

SEISMICKÉ METODY

SEISMIKA (SEISMIC SURVEYING, APPLIED SEISMOLOGY)

Sledují se *uměle vyvolané* seismické vlny.

Po průchodu svrchními částmi zemského tělesa se tyto vlny vracejí k povrchu a nesou informaci o prostředí, kterým prošly.

Zkoumají se zpravidla svrchní části zemské kůry, **hloubky od jednotek metrů do jednotek kilometrů**. Ve speciálních aplikacích celá zemská kůra, výjimečně svrchní části pláště.

SEISMOLOGIE (EARTHQUAKE SEISMOLOGY)

Sleduje *přirozené seismické vlny* vznikající při zemětřeseních, které většinou procházejí celým zemským tělesem.

Zkoumání stavby Země, výzkum zemětřesení.

Speciální metody k **monitorování jaderných výbuchů** – odlišení od zemětřesení a velkých odpalů v lomech.

FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY SEISMICKÉHO PRŮZKUMU

FYZIKÁLNÍ VELIČINY

rychlost šíření seism. vln	v	metr za sekundu (m/s)
vlnová délka	λ	metr (m)
frekvence	f	hertz (Hz)
kruhová frekvence	ω	hertz (Hz)
	$\omega = 2\pi f$	
perioda	T	sekunda (s)
čas příchodu	t	sekunda (s)

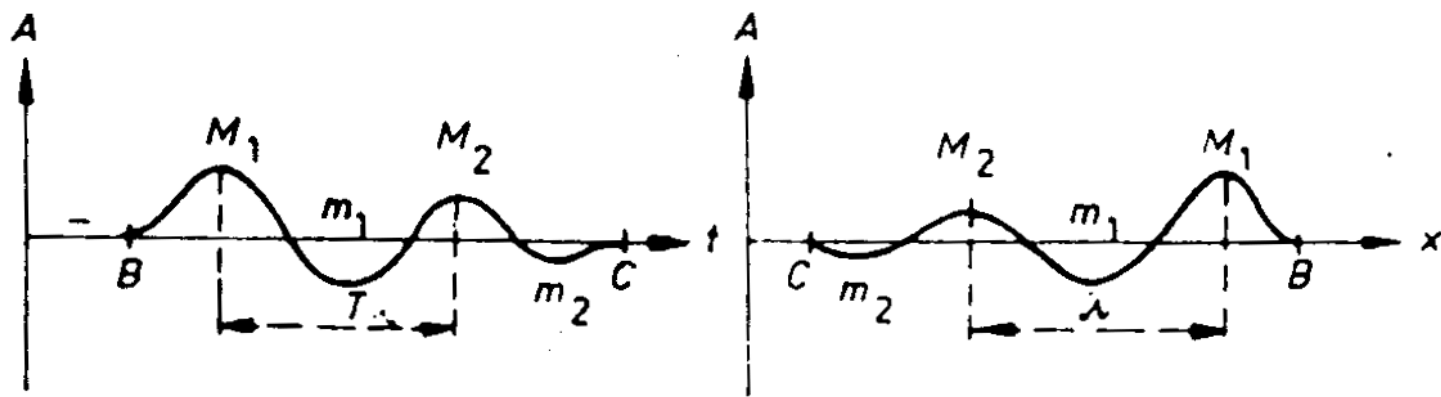
$$\lambda = v \cdot T = v / f$$

Dva typy seismických vln:

- **podélné** (v seism.průzkumu se téměř výhradně využívají vlny podélné)
- **příčné** (speciální aplikace)

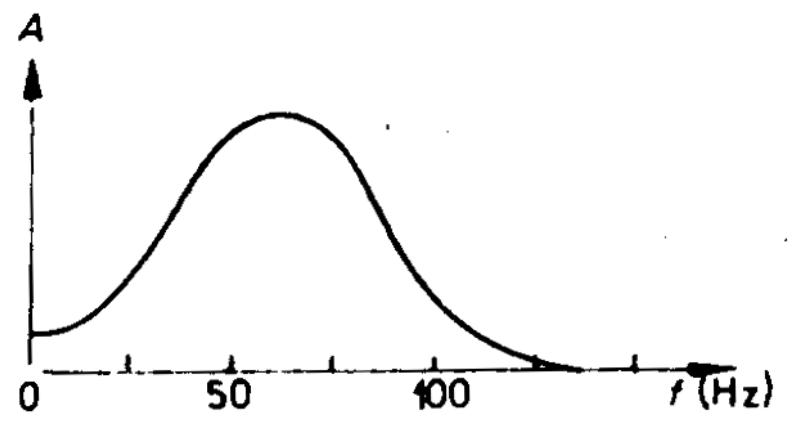
ZÁKLADNÍ POJMY

- charakter vlnění - IMPULS
- **zápis** seismické vlny (amplituda v závislosti na čase)
- **profil** seismické vlny (amplituda v závislosti na vzdálenosti)
- **hodochrona** seismické vlny (**čas příchodu v závislosti na vzdálenosti**)
- amplituda
- spektrum



a)

b)



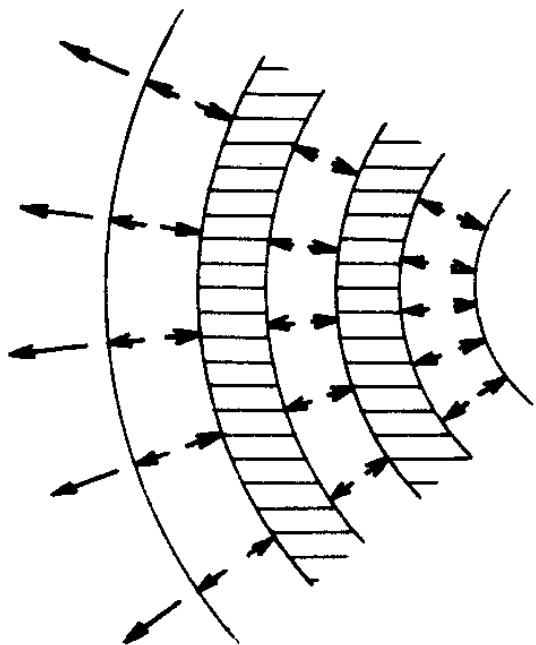
c)

Základní charakteristiky seismické vlny

a) zápis seismické vlny (A — amplituda), b) profil seismické vlny,

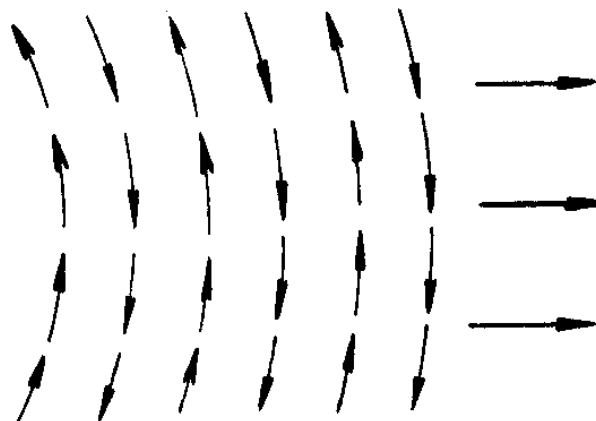
c) spektrum seismické vlny

Šíření podélných a příčných vln elastickým prostředím



Obr. 301. Šíření podélné vlny elastickým prostředím (zóny zhuštění vyznačeny šrafovaně)

polarizace S-vln



Obr. 302. Šíření příčné vlny elastickým prostředím

Vlny P (longitudinální) a S (transverzální)

$$v_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$v_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

$$v_P \geq v_S \cdot \sqrt{2}$$

určení Poissonovy konstanty z měření rychlostí

RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ PODÉLNÝCH SEISMICKÝCH VLN V HORNINÁCH

Hornina nebo prostředí	Rychlost v_p (m s^{-1})
vzduch	310 až 360
rozvětralá půdní vrstva, štěrk, suchý písek	150 až 600
suchá jílovitá půda	300 až 900
vlhký písek	600 až 1 300
voda	1 430 až 1 590
pískovec, jílovec	1 500 až 4 500
vápenec, dolomit	2 600 až 6 500
anhydrit, kamenná sůl	4 500 až 6 000
metamorfované horniny	4 000 až 6 600
žula	4 000 až 6 000
gabro	6 000 až 6 500
peridotit	6 500 až 7 000

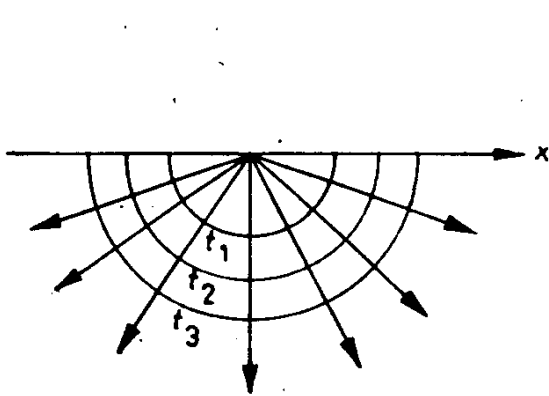
Vztah rychlost – hustota (anomální sůl)

ŠÍŘENÍ SEISMICKÝCH VLN

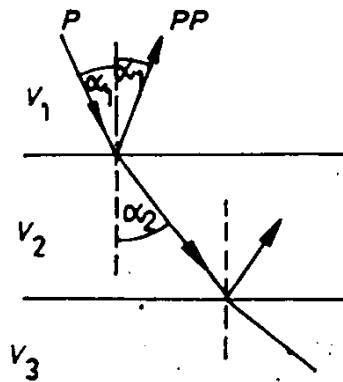
TEORIE - dokonale pružné prostředí

- a) Homogenní poloprostor
- b) Horizontálně zvrstvené prostředí
- c) Gradientové prostředí

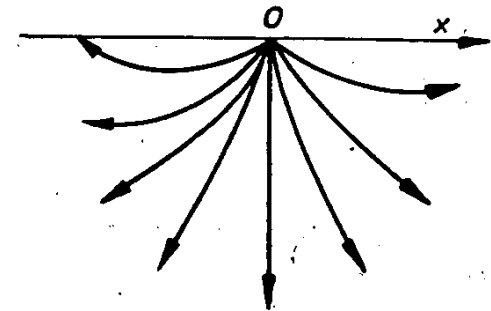
Izochrona, paprsek
Paprskový diagram



a)



b)



c)

PRINCIPY ŠÍŘENÍ: - HUYGHENSŮV
- FERMATŮV
- SUPERPOZICE

HODOCHRONA $t(x)$: závislost času příchodu sledované seismické vlny na prostorové souřadnici

Profilová hodochrona – měření podél profilu
podélná – zdroj leží na profilu
nepodélná – zdroj leží mimo profil

Zdánlivá rychlost

$$v_{zD} = \Delta x / \Delta t = v / \sin \alpha$$

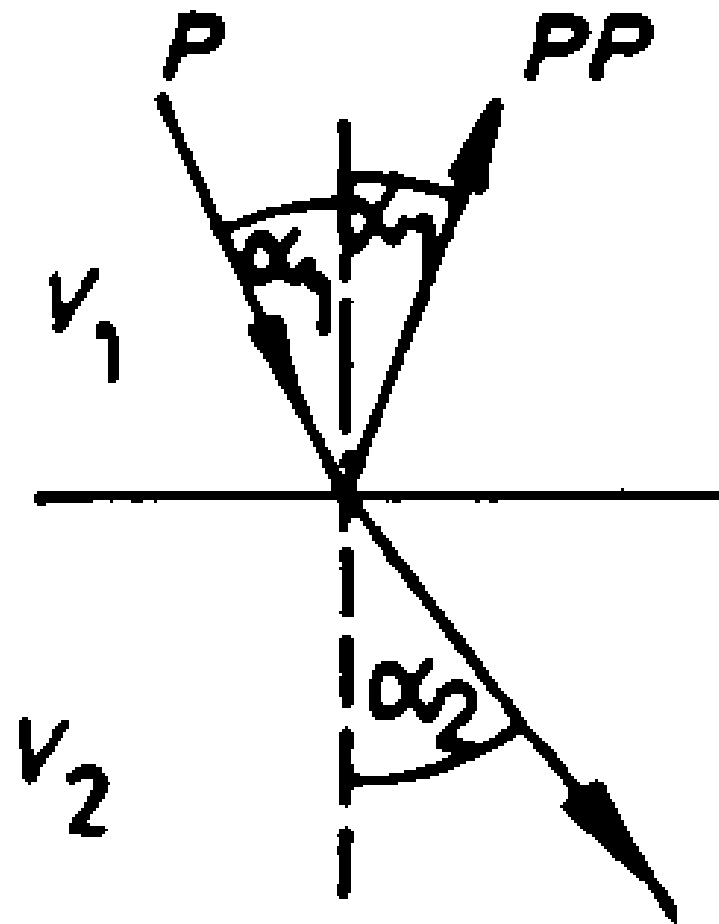


v reálném prostředí dochází ke ztrátám energie:

amplituda $A(x) = A_0 \cdot e^{-\beta x}$

β ... koeficient absorpce

VRSTEVNATÉ PROSTŘEDÍ: ODRAZ a LOM



Snellův zákon, koeficient odrazu

SNELLŮV ZÁKON

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

vlastnosti rozhraní - koeficient odrazu

$$A_{pp} = \frac{a_{pp}}{a_p} = \frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \quad (\text{normálový dopad})$$

ρ ... hustota (kg/m^3)

$\rho \cdot v$...

$\rho \dots$ hustota
... KAPKOVÝ ODPOR
(IMPEDANCE)

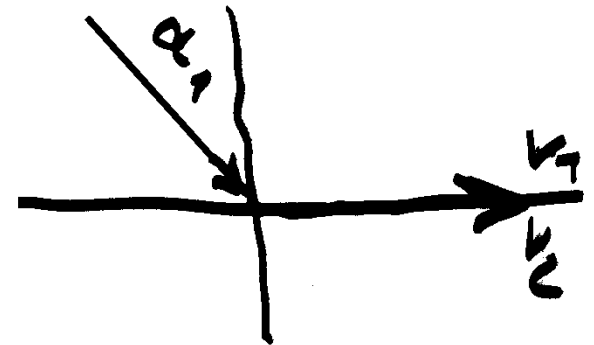
1) Metoda odražených vln

2) Metoda lomených vln:

LOMENÁ (ČELNÁ) VLNA vznikne, jestliže

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

Pak $\alpha_1 = i$... **kritický úhel**

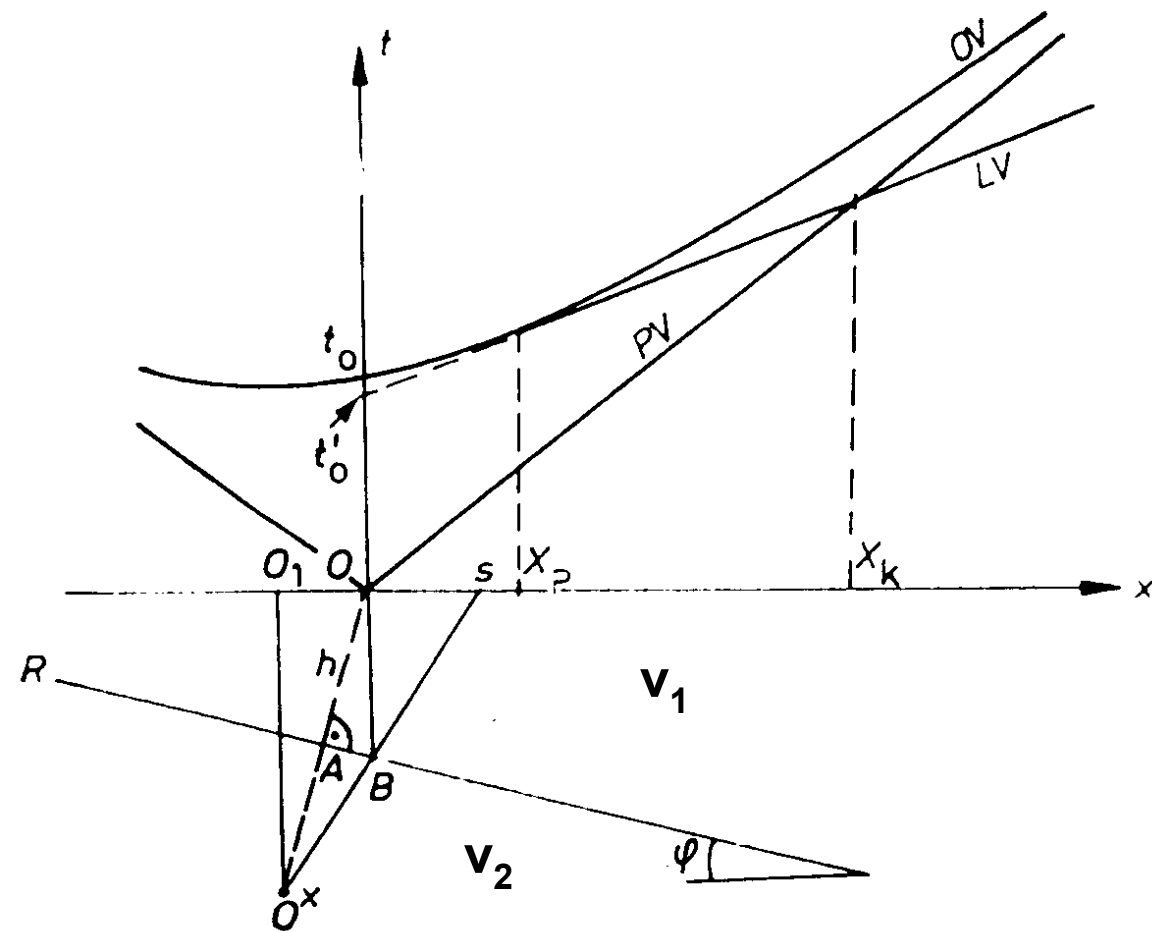


Další typy vln:

vlna **přímá**

vlna **difragovaná**

vlny **povrchové**



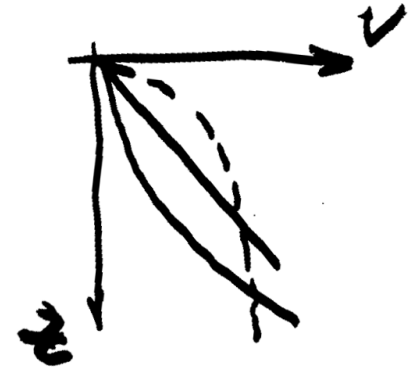
Obr. 61. Hodochrony přímé, odražené a lomené vlny
 O^x — zdánlivý bod výbuchu,
 X_p — počáteční bod lomené vlny, X_k — průsečík hodochron vlny lomené a přímé;
 PV — přímá vlna,
 OV — odražená vlna,
 LV — lomená vlna

přímá vlna $t = x / v_1$

GRADIENTOVÉ PROSTŘEDÍ

$$V(z) = V_0 (1 + \beta \cdot z)^{1/n}$$

n ... celí číslo



β ... rychlostní gradient ($1/m$) (m^{-1})
 10^{-4} až $10^{-3} m^{-1}$ u sedimentů
 10^{-2} až $10^{-1} m^{-1}$ ve zvětralé vrstvě

