

**Nikiel** (łac. *niccolum* – Ni) – należy do VIII grupy układu okresowego pierwiastków (rodzina niklowców) z triady żelazowców (Fe, Co, Ni). Ma pięć izotopów trwałych:  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{61}\text{Ni}$ ,  $^{62}\text{Ni}$  i  $^{64}\text{Ni}$ . Średnią zawartość w skorupie ziemskiej szacuje się na 75g Ni/t. Minerale użyteczne niklu tworzą szeregi i grupy izomorficzne z analogonami kobaltowymi, często zawierającymi pokaźne ilości Fe. Najważniejsze minerale Ni zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Nikiel – Kopaliny

Nazwa	Wzór chemiczny	Teor. zaw. Ni, Co [%]	Ukł. kryst.	Twardość	Gęstość
Pentlandyt	$(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$	33,22% Ni	reg.	4	5,82
Milleryt	NiS	64,67% Ni do 0,5% Co	tryg-	3,5	5,3–5,6
Polidymit	$\text{Ni}_3\text{S}_4$	57,86% Ni	reg.	4,5–6,0	4,5–4,8
Siegenit	$(\text{Ni,Co})_3\text{S}_4$ kryształy mieszane	31% Ni 20% Co	reg.	5,0	4,8–5,0
Nikielin	NiAs	43,92% Ni do 2% Co	heks.	5,0–5,5	7,78
Rammelsbergit	$\text{NiAs}_2$	28,15% Ni do 4% Co	romb.	5–6	7,1
Chloantyt	$\text{NiAs}_3$	20,73% Ni	reg.	5,5	6,4–6,6
Chatmanit	$(\text{Fe,Ni,Co})\text{As}_3$	do 10% Ni do 4% Co	reg.	6	6,8
Gersdorfit	NiAsS	35,42% Ni	reg.	5–5,5	5,6–6,2
Ullmanit	NiSbS	27,63% Ni	reg.	5–5,5	6,55
Annabergit	$\text{Ni}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	37,46% NiO	jedn.	2,5–3	ok. 3
Garnieryt	$(\text{Mg,Ni})_6[(\text{OH})_8   \text{Si}_4\text{O}_{10}]$	47% NiO	jedn.	2–2,5	2,3–2,8
Nepouit	$(\text{Ni,Mg})_6[(\text{OH})_8   \text{Si}_4\text{O}_{10}]$	do 12% NiO	jedn.	ok. 2	2,5
Pimelit Schuchardtyt	pakietowe krzemiany Ni i Mg	do 6% NiO	jedn.	ok. 2	ok. 2,4

## Przeróbka mechaniczna

Minerale niklu rzadko tworzą skupienia monometaliczne o charakterze przemysłowym, zwykle są rozproszone wśród innych minerałów. Najbardziej rozpowszechnionym siarczkowym minerałem niklu jest pentlandyt zwykle występujący w asocjacji z pirotytem i chalkopirytem. Często występują w nim izomorficzne domieszki kobaltu. Ważnym minerałem jest również milleryt, natomiast polidymit, gersdorfit, nikielin, chloantyt, annabergit i in. mają małe znaczenie przemysłowe. Znaczne ilości niklu odzyskuje się z minerałów zawierających jego domieszki. Najważniejszym z nich to nikłonośny pirotyt zawierający do 0,7% Ni. Nikiel otrzymuje się obecnie głównie z rud miedziowo-niklowych. Rudy zawierające >3% Ni, a także część rud zawierających >1% Ni, o ile nie zawierają większych ilości miedzi, można kierować do procesów metalurgicznych bez wzbogacania. Minimalna zawartość niklu w rudach kierowa-

nych do procesów przeróbczych wynosi 0,1–0,25% Ni, w zależności od zawartości innych składników użytecznych. Koncentraty zawierają 3–6% Ni, rzadko 10–15% Ni. Według wymagań przemysłu metalurgicznego powinny one zawierać nie mniej niż 2–2,5% Ni. Te małe zawartości Ni w koncentracie bywają powodowane występowaniem niklu w postaci izomorficznych domieszek w kruszcach innych metali.

Rudy żelazo-niklowe przerabiane bywają bezpośrednio w procesach metalurgicznych. Wzbogacane są rzadko. Przykładem jest niewielki zakład w Zambii, w którym rudę zawierającą magnetyt, pirotyt i drobno wprysnięty pentlandyt wzbogaca się flotacyjnie, otrzymując koncentrat o zawartości 15–18% Ni i uzysku 75% przy zawartości w nadawie 1,5–2% Ni.

