

Marek NIEĆ\*, Jacek MUCHA\*\*

### ***Problemy dokumentowania złóż bursztynu***

Streszczenie: Złóża bursztynu wyróżniają się dużą zmiennością jego zawartości, wielkości ziarn i ich jakości (walorów jubilerskich). Nieregularne, gniazdowo-strefowe rozmieszczenie jego akumulacji powoduje, że mogą być one rozpoznawane tylko z ograniczoną dokładnością. Poszukiwania szczegółowe powinny być skojarzone z równoczesnym rozpoznaniem złoża i wykorzystaniem nagromadzeń bursztynu napotkanych w czasie tych prac. W poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż powinny być stosowane otwory wielkośrednicowe albo odpowiednio poszerzane, a w złożach płytko położonych otwory hydrauliczne. W serii bursztynonośnej powinny być pobierane duże próbki o objętości co najmniej 0,05 m<sup>3</sup>, ale zalecana jest 0,08 m<sup>3</sup>, tj. około 160 kg. W otworach hydraulicznych pobieraną próbę stanowi całość wydobytego bursztynu. Otwory rozpoznawcze powinny być wykonywane w siatce trójkątnej równobocznej. Odległości między nimi powinny wynosić około 200 m w złożach paleogeńskich stratoidalnych – pokładowych i 10 m w złożach holocenijskich i plejstoceńskich, gniazdowych. Zasoby bursztynu mogą być szacowane metodą analogii („geologiczno-statystyczną”), na podstawie danych o ilości uzyskanej kopaliny w czasie prowadzonej eksploatacji lub na podstawie wskaźnika bursztynonośności, to jest stosunku liczby otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu do całkowitej ich liczby w obszarze objętym pracami poszukiwawczymi lub rozpoznawczymi.

Słowa kluczowe: bursztyń, złoża kopaliny, rozpoznawanie złóż, szacowanie zasobów

### ***Basic problems of exploration and evaluation of amber deposits***

Abstract: Amber deposits are characterized by high variation of amber content, its grain size and gemstones quality. Accuracy of exploration results is low, due to irregular, lenticular or pocket amber accumulation in amber-bearing sediments. Detailed prospecting and exploration of such deposits is combined with recovery of encountered amber. Prospecting and exploration should be realized with the use of great size boreholes or in deposits at the depth to about 10 m, hydraulic boreholes. The sample volume of bearing rock should be greater than 0,05 m<sup>3</sup>, and greater than 0,08 m<sup>3</sup> (160 kg) is recommended. If hydraulic boreholes are used total recovered amber should be recorded. Equisized 200 m triangular borehole grid is recommended stratiform deposits (in Paleogene formations) are explored and 10 m sized grid in the case of prospecting and exploration lenticular-pocket like deposits in marine Holocene deposits. Valuation of amber resources is possible by

\* Prof. dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: niecm@wp.pl

\*\* Dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: mucha@geol.agh.edu.pl

analogy, based on data of amber amount extracted from exploited part of deposit, or with the use of ratio of „amberbearing” boreholes number to its total number within the designed possible deposit boundaries.

Key words: amber, mineral deposits, exploration, resources evaluation

## **1. Cechy specyficzne złóż bursztynu z punktu widzenia ich rozpoznawania**

Złoża bursztynu wyróżniają się dużą zmiennością jego zawartości w utworach bursztynonośnych, wielkości ziarn i ich jakości (walorów jubilerskich) oraz gniazdową formą jego akumulacji. Stwarza to szereg problemów przy rozpoznawaniu tych złóż, podobnie jak złóż okruchowych kamieni szlachetnych. Cechą wyróżniającą złóż bursztynu wśród innych złóż okruchowych są warunki jego akumulacji w osadzie spowodowane małą gęstością pozorną bursztynu, 0,96–1,1 g/cm<sup>3</sup>.

Specyficzne warunki występowania i cechy budowy złóż bursztynu wymuszają stosowanie odmiennej metodyki poszukiwań i rozpoznawania złóż niż w przypadku większości złóż kopalin stałych.

Główne cechy złóż, istotne dla metodyki ich rozpoznawania i dokumentowania, które muszą być brane pod uwagę to:

- nieregularne, gniazdowe występowanie koncentracji bursztynu w obrębie złóż (obszarów złożowych),
- brak możliwości dostatecznie wiarygodnego stwierdzenia złoża (lub wykluczenia jego istnienia) i jego rozpoznania przed podjęciem jego eksploatacji,
- niezbędność pobierania dużych prób dla oceny bursztynonośności i jakości kopaliny (składu ziarnowego bursztynu, udziału jego odmian jubilerskich),
- pozyskiwanie pewnej ilości bursztynu w czasie prac poszukiwawczych i rozpoznawczych (w pobieranych dużych próbach).

## **2. Rozpoznawanie warunków geologicznych występowania złóż i eksploatacji**

Z punktu widzenia rozpoznawania złóż bursztynu i oceny możliwości oraz warunków ich eksploatacji istotne znaczenie ma kilka ich cech:

- skały bursztynonośne oraz tworzące ich nadkład i występujące poniżej złoża są mało zwarte, spójne lub luźne, mułki, piaski drobnoziarniste i mułkowate,
- utwory występujące w nadkładzie i poniżej złoża są zawodnione, złoża nie jest zwykle izolowane od poziomów wodonośnych,
- bursztynonośność serii złożowej jest nierównomierna w profilu i w poziomie, często nieciągła lub gniazdowa.

Wybór sposobu rozpoznania i dokumentowania złóż powinien uwzględniać specyficzne cechy ich późniejszej eksploatacji. Teoretycznie złoża bursztynu mogą być eksploatowane sposobem podziemnym, odkrywkowym i otworowym. Wybór sposobu eksploatacji zależy od głębokości położenia złoża i właściwości złoża i skał otaczających (tab. 1).

