Wyroby medyczne
z perspektywy ekonomii i ekologii

Autorzy:
dr Agnieszka Sznyk,
Hubert Bukowski,
Marianna Rytlewska.

Partner strategiczny publikacji PHILIPS

CZĘSTO POMIJAMY OGROMNY WPŁYW **OCHRONY ZDROWIA** NA ŚRODOWISKO

Zdrowie i środowisko są ze sobą ściśle połączone. Sektor medyczny, którego nadrzędnym celem jest ochrona i poprawa zdrowia ludzi, równocześnie ma istotny negatywny wpływ na środowisko i tym samym współtworzy szkodliwe warunki życia dla społeczeństwa.

Całkowity ślad węglowy[I] sektora opieki zdrowotnej odpowiada za 4,4% globalnej emisji gazów cieplarnianych netto[1]. To prawie dwa razy więcej niż emisje z transportu lotniczego. W Polsce emisje te odpowiadają za 3,7% emisji krajowych[1], co stanowi 0,34 ton CO2e na osobę (równoważność przejechania samochodem 2 000 km rocznie[2]). Przewiduje się, że jeśli w sektorze zdrowia nie rozpocznie się realnej zmiany na rzecz klimatu, globalne emisje gazów cieplarnianych związanych z opieką zdrowotną do 2050 roku **wzrosną ponad trzykrotnie** względem roku 2014[3].

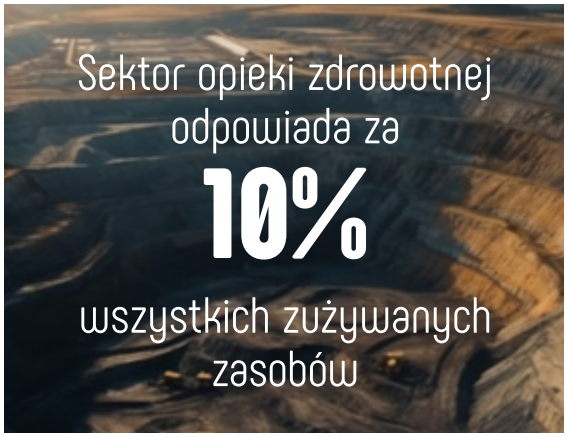
Tym samym oddziaływanie sektora ochrony zdrowia przyczynia się do tzw. potrójnego kryzysu planetarnego[4], który obejmuje:

Kryzys klimatyczny – globalne ocieplenie i zmiany klimatu wskutek nadmiernych emisji gazów cieplarnianych

Utrata bioróżnorodności – działania antropogeniczne (np. nadmierna eksploatacja surowców) powodujące zmniejszenie liczebności gatunków oraz osłabianie zdolności ekosystemu do prawidłowego funkcjonowania

Zanieczyszczenia – uwalnianie szkodliwych substancji chemicznych do powietrza, wody i gleby

Globalna populacja zużywa obecnie o ok. 70% więcej zasobów, niż planeta jest w stanie odnowić[5]. Sektor opieki zdrowotnej przyczynia się do tego odpowiadając za zużycie aż 10% wszystkich wykorzystywanych materiałów[6].



I. Ślad węglowy to całkowita wartość emisji gazów cieplarnianych wytwarzanych podczas cyklu życia produktu lub przedsiębiorstwa, jest wyrażony w ekwiwalencie dwutlenku węgla na jednostkę funkcjonalną produktu, CO2e/j.. Ślad węglowy obejmuje emisję dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu i innych gazów cieplarnianych. https://polskirynekwegla.pl/goz-slad-weglowy

Zasoby wykorzystywane w lecznictwie często nie są ponownie wykorzystywane, ani poddawane recyklingowi - większość z nich jest spalana lub trafia na wysypiska[7]. Spowodowane jest to przede wszystkim produkowaniem dużych ilości odpadów niebezpiecznych, w krajach rozwiniętych każdego dnia generuje się ok. 0,5 kg takich odpadów na każde łóżko szpitalne[8]. Główną przyczyną jest fakt, że **wiele (aż 50%–85%) zwykłych odpadów jest niepoprawnie traktowanych jako te niebezpieczne**[9]. A koszt utylizacji odpadów niebezpiecznych jest około ośmiokrotnie wyższy niż tych standardowych. Dodatkowo, ich ponowne użycie jest praktycznie niemożliwe[10].

Warto wspomnieć o generowanych w sektorze odpadach, które pomimo stosunkowo niewielkiego przenikania do środowiska naturalnego, mogą powodować niebagatelne szkody. Są to m.in.:

Farmaceutyki, takie jak antybiotyki, leki przeciwbólowe, estrogeny, czy leki obniżające lipidy. W wodzie pitnej, powierzchniowej i podziemnej w Polsce wykryto ponad 30 rodzajów farmaceutyków[11].

Anestetyki, czyli środki znieczulające, które mają nawet 6500-krotnie wyższy potencjał ocieplenia klimatu niż dwutlenek węgla[12]

Tworzywa sztuczne w wyrobach medycznych jednorazowego użytku stanowiące nawet ¼ łącznych odpadów generowanych w szpitalach[13].

Wielkość sektora ochrony zdrowia stanowi 10,9% globalnego PKB[14] i oczekuje się dalszego wzrostu. Wzrost znaczenia sektora w gospodarce przekłada się wprost proporcjonalnie na zwiększanie jego negatywnego wpływu na środowisko[15]. Jeśli dotychczasowe podejście w zarządzaniu opieką zdrowotną nie ulegnie zmianie, jego oddziaływanie na planetę będzie się stale nasilało. By nie dopuścić do katastrofalnych skutków, niezbędna jest natychmiastowa, stanowcza zmiana w kierunku zrównoważonej i ekologicznej ochrony zdrowia.

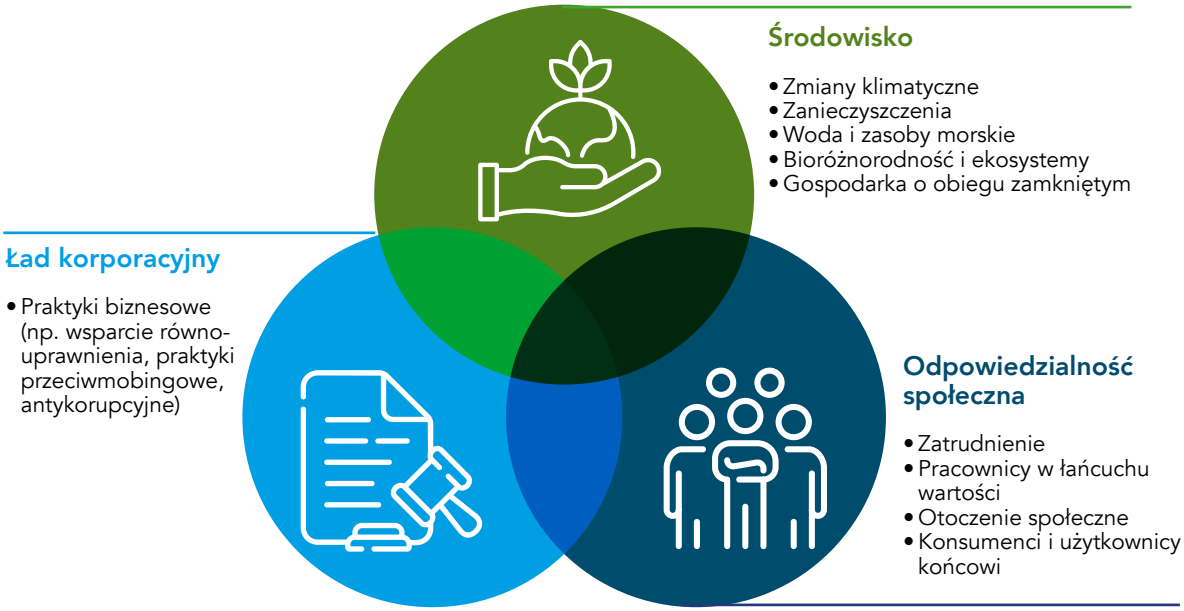
ROSNĄCE **WYMOGI REGULACYJNE** JAKO ODPOWIEDŹ NA KRYZYS PLANETARNY. NOWE REGULACJE OBEJMĄ RÓWNIEŻ SZPITALE.

Dyrektywa CSRD zmusza wiele podmiotów do raportowania ich wpływu na środowisko.

