

Jędrzej KASPRZAK, Aleksandra REWOLIŃSKA

e-mail: jedrzej.kasprzak@put.poznan.pl

Zakład Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu Politechnika Poznańska

Środowiskowe aspekty uszczelnień czołowych w przemyśle browarniczym

Wstęp

Człowiek stanowi integralny element środowiska, jego działalność wywiera na nim niezaprzeczalne piętno. Przez wpływ gwałtownie rozwijającej się cywilizacji przemysłowej doprowadził do degradacji znacznych obszarów ziemskich, wyginięcia licznych gatunków zwierząt i roślin, a także do zachwiania równowagi klimatycznej na Ziemi.

W literaturze spotkać można niejednokrotnie analizy środowiskowego oddziaływania różnorodnych obiektów, głównie tych mniej skomplikowanych – opakowań, środków spożywczych i kosmetycznych, rzadziej w odniesieniu do maszyn i urządzeń. Większość z tych analiz jest oparta o koncepcję cyklu życia. Można zauważyć, iż tego rodzaju kompleksowe analizy wskazują na etap eksploatacji obiektów technicznych jako na generujący największe obciążenie dla środowiska. Większość przeprowadzanych badań skupia się jednak na analizie procesów wytwórczych maszyn i urządzeń.

Celem opracowania jest analiza uszkodzeń uszczelnień czołowych, które według kryteriów oddziaływań środowiskowych należą do najbardziej awaryjnych elementów maszyn i urządzeń pracujących w przemyśle spożywczym.

Zarys problematyki, uszkodzenia eksploatacyjne

Najliczniejszą grupą urządzeń wykorzystywanych przy transporcie produktów spożywczych są pompy wirowe. Jakkolwiek są one stosowane przede wszystkim do przetłaczania cieczy o niskich lepkościach, to przy zastosowaniu pewnych rozwiązań konstrukcyjnych wirników mogą służyć również do transportu całych owoców i warzyw lub ich części, a także np. ryb. Przepompowywany produkt jest ważnym czynnikiem określającym wybór prawidłowej metody uszczelnienia. Właściwości cieczy – np. skłonność do krystalizacji, twardnienia, krzepnięcia, zawartość ciał stałych oraz kompatybilność chemiczna – determinują rodzaj uszczelnienia lub urządzenia pomocniczego, które może być zastosowane. Do uszczelniania pomp wirowych stosuje się przede wszystkim uszczelnienia czołowe, sznurowe lub tzw. szczeliwa bezpostaciowe, projektowane specjalnie dla zastosowań higienicznych. Uszczelnienia czołowe pomp wirowych są wykorzystywane przede wszystkim w instalacjach do przetłaczania takich cieczy, jak woda, mleko, piwo czy wino, jednak przede wszystkim są stosowane przy uszczelnianiu pomp wykonujących czynności pomocnicze takie, jak przepłukiwanie, czyszczenie, sterylizacja, usuwanie zbędnych produktów lub rozładunek zbiorników. Bardziej szczegółowy przegląd uszczelnień w przemyśle spożywczym jest zawarty w pracy [Rewolińska, 2006]. Wynika z niego, iż uszczelnienia czołowe znajdują szerokie zastosowanie w maszynach i urządzeniach pracujących w przemyśle spożywczym. Wynika ono przede wszystkim z ich zalet, do których należy zaliczyć: wysoki poziom szczelności, stosunkowo niski opór podczas pracy oraz odpowiednio długie okresy eksploatacji. Dlatego do dalszych badań wybrano właśnie ten rodzaj uszczelnień.

Zagadnienie eksploatacji uszczelnień czołowych jest dość dobrze rozpoznane w literaturze. Dane na ten temat pochodzą z różnych gałęzi przemysłu, m.in. przemysłu petrochemicznego, chemicznego, fotograficznego oraz spożywczego [Anderson i in., 2002; Golubev i Kondakov, 1986; Gosztoft i Karaszkievicz, 1971; Salant, 2003; Sealing Technology. BAT, 2009]. Głównym powodem przecieków pomp są zwykle uszkodzenia uszczelnień czołowych. Rozkład elementarnych przyczyn przecieków w tych pompach jest następujący [Ziegenbein, 2004]: uszczelnienia czołowe (konstrukcja, technologia, materiał) – 40%, pompa (konstrukcja, technologia, materiał) – 16%, instalacje pomocnicze

(konstrukcja, obsługa, materiał) – 13%, montaż pompy i uszczelnienia (obsługa) – 14%, układ pompowy (obsługa) – 11%, otoczenie – 3%.

