

SEISMOLOGIE A SEISMOTEKTONIKA

cvičení k části 4

cvičení k části:
***4.2: Seismický paprsek ve
vrstevnatém prostředí***

Úloha číslo 7:

Zadání:

Seismický signál se šíří ze zdroje na zemském povrchu směrem dolů pod úhlem 45° (úhel od vertikály). Předpokládáme, že se šíří vrstevním prostředím, v němž rychlost směrem do hloubky roste. Rychlost signálu je v první vrstvě 3000 m/s, v každé další vrstvě je pak rychlost vždy o 500 m/s větší než ve vrstvě předešlé. Mocnost každé vrstvy je 1 km.

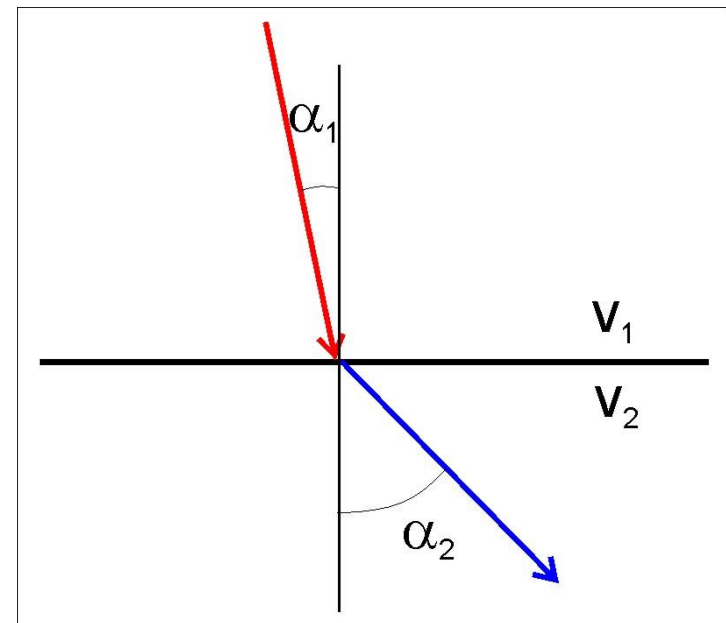
- a) V jaké hloubce je bod návratu, ve kterém dojde k totálnímu odrazu vlny?
- b) Pod jakým úhlem se odrazí?
- c) V jaké epicentrální vzdálenosti bude tento signál detekován na povrchu?

Úloha číslo 7:

Řešení:

Vlna se bude vždy při přechodu z jedné vrstvy do druhé lámat podle Snellova pravidla.

$$\frac{\sin \alpha_1}{v_1} = \frac{\sin \alpha_2}{v_2}$$



Úloha číslo 7:

Známe-li rychlosti a úhel dopadu, můžeme vypočítat úhel lomu:

$$\sin \alpha_2 = \frac{V_2}{V_1} \sin \alpha_1$$

obecně v případě lomu na rozhraní (n-1)-té a n-té vrstvy můžeme psát:

$$\sin \alpha_n = \frac{V_n}{V_{n-1}} \sin \alpha_{n-1}$$

Úloha číslo 7:

Dosadíme-li za sinus úhlu dopadu postupně vždy vztah plynoucí ze Snellova zákona, získáme geometrickou řadu:

$$\sin \alpha_n = \frac{v_n}{v_{n-1}} \cdot \frac{v_{n-1}}{v_{n-2}} \cdot \dots \cdot \frac{v_3}{v_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha_1 = \frac{v_n \cdot \prod_{m=2}^{n-1} v_m}{v_1 \cdot \prod_{m=2}^{n-1} v_m} \sin \alpha_1 = \frac{v_n}{v_1} \sin \alpha_1$$

Rychlosti všech vrstev i počáteční sinus úhlu dopadu známe ($\sin 45^\circ = 0.7071$), můžeme tedy postupně jednoduše vypočítat postupně hodnoty sinu úhlů dopadu na jednotlivá rozhraní.

Úloha číslo 7:

Rychlosti všech vrstev i počáteční sinus úhlu dopadu známe ($\sin 45^\circ = 0.7071$), můžeme tedy postupně jednoduše vypočítat postupně hodnoty sinu úhlů dopadu na jednotlivá rozhraní.

hloubka	v_{n+1}/v_n	$\sin(\alpha_{n+1})$	α_{n+1}
1	1.1667	0.8250	55.6°
2	1.1429	0.9428	70.5°
3	1.125	1.0607	nelze určit

Úloha číslo 7:

Na rozhraní v hloubce 3 km je zdánlivá hodnota sinu úhlu lomu (α_4) větší než 1. Na tomto rozhraní je tedy úhel dopadu větší, než kritický úhel, k lomu tedy nedojde, ale dojde k totálnímu odrazu.

