

Granica ordowik/sylur — poziomy graptolitowe a chronostratygrafia: problemy i nowe koncepcje

Teresa Podhalańska*

The Ordovician/Silurian boundary — graptolithic biozonation and chronostratigraphy: problems and new ideas. Prz. Geol., 51: 942–946.

S u m m a r y. Despite continuous study and considerably discussion a number of essential problems concerning the Ordovician/Silurian boundary and its stratotype have been lately raised and the new ideas relevant to the Ordovician/Silurian transition continue to be expressed. The new data from well preserved and rich in fauna Chinas' profiles as well as restudy of the Dob's Linn (Scotland) standard profile caused that a revision to the biostratigraphic definition of the O/S boundary is proposed. According to the newest suggestion the basal of the Silurian is the Akidograptus ascensus Zone which is overlain by the acuminatus Zone. These data are compared with the essential results of the recently investigated profiles from the Łeba Elevation (northern Poland) and Holy Cross Mts.

Key words: Ordovician/Silurian boundary, biostratigraphy, Łeba Elevation, northern Poland

Przełom ordowiku i syluru charakteryzował się istotnymi zdarzeniami natury paleogeograficznej, paleoklimatycznej i paleontologicznej. Jedno z większych zlodowaceń w historii Ziemi, a później znaczne ocieplenie klimatyczne i spowodowana tym transgresja, zmiany paleogeograficzne w wyniku rozpadu Gondwany oraz wielkie wymieranie stanowią przyczynę dużej różnorodności zapisu geologicznego w późnym ordowiku i wczesnym sylurze i wynikających z tego problemów natury korelacyjnej. Badania stratygraficzne prowadzone na

pograniczu ordowiku i syluru poprzez uzyskanie podstaw do wiarygodnych korelacji rzutują również na rozwiązanie wielu innych zagadnień merytorycznych jak określenie tektogenezy obszaru Polski, w tym odtworzenie scenariusza kolizji płyt oraz określenie przestrzennych i czasowych relacji między zdarzeniami tektonicznymi w starszym paleozoiku.

Zasadnicze elementy biostratygrafii syluru Polski są oparte na podziale graptolitowym, przedstawionym przez Tellera (1969), który wydzielił w sylurze 42 formalne poziomy biostratygraficzne oraz Tomczyka (1954–1986), którego liczne opracowania zawierające schematy biostratygraficzne oparte na graptolitach, dotyczą stratygrafii

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; tpod@pgi.waw.pl

Poziomy graptolitowe Graptolite biozones	Chronostratygrafia Chronostratigraphy				Zmiany batymetryczne Bathymetric changes	
	przed 1985 r. before 1985		po 1985 r. after 1985		głęboko deep	plytko shallow
<i>acuminatus</i>		rhuddan Rhuddanian	SYLUR SILURIAN	rhud. Rhudd.		
<i>persculptus</i>	SYLUR SILURIAN		ORDOWIK ORDOVICIAN	górną Upper		
<i>extraordinarius / bohemicus</i>	ORDOWIK ORDOVICIAN	hirnant Hirnantian		hirnant Hirnantian		
<i>anceps / pacificus</i>		rawthey Rawtheyan		dolną Lower		

Ryc. 1. Korelacja jednostek bio- i chronostratygraficznych przed i po ustaleniu Komisji Systemu Sylurskiego w 1985 r. oraz zmiany batymetryczne w pobliżu granicy ordowik/sylur

Fig. 1. Correlation of the bio- and chronostratigraphical subdivision before and after 1985 and bathymetric changes near the Ordovician/Silurian boundary

syluru zarówno obszaru Gór Świętokrzyskich, jak i obniżenia bałtyckiego. Podział stratygraficzny syluru prezentowany w pracy Tomczykowej (1988) zawiera korelację poziomów graptolitowych z wydzielonymi przez Tomczyków (1979) regionalnymi jednostkami stratygraficznymi o randze pięter i serii.