TABELA 1. Metody eksploatacji złóż bursztynu

TABLE 1. Methods of extraction of amber deposits

Cechy złóż, warunki jego występowania i eksploatacji	Metody eksploatacji				
	podziemna		odkrywkowa	otworowa	
	szybikowa	zabierkowa		hydromechaniczna	hydrauliczna
Typy złóż	bez znaczenia dowolna	stratoidalne - pokładowe	stratoidalne pokładowe	bez znaczenia preferowane stratoidalne - pokładowe	bez znaczenia dowolna
Wielkość złóż	bez znaczenia dowolna	co najmniej małe	średnie lub duże	duże	bez znaczenia dowolna
Głębokość położenia złóż	do kilkunastu metrów	poniżej kilkunastu metrów	do kilkudziesięciu metrów	bez ograniczeń (w zależności od opłacalności)	do około 10 m
Rodzaj skał bursztynonośnych	dowolna bez znaczenia wskazane łatwo urabialne			łatwo rozmywane	
Rodzaj skał nadkładu	wskazane łatwo urabialne	dostatecznie związane w stropie bezpośrednim dla utrzymania wyrobisk	wskazane łatwo urabialne	nierozmywalne lub trudniej rozmywalne niż tworzące złoża	wskazane nierozmywalne lub trudniej rozmywalne niż tworzące złoża
Skały w spągu złóż	dowolne	dostatecznie związane dla utrzymania obudowy wyrobisk	dostatecznie związane o odpowiedniej nośności dla maszyn	nierozmywalne lub trudniej rozmywalne niż tworzące złoża	
Zawodnienie złóż i skał otaczających	brak lub niewielkie nie wymagające odwadniania	brak lub niewielkie, łatwe do odwodnienia	brak lub niewielkie, łatwe do odwodnienia	poziomy wodonośne o zwierciadle swobodnym, lub napiętym pod niewielkim ciśnieniem	dowolne bez znaczenia, a poziomy wodonośne o zwierciadle swobodnym
Warunki stosowania eksploatacji	znaczenie historyczne	znaczenie historyczne	niezbędna dostępność terenu na obszarze całego złoża	w zasadzie bez ograniczeń, ale wskazana dostępność terenu na obszarze całego złoża	

### 3. Stan badań dotyczących metody rozpoznawania złóż bursztynu

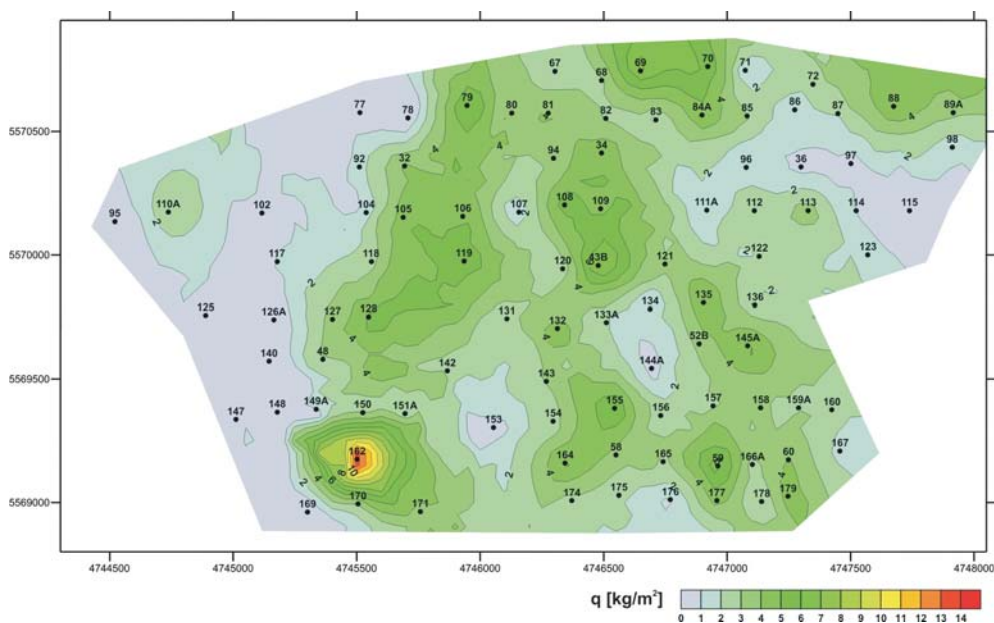
Metodyka rozpoznawania złóż bursztynu była dotychczas przedmiotem badań w niewielkim zakresie. Systematyczne takie badania zostały wykonane w odniesieniu do złoża Palmnikeńskiego na półwyspie sambijskim (Pietrowa 1988) reprezentującego paleogeńskie złoża stratoidalne – pokładowe. Stwierdzono:

- dużą zmienność miąższości złoża i całkowitej zawartości bursztynu (współczynniki zmienności odpowiednio 44,5 i 49%),

- brak prawidłowości rozmieszczenia ziarn bursztynu o różnej wielkości i różnej przejrzystości oraz innych cechach jubilerskich,
- dużą zmienność zawartości ziarn bursztynu ponad 18 mm ( $V = 88\%$ ) i bardzo dużą ziarn ponad 32 mm ( $V = 104\%$ ),
- brak możliwości oszacowania zasobów bursztynu jubilerskiego na etapie rozpoznania złoża przed podjęciem jego eksploatacji i możliwość takiej oceny dopiero na podstawie rozpoznania eksploatacyjnego (opróbowania wyrobisk górniczych).

Na podstawie analizy zmienności złoża, metodą rozrzedzania sieci rozpoznawczej oraz porównania wyników rozpoznania złoża i eksploatacji stwierdzono, że zadowalające rozpoznanie podstawowych cech złoża (miąższości i całkowitej zawartości bursztynu) można osiągnąć za pomocą wierceń w siatce o boku 200–250 m. Ocena zawartości bursztynu i jego zasobów jest obciążona błędem systematycznym i jest zaniżona przeciętnie o około 30%, a miąższość złoża zawyżona o około 10%. Ocena zawartości bursztynu powinna być wykonywana na podstawie próbek o objętości co najmniej  $0,08 \text{ m}^3$ , to jest około 160 kg.

Analiza wyników rozpoznania złoża Górka Lubartowska (w utworach paleogeńskich) rozpoznanego otworami wiertniczymi przy odległościach między nimi około 150–200 m wykazały (Mucha 2010) podobną ogólną zmienność miąższości, zawartości bursztynu i zasobności złoża (współczynnik zmienności odpowiednio 39, 65 i 71%), dużą lokalną zmienność parametrów złoża (skokowe ich zróżnicowanie w blisko położonych punktach) i rozmieszczenie partii bogatszych gniazdowo-strefowych, w strefach o szerokości 200–500 m (rys. 1).



