

Zpracování seismických dat

V. Polarizace seismického signálu

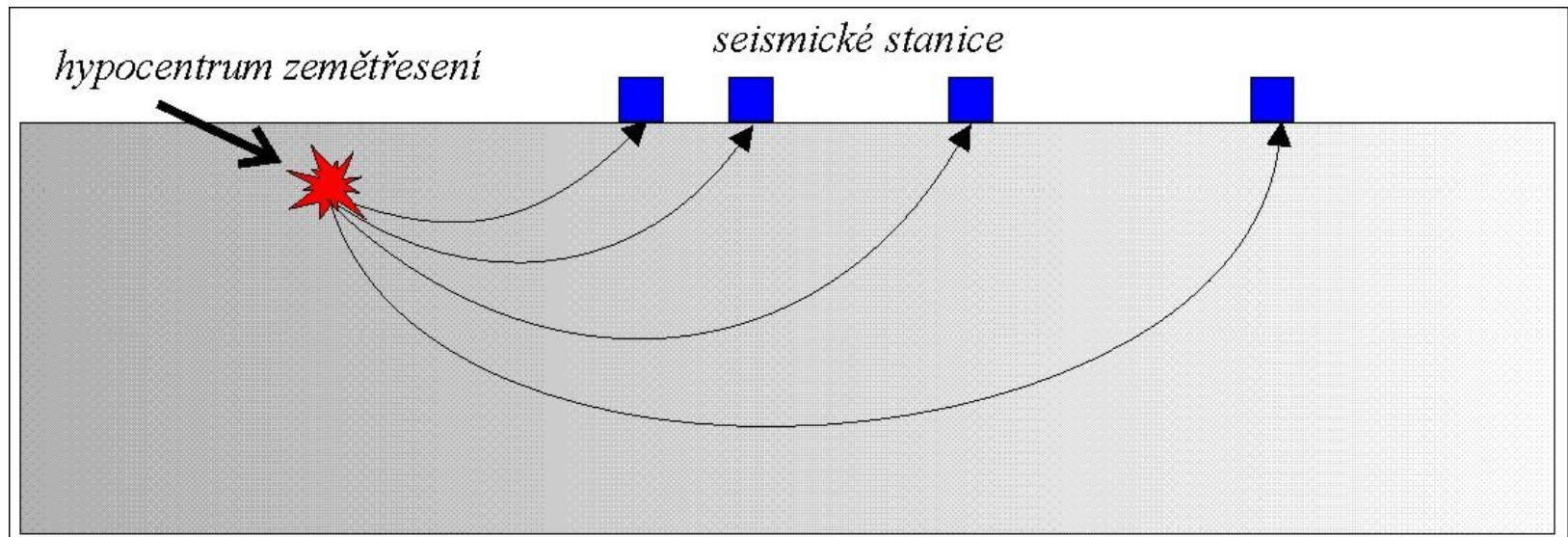
Josef Havíř

Josef.Havir@ipe.muni.cz

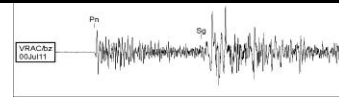
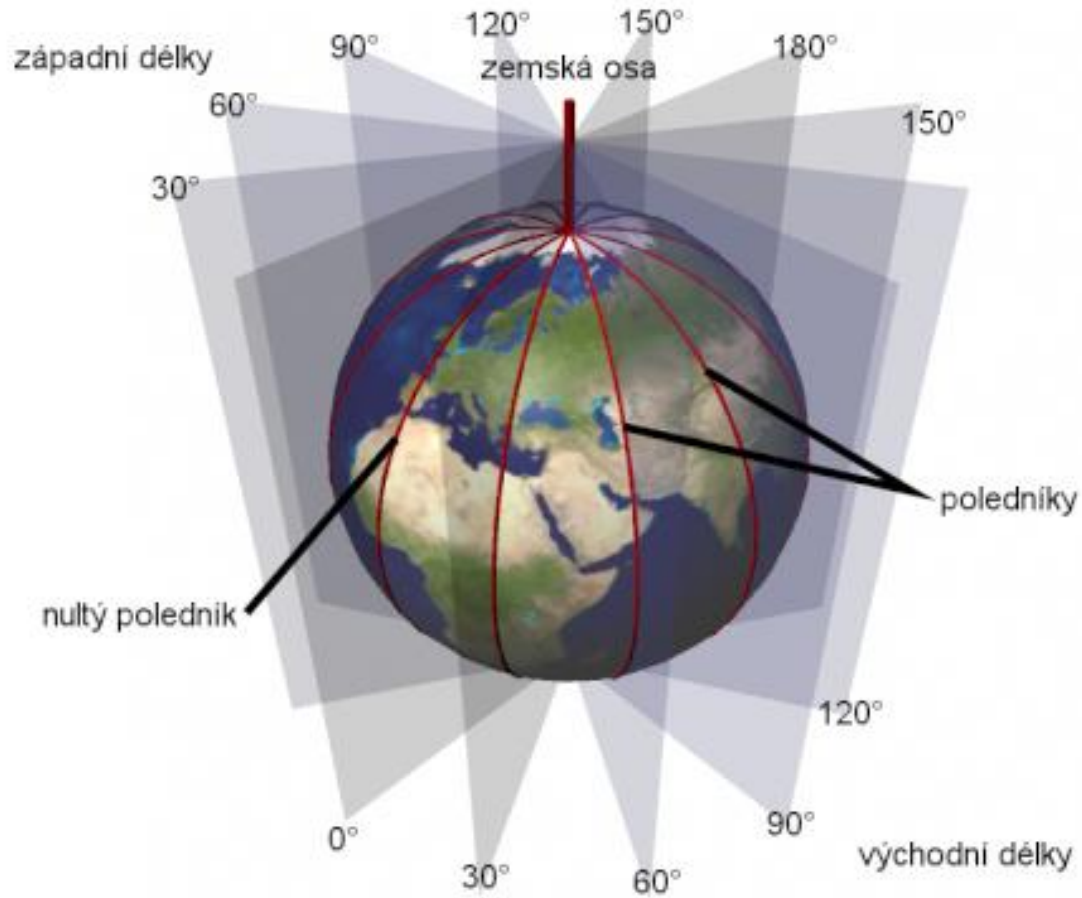


1. Azimut a inklinace

Seismický signál přichází na stanici z určitého směru, definovaného jeho **azimutem** a **inklinací**.



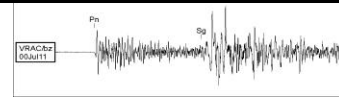
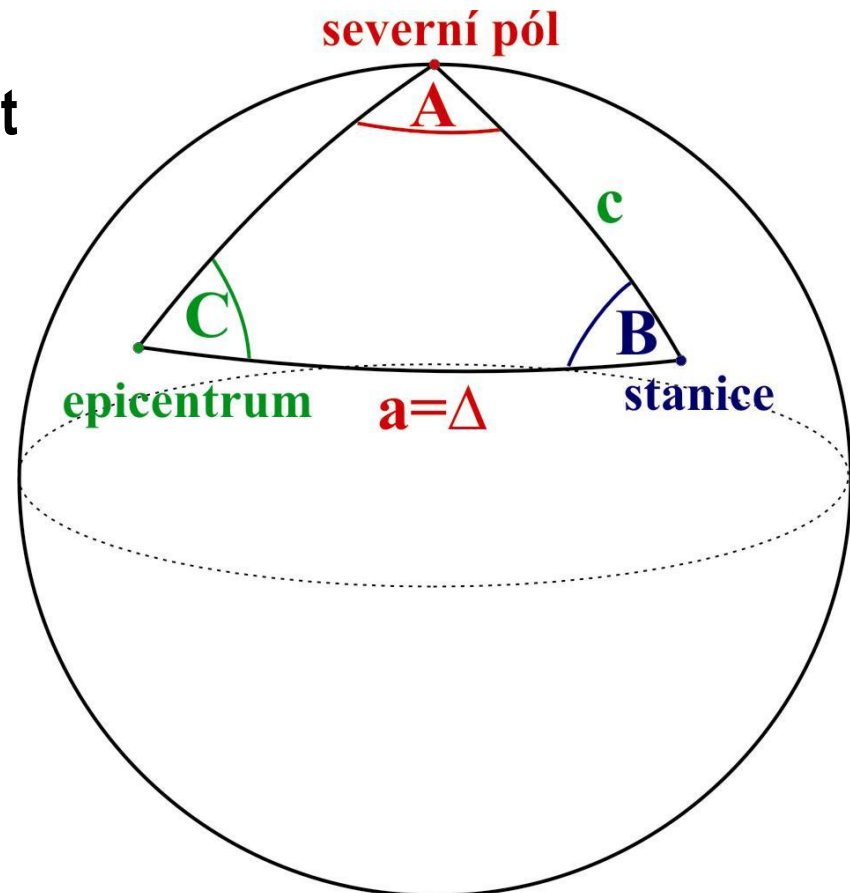
Azimut je orientovaný úhel, který svírá daný směr s poledníkem.



Body nepresentující polohu severního pólu, epicentra a stanice tvoří na kouli vrcholy trojúhelníka. Jak úhly při vrcholech, tak strany sférického trojúhelníka mají význam úhlů (lze je měřit ve stupních).

Úhel **C** udává orientaci paprsku od epicentra ke stanici - nazývá se **azimut**

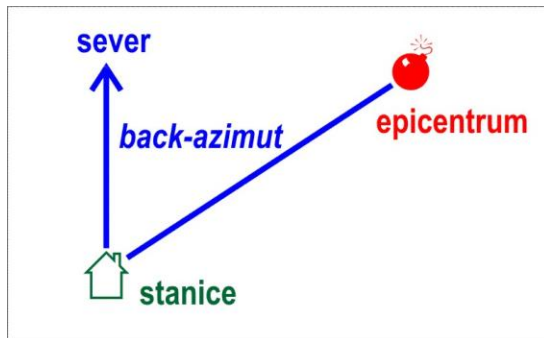
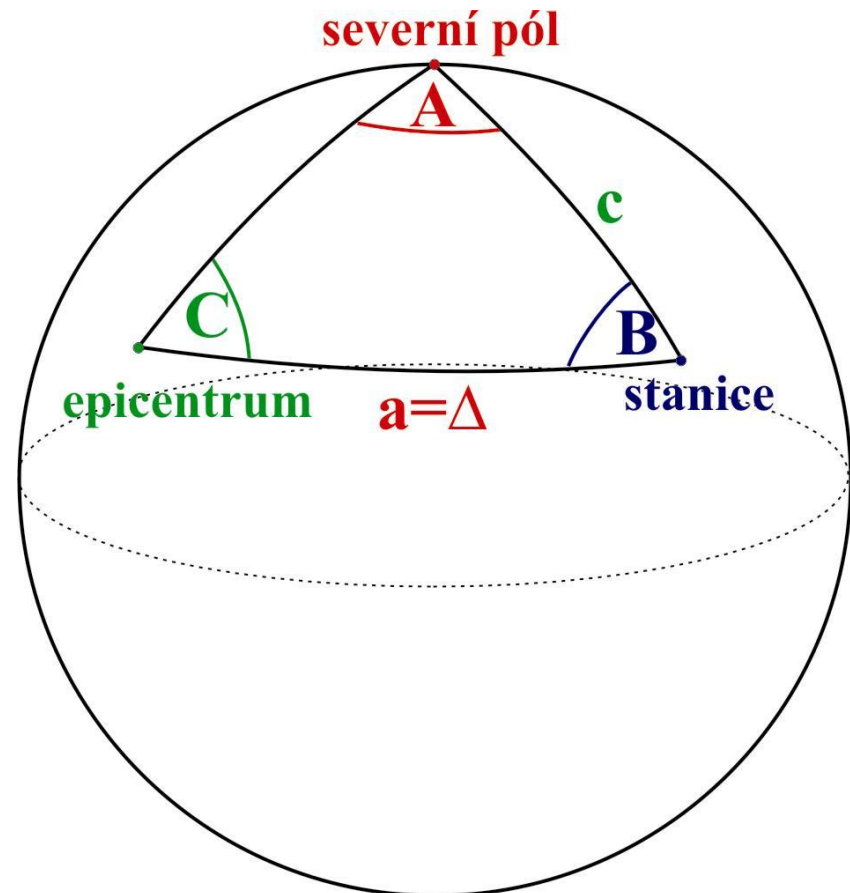
$$C = \arccos\left(\frac{\cos(c) - \cos(a)\cos(b)}{\sin(a)\sin(b)}\right)$$



Body nepresentující polohu severního pólu, epicentra a stanice tvoří na kouli vrcholy trojúhelníka. Jak úhly při vrcholech, tak strany sférického trojúhelníka mají význam úhlů (Ize je měřit ve stupních).

