

8. Energiaátalakítás

ORC és transzkritikus ORC hatásfok-számolás

Anyagok: propán (nedvesítő), hexán (szárító), CO₂ (nedvesítő, transzkritikushoz)

Egyszerű körfolyamatok, se túlhevítő, se rekuperatív hőcserélő nincs bennük, csak a legelemibb lépésekhez szükséges berendezések.

A hatásfokhoz a hasznos hő/ bevezetett hő arányra van szükség. Mivel a hőbevezetés és elvonás izobár, így a hő helyett entalpiákat használunk. A bevezetett hő a bevezetett entalpia lesz, a hasznos hő a bevezetett és elvont különbsége. Az általunk használt adatok és diagramok FAJLAGOS mennyiségek, (tömegre fajlagosított, tehát /kg), Így a hasznos fajlagos (kJ/kg) entalpiából a tömegárammal (kg/s) való szorzás után megkapjuk a maximálisan kinyerhető teljesítményt ($kW = kJ/s$).

A körfolyamat MINDEN lépése ideális, tehát a hőbevezetésnél-hőelvonásnál a nyomás állandó (a valóságban a hőcserélőben nyomáscsökkenés van, különben ne áramlana át rajta az anyag), az adiabatikus kompresszió és expanzió pedig izentróp (a valóságban mindenütt van egy kis entrópia-termelés).

A használt online eszközök:

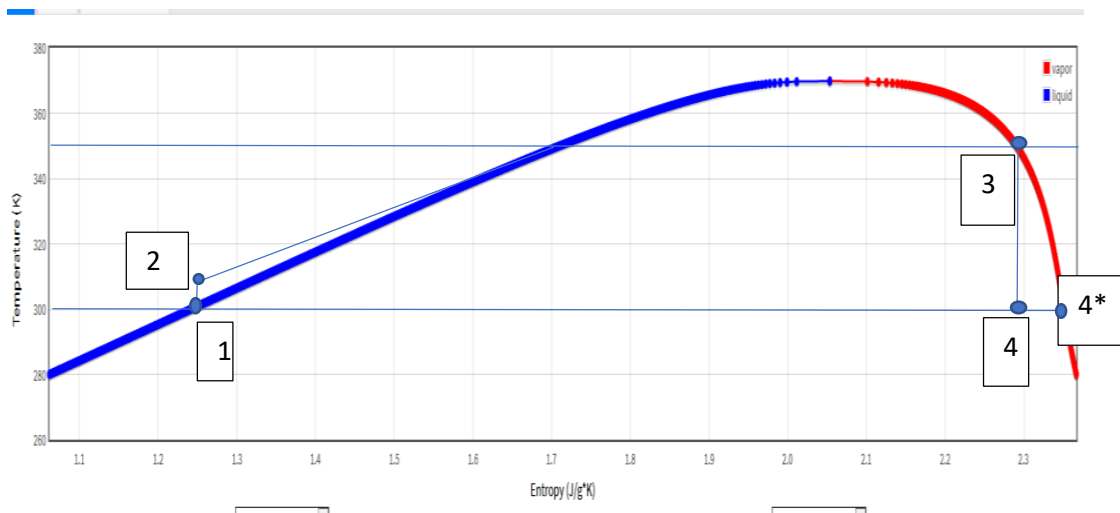
NIST Webbook

<https://webbook.nist.gov/>

Thermo-C

<http://thermoc.uni-koeln.de/>

Propán



A Ts diagram valós, az ORC lépések sematikusak.