GEOLOGICKÉ ZÁKLADY SEISMICKÉHO PRŮZKUMU

Seismické rozhraní, rozložení rychlostí

Odražené vlny:

$$\rho_1 V_1 \neq \rho_2 V_2$$

Lomené vlny:

$$V_2 > V_1$$

Sledovatelnost seism. rozhraní určují SEISMOGEOLOGICKÉ

PODMÍNKY: - hlubinné
- povrchové

VRSTVA MALÝCH RYCHLOSTÍ (VMR)

vlny užitečné x rušivé
poměr signál / šum

TERÉNNÍ MĚŘENÍ

- systém měření (geometrie uspořádání)
- parametrické měření

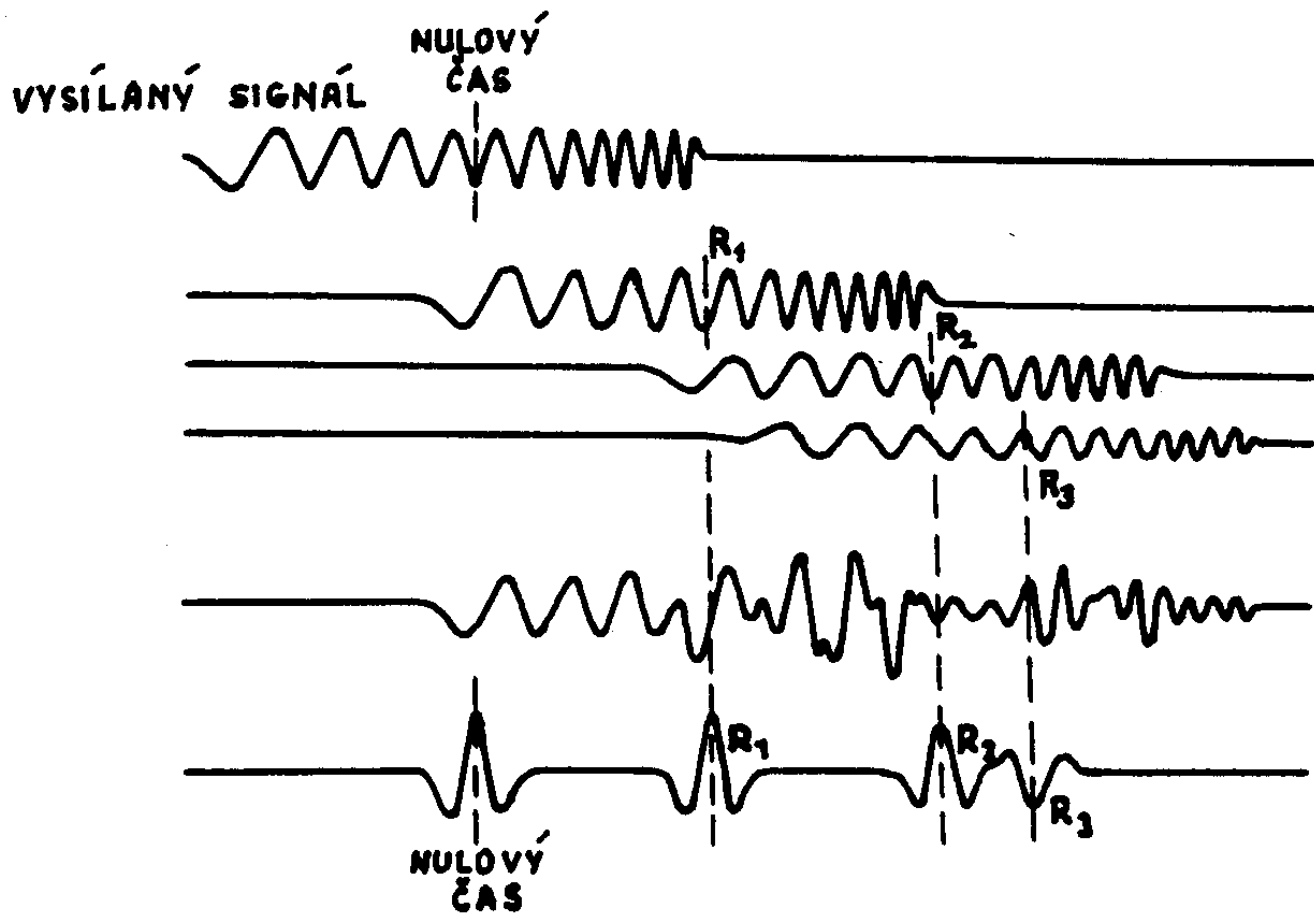
Zdroje seismické energie:

- odpal trhaviny (zpravidla ve vrtu)
- vibrátory
- kladivo, závaží, střela (mělká seismika)

Seskupování zdrojů vlnění:

- současné
- postupná sumace





Obr. 67. Princip vyhodnocení vibračního záznamu
 1.řádek - vysílaný signál; 2.,3.,4.řádek - jednotlivé odrazy;
 5.řádek - výsledný vibrační záznam; 6.řádek - úsek stopy korelogra-
 mu po provedení korelace

REGISTRACE SEISM. SIGNÁLU

Seismické aparatury

SEISMICKÝ KANÁL

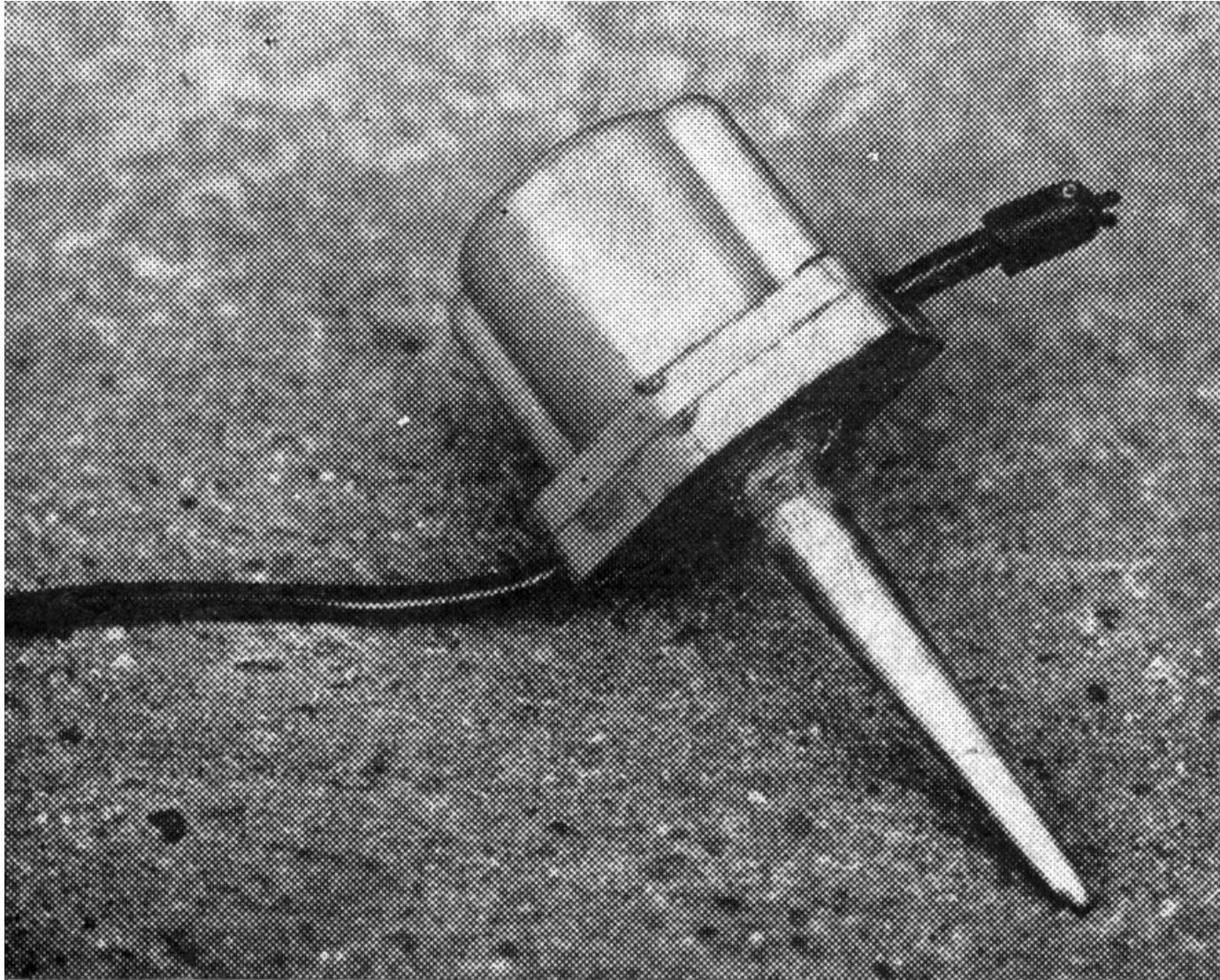
GEOFON – snímač na principu elektromagnetické indukce

Seskupování geofonů – potlačení rušivých povrchových vln

$$\Delta x = v \cdot (T / 2)$$



Zápis – seismická stopa (trasa)



METODA ODRAŽENÝCH VLN

HODOCHRONA - hyperbola

$$t = \frac{1}{v} (4h^2 + x^2 \pm 4hx \sin \varphi)^{1/2}, t_0 = \frac{2h}{v}$$

φ ... sklon rozhraní (+ pro klesající ve směru rostoucího x)

Střední rychlost:

$$v_{\text{str}} = \frac{v_1 \sin \alpha_1}{v_2 \sin \alpha_2}$$

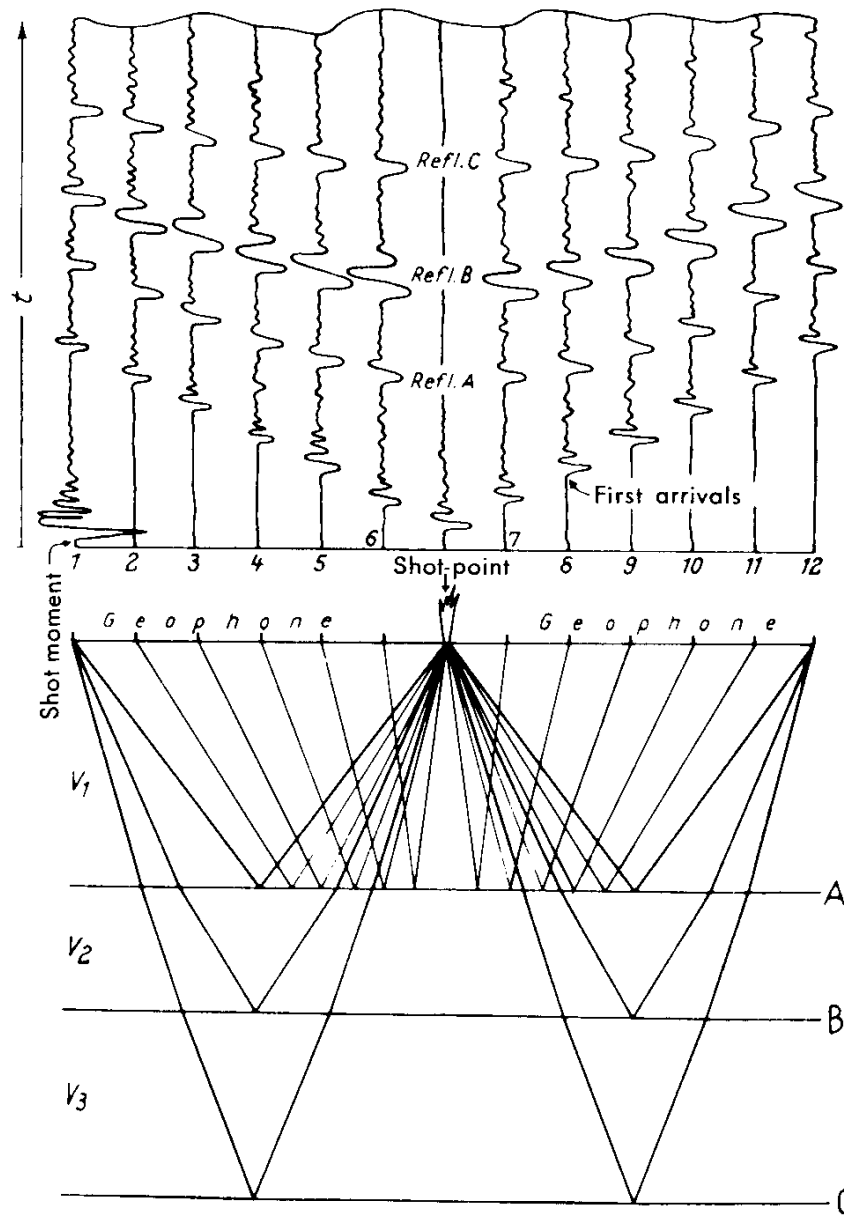
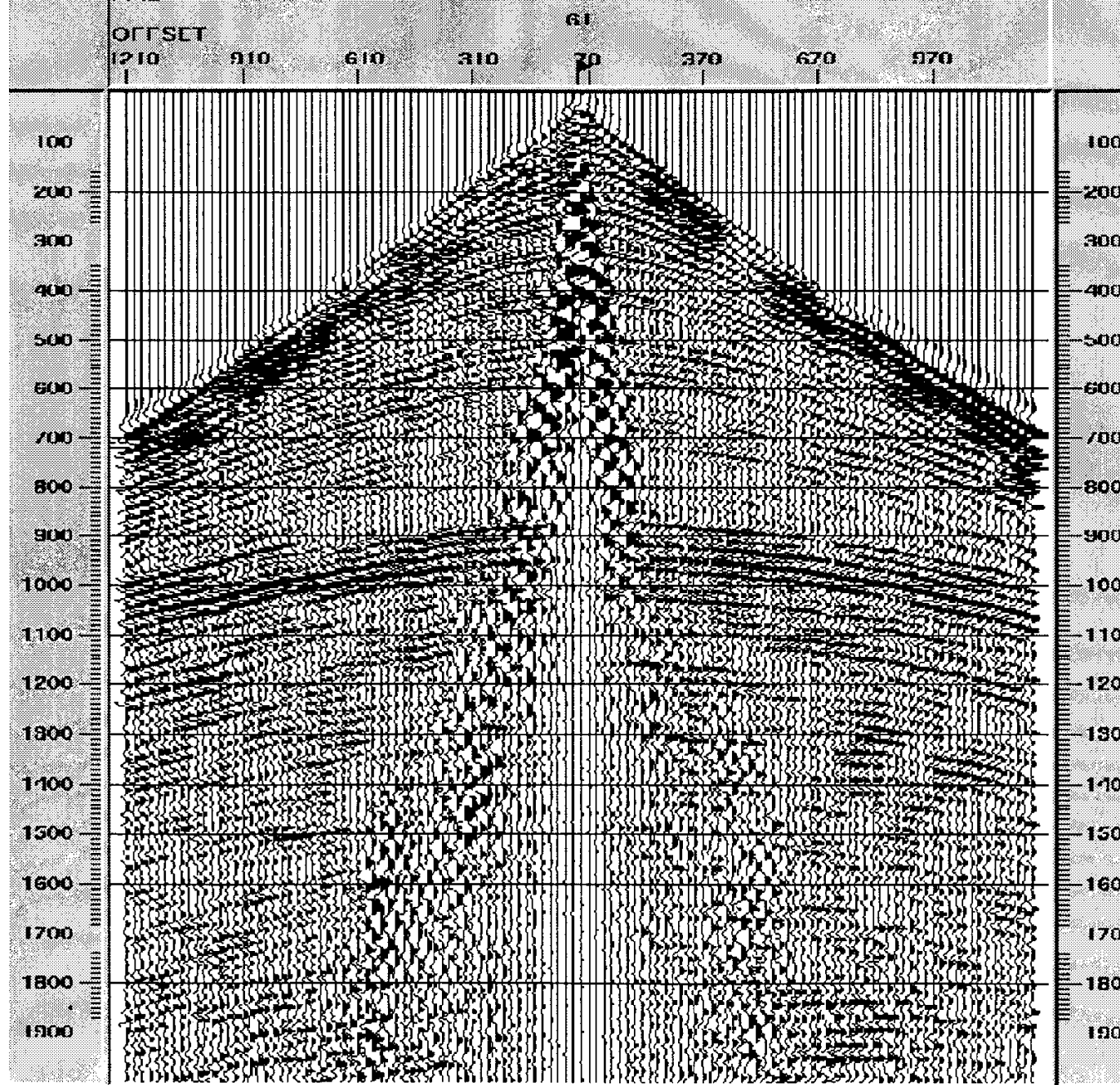


Figure 2.35. Schematic diagram showing the production of a reflection seismogram. The 12-track record shows the time sequence of the reflected pulses from reflecting horizons. *A*, *B*, and *C*. (After Bentz, 1961.)



