

530.534.4 (422.52)

Vztah rychlostí seizmických vln ve východoslovenské neogenní pánvi ke geologické stavbě

MILAN MOŘKOVSKÝ, REGINA LUKÁŠOVÁ

Geofyzika, n. p., Ječná 29a, 621 00 Brno

(9 obr. v textě)

Doručené 12. 2. 1981

Зависимость скорости сейсмических волн от геологического строения Восточнословацкой неогенной впадины

Анализом скоростных условий неогена Потиской низменности, особенно на основании сейсмокаротажных измерений и их корреляции с петрографическими и физическими свойствами керна скважин, было установлено, что скорости распространения сейсмических волн являются результатом глубины и литологии стратиграфических комплексов. Локальная зависимость связана с фациальным развитием осадков, вулканизма и т. п. Вместе с этими причинами на скоростные условия влияют и остальные факторы связанные с развитием впадины. Наряду с тектоникой и аномальным пластовым давлением влияние оказывают также диagenез младших осадков, которые в последственном развитии впадины были отденудированные. Выше указанные условия по всей вероятности находятся и в остальных неогенных впадинах альпийско-карпатской дуги.

Relations between seismic wave velocities and geological structure in the East Slovakian Neogene basin

An analysis of seismic wave velocities of Neogene beds in the Potiská nížina lowland area based mainly on seismic logging measurements and correlation of results with petrography and physical properties of borehole cored samples reveals that seismic wave velocities are determined by the depth and lithology. Local relations depend upon facial development of sediments or occurrence of volcanics etc. Besides such clear cases, wave velocities are influenced by further phenomena as tectonics, anomalous bedding pressures and diagenesis imposed by superponed younger strata which have been later partly removed. Ascertained relations are obviously valid for Neogene basins of the whole Alpine-Carpathian arc.

Při zpracování výsledků reflexně rychlostních poměrů, a to pro převod seizmických měření je nutná znalost získaných seizmických údajů z registro-

vaného časového oboru do hloubkového oboru. Různá rychlost šíření seizmických vln významně ovlivňuje hloubku a sklon interpretovaných seizmických rozhraní. Pro praktickou potřebu se dosud převážně rychlostní poměry zjišťují seizmokatotáží, tj. buzením seizmických vln při povrchu a sledováním jejich rychlostí registrací ve vrtu.

V dřívějších etapách, kdy se zahajoval geofyzikálně geologický průzkum nových rajónů a kdy bylo k dispozici jen málo seizmokatotážních údajů, nebylo prakticky možno seizmogeologickými poměry se blíže zabývat. Pak, zejména ve vnitrokarpatských depresích, se prakticky pro celou pánev používala jediná seizmokatotážní křivka. Tak v Potiské nížině to byla křivka opěrného vrtu Sečovce-1. Teprve s přibývajícím množstvím údajů bylo možno věrohodněji srovnávat rychlostní poměry, a to v závislosti na pozici v pánvi, dále v závislosti na stratigrafii apod.

V následujícím předkládáme poznatky, ke kterým jsme dospěli po zpracování seizmokatotážních údajů 20 hlubinných vrtů v Potiské nížině.

Jejich rozbořem a rozbořem i dalších podkladů jsme stanovili jednak charakteristiky rychlostí jednotlivých neogenických stupňů a jednak variabilitu rychlostí v jednotlivých částech pánve (obr. 1).

Použité podklady

Základem našeho zpracování byly údaje seizmokatotážních měření na jednotlivých vrtech. Vzhledem k různé metodice měření a dále vzhledem k objektivním příčinám (hlavně vysoké teploty) nelze získané materiály přijímat vždy bez výhrad. Větší počet údajů, které jsou k dispozici, dovoluje však většinu významnějších chyb eliminovat (vrt Lastomír-2, Ptrukša-7 apod.). Většina starších seizmokatotážních měření

byla prováděna v rámci reflexně seizmických prací v dané oblasti a také byla dokumentována v příslušných výročních zprávách. Teprve později, od r. 1971 (V. Filková — J. Pernica 1971—1976) se přikročilo k samostatnému hodnocení jednotlivých vrtů. Při našem zpracování jsme použili vedle seizmokatotáže i dalších podkladů, zejména elektrokatotážního měření, akustické katotáže, dále výsledků rychlostních analýz vyhodnocených podél reflexně seizmických profilů samočinným počítačem. Rovněž jsme přihlíželi k údajům týkajícím se stratigrafických, tektonických poměrů, fyzikálních vlastností vrtních jader, petrografických i kalci-metrických analýz vrtních jader a výplachových úlomků.

Tyto materiály jsme souhrnně zhodnotili a předložili jako jednotné zpracování pro praktické potřeby užité interpretace reflexně seizmických měření. Toto zpracování (včetně rozvinutých rychlostních grafů, dokumentace všech seizmokatotážních měření apod.) je archivováno v n. p. Geofyzika Brno (R. Lukášová — M. Mořkovský — M. Klíč 1980).

Použité stratigrafické údaje byly získány na základě mikrobiostratigrafických analýz a korelací elektrokatotážních záznamů od pracovníků geologického odboru Moravských naftových dolů, k. p., Hodonín (tab. 1).

Rozbor rychlostí seizmických vln

Při analýze rychlostí šíření seizmických vln v neogenických souvrstvích Potiské nížiny jsme vycházeli ze souhrnného zpracování údajů seizmokatotážního měření na 20 hlubinných vrtech zkoumané oblasti.

Vzhledem k dosaženým výsledkům, kdy se zjistilo rozčlenění území z hlediska rychlostních poměrů a vzhledem k rozsáhlosti problematiky, přikládáme

Přehled stratigrafie použitých vrtů:
Review of stratigraphy and thickness in measured boreholes

Tab. 1

Vrt	Ptr-22	Se-2	Tre-5	Zatín-1	Alb-4	Bá-13	Bunk-1	La-1
pliocén-panon	0—880 m	—	0—280 m	0—360 m	—	0—120 m	0—800 m	0—390 m
vyšší sarmat	—1530 m	0—555 m	—970 m	—500 m	—	—315 m	—1090 m	—735 m
spodní sarmat	—2707 m	—1350 m	—1615 m	—1310 m	0—660 m	—755 m	—1215 m	—1702 m
svrchní bádén bra-kický	—	—2065 m	—2515 m	—	—2105 m	—1845 m	—	—2505 m
svrchní bádén (bol. bul. z.)	—3607 m	—2580 m	—3040 m	—2830 m	—2525 m	—2570 m	—	—2790 m
střední bádén	—	—2895 m	—3163 m k. h.	—3070 m	—2785 m	—3160 m	—	—3090 m
spodní bádén	—	—3210 m k. h.		—3656,7 m k. h.	—3013 m	—3510 m	—	—3533 m k. h.
karpát	—				—3200 m k. h.	—3777 m k. h.	—	
podloží	—3713 m k. h.						—2100 m k. h.	
	R. Jiříček (ústní sdělení)	R. Jiříček (1971)	R. Jiříček (ústní sdělení)	R. Jiříček (ústní sdělení)	R. Jiříček (1971)	R. Jiříček (ústní sdělení)	R. Rudinec — J. Magyar (1979)	R. Jiříček (1971)

pro ilustraci v tomto článku detailnější materiál jen z vrtů charakterizujících jednotlivé seizmogeologické rajóny (obr. 2, 3). Přehledné znázornění rychlostních závislostí, kde jsou zahrnuty výsledky všech seizmocarotáží, je vyznačeno na obr. 4, 5.

Souborné zpracování vertikálních hodochron t_0 (H), tj. závislosti času příchodu vlny na hloubce, ukázalo, že celkově lze vyčlenit na základě průběhu jednotlivých křivek t_0 (H) v souhrnném grafu 3 pásma.

1. pásmo zahrnuje křivky t_0 (H) z vrtů Stretava-21, Bunkovce-1, Bánovce-1, Lastomír-1, spodní část křivky Lasto-

mír-2, Rebrín-1, Ptruksa-22, Ptruksa-2, Ptruksa-7.

