

# Eljárás hűtésre és környezeti hő hasznosítására (PCT/HU2025050020 kiajánlási dokumentáció )

## Bevezetés:

Az ideiglenes oltalom alatt álló PCT nemzetközi beadvány alapján készült jelenlegi leírás a nemzeti szakasz előkészítő irata. A leírás referencia sorszámot (Ref.x) kapott a könnyebb hivatkozhatóság érdekében.

A dokumentum négy fő részből áll:

- áttekintés (Ref.1)
- alapeljárás (Ref.14)
- alapgép (Ref.35)
- példák (Ref.46)

## I. Áttekintés

**1. A találmány tárgya** eljárás hűtésre és környezeti hő hasznosítására, amely egy erre a célra kialakított termodinamikai gépben megvalósítva akár kriogén hőmérsékleteken is képes gazdaságosan hűteni. Lényege, hogy a hűtés alatt magába szívott hőenergiát munkává alakítja. Az alapeljárás **úgy valósul meg, hogy a magasabb hőmérsékletű gőzt alacsonyabb hőmérsékletű folyadékká alakítja.** Az így kialakított hűtőeljárás, mint alapeljárás felhasználásával környezeti hőmérséklet alatt működő hagyományos erőművi eljárással képes a környezeti hő hasznosítására.

**2.** Jelenleg a társadalom energiaszükséglet túlnyomó többségét a hőerőgépekkel és belső égésű motorokkal hozzák létre. Ezek használata sok káros és drága energiahordozó -szén, gáz, benzin stb.- felhasználásával történik. **Jelen tanulmány másik célja, hogy a sok hulladék és környezeti hőenergiát –a továbbiakban környezeti hőt- hasznosítani lehessen,** ezáltal tiszta, olcsó mechanikai és villamos energiához jussunk.

A jelenleg ismert hűtési eljárásoknál, minél mélyebb hűtést akarunk elérni annál gazdaságtalanabb. Az itt bemutatásra kerülő hűtési eljárás a környezeti hőmérséklettől független, ezért akár kriogén hőmérsékleten is képes gazdaságosan működni.

### **3. Alapeljárás (W3), hűtés(Co), cseppfolyósítás (Lf) (Ref.14)**

A technika állására figyelemmel célul tűztük ki olyan eljárás kidolgozását hűtésre, amely során a hűtésnél magába szívott hőenergiát a folyadék-halmazállapotú munkaközeg párolgási hőenergia igénye veszi fel. **A magába szívott hőenergiát pedig munkává alakítja.** A rajzokon az alapeljárás körfolyamata W3- mal van jelölve.

### **4. Felismerés, cseppfolyósítás**

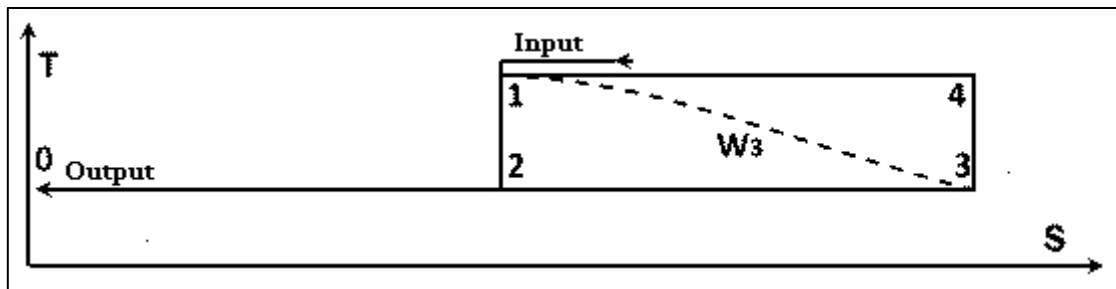
A legnagyobb hűtőhatást a folyékony munkaközeg forrása, vagy más néven a párolgáshő tudja kifejteni. Az alábbi ábrán a következők figyelhetők meg:

A nagy hőmérsékletű, nagy nyomású gáz expandál és ezáltal elveszti hőmérsékletét és nyomását, az 1 pontból 2 pontba kerül. A folyamat alatt a munkaközeg egy része 0 pontba kerül, lecsapódik, a maradék gőz 3 halmazállapotba hűl és tágul. A folyamat végére a

folyadék energiája annyival lesz kisebb, mint a gőz energiája nagyobb, de összességében a keletkezett munkával kisebb lesz. Az alacsony energiaszintű folyadék egyik feladata, hogy hűtőhatást biztosítson a gőz visszakomprimálásához.