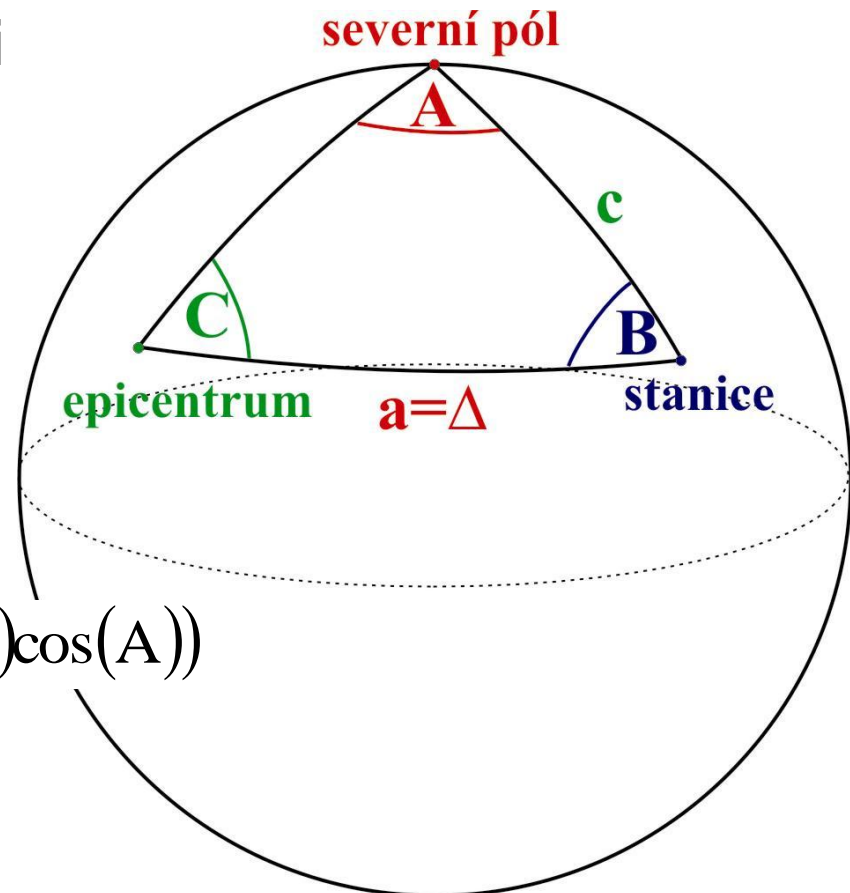
Úhel **B** udává orientaci od stanice ke zdroji - nazývá se **back-azimuth** (**zpětný azimut**)

$$C = \arccos\left(\frac{\cos(b) - \cos(a)\cos(c)}{\sin(a)\sin(c)}\right)$$



Body nepresentující polohu severního pólu, epicentra a stanice tvoří na kouli vrcholy trojúhelníka. Jak úhly při vrcholech, tak strany sférického trojúhelníka mají význam úhlů (Ize je měřit ve stupních).

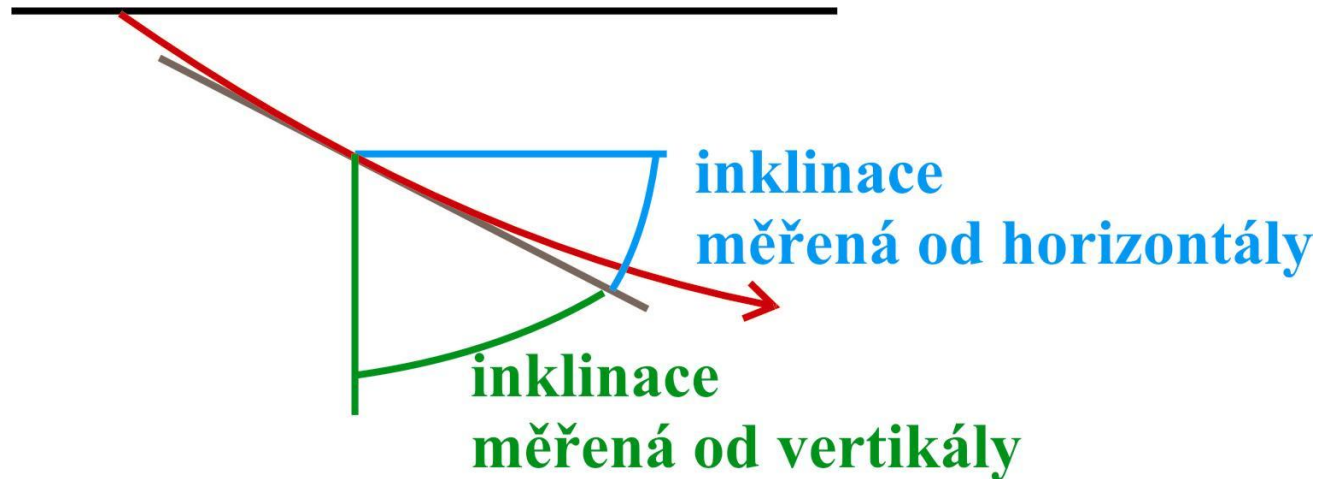
Úhel **a** udává úhlovou vzdálenost mezi epicentrem a stanicí - **epicentrální vzdálenost Δ**



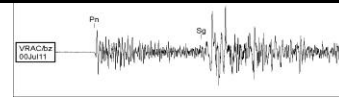
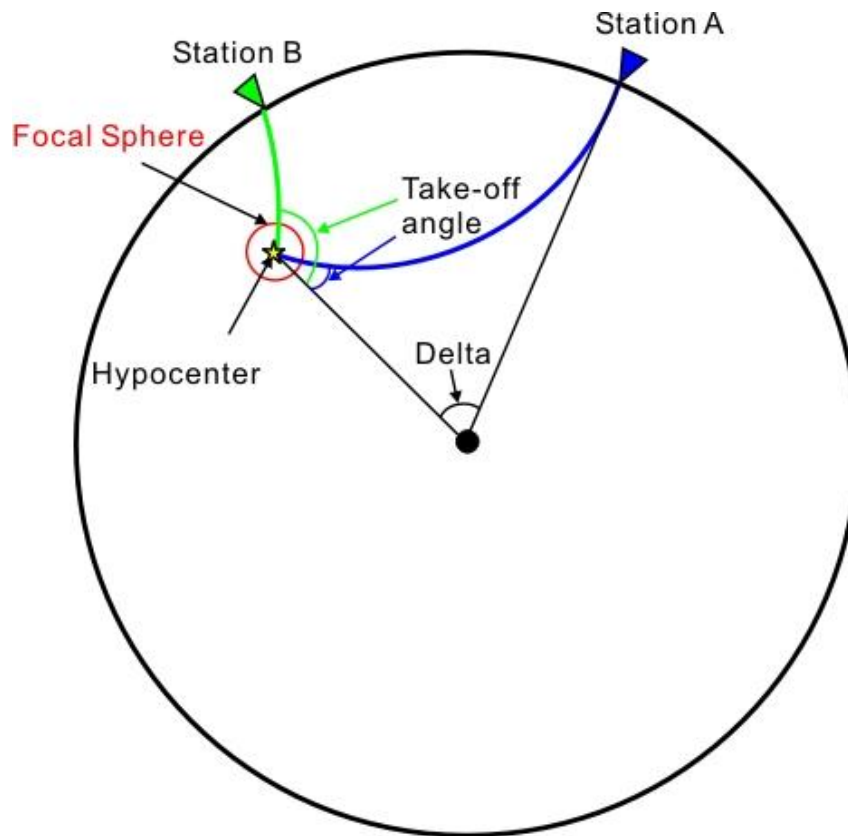
$$a = \arccos(\cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A))$$



Inklinace je úhel, který svírá daný vektor s horizontálou (nebo vertikálou).

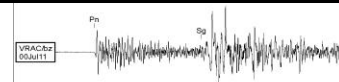
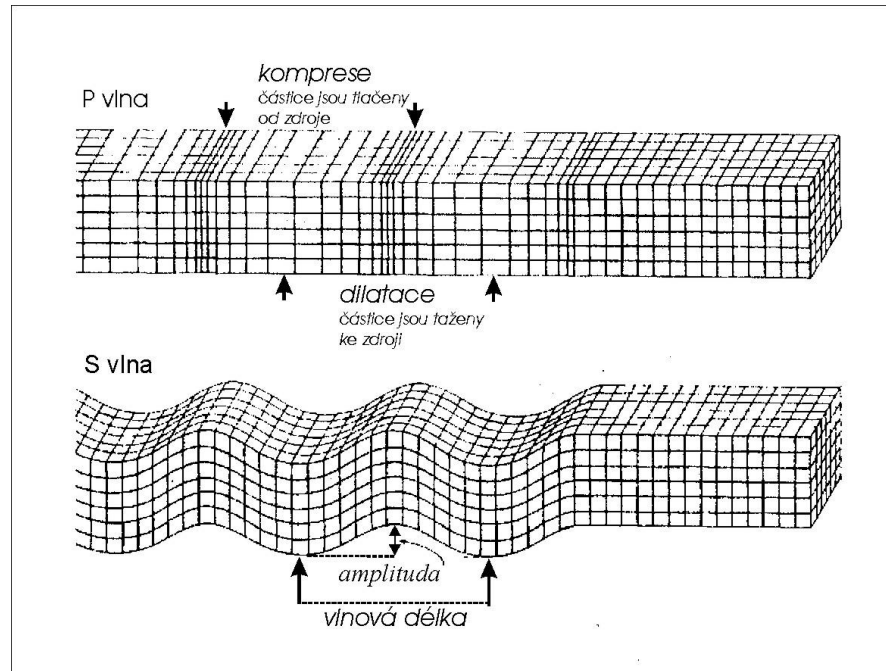


Inklinace seismického paprsku se mění s epicentrální vzdáleností.
Inklinace měřená od vertikály ve zdroji - **take-off úhel**