2. pásmo tvoří křivky Malčice-1, Zatín-1, Trhoviště-26, Sečovce-1, Bánovce-13, Iňačovce-1.

3. pásmo obsahuje křivky vrtů Trebišov-5, Sečovce-2, Rakovec-2, Klčovo Dlhé-2, Albínov-4.

Uvedené rozčlenění je výrazné od hloubky —1000 m. Křivky 1. pásma vykazují pro tytéž hloubky nejdelší časy, pásma 3. nejkratší časy, křivky pásma 2. jsou mezilehlé. Uvedené rozložení rychlostních křivek v generelu je odrazem geologické stavby pánve.

1. pásmo zahrnuje vrty situované

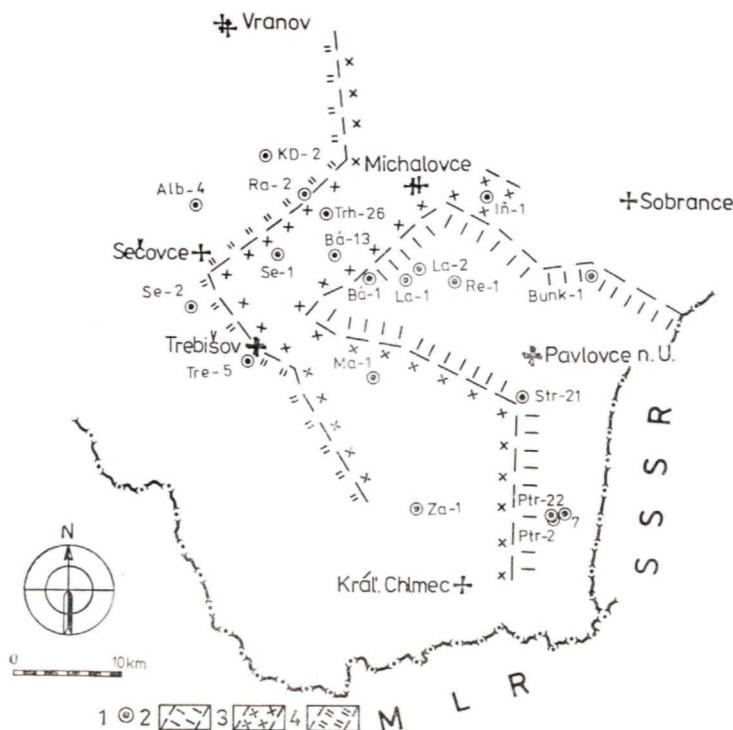
převážně v centrální části pánve. V maximálních mocnostech tam byly zastíženy sedimenty panonu-pliocénu a vyššího sarmatu, které oproti stratigraficky hlubším stupňům obsahují vesměs méně pískových horizontů i méně karbonátového tmele. Rovněž litologický vývoj spodního sarmatu, ve srovnání se z. okrajovými částmi pánve, je více pelitický.

Anomální průběh křivky t_0 (H) vrtu Bunkovce-1 od hloubky okolo 1250 m je vyvolán výraznou změnou litologie.

Vrtem bylo totiž v intervalu 1215–2100 m zastíženo paleozoické podloží neogénu, budované vápnitými břidlicemi.

2. pásmo rychlostních křivek vzniklo kombinací jevů, z nichž jsou nejvýznamnější jednak strukturní pozice mezi okrajovými a pánevními vývoji a z ní vyplývající litologická charakteristika a dále vulkanismus.

3. pásmo zahrnuje rychlostní křivky vrtů okrajových částí pánve. Při výrazných strukturních rozdílech mezi okra-

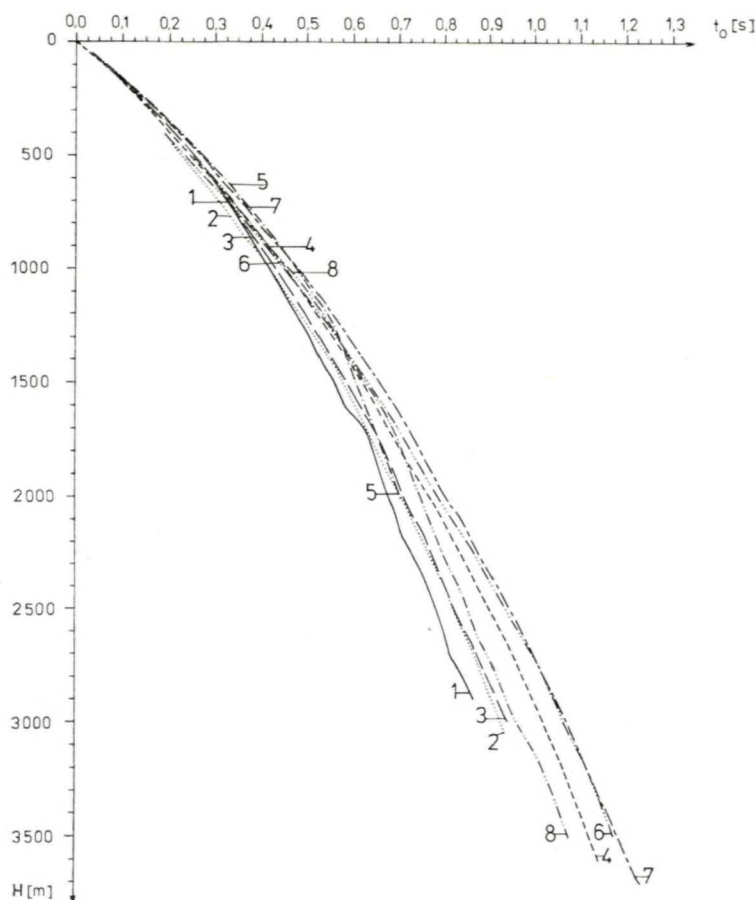


Obr. 1. Přehledné schéma rychlostních poměrů v Potiské nížině

1 — hlubinné vrtu se seizmocarotáží (Klčovo Dlhé-2, Albínov-4, Rakovec-2, Sečovce-2, Trebišov-5, Trhoviště-26, Sečovce-1, Bánovce-13, Iňačovce-1, Malčice-1, Zátin-1, Bánovce-1, Lastomír-1, 2, Rebrín-1, Bunkovce-1, Stretava-21, Ptruksa-2, 7, 22), 2 — rozsah použití rychlostních závislostí 1. pásma, 3 — rozsah použití rychlostních závislostí 2. pásma, 4 — rozsah použití rychlostních závislostí 3. pásma

Fig. 1. Schematic presentation of seismic wave velocity distribution in the Potiská nížina lowland area

1 — deep borehole site with seismic logging measurements (Klčovo Dlhé-2, Albínov-4, Rakovec-2, Sečovce-2, Trebišov-5, Trhoviště-26, Sečovce-1, Bánovce-13, Iňačovce-1, Malčice-1, Zátin-1, Bánovce-1, Lastomír-1 and -2, Rebrín-1, Bunkovce-1, Stretava-21, Ptruksa-2, -7, 22), 2 — span of applied velocity dependence in the first belt, 3 — span of applied velocity dependence in the second belt, 4 — span of applied velocity dependence in the third belt



Obr. 2. Seismokarotážní měření v oblasti Potiské nížiny. Vertikální hodochrony t_0 (H)

1 — Albinov-4, 2 — Sečovce-2, 3 — Trebišov-5, 4 — Bánovce-13, 5 — Bunkovce-1, 6 — Lastomír-1, 7 — Ptruksa-22, 8 — Zátin-1

Fig. 2. Seismic logging measurements in the Potiská nížina lowland area. Vertical hodochrons t_0 (H)