Nowszy podział biozonalny syluru w Polsce przedstawiony przez Urbanka i Teller (1997) jest oparty o międzynarodowy podział chronostratygraficzny; nie obejmuje jednak landoweru oraz strefy pogranicza ordowiku i syluru. Schemat stratygrafii syluru obniżenia bałtyckiego zestawiony na podstawie literatury przez Szymańskiego i Modlińskiego (2003) zawiera w rhuddanie (ang. *Rhuddanian*) cztery poziomy graptolitowe: *Parakidograptus acuminatus*, *Atavograptus atavus*, *Lagarograptus acinaces* i *Coronograptus cyphus*.

Starsze prace podejmujące głównie problem stratygrafii górnego ordowiku i dolnego syluru w różnym stopniu koncentrowały się na problemie pogranicza tych dwóch systemów i siłą rzeczy nie obejmowały najnowszych ustaleń (Bednarczyk i in., 1996; Podhalańska, 1977; Teller, 1988; Tomczyk, 1962, 1982, 1986; Tomczyk & Tomczykowa, 1976).

Konstrukcja podziału biozonalnego dla polskiej strefy pogranicza ordowiku i syluru w powiązaniu z litostratygrafią oraz, co najważniejsze, przy zastosowaniu ujednoczonych ram chronostratygraficznych jest koniecznym elementem służącym korelacji poszczególnych jednostek w Polsce i na świecie. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie najnowszych poglądów dotyczących ustalenia granic jednostek biostratygraficznych w interwale granicznym ordowik/sylur, jak również problemów związanych z określeniem na ich podstawie granic jednostek chronostratygraficznych.

Najnowsze poglądy na temat granicy ordowik/sylur

Od czasów Murchisona i Lapwortha (II połowa XIX w.), którzy jako pierwsi wyznaczyli granicę między ordowikiem i sylurem, początkowo na podstawie fauny brachio-

podów *Stricklandia*, później w spągu poziomu *acuminatus*, uznając za typowy obszar Dob's Linn w Szkocji, wielokrotnie podejmowano problem granicy między tymi dwoma systemami zarówno w facjach głębokonerytycznych, jak i płytkowodnych oraz korelacji między nimi. Wydzielenie przez Jonesa (1909) poziomu *persculptus*, stanowiącego faktycznie odpowiednik dolnej części poziomu *acuminatus* sensu Lapworth, spowodowało, że właśnie ten poziom zgodnie z Międzynarodowym Leksykonem Stratygraficznym (Whittard, 1961) był traktowany jako najstarszy poziom graptolitowy syluru. Ponieważ późniejsze badania wykazały, że graptolity poziomu *persculptus* w wielu rejonach świata współwystępują z bentoniczną, o światowym rozprzestrzenieniu fauną *Hirnantia*, która wielokrotnie była przedmiotem analiz, a ostatnio stała się przedmiotem kompilacyjnego opracowania (Rong i in., 2002) problem granicy między ordowikiem i sylurem podejmowany również w ostatnim czasie przez autorkę (Podhalańska, 1999, 2002, 2003) stał się znowu przedmiotem dyskusji.

W 1985 r. Podkomisja Stratygraficzna Systemu Sylurskiego podjęła uchwałę przyjmującą spąg poziomu *acuminatus* za spąg syluru (Cocks, 1985). Profil Dob's Linn, w południowej Szkocji, został formalnie uznany za stratotyp granicy ordowik/sylur (ryc. 1).

„Granica jest ustanowiona w spągu poziomu *P. acuminatus*, wyznaczonego w miejscu pierwszego pojawienia się *Akidograptus ascensus* Davies i *Parakidograptus acuminatus* (Nicholson), s.l.” (Williams, 1988). Poprzez pojawienie się kosmopolitycznych i charakterystycznych graptolitów z grupy akidograptinów uzyskano dobrze czytelny poziom korelacyjny. Chociaż zdaniem niektórych (Berry, 1987; Rickards, 1988) granica ordowik/sylur ustanowiona w spągu tego poziomu wydaje się być w „nienaturalnej” pozycji, gdyż „sylurskie odrodzenie” graptolitów miało swoje korzenie już wcześniej, w poziomie *persculptus* i było związane z transgresją morską, która nastąpiła po ordowickiej epoce lodowej — to jednak, według aktualnych formalnych ustaleń — biozona *acuminatus* wyznacza spąg rhuddanu oraz spąg syluru.