A gőz 3 pontból adiabatikus kompresszióval 4 pontba kerül.

Ha az előre meghatározott mennyiségű folyadékot és a magasabb hőmérsékletre komprimált gőzt egy keverő hengerbe betöltjük, akkor **instabil állapot keletkezik**. A folyadék elkezd párologni és forráshőjével azonos hőt von el a gőztől. Az elpárolgott folyadék keveredik a gőzzel, ezáltal a gőz tömege és sűrűsége növekszik, de a folyadék elsősorban hűti a gőz halmazállapotú munkaközegét.



**5. Felismertük, hogy ha a hőmérsékletesést komprimálással megakadályozzuk, a munkaközeg két okból is sűrűsödni kezd:**

- egyrészt a komprimálás miatt a térfogat csökken,
- másrészt a csökkenő térfogatban a gőz tömege növekszik.

Ezzel egy olyan állapotváltozás jön létre, amely a gőz munkaközegét visszaállítja az eredeti 1 pont állapotba. Az **eljárásnál nincs szükség az összes folyadék bekeverésére. A maradék folyadék szabadon hasznosítható.** (Reprodukálható számítás Ref.14)

**6. Környezeti hő hasznosítás, alapgép (Ref.35)**

Mivel a hőenergia a melegebbtől a hidegebb hely felé áramlik, a hőerőgépnek a környezeti hő alatti hőmérsékleten kell az eljárást végrehajtania. A hagyományos hőerőművi eljárás során a munkaközegét kazánban hevítik fel szárazgőzzé, a fáradt gőzt pedig környezeti hővel hűtik folyékony halmazállapotra.

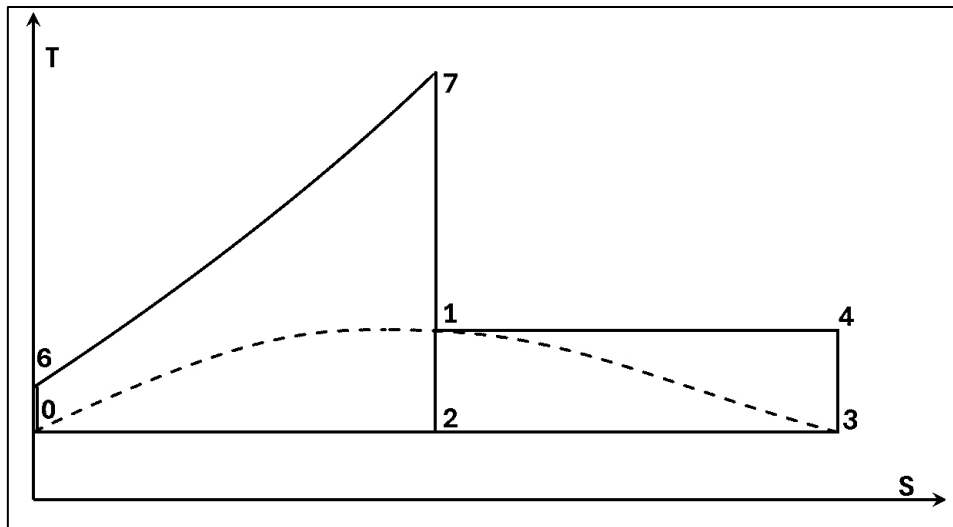
7. Ez a folyamat környezeti hő alatt működő hőerőgép esetén úgy alakul, hogy a **kazán helyett hőcserélő végzi a szárazgőzzé hevítést. A fáradt gőzének hűtése pedig az itt ismertetésre kerülő, gazdaságos hűtővel van megoldva.**

**8. Hűtőerőforrás**

A találmány szerinti, hűtésre és környezeti hő hasznosítására szolgáló eljárás a megtermelt munka egy részét elfogyasztja, de a maradék hasznos energiaként felhasználható. **Ez a közvetlen Co/Pp (Ref.35) vagy CoPp (Ref.47) hűtőerőforrás.**

Mint az a korábbi leírásból ismeretes az alapeljárás hűtője magasabb hőmérsékletű gőzből hűtött folyadékot állít elő.