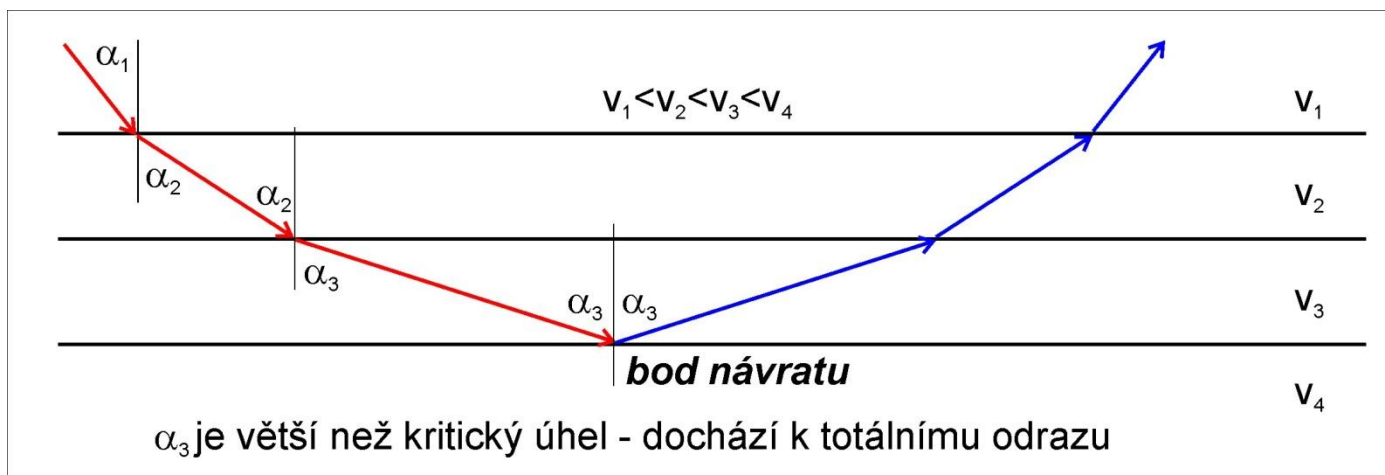
Odpověď na otázku a): Bod návratu je na rozhraní v hloubce 3 km.

hloubka	v_{n+1}/v_n	$\sin(\alpha_{n+1})$	α_{n+1}
1	1.1667	0.8250	55.6°
2	1.1429	0.9428	70.5°
3	1.125	1.0607	nelze určit

Úloha číslo 7:

Na rozhraní v hloubce 3 km je zdánlivá hodnota sinu úhlu lomu (α_4) větší než 1. Na tomto rozhraní je tedy úhel dopadu větší, než kritický úhel, k lomu tedy nedojde, ale dojde k totálnímu odrazu.

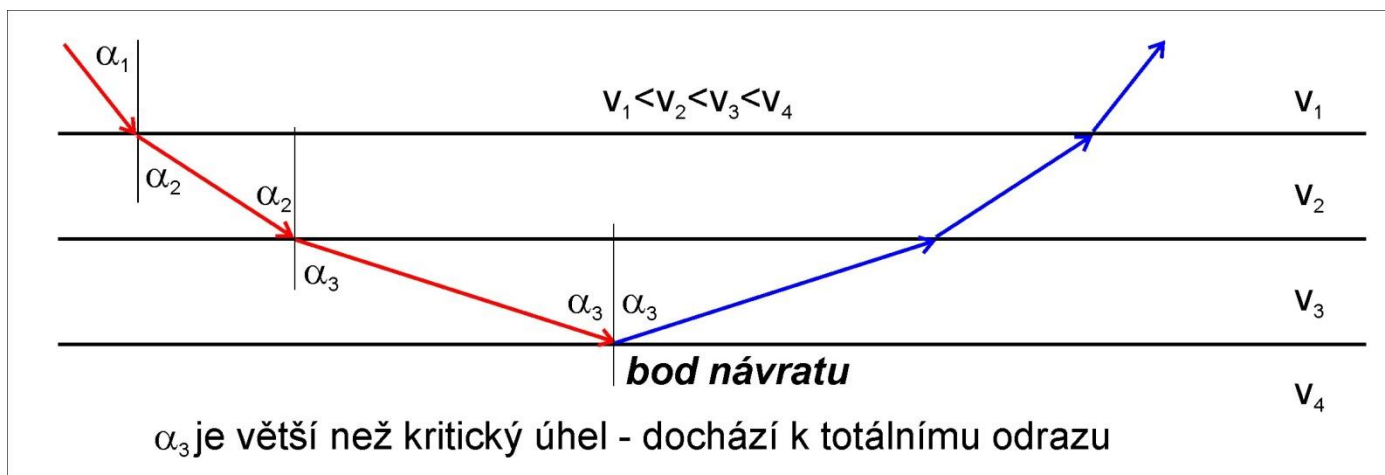
Odpověď na otázku a): Bod návratu je na rozhraní v hloubce 3 km.