Na podstawie oraz w celu ujednoczenia cytowanej w różnych regionach świata sekwencji graptolitów, chcąc stworzyć podstawy dla wiarygodnych korelacji, przyjęto tzw. zgeneralizowaną zonację graptolitową — GGZ. Zgodnie z przyjętymi tam ustaleniami (Koreń i in., 1996) piętro rhuddan jest datowane przez trzy poziomy graptolitowe. Od najstarszego są to (ryc. 2):

- *acuminatus*,
- *vesiculosus*,
- *cyphus*.

Wszystkie trzy poziomy są oparte na pierwszym pojawieniu się gatunku nominatywnego lub umieszczonego w tabeli na pierwszym miejscu. Mimo wieloletnich prac istnieją jednak nadal kontrowersje dotyczące jednostek biostratygraficznych datujących spąg syluru. Opierając się bowiem na Koreń i in. (1996) poziom *acuminatus* jest poziomem całkowitego zasięgu (*total range zone*), przy czym określenie gatunku nominatywnego jest jeszcze przedmiotem dyskusji. Chodzi tu o nie do końca rozstrzygnięty problem, dotyczący dwóch dolnosylurskich, ale nie równowiekowych taksonów, a mianowicie *Akido-*

graptus ascensus Davies i *Parakidograptus acuminatus* (Nicholson).

Najnowsze badania profili, uznawanych do tej pory za standardowe (Melchin & Williams, 2000), jak i dane biostratygraficzne uzyskane w proponowanych ostatnio na standardowe dla granicy ordowik/sylur profilach chińskich (Rong i in., 1999; Chen i in., 2000) powodują, że uznanie poziomu zasięgu *acuminatus*, jako najstarszego poziomu graptolitowego syluru, a jego dolnej granicy za dolną granicę piętra rhuddan oraz dolną granicę syluru, budzi kontrowersje.

Generalnie, we wszystkich profilach europejskich, w tym również polskich (Podhalańska, 1999, 2002; Teller, 1969; Tomczyk, 1968), chińskich (Chen i in., 2000; Rong i in., 1999) oraz, jak wykazały ostatnie badania (Melchin & Williams, 2000; Melchin, 2001), również w standardowym profilu Dob's Linn w Szkocji *Akidograptus ascensus* poprzedza *Parakidograptus acuminatus*.

W poddanym ostatnio rewizji profilu Dob's Linn, opracowanym wcześniej przez Williamsa (1983, 1988), oprócz znanych od dawna *A. ascensus* s.s. i *P. acuminatus* s.s. wyróżniono nowe formy: *Akidograptus ascensus* n. subsp. oraz *Parakidograptus praematurus* (Melchin & Williams, 2000), które występują w tym profilu kilkadziesiąt centymetów poniżej typowych przedstawicieli gatunku *A. ascensus* i *P. acuminatus* i reprezentują formy przejściowe między normalograptidami i akidograptinami.

W związku z tym, że w Dob's Linn, *Akidograptus ascensus* poprzedza pojawienie się *Parakidograptus acu-*

minatus, osady w stratotypowym profilu, które były poprzednio uważane za poziom *acuminatus* powinny być, według wyżej wymienionych autorów, podzielone na starsze — *ascensus* oraz młodsze — *acuminatus*.

Melchin (2001) w *Silurian News* nr 9 wyraźnie stwierdza, że:

“Na podstawie kompleksowych badań interwału *ascensus* – *acuminatus* w profilu Dob's Linn oraz analizy taksonów wskaźnikowych zaproponowaliśmy rewizję definicji granicy systemu sylurskiego (tzw. w j. ang. „*Global Stratotype Sections and Points*”); Melchin & Williams, 2000). Najstarszym poziomem graptolitowym syluru jest poziom *Akidograptus ascensus* wyznaczony poprzez pierwsze pojawienie się *A. ascensus* n. subsp. (bezpośrednio po którym następuje *A. ascensus ascensus*) i *Parakidograptus praematurus*. Powyżej występuje poziom *acuminatus*, tak jak w wielu innych regionach świata”. (ryc. 2).