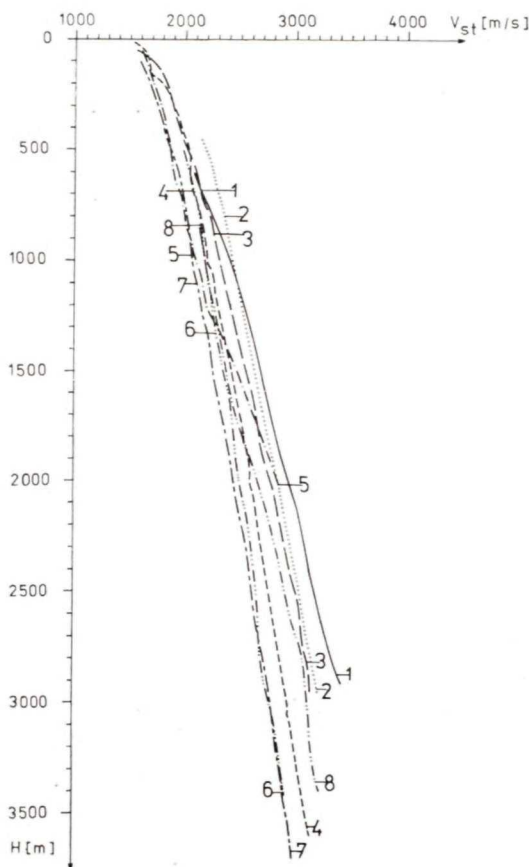
1 — Albínov-4, 2 — Sečovce-2, 3 — Trebišov-5, 4 — Bánovce-13, 5 — Bunkovce-1, 6 — Lastomír-1, 7 — Ptruksa-22, 8 — Zátin-1.

jovými a pánevními částmi bazénu budují okrajové části stratigraficky starší sedimentární komplexy, které se vesměs vyznačují větším zastoupením hruběji klastických sedimentů — pískovců. Dále jsou tam zastoupeny, z hlediska rychlostí, významné členy sedimentárních komplexů, které v pánevních vývojích podléhají větším litofaciálním změnám, a tedy i významným změnám rychlostí — sedimenty brakického svrchního bádenu.

Shodný obraz ovšem podávají křivky středních rychlostí V_{st} (H). Rozpětí, ve kterém se pohybují křivky středních rychlostí 1. pásma, činí v hloubce 500 m 1850—2000 m/s, v hloubkách kolem 2500 m dosahují

hodnot 2500—2650 m/s. Pásmo 2. je charakterizováno středními rychlostmi 1850—2100 m/s v hloubce 500 m a 2750—2900 m/s v hloubce 2500 m. Křivky středních rychlostí 3. pásma se v hloubce 500 m pohybují v intervalu 2000—2200 m/s, v hloubce 2500 m vykazují rychlosti 3000—3200 m/s.

Posuzujeme-li obor rychlostí, ve kterém se pásma, zahrnující výše uvedené skupiny vrtů, pohybují, dochází v neogénu Potiské nížiny k dosti výraznému snižování středních rychlostí elastic- kých vln zhruba ve směru od Z k V. Tento trend je podmíněn hlavně litologií komplexů sedimentů, která je kontrolována stratigraficko-tektonickými poměry. Tak souvrství sarmatu v z. části



Obr. 3. Seizmokarotážní měření v oblasti Potiské nížiny. Střední rychlosti V_{st} (H). Označení vrtů stejné jako na obr. 2
 Fig. 3. Seismic logging measurements in the Potiská nížina lowland area. Mean velocities V_{st} (H). Borehole notation as in fig. 2

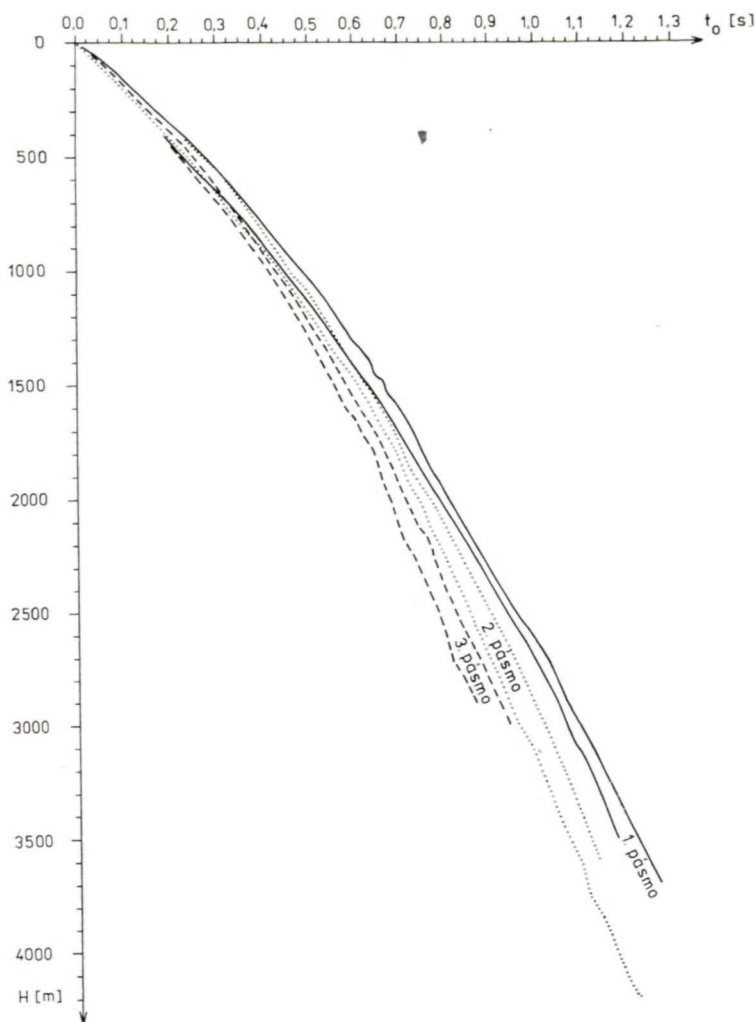
pánve obsahují větší množství pískovcových poloh o vyšších rychlostech seismických vln oproti panonským sedimentům s větším podílem pelitické sedimentace na V. Zmíněný rozdíl ve středních rychlostech v hlubších částech neogénu (v hl. 2500–3000 m) z. okrajových částí pánve oproti centrálním a v. oblastem činí 500–600 m/s. Je pravděpodobné, že na uvedeném výrazném rozdílu rychlostí se podílejí i zóny anomálního vrstevního tlaku, zjištěné zejména vrtů v oblasti Lastomíra a Stretavy. Tyto zóny podmiňují snížení rychlostí elastických vln.

Při korelaci vztahů rychlostních poměrů ke geologické stavbě bylo použito i údajů automatické rychlostní analýzy vyhodnocené samočinným počítačem

podél reflexně seismických profilů. Zjistili jsme, že v časovém intervalu 0,6–1,6 s jsou tyto údaje prakticky shodné s hodnotami středních rychlostí zjištěnými ze seizmokarotážních měření.

Pro využití získaných údajů o rychlostech a řešení jejich vztahu ke strukturní pozici v pánvi jsme provedli podrobnou analýzu vrstevních rychlostí a tyto výsledky srovnali s údaji litologie a stratigrafie.

Rozbor vrstevních rychlostí získaných z vertikálních hodochron jednotlivých seizmokarotážních měření byl proveden pro neogenní sedimenty pliocénu–panonu, vyššího a spodního sarmatu, brackického svrchního bádenu, zóny boliviho-buliminové svrchního bádenu, středního a spodního bádenu a karpátu. Zá-



Obr. 4. Přehledné rozložení rychlostních závislostí v Potiské nížině (vertikální hodochrony t_0 (H))

Fig. 4. Schematic distribution of velocity dependences in the Potiská nížina lowland area. Vertical hodochrons t_0 (H)

kladní poznatky o rychlostní charakteristice jednotlivých neogenních stupňů dokumentují grafy vrstevních rychlostí vztahených ke stratigrafii neogenních komplexů. Součástí grafů je i schematické znázornění litologie sedimentárních komplexů.

Pliocén-panon

Zde shrnujeme údaje o vrstevních rychlostech všech stratigrafických stupňů pliocénu až po bázi panonu (obr. 6).