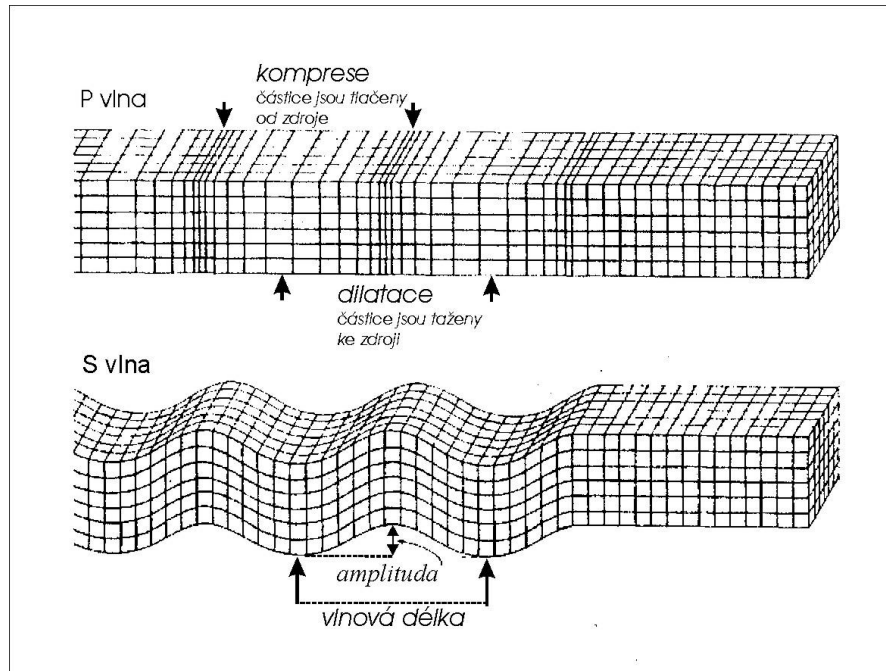


2. Kmitání částic kontinua u různých seismických vln

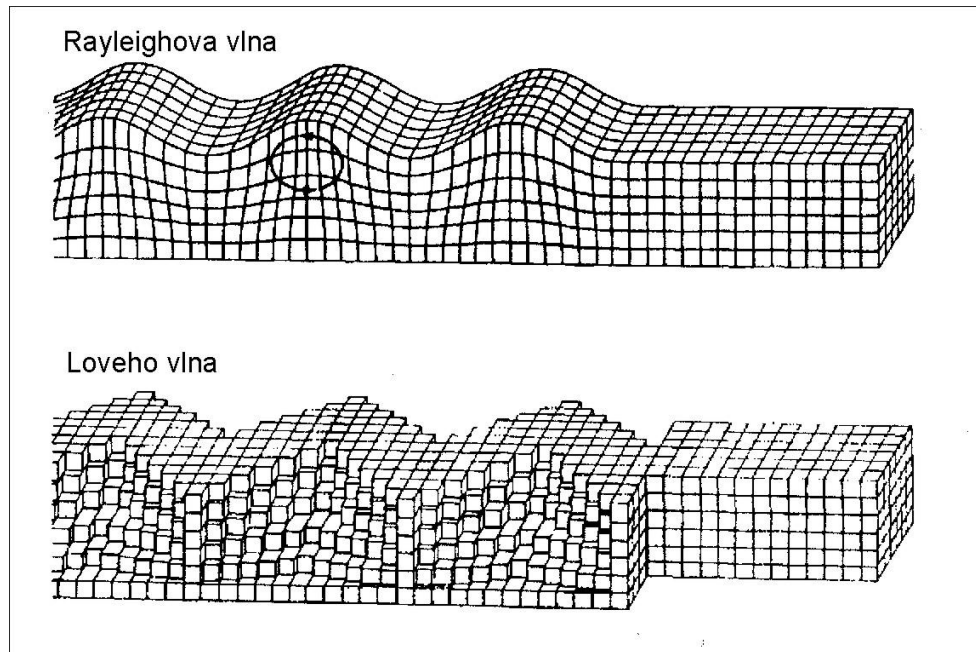
P vlna je podélnou vlnou - částice kontinua kmitají ve směru šíření paprsku. Toto usměrnění se nenazývá "polarizací" v užším slova smyslu (protože plyne už jen z toho, že jde o podélnou vlnu).



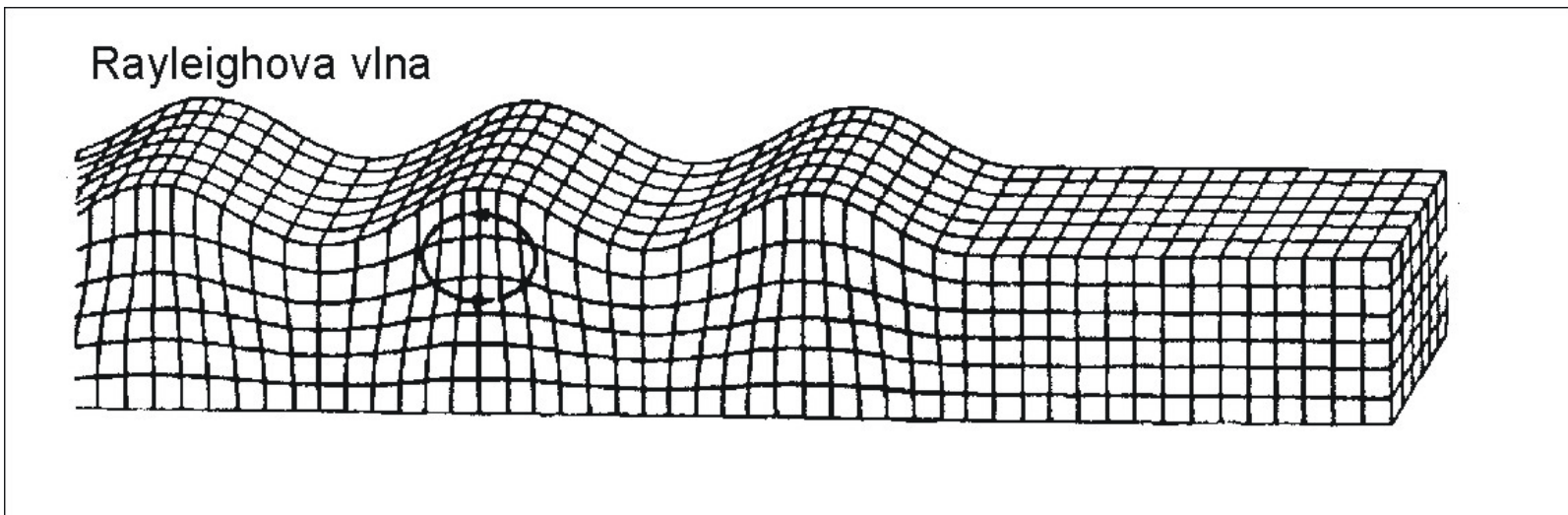
S vlna je podélnou příčnou - částice kontinua kmitají ve směru kolmém na šíření paprsku.



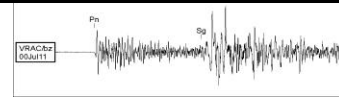
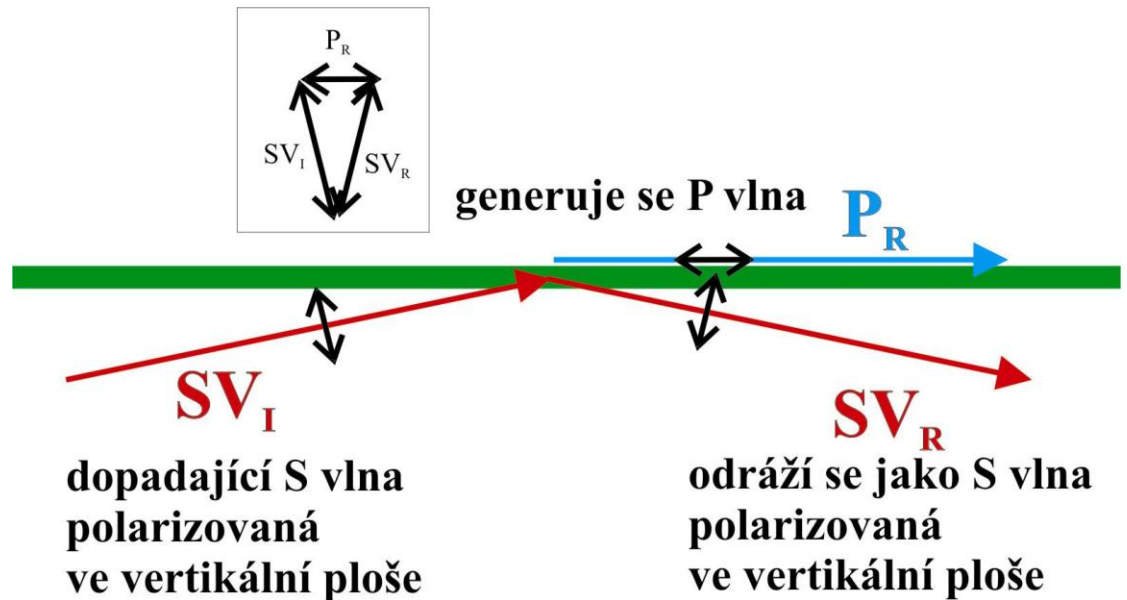
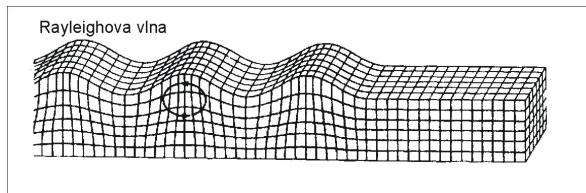
Vlivem interference objemových vln při lomu na volném rozhraní dochází ke generování zvláštních polarizovaných vln, které se pak šíří podél rozhraní (povrchu). Nazývají se proto vlny povrchové.



Rayleighova vlna je polarizovaná v ploše kolmé na rozhraní a paralelní se směrem šíření vlny. Kmitání částic je omezeno jen na tuto jedinou plochu.

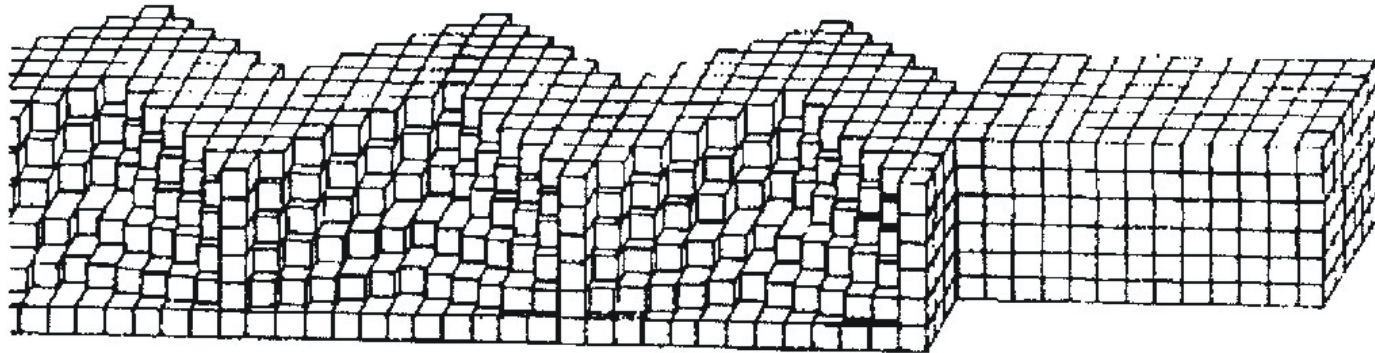


Její vznik lze vysvětlit dopadem polarizované příčné vlny S na volné rozhraní (vlna S je polarizovaná v ploše kolmé na rozhraní) pod úhlem větším než kritickým. Vlna se odráží jako vlna S (opět polarizovaná v rovině kolmé na rozhraní), přičemž je současně generována vlna P šířící se podél rozhraní. Interferencí generované vlny P a odražené vlny S vzniká Rayleighova povrchová vlna.