W rudach utlenionych nikiel występuje w postaci złożonych, uwodnionych, pakietowych krzemianów magnezu zawierających nikiel i kobalt, natomiast żelazo w postaci limonitu. Skałę płoną tworzą

głównie substancje ilaste, kwarc i talk. Dotychczas nie opracowano skutecznych sposobów wzbogacania tych rud. Rudy te kierowane są wprost do procesów metalurgicznych.

Znaczenie przemysłowe mają przede wszystkim siarczkowe rudy Cu-Ni zawierające pentlandyt, z którym zwykle występują milleryt i polidymit. Oprócz siarczków niklu zawsze występują w znacznych ilościach niklonośny pirotyt, chalkopiryt, a w mniejszych: magnetyt, piryt, ilmenit, chromit, sfaleryt i w małych markasyt, kowelin, bornit i chalkozyn. Pirotyt, rzadziej chalkopiryt, zawierają domieszki platyny i platynowców. Siarczki, wchodzące w skład rud niklu, zawierają przemysłowe ilości złota, srebra, selenu i telluru. Skale płoną tworzą oliwin, piroksen, plagioklaz, serpentyn, talk, chloryt, hornblenda, miki, a niekiedy także kwarc i węglany.

Koncentraty niklu uzyskuje się na drodze wzbogacania ręcznego oraz rozdrabniania selektywnego i wzbogacania ręcznego, a także rozdrabniania selektywnego i wzbogacania magnetycznego lub flotacyjnego. Niektóre wyniki wzbogacania rud miedziowo-niklowych w zakładach kanadyjskich zestawiono w tabeli 2.

Metodami przeróbki mechanicznej rozdziela się także kamień nikłowy otrzymywany przy wytopie

metalurgicznym koncentratów i rud niklu oraz żeludę nikłową uzyskiwaną w trakcie wzbogacania ogniowego utlenionych rud niklu oraz metaliczny nikiel otrzymywany przy wzbogacaniu segregacyjnym krzemianowych rud niklu.

**Wzbogacanie ręczne** może być stosowane w przypadkach występowania siarczków niklu, miedzi i żelaza w postaci dużych skupień przy małym ich rozproszeniu w skale płonnej. W zależności od udziału składników użytecznych i skały płonnej wybierać można albo skałę płoną albo ziarna zawierające siarczki i zrosty. Ziarna skały płonnej z reguły są ciemne, matowe i drobnoziarniste, odróżniające się od metalicznych, jasnożółtych kruszców. Różnice te są wyraźniejsze po wstępnym przemyciu rudy surowej. Również utlenione minerały niklu dobrze odróżniają się od skały płonnej, jednak wzbogacanie ich tą metodą z powodu dużego rozproszenia jest bardzo rzadko możliwe. Obecnie w praktyce prowadzi się ręczne wzbogacanie grubych klas ziarnowych wybierając skałę płoną lub ziarna siarczków. Otrzymany koncentrat nadaje się do procesów metalurgicznych (tabela 3).

**Rozdrabnianie selektywne.** Siarczki miedzi i niklu są kruche, dlatego po wydobyciu, transporcie i rozdrabnianiu koncentrują się wśród ziaren drobnych. Z tego powodu selektywne rozdrabnianie i odsiewanie

Tabela 2. Przykładowe wskaźniki technologiczne kanadyjskich zakładów wzbogacania rud Cu-Ni

Nadawa		Koncentrat miedzi		Koncentrat niklu		Odpady		Uzysk, %	
Zawartość, %								Ni	Cu
Ni	Cu	Cu	Ni	Ni	Cu	Ni	Cu		
2,20	4,40	25,0	1,25	5,35	0,49	0,25	0,10	85,0	95,0
0,99	0,74	5,9	6,50	1,15	0,17	0,13	0,06	88,9	95,1
1,90	0,79	30,7	0,49	13,88	1,52	0,29	0,05	86,4	71,8
1,20	0,38	3,0	5,50	3,40	0,52	0,16	0,05	–	–

Tabela 3. Przykładowe wyniki wzbogacania rud Cu-Ni

Produkt	Wychód, %	Zawartość, %		Uzysk, %	
		Ni	Cu	Ni	Cu
Nadawa	100,0	1,53	0,72	100,0	100,0
Koncentrat wzbogacania ręcznego	7,9	4,80	1,94	24,8	21,2
Koncentrat wzbogacania magnetycznego	11,4	3,30	1,60	24,6	25,0
Koncentrat rozdrabniania selektywnego	22,8	2,46	1,30	36,7	41,4
Szlamy z przemywania	0,1	2,38	1,04	0,2	0,2
Odpady wzbogacania ręcznego	41,4	0,20	0,07	5,4	4,1
Odpady wzbogacania magnetycznego	16,4	0,75	0,35	8,2	8,1
Nadawa	100,0	1,23	0,76	100,0	100,0
Koncentrat wzbogacania magnetycznego	13,2	4,18	2,49	45,1	45,6
Koncentrat wzbogacania flotacyjnego	2,6	3,50	3,50	7,5	12,8
Koncentrat rozdrabniania selektywnego	18,1	2,50	1,42	36,4	35,6
Odpady	66,1	0,20	0,07	10,7	6,0