Biozonacja w profilach chińskich (region Yangtze) proponowanych ostatnio na stratotypowe dla granicy ordowik/sylur (Rong i in., 1999; Chen i in., 2000) również zakłada wydzielenie dwóch poziomów: *ascensus* oraz *acuminatus*, przy czym dolna granica poziomu *ascensus* jest dolną granicą rhuddanu i dolną granicą syluru.

Dla obszarów pery-Gondwany Štorch (1994, 1996, 1998) wydziela w dolnym sylurze Czech poziom *ascensus* – *acuminatus* jako poziom zasięgu obu taksonów (*couple range zone*) podobnie jak Jaeger (1991) dla obszaru Turynгии (ryc. 2). Alternatywą jest wydzielenie w spagu syluru

Chronostratygrafia Chronostratigraphy		Biostratygrafia Biostratigraphy							
		ZZG* GGZ*	Dob's Linn**	Yangtze	Barrandien	Turyngia	Skania	Bornholm	Wyniesienie Leby
		Koreń i inni, 1996 Williams, 1988	Szkocja Scotland Melchin, 2001	Chiny China Chen i inni, 2000	Czechy Czech Republic Štorch, 1998 Štorch & Loydell, 1996	Niemcy Germany Jaeger, 1991	Szwecja Sweden Bergstroem et al. 1999	Dania Denmark Koreń & Bjerreskov, 1997	Polska Poland Podhalańska, 2003
SYLUR SILURIAN	LLANDOVERY	rhuddan Rhuddanian	cyphus		cyphus	cyphus	revolutus		cyphus
			vesiculosus	vesiculosus	vesiculosus	vesiculosus	vesiculosus	vesiculosus	vesiculosus
			acuminatus	acuminatus	acuminatus	acuminatus	acuminatus	acuminatus s.l.	acuminatus
ORDOWICIAN	ASHGILLIAN	himant Hirnantian górnym Upper	persculptus	persculptus	persculptus	Hirnantia persculptus	persculptus	persculptus	persculptus
		dolnym Lower	extraordi- narius	extraordi- narius	extraordi- narius				Fauna Hirnantia
		rawthey Rawtheyan	pacificus	pacificus	pacificus				Tretaspis seticornis Dicellograptus ornatus

Ryc. 2. Korelacja poziomów graptolitowych w interwale granicznym ordowik/sylur; *ZZG (Zgeneralizowana Zonacja Graptolitowa), dotyczy sylurskiej części podziału stratygraficznego (wg Koreń i in., 1996); ** dotyczy najnowszej propozycji (Melchin, 2001) podziału poziomu *acuminatus* na dwa poziomy: *ascensus* i *acuminatus* w standardowym profilu Dob's Linn w Szkocji

Fig. 2. Correlation of the graptolitic biozones in near the boundary zone; * GGZ (General Graptolite Zonation); it concerns of the Silurian part of stratigraphical subdivision (after Koreń et al., 1996); ** it concerns the last idea of Melchin (2001) referring a subdivision of the *acuminatus* Biozone to *ascensus* and *acuminatus* biozones in standard Dob's Linn profile in Scotland

poziomu *acuminatus*, przyjmując za jego dolną granicę i zarazem dolną granicę piętra rhuddan i systemu sylurskiego moment pojawienia się pierwszego z akidograptinów, czyli przeważnie *Akidograptus ascensus* (np. Zalasiewicz & Tunnicliff, 1994). Bergström i in. (1999) natomiast charakteryzując sekwencję stratygraficzną w Skanii w południowej Szwecji stosują pojęcie poziomu *acuminatus* s.l., obejmującego swym zasięgiem poziom *ascensus*.

Reasumując:

□ najnowsze propozycje (jeszcze nieformalne) zakładają wydzielenie w najniższym sylurze dwóch poziomów: *ascensus* i *acuminatus*;

□ poziom *ascensus* jest najstarszym poziomem syluru a pierwsze pojawienie się *Akidograptus ascensus* n. ssp. wyznacza spąg syluru,

□ poziom *persculptus* pozostaje nadal najmłodszym poziomem graptolitowym hirnantu i ordowiku,

□ fauna *Hirnantia* może być diachroniczna, występuje w piętrze hirnant, może być równowiekowa z poziomem *persculptus*, co więcej może współwystępować z graptolitami tego poziomu (Rong i in., 2002).