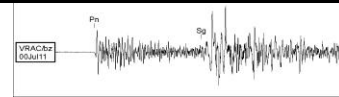
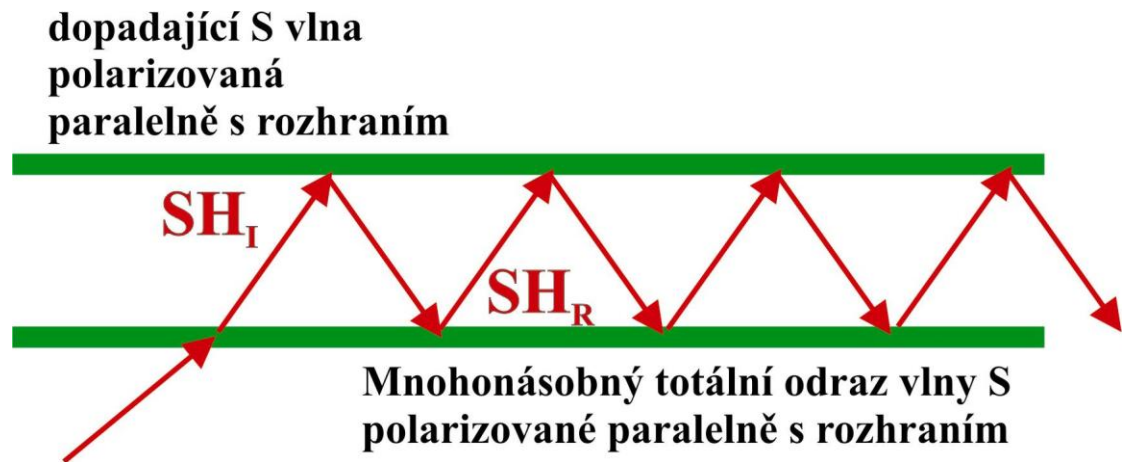
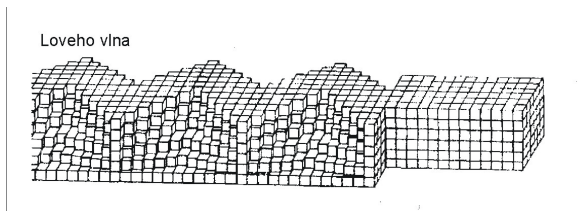


Loveho vlna je polarizovaná v ploše rozhraní, kolmo na směr šíření vlny. Kmitání částic je omezeno jen na tento jediný směr.

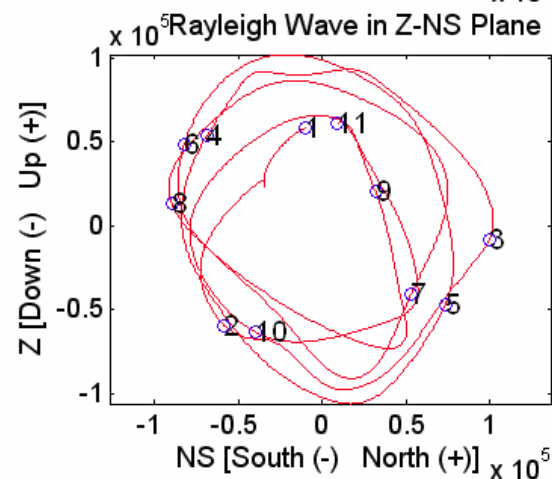
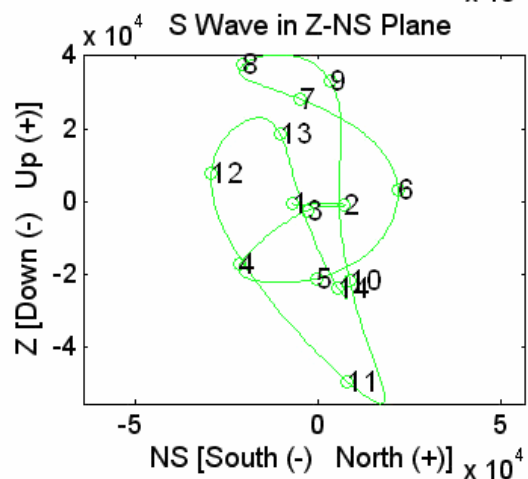
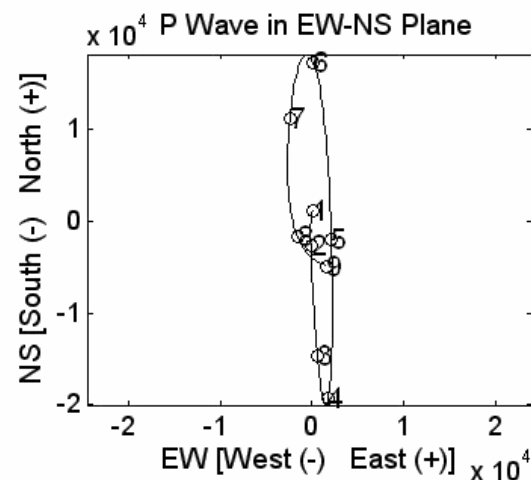
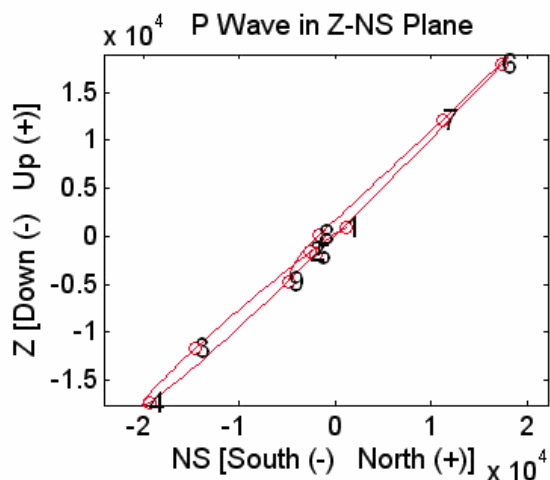
Loveho vlna



Její vznik lze vysvětlit dopadem polarizované příčné vlny S mezi dvě rozhraní (vlna S je polarizovaná v paralelně s rozhraním) tak, že pak dopadá na rozhraní pod úhlem větším než kritickým. Vlna je mnohonásobně totálně odražena a nemůže vznikat žádná jiná vlna, než odražená vlna S polarizovaná paralelně s rozhraním - šíří se tak mezi oběma rozhraními jako Loveho vlna.

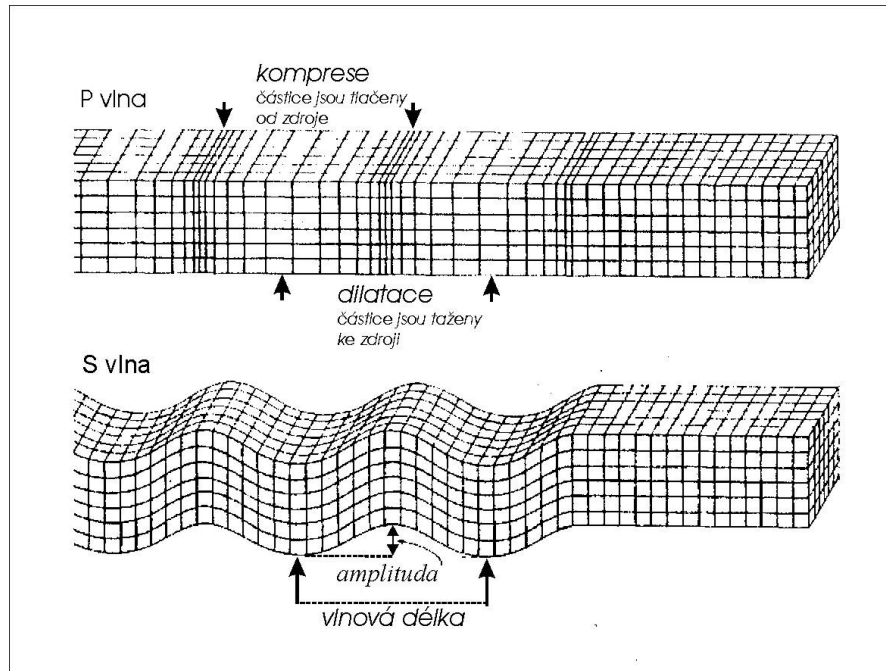


Částice tak ve vhodně orientovaném dvourozměrném řezu vykonávají pohyb charakterizující typ seismické vlny.



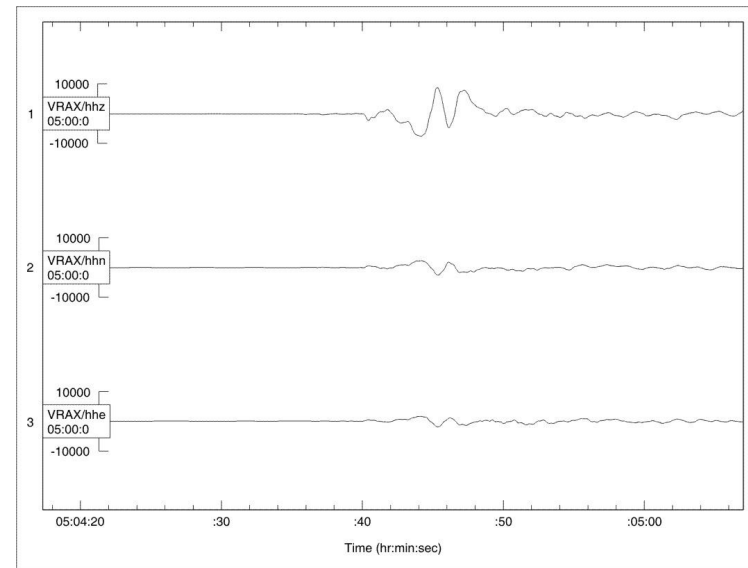
3. Určení azimutu na základě "polarizace" P vlny

P vlna je podélnou vlnou - částice kontinua kmitají ve směru šíření paprsku. Toto usměrnění se nenazývá "polarizací" v užším slova smyslu (protože plyne už jen z toho, že jde o podélnou vlnu).

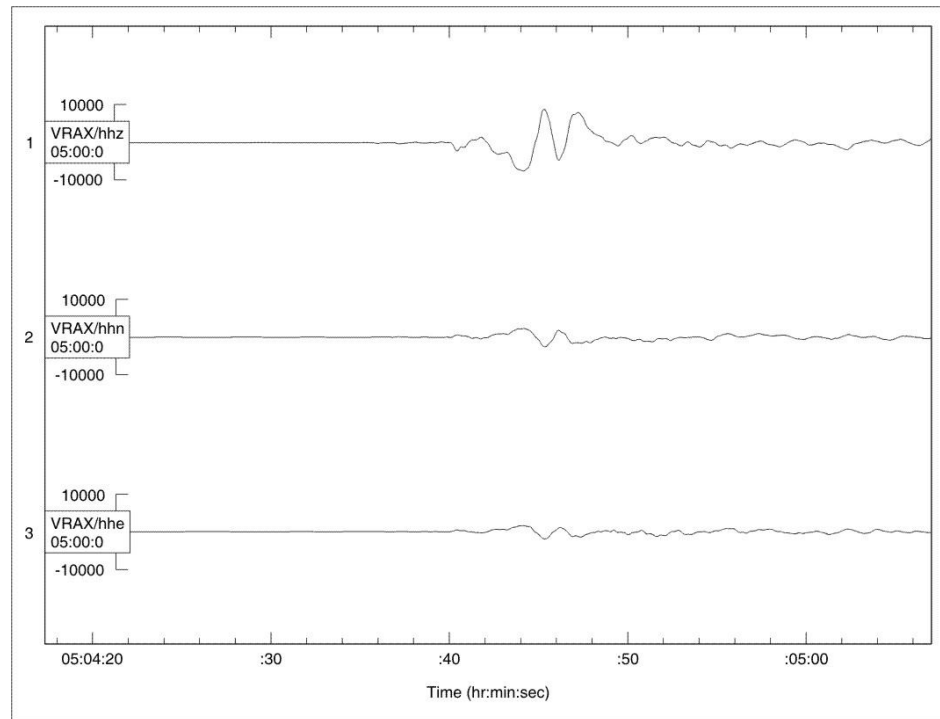


Usměrnění kmitání u podélné vlny lze využít k určení azimutu a inklinace seismického paprsku v místě detekce.

Při znázornění všech tří vzájemně kolmých složek záznamu tříložkové seismologické stanice je patrné, že amplitudy se v různých směrech zřetelně liší. Tato skutečnost je výsledkem usměrnění v jediném směru – do tří vzájemně kolmých sledovaných směrů se pak podélná vlna promítá různou měrou v závislosti na směru polarizace.