ziaren drobnych jest stosowane w niektórych zakładach jako operacja wzbogacania obok innych metod, np. magnetycznych. Przykładowy schemat wzbogacania kruszców niklu obejmuje rozdrabnianie urobku poniżej 75 mm, a następnie rozsiewanie na klasy ziarnowe 75–25, 25–9 i 9–0 mm. Ziarna <9 mm stanowią koncentrat (tabela 3). Ziarna grubsze poddaje się dalszej przeróbce.

Tabela 4. Wyniki wzbogacania rud Cu-Ni metodą selektywnej flotacji miedzi

Produkt	Zawartość, %		Uzysk, %	
	Ni	Cu	Ni	Cu
Nadawa	1,70	3,4	100	100
Koncentrat miedziowy	1,00	25,0	5	95
Koncentrat niklu	7,00	0,5	85	3
Odpady	0,25	0,1	10	2

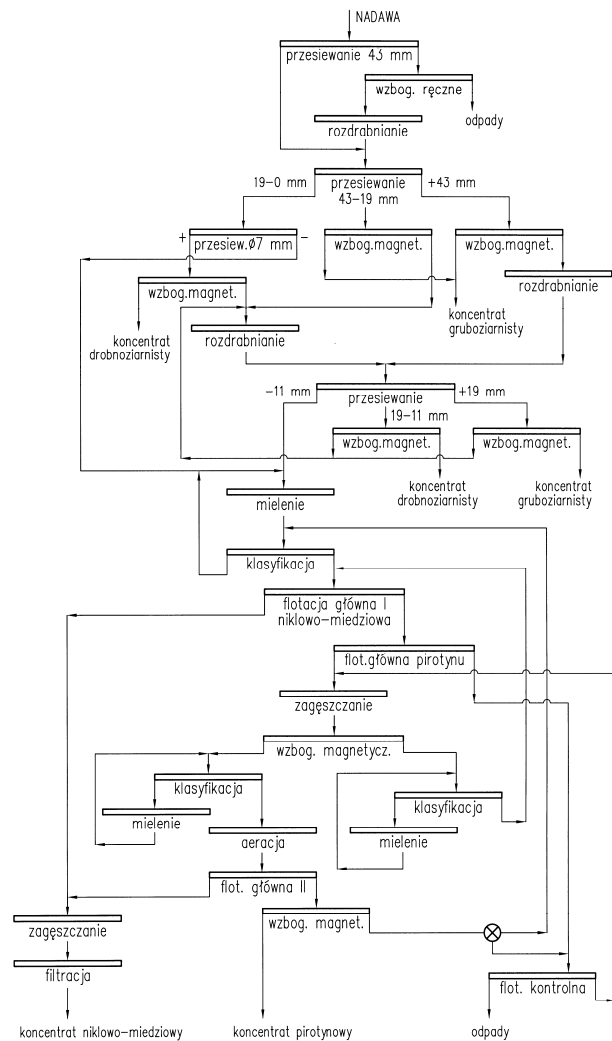
Rudy Cu-Ni charakteryzują się niejednorodnością wprysnięć i tylko część minerałów grubowprysniętych można odzyskać przy kruszeniu lub grubym mieleniu. Przy drobnych wprysnięciach, dla uzyskania odpowiedniego rozdrobnienia minerałów, wymagane jest mielenie do 90% ziaren poniżej 0,074 mm. W celu uniknięcia przemielenia stosuje się schematy stadialnego rozdrabniania i wzbogacania.

**Wzbogacanie grawitacyjne** stosowane jest jako operacja kontrolna lub uzupełniająca. Stosowane są wzbogacalniki strumieniowe proste (szluzы) w celu wydzielenia siarczków i innych minerałów ciężkich z odpadów flotacyjnych oraz stoły koncentracyjne do oczyszczania koncentratów otrzymanych we wzbogacalnikach strumieniowych lub do kontroli jakości odpadów flotacyjnych. Prowadzone są próby wprowadzenia wstępnego wzbogacania grubowprysniętych rud Cu-Ni w cieczach ciężkich.

