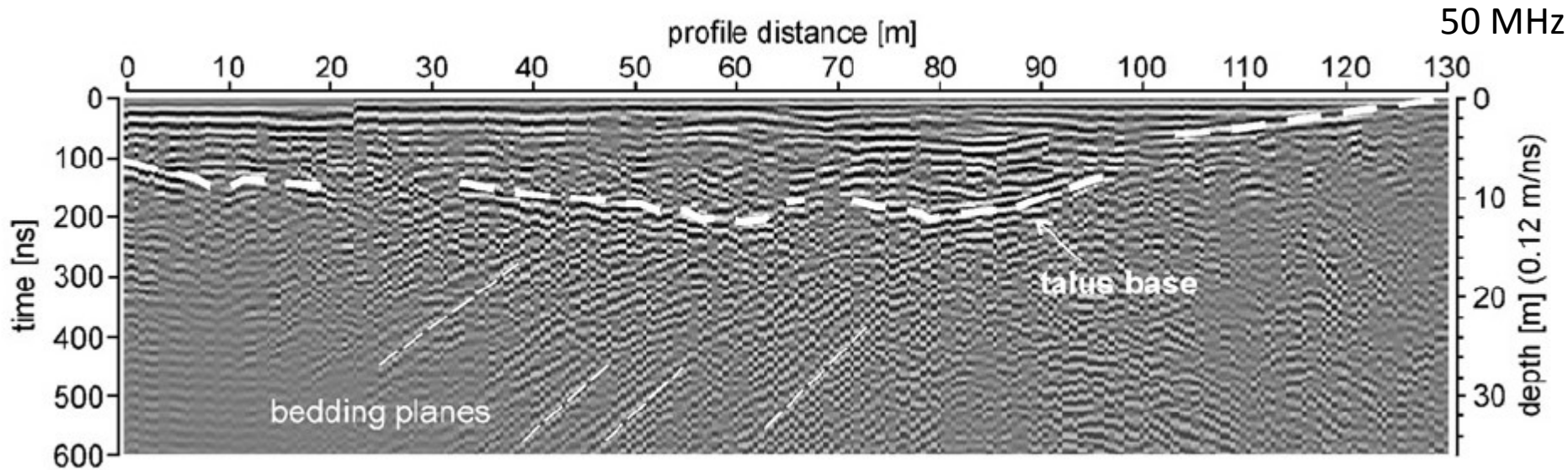
anténa 100 MHz, hloubky 10-20 m podle obsahu jílu a vody

Antény 50- 100 MHz, hloubky do 30 m

# Příkladové studie



Pohřbená římská cesta (1,5-3 m rašeliny a fluviálních sedimentů v nadloží)  
200 MHz



# *Georadar - shrnutí z hlediska použitelnosti v geomorfologii*

## GEORADAR

Využití v geomorfologii	Technické aspekty použití
Vnitřní stavba akumulčních tvarů	Malý hloubkový dosah když pod povrchem vodivé vrstvy
Mocnost glaciálního ledu	Špatná kvalita dat ve vodivých sedimentech (jílovitých, zasolených)
Hloubka aktivní vrstvy	Špatná kvalita dat v zalesněných terénech
Mocnost permafrostu	Náročnost zpracování a interpretace dat
Určení hranic masivního ledu v morénách a kamenných ledovcích	Žádoucí kontrola pomocí odkryvů či vrtů
Puklinové zóny v masivním bedrocku	

# ***Měrný elektrický odpor – princip měření***

- ✓ Proudové (stejnoseměrný proud) a napěťové elektrody → dopočet hodnoty měrného elektrického odporu ( $\rho$ ) ( $\Omega \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\Omega \cdot \text{m}$ )
- ✓ 1-D a 2-D (resp. 3-D) varianty

1-D (VES): zapojení se dvěma proudovými a dvěma napěťovými elektrodami

2-D: kabel s několika desítkami elektrod (40 až 50), možnost propojení více kabelů

Způsob spínání elektrod se nazývá uspořádání (array):

- Schlumberger (horizontální změny v podloží)
- Wenner (vertikální změny, detekce zvrstvení)
- Dipól-Dipól (rozpoznání malých těles mělko pod povrchem)

