S.n.

Termodynamika w.4

**Siłownie parowe**

**Zakres:**

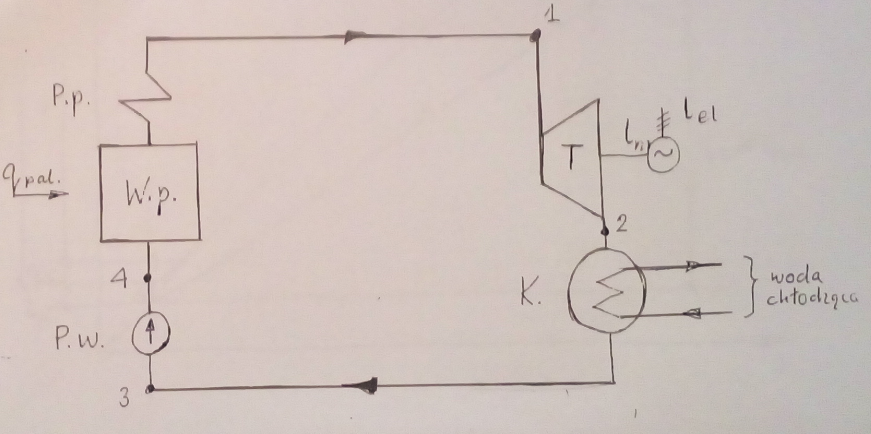
1. Definicja siłowni parowej, elementy z których składa się siłownia
2. Obieg porównawczy siłowni parowej (Clausiusa- Rankine’a – obieg C-R)
3. Określenie sprawności obiegu CR
4. Spalanie niezupełne

**Definicja siłowni parowej**

**„Siłownia parowa** – zespół [maszyn](https://pl.wikipedia.org/wiki/Maszyna) i [urządzeń](https://pl.wikipedia.org/wiki/Urz%C4%85dzenie) mających na celu wytwarzanie [mocy mechanicznej](https://pl.wikipedia.org/wiki/Moc_mechaniczna) z wykorzystaniem [turbiny parowej](https://pl.wikipedia.org/wiki/Turbina_parowa) lub [tłokowej maszyny parowej](https://pl.wikipedia.org/wiki/Maszyna_parowa). Proces [konwersji energii](https://pl.wikipedia.org/wiki/Konwersja_energii) odbywa się z wykorzystaniem [wody](https://pl.wikipedia.org/wiki/Woda) i [pary wodnej](https://pl.wikipedia.org/wiki/Para_wodna). Para wodna wytwarzana jest pod odpowiednio wysokim [ciśnieniem](https://pl.wikipedia.org/wiki/Ci%C5%9Bnienie) w [kotle parowym](https://pl.wikipedia.org/wiki/Kocio%C5%82_parowy), a [rozprężana](https://pl.wikipedia.org/wiki/Rozpr%C4%99%C5%BCanie) w [turbinie](https://pl.wikipedia.org/wiki/Turbina) bądź [maszynie](https://pl.wikipedia.org/wiki/Maszyna) [tłokowej](https://pl.wikipedia.org/wiki/T%C5%82ok). Po rozprężeniu podlega ona [skropleniu](https://pl.wikipedia.org/wiki/Skraplanie) w [skraplaczu](https://pl.wikipedia.org/wiki/Skraplacz) (układ zamknięty) lub jest wyrzucana do otoczenia (układ otwarty). W układzie zamkniętym [skropliny](https://pl.wikipedia.org/wiki/Skropliny) są przetłaczane z powrotem do kotła przy pomocy [pompy](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pompa). Woda jest zachowana w układzie.” [1]

**„Siłownia parowa** – siłownia przetwarzająca energię chemiczną paliw w energię cieplną pary wodnej, a tę z kolei w turbinach parowych w energię mechaniczną”[2]

1. Siłownia parowa- szkic budowy wersji podstawowej wraz z przemianami termodynamicznymi



T- turbina z generatorem energii elektrycznej, W.p. – kocioł spalający paliwo o określonej wartości opałowej, K. –skraplacz z obiegiem wody chłodzącej, w którym para kondensuje się, P.w. pompa wodna przetłaczająca kondensat do kotła, P.p. – przegrzewacz pary.