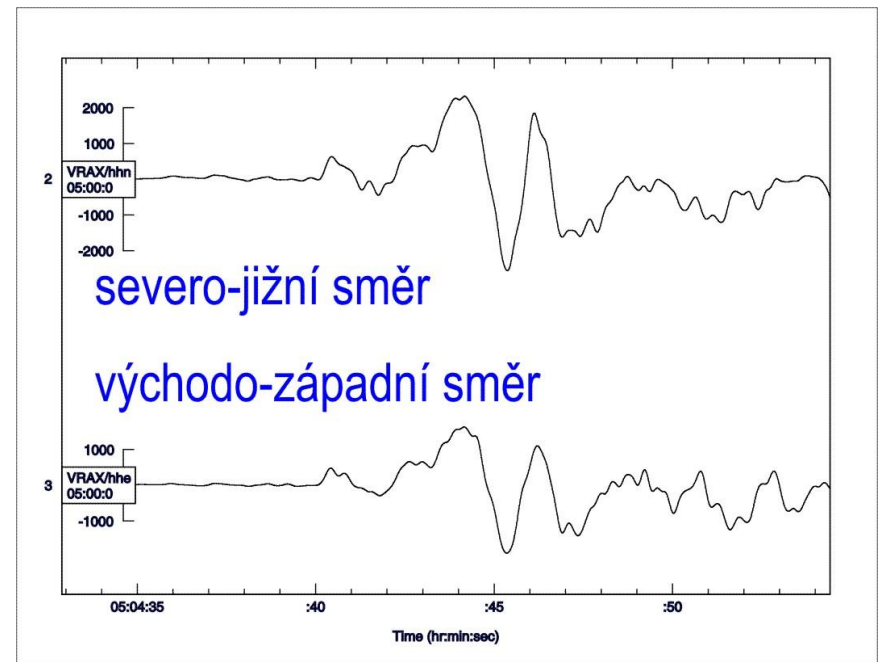


V případě vzdálených zemětřesení je detekován signál s velkými hodnotami inklinace, tedy signál přicházející z hloubky. Usměrnění podélné vlny se pak projevuje tak, že největší amplitudy signálu jsou zjištěny na vertikální složce záznamu, kmitání v horizontálním směru se děje s výrazně menší amplitudou.

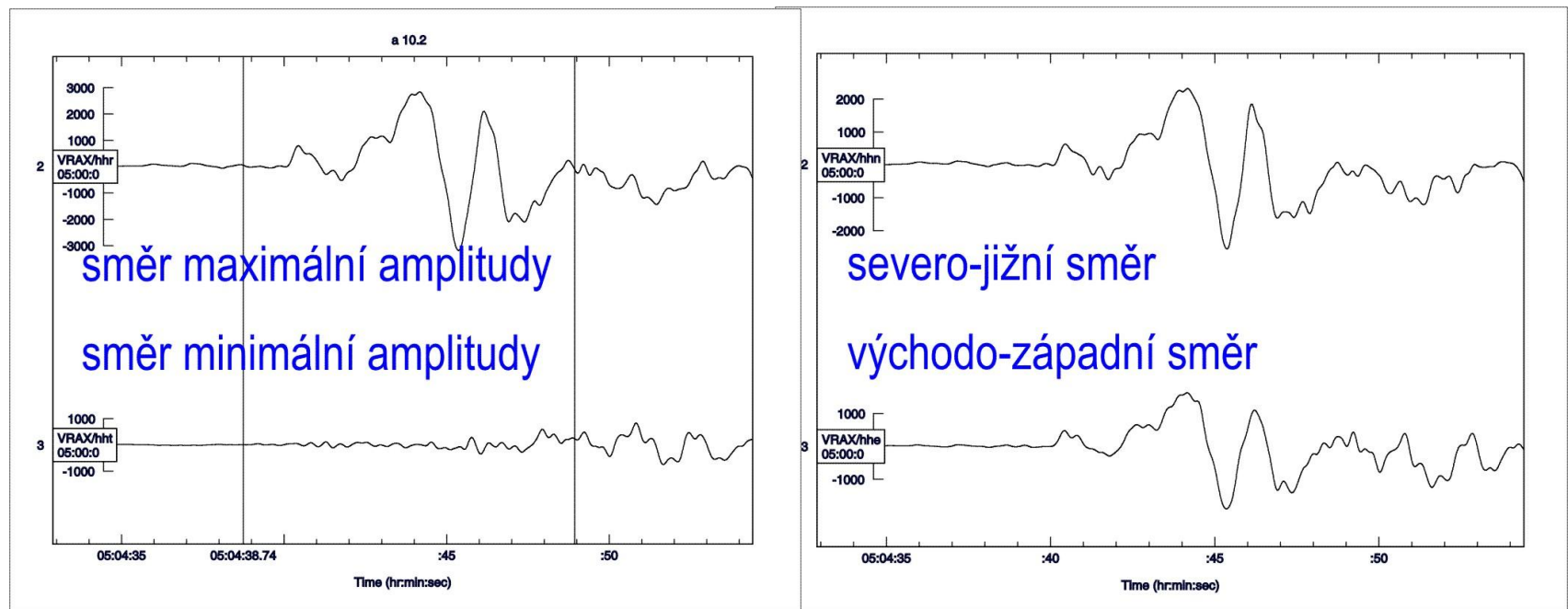


Rozdíl je také v amplitudě kmitání ve směru sever-jih a východ-západ.

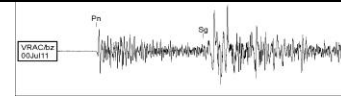
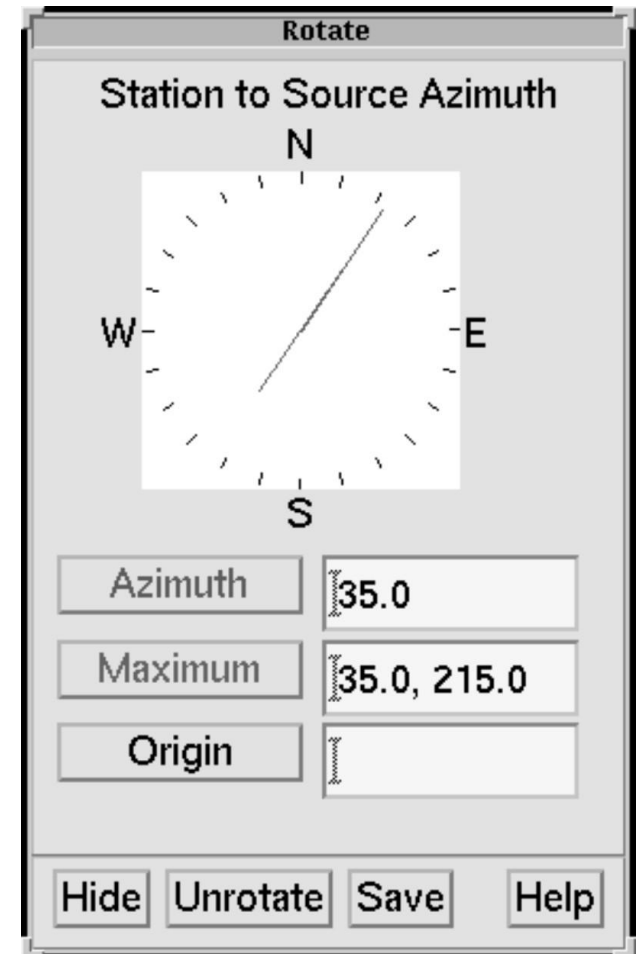
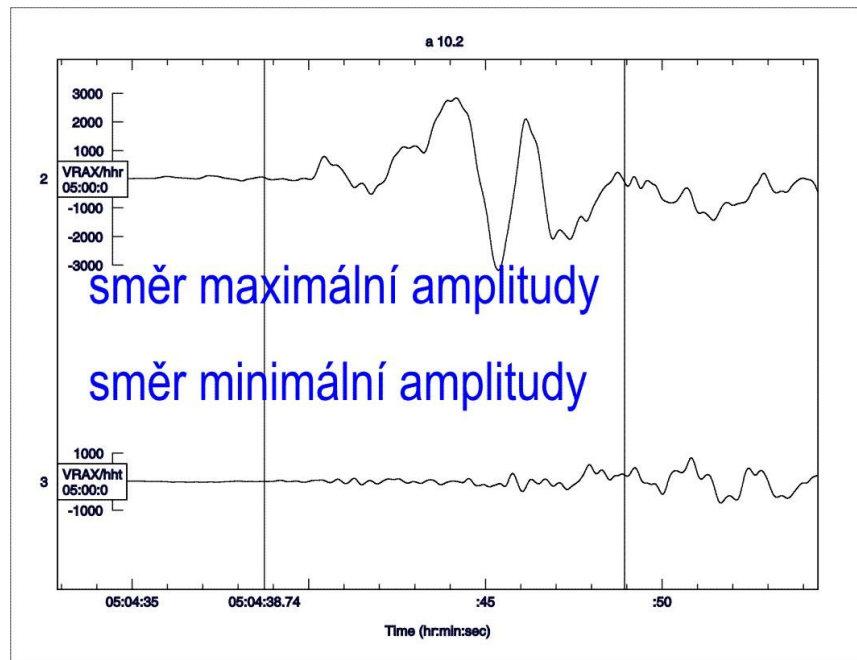
Při **polarizační analýze** je využito usměrnění podélné vlny ve směru šíření signálu. Je tedy hledán takový horizontální směr, ve kterém je amplituda vlny maximální – ve směru kolmém na tento směr by naopak měla být amplituda užitečného signálu nulová.