Zgodnie z wprowadzoną w 2023 r. dyrektywą o sprawozdawczości przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju (CSRD)[16] część przedsiębiorstw (spełniających warunki - patrz Schemat 1.) jest zobligowana do raportowania niefinansowego. Raportowanie obejmuje m.in. **oddziaływanie organizacji na środowisko** i opracowanie planów ograniczenia tego wpływu, oraz **oddziaływanie w aspekcie społecznym i ładu korporacyjnego**. Zasady raportowania muszą być zgodne z Europejskimi Standardami Sprawozdawczości w zakresie Zrównoważonego Rozwoju (ESRS).

Część szpitali w Polsce działa w formie przedsiębiorstwa, a więc przy spełnieniu określonych warunków będzie podlegała nowym regulacjom. W przypadku jednostek zaliczanych do dużych przedsiębiorstw (patrz Schemat 2.) raportowanie będzie konieczne już od 2026 r. (za rok sprawozdawczy 2025).

Schemat 1.
Standardy ESRS (obszary oddziaływania na środowisko, społeczeństwo i ład korporacyjny)



Schemat 2.
Warunki podlegania dyrektywie CSRD

TAKSONOMIA UNIJNA – UŁATWIENIE FINANSOWANIA DLA PODMIOTÓW EKOLOGICZNYCH

Taksonomia Unijna[17] to system klasyfikacji, który pomaga przedsiębiorstwom i inwestorom w identyfikowaniu działalności gospodarczych zrównoważonych środowiskowo. Taka organizacja powinna realizować co najmniej jeden z sześciu celów klimatycznych i środowiskowych Unii Europejskiej oraz nie szkodzić żadnemu z pozostałych. Zdefiniowane w Taksonomii cele środowiskowe wymienione zostały na Schemacie 3.[18]

Taksonomia nie określa obowiązkowych wymogów dotyczących efektywności środowiskowej dla przedsiębiorstw, inwestorzy mają pełną swobodę wyboru, w co zainwestować. Jednak już niedługo unijna systematyka ma wprowadzić nowe wymagania promujące wybór proekologicznych rozwiązań (rozporządzenia są w czasie opracowywania).

Obecnie już raporty niefinansowe są świadectwem zaangażowania danej organizacji w praktyki na rzecz społeczności i środowiskowa, co pomaga w pozyskiwaniu inwestorów i pożyczek. Czynniki środowiskowe są również coraz częściej brane pod uwagę podczas oceny ryzyka kredytowego i warunków finansowania.

Schemat 3.
Cele środowiskowe wg. Taksonomii UE

1. łagodzenie zmian klimatu;

2. adaptacja do zmian klimatu;

3. zrównoważone wykorzystywanie i ochrona zasobów wodnych i morskich;

4. przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym;

5. zapobieganie zanieczyszczeniu i jego kontrola;

6. ochrona i odbudowa bioróżnorodności i ekosystemów.

OBLIGATORYJNA REGUŁA **"NIE CZYŃ POWAŻNYCH SZKÓD"** (ZASADA DNSH) DLA PROJEKTÓW Z KPO

Odblokowane dla Polski środki z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO) dostarczają obecnie ogromny dopływ finansowania dla wielu innowacyjnych projektów, w tym również w sektorze zdrowia. Wszystkie inwestycje realizowane z funduszy KPO muszą obligatoryjnie spełniać zasadę „nie czyń poważnych szkód" (zasada DNSH), czyli nie mogą wyrządzać poważnych szkód względem żadnego z sześciu celów środowiskowych wymienionych w Taksonomii UE (patrz Schemat 3.). Ten zapis istotnie wpływa na kształt składanych projektów i jednoznacznie promuje zrównoważone i zielone inwestycje.

ZMNIEJSZENIE **NEGATYWNYCH EFEKTÓW** ZEWNĘTRZNYCH OCHRONY ZDROWIA DZIĘKI ODPOWIEDNIM WYROBOM MEDYCZNYM

Ponad 71% emisji gazów cieplarnianych z sektora ochrony zdrowia pochodzi z **łańcucha dostaw**, a więc produkcji, transportu, oraz użytkowania i utylizacji towarów i usług, wykorzystywanych w lecznictwie[1]. Jest to **podstawowe i największe źródło emisji zanieczyszczeń oraz zapotrzebowania na surowce** w ochronie zdrowia. Zatem to również kluczowy aspekt do rozważenia i szukania alternatyw, by ograniczyć negatywny wpływ branży na środowisko.

Wśród zamawianych i użytkowanych towarów ogromny efekt środowiskowy jest generowany przez trwałe wyroby medyczne. Dotyczy to przede wszystkim urządzeń diagnostycznych, które wykazują bardzo wysokie zużycie energii oraz znaczące zapotrzebowanie na surowce. W 2016 roku, emisje CO_2 związane z obrazowaniem medycznym metodą rezonansu magnetycznego i tomografią komputerową stanowiły aż **0,77% globalnych emisji**[19], Porównując tę wartość do szacunków łącznej emisji gazów cieplarnianych z sektora ochrony zdrowia okazuje się, **że rezonansy magnetyczne i tomografy komputerowe mogą generować nawet 1/5 całkowitych emisji sektora**.

Rezonanse magnetyczne i tomografy komputerowe odpowiadają za

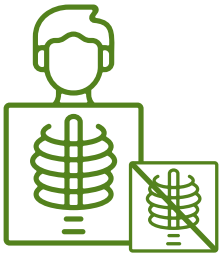
1/5

wszystkich emisji sektora ochrony zdrowia

Powszechnie stosowane urządzenia diagnostyczne charakteryzują się bardzo zróżnicowanym poziomem śladu węglowego na jedno wykonane badanie[20]. Wśród wszystkich badań diagnostycznych najwyższą **średnią emisją dwutlenku węgla** na badanie wykazuje **rezonans magnetyczny (17,5 kg CO2e)**, a na drugim miejscu **tomografia komputerowa (9,2 kg CO2e)**. Te pojedyncze badania są równoważne przejechaniu samochodem odpowiednio 100 km i 50 km[2].

Dlatego ważnym elementem zielonej transformacji jednostki medycznej jest odpowiedni wybór urządzeń. Należy przy tym zwracać szczególną uwagę na energooszczędność danego sprzętu oraz minimalizację konieczności powtarzania obrazowań. Ważne jest również, aby nie wymieniać urządzeń diagnostycznych na nowe zbyt pochopnie, a zamiast tego rozważyć ich modernizację lub renowację. W dalszej części broszury przedstawiono efekty doboru przykładowych ekologicznych urządzeń oraz procesu zielonych zamówień.

Znaczący efekt środowiskowy jest generowany również na etapie samego użytkowania urządzeń. Aby go zniwelować, warto aby szpitale podejmowały następujące działania:

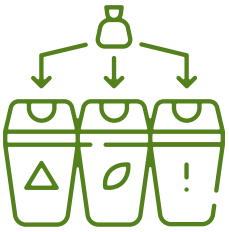


OGRANICZENIE PRZEPROWADZANIA ZBĘDNYCH BADAŃ OBRAZOWYCH.

Przykładowo analiza przeprowadzona w Luksemburgu wykazała, że aż 39% zleceń na badania tomografii komputerowej oraz 21% na rezonans magnetycznego była nieuzasadniona[21].

OPTYMALIZOWANIE WYDAJNOŚCI SYSTEMÓW HVAC (OGRZEWANIA, WENTYLACJI, KLIMATYZACJI).

Przykładowo, instalacja czujników w pokojach, które pomagają w utrzymaniu optymalnych warunków dla urządzeń diagnostycznych, odzyskiwanie nadmiaru ciepła (np. ze ścieków)

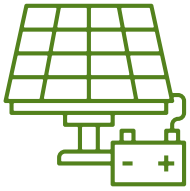


UREGULOWANIE GOSPODARKI ODPADAMI. NIEPRAWIDŁOWA UTYLIZACJA MATERIAŁÓW ZNACZĄCO ZWIĘKSZA ŚLAD WĘGLOWY DANEJ PROCEDURY.

Przykład: Butelki z kontrastem, rurki i resztki kontrastu są często nieprawidłowo wyrzucane do kosza na ostre przedmioty/odpady zakaźne, które są spalane i tym samym generują ok. 1,85 kg CO_2/kg odpadów. Alternatywnie, resztki kontrastu można odesłać do dostawcy, który je prawidłowo zutylizuje, zaś wypłukane butelki stają się wtedy zwykłym odpadem komunalnym. Oszczędności mogą być znaczące. Przykładowo, na oddziale wyposażonym w dwa tomografy komputerowe, gdzie zoptymalizowano gospodarowanie odpadami, ilość odpadów wyrzucanych jako przedmioty ostre/zakaźne zmniejszyła się aż o 98%. Oszczędzono przy tym 11 300 € i 20 000 kg CO2e rocznie[22].