1. lépés: A körfolyamat max és min hőmérsékletének meghatározása; ez legyen kb. 5 fokkal a hőforrás hőmérséklete alatt és 5 fokkal a hidegoldal hőmérséklete felett; kell ennyi különbség a hőcserélők miatt. Tehát ha a hőforrásom 90 Celsiusos termálvíz és a külső, 20 fokos levegőt használom a hűtésre, akkor $T_{max}=85\text{ C}$, $T_{min}=25\text{ C}$ lenne. A fenti esetben $T_{max}=350\text{ K}$, $T_{min}=300\text{ K}$.
2. Töltse le a Ts adatokat, szerkessze meg a Ts diagrammot és rajzolja be a T_{min} T_{max} vonalakat. Ezek kimetszik az 1,3 és 4* pontokat. A Ts adattáblából gyűjtse ki ezen pontok T, p, h és s adatait. $p_1=p_4=p_4^*$, $T_1=T_4=T_4^*$, $s_1=s_2$, $s_3=s_4$. Ne feledje, külön vannak a folyadékdoldali és gőzdoldali adatok! Az 1. pont a folyadékdoldali görbén van, a 3. és 4* pontok a gőzdoldalin.
3. A hatásfokhoz és teljesítményhez az entalpiák kellenek, mégpedig h_1 , h_2 , h_3 és h_4 . Ebből jelenleg kettő van meg, h_1 és h_3 .
4. h_4 kiszámolásához előbb meg kell határozni, hol van a 4. pont. A 4. pont hőmérséklete és nyomása már tudott (az 1. és 4* pontokéval megegyező). A 4. pont a kétfázisú mezőben helyezkedik el. A gőztartalmát (x) a mérlegszabállyal a három ismert entrópiából (s_1 , s_4 , s_4^*) számoljuk ki. A folyadéktartalom $1-x$.
5. $x \cdot s(4^*) + (1-x) \cdot s(1) = s(4) \rightarrow x$ (gőztartalom); $x \cdot 2,3507 + (1-x) \cdot 1,2426 = 2,2904$; $1,1081x = 1.0478$; $x = 0.9456$
6. A gőztartalmat ismerve a két ismert entalpia segítségével kiszámoljuk h_4^* értékét.
7. $h(4) = x \cdot h(4^*) + (1-x) \cdot h(1)$; $h(4) = 0.9456 \cdot 603,06 + (1-0,9456) \cdot 270.57 = 570.24 + 14,72 = 584,96$
8. Így már ismerjük 1,3,4 entalpiákat
9. A 2. pontról két dolgot tudunk, az entrópiáját (1. pontéval megegyező) és a nyomását (3. pontéval megegyező). A NIST programmal lépünk vissza néhányat, számoljuk ki a megfelelő izobárt és keressük meg az adatok között, hol van az a pont, ahol az entrópia az 1. pont entrópiájával megegyező. Ez lesz a 2. pont, jegyezzük fel a hőmérsékletét és entalpiáját.
10. Megvan az összes entalpia, számoljunk!

pont	T (K)	p (Mpa)	s (J/gK)	h (kJ/kg)
1	300	0.999	270.57	1.2426
2	301.4	2.97	274.26	1.2426
3	350	2.97	630.42	2.2904
4	300	0.999	584.96	2.2904
4*	300	0.999	603.06	2.3507

$$h_2=274,26$$

$$h_1=270,57$$

$$h_3=630,42$$

$$h_4=584,96$$

$$h(\text{be})=h_3-h_2=630,42-274,26=356,16$$

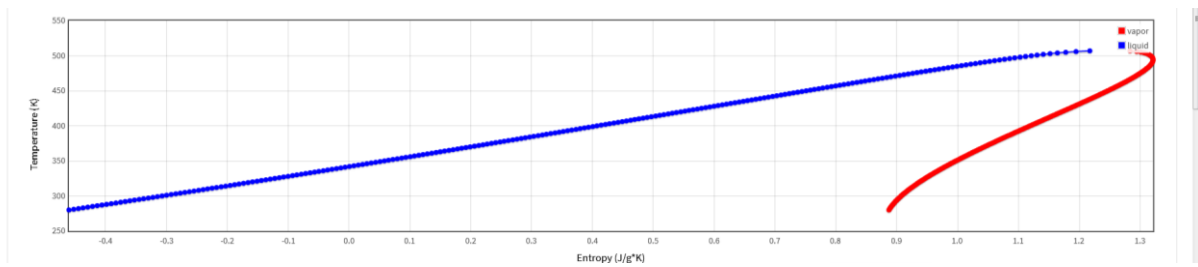
$$h(\text{el})=h(4)-h(1)=584,96-270,57=314,39$$