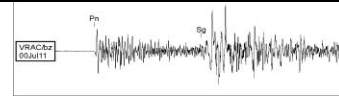
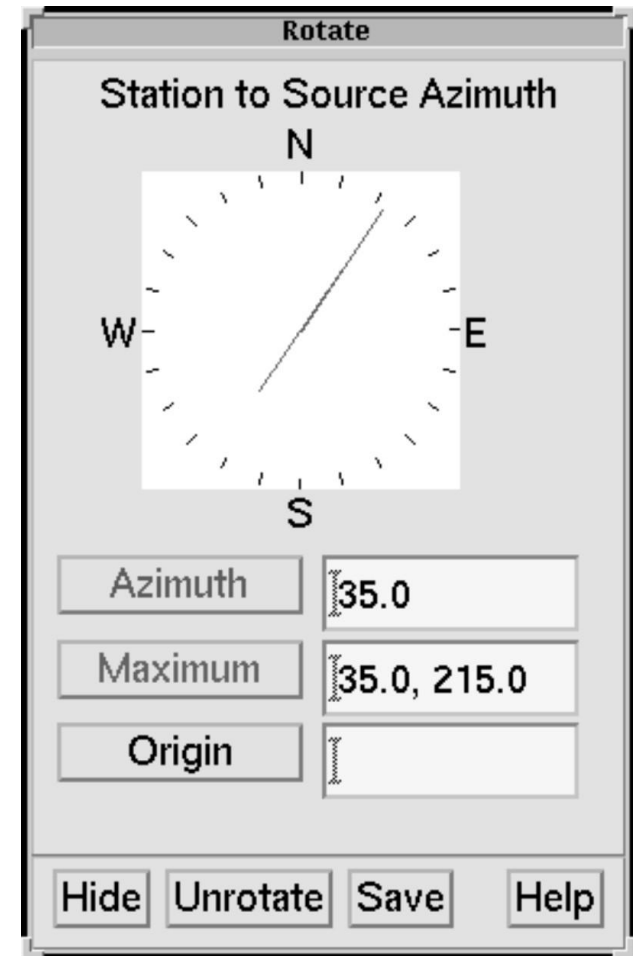
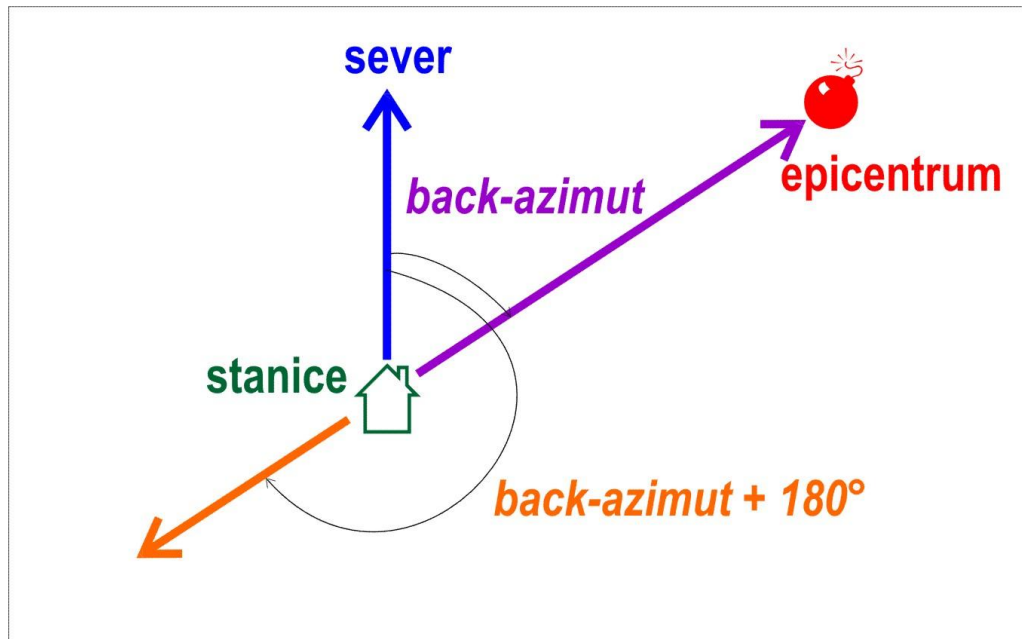
Signál horizontálních složek je v rámci polarizační analýzy přepočítáván tak, že je uměle počítán signál, který by byl zaznamenán na horizontálních složkách potočených vůči zeměpisným souřadnicím o určitý známý úhel. Cílem je nalézt takové potočení, při kterém je signál na jedné složce maximální, zatímco na druhé složce zcela vymizí.



Hledaný směr je popsán dvěma azimuty s rozdílem 180° - oba azimuty tedy popisují jedinou přímku.

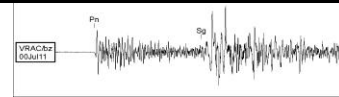
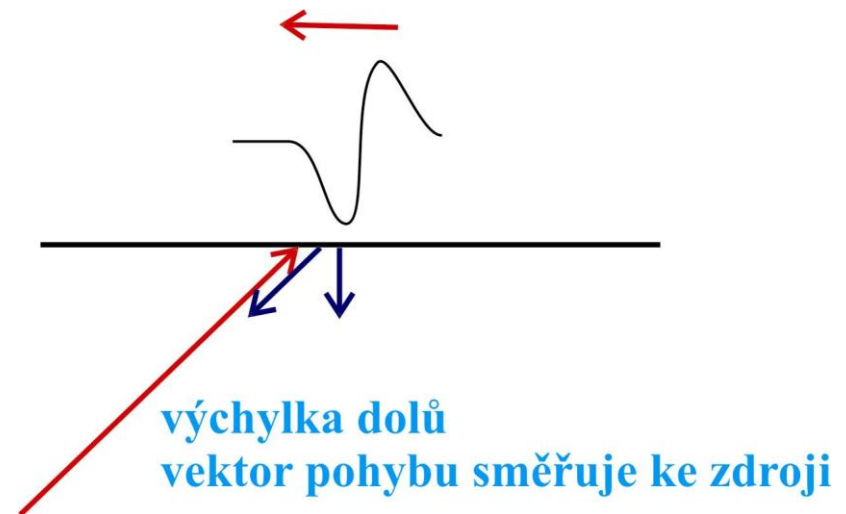
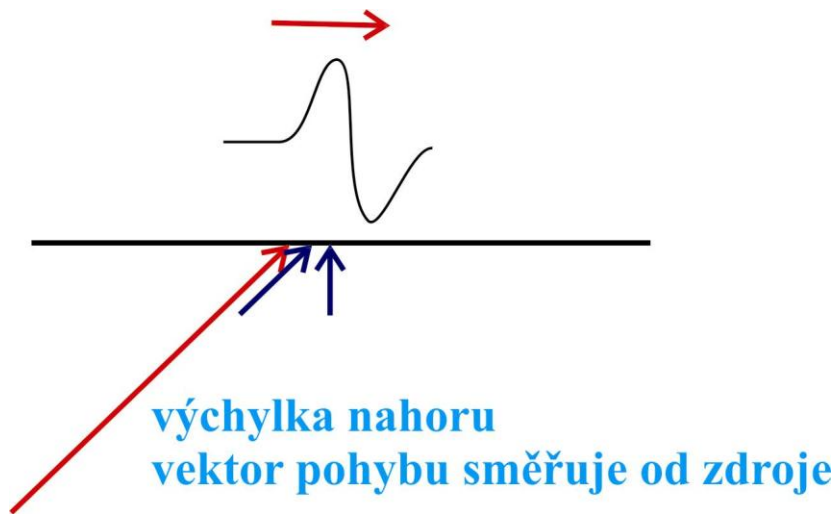


Hledaný směr je popsán dvěma azimuty s rozdílem 180° - azimuty tedy popisují dva opačné směry na jediné přímce. Pouze jeden z azimutů je back-azimut.

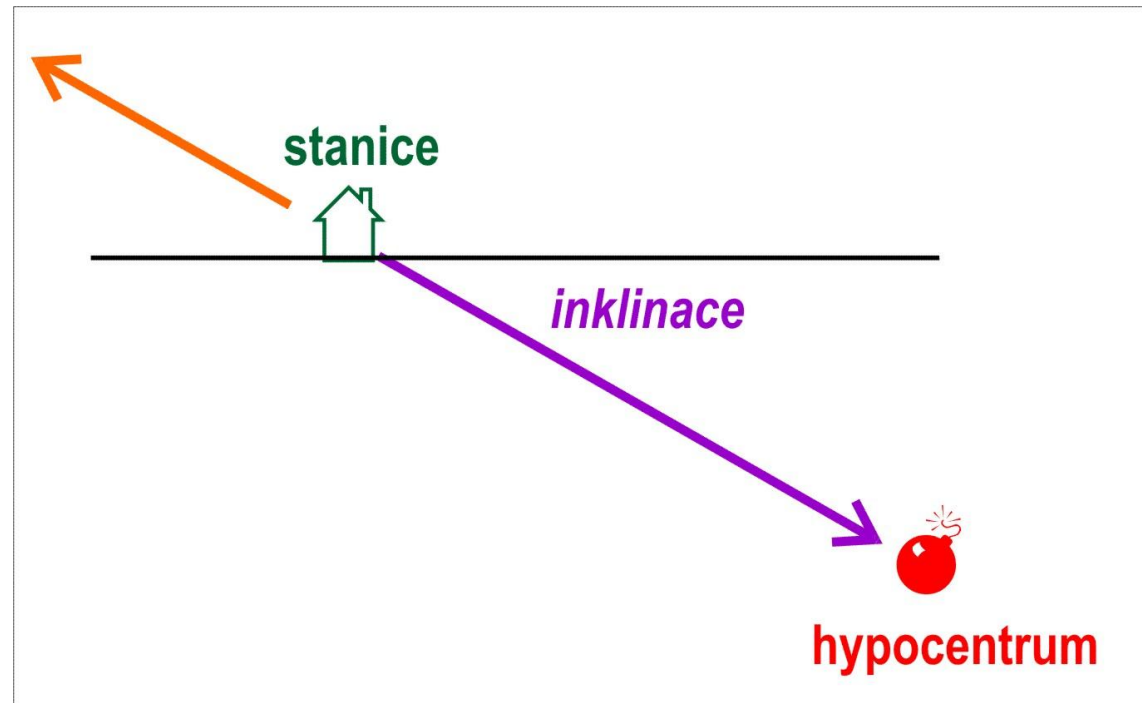


Při polarizační analýze v ploše kolmé k zemskému povrchu a paralelní se směrem maximální horizontální amplitudy lze ale snadno určit inklinaci vektoru pohybu kmitajících částic.

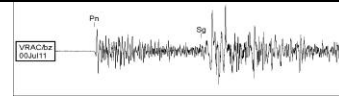
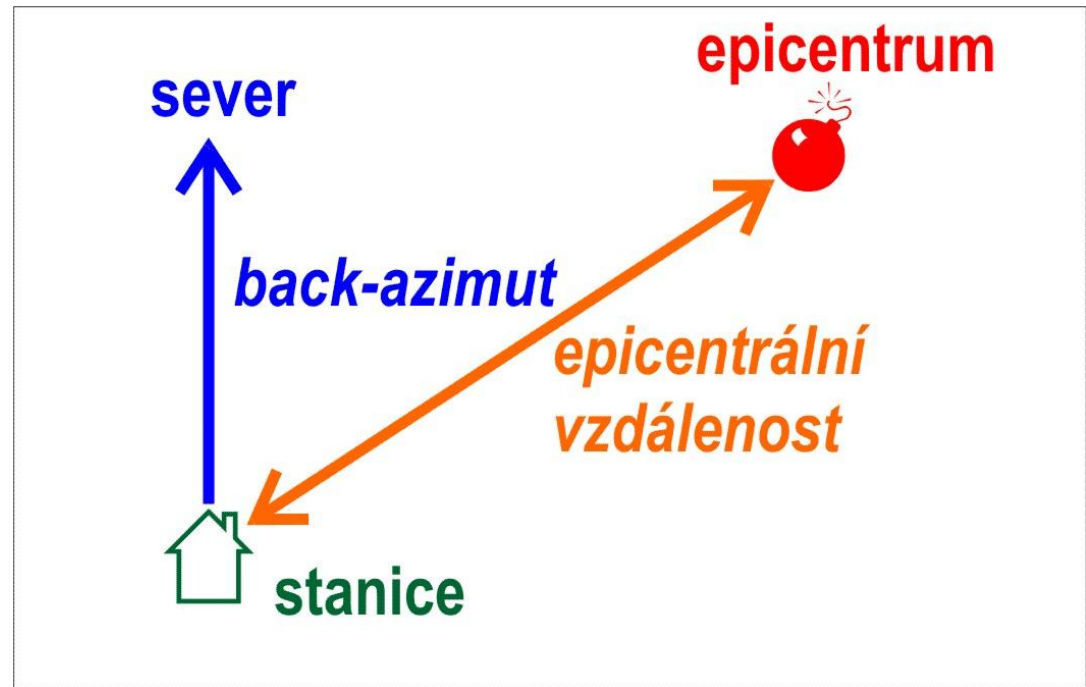
Vertikální složka vektoru může směřovat vzhůru nebo dolů, podle toho zda impuls směřuje od zdroje či ke zdroji.



V případě zemětřesení signál přichází z nitra Země, nikoli z atmosféry, což jasně určuje, který z nalezených azimutů je back-azimut.



Známe-li back-azimut a epicentrální vzdálenost, můžeme určit polohu epicentra otřesu. **Přibližné** určení epicentra zemětřesení je tedy v ideálních případech možné i jen ze záznamu **jedné jediné** seismické stanice. Přesnost tohoto určení však není velká. Přesnost závisí na kvalitě záznamu a na dobré znalosti prostředí, kterým prochází seismický signál.