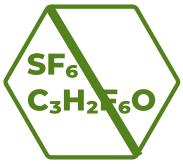
ZASTĄPIENIE OPAKOWAŃ I MATERIAŁÓW JEDNORAZOWYCH SUROWCAMI WTÓRNYMI LUB WIELOKROTNEGO UŻYTKU.

Przykład: W jednym ośrodku zamiana jednorazowych 100 ml butelek z jodowym kontrastem na większe, wielodawkowe butelki ograniczyła ilość odpadów i marnotrawstwo kontrastu, efektem czego oszczędzono prawie 500 000 USD rocznie[23].



ROZWAŻENIE STOSOWANIA ENERGII ODNAWIALNEJ.

W perspektywie średnioterminowej może to oznaczać bardziej stabilne ceny energii, a w długim okresie - oszczędności finansowe.



UWZGLĘDNIENIE EFEKTU ŚRODOWISKOWEGO SUBSTANCJI I ŚRODKÓW POMOCNICZYCH PODCZAS ICH DOBORU

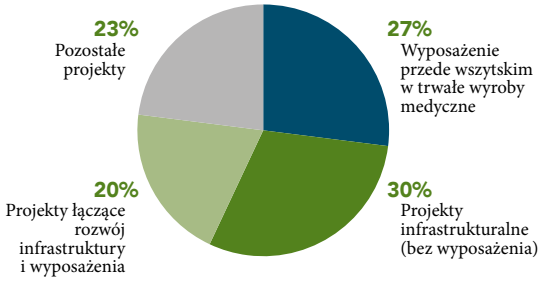
Przykład: Heksafluorek siarki (SF6) stosowany m.in. jako środek kontrastowy jest najbardziej szkodliwym gazem cieplarnianym o 25200-razy większym potencjale tworzenia efektu cieplarnianego niż dwutlenek węgla.

FUNDUSZE EUROPEJSKIE - WSPARCIE SZPITALI W ZAKUPIE EKOLOGICZNYCH URZĄDZEŃ DIAGNOSTYCZNYCH

Korzystanie z ekologicznych wyrobów medycznych dostarcza placówkom wiele korzyści. Takie inwestycje są w długim terminie prawie zawsze znacznie bardziej opłacalne finansowo niż urządzenia tradycyjne. Choć zakup proekologicznych wyrobów często wymaga wyższych nakładów początkowych, ze wsparciem przychodzą środki z funduszy europejskich.

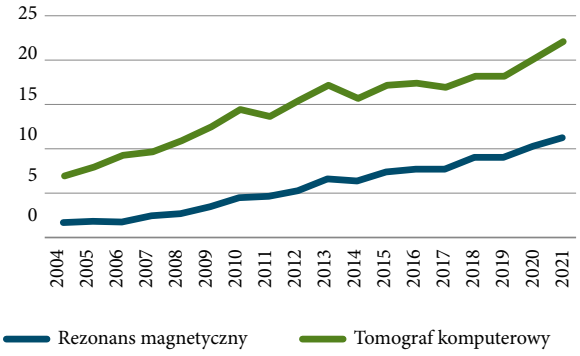
W okresie 2004 r. – 2023 r. fundusze unijne były źródłem dotacji dla 2185 projektów **w obszarze ochrony zdrowia** o łącznej wartości **13,1 mld zł**. Wśród tych funduszy aż 47% było przeznaczonych na wyposażenie lub wyposażenie połączone z działaniami infrastrukturalnymi. Efektem czego w ciągu dwóch dekad system polskiej opieki zdrowotnej został znacząco zmodernizowany technologicznie. Między innymi w okresie od wejścia do UE do 2021 r. liczba rezonansów magnetycznych w Polsce wzrosła **sześciokrotnie**, zaś tomografów komputerowych **trzykrotnie**.

Wykres 1.
Wydatki w ramach współfinansowania UE projektów z obszaru zdrowia w okresie maj 2004-styczeń 2023



Źródło: opracowanie własne za mapadotacji.gov.pl

Wykres 2.
Liczba urzadzeń diagnostycznych w Polsce na mln mieszkańców



Źródło: OECD

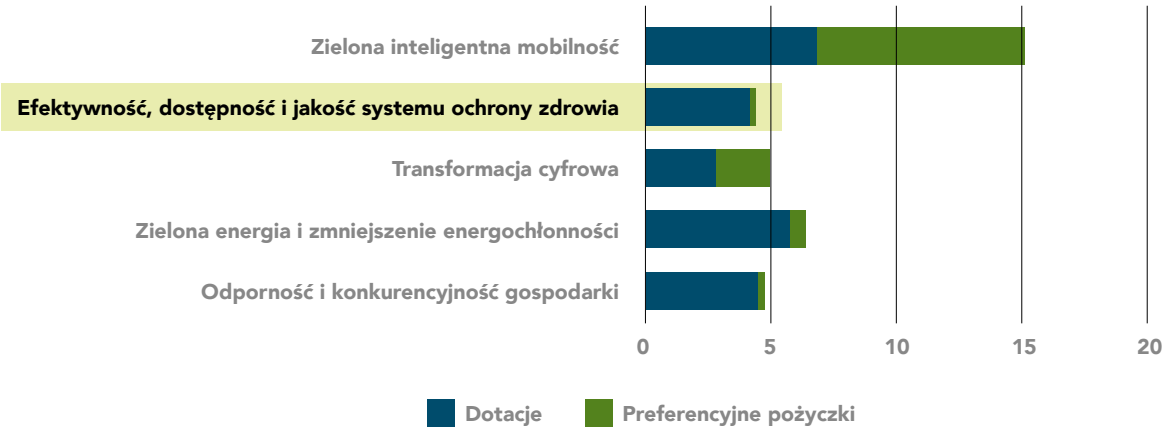
Również i dziś fundusze unijne ułatwiają nabywanie ekologicznych wyrobów medycznych:

- Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021-2027 (FEnIKS) przeznacza ok. **3,0 mld zł** na zapewnienie równego dostępu do opieki zdrowotnej oraz poprawę odporności tego systemu.
- Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego przeznaczy ponad **4,3 mld zł** na rzecz sektora ochrony zdrowia[24].
- Ze środków na rozwój cyfryzacji ok. **0,8 mld zł** ma być przeznaczona na projekty z zakresu e-zdrowia.

Dodatkowym wsparciem dla branży medycznej jest Fundusz Europejski dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG), promujący innowacyjne projekty przedsiębiorstw. Firmy z tej branży mogą ubiegać się o finansowanie ze wszystkich dostępnych instrumentów wsparcia w ramach FENG, który dysponuje środkami o wartości ok. 34,2 mld zł[25]. Program ten m.in. wspiera projektowanie, wdrażanie i produkcję innowacyjnych wyrobów medycznych.

Ważnym źródłem finansowania nowoczesnego wyposażenia w ochronie zdrowia są również środki z **Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO)**, będące odpowiedzią na szoki spowodowane pandemią Covid-19. Ponad 12% wszystkich środków KPO jest przeznaczonych na system opieki zdrowotnej, w tym rozwój jego efektywności, dostępności i jakości. Plan rozwoju obejmuje modernizację infrastruktury podmiotów leczniczych oraz nowoczesnego sprzętu dla szpitali, w tym wyposażenie 300 szpitali w nowy sprzęt medyczny oraz zmodernizowanie 280 szpitali w całej Polsce. Zgodnie z celami UE, znaczna część budżetu przeznaczona jest na cele klimatyczne oraz transformację cyfrową, w tym także w sektorze ochrony zdrowia.

Wykres 3.
Finansowanie projektów z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności w mld EUR.



Źródło: https://www.funduszeeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/fundusze-na-lata-2021-2027/kpo/o-kpo/

Dodatkowo, Unia Europejska realizuje wiele innych projektów mających na celu poprawę jakości ochrony zdrowia w skali całej Unii. Jednym z najważniejszych jest **Projekt EU4Health** dysponujący budżetem o wartości 5,3 mld euro na lata 2021–2027[26].

ZIELONE SZPITALE KORZYSTAJĄ Z ZIELONYCH ZAMÓWIEŃ I ZAKUPÓW WYROBÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Zielone (inaczej zrównoważone) zamówienia to procesy, w ramach których zamawiający poszukuje towarów, usług, czy budynków o zmniejszonym negatywnym oddziaływaniu na środowisko, społeczeństwo i gospodarkę. Takie zamówienia i zakupy prowadzone są w sposób bardziej elastyczny oraz wymagają sprawnego przepływu informacji między dostawcami a zamawiającym, oraz aktywnego reagowania na nią. Przedstawiamy krok po kroku podstawowy proces przeprowadzania zielonych zamówień dla sprzętów diagnostycznych.