# *Výhody a nevýhody odporového měření*

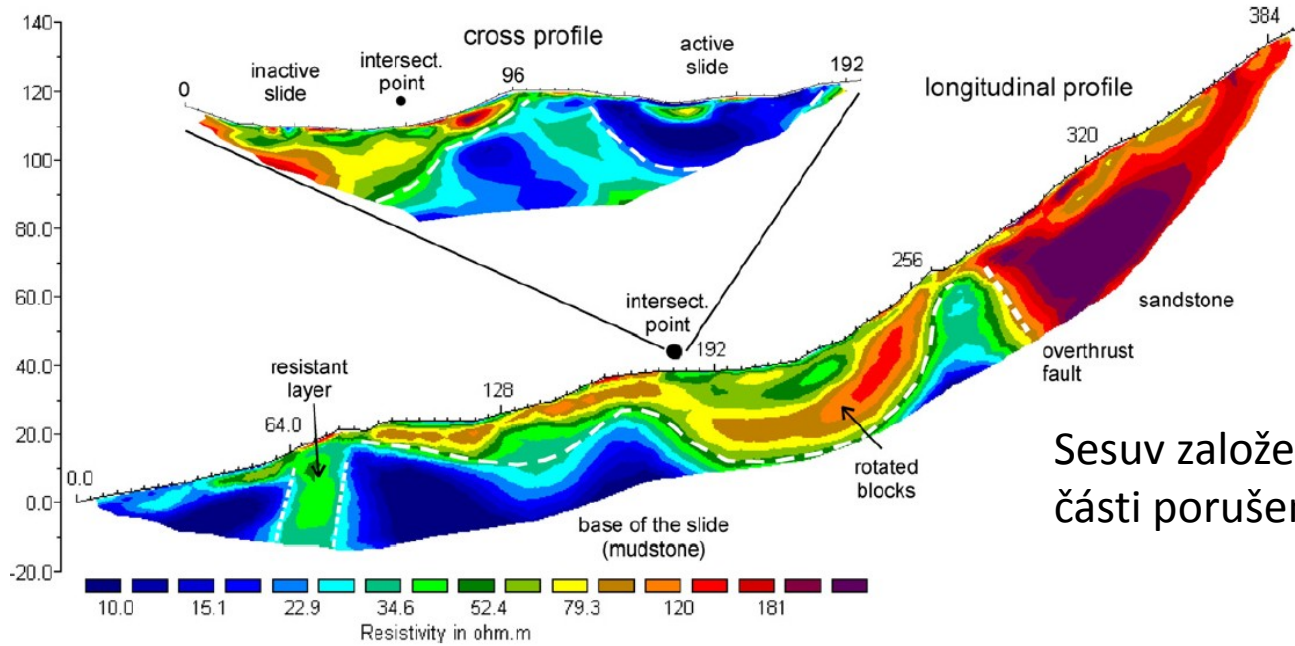
- Pestrost uspořádání a rozestupu elektrod
- Bez omezení terénem, složením podloží či vegetací
- S hloubkou klesá schopnost rozlišit ostrá rozhraní
- Velká rozkolísanost hodnot rezistivity u jednoho druhu materiálu (i o několik řádů), např. v závislosti na rozpukání a zvětrání