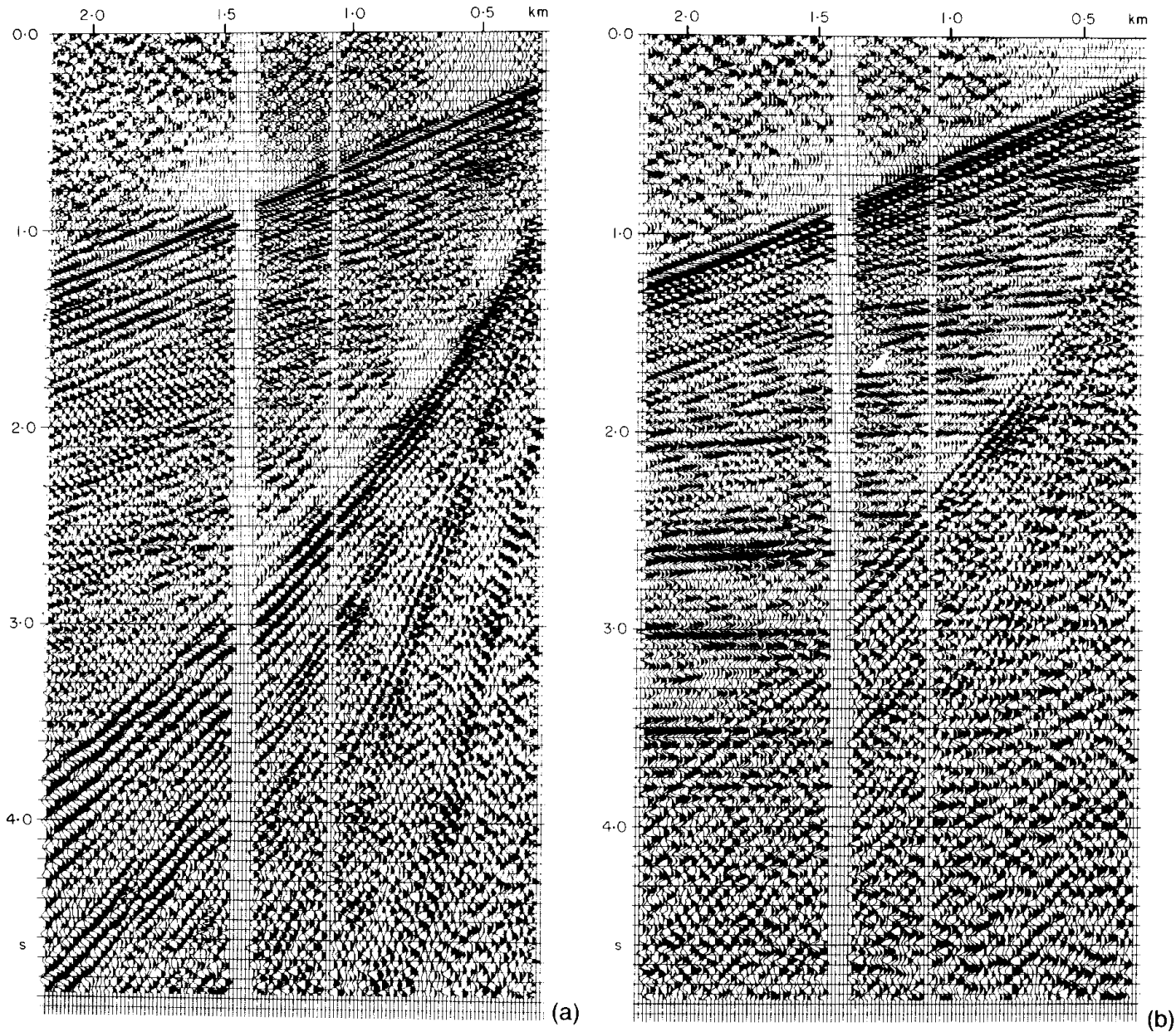


Fig. 4.14 Noise test to determine the appropriate detector array for a seismic reflection survey. (a) Draped seismic record obtained with a noise spread composed of clustered (or 'bunched') geophones. (b) Seismic record obtained over the same ground with a spread composed of 140-m-long geophone arrays. (From Waters 1978.)

METODA ODRAŽENÝCH VLN

STATICKÉ KOREKCE – měření vztaženo ke
srovnávací hladině

- oprava na VMR
- oprava na reliéf
- oprava na hloubku zdroje

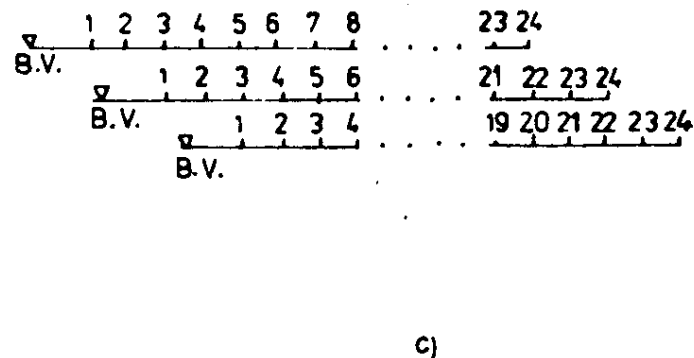
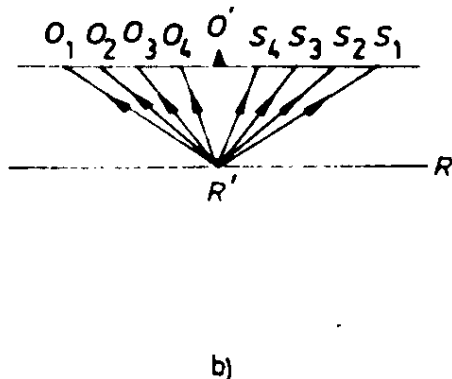
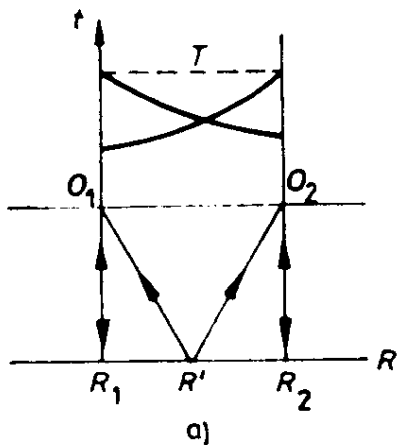
KINEMATICKÁ KOREKCE ΔT (čas t_0 pro $x/2$)

$$T(x) - \Delta T = t_0 = x^2 / (v^2 \cdot t)$$

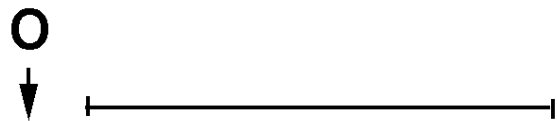
SYSTÉMY MĚŘENÍ:

- dvojice vstříčných hodochron
- metoda **společného reflexního bodu** (SRB, CDP, CMP)
středové uspořádání, koncové uspořádání

SYSTEMY MĚŘENÍ V METODĚ ODRAŽENÝCH VLN



a) systém spojitého sledování v metodě odražených vln pomocí dvojice vstřícných hodochron (T — čas vzájemnosti), b) princip metody SRB, c) systém měření v metodě SRB, měřený úsek je postupně posunován o dvě skupiny geofonů, šestinásobné překrytí



uspořádání koncové



uspořádání středové

METODA LOMENÝCH VLN

Využívá se ČELNÁ VLNA
HODOCHRONA - přímka

$$\sin i = \frac{v_1}{v_2}$$

$v_2 > v_1$

$$t = \frac{x}{v_1} \sin(i \pm \varphi) + \frac{2h}{v_1} \cos i$$

$$\sin i = v_1/v_2$$

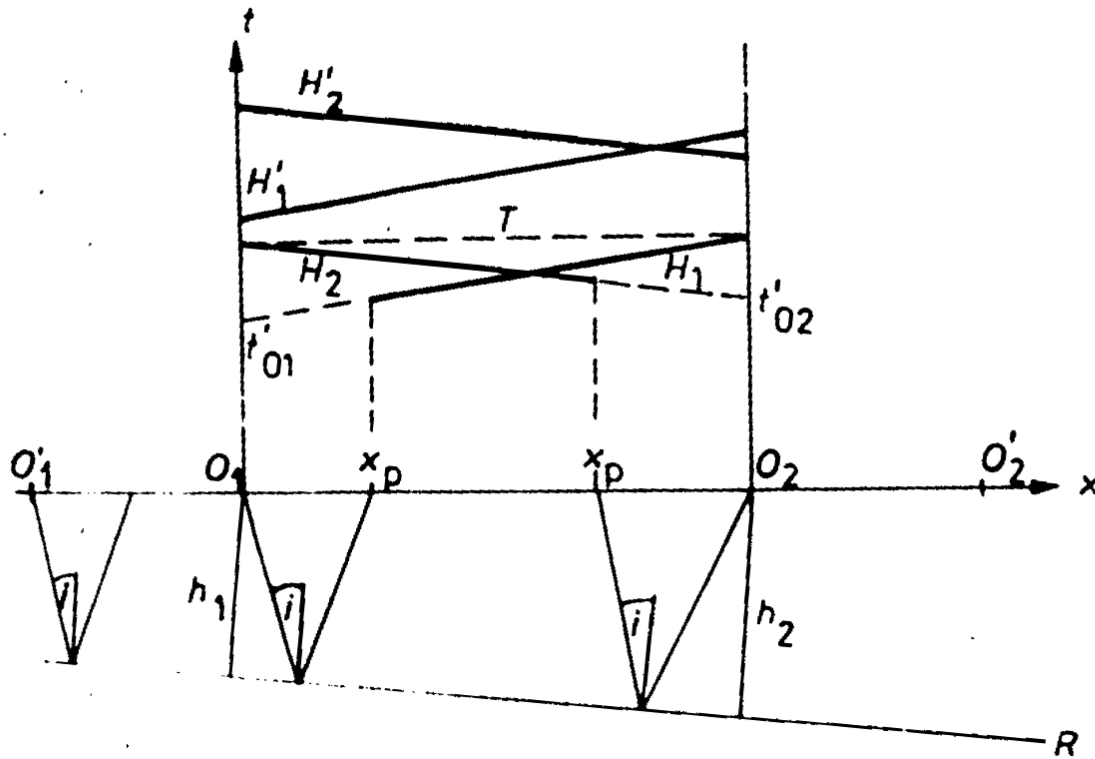
$$t = \frac{x}{v_2} + t'_0$$

Měření: 2 vstříčné hodochrony + přístřely

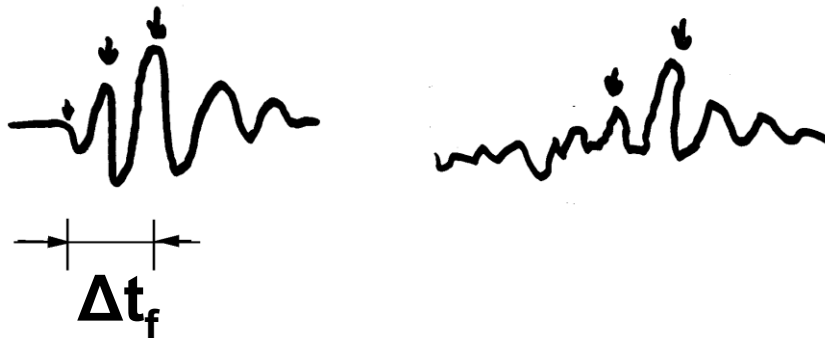
Korekce: - statické

- oprava na fázi

METODA LOMENÝCH VLN



Obr. 63. Systém měření v metodě lomených vln
 O_1, O_2 — přístřezy, i — kritický úhel, T — čas vzájemnosti,
 H_1 a H_2 — dvojice vstřícných hodochron, H'_1 a H'_2 — dvojice přístřelných hodochron



korekce na fázi

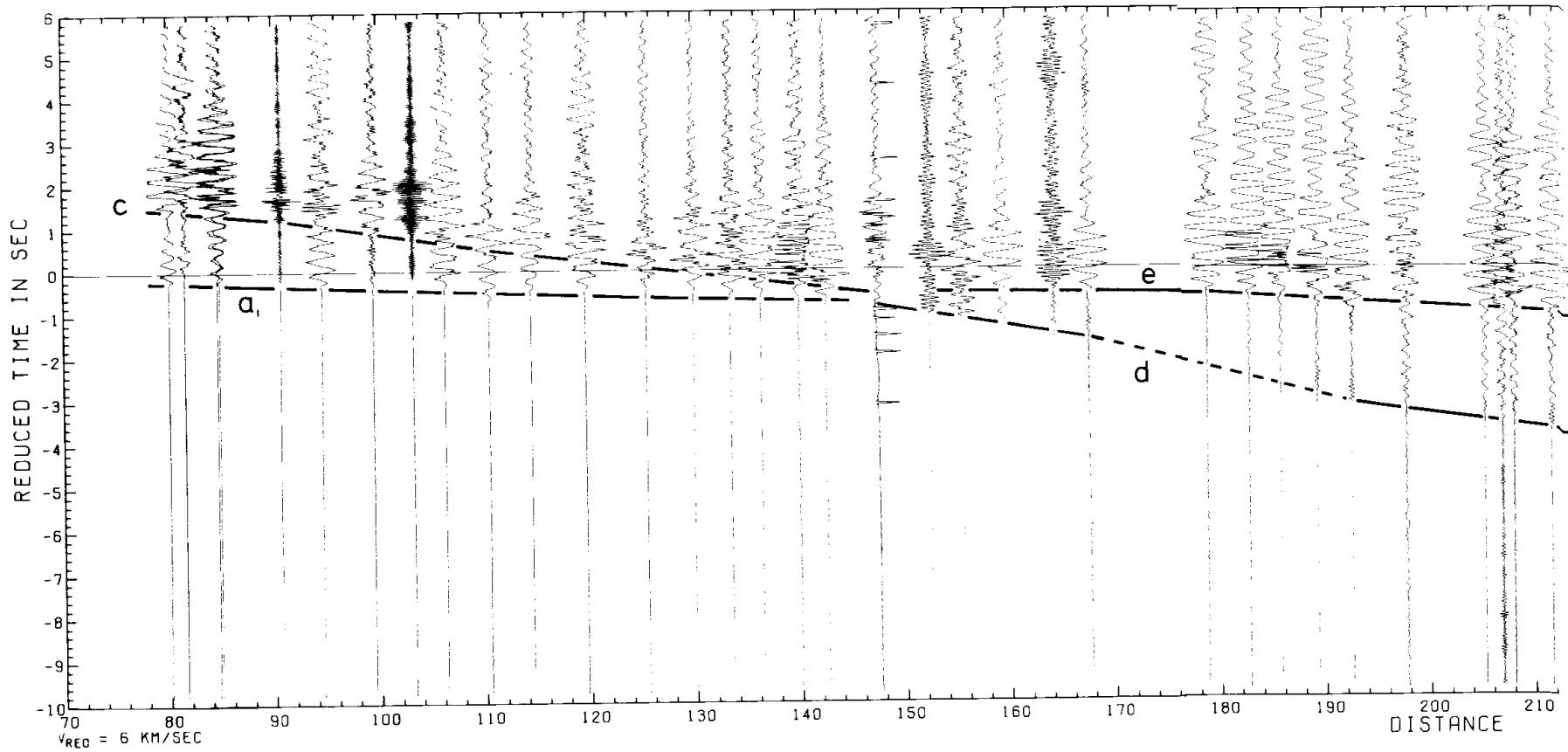


Fig. 5.20 Part of a time section from a large scale refraction profile, plotted in reduced time using a reduction velocity of 6 km s^{-1} . The section was derived from the LISPb lithospheric seismic profile across Britain established in 1974. Phase a: head wave arrivals from a shallow crustal refractor with a velocity of about 6.3 km s^{-1} ; phases c and e: wide-angle reflections from lower crustal interfaces; phase d: head wave arrivals from the uppermost mantle (the P_n phase of earthquake seismology). (From Bamford *et al.* 1978.)