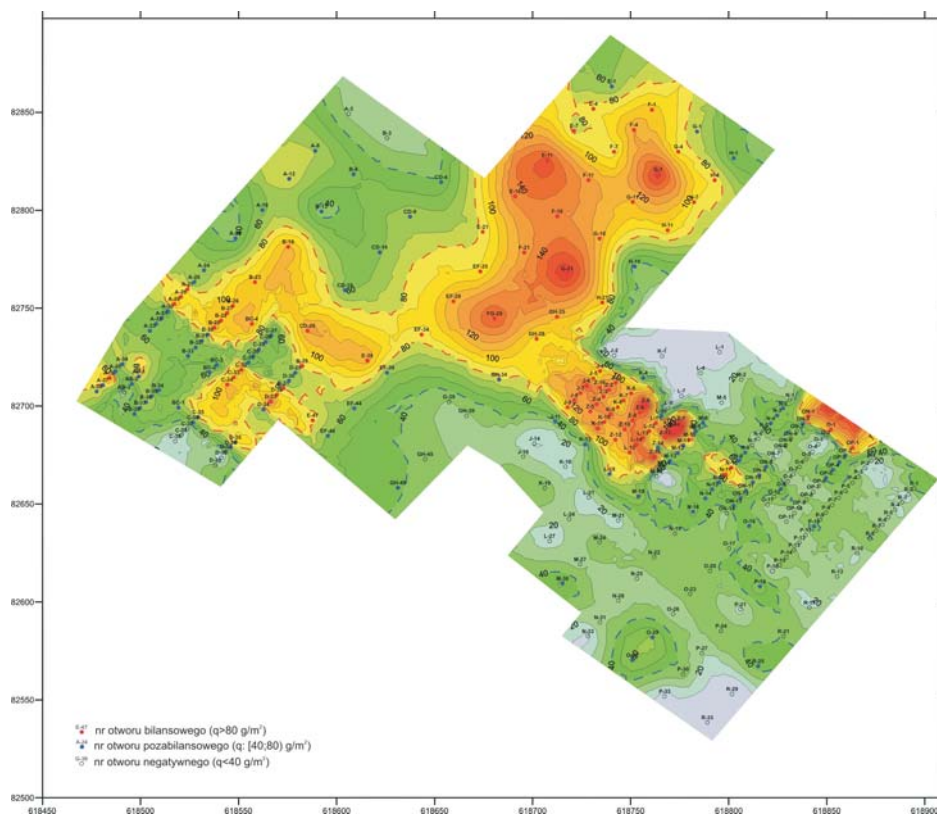
Rys. 1. Mapa izolinii zasobności bursztynu [ $\text{kg/m}^2$ ] w złożu Górka Lubartowska

Fig. 1. Amber content [ $\text{kg/m}^2$ ] in Górka Lubartowska deposit

Złóża w morskich osadach holocenijskich charakteryzują się większą zmiennością bursztynoności. W złóżach Wisłoujście, Górki Zachodnie, rozpoznanych otworami wiertniczymi o średnicy 14", w siatce 130–220 m stwierdzono:

- dużą ogólną zmienność miąższości ( $V = 37\text{--}58\%$ ),
- bardzo dużą do skrajnie dużej zmienność bursztynoności – zawartości bursztynu i zasobności złoża ( $V = 86\text{--}180\%$ ),
- bardzo dużą, skokową zmienność lokalną bursztynoności,

W przypadku rozpoznania złóż za pomocą otworów hydraulicznych (złoże Wiślinka) przy odległościach otworów 5–30 m, wykazywana zmienność złoża jest mniejsza, odpowiednio miąższości  $V = 23\%$ , zasobności złoża  $V = 59\%$ , co jest konsekwencją autokorelacji blisko siebie położonych obserwacji oraz większej objętości opróbowanego fragmentu złoża w każdym otworze<sup>1</sup>. Równocześnie rejestrowane jest gniazdowo-strefowe rozmieszczenie partii bogatszych, w nieregularnych, palczasto rozgałęzionych strefach o szerokości do około 20–60 m (rys. 2).



Rys. 2. Mapa izolinii zasobności bursztynu [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] w złożu Wiślinka I

Fig. 2. Amber content [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] in Wiślinka I deposit

<sup>1</sup> W przybliżeniu:  $V_D = V_m \sqrt{\frac{g}{G}}$ , gdzie  $V_D$ ,  $V_m$  – współczynniki zmienności oceniane odpowiednio na podstawie próbek dużych i małych,  $G$  i  $g$  masy tych próbek

Badania wykonane w rejonie Świbna i Sobieszewa (Jurys i in. 2008) wykazały, że oceny bursztynoności na podstawie nawet gęstej siatki otworów rozpoznawczych o średnicach  $7\frac{5}{8}$ " do  $11\frac{3}{4}$ " okrętnych i mechanicznych obrotowych, wierconych co 15–35 m znacznie różnią się od wyników eksploatacji metodą hydrauliczną. Zatem stwierdzono (Jurys i in. 2008), że ze względu na bardzo nieregularne występowanie nagromadzeń bursztynu, nie można uzyskać wiarygodnych danych o jego złożach na podstawie rozpoznania wiertniczego. Rozpoznanie złoża jest możliwe tylko przy zastosowaniu otworów hydraulicznych (lub przez jego eksploatację).

#### **4. Prace poszukiwawcze szczegółowe i rozpoznawanie złóż bursztynu**

Duża zmienność i nieregularna budowa złóż, w szczególności gniazdowo-strefowe rozmieszczenie stref bursztynonośnych powoduje, że mogą być one rozpoznawane z ograniczoną dokładnością. Niecelowe jest zatem rozgraniczanie prac poszukiwawczych szczegółowych i rozpoznawczych oraz realizacja prac rozpoznawczych kolejno jako wstępnych i szczegółowych. Poszukiwania szczegółowe powinny być skojarzone z równoczesnym rozpoznaniem złoża i wykorzystaniem nagromadzeń bursztynu napotkanych w czasie tych prac<sup>2</sup>.

Rozdzielność poszczególnych etapów poszukiwań szczegółowych i rozpoznawania złoża może być zachowana, o ile warunki geologiczne i oczekiwany model złoża mogą na to pozwolić, ale kolejność i sukcesywność ich realizacji nie powinna być obligatoryjna. Etapowość prac poszukiwawczych i rozpoznawczych może być zachowana w przypadku dużych złóż stratoidalnych-pokładowych.