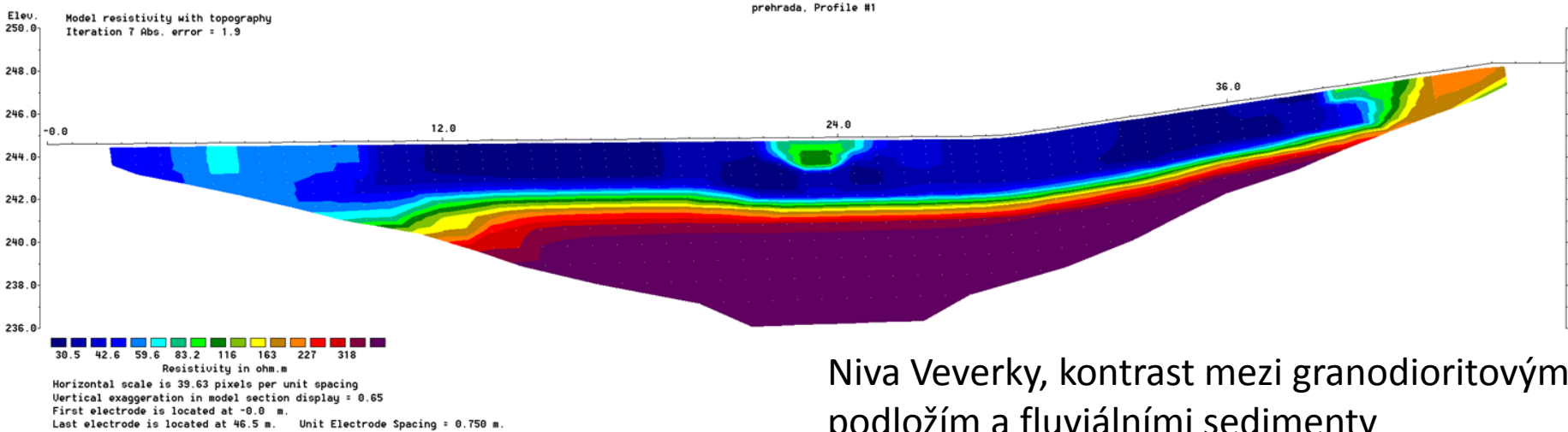
# *Možnosti použití odporového měření*

- Prokázání přítomnosti permafrostu
- Určení hloubky činné vrstvy permafrostu
- Tloušťka masivního ledu v kamenných ledovcích
- Horizontální rozsah ledových těles (čoček) v horských kamenných ledovcích a svahových sutích
- Hloubka odlučné plochy sesuvů a jejich vnitřní stavba
- Časové změny vlhkosti tělesa sesuvu (však srážkové vody)
- Časové změny vlhkosti skalních výchozů

# Příkladové studie



Sesuv založený ve flyši, svah v horní části porušen zlomem



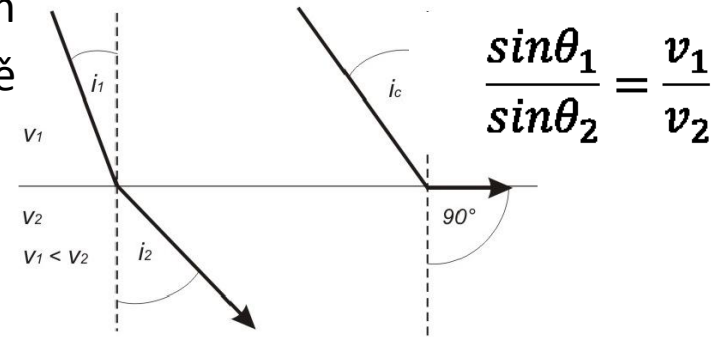
Niva Veverky, kontrast mezi granodioritovým podložím a fluvialními sedimenty

# *Odporové měření – shrnutí z hlediska použitelnosti v geomorfologii*

<b>Využití v geomorfologii</b>	<b>Technické aspekty použití</b>
Určení mocnosti a vnitřní stavby sedimentů	Nutné zajistit kontakt elektrod s podložím
Hladina podzemní vody	Problém s balvanitými a suchými materiály
Hloubka odlučné plochy u sesuvů	Zapotřebí zkušenost s inverzí zdánlivých odporů
Detekce masivního ledu v kamenných ledovcích a morénách	Někdy problém odlišit led, vzduch a horniny
Rozšíření permafrostu	Potřeba korelace odporových dat s odkryvy a vrty
Mocnost glaciálního ledu	
Sezónní variabilita vlhkosti podloží	