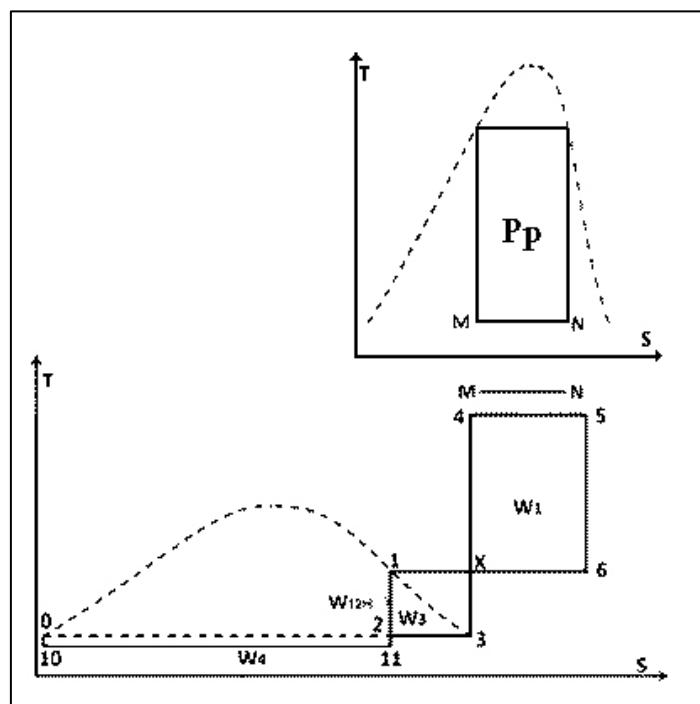
**9. A Co/Pp hűtőerőforrás a maradék, hasznos folyadékot közvetlenül használja fel,** mint az erőművi eljárás induló állapotú folyadéka. A Pp a folyadékot egy általánosan elfogadott erőművi eljárással hajtja végre: komprimálás, izobár fűtés, expandálás. Fontos, hogy az eljárás végén az eredeti gőz 1 pont állapotba jusson vissza, ezáltal visszapótolva a felhasznált gőzt.



10. A **CoPp**-nél szintén az eredeti 1 pont állapotot éri el a munkaközeg, de a gőzt használja erőforrásnak és a kevesebb folyadék csak a kompresszióval egybekötött keveredésnél van felhasználva. Az alapeljárás hűtője és az **erőforrás összetett műveletei nem különíthetők el** ezért integrált eljárásnak mondható. Részletes magyarázat (Ref.47)

### 11. Hűtőerőforrás soros kapcsolása (Ref.49), (Ref.50)

A hűtési eljárásnak másik fő célja a környezeti hő hasznosításának megvalósítása oly módon, hogy a hűtő vagy hűtőerőforrás a **Pp hagyományos erőművi eljárást környezeti hő alatti hőmérsékleten teszi működőképpé** azáltal, hogy a fáradtgőz munkaközéget visszahűti folyadék halmazállapotúra. A környezeti hőmérséklet alatti erőmű előnye, hogy hagyományos kazán helyett a munkaközeg nagynyomású telített gőzzé alakítását, hőcserélő végzi, amely a környezeti hóból kapja az energiát. Ez a környezeti hő hasznosítására alkalmas eljárás másik változata. Az itt tárgyalt hűtő vagy hűtőerőforrás, mint alapgép alkalmazásával, a **Pp** környezeti hő hasznosítása **az eddig ismert technikai megoldásokkal is megvalósítható**.



## 12. Termodinamika II. főtétele

A beadvány a klasszikus termodinamika II. törvény formalizmusára épül, különös tekintettel az alábbi relációkra:  $\Delta S \geq \int \delta Q/T$ ,  $\delta Q_{rev} = T dS$  és a **T-s diagram területértelmezésére**, amely a reverzibilis közelítésben alkalmazott standard módszer. A számítások ezen összefüggések mentén, reprodukálható módon kerülnek bemutatásra.

