



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii i Technologii
Chemicznej

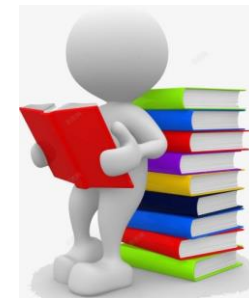


Kaskada Nysy Kłodzkiej – koncepcja odbudowy retencji i gospodarcze wykorzystanie osadów dennych

Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kowalski

Prof. dr hab. inż. Agnieszka Makara, Prof. dr hab. inż. Marcin Banach

WSTĘP



Zarządzanie zasobami wodnymi zbiorników retencyjnych wymaga informacji o ilości wody dopływającej do zbiornika, oraz danych o jego aktualnej pojemności. Ze względu na tempo zamulania, zwłaszcza małych zbiorników, ich pojemność ulega szybkiej redukcji. Szacowana **średnia roczna strata pojemności** w przypadku **dużych zbiorników wynosi 0,25%, średnich 0,5%, a małych 3,0%.**

W 2018 r. w Polsce było **4195** sztucznych zbiorników retencyjnych. Najstarszy to znajdujący się na Brdzie zbiornik Zapora, zbudowano w 1848 r.

W Polsce jest **100** retencyjnych zbiorników wodnych, o pojemności powyżej **1 mln m³.**

Największe **10** sztucznych zbiorników wodnych ma pojemność w sumie **2,24 mld m³.**

WSTĘP

Osady denne są materiałem osadowym, który odkłada się systematycznie zmniejszając pojemność retencyjną zbiorników wodnych. Po 50 latach funkcjonowania **zbiornik wodny może zawierać 25-50% osadów dennych**. Średni wiek zbiorników wodnych w Polsce waha się od 30 do ponad 100 lat, stąd też oszacowano **ilość osadów dennych zgromadzonych w Polsce** na około 50% ich pojemności, czyli około **1,5 mld m³**. Skala problemu, który narasta z roku na rok jest więc ogromna.

Gromadzenie osadów dennych jest głównym czynnikiem wpływającym na okres eksploatacji zbiorników wodnych. Utrata ok. 80% pierwotnej pojemności może powodować, że zbiornik nie spełnia już swoich funkcji. Ograniczenie funkcji małych zbiorników wodnych następuje już przy redukcji pojemności 40-60% i dlatego **żywołność tych zbiorników** powinna być określana dla **zamulenia wynoszącego 50% pojemności pierwotnej**.

Odtworzenie pojemności zbiornika odbywa się zazwyczaj poprzez mechaniczne usuwanie osadów. Najczęściej stosowane są:

- ❖ bagrowanie,
- ❖ mechaniczne pogłębianie za pomocą pogłębiarek chwytakowych lub wieloczerpakowych,
- ❖ zasysanie wody z osadami za pomocą pogłębiarek ssących (refulerów),
- ❖ zasysanie wody z osadami za pomocą syfonu lub rury podłączonej do upustu dennego.



WŁASNOŚCI OSADÓW DENNYCH

Na podstawie przeprowadzonej oceny przydatności osadów do celów budownictwa ziemnego stwierdzono, że można je stosować do **formowania nasypów drogowych i hydrotechnicznych**, pod warunkiem polepszenia ich właściwości.

Przykładowo w cofce Zbiornika Czorsztyńskiego zalegają naprzemianległe osady piaszczysto-pylaste. Materiał uśredniony sklasyfikowano jako piasek pylasty, kilkufrakcyjny, o niedużej zawartości części organicznych pozwalającej zaliczyć ten materiał do gruntów mineralnych.

- ❖ Uziarnienie próby uśrednionej osadów dennych odpowiada pyłom o zawartości **frakcji piaskowej** (2 – 0,063 mm) do **74,9%**, **pyłowej** (0,063 – 0,002 mm) **24,4%** oraz **iłowej** (<0,002 mm) **0,8%**.
- ❖ Wartość gęstości właściwej – **2,6 g/cm³**,
- ❖ Straty prażenia – **4,7%**,
- ❖ Zawartość części organicznych – **1,5 %**,
- ❖ Wilgotność średnia – **14,8%**.

Osady te należy zakwalifikować do gruntów nisko-organicznych. Substancja organiczna charakteryzuje się wysoką hydrofilnością, co wpływa na zwiększenie ich ściśliwości.



POTENCJALNE WYKORZYSTANIE OSADÓW DENNYCH

Wydobyte osady denne ze zbiorników wodnych mogą zastąpić naturalne materiały mineralne stosowane:

- ❖ w budownictwie do budowy nasypów hydrotechnicznych (w tym wałów przeciwpowodziowych) oraz nasypów drogowych,
- ❖ do wykonywania przesłon mineralnych na składowiskach odpadów,
- ❖ do budowy plaż i nabrzeży.