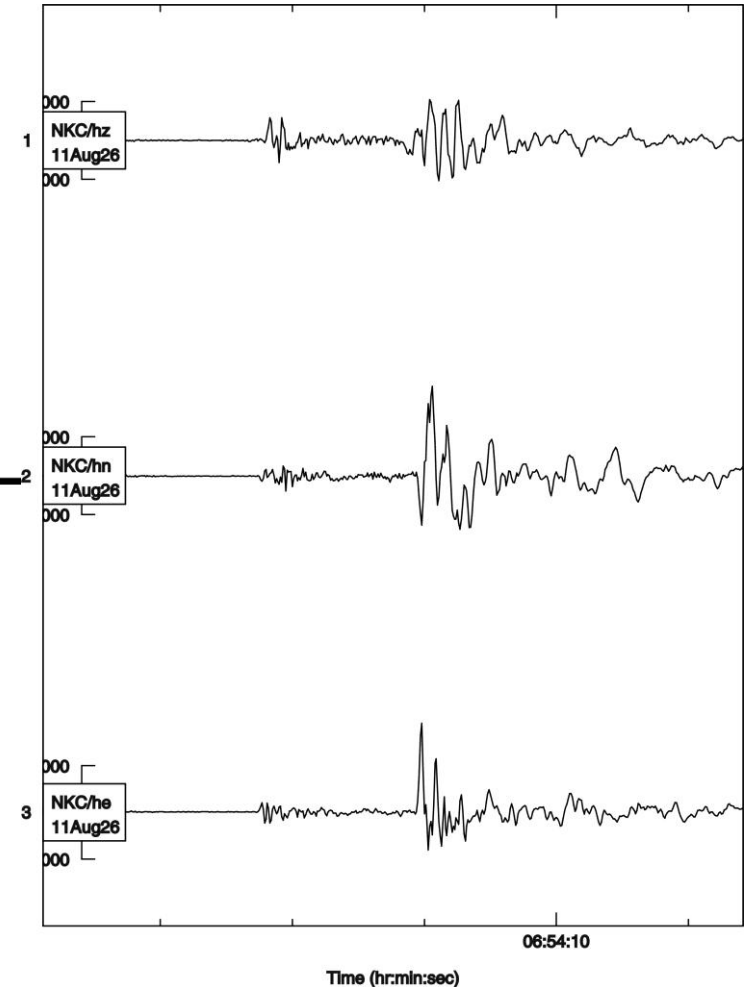
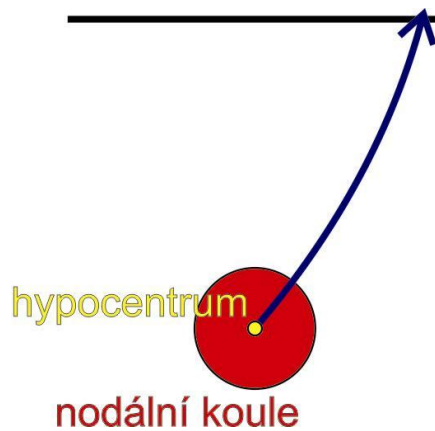


4. Směrová závislost amplitud seismických vln vs. inklinace

hloubka >> epicentrální vzdálenost

Paprsek protíná nodální kouli v horní hemisféře

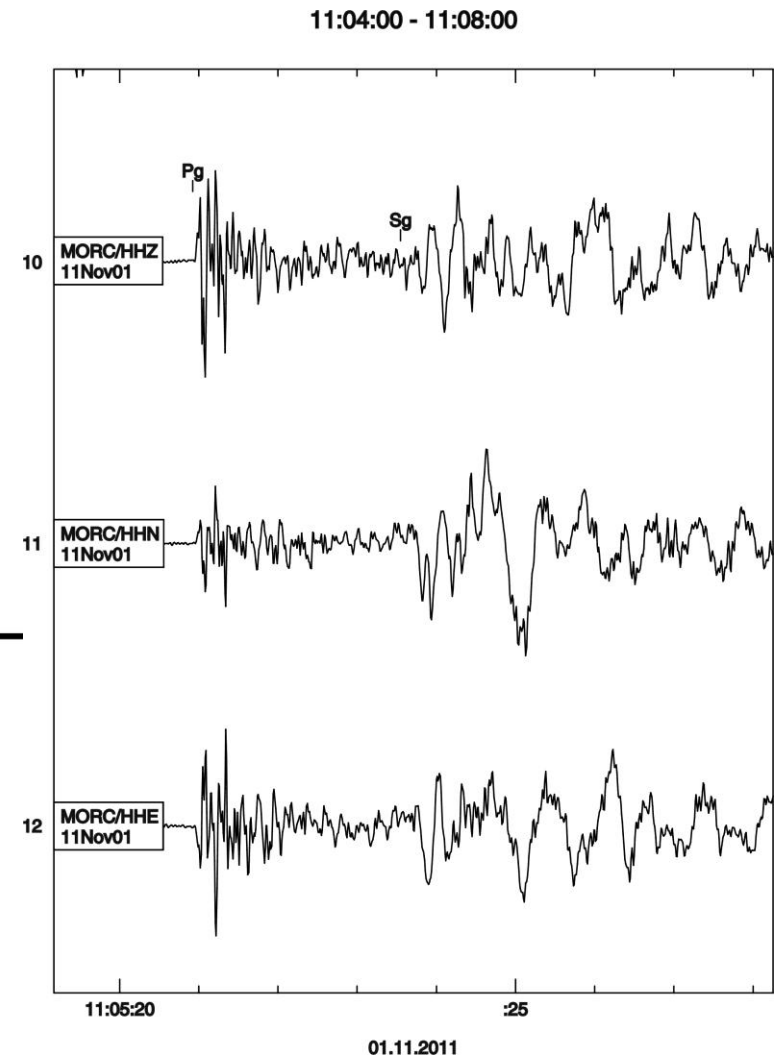
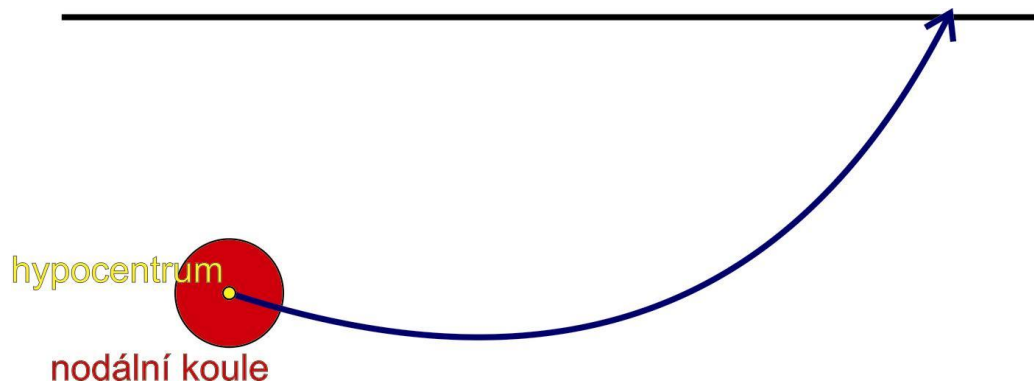
Vysoké hodnoty inklinace



hloubka \ll epicentrální vzdálenost

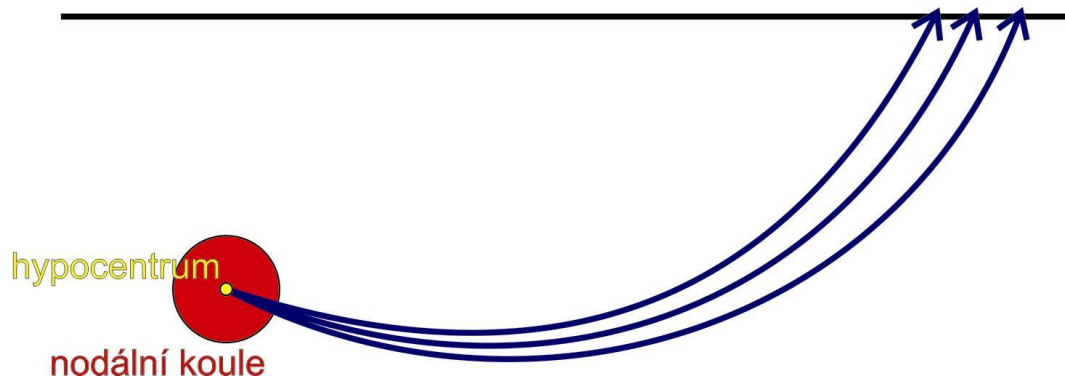
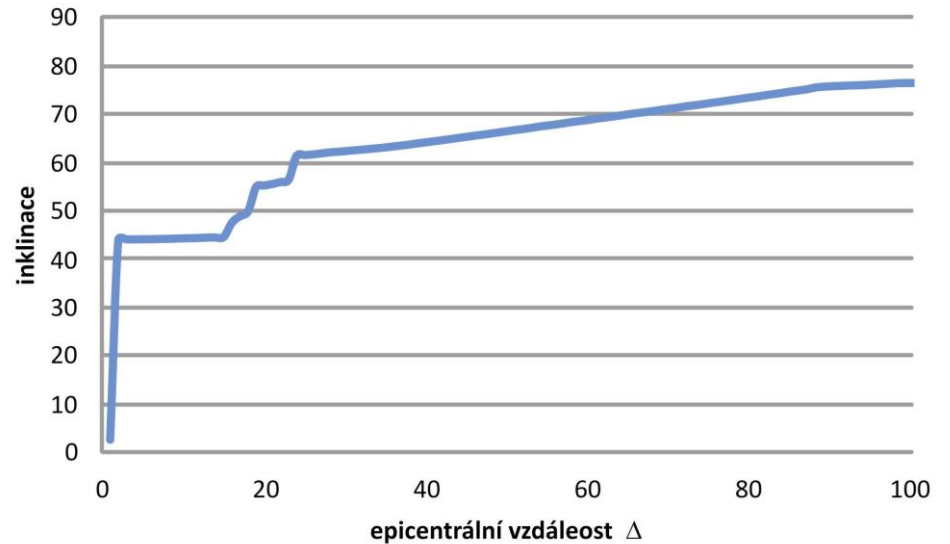
Paprsek protíná nodální kouli v dolní hemisféře.