Duża zmienność bursztynoności, gniazdowe, losowo zróżnicowane formy nagromadzeń bursztynu, nieregularne formy gniazd i zróżnicowane ich rozmiary, nieregularne rozmieszczenie, zróżnicowany skład ziarnowy bursztynu i udziału ziarn o cechach jubilerskich powodują, że najlepszym sposobem poszukiwań i rozpoznawania takich złóż (zwłaszcza stratoidalno-gniazdowych i gniazdowych) jest szacowanie jego zasobów metodą geologiczno-statystyczną, określaną także jako metoda analogii (Kijewlenko 1980), na podstawie danych o ilości uzyskanej kopaliny w czasie prowadzonej eksploatacji. Na podstawie jej wyników zasoby jeszcze niewyeksplątowane mogą być oszacowane:

$$Q_{sk} = \frac{Q_e}{F_e} (F - F_e) \quad [\text{kg}]$$

gdzie

$Q_e$  – wyeksplątowana ilość bursztynu [kg],

$F$  – początkowa powierzchnia złoża [ $\text{m}^2$ ],

$F_e$  – obszar złoża objęty zakończonymi pracami rozpoznawczo-eksploatacyjnymi [ $\text{m}^2$ ].

---

<sup>2</sup> Zgodnie z wymaganiami art. 37, ust. 1 ustawy Prawo geologiczne i górnicze („wykonawca prac geologicznych jest zobowiązany zagospodarować kopalinę wydobytą...”)

Jest to metoda stosowana w przypadku złóż bardzo zmiennych gniazdowych (Kijewlenko 1980; Nieć 1990) gdy:

- brak możliwości lokalizacji gniazd metodami pośrednimi, np. geofizycznymi,
- brak stwierdzonych prawidłowości przestrzennego rozmieszczenia gniazd,
- o jakości kopaliny decyduje forma i wielkość skupień minerału użytecznego.

Stosowanie tej metody nie jest aktualnie możliwe w warunkach obowiązującego prawa geologicznego i górniczego i stosowanej interpretacji jego przepisów.

Jako ekwiwalentną, aczkolwiek obciążoną dużym ryzykiem niepowodzenia, można stosować metodę klasyczną rozpoznania za pomocą odpowiednio gęstej siatki wierceń z poborem dużych prób i ocenę zasobów na podstawie wskaźnika bursztynowości, to jest stosunku liczby otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu do całkowitej ich liczby w obszarze objętym pracami poszukiwawczymi.

## 5. Wykonywanie wierceń i opróbowanie

Warunkiem prawidłowej oceny bursztynowości jest dostatecznie duża wielkość próbek utworów potencjalnie bursztynowych. W każdym przypadku objętość pobieranych prób powinna wynosić co najmniej  $0,05 \text{ m}^3$ , ale zalecana jest  $0,08 \text{ m}^3$  tj. około 160 kg. W związku z tym na etapie prac rekonesansowych i poszukiwawczych wstępnych stosowane powinny być otwory wielkośrednicowe, o średnicy w serii bursztynowej co najmniej 14", albo odpowiednio w niej poszerzane lub lepiej otwory hydrauliczne (rys. 3), zwłaszcza w przypadku luźnych utworów bursztynowych, w których pobranie odpowiednich prób rdzeniowych jest niemożliwe.

Na etapie prac poszukiwawczych szczegółowych powinny być wykonywane:

- w złożach płytkich położonych do głębokości do około 10 m otwory hydrauliczne,
- w złożach głębiej położonych stratoidalnych otwory hydromechaniczne z urabianiem (rozmywaniem) warstwy utworów bursztynowych wokół osi otworu.

W wierceniach rdzeniowych wielkośrednicowych pobierane próby powinny obejmować w całości serię bursztynową. Minimalna długość opróbowanego odcinka powinna wynosić 2 m. Zasobność złoża ( $q$ ) i zawartość bursztynu w opróbowywanych utworach powinna być oceniana na podstawie ilości wydobytego bursztynu:

- zasobność złoża:

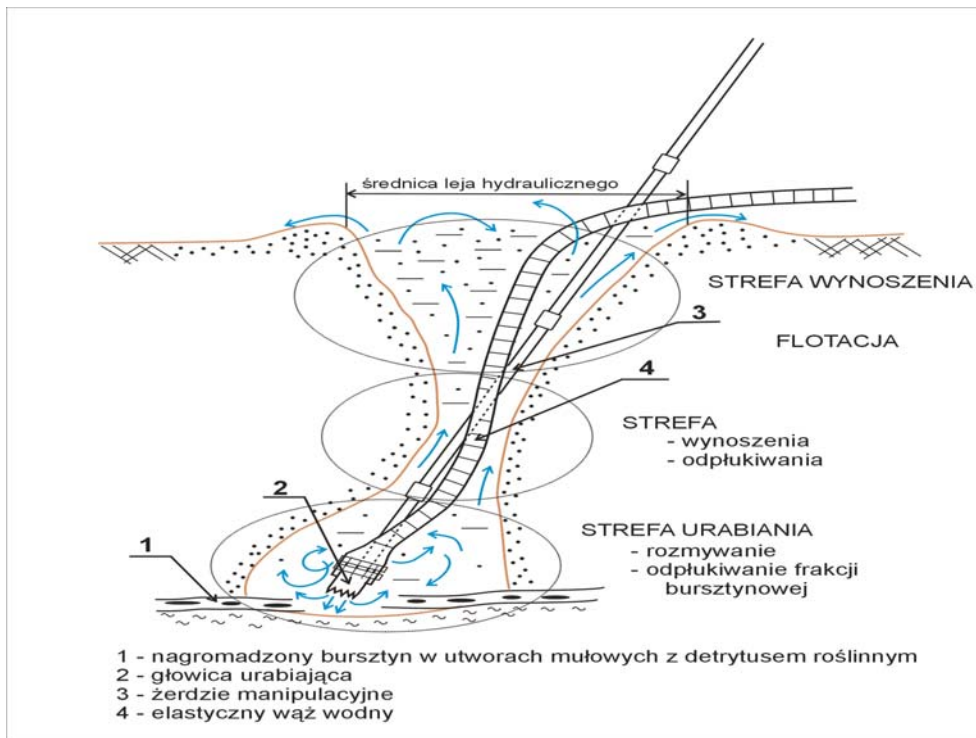
$$q = \frac{4Q}{d^2 \pi} 10^4 \quad [\text{g/m}^2]$$

- zawartość bursztynu:

$$p = \frac{4Q}{d^2 \pi m} 10^4 = \frac{q}{m} \quad [\text{g/m}^3]$$

gdzie:

- $Q$  – masa wydobytego bursztynu [g],
- $d$  – średnica rdzenia [cm],
- $m$  – miąższość serii bursztynowej [m].