**Wzbogacanie magnetyczne** jest możliwe dzięki dużej podatności magnetycznej pirotynu. W mineralu tym znajdują się domieszki niklu, a w rudzie również zrosty pirotynu z minerałami niklu. Wydzielenie pirotynu powoduje koncentrację niklu. Ważne jest, aby składniki użyteczne tworzyły większe skupienia. Proces prowadzony jest na ogół na sucho we wzbogacalnikach bębnowych lub tarczowych. Przed wzbogacaniem nadawa powinna być rozdzielona na wąskie klasy ziarnowe i usunięte muszą być ziarna drobne.

Wzbogacanie magnetyczne może być stosowane jako operacja kontrolna w węzle flotacji oraz jako operacja czyszcząca koncentraty flotacyjne pirotynu. Przykładowy schemat wzbogacania magnetycznego pokazano na rys. 1, a niektóre rezultaty wzbogacania w tabeli 3.

**Wzbogacanie flotacyjne.** Rudy Cu-Ni wzbogaca się drogą flotacji kolektywnej minerałów miedzi



Rys. 1. Schemat magnetyczno-flotacyjnego wzbogacania rud Cu-Ni

i niklu, kierując koncentrat, zawierający 3–6% Cu i 5,5–13,5% Ni, do procesów metalurgicznych lub do flotacji selektywnej minerałów miedzi przy depresji pirotynu i pentlandytu.

Flotacja jest główną metodą wzbogacania rud Cu-Ni. Pentlandyt dobrze flotuje wyższymi ksantogenianami, np. butylowym i amylovym, w środowisku neutralnym i słabo zasadowym. Milleryt flotuje dobrze za pomocą ksantogenianu butylowego w środowisku obojętnym oraz słabo kwaśnym i słabo zasadowym. Niklonośny pirotyt flotuje tymi samymi zbieraczami w środowisku słabo kwaśnym i kwaśnym. Pentlandyt i pirotyt gorzej flotują niż siarczki miedzi, dlatego do ich wydzielenia stosuje się duże dodatki odczynników zbierających (100–200 g/t). Przy flotacji kolektywnej stosowany jest często jako zbieracz ksantogenian izopropylowy (80 g/t). Pentlandyt, a zwłaszcza pirotyt szybko utleniają się, a powstające na powierzchni minerałów warstewki wodorotlenków żelaza utrudniają flotację. Odczynnikami pianotwórczymi są olej sosnowy, flotal, odczynnik Dowfroth, metyloizobutylokarbinol, ksyle-

nol, odczynnik T-66, a także aerofloty butylowy i krezolowy, będące równocześnie zbieraczami minerałów niklu.

Przy flotacji selektywnej niklonosny pirotyt można depresować wszystkimi zasadami, pentlandyt i milleryt dużymi dawkami wapna lub wapna z dodatkiem cyjanków albo dekstryny. Dzięki temu łatwo można oddzielić milleryt od piryty za pomocą wapna przy pH nie większym niż 8,2–8,5 albo za pomocą sody kalcynowanej lub żrącej. Do depresji minerałów niklu bywa stosowany kwaśny siarczyn potasowy w środowisku obojętnym.

Do aktywacji pentlandytu i pirotytu stosuje się siarczan miedziowy (45–60 g/t), przy dużych jego dawkach (do 200 g/t), po uprzedniej depresji wapnem. Niekiedy dla poprawy aktywacji dodaje się małe ilości siarczku sodowego. Najbardziej efektywnym sposobem aktywacji pirotytu jest wytworzenie środowiska słabo kwaśnego (pH około 6) za pomocą kwasu szczawowego, siarkowego lub gazem siarkowym.

Skalę płonną, a także flotujące żelazo-magnezowe krzemiany depresuje się za pomocą szkła wodnego (1–3 kg/t), karboksymetylocelulozy (0,3–0,5 kg/t), sulfoeterocelulozy, miedziowo-amonowych roztworów celulozy, guar-tecy (150–200 g/t) lub dekstryny kukurydzianej (400 g/t).

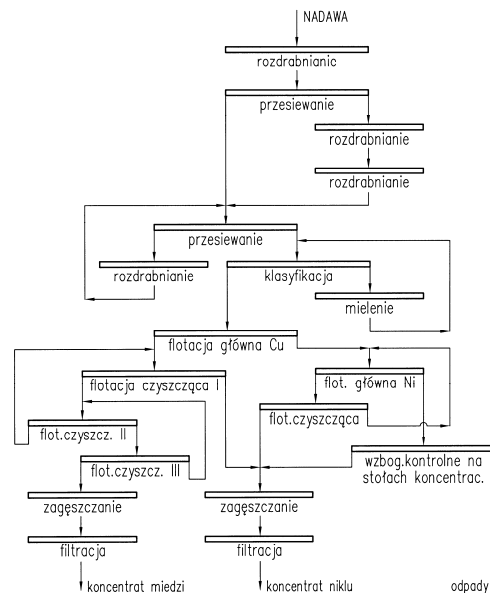
Istnieją różne sposoby flotacyjnego wzbogacania rud Cu-Ni. Opis niektórych z nich przedstawiono poniżej.