Proces zielonych zamówień dla wyrobów diagnostycznych

Etap 1. DEFINIOWANIE PRZYCZYN, POTRZEB I WYMAGAŃ

- weryfikacja rzeczywistej potrzeby zakupu i potwierdzenie potrzeby zakupu wewnątrz organizacji
- analiza produktów dostępnych na rynku

Etap 2. TWORZENIE SPECYFIKACJI I KRYTERIÓW WYBORU

- priorytetowy wybór kryteriów o możliwościach **ponownego użycia** produktu oraz jego **trwałości**, w tym: naprawialność, modułowość, czy standardowość urządzenia, możliwość odsprzedaży do producenta po zakończeniu użytkowania, długi okres gwarancji
- wybór **energooszczędnego** sprzętu, w tym zwrócenie uwagi na: średnie zużycie energii, opcje trybów energooszczędnych, posiadanie miernika energii, zapewnienie szkolenia personelu o efektywnym korzystaniu z urządzenia
- priorytetowy wybór urządzeń **ograniczających zużycie zasobów**, w tym:
  - » korzystających z surowców odnawialnych
  - » ograniczających zużycie surowców (np. wody, substancji chłodzących, anestetyków, środków kontrastowych itp.)
  - » ograniczających korzystanie z elementów jednorazowych i/lub nietrwałych
  - » możliwość ponownego wykorzystania lub recyklingu elementów
  - » stosujących wirtualizację przechowywania danych
  - » umożliwiających mierzenie zużycia zasobów (np. energii, substancji chłodzących)
  - » rozważenie zakupu urządzenia odnowionego/naprawionego
  - » rozważenie zakupu produktu w formie usługi/wynajmu/leasingu
- nagradzanie dostawców za korzystanie z **odnawialnych źródeł energii, zero-emisyjność** producenta, lub spełnianie innych kryteriów środowiskowych.

Etap 3. ZAANGAŻOWANIE RYNKU

- angażowanie się w **dialog z rynkiem**, poprzez np.:
  - » publikację listy pytań od zamawiającego do dostawców
  - » spotkania i debaty z dostawcami
  - » indywidualne spotkania z dostawcami (zwłaszcza przy omawianiu tajemnic handlowych)
- **konsultacje z potencjalnymi dostawcami** dotyczące realności spełnienia wymagań; ewentualne dodanie nowych, specyficznych wymogów
- **finalizacja specyfikacji i kryteriów** udzielania zamówienia

Etap 4. OCENA I UDZIELENIA ZAMÓWIENIA

- **ocena ofert** wg. ustalonych kryteriów
- **opiniowanie** zgodne z zasadami przejrzystości i bez dyskryminacji
- jeśli występują kryteria jakościowe komisja oceniająca powinna odbyć **dyskusję nad różnicami w ocenach**

Prowadzenie zielonych zamówień przy zakupach sprzętów diagnostycznych przynosi wiele korzyści, m.in.:

OSZCZĘDNOŚCI FINANSOWE

ZMNIEJSZENIE KOSZTÓW W CAŁYM CYKLU ŻYCIA URZĄDZENIA
w skutek zakupu bardziej wydajnych i trwałych dóbr o niższych kosztach utylizacji

ZMNIEJSZENIE RYZYKA ZWIĄZANEGO ZE ZMIANAMI REGULACYJNYMI
(nowe, restrykcyjne wymogi) oraz szokami społeczno-gospodarczymi (lokalne łańcuchy dostaw)

ŁATWIEJSZE IDENTYFIKOWANIE ZAGROŻEŃ I SZANS
w zakresie zrównoważonego rozwoju

ODPOWIEDŹ NA ROSNĄCE OCZEKIWANIA INTERESARIUSZY

Akcentowanie odpowiedzialności społecznej i zrównoważonego rozwoju pozytywnie wpływa na wizerunek organizacji i pomaga w osiągnięciu przewagi konkurencyjnej. Wdrożenie zielonych zamówień może przyciągnąć inwestorów, klientów i lepszych pracowników oraz kolejnych oferentów.

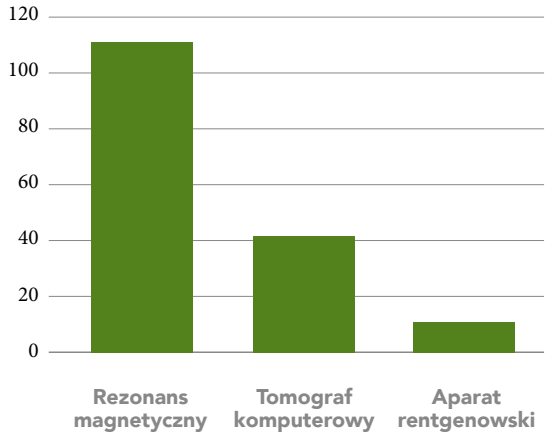
PRZYKŁADY I KORZYŚCI Z WYBORU **EKOLOGICZNYCH WYROBÓW MEDYCZNYCH**

Rezonans magnetyczny - najbardziej energochłonny wyrób medyczny

Rezonans magnetyczny zużywa ponad 2-krotnie więcej energii niż tomograf komputerowy i aż 10-krotnie więcej niż aparat rentgenowski. Tylko 21% - 55% energii wykorzystywanej przez rezonans jest zużywane podczas aktywnego skanowania, zaś aż 25% - 40% zużywa się w nocy i w weekendy, gdy urządzenie nie działa. Zatem wiele oszczędności można uzyskać poprzez optymalizację poboru energii, gdy sprzęt jest w spoczynku. Samo przełączenie urządzenia z trybu skanowania/czuwania, do trybu niskiego poboru mocy zapewnia **21,8% oszczędności energii**[27].

Proste działania oszczędzające mogą ograniczyć zużycie energii rezonansu nawet o 50%[28]. Pośrednie czynności obejmują m.in. dobór urządzenia o odpowiednich parametrach, czy utrzymywanie odpowiedniej temperatury w pomieszczeniu, w którym znajduje się sprzęt.

Wykres 4.
*Średnie roczne zużycie energii elektrycznej (MWh/urządzenie/rok)**



Źródło: J. J. Knott, L. Varangu, K. Waddington, T. Easty, and S. Shi, "Assessing Opportunities to Reduce Energy Consumption in the Health Care Sector," 2017

Pozostałe efekty środowiskowe

Większość energii zużywanej przez rezonans magnetyczny wynika z pracy elektromagnesu i chłodzenia kriogenicznego w urządzeniach opartych na magnesach nadprzewodzących. Te elementy muszą działać nieprzerwanie, by utrzymać odpowiednią temperaturę magnesów schładzanych ciekłym helem. Ze względu na rosnące ceny tych substancji oraz stosunkowo wysoki wskaźnik odparowywania, stałe jej uzupełnianie jest bardzo kosztowne. Co więcej, w skutek szoków na rynku mogą się pojawiać problemy z jej dostawami (w czasie pandemii Covid-19 niektóre polskie szpitale miały półroczne opóźnienia w dostawach ciekłego helu).

Odpowiedzią na to wyzwanie są nowoczesne systemy rezonansu magnetycznego z elektromagnesem nadprzewodzącym **oparte na zamkniętym obiegu chłodzenia**, co zmniejsza lub zupełnie eliminuje potrzebę uzupełniania ciekłego helu. Niewielka ilość płynu (kilka litrów zamiast 1500 l.) jest umieszczana w magnesie i uszczelniana już podczas produkcji. W ten sposób na stałe zamyka się cenną substancję i nie ma potrzeby jej wymiany przez cały czas użytkowania sprzętu[II]. To rozwiązanie zmniejsza koszty eksploatacji urządzenia oraz obniża jego wagę ułatwiając instalację.

Przewaga ekonomiczna ekologicznych rezonansów magnetycznych

Choć koszt zakupu nowoczesnych i ekologicznych rezonansów magnetycznych może przewyższać koszt urządzeń standardowych, jego niższe koszty operacyjne mogą zapewniać istotne oszczędności finansowe.