Uszczelnienia czołowe, stanowiąc istotny węzeł konstrukcyjny maszyn i urządzeń, w znacznym stopniu decydują o ich trwałości i niezawodności. Jak wynika z danych literaturowych uszczelnienia te należą do najbardziej zawodnych elementów maszyn [Sealing Technology. BAT, 2009]. Ponadto uszczelnienia czołowe często tracą zdolność spełniania swojej funkcji znacznie szybciej niż pozostałe elementy urządzenia [Gosztoft i Karaszkievicz, 1971; Rewolińska, 2006; Sealing Technology. BAT, 2009; Ziegenbein, 2004]. Główne przyczyny uszkodzeń uszczelnień czołowych wymieniono w pracy [Rewolińska, 2006].

Przykładem stosowania uszczelnień czołowych w przemyśle spożywczym mogą być kompaktowe uszczelnienia czołowe [Torzyński, 2003] pracujące w pompach wirowych w cukrowniach przy przepompowywaniu surowego soku z dyfuzorów do zbiorników. Uszczelnienia te pracują poprawnie przez dwie kampanie, przy czym czas trwania kampanii wynosi od 45 do 70 dni. Przyczyny tak krótkiego okresu eksploatacji nie są znane.

Do badań opisanych w dalszej części niniejszej pracy wybrano uszczelnienia czołowe stosowane w linii rozlewniczej piwa w jednym z największych polskich browarów. W celu uzyskania informacji dotyczących eksploatacji uszczelnień skorzystano z danych zawartych w komputerowym systemie zarządzania utrzymaniem ruchu. System ten umożliwia dokumentowanie historii zdarzeń występujących w całym procesie produkcji piwa. Jest stosowany ponad dziesięć lat. Wybrane do badań uszczelnienia opisano w dalszej części niniejszej pracy.

Metodyka wartościowania oddziaływań środowiskowych

Do ekobilansowania, czyli ilościowego określenia wpływu obiektów technicznych na środowisko wybrano metodę środowiskowej oceny cyklu życia produktów ELCAP (*Environmental Life Cycle Assessment of Products*). Uczyniono to głównie ze względu na dużą elastyczność oraz możliwość kompleksowej oceny oddziaływań środowiskowych. Metoda została zdefiniowana jako sposób ilościowego określania środowiskowego obciążenia, który jest oparty na inwentaryzacji czynników środowiskowych w odniesieniu do obiektu (wyrobu, np. maszyny, urządzenia), procesu lub innej działalności w cyklu od wydobycia surowców do ich końcowego zagospodarowania [ELCAP, 1998; Kłós, 1998]. Sposób ten daje możliwość identyfikacji oraz oceny emisji do środowiska szkodliwych substancji, a także oceny materiałochłonności i energochłonności we wszystkich etapach istnienia wyrobu: od jego powstania w procesie produkcyjnym, poprzez eksploatację, aż do końcowego zagospodarowania.

Zasady wykonywania analiz środowiskowych za pomocą metody LCA, a także sposób oznaczania poszczególnych oddziaływań środowiskowych i wyrażanie ich w punktach środowiskowych zostały szczegółowo opisane m.in. w normach serii ISO 14040 [PN-EN ISO 14040:2009]. Efektem analiz przeprowadzanych z użyciem tej metody są wyniki podane w punktach środowiskowych, jednostkach skumulowanych, pozwalających na bezpośrednie porównywanie między sobą oddziaływań środowiskowych.