**Flotacja selektywna minerałów miedzi** jest stosowana w przypadku, gdy w rudzie znajduje się duża ilość minerałów miedzi, które należy wydzielić w postaci oddzielnego koncentratu. Flotuje się je przy małych dawkach ksantogenu, depresując wapnem minerały niklu. Odpady flotacji miedzi aktywuje się i flotuje minerały niklu dużymi dawkami ksantogenu. Trudność sprawia aktywowanie zdepresowanych minerałów niklu (pentlandytu i pirotytu niklonosnego).

Możliwy jest też rozdział minerałów miedzi i niklu bez depresowania tych ostatnich. Stosuje się wówczas tzw. „głodną” flotację minerałów miedzi (chalkozynu).

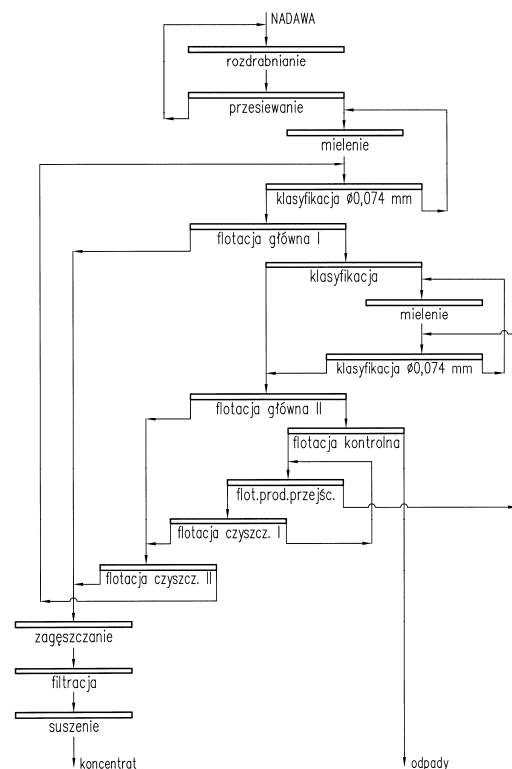
Schemat wzbogacania metodą flotacji selektywnej pokazano na rys. 2, a w tabeli 4 zestawiono otrzymywane wyniki wzbogacania. Nadawa po rozdrobnieniu kierowana jest do flotacji selektywnej miedzi przy pH = 8,5. Odczynnikiem zbierającym jest ksantogenu etylowy dozowany w małych ilościach. Koncentrat miedzi otrzymany z flotacji głównej poddaje się czyszczeniu przy pH = 11 w celu usunięcia z niego minerałów niklu.

Produkt komorowy flotacji miedzi poddaje się działaniu siarczynu miedzi (200 g/t) w celu aktywacji minerałów niklu, które następnie flotuje się ksantogenu etylowym (80 g/t) oraz mieszaniną ksantogenu etylowego i butylowego (30 g/t).