1-2 (s) – izentropowa ekspansja pary na turbinie

2-3 (p) – izobaryczna kondensacja pary wodnej w skraplaczu

3-4 (s) – izentropowe sprężanie kondensatu w pompie wodnej

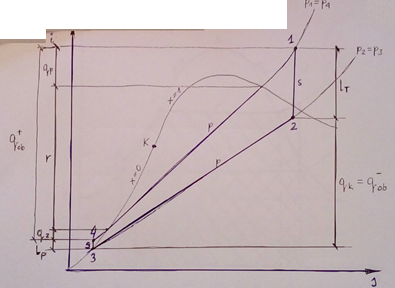
4-1 (p) izobaryczne wytwarzanie i podgrzewanie pary

Rys.1 Budowa siłowni parowej z podstawowymi elementami

**Obieg porównawczy siłowni**

Obiegiem porównawczym siłowni parowej jest obieg Clausiusa- Rankine’a ( obieg C-R)

Na rys.2 jest obieg Clausiusa- Rankine’a na wykresie i-s z podstawowymi przemianami.



1-2 (s) – izentropowa ekspansja pary na turbinie

2-3 (p) – izobaryczna kondensacja pary wodnej w skraplaczu

3-4 (s) – izentropowe sprężanie kondensatu w pompie wodnej

4-1 (p) izobaryczne wytwarzanie i podgrzewanie pary

Rys.2 obieg Clausiusa- Rankine’a na wykresie i-s z podstawowymi przemianami

**Sposób obliczania poszczególnych ilości ciepeł niezbędnych do obliczenia sprawności obiegu CR(** mała litera oznacza ciepło jednostkowe, czyli ciepło jest zakumulowane w 1 kg czynnika roboczego)

- Ciepło dodatnie obiegu jest dostarczane do kondensatu w kotle

- Ciepło ujemne obiegu jest odbierane przez wodę chłodzącą w skraplaczu. Jest to ciepło przemiany fazowej pary zmieniającej się w kondensat.

- Praca techniczna , która jest wykonywana przez turbinę , jest pracą obiegu, czyli sumą pracy technicznej turbiny i pompy ( praca pompy jest ujemna)

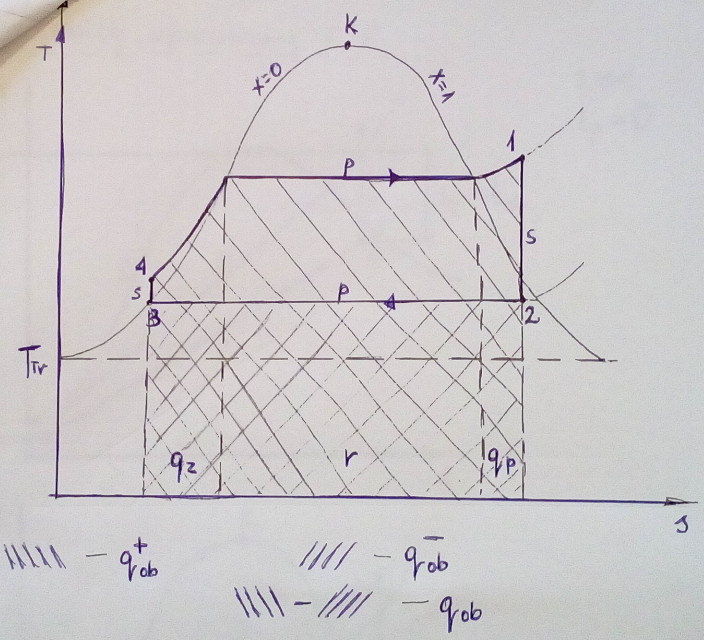
Gdzie: – praca techniczna pompy wodnej

Sprawność siłowni idealnej to tzw. sprawność C-R i jak każda sprawność jest wskaźnikiem