Úloha číslo 7:

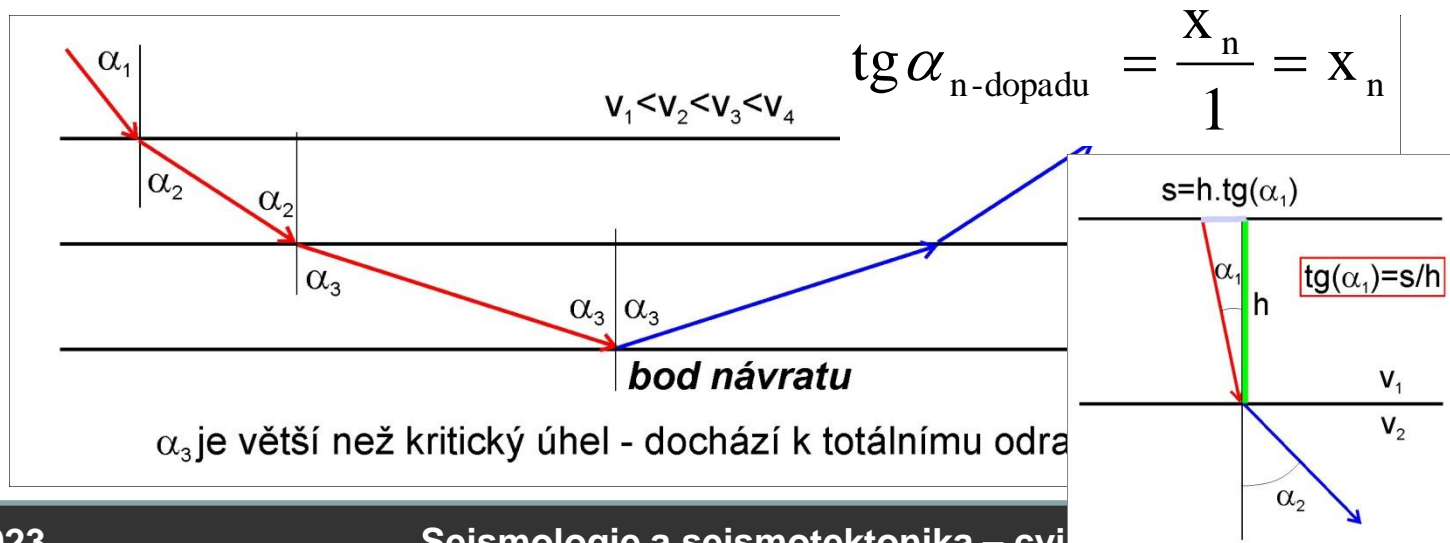
Úhel dopadu na rozhraní v hloubce 3 km je roven úhlu lomu na rozhraní v hloubce 2 km. Jeho sinus byl 0.9428. Velikost úhlu tedy je 70.5° . Úhel dopadu je roven úhlu odrazu, máme tedy vypočten úhel odrazu v bodu návratu.

Odověď' na otázku b): V bodě návratu se signál odrazil pod úhlem 70.5° .



Úloha číslo 7:

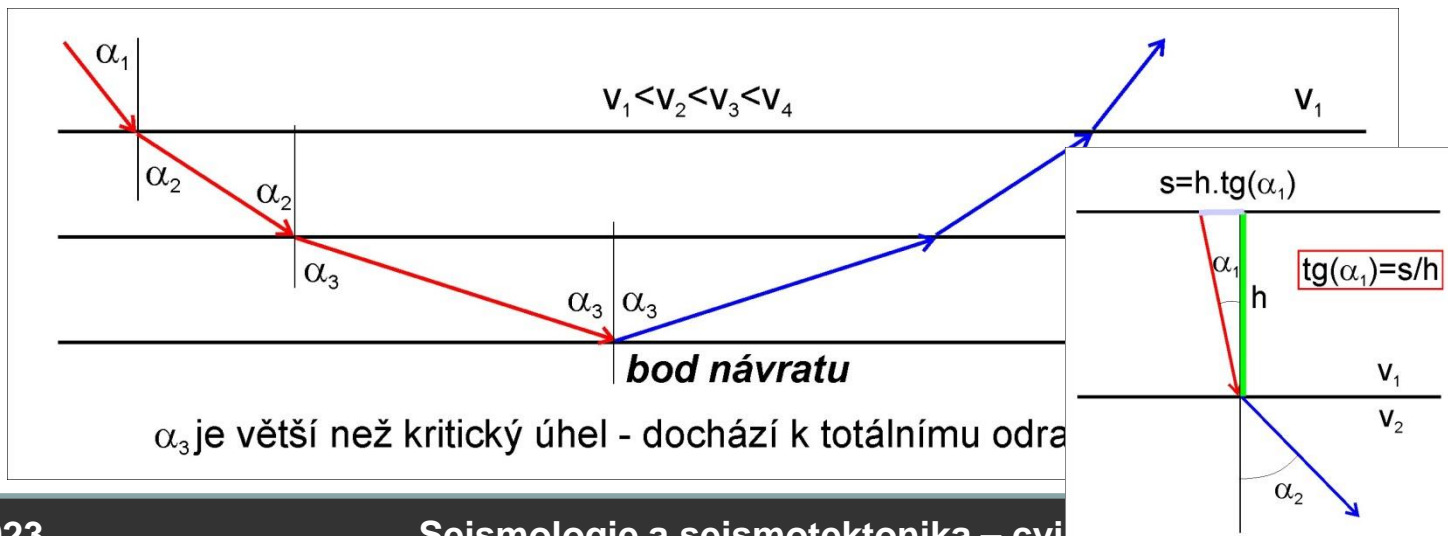
Epicentrální vzdálenost, v níž se signál dostane opět na povrch, odpovídá součtu horizontálních stran šesti pravoúhlých trojúhelníků, jejichž přepony jsou tvořeny jednotlivými úseky dráhy (lomené čáry), po níž prochází seismický paprsek. Známe úhly ve všech těchto trojúhelnících (známe úhly dopadu i úhly lomu), známe délku svislých stran (ta odpovídá mocnostem vrstev, tedy 1 km), délku vodorovné strany (označme ji jako x) si tedy můžeme vyjádřit pomocí funkce tg :