Rys. 3. Otwór hydrauliczny (wg J. Klicha 2010)

Fig. 3. Hydraulic borehole (Klich 2010)



W otworach hydromechanicznych pobierane próby powinny obejmować całą serię złożową. Ocena bursztynoności na podstawie ilości wydobytego bursztynu:

— zasobność

$$q = \frac{Q}{r^2 \pi} \quad [\text{g/m}^2]$$

— zawartość bursztynu:

$$p = \frac{Q}{r^2 \pi m} \quad [\text{g/m}^3]$$

gdzie:

- $Q$  – masa wydobytego bursztynu [g],
- $m$  – miąższość serii bursztynonośnej [m],
- $r$  – promień strefy rozmywania wokółotworowego [m].

W otworach hydraulicznych pobieraną próbę stanowi całość wydobytego bursztynu. Pochodzi ona z urabianej części złoża, której forma nie jest znana. Na podstawie analizy procesu urabiania warstwy bursztynonośnej i wydobywania bursztynu (Klich 2010), można przyjąć w przybliżeniu jako jej model czaszę kulistą o wysokości równej miąższości złoża ( $m$ ) i promieniu podstawy równym zasięgowi urabiania w płaszczyźnie spągu złoża ( $R$ ).

Objętość przestrzeni wyeksploatowanej wynosi:

$$V = \frac{2}{3} R^2 \pi \cdot m$$

lub:

$$V = m \cdot r_o^2 \cdot \pi$$

gdzie

- $r_o$  – promień zastępczy podstawy walca o objętości i wysokości takiej samej jak wyeksploatowana przestrzeń złoża, wyliczany ze wzoru:

$$r_o = \sqrt{\frac{2}{3}} R = 0,83R \quad [\text{m}]$$

Zasobność wynosi zatem:

$$q = \frac{Q}{\pi r_o^2} = \frac{0,47Q}{R^2} \quad [\text{g/m}^2]$$

Zawartość bursztynu wynosi:

$$p = \frac{Q}{\pi m r_o^2} = \frac{0,47Q}{R^2 m} = \frac{q}{m} \quad [\text{g/m}^2]$$

Dla przeciętnych warunków gdy  $R = 2,5 \text{ m}$ ,  $m = 5 \text{ m}$ , można w przybliżeniu przyjąć:

- zasobność:  $q = 0,075 Q \text{ [g/m}^2\text{]}$ ;
- zawartość bursztynu:  $p = 0,015 Q \text{ [g/m}^3\text{]}$ .

## 6. Ocena jakości kopaliny

Jakość kopaliny (utworów bursztynonośnych i bursztynu) określona jest przez

- zawartość bursztynu,
- skład ziarnowy bursztynu,
- udział bursztynu przydatnego do celów jubilerskich.

Występujący w złożu bursztyn ma zróżnicowane cechy. Przede wszystkim zróżnicowany jest jego skład ziarnowy. Wśród ziarn, przede wszystkim o wymiarach ponad 15 mm wyróżnić można różniące się formą, przezroczystością, barwą, stopniem zwiertzenia (tab. 2). W ocenie jakości kopaliny powinny być wyróżniane przynajmniej trzy klasy ziarnowe bursztynu poniżej 5 mm, 5–15 mm i ponad 15 mm (Kosmowska-Ceranowicz 2004).

TABELA 2. Cechy charakterystyczne ziaren bursztynu (wg Kosmowskiej-Ceranowicz 2004)

TABLE 2. Characteristic features of amber grains (acc. to Kosmowska-Ceranowicz 2004)

Cechy ziaren	Wyróżniane rodzaje			Uwagi
Forma (ziarna ponad 15 mm)	pierwotne	naciekowe	krople	podstawowe dla oceny wartości użytkowej
			sople	
		szczelinowe (ośrodku)	płytki	
			bryłki	
	wtórne	odłupki		
	okruchy, otoczaki			
Przeźroczystość (ziarna ponad 5 mm)	przeźroczyste	świeże		ziarna świeże podstawowe dla oceny wartości użytkowej
		zwiertzałe*		
	przeświecające	świeże		
		zwiertzałe*		
	nieprzeźroczyste żółte	świeże		
		zwiertzałe*		
nieprzeźroczyste białe	świeże			
	zwiertzałe*			
	żużel (zanieczyszczony)			

\* Z otoczką kory wietrzeniowej.

## 7. Tok realizacji prac poszukiwawczo-rozpoznawczych i sposób szacowania zasobów

Sposób realizacji prac poszukiwawczych i rozpoznawczych powinien być uzależniony od oczekiwanych form złoża (tab. 3).

TABELA 3. Charakterystyka prac poszukiwawczo-rozpoznawczych złóż bursztynu

TABLE 3. Characteristics of prospecting and exploration of amber deposits

Rodzaj działań	Typ złoża		
	stratoidalno-pokładowe	stratoidalno-gniazdowe	gniazdowe
Siatka wierceń	trójkątna równoboczna lub kwadratowa zagęszczana kopertowo; w przypadku siatki kwadratowej wskazaną jest jej orientacja przekątnie w stosunku do przewidywanego kierunku wydłużenia stref bursztynonośnych		nieregularna, trójkątna równoboczna
Maksymalne odległości między otworami	200 m	25 m	10–25
Rodzaj otworów	mechaniczne obrotowe, pełnordzeniowe, średnica 14"	hydrauliczne	mechaniczne obrotowe, średnica 14" lub hydrauliczne
Rodzaj prób	Rdzeniowe	urobkowe	rdzeniowe lub urobkowe
Minimalna masa próbki	minimum 0,05 m <sup>3</sup> , 100 kg, (zalecana 0,08 m <sup>3</sup> , 160 kg)	otwory hydrauliczne: całość wydobytego bursztynu otwory mechaniczne obrotowe minimum 0,05 m <sup>3</sup> , 100 kg (zalecana 0,08 m <sup>3</sup> , 160 kg)	

**Złoża pokładowe, stratoidalne-pokładowe**, ciągłe na znacznym obszarze. Prace poszukiwawczo-rozpoznawcze powinny być prowadzone dwuetapowo:

**Etap I wstępny** – prace poszukiwawcze szczegółowe i wstępne rozpoznawcze mogą być realizowane za pomocą rzadkiej, w miarę regularnej, siatki wierceń pozwalających na udokumentowanie złoża w kategorii co najmniej D. Otwory powinny być rozmieszczane w siatce trójkątnej równobocznej, która jest optymalna lub kwadratowej zagęszczanej kopertowo. Odległości między otworami powinny być nie większe niż 200 m. W przypadku siatki kwadratowej (nie rekomendowanej) jej boki powinny być zorientowane skośnie do spodziewanego wydłużenia stref bursztynonośnych (rys. 4).