$$h(\text{hasznos})=h(\text{be})-h(\text{el})=41,77$$

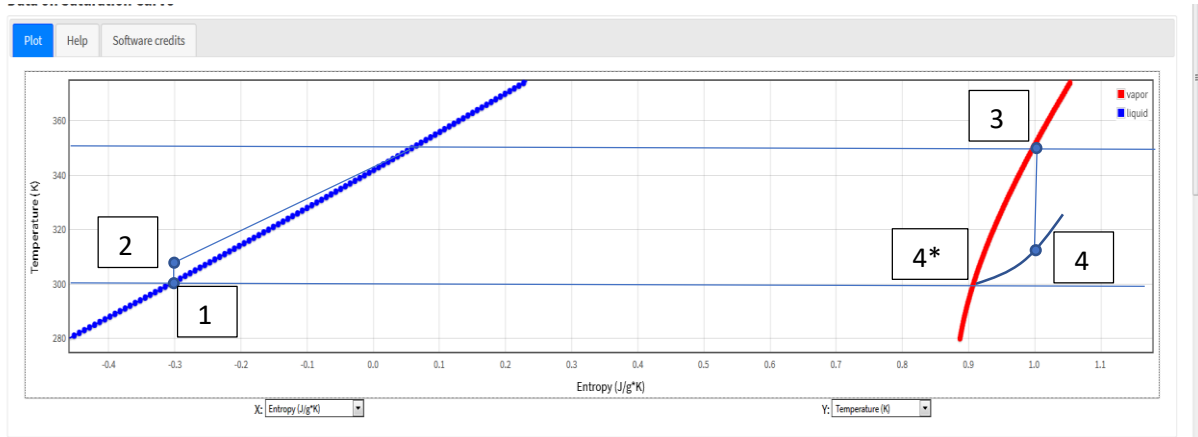
$$\eta=41,77/356,16=11,72\%$$

$$\eta(\text{Carnot})=1-(T_{\text{min}}/T_{\text{max}})=1-(300/350)=14,3\%$$

Hexán, ORC



Belenagyítva:



A Ts diagram valós, az ORC lépések sematikusak.

1. $T_{max}=350K$, $T_{min}=300 K$.
2. Töltse le a Ts adatokat, szerkessze meg a Ts diagrammot és rajzolja be a T_{min} T_{max} vonalakat. Ezek kimetszik az 1,3 és 4* pontokat. A Ts adattáblából gyűjtse ki ezen pontok T , p , h és s adatait. $p_1=p_4=p_{4^*}$, $T_1=T_4=T_{4^*}$, $s_1=s_2$, $s_3=s_4$.
3. A 2. pont adatait az előzőhöz (propán) hasonlóan állapítsa meg.
4. Ezzel h_1 , h_2 és h_3 a rendelkezésére áll, már csak h_4 kell.
5. A 4. pont nyomása megegyezik a 4* pont nyomásával, entrópiája a 3. pont entrópiájával. A NIST Webbookban számolja ki egy T_{min} -ről induló és $p_1=p_{4^*}$ nyomáson futó izobár adatait; keresse meg azt a pontot, ahol az entrópia megegyezik s_3 -mal. Ez lesz a 4. pont, jegyezze fel ennek adatait.
6. Immár mind a négy entalpiát tudjuk, hatásfokot és teljesítményt az előzőhöz hasonlóan számolhatunk.

Ha T_4 több, mint 5 fokkal nagyobb, mint T_1 , akkor érdemes lehet a már expandált, 4-4* közti gőzt a már komprimált (2 feletti) folyadék előmelegítésére használni. Erre használják a rekuperátort/regenerátort (a különbség az, hogy fizikailag is keverednek, vagy csak hőcserélőn keresztül érintkeznek). Mi itt ezt nem tesszük!

Ha nagyon kicsik a nyomásértékek, akkor használjanak nagyobb pontosságot, mert alacsony nyomásokon a szaturációs görbe nagyon lapos, kis nyomáshiba nagy hőmérséklet hibát okozhat!

pont	T (K)	p (Mpa)	s (J/gK)	h (kJ/kg)
1	300	0.021865	-0.3070	-98.6
2	300.3	0.13	-0.3070	-98.43
3	350	0.13	0.997	348.84
4	316.14	0.021865	0.997	293.33
4*	300	0.021865		

Ne ijedjenek meg a negatív entalpia és entrópia értékektől, ezek NEM abszolút értékek, hanem valamihez viszonyított értékek. Mivel nekünk úgylis csak a különbségeik kellenek, ez nem gond.

$$h(\text{be}) = h_3 - h_2 = 348.84 - (-98.43) = 447.27$$

$$h(\text{el}) = h(4) - h(1) = 293.33 - (-98.6) = 391.93$$

$$h(\text{hasznos}) = h(\text{be}) - h(\text{el}) = 55.34$$

$$\eta = 55.34 / 447.27 = 12.37\%$$

$$\eta(\text{Carnot}) = 1 - (T_{\text{min}} / T_{\text{max}}) = 1 - (300 / 350) = 14,3\%$$

Azaz itt kicsit jobban megközelítettük a fizikailag is elérhető maximumot, a Carnot hatásfokot.