W metodzie wyodrębniono szereg kategorii środowiskowych, na które oddziałują analizowane obiekty w całym cyklu istnienia [Goedkoop i in., 2000]. Przykładowo dla procedury obliczeniowej *Eco-Indicator 99* są to:

1. zdrowie ludzkie:

- choroby układu oddechowego (*respiration diseases*), podzielone na dwie grupy: powodowane przez substancje organiczne (*organic*) i nieorganiczne (*inorganic*),

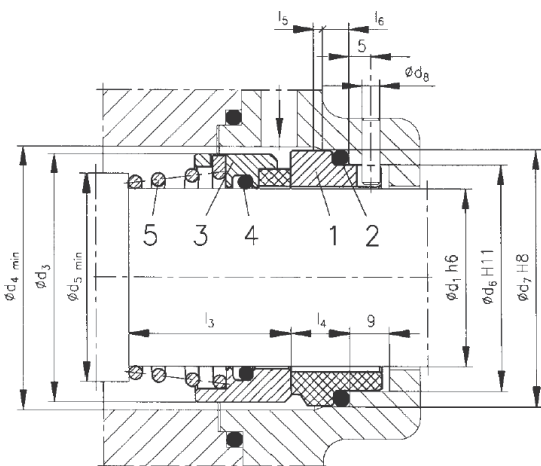
- zjawiska zmiany klimatu (*climate change*),
 - zubożenie warstwy ozonowej (*ozone layer*),
 - emisja substancji rakotwórczych (*carcinogens*),
 - promieniowanie jonizujące (*radiation*),
2. stan (jakość) ekosystemów:
- zatrucie środowiska substancjami toksycznymi (*ecotoxicity*),
 - zakwaszenie i eutrofizacja (*acidification/eutrophication*),
 - wykorzystanie i degradacja terenu (*land use*),
3. zasoby surowców:
- wydobycie kopalin (*minerals*),
 - wyczerpywanie zasobów paliw kopalnych (*fossil fuels*).

W następnej części pracy przedstawiono studium przypadku, wybrane spośród analiz środowiskowych przeprowadzanych na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Ilustruje ono przydatność metod ekobilansowych do określania środowiskowego oddziaływania elementów maszyn w przemyśle spożywczym.

Studium przypadku – środowiskowe oddziaływanie uszczelnień czołowych w przemyśle browarniczym

Objekt badań

Jako przedstawiciela grupy uszczelnień czołowych do badań ekobilansowych wybrano uszczelnienie czołowe typu wewnętrznego mechanicznego pojedyncze, nieodciążone, z centralną sprężyną, zależne od kierunku obrotów wału. Objekt analizy środowiskowej został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Objekt badań [Materiały...]; 1 – pierścień stały, 2 – o-ring, 3 – obudowa pierścienia obrotowego, 4 – o-ring, 5 – sprężyna

Zastosowanie badanego uszczelnienia czołowego to praca z wodą, olejami, paliwami, mało agresywnymi związkami chemicznymi z niewielką zawartością substancji ściernych, stosowane w pompach wirowych i innych urządzeniach z wałem obrotowym.

Dane materiałowe badanego urządzenia zawiera tabl. 1.

Tabl. 1. Skład materiałowy badanego urządzenia [Materiały...]

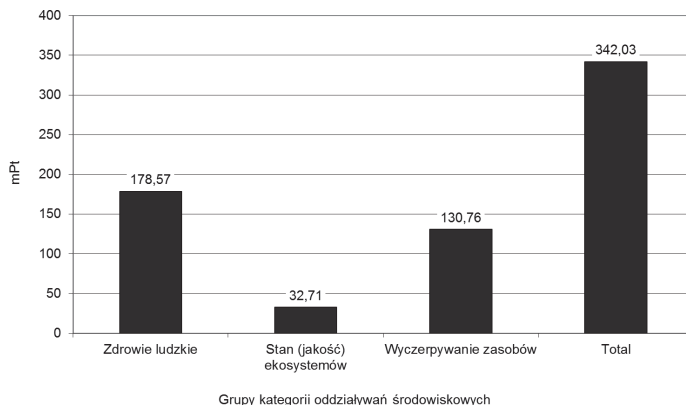
Lp.	Element uszczelnienia	Materiał	Liczba sztuk	Masa [g]
1	Pierścień obrotowy	Węglik wolframu (WC)	1	75
2	O-ring	Etylenopropen (EPDM)	2	13
3	Sprężyna	Stal kwasoodporna (1.4301)	1	195
4	Obudowa	Stal kwasoodporna (1.4301)	1	420
5	Pierścień stały	Węglik krzemu (SiC)	1	56

Realizacja badań ekobilansowych

Do realizacji badań ekobilansowych wybrano metodę oceny cyklu życia LCA (*Life Cycle Assessment*). Jako procedurę obliczeniową przyjęto *Eco-Indicator 99* w wersji hierarchicznej (kategorie środowiskowe). Dane nt. składu materiałowego badanego uszczelnienia wprowadzono do oprogramowania wspomagającego obliczenia ekobilansowe *SimaPro 7.2* z bazą danych *EcoInvent 2.0*.