13. A továbbiakban a leírásban a következő **kifejezéseket és jelöléseket használjuk**:

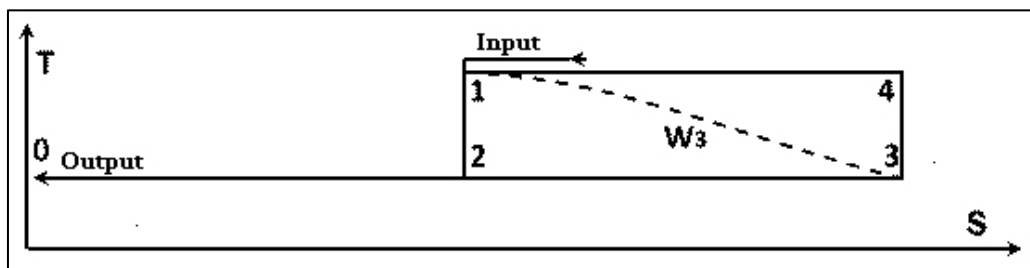
- alapeljárás, jele **W3**;
- alapgép: egy alapeljárás és az általa létrehozott folyadék hasznosítását végrehajtó különféle eljárásokat megvalósító gépek. Jele: **Lf, Co, Co/Pp**,
- A. példa: integrált alapgép, jele **CoPp**.
- B. példa: Alapgép és erőművi eljárás, jele **CoPp+Pp**
- C. példa: Alapgép és erőművi eljárások, jele **Co/Pp+2\*Pp**

A rajzokon és a diagramokon azonos állapotok **1, 2 stb. pontokkal vannak jelölve**.

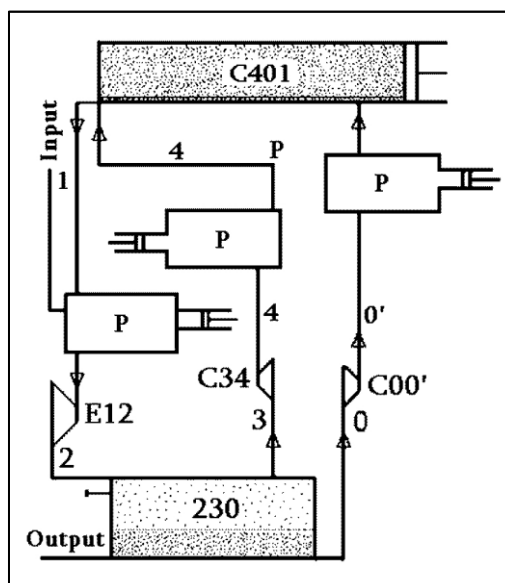
A Sematikus ábrákon szereplő gépegységek **C kompressziós E expanziós gépet jelöl** és a számozása a bemeneti és kimeneti pontokkal vannak jelölve. (pl: C1-2)

## II. Az alapeljárás W3

14. Az alábbi ábrán 1-2-3-4-1 pontokkal bemutatott körfolyamat a W3 alap eljárás.



Az 1-2 (E12) expanzió ahhoz szükséges, hogy a munkaközeget folyadékra és telített gőz halmazállapotra bontjuk és itt megy végbe a hő munkává alakítása. Az 1-2 folyamat alatt a munkaközeg végighalad az 1-0, és 1-3 telítettségi görbén és (230) 0 folyadékra, valamint telített 3 gőzre bomlik.



A (C34) kompresszióval növeljük a 3 gőz hőmérsékletét a meghatározott 4 hőmérsékletig, és a már kiszámított tömegű 0' folyadékot is (C00') bekompimáljuk a keverőhengerbe.

A 0' folyadék és 4 gőz munkaközeget 4-1(401) keveredéssel egybekötött kompresszióknak vetjük alá. Az eljárási lépésnél a megfelelő mennyiségű 0 folyadék, valamint a 4 gőz C401 munkahengerbe töltésével és a dugattyú előtolásával a 4 gőz hőmérsékletese megakadályozható és a gőz sűrűsödik. A magasabb hőmérsékletű 4 gőz és az alacsonyabb hőmérsékletű 0 folyadék instabil állapotot hoznak létre, amelynél a 4 telített gőz hülne, a 0 folyadék pedig párologna. Ha akkora kompressziót végzünk a dugattyúval, hogy a hőmérséklet állandó maradjon, tehát fenntartjuk az instabil állapotot a párolgási folyamat alatt, akkor a keverék elérheti az 1 pontot. Jól beállított 0 folyadék és 4 gőz tömegarány esetén az összes betöltött folyadék elpárolog, ezáltal homogén, stabil 1. állapotú gőz keletkezik. Fontos megjegyezni, hogy az itt említett folyamathoz nincs szükség a teljes 0 folyadék mennyiségre.