Najnowsze koncepcje dotyczące granicy ordowik/sylur a niektóre profile Polski

Osady górnego ordowiku i dolnego syluru występujące w Polsce północnej, chociaż znane wyłącznie z głębokich wierceń, nie tylko, nie ustępują niektórym profilom uznanym w świecie za standardowe, lecz nawet można je uznać za szczególnie wartościowe dla badań tego interwału geologicznego. Nie tylko urozmaicony zespół skamieniałości zarówno fauny bentonicznej, jak i planktonicznej oraz bardzo „czuły” zapis zdarzeń w litologii, ale — w niektórych profilach — prawdopodobnie ciągłość tego zapisu, sprawiają, że pewne profile Polski północnej, szczególnie te, o lepszym stanie zachowania rdzeni wiertniczych, jak również niektóre profile odsłonięć z Gór Świętokrzyskich mogą konkurować z europejskimi i światowymi z przełomu ordowiku i syluru.

W tym kontekście, prowadzone przez autorkę badania osadów i fauny z pogranicza ordowiku i syluru, których rezultaty są sygnalizowane w niniejszym opracowaniu, zmierzają do uczynienia polskich profilów jeszcze bardziej przydatnymi dla światowych korelacji.

Stwierdzony w profilach wyniesienia Łeby (Polska północna) w górnym ordowiku i dolnym sylurze zespół skamieniałości pozwolił na wydzielenie wielu jednostek biostratygraficznych o randze poziomów.

W profilach Białogóra 1, Białogóra 2, Dębki 2, Hel IG-1 oraz Łeba 8 stwierdzono występowanie zespołu ramienionogów stanowiących faunę *Hirnantia*. Ten charakterystyczny, szybko się pojawiający w różnych poziomach górnego ordowiku i szeroko w świecie rozprzestrzeniony (Rong i in., 2002), zdominowany przez ramienionogi zespół, opisany został szczegółowo po raz pierwszy w Polsce przez Temple (1965). W profilach wyniesienia Łeby fauna *Hirnantia* reprezentowana jest przez zespół *Hirnantia* — *Dalmanella* — *Eostropheodonta* — *Paromalomena* (Podhalańska, 1980, 2002, 2003). Występuje ona powyżej osadów z trylobitami *Tretaspis seticornis* oraz *Callops callicephalus*. W profilu Dębki 2 na głęb. 2595,7 m w osadach marglistych, razem z wymienionymi trylobitami występuje graptolit *Dicellograptus ornatus* Hopkinson, umożliwiający korelację osadów z *Tretaspis seticornis* z poziomem *pacificus* piętra rawthey (aszgil dolny). W

profilach wyniesienia Łeby osady z fauną *Hirnantia* występują więc między poziomem graptolitowym *pacificus* i jego ekwiwalentami a poziomem *persculptus* górnego hirnantu czyli w dolnym hirnancie (ryc. 2).

Zespół graptolitów, występujący w marglisto-ilastych oraz ilastych osadach pogranicza ordowiku i syluru w profilach wyniesienia Łeby: Białogóra 1, Białogóra 2, Łeba 8, Dębki 2 oraz Hel IG-1 pozwolił (Podhalańska, 2002; 2003) na wydzielenie, powyżej osadów zawierających faunę *Hirnantia*, pięciu poziomów graptolitowych: *persculptus* w najwyższym hirnancie oraz *ascensus*, *acuminatus*, *vesiculosus*, *cyphus* w rhuddanie (ryc. 2). Granica ordowik/sylur została wyznaczona w spągu poziomu *ascensus*, w momencie pierwszego pojawienia się pierwszego z akidograptinów — *A. ascensus* Davies. W obszarze wyniesienia Łeby, podobnie więc jak to ma miejsce w wielu innych rejonach świata, *A. ascensus* poprzedza pojawienie się *P. acuminatus* (Nicholson). Wydzielenie dwóch oddzielnych poziomów: *ascensus* i *acuminatus* jest więc zgodne z najnowszymi tendencjami wydzielenia dwóch poziomów graptolitowych na podstawie pierwszego momentu pojawienia się dwóch różnych akidograptinów.