Pro mělké jevy v některých vzdálenostech mohou být hodnoty inklinace relativně malé



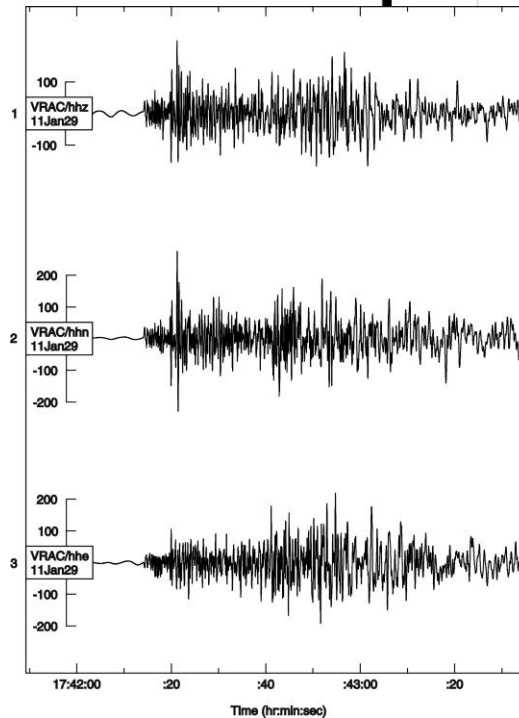
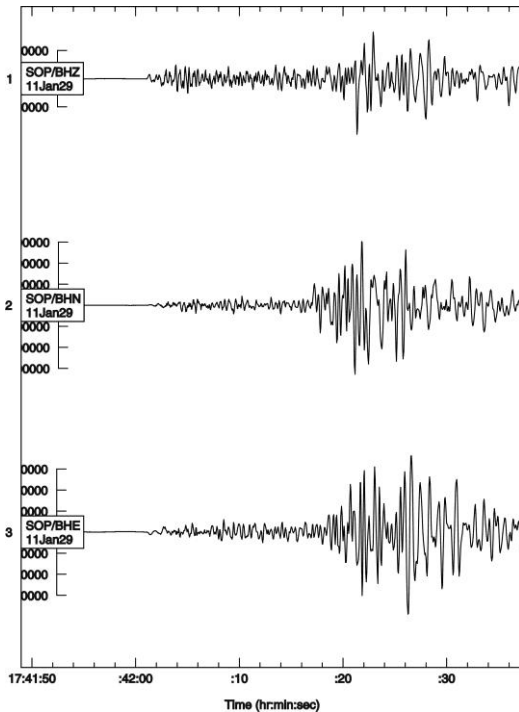
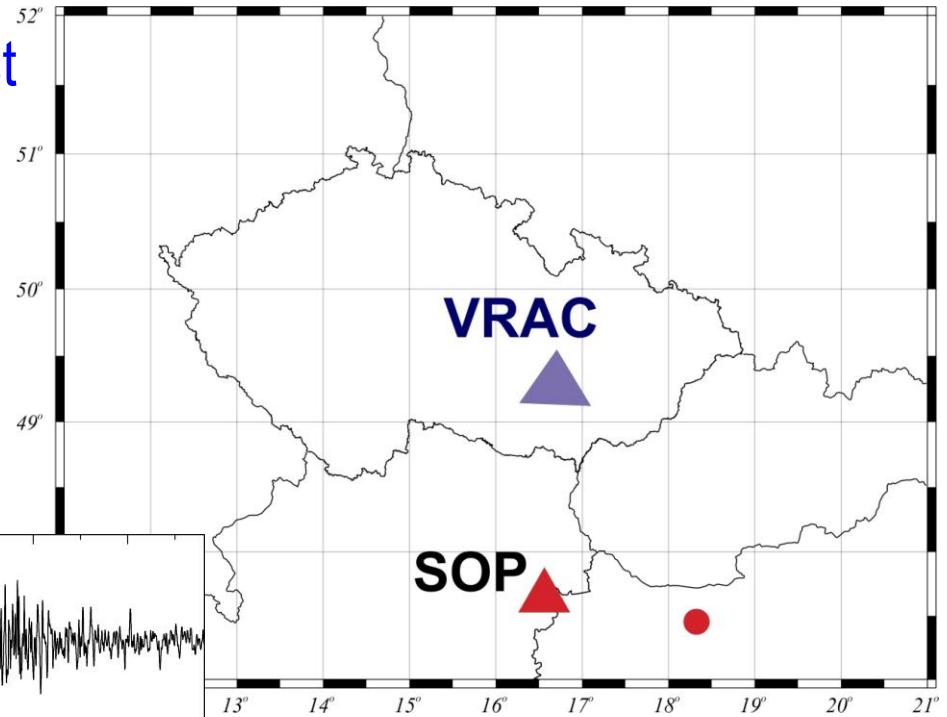
hloubka \ll epicentrální vzdálenost

Hodnota inklinace roste
s epicentrální vzdáleností



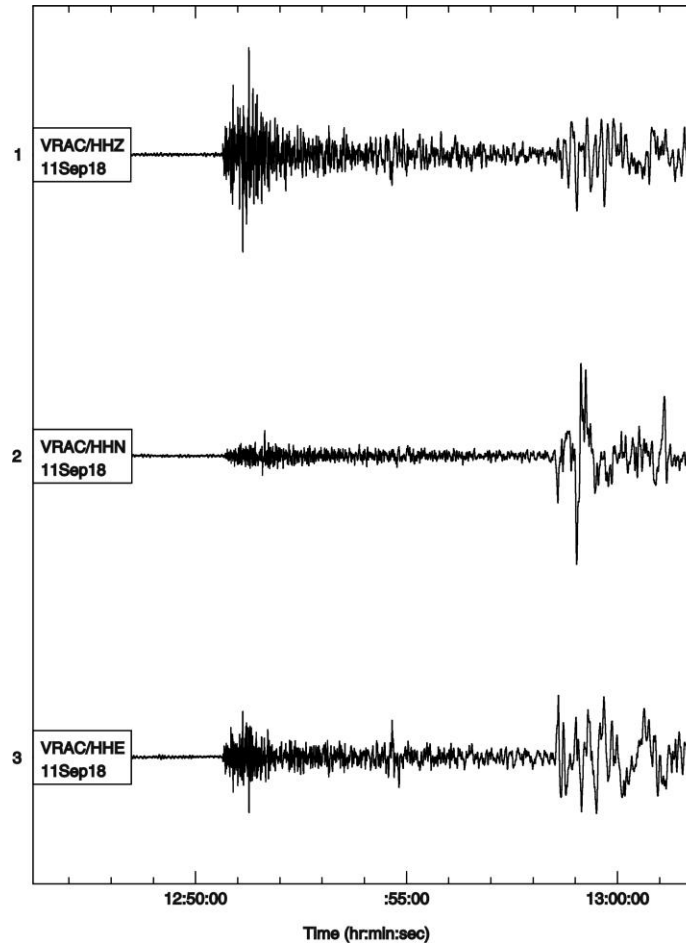
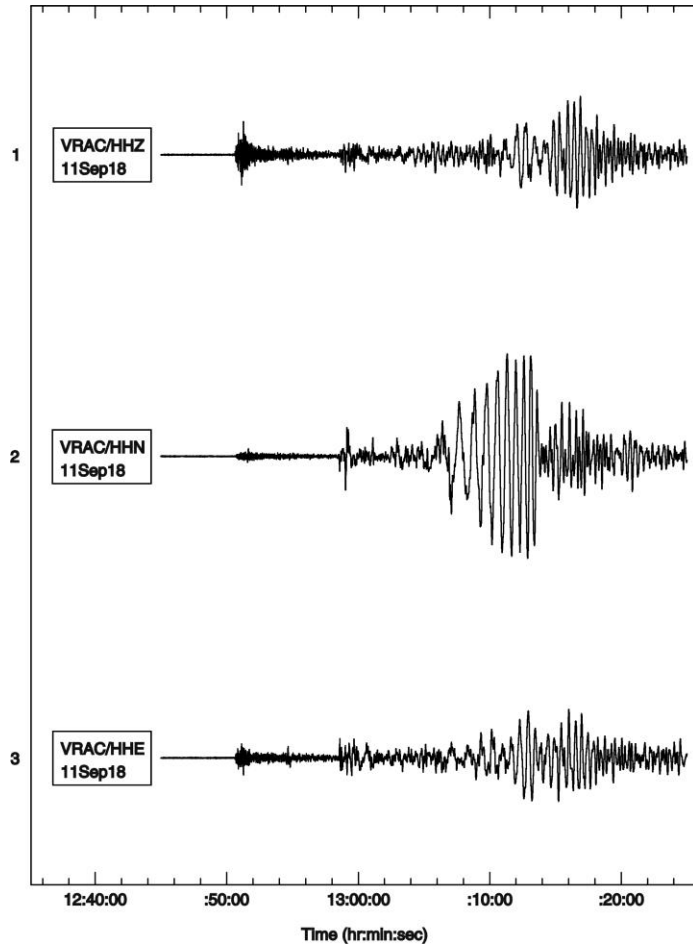
hloubka \ll epicentrální vzdálenost

Regionální jevy



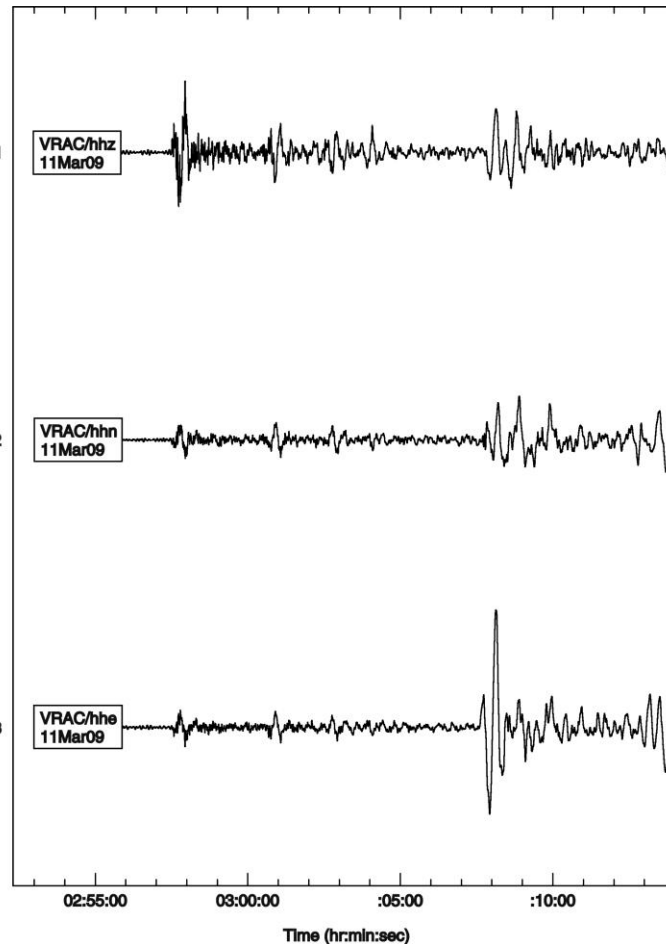
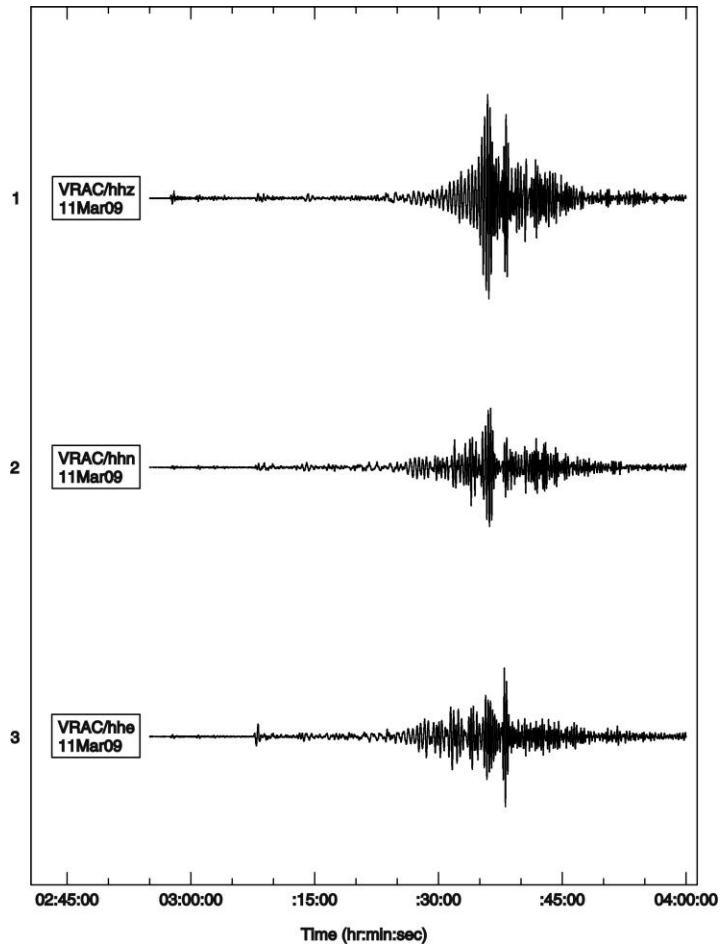
hloubka \ll epicentrální vzdálenost

Vzdálené jevy (Indie)



hloubka \ll epicentrální vzdálenost

Vzdálené jevy (Japonsko)



11:22:00 - 11:27:00

efekty povrchových jevů

Zvukové vlny
(signál přichází z atmosféry)