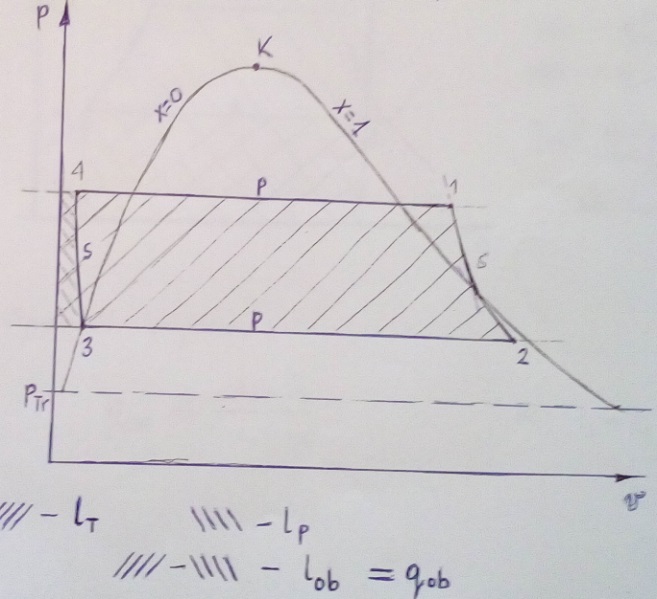
dobroci obiegu, obliczanym jako iloraz pracy obiegu i ciepła dodatniego obiegu.

.

Na rys.3 i 4 przedstawiono obieg siłowni parowej ( idealny obieg C-R) na wykresie T-s oraz p-v. Proszę zwrócić uwagę , że ciepło obiegu jest równe pracy obiegu i jest to pole pod krzywą zamkniętą 1-2-3-4.

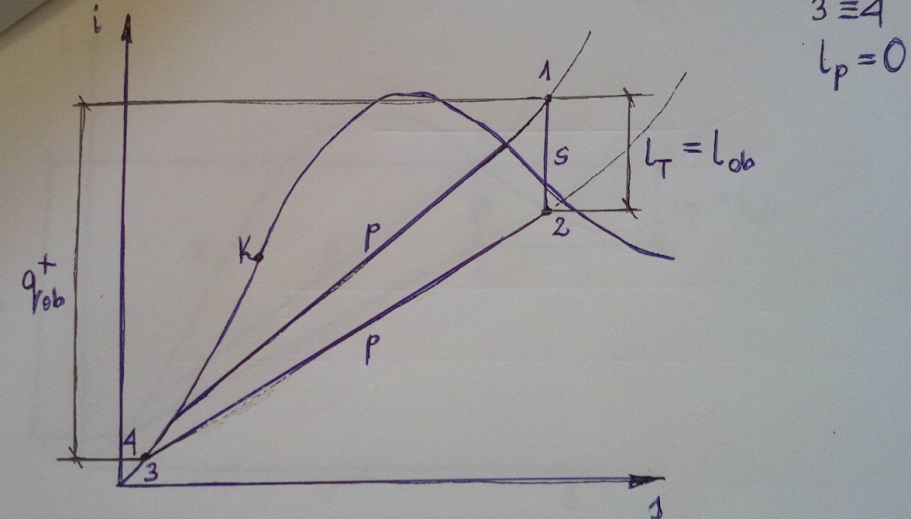


Rys.3 Obieg C-R na wykresie T-s



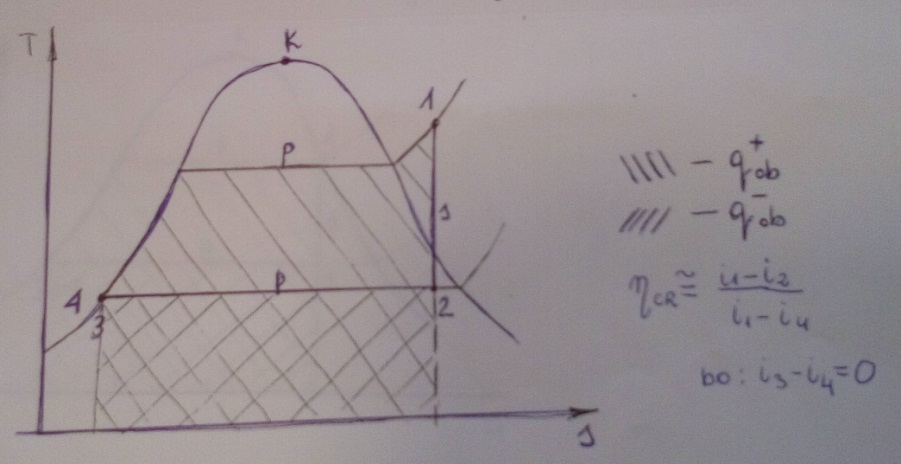
Rys.4 Obieg C-R na wykresie p-v

Uproszczony obieg siłowni parowej. Uproszczony obieg siłowni parowej pomija istnienie pompy przetaczającej kondensat do kotła. Na Rys. 5 i Rys.6 jest obieg uproszczony C-R.