Wymogi odnośnie kryteriów, które powinny spełniać grunty do wykorzystania w budownictwie określają odpowiednie normy budowlane.

Osad denný wykorzystywany w budownictwie musi spełniać kryteria geotechniczne dotyczące m.in.:

- ❖ wilgotności naturalnej,
- ❖ składu uziarnienia,
- ❖ granic konsystencji,
- ❖ gęstości właściwej,
- ❖ parametrów zagęszczenia (maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej),
- ❖ współczynnika filtracji,
- ❖ parametrów wytrzymałości na ścinanie.



POTENCJALNE WYKORZYSTANIE OSADÓW DENNYCH

Ważnym kryterium ekonomicznym, brany pod uwagę przy stosowaniu osadów dennych w budownictwie jest **mała odległość ich położenia od miejsca budowy**, co bardzo często jest spotykane np. przy budowie zapór ziemnych, gdzie technologie budowlane dobiera się pod parametry materiałów miejscowych, kładąc nacisk na jak największe wykorzystanie materiałów lokalnych, co znacznie obniża koszty inwestycyjne.

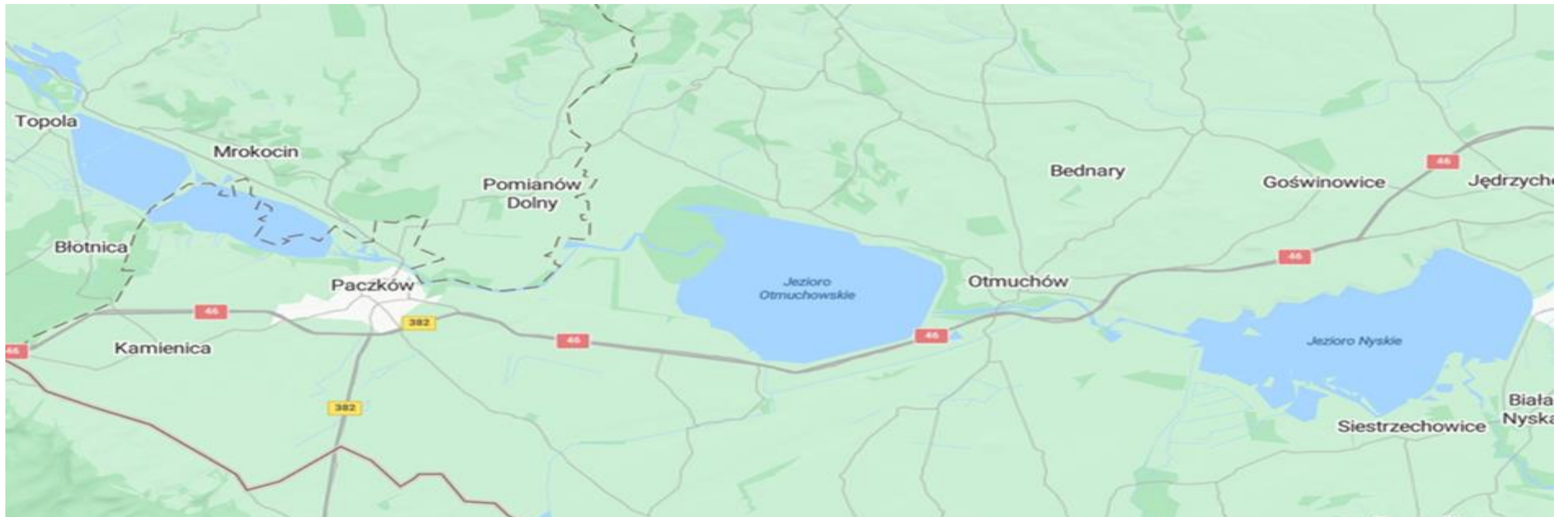
Przy budowie wałów przeciwpowodziowych kryteria dotyczą dostępności materiału w przypadku konieczności napraw i utrzymania technicznego, stąd często wykorzystuje się materiały lokalne.

Osady denne mogą być stosowane także do wytwarzania **mieszanin podsadzkowych w nieczynnych kopalniach** zarządzanych przez Spółkę Restrukturyzacji kopalń i pod tym kątem mogą zostać dobrane odpowiednie receptury i testy.

KASKADA NYSY KŁODZKIEJ

W skład Kaskady Nysy Kłodzkiej wchodzi cztery zbiorniki retencyjne:

- ❖ Topola,
- ❖ Kozielno,
- ❖ Nyski i Otmuchowski w środkowym biegu Nysy Kłodzkiej.