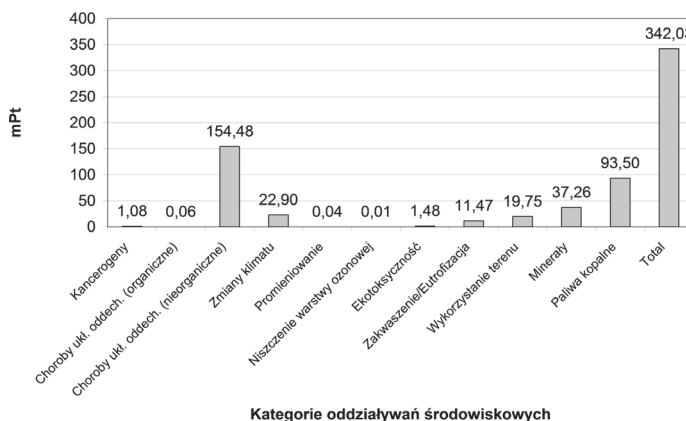
Wyniki badań ekobilansowych

Pierwszym spostrzeżeniem wynikającym z analizy ekobilansowej jest określenie całkowitego oddziaływania środowiskowego obiektu badań w skali punktów środowiskowych (Pt – Rys. 2). Dla badanego uszczelnienia oddziaływanie to wynosi nieco ponad 0,34 Pt. Oddziaływanie to obejmuje wytworzenie poszczególnych elementów składowych uszczelnienia w oparciu o dane z tab. 1. Ponieważ podczas eksploatacji uszczelnienia nie występuje konieczność wymiany pojedynczych elementów, a także nie dostarcza się mu energii w żadnej formie, oddziaływanie środowiskowe eksploatacji nie występuje.



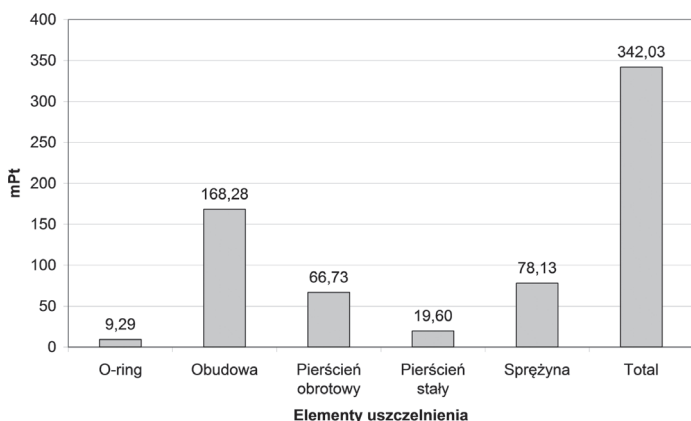
Rys. 2. Całkowite oddziaływanie środowiskowe badanego uszczelnienia i ogólny profil środowiskowy (3 grupy kategorii oddziaływań środowiskowych)

Kolejną informacją jest określenie tzw. profilu środowiskowego badanego uszczelnienia – a więc rozkładu oddziaływań środowiskowych na poszczególne grupy kategorii środowiskowych i pojedyncze kategorie środowiskowe (Rys. 2 i 3). Z przeprowadzonych analiz wynika, że największe obciążenia środowiskowe są związane z wpływem na ludzkie zdrowie, a zwłaszcza z emisją substancji nieorganicznych powodujących choroby układu oddechowego (ponad połowa całości niekorzystnych oddziaływań środowiskowych). Istotne obciążenia środowiskowe są związane również wyczerpywaniem się zasobów naturalnych, głównie na skutek znacznego zużycia paliw kopalnych (procesy przetwórstwa rud żelaza i wytwarzanie stali, która stanowi ponad 80% masy uszczelnienia).