Vrstevní rychlosti zjištěné v tomto

komplexu zahrnují rozpětí hodnot 1600–2680 m/s. Změny rychlostí jednotlivých křivek mají pozitivní charakter, tj. s narůstající hloubkou se zvyšují. I když místně jsou rychlosti ovlivněny změnami litologie (písečná komponenta, vulkanogenní a vulkanický materiál), nejvýraznější narůstání rychlostí je funkcí hloubky, tj. diagenese sedimentů.

Při srovnání hodnot jednotlivých vrtů pozorujeme jasný vztah vrstevních rychlostí ke strukturní pozici v pánvi, která kontrolovala litologický vývoj se-



Obr. 5. Přehledné rozložení rychlostních závislostí v Potiské nížině (křivky středních rychlostí V_{st} (H))

Fig. 5. Schematic distribution of velocity dependences in the Potiská lowland area. Curves of mean velocities V_{st} (H)

dimentů. Okrajové vývoje, event. vývoje na vnitropáněvních elevacích, vynazující se menším počtem pískových horizontů a jejich menšími mocnostmi, vykazují nižší hodnoty V_v (např. vrty Iňačovce-1, Bunkovce-1, Ptruksa-2) oproti pánevím vývojům s větším podílem pískových poloh (Rebrín-1, Stretava-21 aj.). Rychlosti ovšem srovnáváme při stejných hloubkách. Vzhledem k tomu, že v dalším geologickém vývoji pánve nedocházelo k výraznějším inverzím subsidence (přibližně obdobné rozložení i subrecentních a recentních pohybů), nepovažujeme vliv denudace

v jednotlivých strukturně tektonických částech pánve za významný.

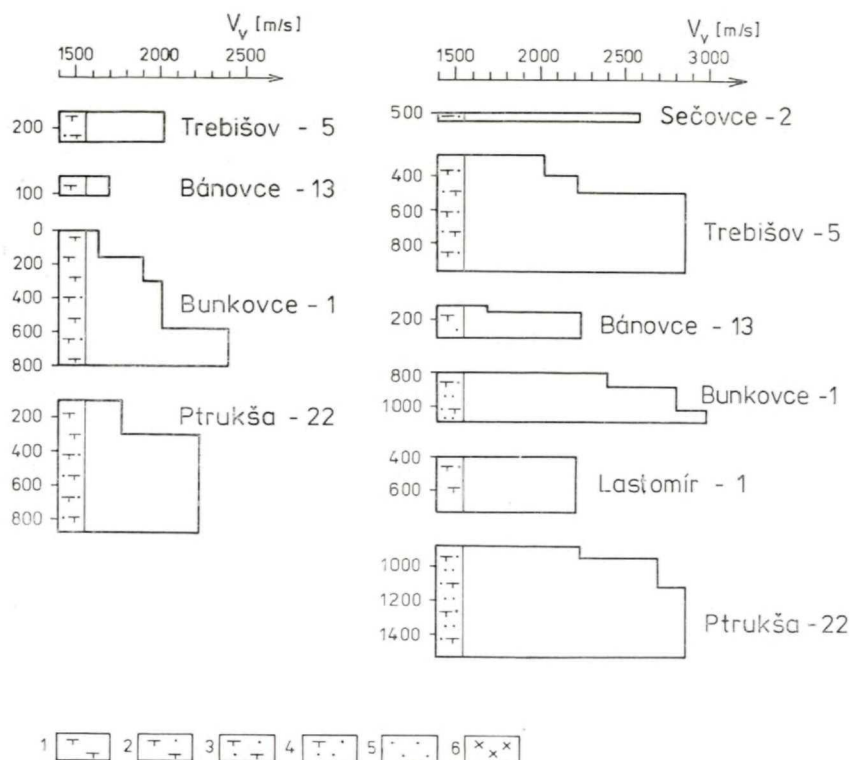
Vyšší sarmat

Vrstevní rychlosti v tomto komplexu se pohybují v rozpětí 1960—3080 m/s. I zde pozorujeme normální narůstání rychlostí se vzrůstající hloubkou. Rovněž tak je zřejmá závislost narůstajících rychlostí (v téže hloubce) u různých vrtů na počtu a mocnosti písků (obr. 6).

Značný rozptyl vrstevních rychlostí, jak vyplývá z grafu, je jen relativní a je značně ovlivněn skupinou vrtů, ve

Pliocén - panon

Vyšší sarmat



Obr. 6. Vrstevní rychlosti — pliocén-panon, vyšší sarmat

1 — vápnité jílovce, 2 — slabě písčité vápnité jílovce, 3 — písčité vápnité jílovce, 4 — silně písčité vápnité jílovce, 5 — pískovce, 6 — vulkanity a jejich pyroklastika

Fig. 6. Bedding velocities, Pliocene-Pannonian and Upper Sarmatian unit

1 — calcareous claystone, 2 — slightly arenaceous marlstone, 3 — arenaceous marlstone, 4 — strongly arenaceous marlstone, 5 — sandstone, 6 — volcanite

kterých se vyšší sarmat nachází v malých hloubkách.

Spodní sarmat

Při sledování hodnot V_v u tohoto komplexu zjistíme, že vcelku jsou hodnoty poměrně vyrovnané. Jako převážně určující se opět jeví přímý vztah rychlostí k hloubce a k litologii souvrství. Naprosto převážná část údajů se v hloubce — 1000 m pohybuje okolo hodnoty 2600 m/s (obr. 7).

Z uvedeného rámce se nápadnější

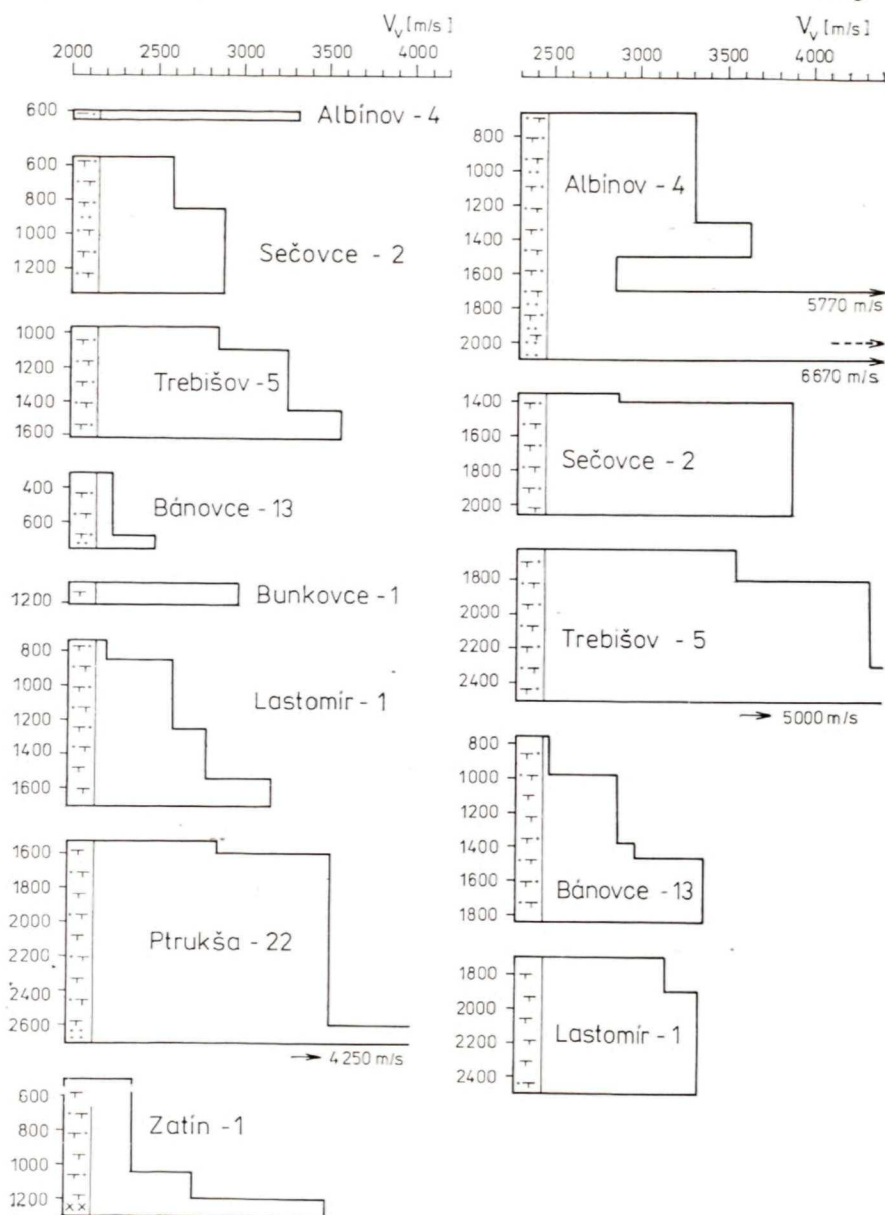
měrou vymykají hodnoty vrtů Malčice-1, Zátín-1 a skupina vrtů ze sz. části pánve: Rakovec-2, Albinov-4 a Klčovo Dlhé-2.