II. Przykładem takiej technologii jest BlueSeal https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/master/resource-catalog/landing/the--next-mr-wave/Brochure_BlueSeal.pdf

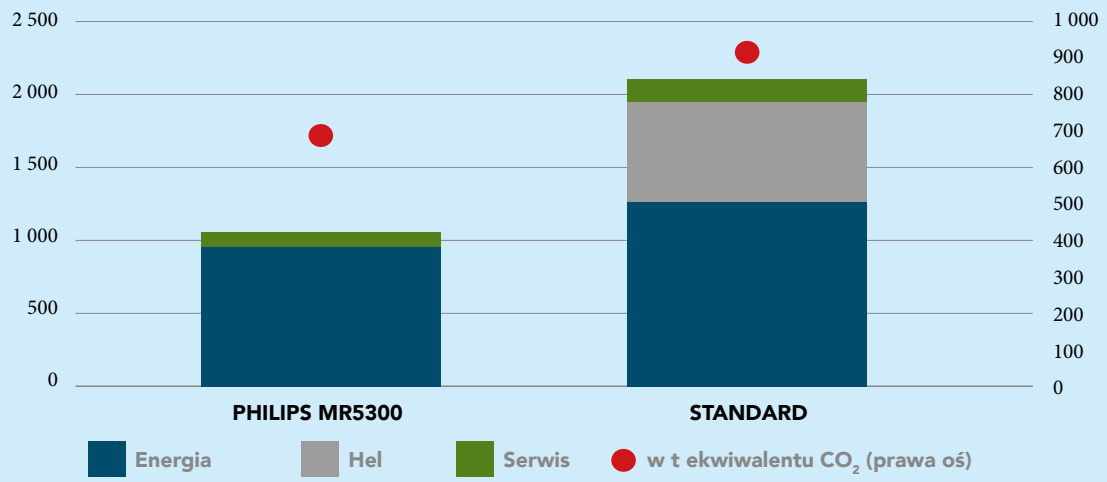
Przykładowa symulacja

Porównanie kosztów operacyjnych **standardowego urządzenia o indukcji magnetycznej 1,5T** (zbiornik na hel o pojemności 1800 l., tempo odparowywania gazu: 4%/mies.) oraz **przykładowego innowacyjnego urządzenia Philips MR5300.** Urządzenie nie wymaga uzupełniania helu, posiada funkcję automatycznego przejścia w stan ograniczonego zużycia energii oraz zastosowano w nim algorytny sztucznej inteligencji optymalizujące czas skanowania, co nie tylko zmniejsza obciążenie urządzenia, ale także pozwala na uzyskanie oszczędności energii. Analiza obejmuje 12 lat - standardowy cykl życia sprzętu.

Wynik symulacji wskazuje, że skumulowana **przewaga finansowa kosztów operacyjnych** ekologicznego urządzenia w porównaniu do standardowego wynosi **około 1,0 mln zł**, co w pełni rekompensuje wyższą cenę początkową sprzętu nowoczesnego. W długim okresie taka inwestycja przynosi zarówno korzyści środowiskowe, jak i finansowe.

Wykres 5.

Koszty operacyjne rezonansu magnetycznego w całym cyklu życia produktu (w tys. zł)



Źródło: Opracowanie własne

Przy obecnych warunkach rynkowych – wysokich kosztach helu i energii elektrycznej - koszty operacyjne standardowego rezonansu magnetycznego znacznie przewyższają jego cenę. Co również wzmacnia ekonomiczny sens wyboru urządzenia ekologicznego. Należy zaznaczyć, że w symulacji nie uwzględniono możliwości modernizacja systemów rezonansów magnetycznych, takiego jak wymiana magnesu. Stanowi ona znaczące wyzwanie zarówno pod względem kosztów, jak i wpływu na środowisko. Wymiana magnesu wiąże się z otwieraniem ścian pracowni oraz dużymi pracami budowlanymi. Koszty takiej operacji mogą sięgać około 1,0 mln zł, generując przy tym dodatkowe obciążenia środowiskowe. Nie uwzględnienie tej opcji w symulacji wiąże się z założeniami odnośnie 12-letniego cyklu życia urządzenia. Natomiast w Polsce wciąż funkcjonują magnesy ponad 20-letnie, które mają przed sobą nawet 10 lat dalszej pracy.

Korzyści zrównoważonych wyrobów medycznych

Opłacalność ekonomiczna zrównoważonych rezonansów magnetycznych przekłada się na korzyści ekologiczne. Zaś w dobie rosnących wymogów raportowania niefinansowego korzyści te tworzą również ich przewagę konkurencyjną z pespektywy inwestorów. Poniżej przedstawiono korzyści z nabycia ekologicznego sprzętu diagnostycznego (na przykładzie omawianej wcześniej symulacji porównawczej).

Schemat 4.
Korzyści wynikające z nabycia urządzenia Philips MR5300 względem urządzenia standardowego

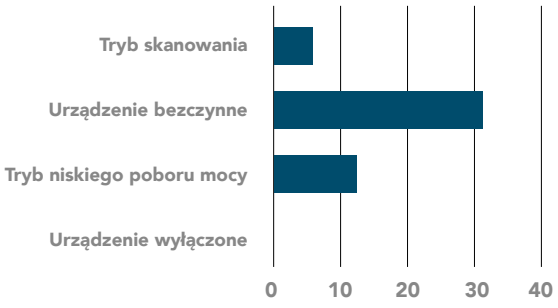
Czynniki ekonomiczne	Czynniki ekologiczne	Korzyści w raportowaniu niefinansowym
Koszty energii niższe o ok. 0,3 mln zł (w całym cyklu życia urządzenia)	Spadek emisyjności o 206 ton ekwiwalentu CO_2	- w dyrektywie CSRD (ESRS E1 zmiana klimatu), - w taksonomii UE (cel: łagodzenie zmian klimatu)
Ograniczenie kosztów nabycia helu o ponad 0,7 mln zł (w całym cyklu życia urządzenia)	Ograniczenie zużycia helu o 10 tys. litrów	- w dyrektywie CSRD (ESRS E5 wykorzystanie zasobów oraz gospodarka o obiegu zamkniętym), - w taksonomii UE (cel: przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym)
Ponowne wykorzystanie urządzeń i ich elementów;	Redukcja zużycia surowców nawet o 80% poprzez odzysk elementów urządzenia i recykling materiałów	- w dyrektywie CSRD (ESRS E5 wykorzystanie zasobów oraz gospodarka o obiegu zamkniętym), - w taksonomii UE (cel: przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym)

Oprócz wyżej wymienionych korzyści należy wspomnieć również o mniejszych kosztach posadowienia systemu, braku przestojów z powodu konieczności dolewek helu, zwiększeniu ilości badań dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji, która wiąże się również z intuicyjną obsługą i niższym ryzykiem konieczności powtórzenia badań. Dodatkowo, warto korzystać z oferty producentów, których działalność jest całkowicie neutralna klimatycznie. Skutkuje to ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych raportowanych zgodnie z dyrektywą CSRD. Wybór ekologicznych urządzeń zwiększa również szanse na pozyskanie dotacji na zakup.

Tomografia komputerowa – innowacje na rzecz jakości, oszczędności i ekologii w opiece zdrowotnej

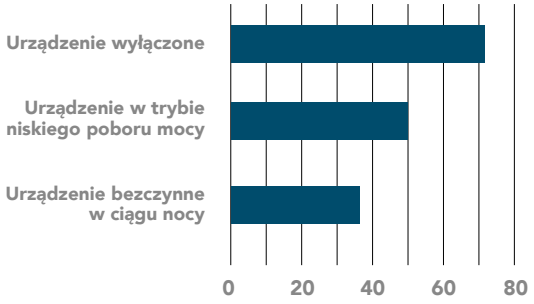
Rocznie na świecie przeprowadza się ok. 300 milionów badań tomografii komputerowej[29], a każde takie badanie generuje ok. 9,2 kg CO2e[30]. Nowoczesne tomografy komputerowe zużywają rocznie 20 - 35 MWh, co odpowiada średniemu zapotrzebowaniu na energię 4–7 czteroosobowych gospodarstw domowych[31]. **Aż około 2/3 całkowitego zużycia energii odbywa się w trybie czuwania systemu**[32]. By ograniczyć pobór energii wystarczy np. częściowo wyłączyć sprzęt w czasie bezczynności (na noc i w weekendy), takie działanie może **zmniejszyć zużycie energii urządzenia aż o 40%-80%**[33].

Wykres 6.
Średnie zużycie energii elektrycznej (kWh/dobę) w różnych trybach pracy przy założeniu włączania trybu niskiego poboru mocy w ciągu 12 h w nocy



Źródło: COCIR (2018): Self-regulatory initiative for the ecodesign of medical imaging equipment. Status Report 2018.