Úloha číslo 7:

Dráha paprsku je symetrická, stačí proto sečíst délky vodorovných stran prvních tří trojúhelníků a vynásobit tento součet dvěma. Úhly dopadu v prvních třech vrstvách (v prvních třech trojúhelnících) odpovídají úhlům α_1 , α_2 a α_3 . Epicentrální vzdálenost X tedy získáme ze vztahu:

$$X = 2(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_3)$$

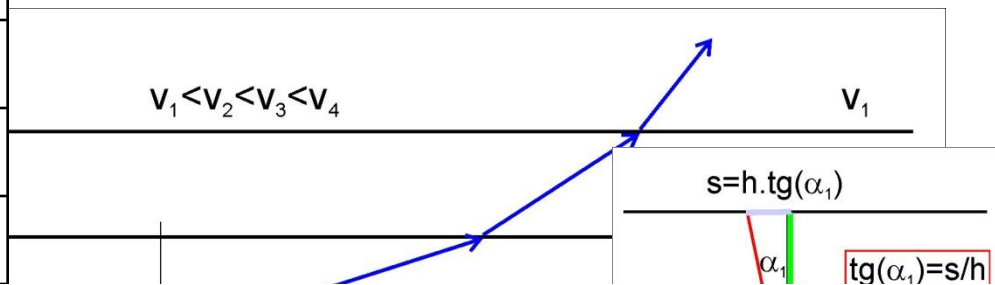


Úloha číslo 7:

Dráha paprsku je symetrická, stačí proto sečíst délky vodorovných stran prvních tří trojúhelníků a vynásobit tento součet dvěma. Úhly dopadu v prvních třech vrstvách (v prvních třech trojúhelnících) odpovídají úhlům α_1 , α_2 a α_3 . Epicentrální vzdálenost X tedy získáme ze vztahu:

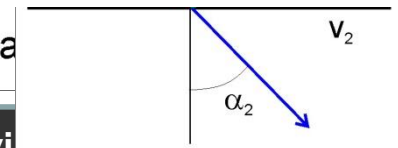
$$X = 2(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_3)$$

$\sin(\alpha_n)$	α_n	$\operatorname{tg}(\alpha_n)$
0.7071	45°	1.0000
0.8250	55.6°	1.4596
0.9428	70.5°	2.8284



$$X = 2(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_3) = 2(1 + 1.4596 + 2.8284) = 10.6 \text{ km}$$

α_3 je větší než kritický úhel - dochází k totálnímu odra



Úloha číslo 7:

Odpověď na otázku c): Na povrchu bude diskutovaný paprsek detekován v epicentrální vzdálenosti 10.6 km.

$$X = 2(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_3) = 2(1 + 1.4596 + 2.8284) = 10.6 \text{ km}$$

$\sin(\alpha_n)$	α_n	$\operatorname{tg}(\alpha_n)$
0.7071	45°	1.0000
0.8250	55.6°	1.4596
0.9428	70.5°	2.8284

cvičení k části:

***4.3: Nomenklatura objemových
seismických fází a jejich
hodochrony***

Úloha číslo 8:

Zadání:

Jaký je název seismické vlny, která se šíří zemským pláštěm od zdroje jako příčná vlna, projde vnějším jádrem, odrazí se od rozhraní vnější/vnitřní jádro, projde znovu vnějším jádrem a projde pláštěm jako příčná vlna k zemskému povrchu, kde je detekována.

Úloha číslo 8:

Řešení:

Název vlny je sestaven ze znaků popisujících její dráhu v pořadí, jak vlna procházela různými úseky.

Úloha číslo 8:

vlna se postupně:

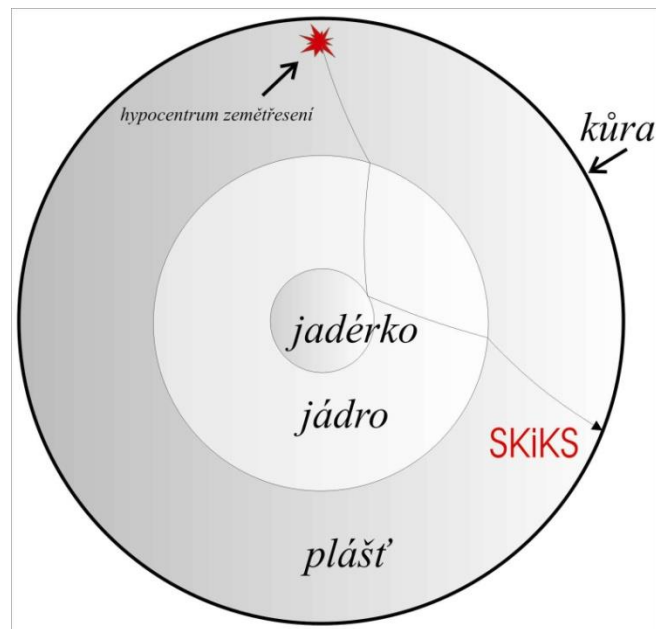
- šířila zemským pláštěm jako příčná vlna ... S
- prošla vnějším jádrem ... K
- odrazila od rozhraní vnější/vnitřní jádro ... i
- prošla vnějším jádrem ... K
- prošla pláštěm k povrchu jako příčná vlna ... S