Fontos megjegyezni, hogy a W3 alapeljárás mindegyik alapgépben megtalálható.

### 15.A kompresszióval egybekötött keveredés fizikája

Az eljárás lényege, hogy a keveredésnél kialakult hővesztéséget ki kell kompenzálni kompresszióval, ezáltal:

- az izoterm állapotváltozás biztosított, az instabil állapot fennmarad,
- a hengerben a tömeg növekszik, a nyomás emelkedik,
- a térfogata csökken, tehát többlet nyomásemelkedést sűrűsödést eredményez,
- a sűrűség növekedése izoterm folyamat alatt **entrópia csökkenést jelent.**

Ahhoz, hogy az 1 pont elérésénél **a munkaközeg stabil homogén állapotba kerüljön pontosan meg kell állapítani a gőz-folyadék arányát.** A számításnak több módja is van. Jelen esetben a **tömegegyezési módszer** kerül ismertetésre.

**16.** Ez a leírás egy **termodinamikai körfolyamat tervezésének és értelmezésének lépéseit** mutatja be.

A **leírás célja** nem egy konkrét berendezés megvalósíthatóságának vagy teljesítményének igazolása, hanem annak bemutatása, hogy a leírt **eljárás elvi szinten megvalósítható**, valamint, hogy az **alkalmazott körfolyamat belső termodinamikai konzisztenciája független szakértők által vizsgálható legyen.**

### 17. Jellemző állapotok meghatározása

**1 pont meghatározása:** az egyszerűség céljából a telítettségi görbe egyik pontjára került. Gyakorlatban természetesen ezt kerülni kell, mert kialakulhat nedves gőz. Az entrópia beállításánál főszempont volt, hogy a 2 pont elérésekor a gőz két egyenlő részre (gőz, folyadék) váljon, ezáltal 1 kg folyadék és 1 kg gőz alakul ki. Hogy az 1-1 kg kialakuljon az 1 pontban 2 kg munkaközeget kellett meghatározni. Ez azért fontos mert a gőz tömege a 3 pontban 1 kg tehát a telítettségi görbe is 1 kg értékű, ami a további számításokat megkönnyíti. A NIST táblázatokban szereplő adatokat 1/1 arányban lehet alkalmazni.

#### 1 pont termodinamikai tulajdonságai:

T1 (K)	P1 (MPa)	D1 (kg/m <sup>3</sup> )	V1 (m <sup>3</sup> /kg)	U1 (kJ/kg)	H1 (kJ/kg)	S 1(J/g*K)
32,799	1,2598	24,738	0,0404	289,08	340,01	11,004

**2 pont tulajdonságai:** valójában egy elméleti érték, mert két összetevője, 0 pont folyadék és 3 pont gőz önálló tulajdonságú. Számítási szempontból van rá szükség. Ezért önálló értékei vannak

T2	p2	d2	% 2	u2	h2	s2
20,271	0,1013	2,627	0,5%	184,5	223,06	11,004

**0 pont tulajdonságai:** tiszta folyadék. Az eljárás során a folyadék elválasztásra kerül a gőztől. Későbbiekben két részletben kerül felhasználásra.

T0	p0	d0	v0	u0	h0	s0
20,271	0,1013	70,828	0,0141	-1,433	0,00	0

**3 pont tulajdonságai:** tiszta gőz. A folyadéktól elválasztva további műveletben (3-4, 4-1) vesz részt.

T3	p3	d3	v3	u3	h3	s3
20,271	0,1013	1,339	0,7471	370,37	446,06	22,005

**4 pont tulajdonságai:**

T4	p4	d4	v4	u4	h4	s4
32,799	0,3329	2,710	0,3690	438,89	561,73	22,005

## 18. Állapotváltozások

**1-2 pont adiabatikus expanzió:** a két pont között a munkaközeg entalpiájának csökkenése mechanikai munkavégzés formájában jelenik meg ( $w_{12} = h_1 - h_2$ ).