Wykres 7.
Średnie zużycie energii elektrycznej (kWh/dobę) w zależności od trybu podczas 12 h w nocy



Źródło: COCIR (2018): Self-regulatory initiative for the ecodesign of medical imaging equipment. Status Report 2018.

Pozostałe efekty środowiskowe

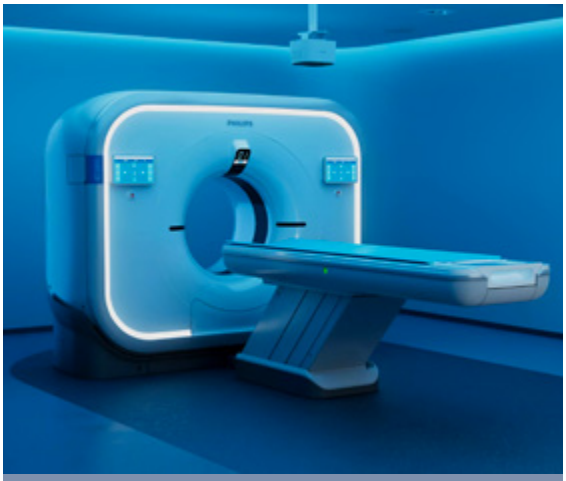
Podczas około 40% badań tomografii komputerowej wykorzystuje się środek kontrastowy[29], w tym najczęściej środek jodowy. Po badaniu pacjenci wydalają związki jodowe wraz z moczem, co prowadzi do zanieczyszczenia systemów wodnych. Toksyny tworzą się w oczyszczalniach ścieków, gdy początkowo niegroźne środki kontrastowe łączą się ze związkami chloru.

Innowacje w tomografii komputerowej na rzecz jakości, oszczędności i ekologii w opiece zdrowotnej

Schemat 5.
Innowacje w tomografii komputerowej i ich korzyści

Innowacja	Korzyści
Wykorzystanie sztucznej inteligencji	
Mniejsze narażenie na promieniowanie i zmniejszenie skutków ubocznych[34]. **Dawka promieniowania niższa nawet o 80%** względem porównywalnej lub wyższej jakości obrazowania[35]	ograniczenie kosztów i powikłań po nadmiernym napromieniowaniem pacjentów niższe zużycie energii niższe zużycie energii – korzyść w raportowaniu CSRD i wg taksonomii UE
Większa dokładność w diagnostyce i wyższa jakość obrazowania[36]. **Ograniczenie liczby obrazowań o ok. 2%[37].**	zmniejszenie ryzyka bezpodstawnego obrazowania = ograniczenie kosztów niższa liczba obrazowań ogranicza emisyjność szpitala (o ok. 9,2 kg CO2e na każdy skan) niższe zużycie energii = korzyść w raportowaniu CSRD i wg taksonomii UE
Tomografia spektralna	
Ograniczenie potrzeby kolejnych obrazowań, nawet o 34%[38] oraz szybsze stawianie prawidłowej diagnozy[39].	**zmniejszenie kosztów nawet o 16%**[37] ograniczenie emisyjności szpitala niższe zużycie energii = korzyść w raportowaniu CSRD i wg taksonomii UE
Możliwość pominięcia rzeczywistego obrazowania bez kontrastu na rzecz **obrazowania wirtualnego**[40].	niższe koszty przez eliminację obrazowania rzeczywistego mniej obrazowań ogranicza emisyjność podmiotu niższe zużycie energii = korzyść w raportowaniu CSRD i wg taksonomii UE
Zmniejszenie ilości używanej substancji kontrastowej o 20% - 60%[41].	niższe koszty mniejsze zanieczyszczenie środowiska substancjami kontrastowymi niższe zużycie surowców = korzyść w raportowaniu CSRD i wg taksonomii UE

Jak w przypadku rezonansu magnetycznego, początkowy nakład na zakup ekologicznego tomografu komputerowego może być wyższy niż na zakup standardowego. Jednak długoterminowo sprzęt zrównoważony dostarcza zarówno korzyści ekonomiczne, jak i ekologiczne. Aktualne analizy wskazują, że **ograniczenia kosztów wynoszą 2% -16%**[42,43].



Ekologiczny tomograf komputerowy gwarantuje

2%-16%

niższe koszty niż standardowe urządzenie

Przy doborze tomografu warto również zwracać uwagę na trwałość lampy RTG, która jest jego najdroższym elementem. Trwałość lamp oferowanych rynku waha się od 2 lat[44] do 10 lat. Wybór urządzenia z trwałą lampą RTG może wyeliminować potrzebę jej wymiany przez cały cykl życia aparatu[44].

Wykorzystywanie tomografów rekondycjonowanych - fabrycznie odnawianych

Warto również rozważyć wybór **urządzenia rekondycjonowanego**, czyli zbudowanego zgodnie z **zasadami ekoprojektowania**, o **wydłużonej żywotności** lub **produktu używanego**. Proces rekondycjonowania aparatów obejmuje: wymianę kluczowych części, wgranie najnowszego oprogramowanie, odnowę obudowy oraz testowanie sprawności. W efekcie sprzęt jest praktycznie jak nowy i uzyskuje pełną gwarancję. **Aparaty rekondycjonowane są tańsze średnio o ok. 25%**[45].

Ultrasonograf – wybór urządzenia i jego użytkowanie w służbie pacjentowi i planecie

Spośród trzech omawianych badań obrazowych, ultrasonografia ma najmniejszy negatywny wpływ na środowisko[30]. Jednakże, ze względu na jej szerokie zastosowanie, ograniczanie zużycia energii przez te urządzenia jest wyjątkowo ważne.

Roczne zużycie energii przez jeden nowoczesny system ultrasonograficzny wynosi około 2500 kWh (równoważność 50% energii elektrycznej zużywanej w 4-os. gospodarstwie domowym)[31]. Wyłączanie sprzętu USG na noc oraz podczas weekendów **może ograniczyć jego zużycie energii o 40%**[31]. Roczny potencjał zmniejszenia zużycia energii przez jedno urządzenie to aż o 1000 kWh[III].

Wyłączenie aparatu USG w nocy i w weekendy może zmniejszyć jego zużycie energii o

40%

III. Zakładając średnie zapotrzebowanie energetyczne jednego ultrasonografu na poziomie 2500 kWh

Obecne na rynku ultrasonografy charakteryzują się zróżnicowanym poziomem poboru mocy. Począwszy od urządzeń przenośnych do ergonomicznych sprzętów, na których można przeprowadzać badania przez cały dzień. Mniejsze urządzenia często mają niższe zużycie energii, lecz trudno z nich korzystać w sposób ciągły. W związku z tym podjęcie ostatecznej decyzji o wyborze aparatu USG powinno być podyktowane przede wszystkim wymogami i warunkami pracy.

Pozostałe efekty środowiskowe

Negatywny wpływ ultrasonografów na środowisko wynika również z produkcji, w tym zużycia surowców, utylizacji sprzętu, oraz wytwarzania odpadów chemicznych[46]. Dodatkowo, nieprawidłowa utylizacja żeli ultrasonograficznych i środków czyszczących stosowanych podczas badania przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska wodnego[47].