Úloha číslo 8:

průchod vlny je tedy postupně popisován znaky:

S, K, i, K, S

Celý název je dán sekvencí těchto znaků: SKiKS



Úloha číslo 9:

Zadání:

Na stanici byl detekován seismický signál, který byl identifikován, jako vlna šířící se od známého zdroje (zemětřesení). Zemětřesení bylo mělké (hypocentrum leželo blízko povrchu). Máme-li k dispozici hodochrony základních fází (seismických vln), jaké seismické vlny byly detekovány v následujících časech?

epicentrální vzdálenost ... 65°

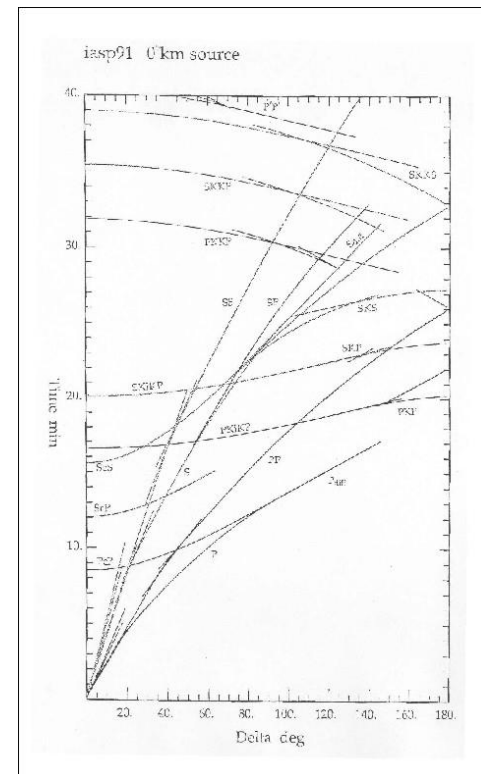
čas vzniku ... 1 hodina, 22 minut, 35 sekund světového času.

časy detekce: **1 h, 32 m 40 s, 1 h, 33 m 30 s, 1 h, 35 m 7 s a 1 h 53 m a 40 s**

Úloha číslo 9:

Řešení:

Hodochrona popisuje závislost mezi vzdáleností epicentra a časem detekce seismické vlny.



Úloha číslo 9:

detekce v 1 h, 32 m 40 s, ... doba šíření 10 m, 5 s

detekce v 1 h, 33 m 30 s, ... doba šíření 10 m, 55 s

detekce v 1 h, 35 m 7 s, ... doba šíření 12 m, 32 s

detekce v 1 h 53 m 40 s, ... doba šíření 31 m, 5 s

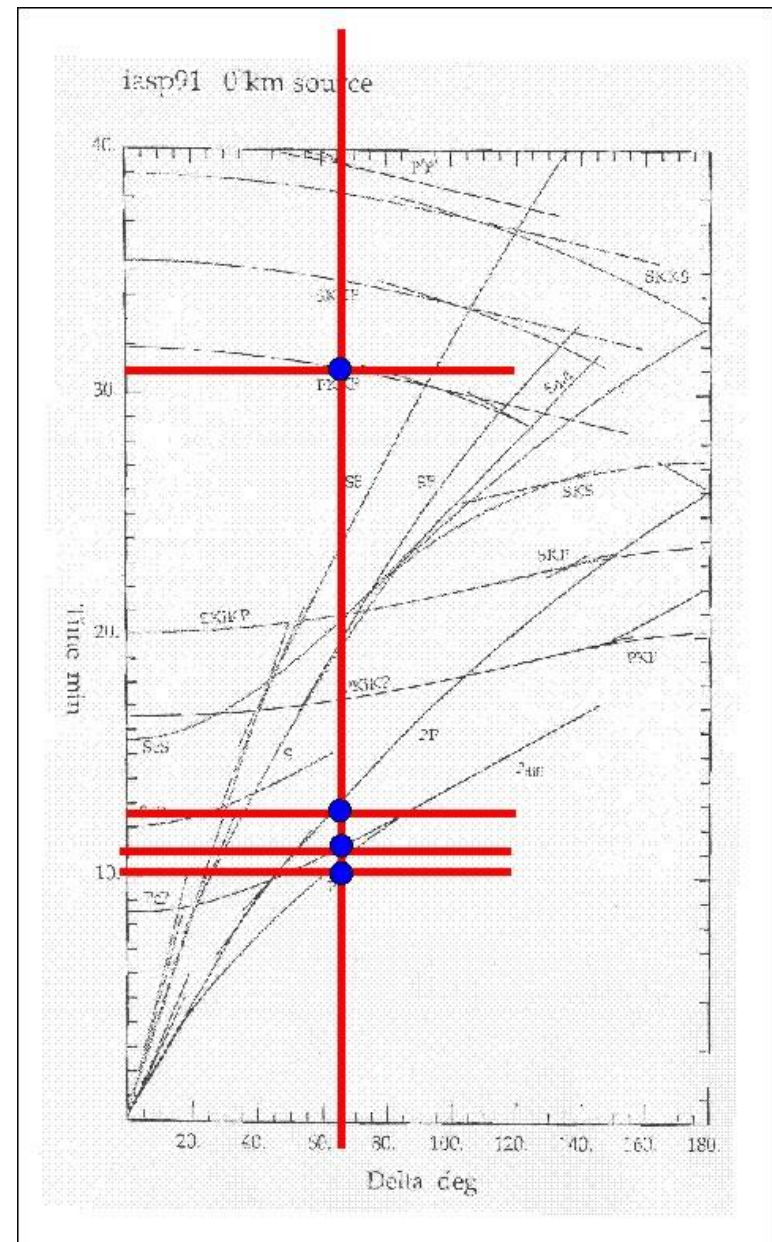
z grafu plyne, že lze odečtené fáze identifikovat následovně:

fáze ... vlna P

fáze ... vlna PcP

fáze ... vlna PP

fáze ... vlna PKKP



Úloha číslo 10:

Zadání:

Na seismologických stanicích byl detekován signál zemětřesení z Rakouska. Odečty jednotlivých seismických fází z těchto stanic a vzdálenosti stanic od epicentra jsou uvedeny v tabulce níže. Kdy by měl být teoreticky detekován signál vln Pg, Pn a Sg v areálu přírodovědecké fakulty v Brně, známe-li epicentrální vzdálenost?

doba vzniku zemětřesení byla 08 hodiny, 00 minut, 05.1 sekundy světového času.,

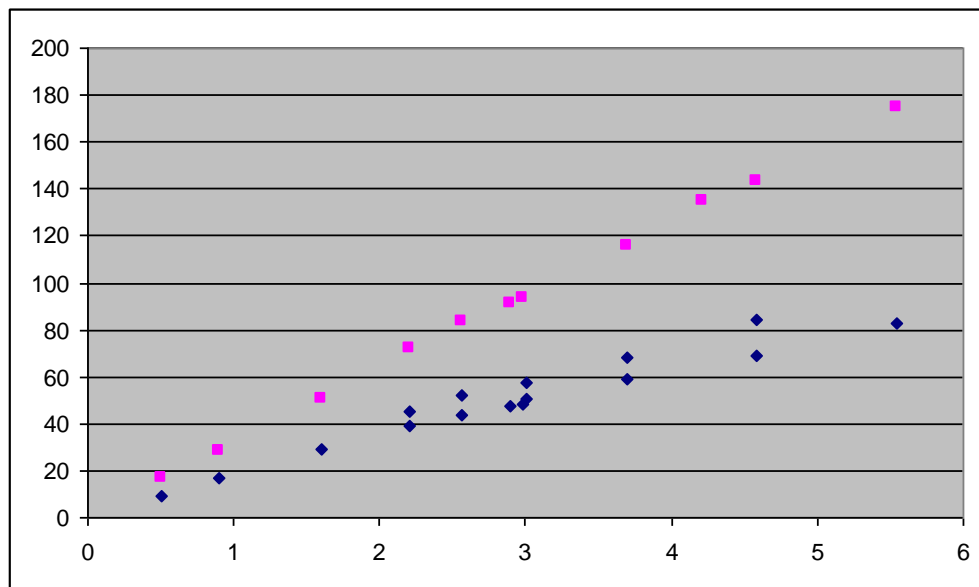
epicentrální vzdálenost od areálu fakulty je zhruba 4.8° ?

Stanice	vzdálenost	vlna	čas
DAVOX	0.51	Pg	08:00:14.6
		Sg	08:00:21.7
VDL	0.90	Pg	08:00:21.7
		Sg	08:00:33.7
STU	1.60	Pn	08:00:34.5
		Sg	08:00:55.6
HINF	2.20	Pn	08:00:44.3
		Pg	08:00:50.3
		Sg	08:01:16.9
HAU	2.56	Pn	08:00:48.8
		Pg	08:00:57.3
		Sg	08:01:29.0
MOA	2.89	Pn	08:00:52.8
		Sg	08:01:36.0
KHC	2.98	Pn	08:00:53.2
		Sg	08:01:38.4
LPL	3.00	Pn	08:00:55.3
ARSA	3.70	Pn	08:01:04.0
		Pg	08:01:13.1
		Sg	08:02:00.9
LOR	4.21	Sg	08:02:20.2
KRUC	4.58	Pn	08:01:14.9
		Pg	08:01:29.5
		Sg	08:02:28.7
MORC	5.55	Pn	08:01:28.0
		Sg	08:02:59.8

Úloha číslo 10:

Řešení:

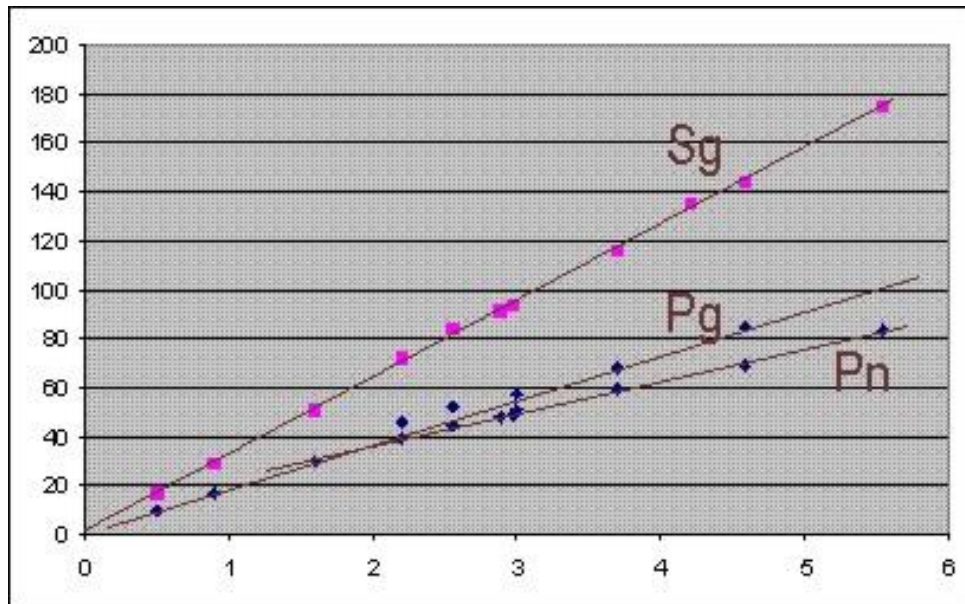
Vyneseme do grafu hodnoty epicentrální vzdálenosti a časů odečtů a sestrojíme tak hodochrony:



Stanice	vzdálenost	vlna	čas
DAVOX	0.51	Pg	08:00:14.6
		Sg	08:00:21.7
VDL	0.90	Pg	08:00:21.7
		Sg	08:00:33.7
STU	1.60	Pn	08:00:34.5
		Sg	08:00:55.6
HINF	2.20	Pn	08:00:44.3
		Pg	08:00:50.3
		Sg	08:01:16.9
HAU	2.56	Pn	08:00:48.8
		Pg	08:00:57.3
		Sg	08:01:29.0
MOA	2.89	Pn	08:00:52.8
		Sg	08:01:36.0
KHC	2.98	Pn	08:00:53.2
		Sg	08:01:38.4
LPL	3.00	Pn	08:00:55.3
ARSA	3.70	Pn	08:01:04.0
		Pg	08:01:13.1
		Sg	08:02:00.9
LOR	4.21	Sg	08:02:20.2
KRUC	4.58	Pn	08:01:14.9
		Pg	08:01:29.5
		Sg	08:02:28.7
MORC	5.55	Pn	08:01:28.0
		Sg	08:02:59.8

Úloha číslo 10:

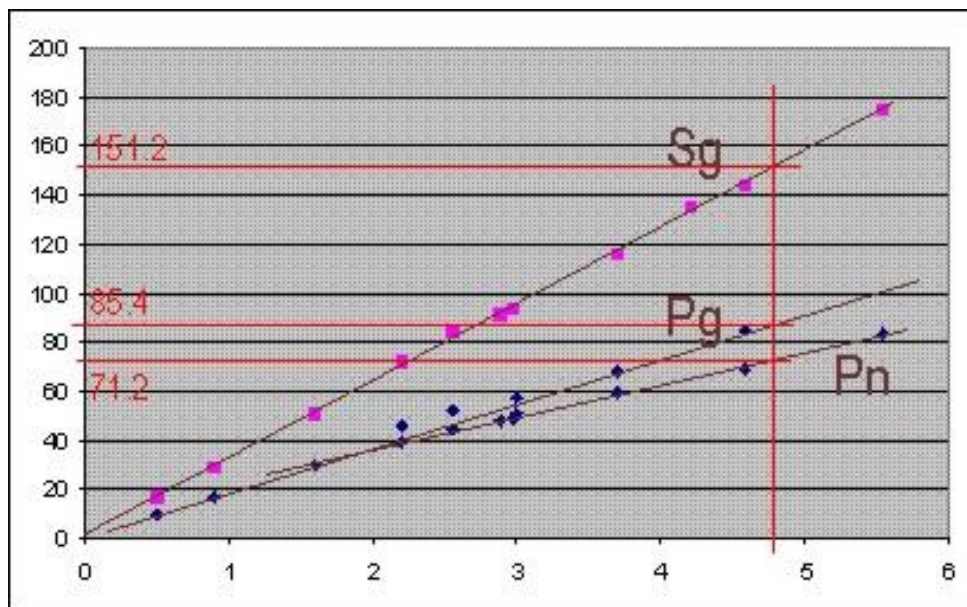
Odečtenými daty proložíme křivky (pro jednoduchost předpokládejme, že jde o téměř lineární závislost):