(A perpi.hu weboldalon egy sematikus ábrán zárt rendszerű szemléltetést alkalmaztam a könnyebb érthetőség érdekében.) Ebben a szakaszban a hűtési folyamat során a munkaközegbe felvett hőenergia mechanikai munkavégzés formájában jelenik meg.

A munkaközeg 0 pont folyadékra és 3 pont gőzre válik. Felhasználása külön-külön történik.

**3-4 pont adiabatikus kompresszió:** feladata a munkaközeg magasabb hőmérsékletre emelése. Praktikusán az 1 pont hőmérsékletre érdemes emelni a munkaközeg hőmérsékletét. Lényege, hogy a későbbi keveréssel egybekötött kompresszió alatt instabil állapotot biztosítson. Közben nyomása is megemelkedik, ezáltal közelít az elérendő 1 pont nyomásához. Képlete: ( $w_{34} = h_4 - h_3$ )

## 19. 4-1 pont keveredéssel egybekötött izotermikus kompresszió

A 4-1 pont szakasz feladata a 4 pont állapotú gőz **visszajuttatása az eredeti 1 pont állapotba**. A folyamat keveredéssel egybekötött, izotermikus kompresszióként értelmezhető.

A gyakorlatban ez úgy szemléltethető, hogy a 4 pont állapotú gőzhöz, **0 pont állapotú folyadék befecskendezésével instabil állapotot hozunk létre**. A keveredés során a gőzfázis hűlni, a folyadék párologni törekedne, de a folyamatos kompresszió azonban megakadályozza a hőmérséklet csökkenését.

Ennek eredményeként **a folyamat izoterm jellegű kompresszióként** zajlik le. A kompresszió hatására a gőz munkaközeg sűrűsége növekszik, entrópiája csökken, miközben a párologó folyadék következtében a gőzfázis tömege folyamatosan növekszik.

A növekvő gőztömeg a csökkenő térfogatú rendszerben további sűrűsödést és entrópiacsökkenést eredményez. Ez a **kettős hatás teszi lehetővé**, hogy a munkaközeg az alapállapotnak **megfelelő 1 pontba visszajusson**, és a körfolyamat záródjon.

A folyamat végrehajtásához **nem szükséges az összes 0 pont állapotú folyadék felhasználása**. A fennmaradó folyadékmennyiség a hűtési és munkavégzési folyamatok további lépéseiben hasznosítható.

Fontos követelmény, hogy a **maradék hasznos** folyadék felhasználásának módjától függetlenül a **0 pont munkaközegnek a ciklus végén 1 pont állapotba kell visszatérnie**, mivel ez a zárt termodinamikai körfolyamat megvalósíthatóságának alapfeltétele.

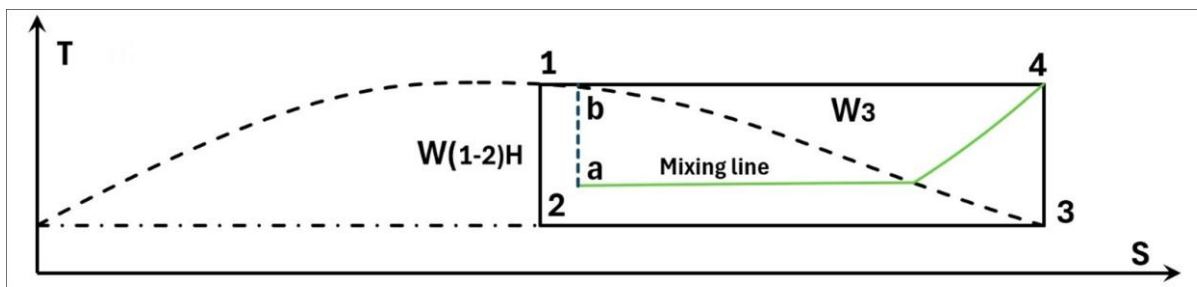
### Tömegarány számítás

**20.** A tömegarány-számítás célja annak meghatározása, hogy **mekkora mennyiségű 0 pont állapotú folyadékot kell a hengerbe befecskendezni**, annak érdekében, hogy az 1 pont állapot elérésekor a folyadék teljes mértékben elfogyjon, és **stabil termodinamikai állapot alakuljon ki**. A számításhoz két ismert folyamat alkalmazási szabályait kell tisztázni.