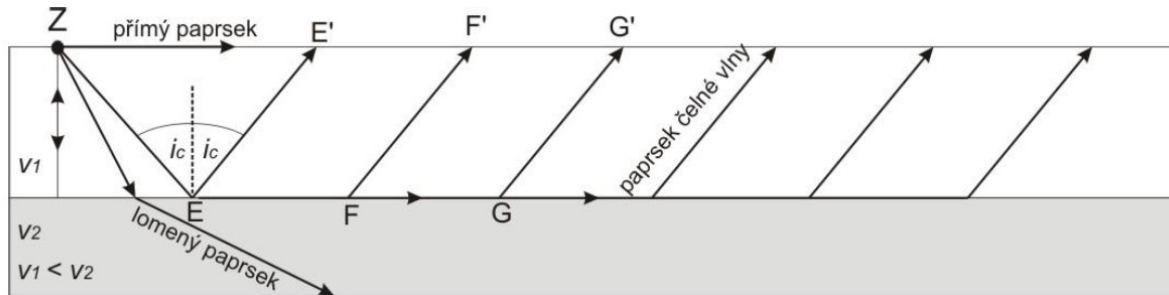
# Refrakční seismika – princip měření

- ✓ P vlny + S vlny, měření počátečního času příchodu P vln
- ✓ Rychlost šíření vln závisí na modulu pružnosti a hustotě
- ✓ Předpokladem je rostoucí hustota hornin do podloží



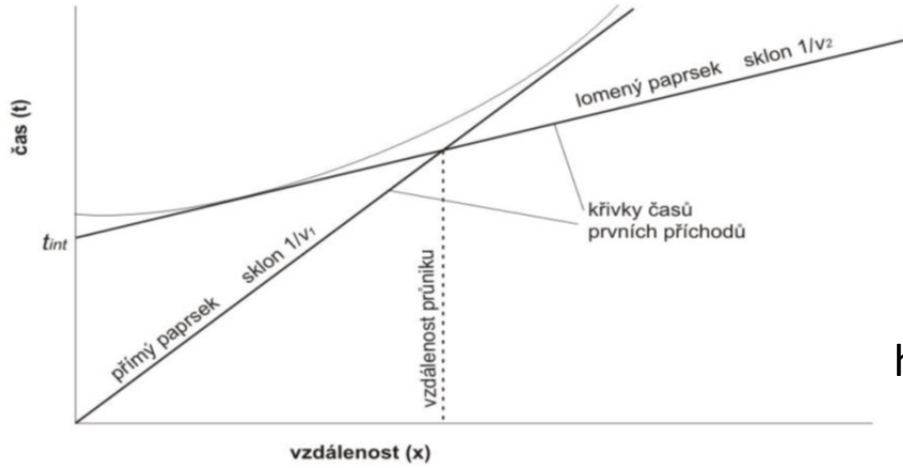
- ✓ Velikost refrakčního úhlu je dána Snelovým zákonem
- ✓ Pro detekci (sub)horizontálních rozhraní se využívá kritické refrakce
- ✓ Úhel kritické refrakce  $\sin\theta_{c1,2} = v_1/v_2$