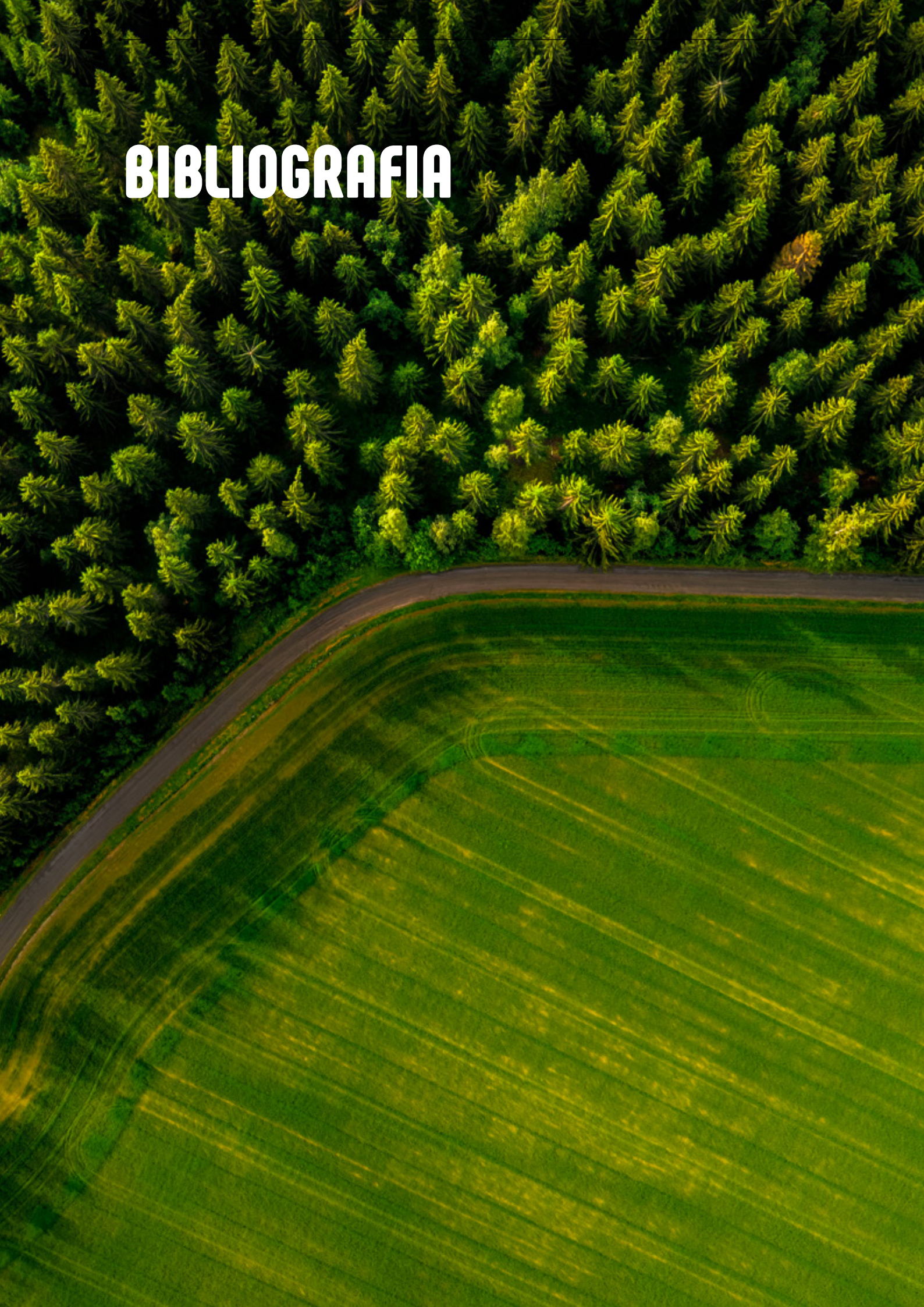
Ograniczenie kosztów i efektów zewnętrznych badań ultrasonograficznych

Przy wyborze urządzenia warto zwrócić uwagę na różne cechy urządzenia w całym cyklu jego życia. W schemacie 6. przedstawiono kluczowe aspekty, które warto rozważyć przed zakupem oraz podczas eksploatacji sprzętu.

Schemat 6.
Najważniejsze czynniki w doborze i eksploatacji ultrasonografów

Produkcja i wybór sprzętu	**Sprzęty rekondycjonowane** są tańsze i mają niższy ślad materiałowy i węglowy.
	Długi termin serwisowania urządzenia oraz zapewnienia części zamiennych.
	Wybór urządzeń od producentów stosujących **zrównoważone zasady produkcji** (np. korzystających z materiałów z recyklingu) **i działalności** (np. ograniczających ślad węglowy)
Użytkowanie	Korzystanie z opcji **oszczędzania energii**, np. trybu niskiego poboru mocy.
	Korzystanie **z plików cyfrowych**, by eliminować nośniki fizyczne (film, papier).
	lampa z napisem UV Dezynfekcja głowicy **ultrafioletem zamiast chemikaliami**.
	Stosowanie **ekologicznych żeli i środków czyszczących**.
	Zdalne przeprowadzanie niektórych badań USG
	Aktualizacja i rozbudowa oprogramowania oraz fizycznego sprzętu w celu **wydłużenia życia urządzenia**.
Koniec życia i zagospodarowanie odpadu	**Ponowne wykorzystanie** elementów urządzenia w kolejnych sprzętach (np. żywotność sprzętu USG to 5-7 lat, a jego głowicy aż 20 lat)
	Wdrożenie zasad odpowiedniego **gospodarowania odpadami** (w tym żeli, substancji dezynfekcyjnych).
	Właściwa **utylizacja starych urządzeń** zgodna z zaleceniami producentów

BIBLIOGRAFIA



1. *Karliner, J., Slotterback, S., Boyd, R., Ashby, B., & Steele, K. (2019). Health Care's Climate Footprint: How the Health Sector Contributes to the Global Climate Crisis and Opportunities for Action. Health Care Without Harm. https://global.noharm.org/media/4370/download?inline=1*
2. *Obliczenia własne na podstawie współczynników emisyjności od: Department for Energy Security and Net Zero and Department for Business, Energy & Industrial Strategy in U.K. (2022). UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. Version 2,0. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fassets.publishing.service.gov.uk%2Fmedia%2F62aed-8cd8fa8f53577129729%2Fghg-conversion-factors-2022-condensed-set.xls&wdOrigin=BROWSELINK*
3. *Health Care Without Harm. (2021, April 14) Global Road Map for Health Care Decarbonization. https://healthcareclimateaction.org/road-map-press-release#:~:text=On%20April%2014,%20 2021,%20Health%20Care*
4. *United Nations. (2022, April 13). What is the Triple Planetary Crisis? https://unfccc.int/news/what-is--the-triple-planetary-crisis*
5. *Obliczanie na podstawie wykresu „Earth Overshoot Day 1971- 2024": Global Footprint Network Advancing the Science of Sustainability. (n.d.). https://overshoot.footprintnetwork.org/*
6. *The Circurality Gap Report (2020). Circle Economy. https://cdn.prod.website-files.com/5e-185aa4d27bcf348400ed82/5e26ead616b6d1d157ff4293_20200120%20-%20CGR%20Global%20 -%20Report%20web%20single%20page%20-%20210x297mm%20-%20compressed.pdf*
7. *Hernandez, A. C. G. (2016). Reducing healthcare's climate footprint opportunities for European hospitals & health systems. Health Care Without Harm. https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/4746/HCWHEurope_Climate_Report_Dec2016.pdf*
8. *World Health Organization. (2018, February 8). Health-care Waste. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste#cms*
9. *Shaner, H., & McRae, G. (1996). Invisible costs/visible savings: innovations in waste management for hospitals. Surgical Services Management, 2(4), 17–21. https://www.academia.edu/2056435/Invisible_costs_visible_savings_innovations_in_waste_management_for_hospitals#:~:text=Invisible%20costs/visible%20savings:%20innovations%20in%20waste*
10. *Kagoma, Y. K., Stall, N., Rubinstein, E., & Naudie, D. People, planet and profits: the case for greening operating rooms. (2012) CMAJ, 184(17), 1905-11. doi: 10.1503/cmaj.112139.*
11. *aus der Beek, T., Weber, F. A., Bergmann, A., Grüttner, G., & Carius, A. (2016). Pharmaceuticals in the environment: Global occurrence and potential cooperative action under the Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM). https://www.researchgate.net/publication/330934183_Pharmaceuticals_in_the_environment_Global_occurrence_and_potential_cooperative_action_under_the_Strategic_Approach_to_International_Chemicals_Management_SAICM.*
12. *Sherman, J., Le, C., Lamers, V., & Eckelman, M. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. Anesthesia and analgesia, 114(5), 1086–1090. Doi: 10.1213/ANE.0b013e31824f6940*
13. *Wen, L. S. (2023, June 15). The Checkup With Dr. Wen: Plastics are everywhere in health care. That must change. The Washington Post. https://www.washingtonpost.com/opinions/2023/06/15/health--care-hospitals-plastics-reusable-environment/*

14. *Global Health Organization (n.d.). Global Health Expenditure Database. Retrieved October 8, 2024, from https://apps.who.int/nha/database*

15. *Health Care Without Harm. (n.d.). Global Road Map for Health Care Decarbonization: A navigational tool for achieving zero emissions with climate resilience and health equity. https://global.noharm.org/media/6437/download?inline=1*

16. *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2464 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie zmiany rozporządzenia (UE) nr 537/2014, dyrektywy 2004/109/WE, dyrektywy 2006/43/WE oraz dyrektywy 2013/34/UE w odniesieniu do sprawozdawczości przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju.*

17. *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/852 z dnia 18 czerwca 2020 r. w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/2088.*