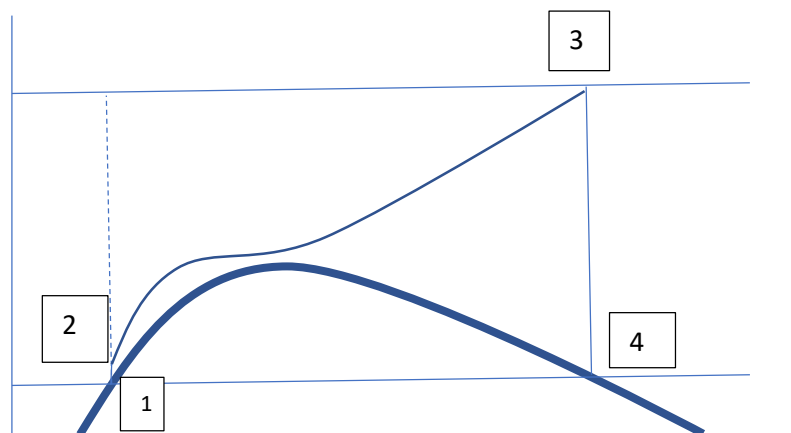
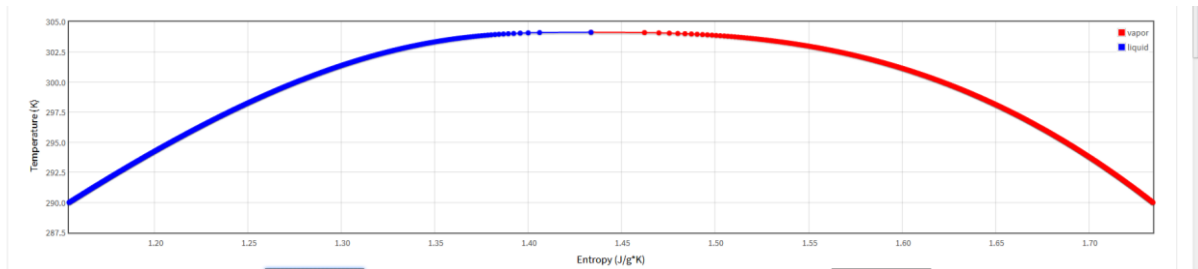
Mondhatjuk, hogy az adott hőmérsékletek között a hexán jobb munkaközeg a propánnál (kivéve, ha valamit elszámoltam ☺).

CO₂, transzkritikus „ORC”

A CO₂ nem szerves, így az O az ORC-ben nem is jogos, de általában mindent, ami NEM vizes közegű Rankine, ORC-nek neveznek.

transzkritikus:

- hőelvonás kritikus hőmérséklet alatt
- hőbevitel kritikus hőmérséklet felett



A felső Ts diagram valós, az alsó és az ORC lépések sematikusak.

1. $T_{\max}=350\text{K}$, $T_{\min}=300\text{K}$.
2. Töltse le a Ts adatokat, szerkessze meg a Ts diagrammot és rajzolja be a $T_{\min}$ $T_{\max}$ vonalakat. Ezek kimetszik az 1 és 4 pontokat. A Ts adattáblából gyűjtse ki ezen pontok T,p,h és s adatait. $p_1=p_4$, $T_1=T_4$, $s_1=s_2$, $s_3=s_4$.
3. A 3. pont hőmérséklete 350 K, entrópiája megegyezik a 4. pont entrópiájával. A NIST Webbookban számoljon ki egy 350 K-es izotermát, keresse meg azt a pontot, ahol az entrópiája megegyezik s_4 -gyel; ez lesz a 3. pont. Jegyezze fel az adatait.
4. A 2. pont adatait az előzőekhez (propán, hexán) hasonlóan állapítsa meg.
5. Ezzel h_1 , h_2 és h_4 a rendelkezésére áll, már csak h_3 kell.
6. Immár mind a négy entalpiát tudjuk, hatásfokot és teljesítményt az előzőhöz hasonlóan számolhatunk.

pont	T (K)	p (Mpa)	s (J/gK)	h (kJ/kg)
------	-------	---------	----------	-----------

1	300	6.714	1.27599	283.415
2	315.8	14.5	1.27599	294.197
3	350	14.5	1.6214	409
4	300	6.714	1.6214	387.046

$$h(\text{be})=h_3-h_2=409-294.2=114.8$$

$$h(\text{el})=h(4)-h(1)=387.05-283.42= 103.6$$

$$h(\text{hasznos})=h(\text{be})-h(\text{el})=11.2$$

$$\eta=11.2/114.8=9.8\%$$

$$\eta(\text{Carnot})=1-(T_{\text{min}}/T_{\text{max}})=1-(300/350)=14,3\%$$

Azaz itt kevésbé közelítettük meg a fizikailag is elérhető maximumot, a Carnot hatásfokot. Mondhatjuk, hogy az adott hőmérsékletek között a CO₂ rosszabb munkaközeg a propánnál és hexánnál (kivéve, ha valamit elszámoltam☹). DE!!!! emlékezzenek arra, hogy normál ORC-nél a hőbevezetésnél használt egy hőcserélő valójában kettő (egyikben a kis térfogatú, de viszkózus folyadékot melegítem, másikban a forrás történik). Itt nincs forrás, tehát elég lesz ténylegesen ez egyszerűbb hőcserélő.