## Šíření seismické vlny prostředím při refrakci

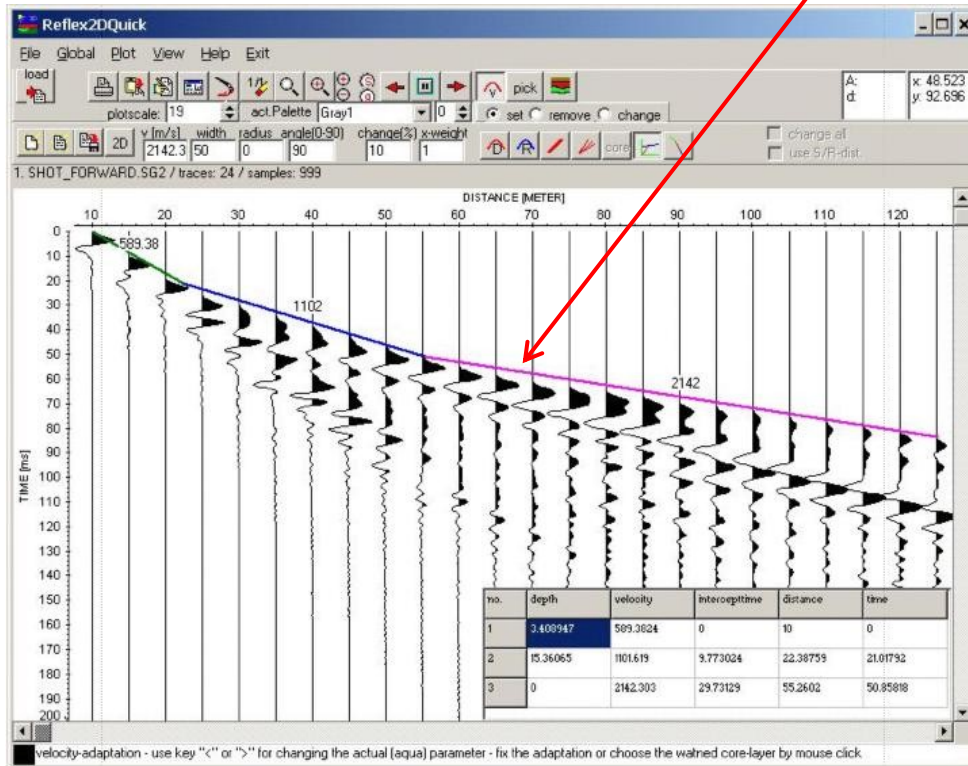


- ✓ Zdrojem vlnění je úder 5kg kladiva na kovovou destičku
- ✓ Příchod vlny se detekuje na linii osazené geofony, rozestupy geofonů 1 až 5 m

# T-x diagrams



hodochrona



Geofony



# *Výhody a nevýhody seismiky*

- Určení času příchodu první vlny problematické při špatném kontaktu geofonu se zemí
- Vibrace přicházející z okolí (řeka, vítr, déšť)
- Je třeba, aby podložní vrstvy měly výrazně kontrastní rychlosti šíření seismických vln
- „Skrytá vrstva“ = poloha vrstvy s menší rychlostí mezi vrstvami s většími rychlostmi → podhodnocení skutečné hloubky skalního podloží

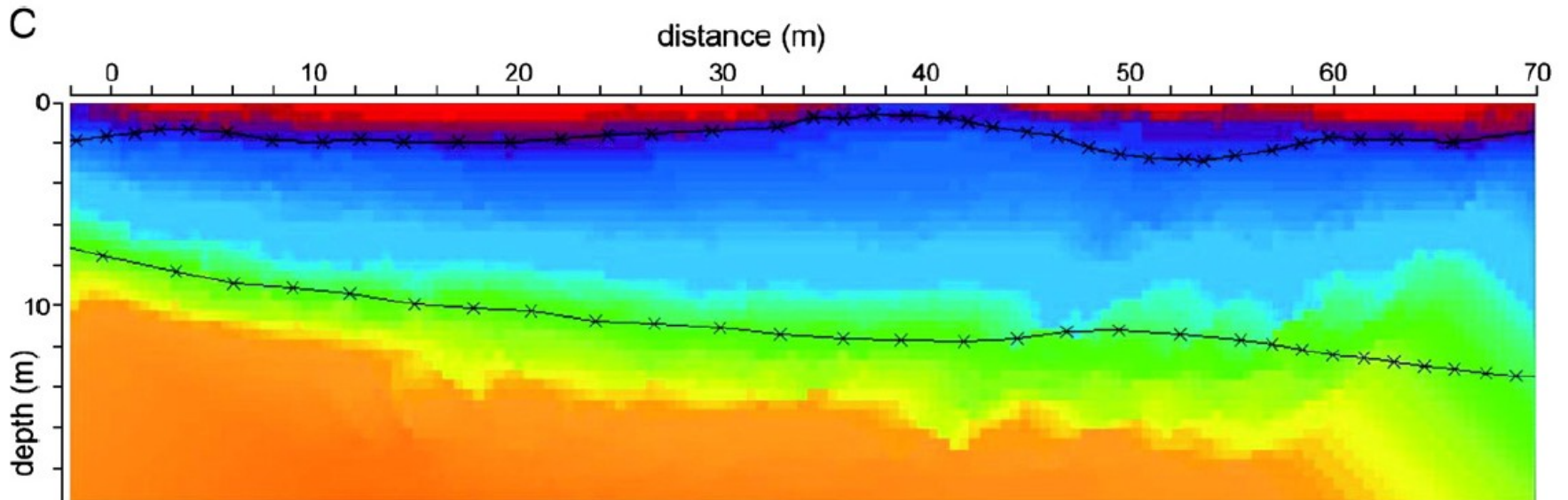
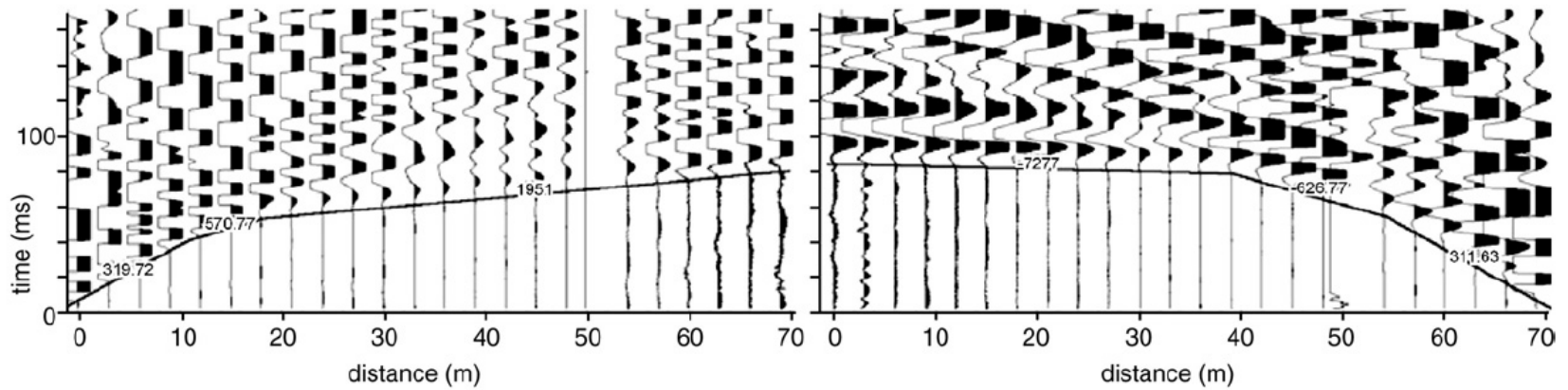