Rys.5 Uproszczony obieg C-R na wykresie i-s

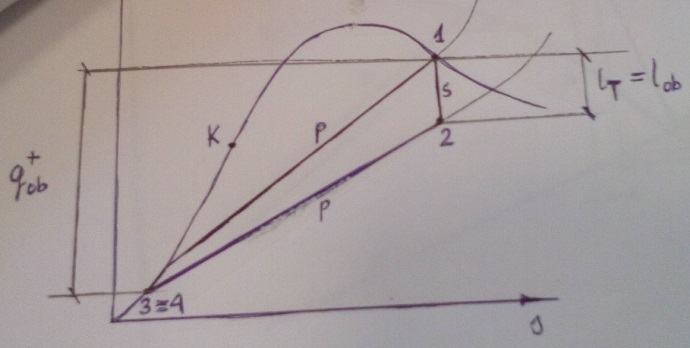
Proszę zwrócić uwagę , ze punkt 3 pokrywa się z puntem 4, co oznacza że .



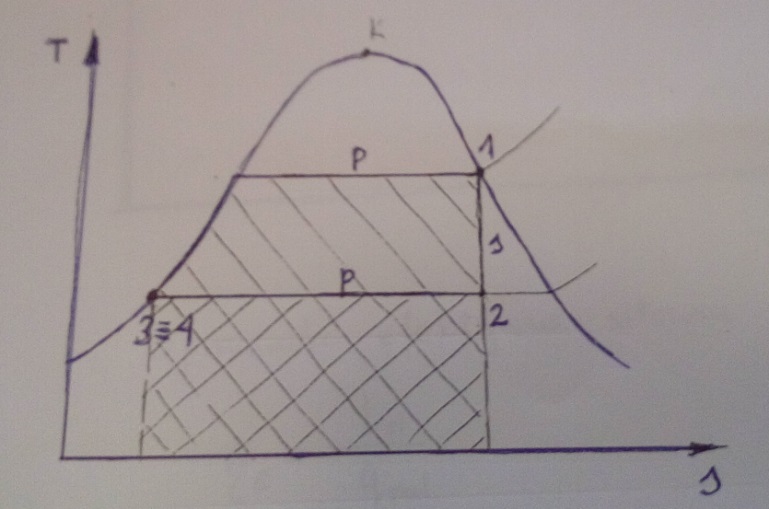
Rys.6 Uproszczony obieg C-R na wykresie T-s

Sprawność uproszczonego obiegu C-R wynosi:

Obieg mokry C-R na wykresie 7 i 8

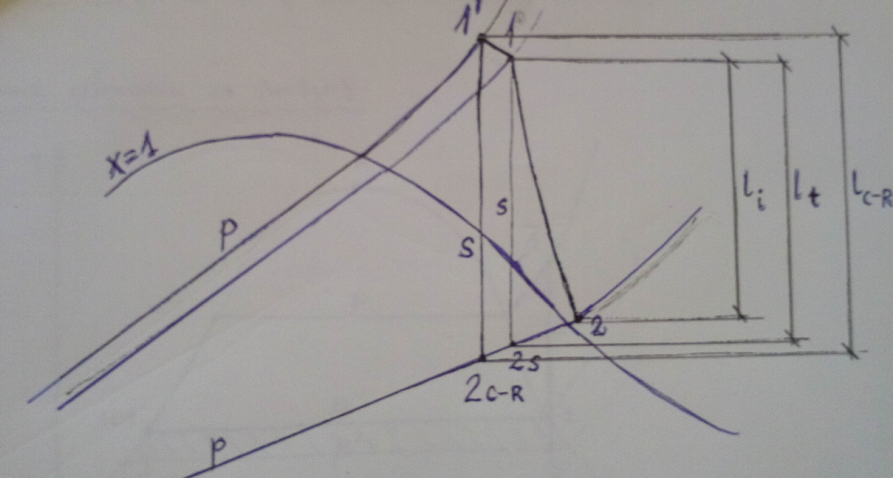


Rys.7 Obieg mokry C-R na i-s ( 1-2 jest w obszarze pary wilgotnej)