KONSTRUKCE SEISMICKÝCH ROZHRAŇÍ

(Gruntorád a kol. 1985 kap. 7.7)

Metoda **odražených vln:**

- metoda t_0 ($h(x)=t_0(x) \cdot v_{stř}/2$, obloučky kružítkem, obalová křivka)
- metoda záseček (konstrukce pomocí zdánlivého bodu výbuchu)

Metoda **lomených vln:**

- metoda t_0 : z dvojice vstříčných hodochron se vzájemným časem T je

$$t_0(x) = t_1(x) - t_2(x) + T$$

- metoda průsečíku lomené a přímé vlny

ZPRACOVÁNÍ SEISMICKÝCH DAT NA POČÍTAČI

Postupy pro 2-D seism.data

Používá se hlavně pro metodu SRB

Obecně: velké množství dat → velké nároky na paměť a výpočetní rychlost

Postup operací (viz tabulka)

Výsledek – **časový řez**

Další zpracování:

- migrace
- hloubkové řezy

Speciální metody v **prospekci uhlovodíků**:

- analýza amplitud, určování koeficientů odrazu
- metoda AVO (Amplitude Versus Offset)

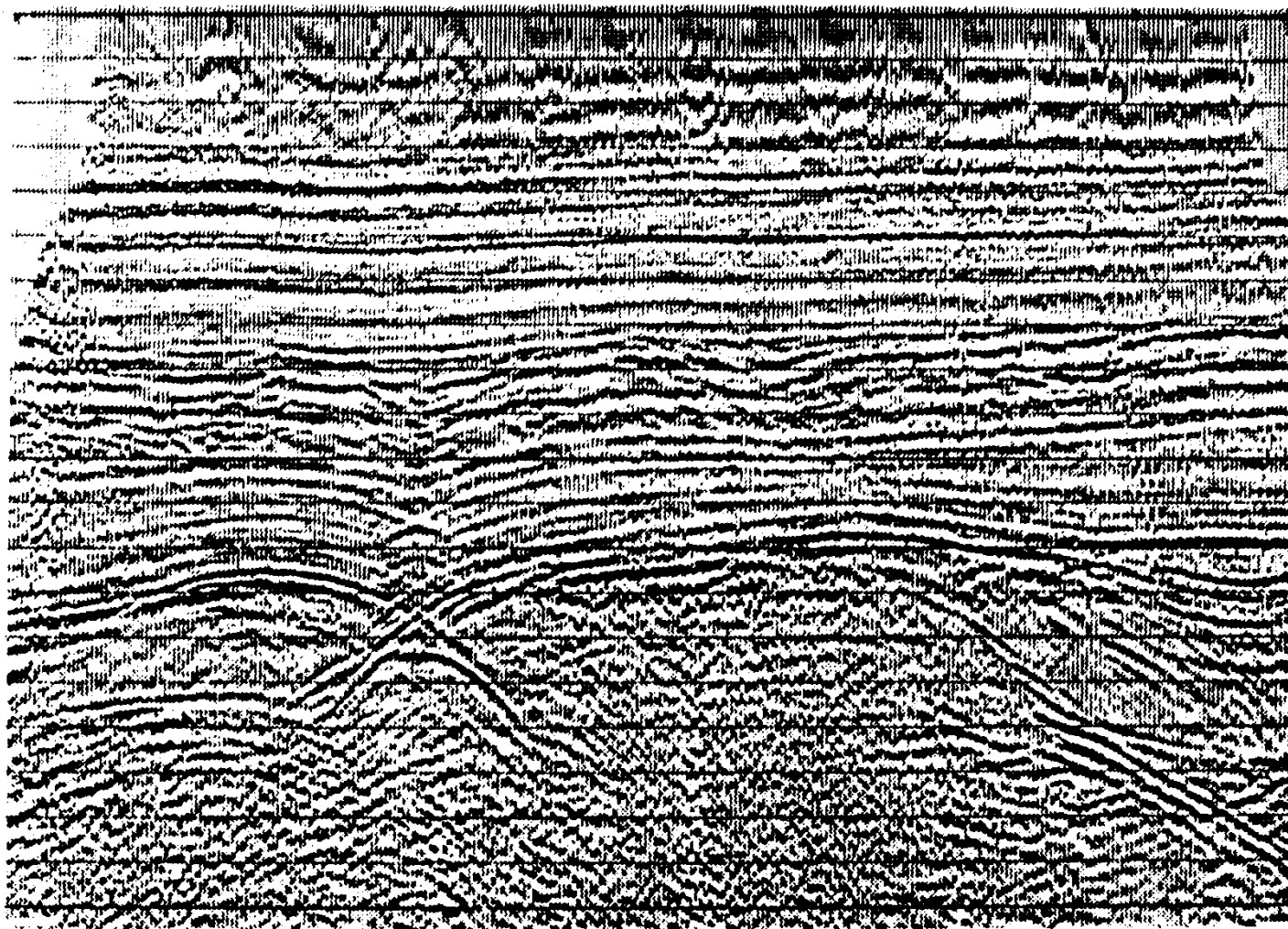
POSTUP PŘI ZPRACOVÁNÍ SEISMICKÝCH DAT NA POČÍTAČI

Základní kroky	Hlavní prováděné operace	Hlavní účel operace
úvodní operace	uspořádání dat, obnovení amplitud, filtrace	příprava materiálů ke zpracování
příprava sumace	základní statické korekce, rychlostní analýza, kinematické korekce, upřesňující statické korekce	hledání optimálních podmínek pro sumaci SRB
vytvoření časového řezu	součet společného reflexního bodu	získání časového řezu
závěrečné úpravy časového řezu	časově proměnná filtrace, vyrovnání amplitud, migrace	zlepšení poměru signál/šum

METODY FILTRACE

Název metody	Potlačované rušivé vlny	Způsob potlačování
<p><i>Filtrace jedné seismické stopy</i></p> <p>{ seskupování geofonů</p> <p>frekvenční filtrace</p> <p>dekonvoluce</p> <p>optimální filtrace</p>	<p>povrchové, mikroseismy</p> <p>rušivé vlny o odlišné frekvenci</p> <p>zkrácení délky seismického signálu</p> <p>rušivé vlny odlišné od užitečné vlny v určitém parametru (např. svým tvarem)</p>	<p>sčítání vln ve skupině</p> <p>analogové nebo digitální filtry</p> <p>digitální filtry</p> <p>digitální filtry</p>
<p><i>Filtrace více seismických stop</i></p> <p>rychlostní filtrace</p> <p>{ sumace SRB</p> <p>migrace (difrakční modifikace)</p>	<p>rušivé vlny o odlišné zdánlivé rychlosti</p> <p>všechny vlny kromě odražených a difragovaných</p> <p>difragované vlny</p>	<p>digitální filtry</p> <p>sumace po zavedení kinematických korekcí</p> <p>difrakční transformace</p>

ČASOVÝ ŘEZ



Časový řez. Na obrázku vidíme linie společných reflexních bodů, odpovídajících odrážejícím rozhraním

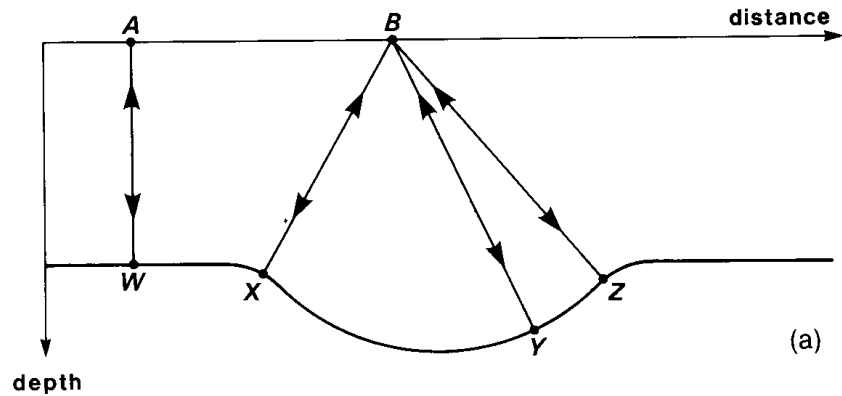


Fig. 4.31 (a) A sharp synclinal feature in a reflecting interface, and (b) the resultant 'bow-tie' shape of the reflection event on the non-migrated seismic section.

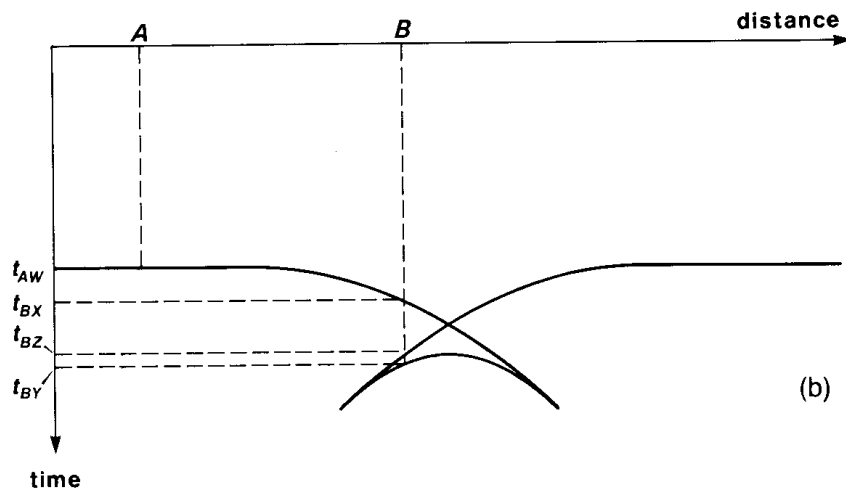
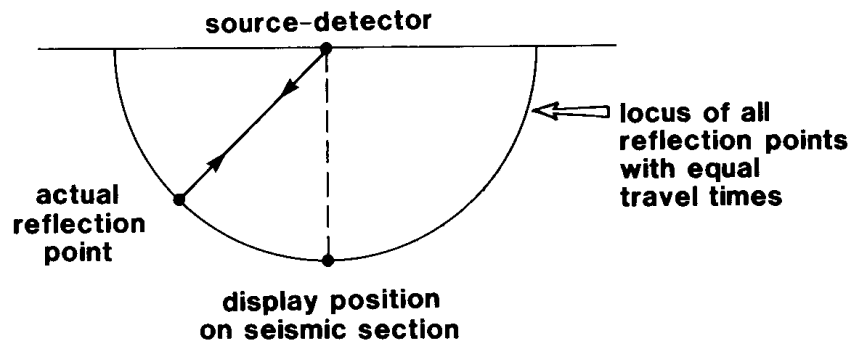
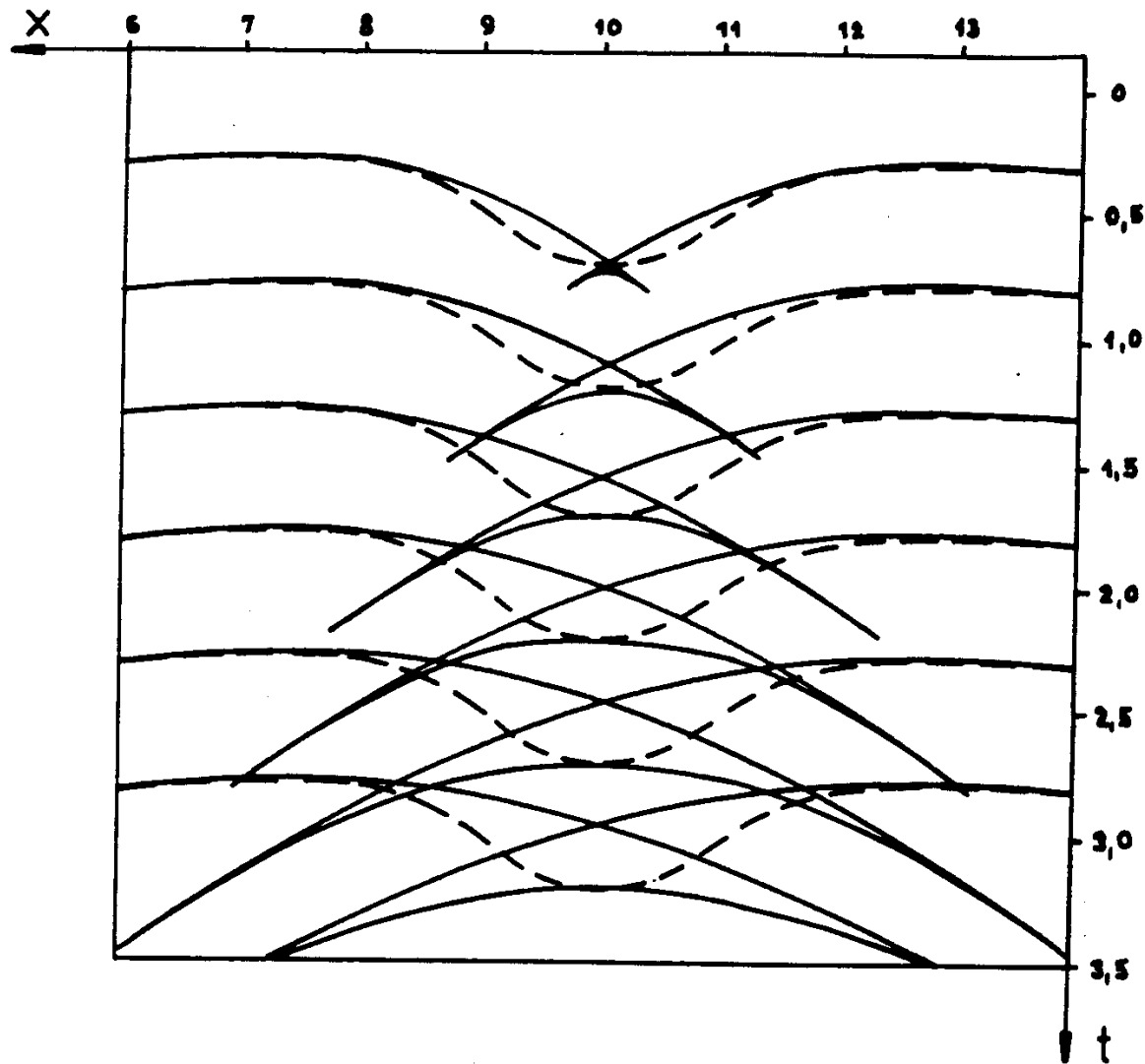


Fig. 4.32 For a given reflection time, the reflection point may lie anywhere on the arc of a circle centred on the source-detector position. On a non-migrated seismic section the point is mapped to lie immediately below the source-detector.





Obr. 59. Vliv synklinální stavby na časový řez
plné čáry - časový řez,
čárkovaně - modely prostředí

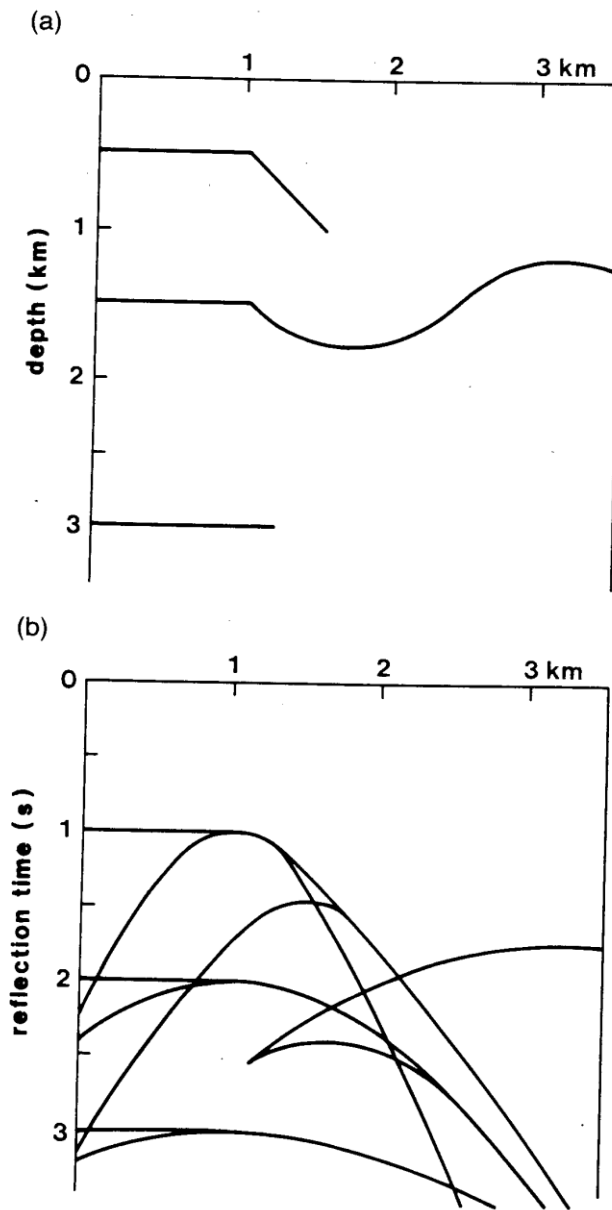
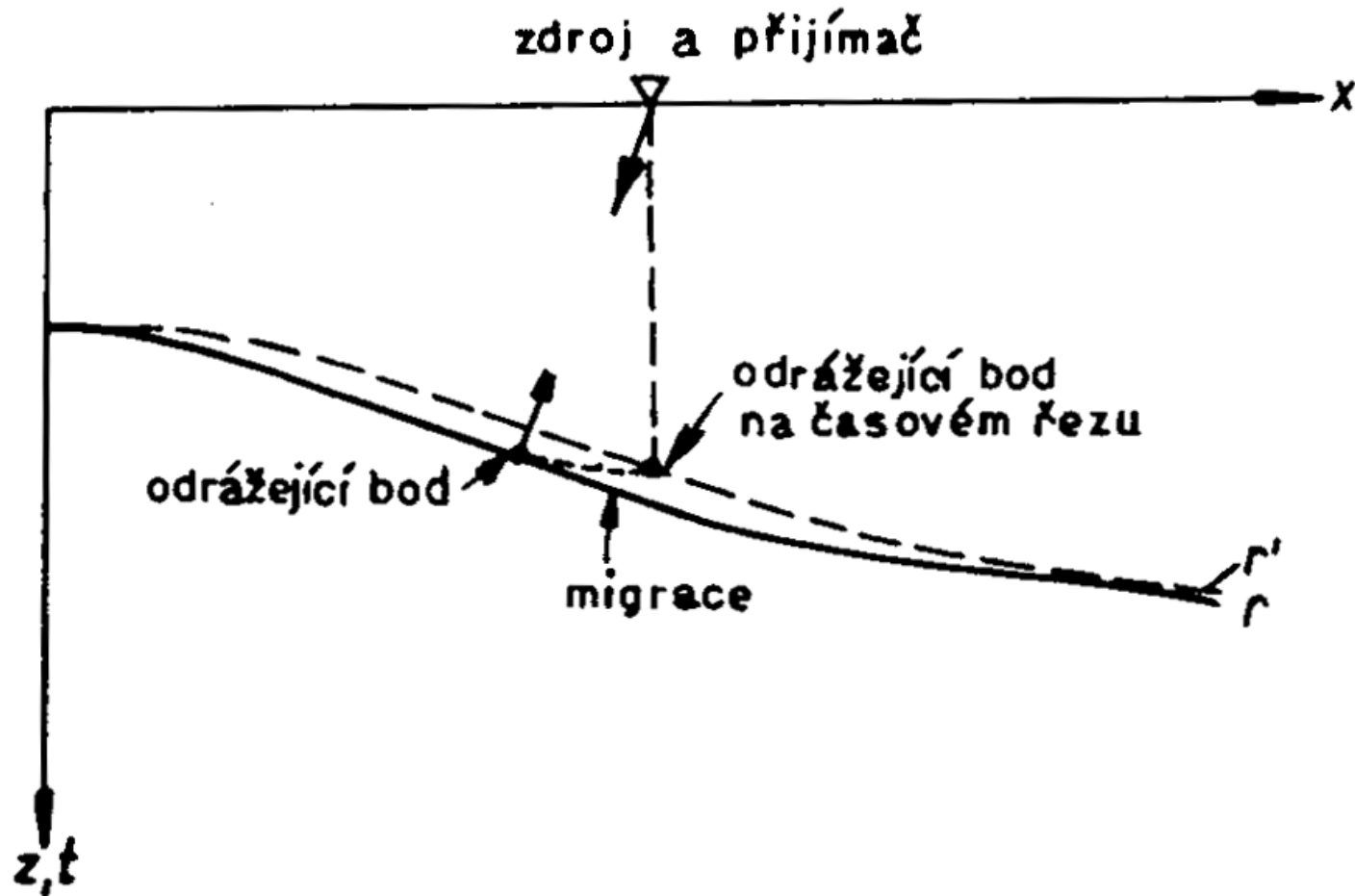


Fig. 4.30 (a) A structural model of the subsurface and (b) the resultant reflection events that would be observed in a non-migrated seismic section, containing numerous diffraction events. (After Sheriff 1978.)