# *Možnosti použití seismiky*

- Detekce rozhraní mezi skalním podložím a zvětralinami či sypkými sedimenty

# Příkladová studie

suťový kužel, sklon povrchu 21°, délka profilu 69 m



# *Refrakční seismika – shrnutí z hlediska použitelnosti v geomorfologii*

<b>Využití v geomorfologii</b>	<b>Technické aspekty použití</b>
Mocnost sybkých sedimentů	Minimálně 12 geofonů
Detekce masivního ledu v kamenných ledovcích a morénách	Kladivo postačuje pro mělké sondování do hloubky 30 m
Rozlišení ledu, vzduchu a hornin	Zapotřebí zkušenost se zpracováním dat a inverzí
Mocnost aktivní vrstvy	Potřeba korelace odporových dat s odkryvy a vrty

# *Kombinace geofyzikálních metod*

Metody je třeba vzájemně verifikovat, případně konfrontovat s přímým posouzením podloží (odkryvy, kopané sondy, vrty)

- Georadar: schopnost rozlišit detaily; vnitřní stavba sedimentárních sledů
- DC rezistivita: permafrost, zamokřené jemnozrnné substráty, zalesněné oblasti
- Seismika: rozlišení bedrocku od skalního podkladu

# Vhodnost různých metod pro detekci skalního podloží a vnitřní stavby sedimentárních těles

	GEORADAR	REZISTIVITA	SEISMIKA
Osypy, suťové kužely	++/++	±/+	++/±
Kamenná moře	+/+	±/0	+/0
Aluviální kužely, nivy	+/>++	+/>+	++/±
Koluvia	+/>+0	+/>0	±/-
Sesuvy	- <sup>a</sup> /± <sup>a</sup>	+/>++	±/±
Krasové jevy	±	0	0
Zmrzlé čocky podloží	+	++	±
Mocnost činné vrstvy	±	++	++
Rozšíření permafrostu	+	++	+
Kamenné ledovce	±/>+	±/>++	± <sup>b</sup>
Voda ve skalním /zemním prostředí	±	+	-

údaj před lomítkem = celková mocnost, hloubka bedrocku  
 údaj za lomítkem = vnitřní stavba

++ doporučená metoda, nejlepší výsledek

+ doporučená metoda

± lze použít, ale nezaručuje nejlepší výsledek

0 zatím chybí aplikace této metody

- nedoporučená metoda

a = vhodné pouze pro suché sedimenty

b = pouze u neaktivních kamenných ledovců bez permafrostu