W profilu Bardo Stawy w Górach Świętokrzyskich badania stratygraficzne były prowadzone wcześniej przez Kielan (1956, 1960), Temple (1965), Tomczyka (1962), Bednarczyka i Tomczyka (1981). Interwał graniczny ordowik/sylur został poddany w ostatnim okresie szczegółowej analizie stratygraficznej i litologicznej (Masiak i in., 2003). Badania te wykazały, że graptolity, poprzedzając zmianę facji pojawiają się już w jasnych iłowcach i łupkach piaszczystych i mułowcowych, kilkadziesiąt centymetrów poniżej ciemnych łupków ilastych z litydami.

W profilu tym *A. ascensus* pojawia się również nieco wcześniej niż *P. acuminatus*, chociaż wyprzedzenie to nie jest tak wyraźne jak w profilach wyniesienia Łeby. Po okresie współwystępowania obu gatunków *Akidograptus ascensus* zanika wcześniej niż *Parakidograptus acuminatus*, który występuje aż do spągu poziomu *vesiculosus*, podobnie jak to jest stwierdzane w profilach Czech (Štorch, 1996), Hiszpanii (Jaeger & Robardet, 1979) czy Niemiec (Jaeger, 1991).

Podsumowanie

W związku z uzyskaniem w ostatnim czasie na podstawie analizy ciągłych profilów pogranicza ordowiku i syluru w rejonie Yangtze w Chinach oraz rewizji standardowego profilu Dob's Linn w Szkocji nowych danych biostratygraficznych, istnieją podstawy do wydzielenia w spągu syluru poziomu *Akidograptus ascensus* i uznania jego dolnej granicy za dolną granicę systemu. Taki schemat stratygraficzny, chociaż nieformalny, jest ostatnio najczęściej stosowany (por. ryc. 2).

Analiza profilów z rejonu wyniesienia Łeby skłania również do wydzielenia w spągu syluru poziomu *ascensus* i wyżej poziomu *acuminatus*. Najstarsze w interwale granicznym ordowik/sylur graptolity, w niektórych profilach pojawiają się w szarych, marglisto-węglanowych osadach ze skamieniałościami śladowymi formacji z Prabut, poniżej pierwszego pojawienia się *Akidograptus ascensus* i należą prawdopodobnie do poziomu *persculptus*. Fauna *Hirnantia* występuje tu w dolnym hirnancie pomiędzy poziomem graptolitowym *pacificus* (lub jego ekwiwalentami), odpowiadającym piętru rawthey (aszgil dolny), a poziomem *persculptus* górnego hirnantu.

Pracę wykonano w ramach tematu 6.20.1324.00.0 finansowanego ze środków przeznaczonych na działalność statutową PIG.