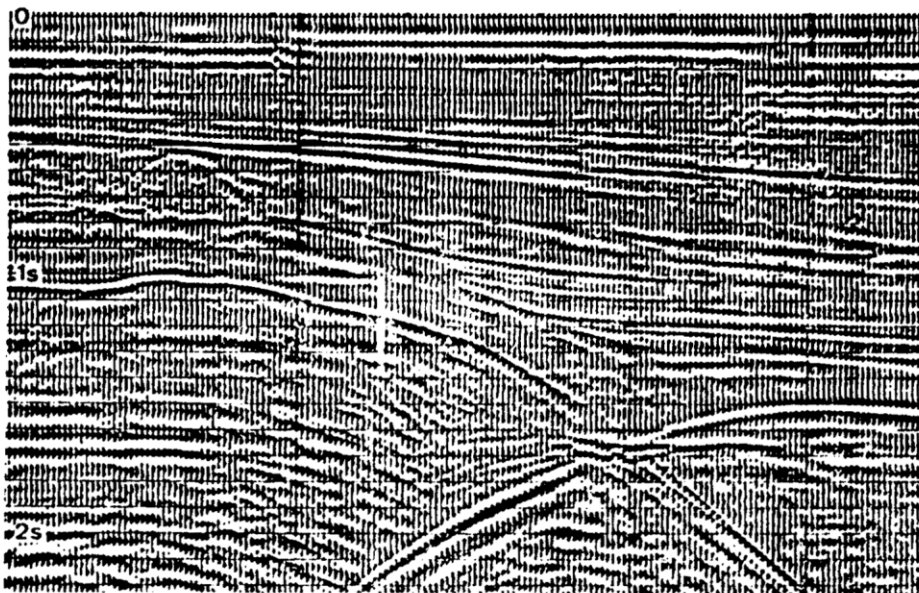
PRINCIP MIGRACE



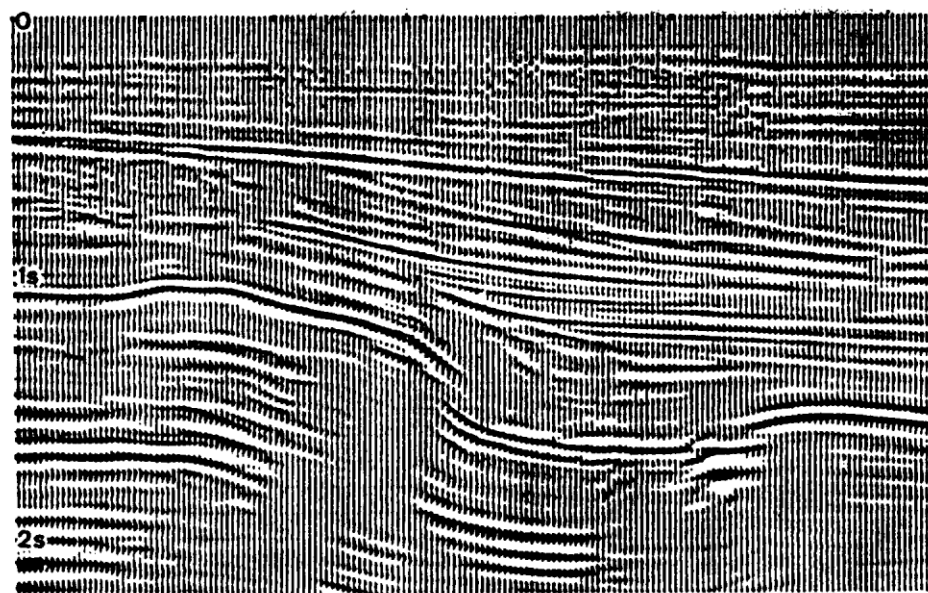
Princip migrace

r – rozhraní podle původního časového řezu; r' – rozhraní po migraci

MIGRACE ČASOVÉHO ŘEZU



Časový řez; nápadné difragované vlny indikují tektoniku, odrazy z boků synklinály zastírají průběh rozhraní (podle materiálů *Companie Générale de Géophysique*)



Migrovaný časový řez (podle materiálů *Companie Générale de Géophysique*)

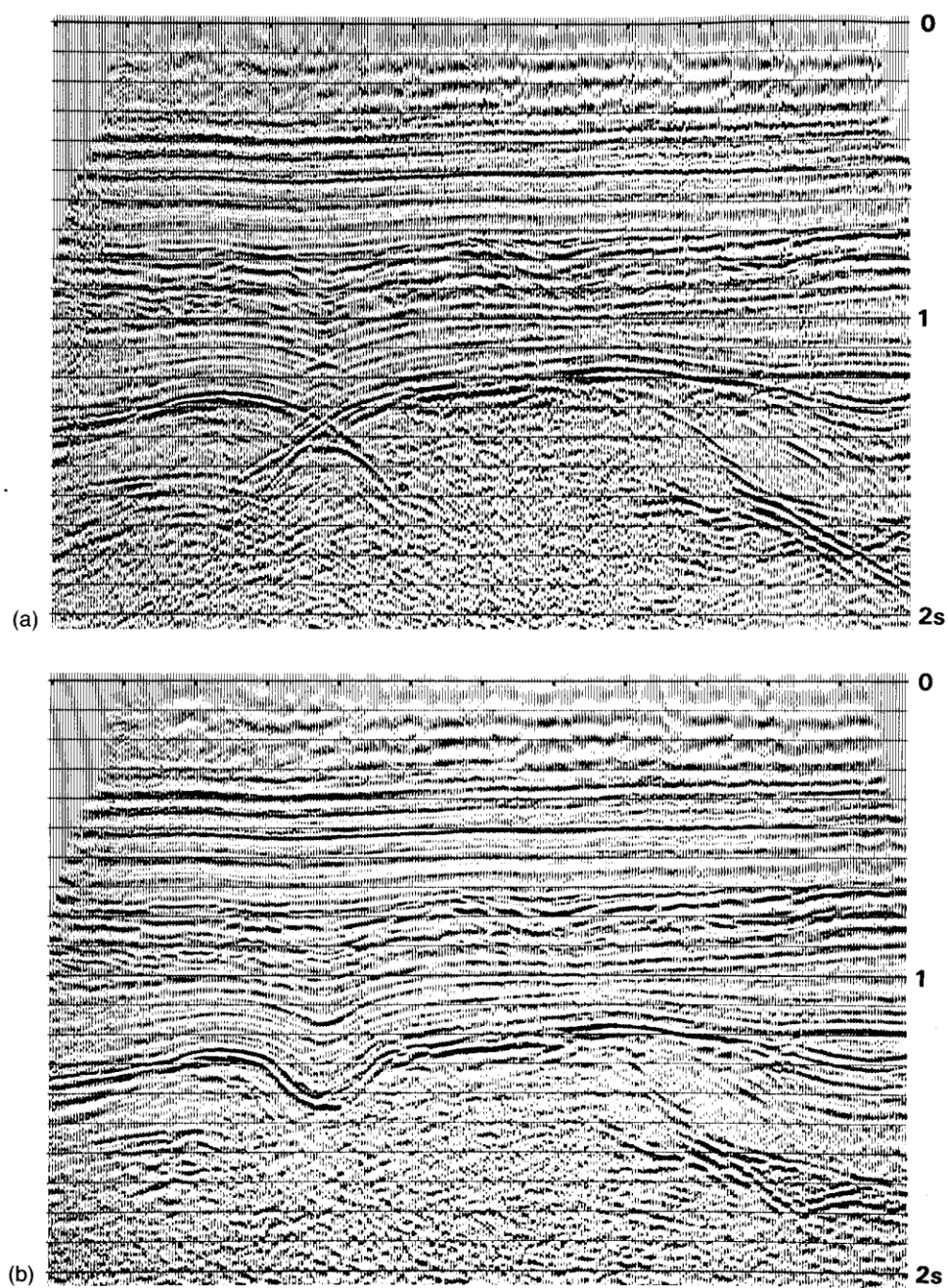


Fig. 4.35 (a) A non-migrated seismic section. (b) The same seismic section after wave equation migration. (Courtesy Prakla-Seismos GMBH.)

3-D REFLEXNÍ SEISMIKA

- měření v ploše
- zpracování do „**DATA VOLUME**“
- interpretace pomocí speciálního software na počítačích s grafickými terminály (systémy GEOQUEST, CHARISMA,

Nová data v prospekci uhlovodíků se získávají téměř výhradně tímto způsobem.

OMEZENÍ MOŽNOSTMI VÝPOČETNÍ TECHNIKY

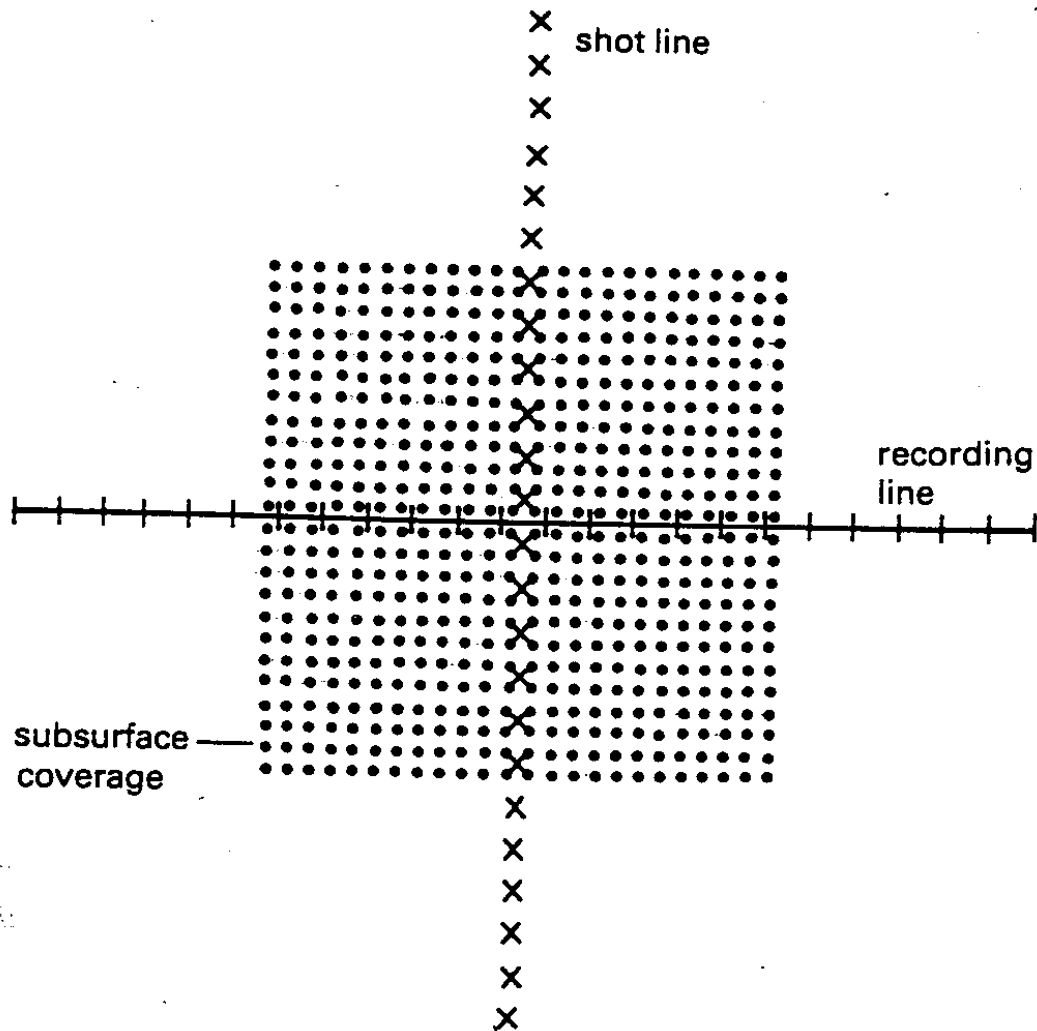


Fig. 4.7 The areal coverage derived from a single pair of crossing lines in a three-dimensional survey. Each dot represents the mid-point between a shot and a detector.