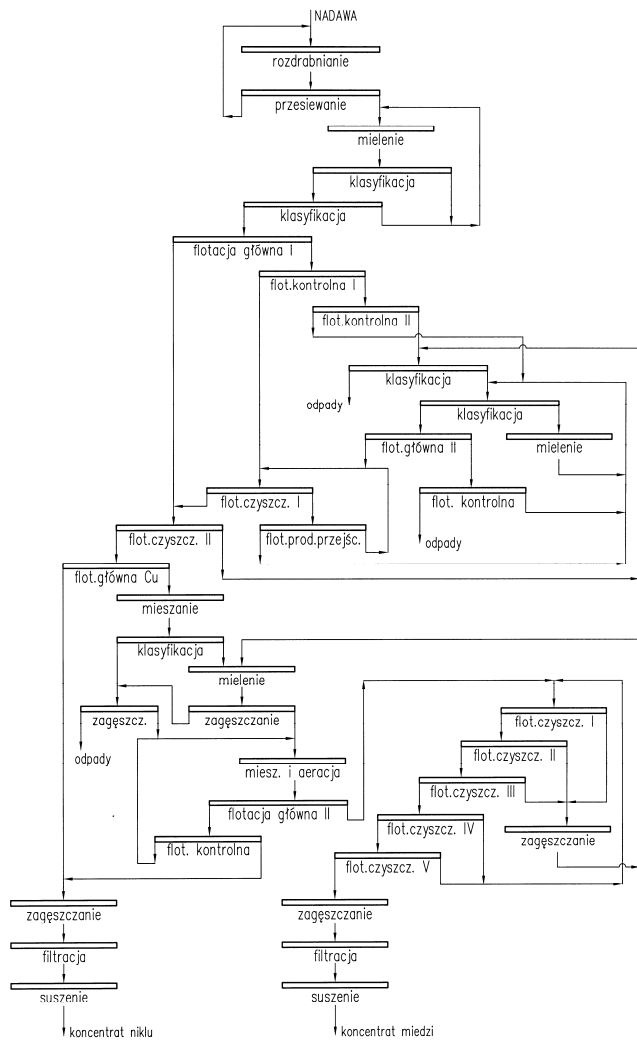


Rys. 2. Schemat selektywnej flotacji miedzi z rud Cu-Ni

**Flotacja kolektywna siarczków bez późniejszego rozdziału** jest stosowana, gdy ruda zawiera niewiele miedzi i koncentrat kolektywny może być kierowany wprost do procesów metalurgicznych, a także w przypadku wzbogacania rud w zakładach o małej wydajności, gdzie nie opłaca się budować sekcji flotacji selektywnej. Schematy flotacji kolektywnej są proste i pozwalają w łatwy sposób osiągnąć wysokie uzyski składników użytecznych, np. 4,3% Ni w koncentracie przy uzysku powyżej 86%. Przykładowy schemat flotacji kolektywnej pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat kolektywnej flotacji rud Cu-Ni



Rys. 4. Schemat kolektywno-selektywnej flotacji rud Cu-Ni

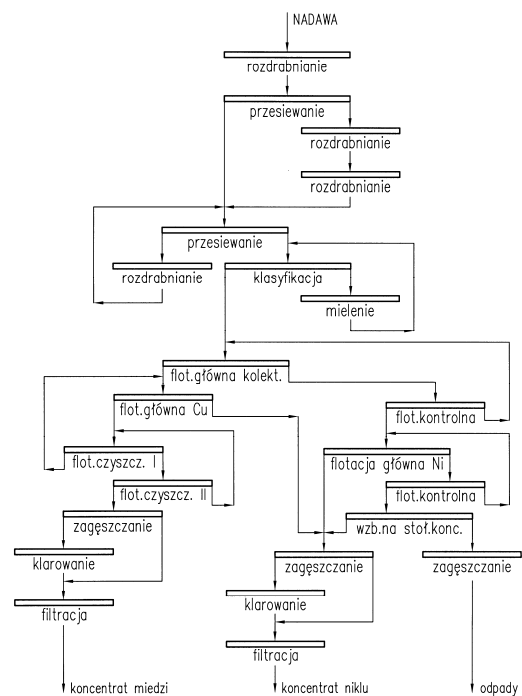
Flotacja taka jest dwustadialna. W pierwszym z nich flotuje się nadawę o uziarnieniu 35–40% poniżej 0,074 mm, w drugim 67–72% poniżej 0,074 mm. Zużycie odczynników ksantogenianu butylowego 120 g/t, aeroflotu krezyłowego 150 g/t, sody kalcynowanej 2,5 kg/t, szkła wodnego 0,5 kg/t.

**Flotacja kolektywna z późniejszym rozdziałem** stosowana jest, gdy w rudzie znajduje się znacznie większa ilość miedzi niż niklu i należy ją wydzielić w oddzielnych koncentratkach. Przykładowy schemat flotacji kolektywnej z rozdziałem koncentratu pokazano na rys. 4. W pierwszym etapie prowadzi się flotację kolektywną w środowisku słabo zasadowym, przy pH = 7,5–9 osiąganym za pomocą sody. Pirotyt aktywuje się, dodając  $\text{CuSO}_4$  w niewielkich ilościach. Koncentrat flotacji głównej kierowany jest do flotacji czyszczącej, natomiast odpady do flotacji kontrolnych. Koncentraty flotacji kontrolnych poddawane są flotacji czyszczącej, natomiast odpady kierowane są razem z produktem przejściowym z czyszczenia koncentratu do mielenia i do kolejnych flotacji. Koncentrat kolektywny rozdzielany jest przy pH = 11–13 (dodatek wapna). Do produktu pianowego

przechodzą minerały miedzi, natomiast pentlandyt i pirotyt są depresowane i przechodzą do produktu komorowego, który stanowi koncentrat niklu. Produkt pianowy poddawany jest klasyfikacji, domielaniu i kierowany do dalszych flotacji w celu oczyszczania go z minerałów niklu.