Literatura

- BEDNARCZYK W. & TOMCZYK H. 1981 — Punkt 4. Bardo — Stawy. Konferencja terenowa. Wybrane problemy stratygrafii, litologii i tektoniki wendy i starszego paleozoiku Gór Świętokrzyskich oraz niecki miechowskiej. Przew. 53 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Kielce 6–8 września 1981: 139–143.
- BEDNARCZYK W., HINTS L. & PODHALAŃSKA T. 1996 — Late Ashgillian (Hirnantian) in Poland. The Third Baltic Stratigraphical Conference. Abstracts, Tartu.
- BERGSTRÖM S. M., HUFF W. D., KOREŃ T., LARSSON K., AHLBERG P. & KOLATA R. 1999 — The 1997 core drilling through Ordovician and Silurian strata at Röstanga, S Sweden: preliminary stratigraphic assessment and regional comparison. GFF, 121: 127–135.
- BERRY W.B.N. 1987 — The Ordovician — Silurian boundary: new data, new concerns. *Lethaia*, 20: 209–216.
- CHEN X., RONG J., MITCHELL C. D., HARPER D.A.T., JUNXUAN F., RENBIN Z., YUANDONG Z., LI RONG YU L. & WANG YI. 2000 — Late Ordovician to Earliest Silurian graptolite and brachiopod biozonation from the Yangtze region, South China, with a global correlation. *Geol. Mag.*, 137: 623–650.
- COOKS L. R. M. 1985 — The Ordovician — Silurian boundary. *Epi-sodes*, 8: 98–100.
- JAEGER H. 1991 — Neue Standard — Graptolithenzonefolge nach der "Grossen Krise" an der Wenlock/Ludlow-Grenze (Silur). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 182: 303–354.
- JAEGER H. & ROBARDET M. 1979 — Le Silurien at le Dévonien basal dans le Nord de la province de Séville (Espagne). *Geobios*, 12: 687–714.
- JONES O. T. 1909 — The Hartfell — Valentian succession in the district around Plynlimon and Pont Erwyd (North Cardiganshire). *Q. Journ. Geol. Soc. London*, 65: 463–537.
- KIELAN Z. 1956 — Stratygrafia górnego ordowiku w Górach Świętokrzyskich. *Acta Geol. Pol.*, 2: 253–271.
- KIELAN Z. 1960 — Upper Ordovician trilobites from Poland and some related forms from Bohemia and Scandinavia. *Palaeont. Pol.*, 11: 1–198.
- KOREŃ T.N., LENZ A.C., LOYDELL D. K., MELCHIN M.J., ŠTORCH P. & TELLER L. 1996 — Generalized graptolite zonal sequence defining Silurian time intervals for global paleogeographic studies. *Lethaia*, 29: 59–60.
- KOREŃ T. & BJERRESKOV M. 1997 — Early Llandovery monograptids from Bornholm and the southern Urals: taxonomy and evolution. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 44: 1–43.
- MASIAK M., PODHALAŃSKA T. & STEMPIEŃ-SALEK M. 2003 (w druku) — Ordovician — Silurian boundary in the Bardo Syncline (Holy Cross Mountains) — new data on fossil assemblages and sedimentary succession. *Kwart. Geol.*, 47 (4).
- MELCHIN M. J. 2001 — The GSSP for the base of the Silurian System. *Silurian Times*, 9.
- MELCHIN M.J. & WILLIAMS S. H. A. 2000 — A restudy of the akidograptine graptolites from Dob's Linn and a proposed redefined zonation of the Silurian Stratotype. *Palaeontology Down Under 2000*. Geological Society of Australia, Abstracts: 61–63.
- PODHALAŃSKA T. 1977 — Biostratigraphic problem of the Ordovician/Silurian boundary. *Acta Geol. Pol.*, 27: 455–470.
- PODHALAŃSKA T. 1980 — Stratigraphy and facial development of Middle and Upper Ordovician deposits in the Leba Elevation (NW Poland). *Acta Geol. Pol.*, 30: 327–390.
- PODHALAŃSKA T. 1999 — The Upper Ordovician and the Lower Silurian in the Peribaltic depression: stratigraphy and development. *Acta Univ. Carolinae*, 43: 221–224.
- PODHALAŃSKA T. 2002 — Graptolity hirnantianu i rhuddanianu oraz granica ordowik/sylur w fałszywej graptolitowej zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej (wyniesienie Łeby). *Arch. PIG*.
- PODHALAŃSKA T. 2003 — Late Ordovician to Early Silurian transition and the graptolites from Ordovician/Silurian boundary near the SW rim of the East European Craton (northern Poland). [In:] Ortega G., Aceñolaza G. F. (Eds) — *Proceedings 7. IGC – FMSSS, INSUGEO, Ser. Correlación Geol.*, 18: 165–171.