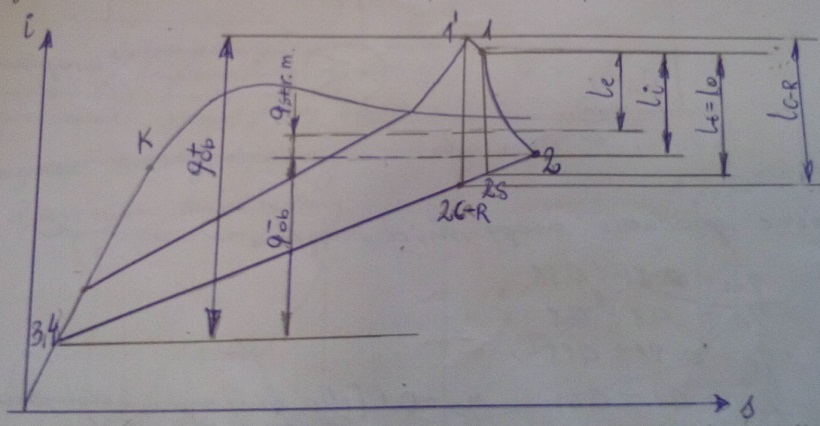


Rys.8 Obieg mokry C-R na T-s

Obieg siłowni rzeczywistej jest bardziej skomplikowany i zawiera w sobie straty entalpii pary w poszczególnych miejscach obiegu .



Rys.9 Rzeczywisty obieg C-R na wykresie i-s, uwzględniający straty na rurociągach oraz straty wynikłe z nieizentropowego przepływu pary w turbinie ( w turbinie realizowana jest rzeczywista przemiana adiabatyczna, z wydzieleniem pewnej ilości ciepła – porównaj przemiany 1-2s oraz 1-2)



Rys.10 Rzeczywisty obieg siłowni parowej na wykresie i-s

W rzeczywistej siłowni nie osiągnie się sprawności C-R , ponieważ podczas przepływu czynnika roboczego zachodzą przemiany nieodwracalne ( tarcie , niedoskonała izolacja , nieszczelności). Straty znajdują swoje odbicie w tzw. sprawnościach. Sprawność rzeczywistej elektrowni ( jest generator prądu elektrycznego) jest **iloczynem następujących sprawności ( patrz rys 10):**

W przypadku , gdy nie ma generatora prądu, czyli mamy do czynienia ze zwykła siłownią ( nie elektrociepłownią) -

**Sprawność rzeczywista (efektywna) siłowni** jest iloczynem wszystkich wymienionych sprawności za wyjątkiem sprawności generatora:

**Sprawność elektrowni** jest iloczynej sprawności efektywnej siłowni oraz sprawności generatora prądu

Oraz:

mechaniczna sprawność turbiny, - praca efektywna turbiny,

wewnętrzna (indykowana) sprawność turbiny, teoretyczna praca turbiny,

sprawność rurociągów,

sprawność obiegu C-R,

sprawność kotła

strumień masy paliwa pomnożony przez wartość opałową ( ciepło spalania dla kotłów kondensacyjnych),

Oraz: .

Zatem moc efektywna siłowni, jest to iloczyn strumienia czynnika roboczego w obiegu oraz jednostkowej pracy efektywnej

Natomiast przy załączonym generatorze, moc rzeczywista elektrowni wynosi

moc odbierana w generatorze prądu/ strumień czynnika roboczego pomnożony jednostkową praca prądu elektrycznego /

efektywna sprawność generatora, wartość bardzo wysoka bliska jedności ( czasami pomijana),

Literatura

[1] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Si%C5%82ownia_parowa>

[2] <https://sjp.pwn.pl/slowniki/si%C5%82ownia%20parowa.html>