Z původně normálního průběhu rozložení vrstevních rychlostí ve vrtu Malčice-1 v intervalu 855—1240 m dochází hlouběji k enormnímu nárůstu rychlostí až na hodnoty přes 4000 m/s. To je podmíněno přítomností andezitových těles a ložních žil andezitů.

Nápadný nárůst V_v v intervalu 1200—1300 m vrtu Zátín-1 způsobují již ložní žíly eruptiv.

Spodní sarmat

Svrchní bádén brakický



Obr. 7. Vrstevní rychlosti — spodní sarmat, svrchní bádén brakický. Vysvětlivky u obr. 6
 Fig. 7. Bedding velocities, Lower Sarmatian, brackish Upper Badenian units. Explanations as in fig. 6

Konečně poslední anomální skupinou jsou vrty Rakovec-2, Albinov-4 a Klčovo Dlhé-2. U skupiny vrtů ze s. okraje pánve v hloubce okolo 700 m dosahují

vrstevní rychlosti 2760—3320 m/s, tj. vůbec nejvyšších hodnot. Toto zjištění potvrzují též výsledky rozboru automatických rychlostních analýz vyhodno-

cených samočinným počítačem na reflexně seizmických profilech v prostoru vrtů Albinov-4, Sečovce-1 a Lastomír-1. Rozdíl rychlostí v sarmatu v hloubce 600—650 m v s. okrajové části pánve (Albinov-4) ve srovnání s hodnotami v centrálních oblastech (Lastomír-1, Sečovce-1) činí 100—300 m/s.

Uvedenou anomalitu lze stěží vysvětlit odlišným petrografickým složením sedimentů. Podle charakteru elektrokarotážních diagramů jde zejména při s. okraji pánve o převažující pelitický vývoj bez výraznějších poloh psamitů. Obsah uhličitánů ve srovnání s ostatními oblastmi podle charakteru křivek zdánlivého odporu není výrazněji zvýšený. Rovněž charakter vrtních jader nenásvědčuje významnějším litologickým změnám. Jedním z pravděpodobných řešení je vztah této oblasti k poklesové, resp. výzdvihové tektonice. Je možné, že v důsledku mladších pohybů byly oproti jiným částem pánve intenzivněji denudovány původně uložené mocnější komplexy vyššího sarmatu. Tím by bylo možno vysvětlit vyšší hodnoty vrstevních rychlostí oproti recentnímu hloubkovému gradientu. Zmíněný rozdíl V_v při srovnání s hodnotou hloubkového gradientu v jiných částech pánve by mohl odpovídat 400—500 m mocnosti denudovaného komplexu.

Svrchní bádén brakický

Svrchní brakický bádén (obr. 7) byl paleontologicky stanoven pouze v okrajových částech svrchnobádenského sedimentačního prostoru (R. Jiříček, 1971).

Hodnoty vrstevních rychlostí ve svrchním brakickém bádenu se pohybují ve značném rozmezí, a to od 2500 m/s ve vrtu Bánovce-13 v hl. 900 m až po 6000 m/s ve vrtu Albinov-4 v hl. 1700 m.

Skutečně nejnižší hodnoty vrstevních rychlostí vztažené k týmž hloubkám

byly zjištěny v oblastech vrtů Lastomír, Rebrín, Bánovce-13, Sečovce-1. Odtud směrem k JZ hodnoty vzrůstají — vrt Sečovce-2.

Nejvyšších hodnot, které převyšují hloubkový gradient, tj. nárůst rychlosti s hloubkou, dosahují vrstevní rychlosti opět u vrtů Albinov-4, Klčovo Dlhé-2, Rakovec-2. Zvýšené hodnoty pozorujeme i u vrtů Trebišov-5 a Sečovce-2. Stejně jako u souvrství spodního sarmatu se domníváme, že u vrtů při s. okraji pánve i u svrchního brakického bádenu jde o efekt pozdějších, tj. epigenetických pohybů, v jejichž důsledku byly tyto komplexy vyzdviženy a nacházejí se v relativně menších hloubkách.

Obdobný princip, zvýšení rychlostí elastických vln v důsledku zpevnění váhou nadložních, ale později denudovaných sedimentů, popsal B. L. Alexandrov (1977).

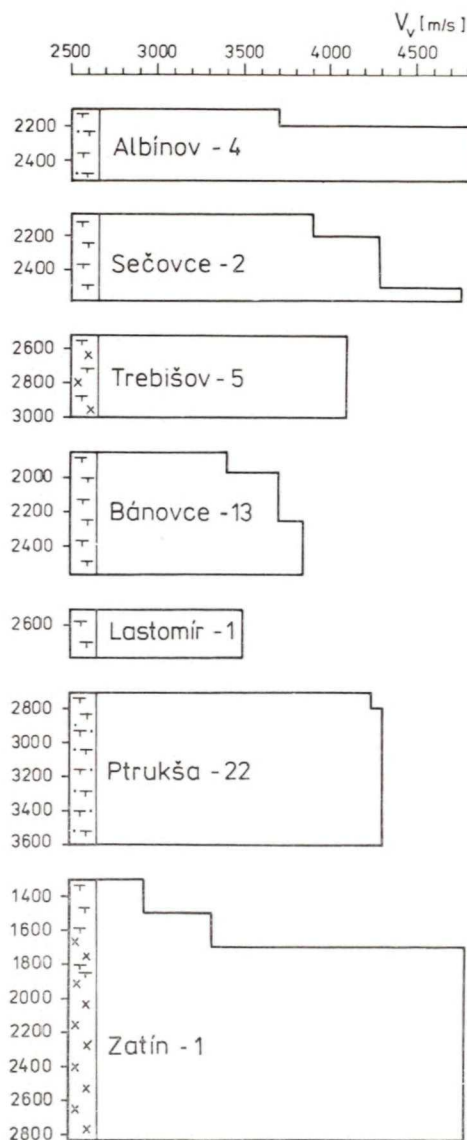
Obdobně jako u souvrství spodního sarmatu, lze prokázat, že celkové anomální zvýšení rychlostí nevyvolávají lokální příčiny, jako komplexy pískovců apod. Ty se zde rovněž objevují a projevují se významně zvýšenými hodnotami rychlostí. Rozhodujícím je však celkový zvýšený trend, který je patrný zejména u plastických hornin — jílů.

Lokální, výrazné rychlostní anomálie představují bazální polohy svrchního brakického bádenu. Jde o polohy pískovců, které podle křivky zdánlivého odporu elektrokarotážního měření obsahují více karbonátů oproti nadložním polohám (vrt Albinov-5 v intervalu 1680—2100 m, Klčovo Dlhé-2 v intervalu 1420—1520 m).