- RICKARDS R. B. 1988 — Graptolite faunas at the base of the Silurian. [In:] A global analysis of the Ordovician — Silurian boundary Cocks L.R.M. & Rickards R.B. (eds) — *Bull. British Mus. Nat. Hist. Geology*, 43: 345–350.
- RONG J. Y., CHEN X., HARPER D. A. T. & MITCHELL C. E. 1999 — Proposal of a GSSP candidate section in the Yangtze Platform region, S China, for a new Hirnantian boundary stratotype. *Acta Univ. Carolinae, Geologica*, 43: 77–80.
- RONG J. Y., CHEN XU & HARPER D. A. T. 2002 — The latest Ordovician Hirnantia fauna (Brachiopoda) in time and space. *Lethaia*, 35: 231–249.
- ŠTORCH P. 1994 — Graptolite biostratigraphy of the lower Silurian (Llandovery and Wenlock) of Bohemia. *Geol. Journ.*, 29: 137–165.
- ŠTORCH P. 1996 — The basal Silurian *Akidograptus ascensus* — *Parakidograptus acuminatus* Biozone in peri — Gondwanan graptolite assemblages, stratigraphical ranges and paleobiogeography. *Věst. Česk. Geol. Ust.*, 71: 177–188.
- ŠTORCH P. 1998 — Biostratigraphy, palaeobiogeographical links and environmental interpretation of the Llandovery and Wenlock graptolite faunas of peri-Gondwanan Europe. *Proceedings 6th Intern. Graptolite Conference. Temas Geológico-Mineras ITGE*, 23.
- ŠTORCH P. & LOYDELL D. K. 1996 — The Hirnantian graptolites *Normalograptus persculptus* and *Glyptograptus bohemicus*: stratigraphical consequences of their synonymy. *Palaeontology*, 39: 869–881.
- SZYMAŃSKI B. & MODLIŃSKI Z. 2003 — Nowelizacja stratygrafii syluru w wybranych profilach wiertniczych obniżenia bałtyckiego (Polska północna). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 405: 109–138.
- TELLER L. 1969 — The Silurian biostratigraphy of Poland based on graptolites. *Acta Geol. Pol.*, 19: 393–501.
- TELLER L. 1988 — The Ordovician — Silurian boundary in Poland. [In:] A global analysis of the Ordovician — Silurian boundary. Cocks L. R. M., Rickards R. B. (eds) — *Bull. British Mus. Nat. Hist. Geology*, 43: 93–95.
- TEMPLE J. T. 1965 — Upper Ordovician brachiopods from Poland and Britain. *Acta Palaeont. Pol.*, 10: 379–427.
- TOMCZYK H. 1954 — Stratygrafia gotlandu niecki międzygórskiej w Górach Świętokrzyskich na podstawie fauny z łupków graptolitowych. *Biul. Inst. Geol.*, 93.
- TOMCZYK H. 1962 — Problem stratygrafii ordowiku i syluru w Polsce w świetle ostatnich badań. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 35: 1–134.
- TOMCZYK H. 1968 — Sylur w: Budowa geologiczna Polski. *Stratygrafia, cz. 1, Prekambr i Paleozoik*: 237–312.
- TOMCZYK H. 1982 — Sylur. [W:] *Profilę głębokich otworów wiertniczych IG*, 54. Kościerzyna IG-1: 84–112.
- TOMCZYK H. 1986 — Sylur [W:] *Profilę głębokich otworów wiertniczych IG*, 63. Hel IG-1: 21–76.
- TOMCZYK H. & TOMCZYKOWA E. 1976 — Development of Ashgill and Llandovery sediments in Poland. *Proceedings of a Palaeontological Assoc. Symp. Birmingham*: 327–347.
- TOMCZYKOWA E. & TOMCZYK H. 1979 — Middle Silurian in the Podlasie Depression (Eastern Poland). *Biul. Inst. Geol.*, 318: 59–103.
- TOMCZYKOWA E. 1988 — Silurian and Lower Devonian biostratigraphy and palaeoecology in Poland. *Biul. Inst. Geol.*, 359: 21–41.
- URBANEK A. & TELLER L. 1997 — Graptolites and stratigraphy of the Wenlock and Ludlow Series in the East European Platform. *Palaeont. Pol.*, 56: 605–640.
- WHITTARD W. F. 1961 — *Lexique stratigraphique international*, 1. Europe, Silurien.
- WILLIAMS H. 1983 — The Ordovician — Silurian boundary graptolite fauna of Dob's Linn, southern Scotland. *Palaeontology*, 26: 605–641.
- WILLIAMS H. 1988 — Dob's Linn — The Ordovician — Silurian boundary stratotype. [In:] A global analysis of the Ordovician — Silurian boundary Cocks L. R. M., Rickards R. B. (eds) *Bull. British Mus. Nat. Hist. Geology*, 43: 17–30.
- ZALASIEWICZ J. & TUNNICLIFF S. 1994 — Uppermost Ordovician to Lower Silurian graptolite biostratigraphy of the Wye Valley, Central Wales. *Palaeontology*, 37: 695–720.