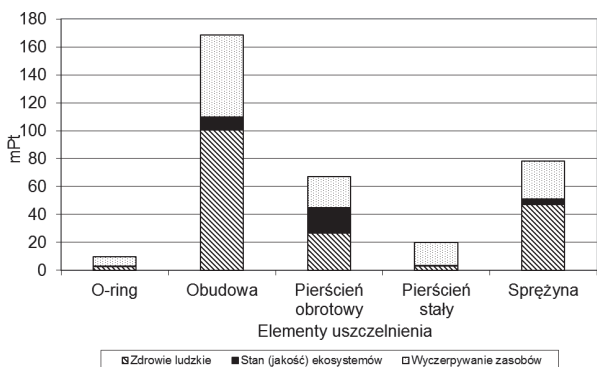
Rys. 3. Szczegółowy profil oddziaływań środowiskowych badanego uszczelnienia (podział na kategorie oddziaływań środowiskowych)

Rys. 4 przedstawia oddziaływania środowiskowe generowane przez poszczególne elementy składowe uszczelnienia. Wynika z niego, że prawie połowa obciążeń środowiskowych jest związana z wykonaniem obudowy uszczelnienia ze stali kwasoodpornej. Wszystkie części wykonane z tego materiału (obudowa i sprężyna) stanowią ok. 80% udziału masowego, jednak ich oddziaływanie środowiskowe to jedynie nieco ponad 70% całości oddziaływań. Pozostałe materiały (zwłaszcza węgliki krzemu i wolframu) to materiały o relatywnie większym koszcie środowiskowym. Alternatywą może być stosowanie w skojarzeniach np. żeliwa chromoniklowego.

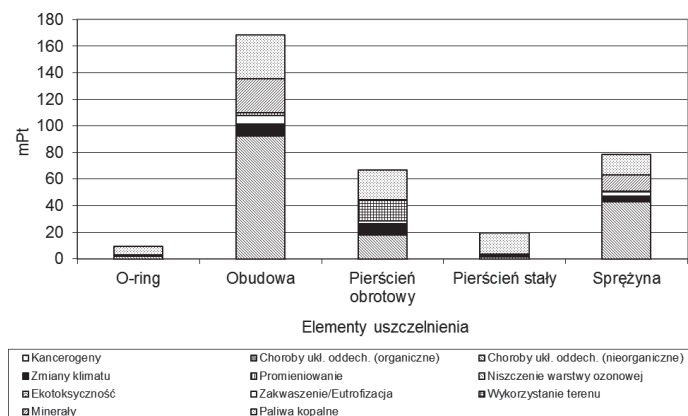


Rys. 4. Rozkład oddziaływań środowiskowych dla poszczególnych elementów badanego uszczelnienia

Na rys. 5 i 6 umieszczono profile oddziaływań środowiskowych z uwzględnieniem składowych od poszczególnych elementów badanego uszczelnienia. Można zauważyć znaczną przewagę oddziaływań związanych z wpływem na ludzkie zdrowie, zwłaszcza dla części wykonanych ze stali kwasoodpornej.



Rys. 5. Ogólny profil oddziaływań środowiskowych badanego uszczelnienia z podziałem na elementy składowe (4 grupy kategorii oddziaływań środowiskowych)



Rys. 6. Szczegółowy profil oddziaływań środowiskowych badanego uszczelnienia z podziałem na elementy składowe (kategorie oddziaływań środowiskowych)

W przypadku pierścienia stałego, wykonanego z węgla krzemowego, decydujące znaczenie dla kształtu profilu oddziaływań środowiskowych ma wykorzystanie zasobów naturalnych, a ściślej wysoka energochłonność procesu wytwarzania węgla krzemowego (w temperaturach dochodzących do 2500°C).

Ma to związek ze znaczną emisją substancji nieorganicznych powodujących choroby układu oddechowego podczas procesu pozyskiwania i przetwarzania tego rodzaju materiału. Z kolei w przypadku pierścienia obrotowego wykonanego z węgla wolframu istotny jest zauważalnie

duży odsetek oddziaływań związanych z niszczeniem lub pogarszaniem się stanu (jakości) naturalnych ekosystemów. Decydujący wpływ na taką strukturę oddziaływań wywiera składowa wykorzystania terenu (*land use*), związana ze skomplikowanym pozyskiwaniem wolframu, występującego w postaci rodzimej w żyłach hydrotermalnych wysokotemperaturowych i w niewielkich ilościach w pegmatytach (polskie zasoby wolframu).