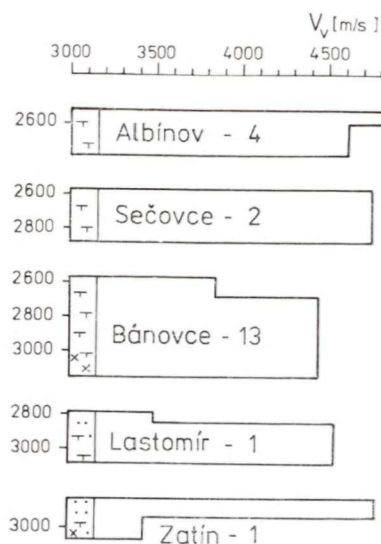
Svrchní bádén — zóna bolívino-bulminová

S výjimkou vrtu Zátín-1, kde zvýšení vrstevních rychlostí vyvolávají četná andezitová tělesa a jejich proudy, ne-

Svrchní bádén (zóna bolivino buliminová)



Střední bádén



Obr. 8. Vrstevní rychlosti — svrchní bádén — zóna bolivino-buliminová, střední bádén. Vy-světlivky u obr. 6

Fig. 8. Bedding velocities, Upper Badenian (Bolovina-Bulimina zone) and Middle Badenian units. Explanations as in fig. 6

pozorujeme mezi jednotlivými oblastmi výraznějších odchylek v hodnotách vrstevních rychlostí (obr. 8). S výjimkou změn podmíněných litologií, které jsou někdy významné, jak dále uvedeme, odpovídají rychlosti normálnímu průběhu hloubkového gradientu. Nižší hodnoty rychlostí na vrtu Lastomír-2 jsou podmíněné vysokými vrstevními tlaky (M. Mořkovský 1980).

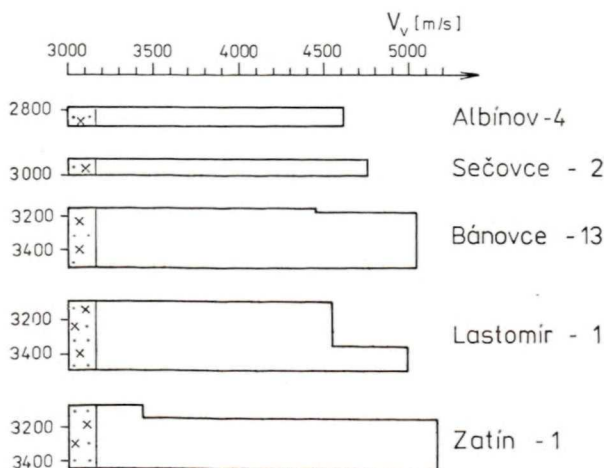
Tak u vrtu Rakovec-2, kde i přes poměrně hojné písčité až pískovcové polohy převládá pelitická sedimentace, byla v hloubce 1400 m zjištěna $V_v = 3260$ m/s. Ta odpovídá rychlostem ve spodnosarmatských pelitech v hloubce 1400 m ve vrtech Trebišov-5, Rebrín-1, v brakickém bádenu vrtu Bánovce-13, Trhoviště-26 v hloubce 1400 m a i ve vyšším sarmatu vrtu Ptruksa-7 v téže hloubce.

Významnými změnami vrstevních rychlostí podmíněnými litologicky, jsou výrazně zvýšené hodnoty na bázi zóny bolivino-buliminové. Byly zjištěny u vrtů

Klčovo Dlhé-2, Albinov-4, Sečovce-2, Lastomír-2. Rychlosti v tomto souvrství dosahují hodnot přes 4500 m/s. Závažnou okolností je to, že stejné rychlosti se objevují i v podložní solinosné zóně aglutinancí.

Po litologické stránce jde u zóny bolivino-buliminové, jak jsme výše uvedli, o převažující pelitickou sedimentaci. Pouze v bazální části přibývá pískovcových horizontů, až např. u vrtu Lastomír-2 reprezentuje bázi vysloveně pískovcový komplex. U vrtů Klčovo Dlhé-2, Albinov-4, Sečovce-2 křivka PS elektrokarotážního měření neindikuje významnější zvýšení propustnosti, avšak prakticky u všech vrtů pozorujeme zvýšení hodnot zdánlivého odporu. Je možné, že údaje křivky PS nejsou vždy reprezentativní a že zvýšení rychlostí na bázi zóny bolivino-buliminové můžeme přičítat zvýšenému obsahu uhličitánů v písčitéjších polohách.

Spodní bádén



Karpat



Střední bádén — zóna aglutinancí

Zóna se vyznačuje vesměs výrazně detritičtějším charakterem oproti vyšší části zóny bolivino-buliminové (obr. 8). Tam, kde se stýká s písčitéjším vývojem báze zóny bolivino-buliminové, neliší se hodnoty vrstevních rychlostí.

Stejně tak nepozorujeme větší rozdíly v rychlostech vlastního solinosného komplexu a sedimentárních komplexů bez chemogenní sedimentace zóny aglutinancí (Lastomír-2, Albinov-4, Klčovo Dlhé-2, Rakovec-2 aj.). Jde vesměs o hodnoty $V_v = 4400-4600$ m/s. To pak vysvětluje i tu okolnost, že chemogenní souvrství, mocná až 100 m, se neprojeví v časových řezech jako seizmicky výraznější komplexy.

Spodní bádén

Obdobný charakter pozorujeme i u komplexů spodního bádénu (obr. 9). Rozsah vrstevních rychlostí je prakticky stejný jako u středního bádénu.

Výraznější nárůst je patrný pouze

Obr. 9. Vrstevní rychlosti — spodní bádén, karpat. Vysvětlivky u obr. 6

Fig. 9. Bedding velocities, Lower Badenian and Karpathian units. Explanations as in fig. 6

u vrtu Bánovce-13 a v hlubší části spodního bádenu u vrtů Lastomír-1 a Lastomír-2. Je podmíněn větším zastoupením detritické frakce, což je zřetelně patrné zejména u vrtu Bánovce-13 na průběhu křivky PS. Zřejmě obdobná, i když méně zřetelná, vzhledem k charakteru EK-diagramu, bude závislost i u vrtů Lastomír-1 a Lastomír-2. Tak např. i u vrtu Lastomír-2 klesají hodnoty křivky zdánlivého odporu a zvedají se hodnoty křivky PS, jako u vrtu Bánovce-13. Větší rozdíl mezi vrstevními rychlostmi středního a spodního bádenu ve vrtu Zátin-1 je zřejmě podmíněn hojnou tufitickou složkou ve středním bádenu.

Karpat

I přes malé množství údajů týkajících se karpátu (obr. 9) je zřejmé, že vrstevní rychlosti karpátu zastiženého ve vrtech v hlubších částech pánve odpovídají normálnímu hloubkovému gradientu. Údaje vztažené ke stejné hloubce u jednotlivých vrtů nemají velký rozptyl. Jedině vrtem Iňačovce-1, byl karpát navrtán v hl. 1160—1940 m.

Ale i v tomto případě jde pravděpodobně o normální hloubkovou závislost. Vrstevní rychlost v hl. 1500 m (3580 m/s) se podstatněji neliší od zóny bolivino-buliminové vrtu Rakovec-2 (3260 m/s), brakického bádenu vrtu Sečovce-1 (3280 m/s) či vrtu Sečovce-2 (3900 m/s).

V karpátu vrtu Iňačovce-1 převládají ve vyšším pestrém souvrství jílovce až vápnité siltovce s vápnitým a anhydritovým pojivem (M. Zádrapa 1966), v hlubším karpátu to jsou šedé, slabě vápnité jily až jílovce s ojedinělými proplásky jemnozrnných zpevněných vápnitých pískovců.

Závěr

V předložené práci jsou zpracovány

rychlosti šíření seizmických vln v neogenních souvrstvích Potiské nížiny. Předložené zpracování, jež se opírá hlavně o seizmokatotážní měření, vystihuje poměry rychlostí šíření elastických vln v celé Potiské nížině. Při dané hustotě měření a při současném stavu poznatků o geologické stavbě pánve očekáváme, že větší rozdíly oproti předpokládaným poměrům mohou vzniknout prakticky pouze u vulkanických struktur — obtížnost jejich okonturování — či v oblastech významnějšího nahromadění vulkanogenního materiálu. Pro hloubkovou interpretaci časových řezů měření společného reflexního bodu byly sestaveny modely rychlostí podél všech odměřených profilů.