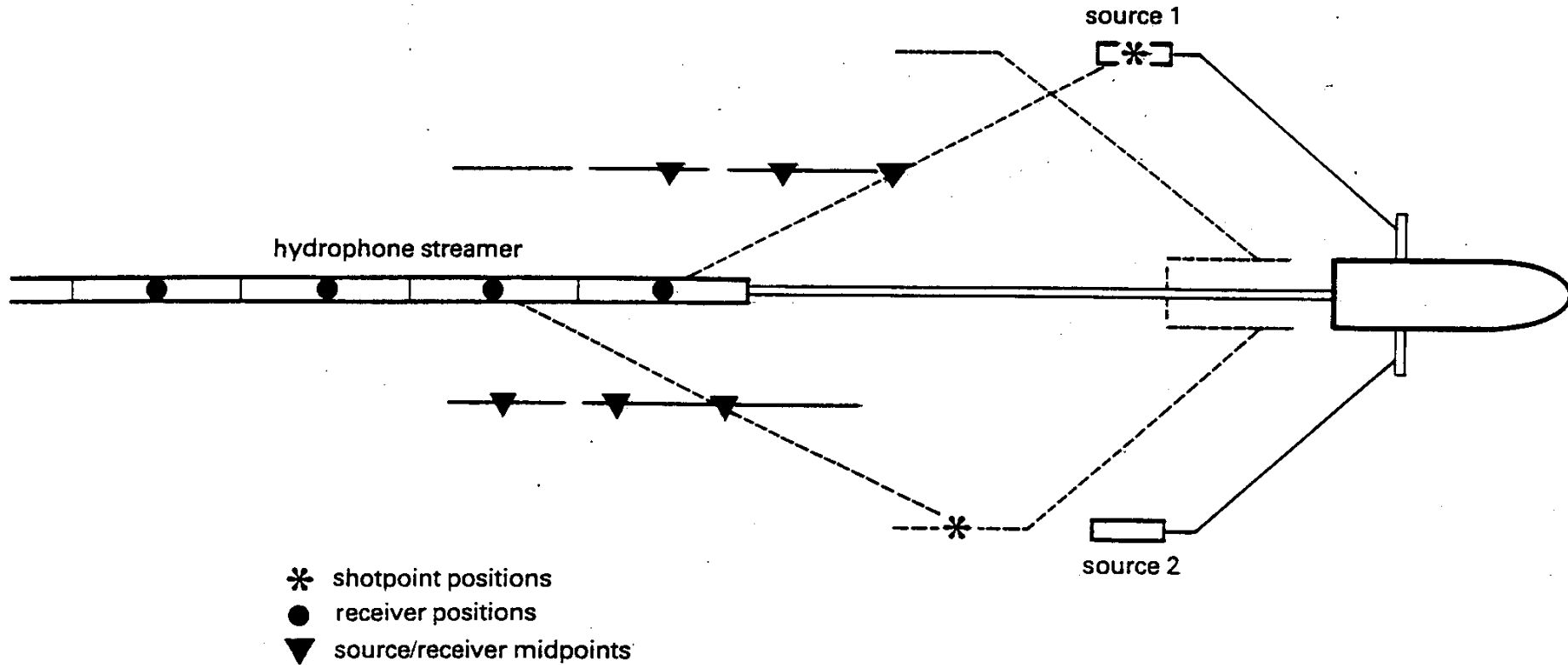
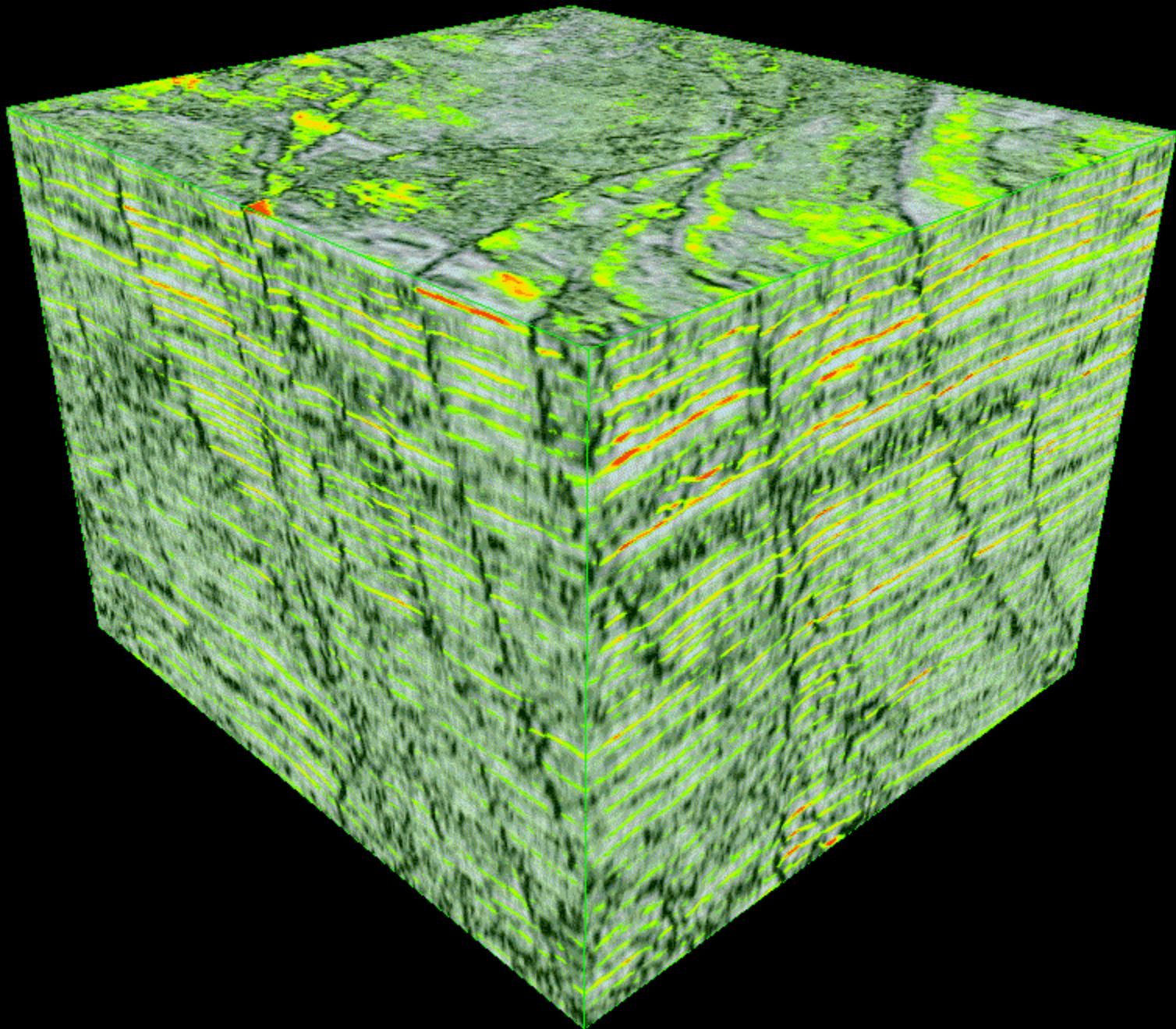
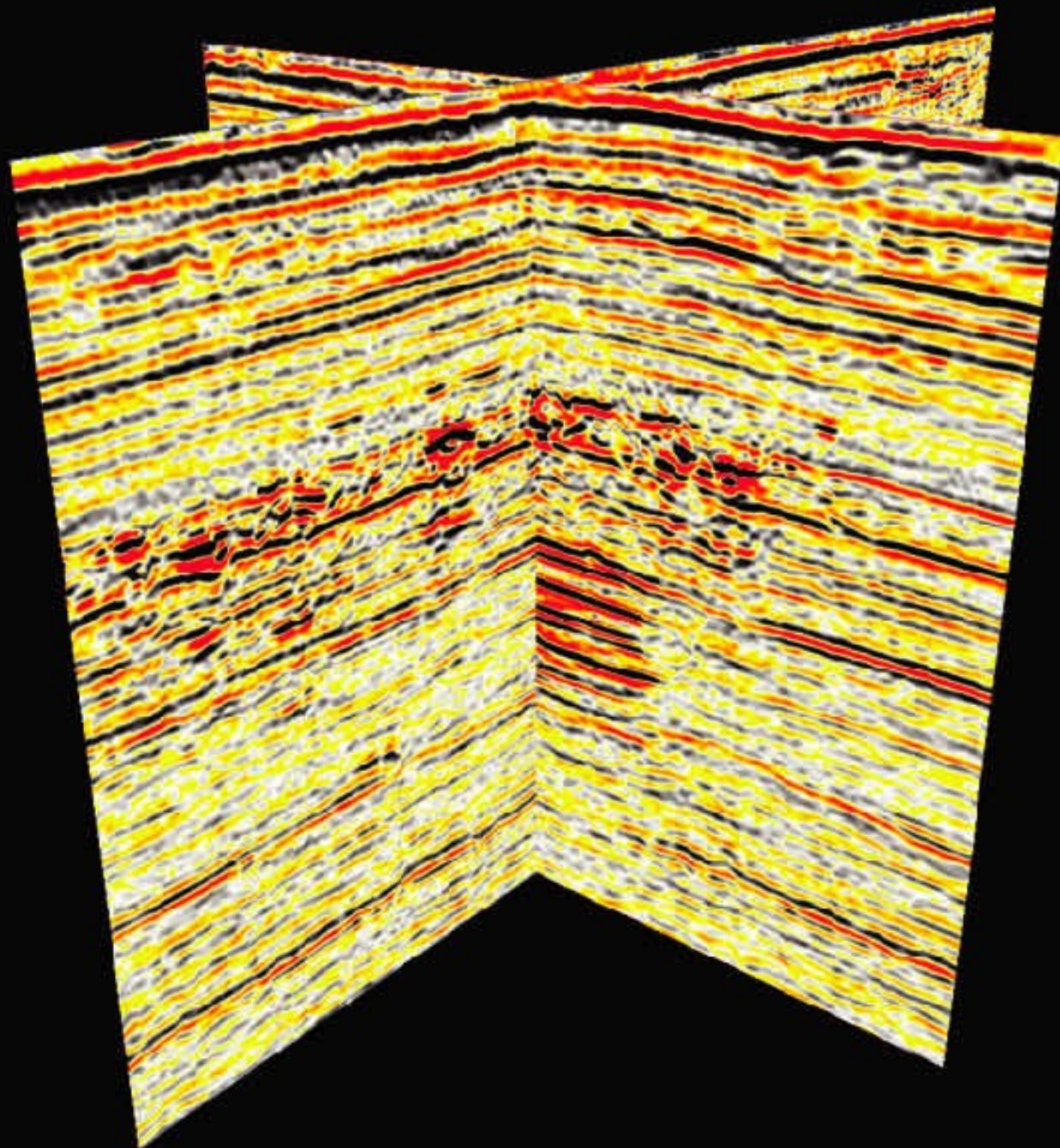


Fig. 4.8 The dual source array method of collecting three-dimensional seismic data at sea. Alternate firing of sources 1 and 2 into the hydrophone streamer produces two parallel sets of source-detector midpoints.





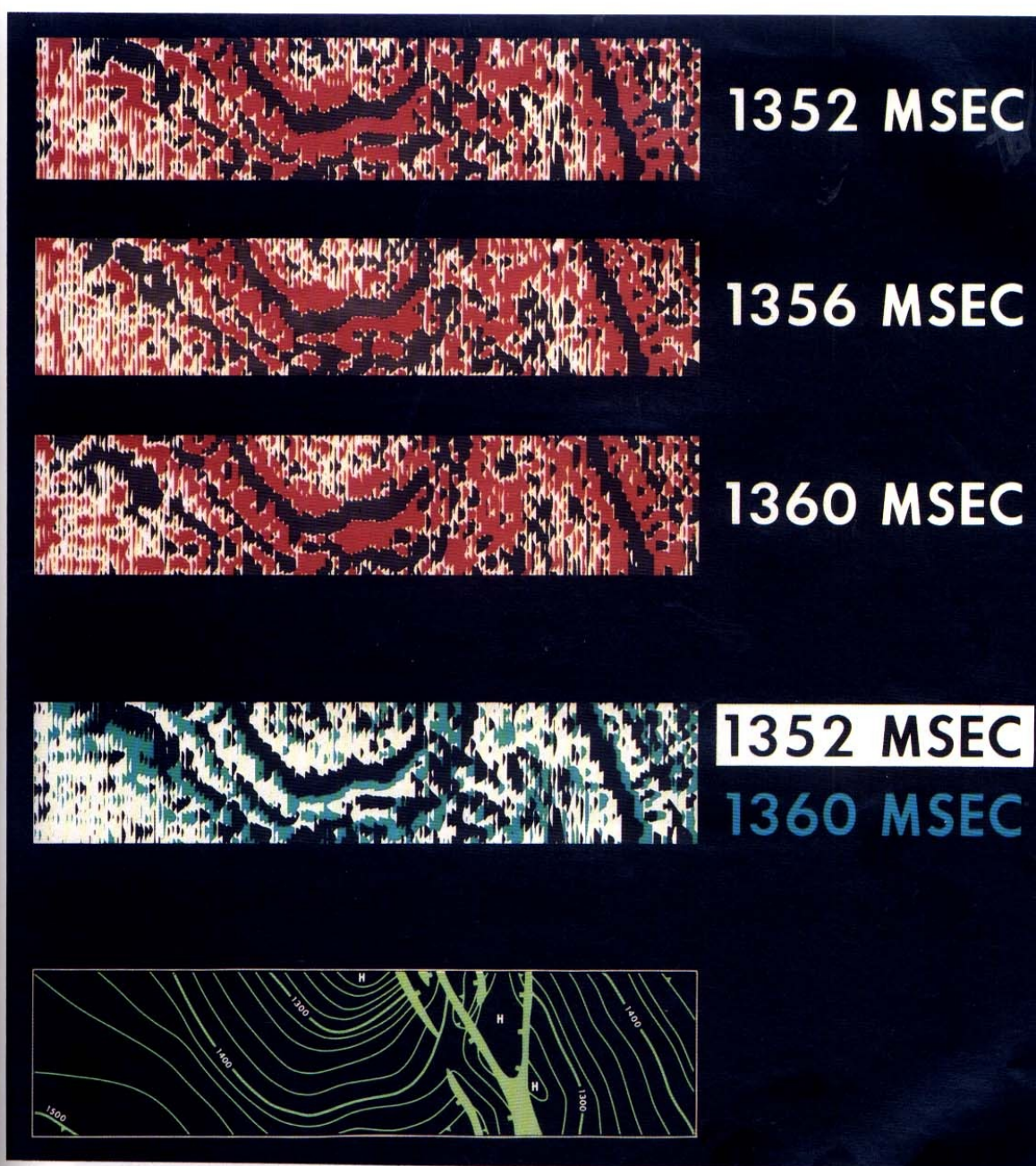


Fig. 3-2. Dual polarity horizontal sections from offshore Holland; two-level single polarity horizontal section, showing movement of events from 1352 ms to 1360 ms; interpreted contour map on horizon seen as strongest event on horizontal sections.

Fig. 3-10. Structural contour map derived from 2-D data from offshore Chile. (Courtesy ENAP).

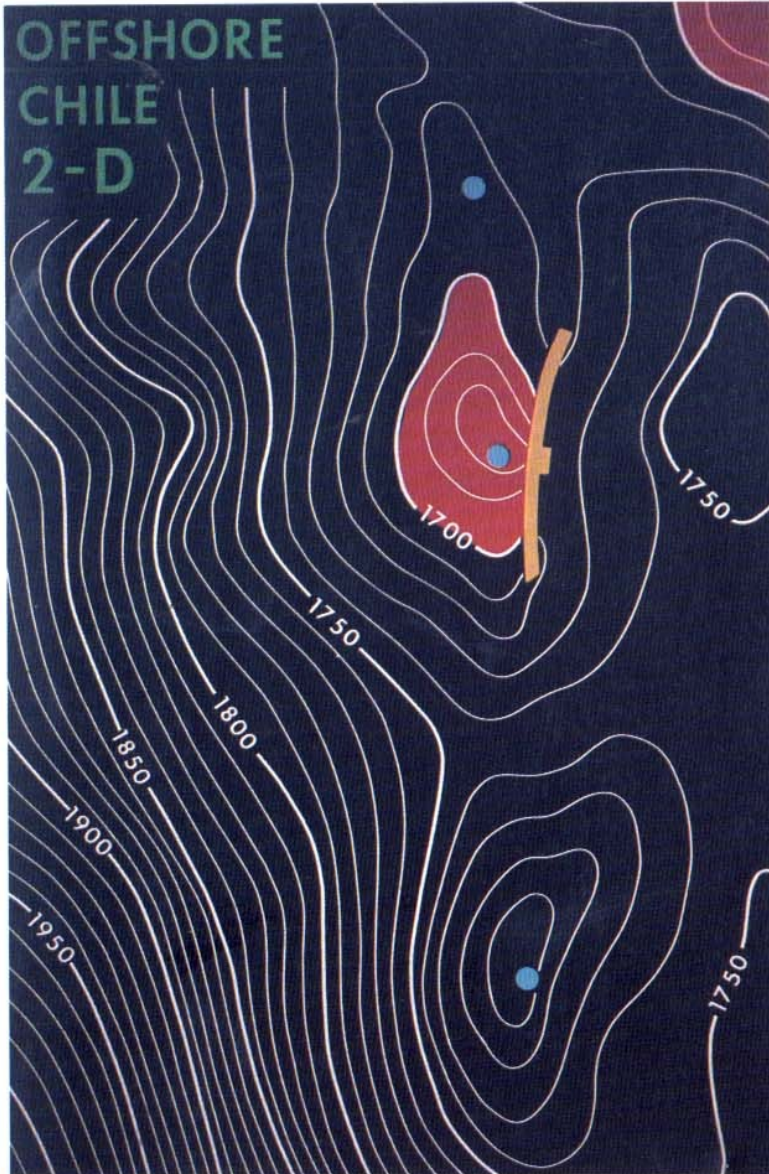
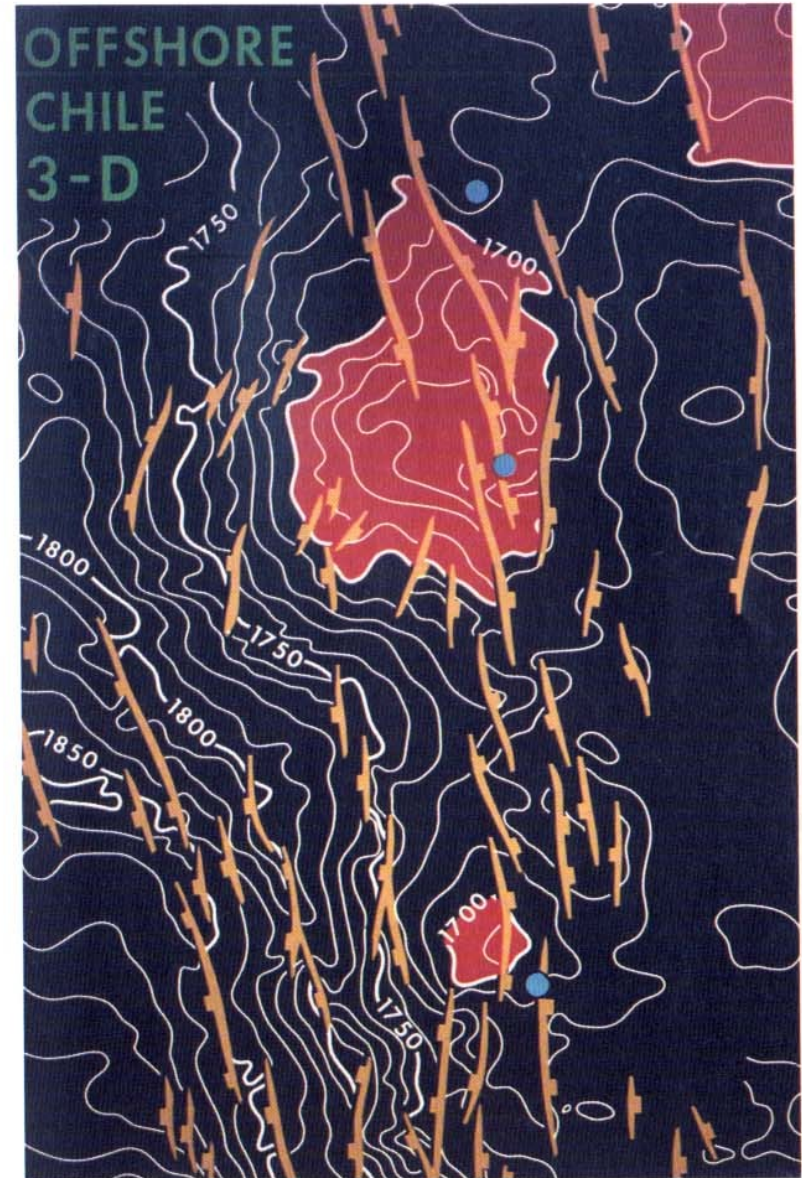


Fig. 3-11. Structural contour map derived from 3-D data from offshore Chile for the same horizon mapped in Figure 3-10. (Courtesy ENAP).