Zbiornik Topola – zbiornik zaporowy, retencyjny wybudowany w latach 1995 – 2003 na rzece Nysa Kłodzka, tuż powyżej miasta Paczków. Przy maksymalnym piętrzeniu (7,8 m) zbiornik ma **powierzchnię 3,4 km²** i **pojemność 21,68 mln m³**. Wody zbiornika zasilają elektrownię wodną o mocy 1,56 MW.

Położony jest w gminie Kamieniec Ząbkowicki poniżej miejscowości Topola, powstał ze spiętrzenia wód rzeki Nysa Kłodzka i zalania wyrobisk żwirowni. Zbiornik wraz z położonym bezpośrednio poniżej niego zbiornikiem Kozielno, tworzy Zalew Paczkowski.



Zbiornik Kozielno – zbiornik retencyjny powstały wyniku zalania wielu małych stawów i większych wyrobisk po żwirowni na rzece Nysa Kłodzka, zlokalizowany jest na obszarze gmin Kamieniec Ząbkowicki i Paczków.

Pojemność przy maksymalnym poziomie wody wynosi **16,30 mln m³**. Wody zbiornika zasilają elektrownię wodną wyposażoną w jeden hydrogenerator o mocy 1,9 MW. Zbiornik wraz z położonym bezpośrednio powyżej niego zbiornikiem Topola, tworzy Zalew Paczkowski.



Zalew Paczkowski – Zbiorniki Topola i Kozielno

Zbiornik Otmuchowski - rok uruchomienia: 1933, maksymalna **pojemność 125 mln m³**, **powierzchnia 20 km²**. Zaporowo-retencyjny zbiornik położony w zachodniej części Otmuchowa. Przy zbiorniku funkcjonuje czteroturbinowa elektrownia wodna.

W skład zbiornika wchodzi najdłuższa w Polsce zapora ziemna, o długości 6,5 km. W 2014 r. zakończono modernizację elektrowni, wymieniono turbiny i generatory. Po modernizacji każdy z 2 generatorów ma moc zainstalowaną 3487,5 kW.



Zbiornik Otmuchowski

Zbiornik Nyski - powstał przez zalanie wodą znacznego obszaru gminy Nysa (rok uruchomienia 1972), **powierzchnia 2077 hektarów, pojemność całkowita zbiornika 123,4 mln m³**, w tym stała rezerwa powodziowa wynosi 55,8 mln m³. Zbiornik tworzony jest poprzez betonowo ziemną zapórę o długości ponad 5 km i wysokości do 14 m.

Przy zbiorniku retencyjnym funkcjonuje elektrownia wodna o mocy 4,8 MW. Średni przepływ u ujścia Nysy Kłodzkiej do Odry to 50 m³/s, a ten, który nie jest groźny dla infrastruktury poniżej zapory, waha się z kolei od 150 do 190 m³/s. W lipcu 1997 r. wynosił ponad 950 m³/s, w efekcie awaryjnego zrzutu zalano m.in. Nysę.



Zbiornik Nyski

Charakterystyka zbiorników kaskady Nysy Kłodzkiej

Zbiornik	Rok uruchomienia	Pojemność maksymalna [mln m ³]	Ilość osadów dennych [mln m ³]	Stopień wypełnienia osadem [%]
Topola	2003	21,7	9,2**	42
Kozielno	2003	16,3	6,8**	42
Otmuchowski	1933	125	112,5*	90
Nyski	1972	123,4	64,2*	52
Razem		286,4	184,6	64

Założony wzrost ilości osadów dennych o 1% (zbiorniki duże), lub 2%** (zbiorniki małe), pojemności na rok

Ocena ilości osadów dennych ma charakter szacunkowy. Zbiornik Otmuchowski jest prawie całkowicie wypełniony szlamem, a Zbiornik Nyski w ponad 50%. W sumie **dla całej kaskady maksymalna pozostająca zdolność retencyjna pozostaje na poziomie 36% pojemności całkowitej**, co oznacza, że jest ona bardzo wątpliwa.

Najbardziej krytyczna jest sytuacja Zbiornika Otmuchowskiego, wypełnionego prawie w całości osadami dennymi, który nie spełnia już w praktyce funkcji zbiornika retencyjnego, a limituje obecnie funkcjonowanie całej kaskady Nysy Kłodzkiej.