**Flotacja kolektywna miedzi i niklu z późniejszym rozdziałem** na ciągi flotacji miedzi i flotacji niklu jest stosowana w przypadkach występowania trudno flotujących ziaren pirotytu, częściowo powierzchniowo utlenionego, przechodzącego do odpadów flotacji kolektywnej. Kolejność operacji wzbogacania prowadzonego według takiego schematu pokazano na rys. 5. Koncentrat kolektywny kierowany jest do flotacji miedzi, gdzie we flotacji głównej wydzieliła się minerały miedzi, kierowane do flotacji czyszczących. Ilość flotacji czyszczących zależy od właściwości rudy. Odpady flotacji kolektywnej po flotacji kontrolnej kierowane są do flotacji głównej niklu, gdzie stwarza się warunki do flotacji częściowo utlenionego pirotytu (duży front maszyn flotacyjnych, silniejsze odczynniki zbierające). Wyniki wzbogacania pokazano w tabeli 5.

Uzysk niklu podczas flotacji obniża się w przypadkach występowania znacznych ilości oliwinu, serpentynu, piroksenu i krzemianów, zawierających izomorficzne domieszki niklu. Niekorzystny wpływ wywierają przerosty siarczków i krzemianów. Niektóre krzemiany przechodzą do koncentratu, pogarszając jego jakość. Uzysk niklu zależy od rodzaju rudy. Bogate rudy, zawierające 2–2,5% Cu + Ni pozwalają na osiągnięcie uzysków 95–98% Cu i 92–94%



Rys. 5. Schemat kolektywnej flotacji rud Cu-Ni z późniejszym rozdziałem na ciągi flotacji Cu i flotacji Ni

Tabela 5. Wyniki wzbogacanie rud Cu-Ni metodą kolektywną flotacji z późniejszym rozdziałem na ciągi flotacji miedzi i flotacji niklu

Produkt	Wychód, %	Zawartość, %		Uzysk, %	
		Ni	Cu	Ni	Cu
Nadawa	100,00	1,90	0,79	100,00	100,00
Koncentrat miedziowy	11,82	0,49	30,70	0,47	71,78
Koncentrat niklu	1,85	13,88	1,52	86,35	22,75
Odpady	86,33	0,29	0,05	13,18	5,47
Nadawa	–	0,76	0,31	100,00	100,00
Koncentrat miedziowy	–	0,78	27,00	0,80	69,70
Koncentrat niklu	–	5,77	0,58	91,90	22,70
Odpady	–	0,06	0,03	7,30	7,60

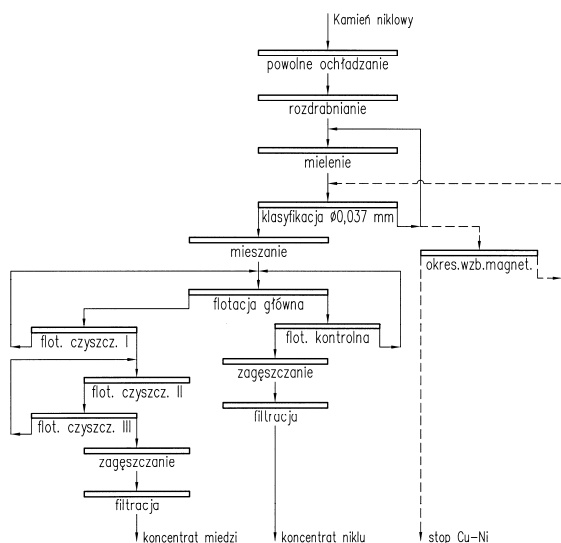
Ni, biedniejsze 90% Cu i 80–85% Ni. Trudniej wzbogacają się rudy o łącznej zawartości miedzi i niklu <1%. Koncentraty selektywne Cu zawierają do 30% Cu. Koncentraty kolektywne Cu-Ni – 4–7% Ni przy uzysku 70–85%. Niższe uzyski niklu tłumaczy się występowaniem niklu w nieflotujących krzemianach i drobnymi wprysnięciami siarczków w skale płonnej.

### Wzbogacanie kamienia niklowego

Przy stosunku zawartości Cu:Ni < 2 koncentraty kolektywne można kierować do wytopienia, a otrzymany kamień nikłowy rozdzielać metodą flotacji. Kamień nikłowy otrzymuje się również przy przetopie rud Cu-Ni. W powoli ochładzanym kamieniu nikłowym wytrącają się siarczki miedzi  $Cu_2S$  i niklu  $Ni_3S_2$ , które można rozdzielić flotacyjnie. Schemat takiego procesu przedstawiono na rys. 6. W pierwszym etapie ochładza się kamień nikłowy od 800°C do 200°C, przy czym szybkość ochładzania zależy od zawartości żelaza. Im jest ona mniejsza, tym wol-

niejsze powinno być ochładzanie, np. przy 1% Fe – 50°/godz, przy 4% Fe – 20°/godz. Po ochłodzeniu kamień kierowany jest do rozdrabniania, mielenia, a następnie do klasyfikacji. Ze względu na kowalność kamienia niklowego stosowane są duże zawroty w obiegu młyn – klasyfikator. Aby je zmniejszyć okresowo w obieg młyn – klasyfikator włącza się operację magnetycznego wydzielenia stopu miedziowo-niklowego.