Při zpracování bylo použito údajů seizmokatotážní metody i jiných metod katotáže. Dále jsme hodnotili podklady týkající se petrografie, kalcimetrie, fyzikálních vlastností vrtních jader, dále podklady týkající se zejména tektonické stavby pánve. Při porovnávání vztahů jsme použili i údajů automatické rychlostní analýzy vyhodnocené samočinným počítačem podél reflexně seizmických profilů.

Celou problematiku, komplikovanou ve východoslovenské neogenní pánvi intenzivní zlomovou a vulkanickou činností, bylo nutno řešit sledováním přímého vztahu rychlostních poměrů ke geologické stavbě. Z analýz křivek vertikálních hodochron a křivek středních rychlostí se zjistil trend poklesu rychlostí elastických vln ve směru Z—V. Tento trend je podmíněn předně litologií komplexů sedimentů, kontrolovanou stratigrafickými poměry často v závislosti na strukturních poměrech. V oblasti Lastomíra a Stretavy se na snížení rychlostí elastických vln podílejí pravděpodobně i komplexy s vysokými vrstevními tlaky.

Rozborem rychlostních křivek se zjistila tři pásma závislosti. První pásmo

charakterizuje křivky vrtů z centrální části pánve s nejnižšími rychlostmi šíření elastických vln. Druhé pásmo je mezilehlé, s uplatňujícím se vulkanismem, a konečně třetí pásmo zahrnuje rychlostní křivky z vrtů v okrajových částech pánve. Vzhledem k litologii, kdy jde o nejhojnější zastoupení hruběji klastických sedimentů, vykazuje toto pásmo nejvyšší rychlosti šíření elastických vln.

Vzhledem ke kerné stavbě a k výraznému režimu vysokých a pokleslých ker v neogenní výplni pánve bylo jako prakticky jediného reálného kritéria použito korelace údajů o rychlostech seizmických vln, vztažených ke stratigrafii neogenních komplexů, tj. vrstevních rychlostí. Jejich rozбором jsme zjistili v s. části pánve zvýšené rychlosti akustických vln oproti hloubkovému gradientu v jiných částech pánve. Považujeme to za projev stlačení nadložními komplexy spodního a vyššího sarmatu, které při pozdějších zvedavých pohybech byly denudovány. Ze zpracování vyplynulo, že v neogenních souvrstvích pliocénu—panonu až karpátu Potiské nížiny (tato platnost je obecná pro neogenní pánve celého karpatského oblouku) platí pro rychlosti šíření elastických vln následující závislosti a vztahy:

1. **hloubkový faktor.** U hornin téhož litologického typu ve stejných hloubkách, pokud nepůsobí další okolnosti, se rychlosti elastických vln šíří přibližně stejnými rychlostmi, bez vztahu ke stáří těchto hornin. Stáří hornin může hrát nepřímou úlohu v tom smyslu, že u starších propustných souvrství je delší časová možnost zaplnění skeletu hornin vysráženými karbonáty či jiným tmelem, eventuálně delší časový interval pro působení tektoniky apod.

2. **Obecná závislost na litostratigrafii.** Závislost je určo-

vána předně litologickými typy stratigrafických celků. V Potiské nížině se elastické vlny šíří nejvyššími rychlostmi v silně vápnitých pískovcích na bázi brakického svrchního bádenu ($V_v =$ až 6000 m).

3. **Vliv lokálních závislostí** souvisejících s faciálním vývojem sedimentů. Je velmi často kontrolován strukturní stavbou — příbřežní či pánevní vývoje, vulkanity apod.

Co se týče solinosného komplexu náležejícího nejvyššímu střednímu bádenu, není možno na základě rychlosti jej oddělit od nadložních svrchnobádenských a ani od hlubších střednobádenských souvrství, jsou-li uložena v pískovcovém vývoji.

Vedle souhrnu údajů nutných pro zpracování reflexně seizmických měření ukázalo soubornější zpracování rychlostních poměrů v neogénu Potiské nížiny, že výsledky jsou v souladu se známým geologickým vývojem pánve a že mohou současné poznatky doplnit.

Významnou je ta okolnost, že ze studia rychlostí elastických vln a petrografických a geochemických poměrů za určité podmínky, kterou však v karpatských neogenních pánvích nacházíme téměř vždy, můžeme alespoň do jisté míry usuzovat na vývoj pánve i v těch obdobích, jejichž sedimenty byly v důsledku pozdějšího tektonického vývoje pánve denudovány, event. na vývoj pánve v období stratigrafických hiátů. Touto podmínkou je předně zastoupení pelitických souvrství jako „paměti“ diagenese nebo bočního stlačení. Zmíněné údaje jsou prakticky jedinými konkrétními daty o těchto obdobích. Při jejich posuzování je však nutná znalost celého komplexu údajů pro upřesnění vlivů petrografického vývoje a chemismu hornin. Stejně tak je nutná znalost dalších, obecnějších, ale zásadních údajů, jako event. fázi tangenciál-

ních pohybů v geologickém vývoji pánve apod.

Pro získání úplnějšího obrazu bude nutno z tohoto aspektu systematicky se více věnovat petrografii, chemismu a obecně fyzikálním vlastnostem hornin.

Recenzoval I. Marušák

LITERATURA

- Alexandrov, B. L. 1977: Vlijanie glubiny zaleganiya i porovovo davleniya na skorost sejsmičeskich voln v glinach. *Něftgaz. Geol. Geofiz. (Moskva)*, No. 7, str. 43—46.
- Čverčko, J. — Ďurica, D. — Rudinec, R. 1969: Příspěvek k hranici torton—sarmat ve východoslovenské neogenní pánvi. *Zpr. geol. Výzk. (Ústř. Úst. geol.) v r. 1967 (Praha)*, sv. 1, str. 252—254.
- Filková, V. — Pernica, J. 1971: Seizmokarotážní měření na hlubinném vrtu Stretava-21. *Manuskript — Geofyzika*, n. p., Brno, 27 str.
- Filková, V. — Pernica, J. 1973: Seizmokarotážní měření na hlubinném vrtu Lastomír-2. *Manuskript — Geofyzika*, n. p., Brno, 7 str.
- Filková, V. — Pernica, J. 1974: Seizmokarotážní měření na hlubinném vrtu Trebišov-5. *Manuskript — Geofond, Bratislava*, 12 str.
- Filková, V. — Pernica, J. 1974: Seizmokarotážní měření na hlubinném vrtu Ptruška-22. *Manuskript — Geofond, Bratislava*, 12 str.
- Filková, V. — Pernica, J. 1976: Seizmokarotážní měření na hlubinném vrtu Trhovište-26. *Manuskript — Geofond, Bratislava*, 34 str.
- Jiříček, R. 1971: Stratigrafické a korelační schéma neogénu Potiské nížiny. *Manuskript — Mor. naftové doly*, k. p., Hodonín.
- Lukášová, R. — Mořkovský, M. — Klíč, M. 1980: Rychlostní poměry v Potiské nížině. — *Manuskript — Geofond, Bratislava*, 102 str.
- Mořkovský, M. 1980: Seizmická detekce zón s anomálně vysokými vrstevními tlaky ve východoslovenské neogenní pánvi. *Zemný Plyn Nafta (Hodonín)*, r. XXV, č. 4, str. 569—574.
- Rudinec, R. — Magyar, J. 1979: Záverečná správa z pionierskeho vrtu Bunkovec-1. *Manuskript — Geofond, Bratislava*, 15 str.
- Zádrapa, M. 1966: Sedimentárně petrografický rozbor jader z vrtu Iňačovce-1. *Manuskript — Geofond, Bratislava*.