Możliwości produkcji kruszyw, substytutów piasku i żwiru na bazie osadów dennych ze zbiorników retencyjnych Kaskady Nysy Kłodzkiej

Proponuje się **wykorzystanie osadów dennych**, po ich wydobyciu i przetworzeniu, **na kruszywa drobnoziarniste**, które mogą być stosowane do: **budowy nasypów hydrotechnicznych (w tym wałów przeciwpowodziowych), budowy dróg, plaż i nabrzeży**. Wymogi odnośnie kryteriów, które powinny spełniać grunty do wykorzystania w budownictwie określają odpowiednie normy budowlane.

Technologia zagospodarowania osadów dennych wzorowana jest na metodzie wdrożonej (w skali 600 000 t/r w ZG Trzebionka) do zagospodarowania odpadów poflotacyjnych z produkcji rud cynku i ołowiu, do produkcji podsadzki samo-zestalającej (zamiennika piasku). Instalacja pilotażowa pracowała 4 lata produkując ok. 0,5 mln m³/r mieszanin.

Osady poflotacyjne zawierają kilkanaście procent frakcji piaszczystej, do 4% frakcji ilastej i do 80% mułów. Technologia ta mogłaby zostać wykorzystana do przetwarzania osadów dennych zgromadzonych we wszystkich zbiornikach wodnych w Polsce, rozwiązując problem gromadzenia się w nich osadów dennych. Docelowo pozwoliłoby to na zastąpienie części surowców naturalnych (piasków drobnoziarnistych) kruszywami produkowanymi na bazie osadów dennych. Byłoby to wzorcowe rozwiązanie przewidziane w Gospodarce o Układzie Zamkniętym obejmujące substytucję surowców naturalnych przetworzonymi odpadami, ich recykling i wtórne wykorzystanie (re-use).

Proponowane rozwiązania produkcji kruszyw z osadów dennych ze zbiorników retencyjnych kaskady Nysy Kłodzkiej

Celem byłoby wydobyć i przetworzenie na kruszywa takiej ilości osadów dennych, aby ich ilość nie przekraczała **30% pojemności każdego ze zbiorników**. Oznaczałoby to możliwość zmagazynowania w nich około **200 mln m³/r wody**, co byłoby wystarczającym zabezpieczeniem przeciwpowodziowym i przeciw suszy dla rejonu Nysy Kłodzkiej.

Wymagałoby to wydobyć, **przez około 8 lat co najmniej 17 mln m³ osadów dennych**. Aby produkować z nich na miejscu kruszywa potrzebne byłoby 51 mobilnych węzłów betoniarskich. Najwięcej, bo aż 30 takich węzłów przypadałoby na Jezioro Otmuchowskie, oraz 15 węzłów na Zbiornik Nyski. W tym przypadku można rozważyć usytuowanie kilku przemysłowych węzłów o dużej wydajności, aby operację wydobywania osadów dennych przeprowadzić szybciej.

Produkcja kruszyw wymagałaby dopracowania, stosownie do składu fizyko-chemicznego osadów dennych, odpowiednich receptur kruszyw i adaptacji danego węzła do ich produkcji. **Szacunkowo nakłady** na zakup, adaptację, oraz montaż, dopracowanie technologii i eksploatację 1 mobilnego węzła betoniarskiego do produkcji kruszyw **oceniono na 3 mln zł**.

Ceny piasku i żwiru kształtują się w Polsce na poziomie 60 - 100 zł/t materiału. **Wstępnie oszacowano koszty eksploatacji osadów dennych i ich przerobu na kruszywa budowlane na 65 zł/t kruszywa**.

Charakterystyka zbiorników Kaskady Nysy Kłodzkiej – osiągnięcie wypełnienia osadami 30 %

Zbiornik	Pojemność maksymalna [mln m ³]	Ilość osadów dennych* [mln m ³]	Stopień wypełnienia osadem [%]	Ilość węzłów betoniarskich [1szt-40 m ³ /h]	Ilość*** wydobywanych osadów [mln m ³ /r]	Ilość produkowanego kruszywa [mln t/r]	Wypełnienie osadami w 30% [mln m ³]	Osiągnięcie wypełnienia osadami 30% [lat]
Topola	21,7	9,2**	42	3	1	1,5	6,51	6,4
Kozielno	16,3	6,8**	42	3	1	1,5	4,89	4,8
Otmuchowski	125	112,5*	90	30	10	15	37,5	7,9
Nyski	123,4	64,2*	52	15	5	7,5	37,02	9,0
Razem	286,4	192,7	67	51	17	25,5	85,92	7,9

Założony wzrost ilości osadów dennych o 1% (zbiorniki duże) lub 2%** (zbiorniki małe), pojemności na rok,***8000 h pracy w roku