Podsumowanie

Analizując problem uszkodzeń uszczelnień czołowych w liniach rozlewniczych w przemyśle spożywczym, a także środowiskowe reperkusje tego typu procesów należy stwierdzić, iż oddziaływanie środowiskowe pojedynczego uszczelnienia jest niewielkie (ok. 0,3–0,4 Pt) podczas, gdy oddziaływanie środowiskowe dużych urządzeń w przemyśle spożywczym – maszyny rozlewnicze, pakujące itp. – kształtuje się na poziomie kilkudziesięciu kPt (kilopunktów środowiskowych). Jeśli natomiast uwzględni się energię (elektryczną, ciepłą itp.) dostarczaną do tego typu maszyn podczas całej eksploatacji, to oddziaływanie może wzrosnąć do kilku-kilkudziesięciu MPt (megapunktów środowiskowych).

Jeżeli rozważyć znaczną częstotliwość wymian uszczelnień czołowych, sygnalizowaną w pracach [Anderson i in., 2002; Golubev i Kondakov, 1986; Gosztoft i Karaszkievicz, 1971; Rewolińska, 2006; Salant, 2003; Sealing Technology. BAT, 2009], można stwierdzić, że jedynie 5–15% uszczelnień osiąga swój zaprojektowany czas pracy [Netzel i in., 2002a; 2002b]. W takim wypadku oddziaływania środowiskowe uszczelnień czołowych w całym cyklu eksploatacyjnym np. maszyny rozlewniczej w linii produkcji piwa należy zwiększyć kilkudziesięciokrotnie, co może stanowić znaczące obciążenie środowiskowe.

LITERATURA

- Anderson W., Jarzyński J., Salant R., 2002. Monitoring the condition of liquid – lubricated mechanical seals. *Sealing Technology*, 2002, nr 2, 6-11. DOI: 10.1016/S1350-4789(02)80027-7
- ELCAP, 1992. *Environmental Life Cycle Assessment of Products, Part I Guide. Part II Backgrounds*, Noh 1992
- Goedkoop M., Spriensma R. et al., 2000. *The Eco-indicator 99, 2000. A damage oriented method for Life Cycle Assessment*. Methodology report, PRé Consultants B.V., Netherlands 2000
- Golubev A.I., Kondakov K.A., 1986. *Uplotnienija i uplatniajushchaja tehnika*. Mashinostroeniej, Moskva
- Gosztoft L., Karaszkievicz A., 1971. *Normalizacja uszczelnień i materiałów uszczelniających*. Wyd. Normalizacyjne, Warszawa
- Kłós Z., 1998. *Środowiskowa ocena maszyn i urządzeń*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań
- Netzel J., Redpath D., Wallace N., 2002. Avoiding premature machinery failures – plant life, start-up and industry standards. *Sealing Technology*, 2002, nr 4, 6-10. DOI: 10.1016/S1350-4789(02)80111-8
- Netzel J., Redpath D., Wallace N., 2002. Avoiding premature machinery failures – definitions and analysis. *Sealing Technology*, 2002, nr 3, 6-10. DOI: 10.1016/S1350-4789(02)80062-9
- PN-EN ISO 14040:2009 – *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura*
- Rewolińska A., 2006. *Stan graniczny uszczelnień stosowanych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego*. Praca doktorska, WMRI, Politechnika Poznańska, Poznań
- Salant R., 2003. The use of modeling to understand malfunction and failure in mechanical seals. *Sealing Technology*, 2003, nr 12, 8-12. DOI: 10.1016/S1350-4789(03)00015-1
- Sealing Technology. BAT guidance notes*, 2009. ESA publication 014/09,
- Torzyński P., 2003. *Niezawodność uszczelnień stosowanych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego*. Praca dypl. WMRI, Politechnika Poznańska, Poznań
- Ziegenbein D., 2004. *Increase of general plant reliability and reduction of operating costs for pumps by use of cartridge seals*. [w:] X Konferencja Międzynarodowa: Uszczelnienia i technika uszczelniania maszyn i urządzeń. Wrocław – Polanica Zdrój