

Rurka ciepła z pętlą obiegową (ang. *Loop Heat Pipe* LHP) to pasywne, dwufazowe i wysokowydajne urządzenie służące do transportu ciepła na duże odległości, wykorzystujące siły kapilarne oraz zjawisko parowania i skraplania płynu roboczego do wzbudzenia ruchu czynnika znajdującego się w obiegu. Bezawaryjność oraz swoboda w montażu lub ułożeniu w przestrzeni grawitacyjnej sprawiły, iż LHP stało się bardzo obiecującym urządzeniem, możliwym do wykorzystania w różnego rodzaju instalacjach kosmicznych i naziemnych. Aktualnym trendem w rozwoju LHP jest konstrukcja urządzeń o płaskim kształcie parownika, które są lepiej dopasowane do geometrii grzejących się komponentów elektronicznych (np. mikroprocesorów), a tym samym negują potrzebę instalacji dodatkowego elementu wymiany ciepła między źródłem ciepła a parownikiem.

Większość badań nad LHP dotyczy przede wszystkim jej typowych zastosowań tj. w temperaturach zbliżonych do temperatury pokojowej, natomiast w zakresach pracy w podwyższonych temperaturach zredukowanych (tj. ok 500K-700K) **istnieje luka badawcza**. Przegląd literatury nie przedstawia wielu danych porównawczych na ten temat i ogranicza się jedynie do kilku, najczęściej nieaktualnych już artykułów naukowych. W ostatnim czasie też nie testowano żadnych średniotemperaturowych płynów roboczych w kontekście ich kompatybilności chemicznej z materiałami konstrukcyjnymi LHP, brak też wyników tzw. testów trwałości/stabilności. Co istotne, zakres temperatury pracy LHP jest bezpośrednio związany z doбором odpowiedniego płynu roboczego, a kompatybilność chemiczna materiałów i płynów roboczych jest głównym punktem odniesienia podczas projektowania urządzeń typu LHP.

CELEM PROJEKTU JEST: pokonanie wyzwań i problemów naukowych, związanych z rozwojem LHP z parownikiem o płaskim kształcie pracujących w podwyższonych wartościach temperatur zredukowanych, tj.: **(a)** dobór odpowiedniego płynu roboczego (**WIEKSZOŚĆ** średniotemperaturowych płynów roboczych jest toksyczna, reaktywna, rozkłada się lub degraduje po osiągnięciu temperatury bliskiej punktowi krytycznemu, generuje niekondensujące gazy (NCG), jest niekompatybilna chemicznie z materiałami konstrukcyjnymi LHP, ma zbyt niską lub zbyt wysoką gęstość pary, nie zwilża prawidłowo materiału knota, ich pełne dane dotyczące właściwości fizykochemicznych są niedostępne, a większość z nich jest przybliżona, nadto ich testy trwałości/stabilności są niedostępne i wpływ na środowisko jest nieznan); **(b)** dobór odpowiedniego materiału konstrukcyjnego (**BRĄK** pełnych tablic kompatybilności metali oraz materiałów inżynierskich z większością średniotemperaturowych płynów roboczych, co więcej, reaktywność płynów znacznie ogranicza wybór potencjalnych materiałów. Skutkami niekompatybilności jest powstawanie NCG, korozja (a w konsekwencji nieszczelność, wycieki i zatrzymanie pracy LHP), zatykanie porów w knocie, obniżenie wydajności LHP wywołane produktami korozji, transport produktów korozji (rozpuszczanie elementów obudowy/materiału knota w skraplaczu oraz przenoszenie i ponowne osadzanie cząstek w parowniku). Warto dodać, iż materiał obudowy powinien być wystarczająco wytrzymały, aby wytrzymać wysokie ciśnienie płynu roboczego w podwyższonej temperaturze oraz odporny na korozję naprężeniową, co stanowi kolejne wyzwanie; **(c)** budowa odpowiedniego stanowiska laboratoryjnego do testowania LHP w podwyższonych temperaturach. Testowanie takiego LHP jest znaczącym przedsięwzięciem, gdyż reaktywność płynów i wykorzystanie nietypowych materiałów konstrukcyjnych stwarzają nowe wyzwania. Nadto, część płynów roboczych, których temperatura pracy mieści się w zakresie 500K-700K, zamarza w temperaturze pokojowej (tj. LHP jest zamrożone przed rozruchem), jest reaktywna lub toksyczna, co stwarza dodatkowe problemy podczas testowania i obsługi. Wszystko to stwarza wiele wyzwań w rozwoju takich LHP; **(d)** opracowanie nowych metod badawczych. W związku z budową innowacyjnego stanowiska laboratoryjnego niezbędne jest wykorzystanie nowoczesnego specjalistycznego sprzętu pomiarowego zdolnego do pracy w ww. temperaturach, a co za tym idzie, należy opracować nowe procedury testowania; **(e)** płaski parownik LHP ma tendencję do deformacji/puchnięcia na skutek wysokiego ciśnienia nasycenia płynu roboczego znajdującego się wewnątrz lub nierównomiernego rozkładu naprężeń w nieokrągłej obudowie; **(f)** problem ucieczki ciepła ze strefy grzanej parownika i ściany bocznej do komory kompensacyjnej; **(g)** występowanie przepływów wstecznych w porowatym knocie; **(h)** słaba wydajność podczas rozruchu.

Niekompatybilność płynu roboczego z materiałami w LHP jest bezpośrednio związana z generowaniem NCG w systemie, a w konsekwencji oscylacyjną pracą lub przerwaniem pracy LHP. Istnieje potrzeba przeprowadzenia pełnej analizy termodynamicznej zachowania tego dwufazowego urządzenia, aby lepiej zrozumieć procesy termiczne i hydrauliczne w LHP pracujących w podwyższonych zakresach temperatur zredukowanych.

Projekt ten: **(1)** uzupełni aktualną wiedzę nt. wpływu NCG na działanie LHP w podwyższonych zakresach temperatur zredukowanych i z pewnością znacznie rozszerzy potencjalny zakres stosowania wszystkich pasywnych urządzeń napędzanych siłami kapilarnymi (np. HP, CPL etc.); **(2)** uzupełni aktualną wiedzę na temat nowoczesnych średniotemperaturowych płynów roboczych i ich kompatybilności z komponentami LHP i nowatorskimi materiałami inżynierskimi; **(3)** uzupełni aktualną wiedzę na temat procesów cieplno-hydraulicznych w pasywnych urządzeniach napędzanych siłami kapilarnymi oraz skutków obecności NCG na zachowania LHP w podwyższonych temperaturach pracy (publikacje dotyczące wpływu NCG na LHP są rzadkie i dotyczą przede wszystkim temperatur do ok. 350K); **(4)** przyczyni się do powstania nowatorskiej LHP z płaskim parownikiem, aby zademonstrować niezawodność i elastyczność tej technologii w wielu zastosowaniach (w szczególności w podwyższonych temperaturach); **(5)** wyznaczy procedury i nowe metody testowania średniotemperaturowych LHP.