Charakterystyka zbiorników Kaskady Nysy Kłodzkiej – produkcja kruszyw z osadów dennych

Zbiornik	Ilość węzłów betoniarskich [1szt-40 m ³ /h]	Nakłady inwestycyjne [mln zł]	Ilość*** wydobywanych osadów [mln m ³ /r]	Ilość produkowanego kruszywa [mln t/r]	Wartość**** produkowanego kruszywa [mln zł/r]	Wypełnienie osadami w 30% [mln m ³]	Osiągnięcie wypełnienia osadami 30% [lat]
Topola	3	9	1	1,5	98	6,51	6,4
Kozielno	3	9	1	1,5	98	4,89	4,8
Otmuchowski	30	90	10	15	975	37,5	7,9
Nyski	15	45	5	7,5	488	37,02	9,0
Razem	51	153	17	25,5	1658	85,92	7,9

Założony wzrost ilości osadów dennych o 1% (zbiorniki duże), 2%** (zbiorniki małe), pojemności na rok,***8000 h pracy w roku, ****cena 65 zł/t

JEZIORO ROŻNOWSKIE



Jezioro Rożnowskie z rekordowo niskim poziomem wody - lipiec 2025 po zrzutach wody (zagrożenie powodziowe), poziom wody obniżył się o 1,5 m

Charakterystyka Jeziora Rożnowskiego – osiągnięcie wypełnienia osadami 30%

Rok uruchomienia	Pojemność maksymalna [mln m ³]	Ilość osadów dennych [mln m ³]	Stopień wypełnienia osadem [%]	Ilość wydobywanych osadów [mln m ³ /r]
1943	193	135	70	10
Ilość węzłów betoniarskich [1szt-40 m ³ /h]	Ilość produkowanego kruszywa [mln t/r]	Wypełnienie osadami w 30% [mln m ³]	Osiągnięcie wypełnienia osadami 30% [lat]	
30	15	58	7,9	



Instalacja doświadczalno-produkcyjna do wytwarzania kruszyw drobnoziarnistych z osadów dennych

Proponuje się wykorzystanie jako instalacji doświadczalno-produkcyjnej do wytwarzania kruszyw drobnoziarnistych z osadów dennych i dodatków stabilizacyjnych, adaptowanych mobilnych węzłów betoniarskich typu MWB o wydajności ok. 40 m³/h. Węzeł taki jest urządzeniem łatwo-przestawnym (mobilnym) i służy do produkcji betonu towarowego oraz betonu dla elementów prefabrykowanych towarowych. Transport węzła odbywa się za pomocą tylko jednej naczepy o długości 20 metrów.



Mobilny węzeł betoniarski MB-1000

Zalety takiego mobilnego węzła to:

- ❖ brak konieczności uzyskania pozwolenia na budowę dla betoniarni,
- ❖ szybka instalacja urządzenia oraz uruchomienie produkcji betonu – montaż węzła betoniarskiego wraz z silosem trwa tylko jeden dzień,
- ❖ niskie koszty przygotowania podłoża (płaska betonowa powierzchnia lub płyty betonowe),
- ❖ wysoka produktywność i zoptymalizowany system automatyzacji.



PODSUMOWANIE

- ❖ Zaproponowano wydobyć i przetworzyć osady dennych ze zbiorników Kaskady Nysy Kłodzkiej w celu ograniczenia ich ilości do 30% pojemności każdego zbiornika. Umożliwiłoby to zwiększenie pojemności retencyjnej do około 200 mln m³ wody, co znacząco poprawiłoby ochronę przeciwpowodziową oraz przed suszą w regionie. Wymagałoby to wydobyć co najmniej 17 mln m³ osadów w ciągu 8 lat oraz wdrożenia technologii produkcji kruszyw w oparciu o ich skład fizykochemiczny.
- ❖ Szacunkowy koszt jednego mobilnego węzła betoniarskiego to ok. 3 mln zł, a całkowite nakłady inwestycyjne wyniosłyby 153 mln zł. Przy kosztach przetworzenia 65 zł/t i cenach rynkowych piasku i żwiru na poziomie 60–100 zł/t, wartość rocznej produkcji oszacowano na 1,658 mld zł, co czyni przedsięwzięcie wysoce opłacalnym.
- ❖ Technologia mogłaby być zastosowana również w innych zbiornikach wodnych w Polsce, wspierając strategię Gospodarki o Obiegu Zamkniętym poprzez substytucję surowców naturalnych materiałami wtórnymi. Produkcja z osadów mogłaby pokryć do 10% krajowego zapotrzebowania na drobnoziarniste kruszywa używane głównie w budownictwie drogowym.



Dziękuję za uwagę