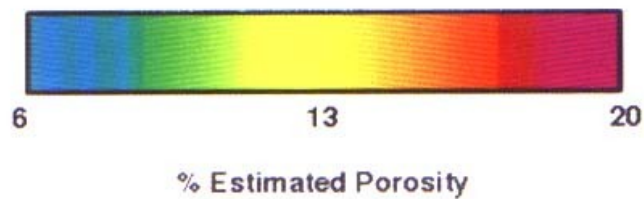
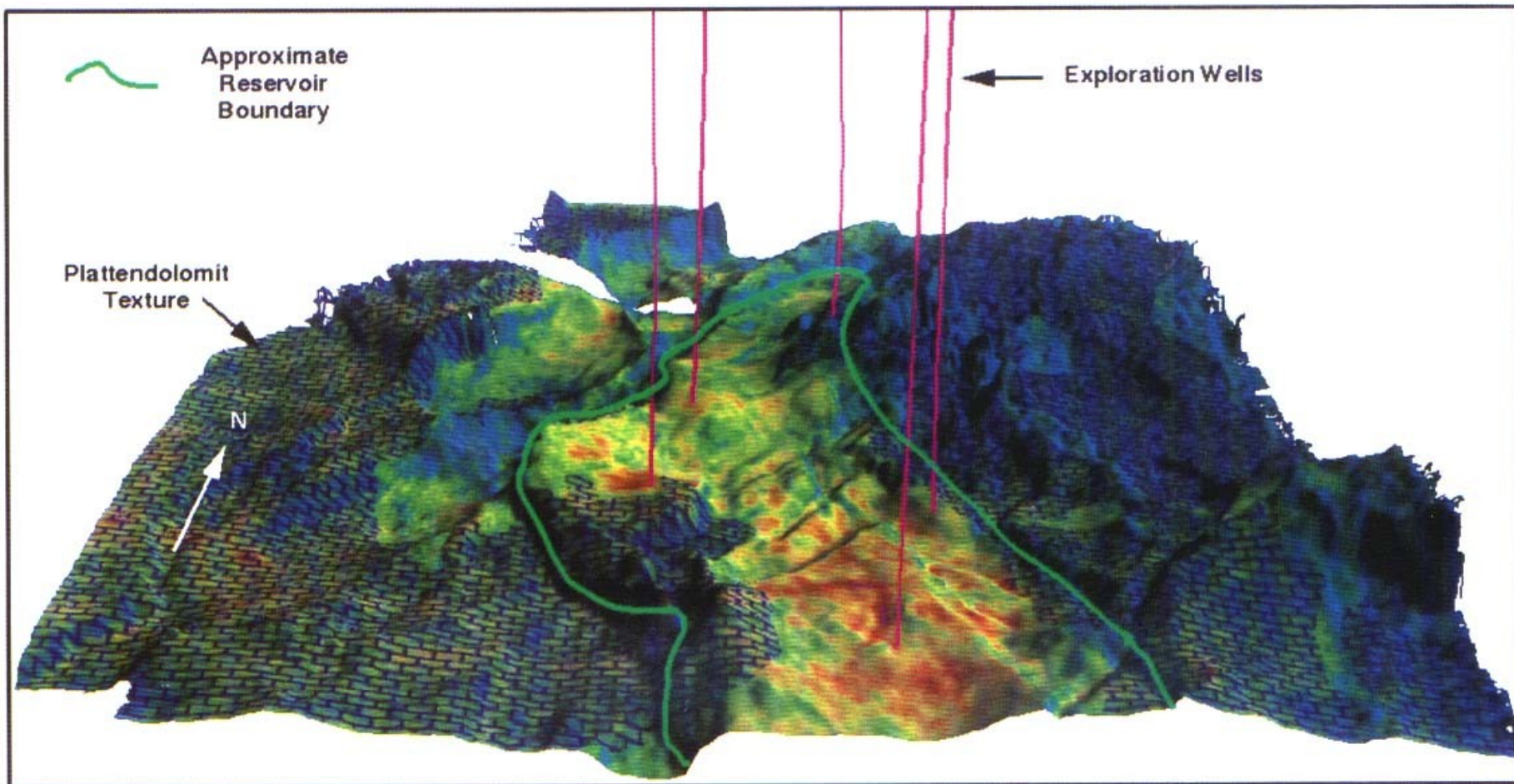


Fig.8-62. Lighted perspective display of the Top Rotliegend time structure, integrating the exploration well locations, the estimated porosity, the reservoir boundary and the areas over which there are Plattendolomit rafts. (Courtesy ARCO Exploration and Production Technology.)

SPECIÁLNÍ METODY

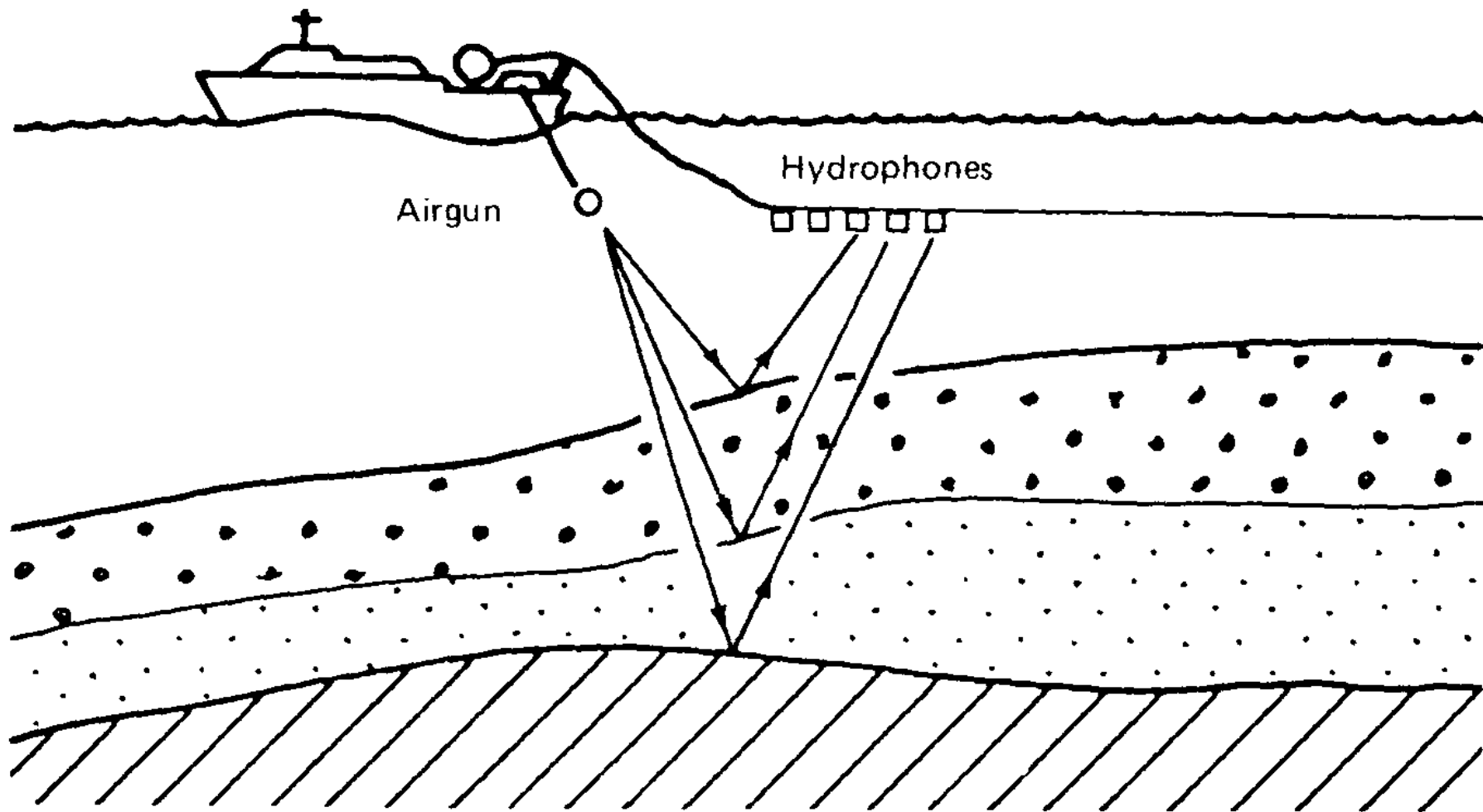
Mořská seismika – vyžaduje speciální zdroje (AIR GUN)
a snímače (HYDROFONY – registrují změnu tlaku)

Registrace odražených vln ve velké vzdálenosti od zdroje
(**WIDE-ANGLE**), k průzkumu hlubší stavby zemské kůry,
sledování Moho diskontinuity

Seismická tomografie

- refrakční
- reflexní
- kombinovaná

Vysokofrekvenční seismika (mělká reflexní seismika do prvních
desítek m, frekvence >100 Hz)



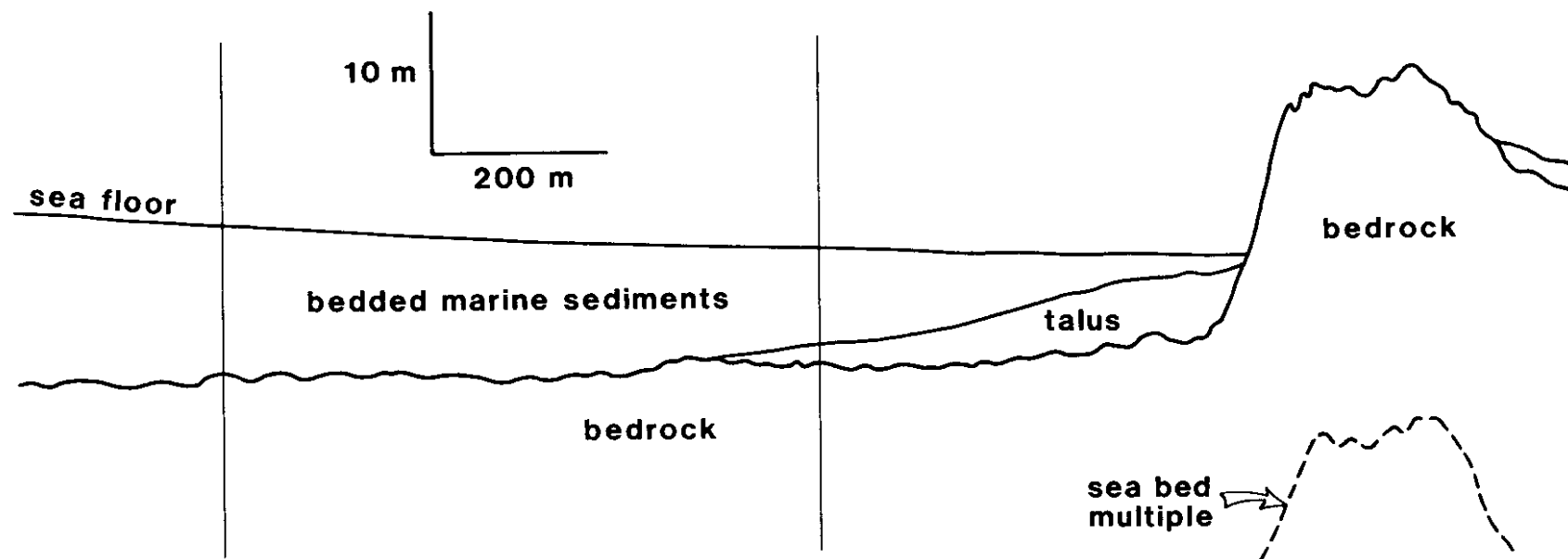
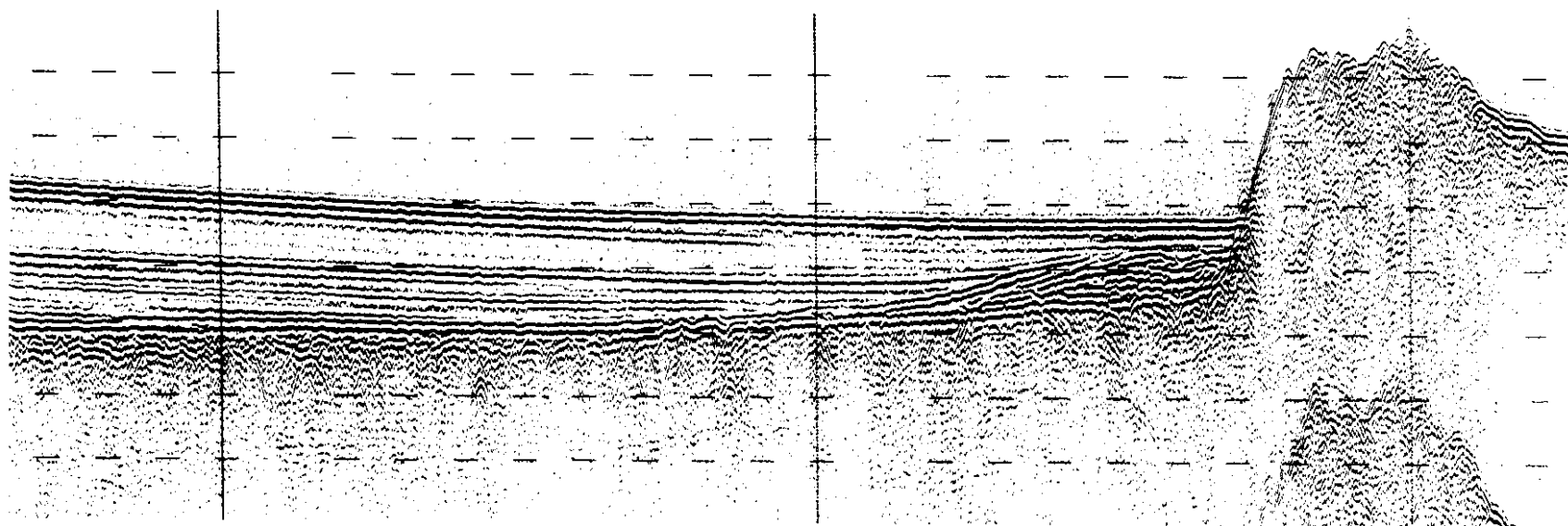


Fig. 4.48 Precision boomer record from a coastal area of the Irish Sea, UK, showing Holocene sediments up to 10 m thick banked against a reef of Lower Palaeozoic rocks. (Courtesy C.R. Price.)