18. *Art. 9 rozporządzenia ws. taksonomii 2020/852*

19. *Picano, E., Mangia, C., & D'Andrea, A. (2022). Climate Change, Carbon Dioxide Emissions, and Medical Imaging Contribution. Journal of Clinical Medicine, 12(1), 215. Doi: 10.3390/jcm12010215*

20. *McAlister, S., McGain, F., Petersen, M., Story, D., Charlesworth, K., Ison, G., & Barratt, A. (2022). The carbon footprint of hospital diagnostic imaging in Australia. The Lancet regional health. Western Pacific, 24, 100459. Doi: 10.1016/j.lanwpc.2022.100459*

21. *Bouëtté, A., Karoussou-Schreiner, A., Ducou Le Pointe, H., Grieten, M., de Kerviler, E., Rausin, L., Bouëtté, J. C., & Majerus, P. (2019). National audit on the appropriateness of CT and MRI examinations in Luxembourg. Insights into imaging, 10(1), 54. Doi: 10.1186/s13244-019-0731-9*

22. *Behrends, W. (2023, March, 29). Sustainable radiology: why it takes more than "greener" imaging systems. Healthcare-in-europe.com. https://healthcare-in-europe.com/en/news/sustainable-radiology-greener-imaging-systems.html*

23. *LLindsey, J. S., Frederick-Dyer, K., Carr, J. J., Cooke, E., Allen, L. M., & Omary, R. A. (2023). Modeling the Environmental and Financial Impact of Multi-dose vs. Single-dose Iodinated Contrast Media Packaging and Delivery Systems. Academic radiology, 30(6), 1017–1023. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36621442/*

24. *Fundusze Europejskie dla Polski Wschodniej. (2023, February 16). Akademia Funduszy – fundusze europejskie na lata 2021-2027 w dziedzinie ochrony zdrowia. https://www.fepw.gov.pl/strony/aktualnosci/akademia-funduszy-fundusze-europejskie-na-lata-2021-2027-w-dziedzinie-ochrony-zdrowia/*

25. *Fundusze Europejskie dla Nowczesnej Gospodarki. (n.d.). https://www.nowoczesnagospodarka.gov.pl/*

26. *Komisja Europejska (n.d.). Program UE dla zdrowia na lata 2021–2027 – wizja zdrowszej Unii Europejskiej. https://health.ec.europa.eu/funding/eu4health-programme-2021-2027-vision-healthier-european-union_pl*

27. *COCIR. (2018). Self-Regulatory Initiative for Medical Imaging Equipment. https://www.cocir.org/fileadmin/6_Initiatives_SRI/SRI_Status_Report/COCIR_SRI_Status_Report_2018_-_June_2019.pdf*

28. *European Commission. (2014). EU GPP Criteria for Electrical and Electronic Equipment used in the Health Care Sector (Health Care EEE). https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement/gpp-criteria-and-requirements_en*

29. *Dekker, H. M., Stroomberg, G. J., & Prokop, M. (2022). Tackling the increasing contamination of the water supply by iodinated contrast media. Insights into imaging, 13(1), 30. Doi: 10.1186/s13244-022-01175-x*

30. *McAlister, S., McGain, F., Petersen, M., Story, D., Charlesworth, K., Ison, G., & Barratt, A. (2022). The carbon footprint of hospital diagnostic imaging in Australia. The Lancet regional health. Western Pacific, 24, 100459. Doi: 10.1016/j.lanwpc.2022.100459*

31. *Merkle, E. M., Bamberg, F., & Vosshenrich, J. (2023). The Impact of Modern Imaging Techniques on Carbon Footprints: Relevance and Outlook. European urology focus, 9(6), 891–893. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37758613/*

32. *Heye, T., Knoerl, R., Wehrle, T., Mangold, D., Cerminara, A., Loser, M., Plumeyer, M., Degen, M., Luthy, R., Brodbeck, D., & Merkle, E. (2020). The Energy Consumption of Radiology: Energy- and Cost-saving Opportunities for CT and MRI Operation. Radiology, 295(3), 495-740. https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/radiol.2020192084*

33. *Brown, M., Snelling, E., De Alba, M., Ebrahimi, G., & Forster, B. B. (2023). Quantitative Assessment of Computed Tomography Energy Use and Cost Savings Through Overnight and Weekend Power Down in a Radiology Department. Canadian Association of Radiologists journal = Journal l'Association canadienne des radiologistes, 74(2), 298–304.. Doi: 10.1177/08465371221133074*

34. *McCollough C. H., & Leng, S. (2020). Use of artificial intelligence in computed tomography dose optimisation. Annals of the ICRP, 49(1_suppl), 113-125. Doi: 10.1177/0146645320940827*

35. *Philips. (2022). Przemyślane rozwiązania na każdym etapie badania. https://www.philips.com/c-dam/b2bhc/pl/resources/broszura_Incisive_compressed.pdf*

36. *Paudyal, R., Shah, A. D., Akin, O., Do, R. K. G., Konar, A. S., Hatzoglou, V., Mahmood, U., Lee, N., Wong, R. J., Banerjee, S., Shin, J., Veeraraghavan, H., & Shukla-Dave, A. (2023). Artificial Intelligence in CT and MR Imaging for Oncological Applications. Cancers (Basel), 15(9), 2573. Doi: 10.3390/cancers15092573*

37. *Finck, T., Moosbauer, J., Probst, M., Schlaeger, S., Schuberth, M., Schinz, D., Yiğitsoy, M., Byas, S., Zimmer, C., Pfister, F., & Wiestler, B. (2022). Faster and Better: How Anomaly Detection Can Accelerate and Improve Reporting of Head Computed Tomography. Diagnostics (Basel, Switzerland), 12(2), 452. Doi: 10.3390/diagnostics12020452*

38. *Andersen, M. B., Ebbesen, D., Thygesen, J., Kruis, M., & Rasmussen, F. (2020). Impact of spectral body imaging in patients suspected for occult cancer: a prospective study of 503 patients. European radiology, 30(10), 5539–5550. Doi: 10.1007/s00330-020-06878-7*

39. *Atwi, N. E., Sabottke, C. F., Pitre, D. M., Smith, D. L., Danrad, R., Dharaiya, E., Kambadakone, A., Pandharipande, P. V., & Toshav, A. M. (2020). Follow-up Recommendation Rates Associated With Spectral Detector Dual-Energy CT of the Abdomen and Pelvis: A Retrospective Comparison to Single-Energy CT. Journal of the American College of Radiology : JACR, 17(7), 940–950. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32032553/*

40. *Kessner, R., Sommer, J., Große Hokamp, N., Laukamp, K. R., & Nayate, A. (2023). Virtual versus true non-contrast images of the brain from spectral detector CT: comparison of attenuation values and image quality. Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987), 64(2), 776–783. Doi: 10.1177/02841851221093763*

41. *Tsang, D. S., Merchant, T. E., Merchant, S. E., Smith, H., Yagil, Y., & Hua, C. H. (2017). Quantifying potential reduction in contrast dose with monoenergetic images synthesized from dual-layer detector spectral CT. The British journal of radiology, 90(1078), 20170290. Doi: 10.1259/bjr.20170290*

42. *Finck T, Moosbauer J, Probst M, Schlaeger S, Schuberth M, Schinz D, Yiğitsoy M, Byas S, Zimmer C, Pfister F, Wiestler B. Faster and Better: How Anomaly Detection Can Accelerate and Improve Reporting of Head Computed Tomography. Diagnostics (Basel). 2022 Feb 10;12(2):452. doi: 10.3390/diagnostics12020452. PMID: 35204543; PMCID: PMC8871235*

43. *Andersen, M.B., Ebbesen, D., Thygesen, J. et al. Impact of spectral body imaging in patients suspected for occult cancer: a prospective study of 503 patients. Eur Radiol 30, 5539–5550 (2020). https://doi.org/10.1007/s00330-020-06878-7*

44. *Erdi, Y. E. (2013). Computed tomography x-ray tube life analysis: a multiyear study. Radiologic technology, 84(6), 567–570. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23861516/*

45. *Philips. (n.d.). Incisive CT. https://www.philips.pl/healthcare/product/HC728143/incisive-ct-ct-scanner*

46. *Philips. (n.d.). Philips Circular Edition systems: Rethink ‚new'. https://www.usa.philips.com/healthcare/solutions/philips-circular-systems*

47. *Sprint Diagnostics. (n.d.). The Environmental Impact of Ultrasound: Examining Eco-Friendly Practices. https://www.sprintdiagnostics.in/blog/environmental-impact-ultrasound-examining-eco-friendly--practices*