Zasoby mogą być oszacowane za pomocą formuły:

$$Q = \frac{n_b}{N} F \cdot q_{sr} \text{ [kg]}$$

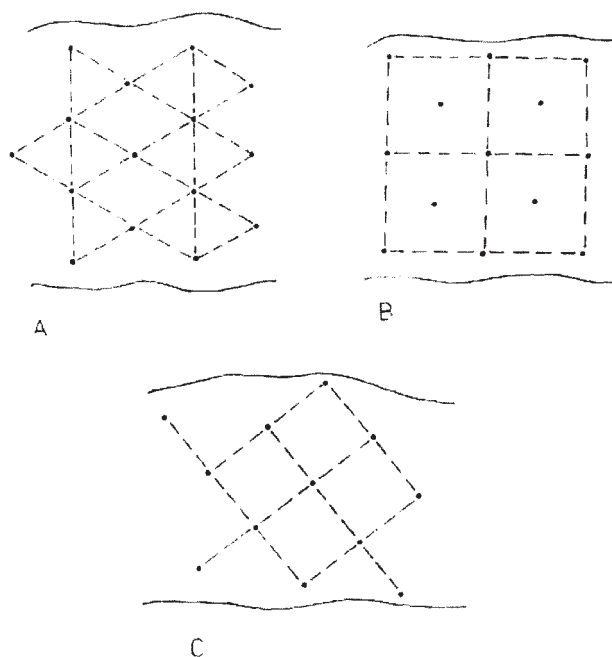
gdzie:

$F$  – powierzchnia obszaru występowania utworów potencjalnie bursztynonośnych [m<sup>2</sup>],

$N$  – liczba wykonanych otworów,

$n_b$  – liczba otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu w ilości spełniającej kryteria bilansowości,

$q_{sr}$  – średnia zasobność bursztynu [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] w otworach, w których stwierdzono jego obecność.



Rys. 4. Siatki wierceń

A – trójkątna równoboczna, B – kwadratowa zagęszczana „kopertowo”, C – kwadratowa orientowana

Fig. 4. Drillholes nets

A – triangle net, B – square “envelope” net, C – square oriented net

W przypadku stwierdzenia bursztynu w ilości spełniającej kryteria bilansowości co najmniej w 1/4 otworów zasoby mogą być klasyfikowane w kategorii  $C_2$ .

Gdy liczba otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu (niezależnie od jego ilości) jest mniejsza od 1/4 wszystkich wykonanych i przynajmniej w jednym stwierdzono obecność bursztynu w ilości spełniającej kryteria bilansowości, powinny być dokumentowane tylko zasoby przewidywane w kategorii D.

W przypadku, gdy została stwierdzona bursztynoność nie spełniająca kryteriów bilansowości, ale nie ma podstaw do uznania złoża w całości jako pozabilansowe, zasoby oczekiwane mogą być szacowane w kategorii D, w podobny sposób jak niżej przedstawiony dla złóż stratoidalno-gniazdowych.

**Etap II** rozpoznawania złoża. Celem powinno być uściślenie danych o rozmieszczeniu stref, w których zawartość bursztynu spełnia kryteria bilansowości i udokumentowanie złoża w kategorii  $C_2 - C_1$ .

W złożach przewidzianych do eksploatacji otworowej, odległości między zagęszczającymi otworami rozpoznawczymi powinny być wielokrotnością minimalnej odległości

między otworami eksploatacyjnymi. Otwory stwierdzające złoża powinny być wykorzystywane jako eksploatacyjne.

Jeśli w obszarze objętym rozpoznaniem zostaną stwierdzone zwarte rejony bursztynonośne, wówczas obliczenie zasobów może być dokonane metodą bloków lub wieloboków.

Granica stref bursztynonośnych powinna być wyznaczana na zewnątrz od skrajnych otworów pozytywnych (w połowie odległości między otworami pozytywnymi i negatywnymi lub odległości równej połowie średniej odległości między otworami).

W przypadku obliczania zasobów metodą wieloboków wskazane jest, by zasobność złoża w granicach wieloboku była obliczana jako średnia ważona:

$$q_{wb} = 0,25q_c + 0,75q_{\dot{s}rot}$$

gdzie:

- $q_c$  – zasobność w otworze centralnym,
- $q_{\dot{s}rot}$  – średnia zasobność złoża w najbliższych otworach otaczających. Wskazane jest by były to conajmniej cztery otwory, odległe od otworu centralnego o dystans „d” mniejszy lub równy średniej odległości między otworami w sieci rozpoznawczej.

Uśrednianie takie zaleca się także w przypadku obliczania zasobów metodą bloków.

W złożach przewidzianych do eksploatacji odkrywkowej zagęszczenie otworów rozpoznawczych powinno być w stopniu umożliwiającym uzyskanie dostatecznych danych dla opracowania projektu zagospodarowania złoża.

**Złoża stratoidalne gniazdowo-soczewowe i gniazdowe** – poszukiwanie szczegółowe powinno być skojarzone z rozpoznaniem złoża.

Wskazana jest realizacja prac w dwóch etapach:

**Etap I:** określenie położenia i charakteru litologicznego utworów bursztynonośnych za pomocą otworów pełnordzeniowych w ilości przynajmniej 1 otwór na 2 ha obszaru badanego. Z realizacji tego etapu badań można zrezygnować, jeśli profil serii bursztynonośnej jest znany z obszarów sąsiednich i nie ma podstaw do przypuszczeń o ich odmiennym wykształceniu. Gdy obszar złożowy wyznaczony jest na podstawie dostatecznie pewnych przesłanek albo obecność utworów potencjalnie bursztynonośnych została stwierdzona, albo została potwierdzona obecność bursztynu w odosobnionych otworach, wówczas przewidywane zasoby złoża mogą być wstępnie oszacowane w kategorii D za pomocą formuły:

$$Q = k_b \cdot 0,08 \cdot F \text{ [kg]} = 0,024 \cdot F \text{ [kg]}$$

albo:

$$Q = q_w \cdot F$$

gdzie:

- $F$  – powierzchnia obszaru złożowego [m<sup>2</sup>],

- $k_b$  – współczynnik bursztynoności,  
 $q_w$  – średnia zasobność analogicznych złóż sąsiednich.