Zakritický odraz

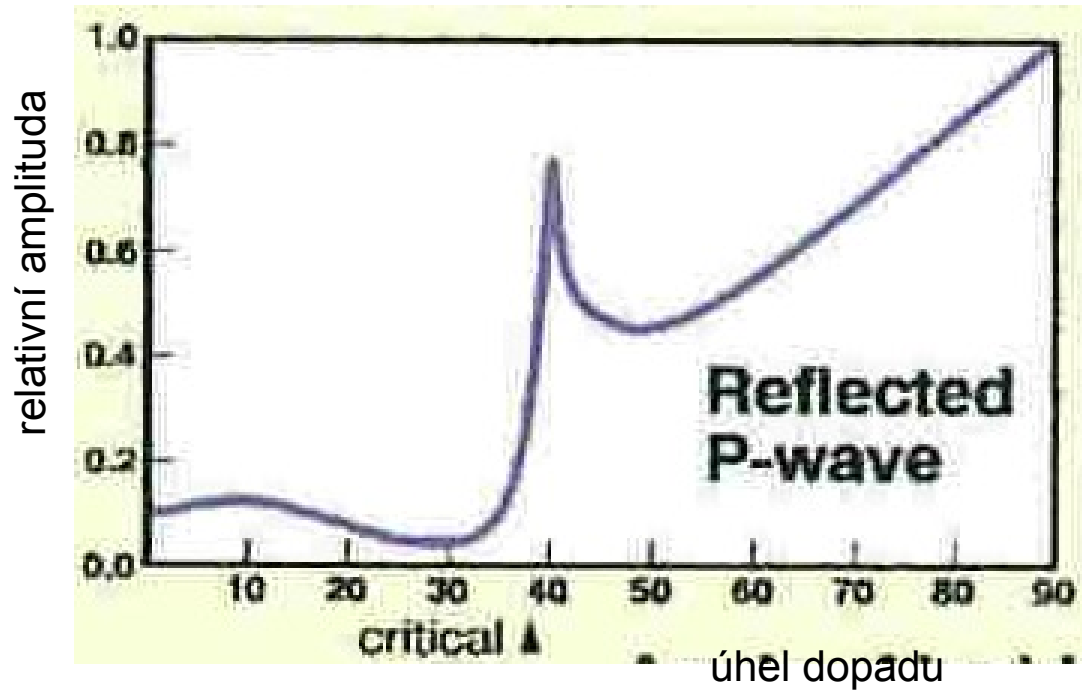
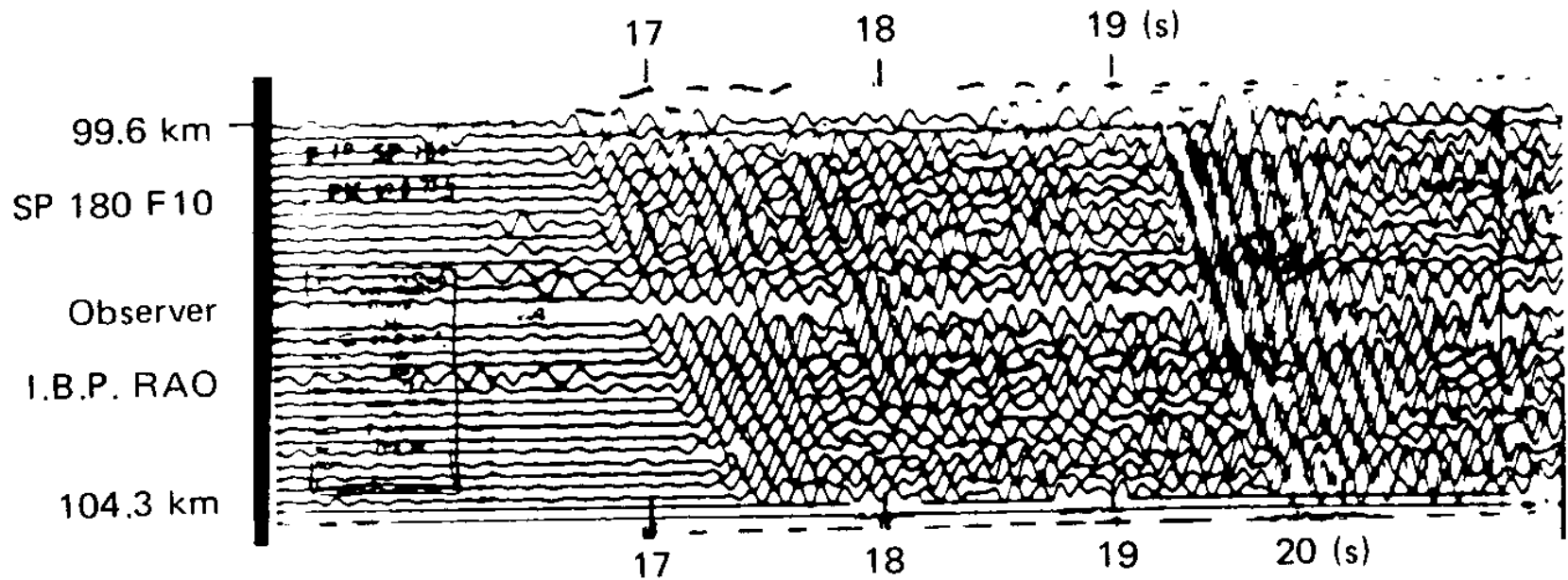
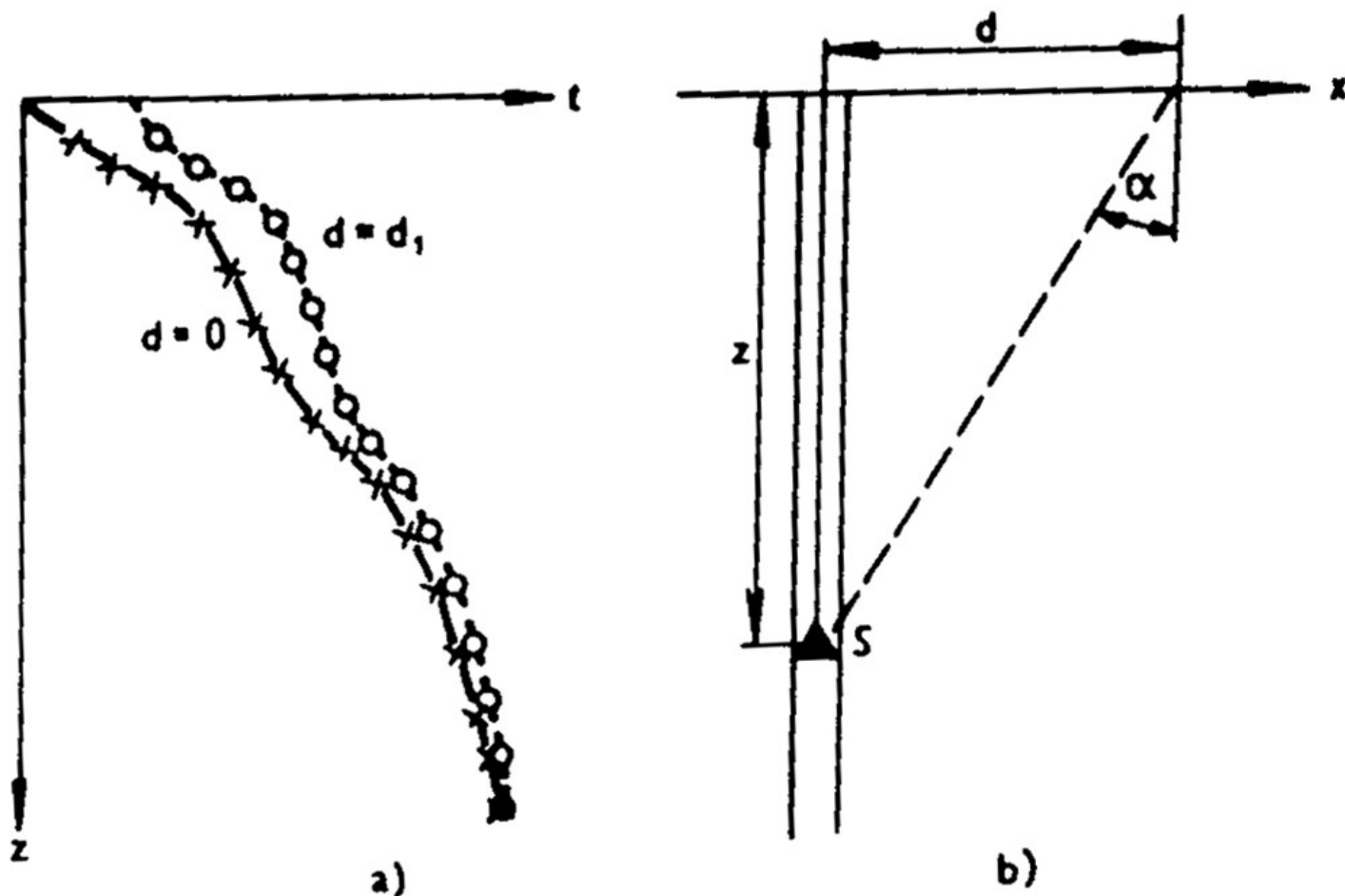


Figure 2.54. Typical deep seismic sounding (DSS) record with wide angle reflection (P^M) from the Moho discontinuity recorded in the western peninsula of India; P^M event occurs just after 19 s. (After Kaila et al., 1981.)

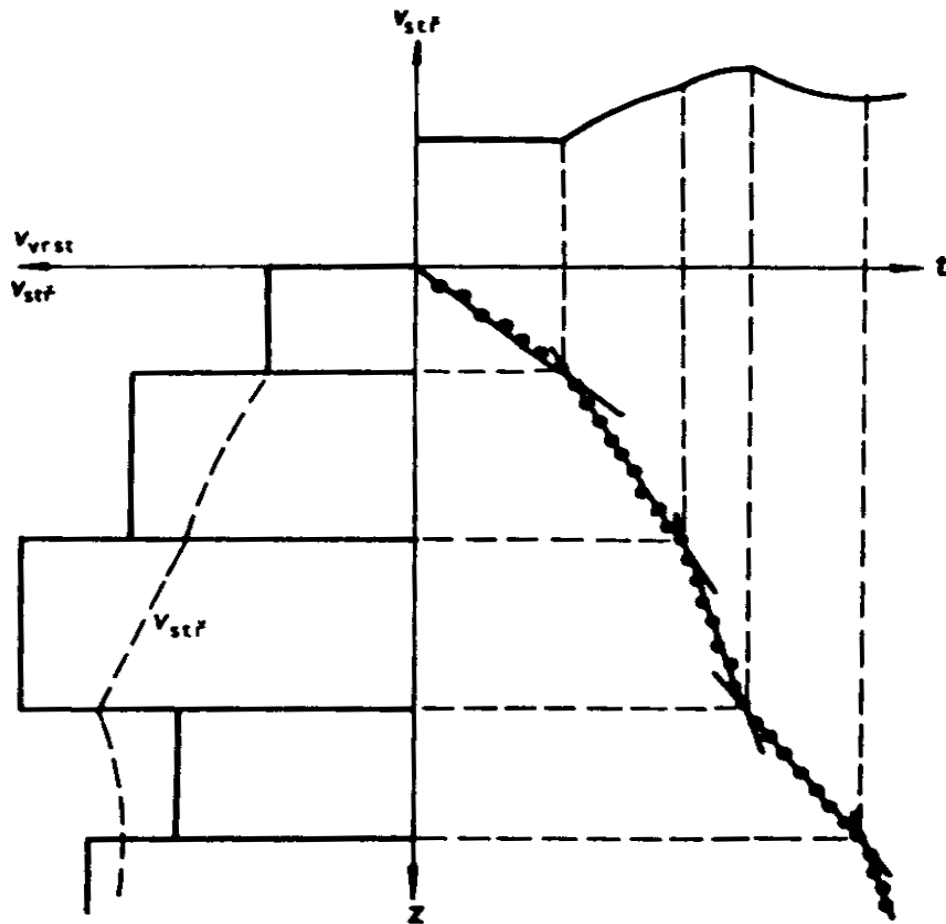


SEIMOKAROTÁŽ



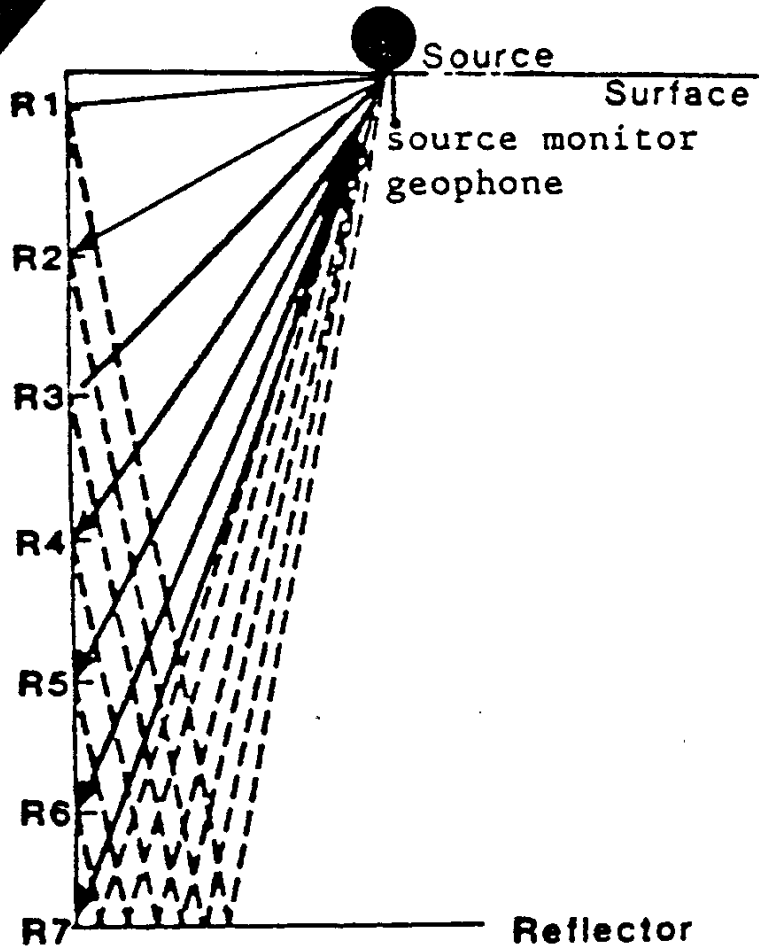
Obr. 347. Vertikální hodochrony při seismokarotáži
a) podélná ($d = 0$) a nepodélná ($d = d_1$) hodochrona; b) systém nepodélního měření (podle I. I. Gurviče, 1970)

SDRUŽENÝ SEIMOKAROTÁŽNÍ GRAF

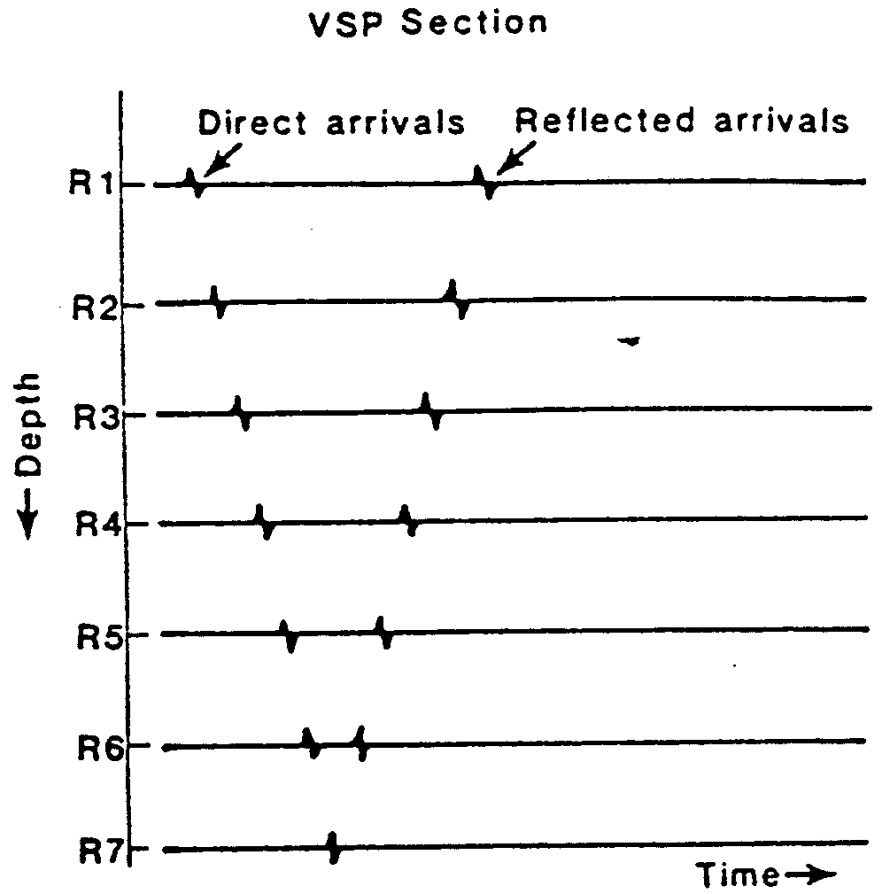


Obr. 348. Sdružený seismokarotážní graf: vertikální hodochrona, graf středních a vrstevních rychlostí, graf $v_{stp}(t)$

Metoda VSP (vertikální seismické profilování): registrace jako u seismokarotáže, ale zaznamenává a vyhodnocuje se celé vlnové pole



(a)



(b)

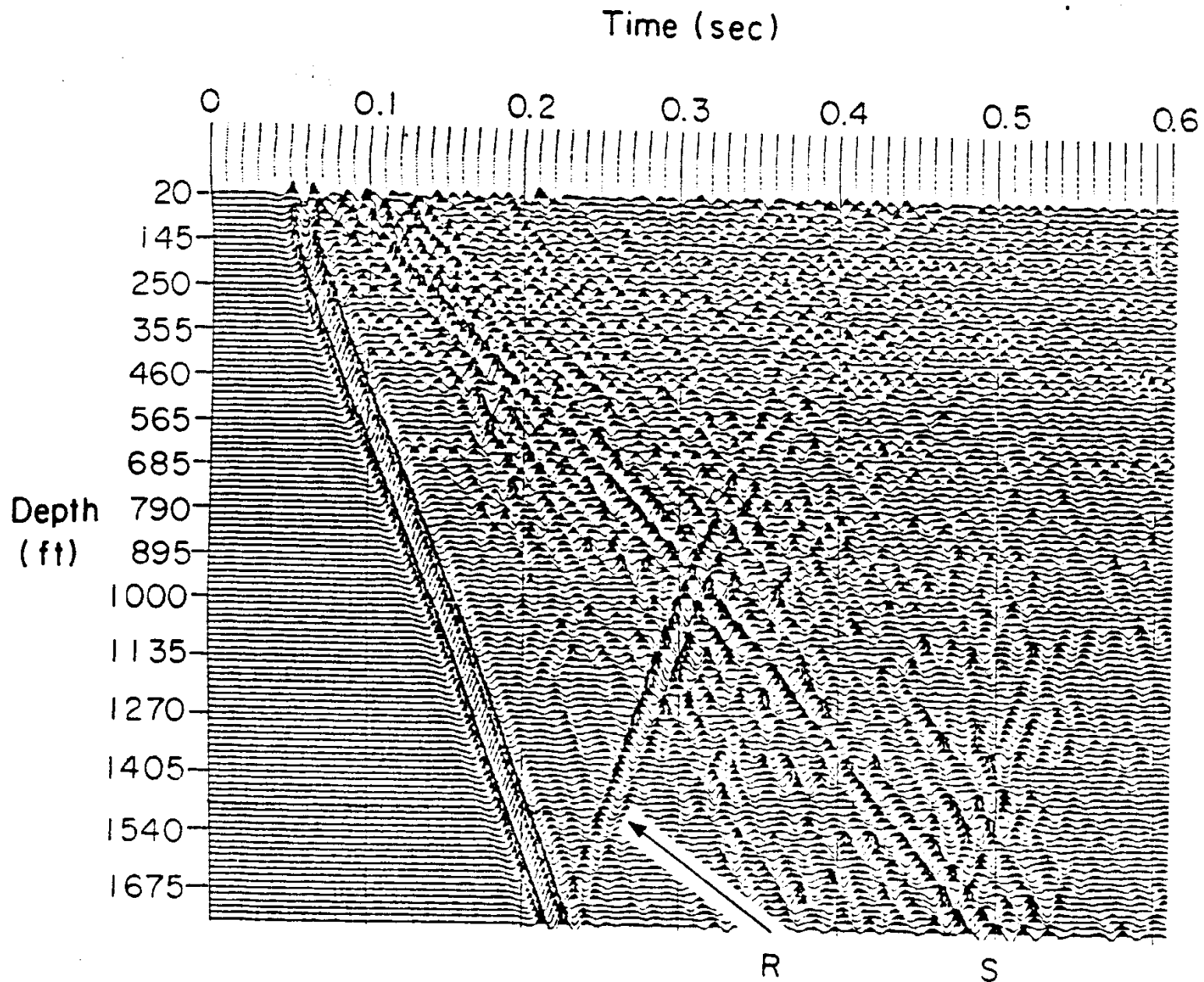


Figure 1-4 VSP trace section. Note the P reflection (*R*) and the downgoing S wave (*S*). (After Fulp *et al.*, 1981).