Do flotacji podaje się materiał zawierający 80% ziaren poniżej 0,037 mm. Schemat flotacji składa się z flotacji głównej, kontrolnej i zwykle trzech czyszczących. Flotuje się siarczek miedzi w środowisku zasadowym (pH = 12–12,5) uzyskanym wskutek dodatku sody żrącej (8–12 kg/t). Odczynnikiem zbierającym jest ksantogenian butylowy lub amyłowy, pianotwórczym – fenol lub olej sosnowy. Na przebieg flotacji ma wpływ zawartość żelaza, im jest go więcej w nadawie, tym niższe powinno być pH środowiska (11,5–12,2) i większa gęstość nadawy (1% Fe – 18–20% części stałych, 2–3% Fe do 40% części stałych, 3–3,5% Fe – 43–55% części stałych). Przykładowe rezultaty wzbogacania kamienia niklowego zestawiono w tabeli 6. Pod względem ekonomicznym wzbogacanie flotacyjne jest najkorzystniejszym sposobem jego rozdziału.



Rys. 6. Schemat wzbogacania flotacyjnego kamienia

Tabela 6. Przykładowe wyniki wzbogacania flotacyjnego kamienia niklowego

Produkt	Zawartość, %		Uzysk, %	
	Cu	Ni	Cu	Ni
Nadawa	32,6	39,7	100,0	100,0
Koncentrat miedziowy	69,0	4,4	87,9	4,5
Koncentrat niklu	3,5	68,0	5,6	89,1
Produkt pośredni	30,1	36,0	6,0	5,9
Nadawa	27,8	47,5	100,0	100,0
Koncentrat miedziowy	71,0	6,5	50,2	8,1
Koncentrat niklu	17,3	54,4	49,8	91,9

### **Wzbogacanie żelgrudy niklowej**

W utlenionych rudach niklu, nikiel występuje głównie w postaci uwodnionych krzemianów niklo-magnezowych jak np. schuchardyt i pimelit. Zawarty jest też w takich minerałach, jak: antygoryt niklowy, chryzotyl niklowy i chloryt niklowy. Skałę płonną tworzą goethyt, kwarc, amfibol, antygoryt, chalcedon, spinel chromowy, talk. Rudy te można wzbogacać w procesie żelrudowym. W skład mieszanki wsadowej wchodzi ruda niklu, kamień wapienny jako topnik, materiały żelazonośne i koksik używany jako materiał redukcyjny. Materiały żelazonośne dodawane są w takich ilościach, aby stosunek żelaza do niklu wynosił od 12:1 do 15:1. Ruda poddawana jest redukcji w piecu obrotowym w temperaturze 1100°C. Następuje wówczas rozkład złożonych związków i redukcja tlenków niklu i żelaza do postaci metalicznej. Następnie podwyższa się temperaturę do 1350°C, w której nadawa przyjmuje półpłynną konsystencję, a drobne zredukowane ziarna żelaza i niklu zgrzewają się w większe ziarna (do

8 mm). Po ochłodzeniu otrzymuje się zastygłą mieszaninę żelazo-niklu i żużla. Produkt ten rozdrabnia się poniżej 2 mm, a następnie wzbogaca magnetycznie. Koncentrat zawiera 6,5% Ni i 79% Fe. Prowadzone były badania nad wydzielaniem żelazo-niklu z żelgrudy na drodze wzbogacania grawitacyjnego przy zastosowaniu osadzarek oraz wzbogacalników strumieniowo-wachlarzowych.

### **Wzbogacanie metalicznego niklu otrzymanego z procesu segregacji**

Krzemianowe rudy niklu można wzbogacać metodą segregacji, polegającą na otrzymywaniu metalicznego niklu przez prażenie mieszaniny rudy, węgla i NaCl lub CaCl<sub>2</sub>. Proces ten jest trudny, lecz pozwala wzbogacać te rudy w sposób opłacalny. Prażenie segregacyjne oraz chłodzenie spieku jest tak prowadzone, aby nie następowało wtórne utlenienie metalu. Metaliczny nikiel wydziela się, po uprzednim zmieleniu produktu, metodą flotacji lub kombinowaną flotacyjno-magnetyczną.