Stanice	vzdálenost	vlna	čas
DAVOX	0.51	Pg	08:00:14.6
		Sg	08:00:21.7
VDL	0.90	Pg	08:00:21.7
		Sg	08:00:33.7
STU	1.60	Pn	08:00:34.5
		Sg	08:00:55.6
HINF	2.20	Pn	08:00:44.3
		Pg	08:00:50.3
		Sg	08:01:16.9
HAU	2.56	Pn	08:00:48.8
		Pg	08:00:57.3
		Sg	08:01:29.0
MOA	2.89	Pn	08:00:52.8
		Sg	08:01:36.0
KHC	2.98	Pn	08:00:53.2
		Sg	08:01:38.4
LPL	3.00	Pn	08:00:55.3
ARSA	3.70	Pn	08:01:04.0
		Pg	08:01:13.1
		Sg	08:02:00.9
LOR	4.21	Sg	08:02:20.2
KRUC	4.58	Pn	08:01:14.9
		Pg	08:01:29.5
		Sg	08:02:28.7
MORC	5.55	Pn	08:01:28.0
		Sg	08:02:59.8

Úloha číslo 10:

Na křivkách odečtěme hodnoty na časové ose pro vzdálenost 4.8° :



Stanice	vzdálenost	vlna	čas
DAVOX	0.51	Pg	08:00:14.6
		Sg	08:00:21.7
VDL	0.90	Pg	08:00:21.7
		Sg	08:00:33.7
STU	1.60	Pn	08:00:34.5
		Sg	08:00:55.6
HINF	2.20	Pn	08:00:44.3
		Pg	08:00:50.3
		Sg	08:01:16.9
HAU	2.56	Pn	08:00:48.8
		Pg	08:00:57.3
		Sg	08:01:29.0
MOA	2.89	Pn	08:00:52.8
		Sg	08:01:36.0
KHC	2.98	Pn	08:00:53.2
		Sg	08:01:38.4
LPL	3.00	Pn	08:00:55.3
ARSA	3.70	Pn	08:01:04.0
		Pg	08:01:13.1
		Sg	08:02:00.9
LOR	4.21	Sg	08:02:20.2
KRUC	4.58	Pn	08:01:14.9
		Pg	08:01:29.5
		Sg	08:02:28.7
MORC	5.55	Pn	08:01:28.0
		Sg	08:02:59.8

Úloha číslo 10:

Vlny by tedy teoreticky měly být detekovány v časech:

Pn ... čas vzniku (08:00:05.1) + 71.2 sekundy

Pg ... čas vzniku (08:00:05.1) + 85.4 sekundy

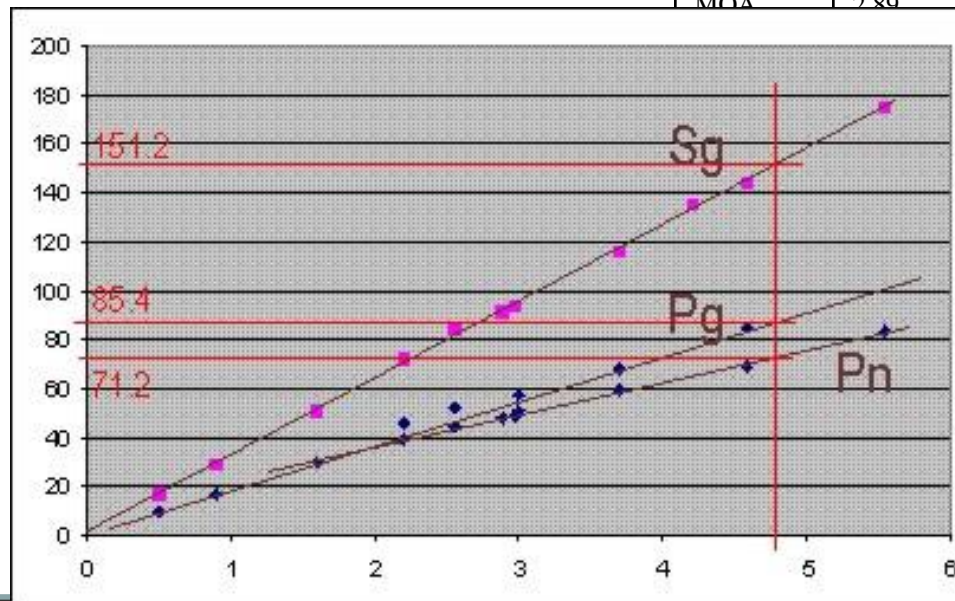
Sg ... čas vzniku (08:00:05.1) + 151.2 sekundy

Tedy:

Pn ... 08:01:16.3

Pg ... 08:01:30.5

Sg ... 08:02:36.3



Stanice	vzdálenost	vlna	čas
DAVOX	0.51	Pg	08:00:14.6
		Sg	08:00:21.7
VDL	0.90	Pg	08:00:21.7
		Sg	08:00:33.7
STU	1.60	Pn	08:00:34.5
		Sg	08:00:55.6
HINF	2.20	Pn	08:00:44.3
		Pg	08:00:50.3
		Sg	08:01:16.9
HAU	2.56	Pn	08:00:48.8
		Pg	08:00:57.3
		Sg	08:01:29.0
MOA	2.89	Pn	08:00:52.8
		Sg	08:01:36.0
		Pn	08:00:53.2
		Sg	08:01:38.4
		Pn	08:00:55.3
		Pn	08:01:04.0
		Pg	08:01:13.1
		Sg	08:02:00.9
		Sg	08:02:20.2
		Pn	08:01:14.9
		Pg	08:01:29.5
		Sg	08:02:28.7
MORC	5.55	Pn	08:01:28.0
		Sg	08:02:59.8