Relations between seismic wave velocities and geological structure in the East Slovakian Neogene basin

MILAN MOŘKOVSKÝ, REGINA LUKÁŠOVÁ

Presented results of seismic logging data processing from 20 deep boreholes in the Potiská nížina lowland (East Slovakian Neogene basin) reflect relations valid for the whole area concerned. Due to the complex geological structure comprising considerable faulting and volcanite bodies, the problem was approached by the evaluation of seismic wave velocities in relation to the geological structure, stratigraphy and lithology.

Only data from boreholes characterizing single seismogeological regions are presented (figs. 2, 3). An overlook of all seismic logging measurements effected in the area is in figs. 4 and 5.

The processing revealed three belts of seismic wave velocity distribution in the area (fig. 4). The first belt characterized by data from borehole sites located in the central portions of the basin points to lowest values

of elastic wave velocities. The second belt is characterized by the combination of phenomena from which mainly the structural position between marginal and basinal developments and the related lithology or the presence of volcanite bodies are the most important. The third belt comprises wave curves obtained from borehole sites along the margin of the basin. Here elastic wave velocities are the highest due to the share of coarser clastics.

The distribution of belts points to decreasing mean elastic wave velocities roughly from the W to the E. This trend is due to changing lithology controlled by stratigraphy and tectonics. So, Sarmatian beds on the W contain higher amounts of sandy layers with higher velocities if compared with Pannonian strata of more pelitic composition on the E. Differences of mean velocities in the deeper por-

tions of the basin (2,500 to 3,000 m) between western marginal part and central or eastern part are amounting 500–600 m.s⁻¹. Obviously, decreasing velocities are caused even by zones of anomalous bedding pressures (Mořkovský 1980) found by boreholes at Lastomír and Střetava.

Relations between structural position and seismic wave velocities were investigated by analysis of bedding velocities and comparing results with the lithology and stratigraphical subdivision of the Neogene. Results are plotted in graphs.

Pliocene to Pannonian (fig. 6)

Bedding velocities in the unit fluctuate between 1,600 and 2,680 m.s⁻¹. Despite that velocities are influenced locally by changes in lithology (arenaceous component, volcanogenous matter), the main increase in velocities is due to the increasing depth i. e. due to the diagenesis of sediments. Marginal developments or portions confined to intrabasin elevations, where lesser amount of sandy horizons and their lesser thickness is common, reveal in similar depths but lower velocity values (V_v at Iňačovce-1, Bunkovce-1, Ptruksa-2 boreholes) when compared with basinal developments containing higher amount of sand horizons (Rebrín-1, Střetava-21 a. o.).

Upper Sarmatian (fig. 6)

Bedding velocities in the unit are 1,960 to 3,080 m.s⁻¹. The increase of velocities correlates well with the increasing depth, number and thickness of sandy horizons. The higher V_v dispersion is only relative being caused by data from boreholes drilling the Upper Sarmatian beds at smaller depths.

Lower Sarmatian (fig. 7)

The main relation determining the velocity increase is here again the increasing depth and lithology. Anomalous higher values in boreholes Malčice-1 and Zátín-1 are caused by the presence of volcanite bodies. A group of boreholes located in the NW part of the basin (Rakovce-2, Albínov-4 and Kolčovo Dlhé-2) yielded bedding wave velocities of 2,760 to 3,320 m.s⁻¹ in about 700 m depth which are the highest values obtained at all in the area.

This anomaly may not be explained by

specific lithology of the site where mainly pelitic developments are concerned according to electrical logging diagrams. The carbonate content currently increasing the elastic wave velocities is not even conspicuously higher. One may suppose that the feature is caused by *compaction imposed by higher stratigraphical units* (Upper Sarmatian) which, however, became *later eroded* due to the emersion of the whole northern part of the basin. Differences in bedding velocities when compared with depth gradient values in other parts of the basin may point to 400–500 m thick eroded strata. Similar case has been reported by Alexandrov (1977).

Upper Badenian in brackish development (fig. 7)

The Kolčovo Member (Čverčko — Rudinec 1968) yielded the lowest values of bedding velocities referred to the same depth of boreholes Lastomír, Rebrín, Bánovce-13 and Sečovce-1. At Lastomír and Rebrín relations are influenced by anomalous bedding pressures. Highest values surpassing the relative depth gradient occur in boreholes along the northern margin of the basin similarly to the Lower Sarmatian. It is supposed that such values are due to epigenetic movements and the unit occupies here subsequently shallower depth. It is provable, in this case similarly even to Lower Sarmatian beds, that the overall anomalous velocity increase is not caused by local influences as sand layers etc. which do occur at the site and usually have higher velocity values. Crucial is the overall increased trend detectable mainly within originally plastic rocks as clay and claystone. Local pronounced velocity anomalies are caused by calcareous sandstone layers at the base of the brackish Upper Badenian. According to the apparent resistance curve from electrical logging data, the amount of carbonate is here higher if compared with overlying horizons.

Upper Badenian (Bolivina-Bulimina zone, fig. 8)

With the exception of local influences e. g. volcanics in the Zátín-1 borehole or the areally restricted presence of sand layers, no significant deviations from the depth gradient were stated. Slight influence of subsequent elevational movements may be represented by relatively higher velocities in the northern part of the basin. The velocity decrease in

Lastomír area is due to high bedding pressures.

Middle Badenian (zone of agglutinations, fig. 8)

This zone is characterized by more detritic constituents as the higher Bolivina-Bulimina zone. Along the contact with the more sandy development of the former, bedding velocities are the same. No pronounced differences may be drawn between evaporitic sequence of the unit and areas without chemogenous constituent in the zone of agglutinations. Consequently, the up to 100 m thick chemogenous complex in the northern part of the basin does not represent itself in time section as a marked horizon.

Lower Badenian (fig. 9)

The span of bedding velocity values is here the same as in the case of Middle Badenian. Higher detritic admixture causes again velocity increase. Differences in bedding velocity values observable in Middle to Lower Badenian beds in the Zátin-1 borehole are obviously caused by higher amount of tuffaceous admixture in the Middle Badenian.

Karpathian (fig. 9)

Bedding velocity values in Karpathian beds drilled in deeper parts of the basin refer to the normal depth gradient. Karpathian beds in shallow depth were pierced at Iňačovce-1. Even here, the velocity in 1,500 m depth ($3,580 \text{ m.s}^{-1}$) is near to values of the brackish Upper Badenian at Sečovce-1 ($3,280 \text{ m.s}^{-1}$) and Sečovce-2 ($3,900 \text{ m.s}^{-1}$).

Conclusions

The following relations and influences on seismic wave velocity distribution may be deduced for beds of Neogene age in the Potiská nížina lowland:

1) *Influence of the depth factor.* Rocks of

the same lithological type in the same depth reveal also similar elastic wave velocities, inasmuch no other influences are present, without dependence on age. The influence of age may be only conditional as in the case of older permeable rock units there was more time to fill up the rock skeleton by carbonate precipitation or by argillaceous cement. There was more time also for the action of tectonic influences.

2) *General dependence on lithology* is reflected mainly by lithological peculiarities of single stratigraphical units. Elastic waves are spreading by highest velocities in strongly calcareous sandstone of the basal Upper Badenian of brackish facies (V_v values up to $6,000 \text{ m.s}^{-1}$) and this value is the highest found in the whole area.

3) *Local influences* are related to the facial development of sediments what in turn is depending on the structural position (marginal or central position in the basin, volcanites a. o.). Completed models and evaluation of seismic wave velocity distribution for the basin are considered correct due to the considerable amount of deep borehole sites where seismic logging measurements were applied. Considerable deviations from the general picture may occur in hitherto less known volcanic areas where the variability of physical properties of rocks is also the highest.

Another important deduction is that the development of the basin may be appreciated from seismic wave velocity distribution even for those portions where the sedimentary filling has been eroded subsequently due to later tectonic movements. Such deductions may be made even for time intervals of stratigraphical hiatuses. For such cases, however, a whole complex of data is needed to accurate influences of petrography and chemical composition of rocks. Similarly further data as e. g. the time of tangential movements a. o., are necessary.

The present picture may be further improved by systematic collection of data on petrographical composition, chemical and physical properties of rocks,

Preložil I. Varga