Współczynnik bursztynoności powinien być określony na podstawie danych ze złóż wcześniej zbadanych lub eksploatowanych. W złóżach w holocenijskich osadach morskich wynosi on często około 0,2–0,3, chociaż może być także mniejszy od 0,1 (Listkowski, Łazowski 1975).

**Etap II zasadniczy** powinien obejmować poszukiwanie i rozpoznanie złoża za pomocą regularnej siatki otworów. Odległości między otworami poszukiwawczo-rozpoznawczymi nie powinny być większe niż 25 m, a w złóżach typowych gniazdowych około 10 m. W złóżach płytko położonych powinny to być otwory hydrauliczne rozmieszczane w siatce trójkątnej równobocznej (optymalnej) lub kwadratowej zagęszczanej kopertowo. W przypadku siatki kwadratowej (nie zalecanej) wskazana jest jej orientacja przekątnie w stosunku do przewidywanego kierunku wydłużenia stref bursztynonośnych.

Zasoby bursztynu powinny być oszacowane za pomocą formuły:

$$Q = \frac{n_b}{N} F \cdot q_{sr} \quad [\text{kg}]$$

gdzie:

- $F$  – powierzchnia obszaru występowania utworów potencjalnie bursztynonośnych [ $\text{m}^2$ ],  
 $N$  – liczba wykonanych otworów,  
 $n_b$  – liczba otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu,  
 $q_{sr}$  – średnia zasobność bursztynu [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] w otworach, w których stwierdzono jego obecność.

W przypadku stwierdzenia bursztynu w ilości spełniającej kryteria bilansowości co najmniej w 1/3 otworów zasoby mogą być klasyfikowane w kategorii C<sub>1</sub>.

Gdy liczba otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu (niezależnie od jego ilości) jest mniejsza od 1/3 wszystkich wykonanych i przynajmniej w jednym stwierdzono obecność bursztynu w ilości spełniającej kryteria bilansowości, powinny być dokumentowane tylko zasoby przewidywane w kategorii D.

Wyniki prac rozpoznawczych powinny być przedstawiane na mapie sytuacyjnej w odpowiednio dobranej skali z zaznaczeniem miejsc przeprowadzonych robót (otworów), z podaniem ilości uzyskanego bursztynu. Wyraźnie powinny być też zaznaczone te otwory, w których stwierdzono jedynie jego obecność oraz całkowicie negatywnych. Lokalizacja miejsc wykonania otworów powinna być przedstawiona z dokładnością do 1 m na podstawie pomiarów GPS<sup>3</sup>.

Granice obszaru występowania koncentracji złóżowych bursztynu powinny być wyznaczone po obwiedni okręgów wykreślonych wokół każdego miejsca, w którym wykonano

---

<sup>3</sup> Zalecane jest stosowanie odbiorników co najmniej klasy GARMIN 600fx.

otwór rozpoznawczy, z którego uzyskano bursztyn w ilości spełniającej kryteria bilansowości:

- w przypadku metody hydraulicznej – o średnicy 5 m,
- w przypadku metody otworowej hydromechanicznej – o średnicy zasięgu rozmywania warstwy złożowej.

Po zakończeniu eksploatacji złoża powinna być sporządzona dokumentacja rozliczeniowa złoża w formie mapy sytuacyjnej miejsc prowadzonych prac, uzupełnionej informacją o wielkości przewidywanych i wyeksploatowanych zasobów.

### **8. Wybór obszaru dla prowadzenia prac poszukiwawczo-rozpoznawczych**

Obszar przewidywanych prac (przy założeniu istnienia prawa do korzystania w jego granicach z nieruchomości gruntowych) może być określony w trojaki sposób:

- przy założeniu jego bursztynoności na zasadzie analogii do obszarów sąsiednich,
- na podstawie wyników wcześniejszych badań, które albo stwierdziły występowanie utworów bursztynonośnych, albo pozwalają na stwierdzenie występowania utworów, które mogą być bursztynonośne,
- na zasadzie przewidywanej bursztynoności wymagającej potwierdzenia w ramach planowanych prac co najmniej przez wykazanie obecności utworów potencjalnie bursztynonośnych.

W trzecim z wymienionych przypadków projekt prac powinien przewidywać wykonanie w pierwszym etapie przynajmniej jednego otworu badawczego (wskazane pełnordzeniowego), w celu rozpoznania profilu litologicznego. Wykonanie takiego otworu jest zalecane także w pierwszym przypadku, ale nie jest konieczne.

### **9. Kryteria bilansowości i ocena górnictwo-geologiczna złoża**

Dla dokumentowania złóż bursztynu były przyjmowane początkowo kryteria bilansowości podane w tabeli 4. Obecnie dla wyznaczania granic złoża dla jego geologicznego dokumentowania stosowane są kryteria przedstawione w tabeli 5.

W złożach sambijskich za bilansowe uznawano te, w których zawartość bursztynu była większa od 0,25 kg/m<sup>3</sup>, za przemysłowe przy zawartości ponad 0,5 kg/m<sup>3</sup> (Odeskij 1977).

Kryteria bilansowości należy traktować jako orientacyjne. Wstępną ocenę złoża z punktu widzenia możliwości podejmowania jego eksploatacji można przeprowadzić na podstawie porównania możliwej wartości uzyskiwanego bursztynu i kosztów jego pozyskania. W szczególności ocenić można głębokość do jakiej eksploatacja może być opłacalna.

W przypadku eksploatacji otworowej można to ocenić na podstawie zależności:

$$q \cdot F \cdot C = K_m \cdot h + K_u + q \cdot F \cdot K_z$$

i po przekształceniu:

$$h = \frac{qF(C - K_z) - K_u}{K_m} \quad [\text{m}]$$

gdzie:

- $h$  – głębokość występowania spągu złoża [m],
- $q$  – zasobność bursztynu [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ],
- $F$  – powierzchnia złoża eksploatowanego przez otwór [ $\text{m}^2$ ],
- $C$  – średnia cena bursztynu [ $\text{zł}/\text{kg}$ ],
- $K_z$  – koszty zmienne eksploatacji (wydobycia 1 kg bursztynu) [ $\text{zł}$ ],
- $K_m$  – koszt wiercenia i uzbrojenia 1 mb otworu [ $\text{zł}$ ],
- $K_u$  – koszty stałe uzbrojenia otworu [ $\text{zł}$ ].

TABELA 4. Kryteria bilansowości wprowadzone przez Ministra Hutnictwa w 1978 r. dla dokumentowania złóż bursztynu (zarządzenie z dn. 6.11.1978 r.)

TABLE 4. Criteria of documentation of amber deposits introduced by Ordinance of the Minister of Metallurgy dated 6th November 1978

Lp.	Parametr	Jednostka	Eksploatacja	
			odkrywkowa	hydrauliczna
1.	Maksymalna głębokość spągu złoża	m	50	50
2.	Maksymalny stosunek N/Z (wartość brzeżna)		10	
3.	Brzeżna zawartość bursztynu	kg/t	0,18	0,38 kg/otwór
4.	Średnia zawartość bursztynu w złożu	kg/t	0,20	0,40 kg/otwór
5.	Minimalna wielkość ziarn bursztynu	mm	0,5	0,5

TABELA 5. Kryteria bilansowości dla dokumentowania złóż bursztynu (Rozp. Ministra Środowiska z 18.12. 2001 w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalin, Dz.U.2001,153,1774)

TABLE 5. Criteria of documentation of amber deposits introduced by Ordinance of the Minister of the Environment dated 18th December 2001

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna dla zasobów	
			bilansowych	pozabilansowych
1.	Maksymalna głębokość dokumentowania	M	30	30
2.	Minimalna zasobność złoża	$\text{g}/\text{m}^2$	80	40

W przypadku eksploatacji odkrywkowej wstępną ocenę bilansowości złoża można ocenić na podstawie zależności:

$$N \cdot K_n + K_z \cdot Z = C \cdot q$$

lub

$$\frac{N}{Z} = \frac{C \cdot q}{Z \cdot K_n} - \frac{K_z}{K_n}$$



gdzie:

$N$  – grubość nadkładu [m],

$Z$  – miąższość złoża [m],

$q$  – zasobność bursztynu [ $\text{kg/m}^2$ ],

$C$  – średnia cena bursztynu [ $\text{zł/kg}$ ],

$K_z$  – koszty eksploatacji złoża i odzysku bursztynu, łącznie z wszystkimi obowiązkowymi opłatami [ $\text{zł/m}^3$  kopaliny bursztynonośnej],

$K_n$  – koszty usunięcia i składowania nadkładu [ $\text{zł/m}^3$ ].

### **Podsumowanie**

Złoża bursztynu wyróżniają się dużą zmiennością jego zawartości, wielkości ziarn i ich jakości (walorów jubilerskich). Nieregularne, gniazdowo-strefowe rozmieszczenie jego akumulacji powoduje, że mogą być one rozpoznawane tylko z ograniczoną dokładnością. Poszukiwania szczegółowe powinny być skojarzone z równoczesnym rozpoznaniem złoża i wykorzystaniem nagromadzeń bursztynu napotkanych w czasie tych prac. W poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż powinny być stosowane otwory wielkośrednicowe albo odpowiednio poszerzane, a w złożach płytko położonych otwory hydrauliczne. W serii bursztynonośnej powinny być pobierane duże próbki o objętości co najmniej  $0,05 \text{ m}^3$ , ale zalecana jest  $0,08 \text{ m}^3$ , tj. około 160 kg. W otworach hydraulicznych pobieraną próbę stanowi całość wydobytego bursztynu. Otwory rozpoznawcze powinny być wykonywane w siatce trójkątnej równobocznej. Odległości między nimi powinny wynosić około 200 m w złożach paleogeńskich stratoidalnych-pokładowych i 10 m w złożach holoceniowych i plejstoceńskich, gniazdowych. Zasoby bursztynu mogą być szacowane metodą analogii („geologiczno-statystyczną”), na podstawie danych o ilości uzyskanej kopaliny w czasie prowadzonej eksploatacji lub na podstawie wskaźnika bursztynonośności, to jest stosunku liczby otworów, w których stwierdzono obecność bursztynu do całkowitej ich liczby w obszarze objętym pracami poszukiwawczymi lub rozpoznawczymi.

Praca powstała w ramach projektu pt. „Strategie i Scenariusze Technologiczne Zagospodarowania i Wykorzystania Złóż Surowców Skalnych” (Nr POIG.01.03.01-00-001/09), realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007–2013, Priorytet 1, Działanie 1.3, Poddziałanie 1.3.1 Projekty rozwojowe.

### **Literatura**

- Jurys L., Kramarska R., Oller M., Cyłkowska H., 2008 – O metodyce dokumentowania i eksploatacji holoceniowych złóż bursztynu w delcie Wisły. *Górn. Odkrywk.* nr 2-3, s. 111–118.
- Kijewlenko J.J., 1980 – Poiski i ocena miastorożdienij dragocennyh i podielocznyh kamniej. *Niedra.* Moskwa.
- Łazowski L., Parecki A., 2004 – Prace geologiczno-poszukiwawcze i rozpoznawcze złóż unikatowych w przypowierzchniowych osadach okrucowych (bursztynu i piasków ilmenitowo-rutyłowo-cyrkonowych). *Górn. Odkrywk.* r. 46, nr 3–4, s.103 – 107 – brak przywołania w tekście.

- Klich J., 2010 – Analiza i możliwości technologiczne pozyskiwania bursztynu w polskich warunkach złożowych. [W:] Określenie zasad poszukiwań i dokumentowania złóż bursztynu. Cz. IV. Metody badań i dokumentowania nagromadzeń bursztynu. POLGEOL, Warszawa.
- Kosmowska-Ceranowicz B., 2004 – Holocenijskie nagromadzenia bursztynu w rejonie Gdańska. Prace Muzeum Ziemi, nr 47, 57–61.
- Listkowski W., Łazowski L., 1975 – Wyniki badań złóż bursztynu w okolicach Gdańska. Przegl. Geol. nr 8, s. 385–388.
- Mucha J., 2010 – Stan udokumentowania zasobów i parametrów wybranych złóż bursztynu. [W:] Określenie zasad poszukiwań i dokumentowania złóż bursztynu. Cz. IV. Metody badań i dokumentowania nagromadzeń bursztynu. POLGEOL, Warszawa.
- Nieć M., 1990 – Geologia kopalniana. Wyd. Geol., Warszawa.
- Odeskij I. A., 1977 – Opyt prognozowania promyslnych skoplenij jantara kaliningradskoj oblasti. Geologija, poiski i razwedka nierudnych polieznich iskopajemych. Wyp. 3, s. 58–63.
- Pietrowa J.E., 1988 – O racionalnoj metodike razwedki palmnienskogo miestorożdienija jantara. [W:] Metodiceskije osnovy poiskow i razwedki nierudnych polieznich iskopajemych. Leningradskij Gornij Institut, Leningrad.