#### keveredési görbe:

A keveredési folyamat megértéséhez első lépésben azt az esetet vizsgáljuk, amikor a **dugattyú nem mozdul el**, tehát a **henger térfogata állandó**. Ebben az állapotban a hengerben lévő gőz és a befecskendezett 0p állapotú folyadék keveredése zajlik le. A befecskendezett folyadék a keveredés során **gőzzé válik**, miközben a keletkező gőztömeg a teljes tömeghez viszonyítva **folyamatosan elfoglalja a tömegével arányos teret**. Ennek következtében az adott térfogatban a gőz **sűrűsége növekszik**, mivel egyre nagyobb tömegű gáz kerül ugyanabba a térfogatba.

Ezzel egyidejűleg a folyadék párolgása **hűti a gőz hőmérsékletét**, ami önmagában sűrűségcsökkenést eredményezne. A keveredési folyamat során azonban ez a két hatás **egyidejűleg van jelen**, és az állapotváltozás eredője a hőmérséklet-, sűrűség- és entrópiaváltozások kombinációjaként alakul ki.



A fenti T–s diagramon a **4-a az állandó térfogat mellett végbemenő keveredés következtében létrejövő állapotváltozást** szemlélteti. Ez a keveredési görbe írja le azt az átmenetet, amely mentén a gőz munkaközeg állapota a befecskendezett folyadék elpárolgott gőzmennyiségének függvényében változik. A teljes 1 kg folyadék bekeveredésének állapota az a pontban van.

**21.** **Fontos észrevenni**, hogy célt két okból sem sikerült elérni. A **hőmérséklete alacsonyabb, az entrópiája viszont nagyobb**, mint az 1 pont értéke. A cél elérése érdekében a keveredéssel egy időben **úgy kell komprimálni a munkaközeg**, hogy a hőmérséklet ne csökkenjen. Ennek **három kedvező hatása van**:

- a kompresszió miatt a hengertér csökken, a gőz sűrűsödik, entrópiája csökken,
- a megnövekedett tömegű gőz miatt még intenzívebben sűrűsödik, entrópiája csökken
- a hőmérséklet a kívánt értéken marad, az instabil állapot a teljes 1p állapotig biztosított.

Az ábrán látszik, hogy komprimálás nélkül is az entrópia csökkenésének több mint 90%-át sikerült elérni. Az ábrán látható, 4-a-b-4 pontok által határolt terület az a Q hőveszteség, amit a munkaközeg elszennved. Ha nem az összes rendelkezésre álló 1 kg folyadék kerül felhasználásra, akkor a hőveszteség kevesebb lesz és a komprimálásból is kevesebb elég.

A keveredési görbe meghatározása alapvető jelentőségű, mert **ez szolgál alapul a szükséges folyadék-gőz tömegarány kiszámításához**, valamint annak megállapításához, hogy a keveredési folyamat végén a munkaközeg **az 1 pont állapot stabil elérésére alkalmas-e**.

## 22. Tömegarány számítás elmélete (Egyszerűsített példa)

A tömegarány számítás elmélete azon alapul, hogy 1 kg gőz két állapotjelzője (jelen esetben density, és entropy) meghatározza az összes többi értéket. Alábbi példában a szemléltetés miatt 1 kg gőzt és 0,5 kg folyadék kerül felhasználásra.

Calculation procedure 1 Kg vapor+0.5 Kg liquid		Isochoric properties for Parahydrogen	
1. step	X=0,5 Kg	cylinder H4 V4 1kg	
$V_x=V_4 \cdot 1/(1+X)$	V4 0,3690	cylinder 1,5 kg Hx 1kg Vx	
$V_x=V_4 \cdot 1/1,5$	Vx 0,24599	vapor of liquid Hx=H4*2/3 Vx=V1*2/3	
$D_x=1/V_x$	Dx 4,06515	Dx=1/V2	
2. step		cylinder H1 V1 1kg	
$H_x=H_4 \cdot 1/(1+X)$	H4 561,73	Homogeneous steady state	
$H_x=H_4 \cdot 1/1,5$	Hx 374,487		
3. step			
Data collection	Dx 4,06515 Hx 374,487	T 24,030	p 0,267 d 0,267 v / % 0,7956 u 308,98 h 374,55 s 15,627

Position	T (K)	P (MPa)	D (kg/m <sup>3</sup> )	V (m <sup>3</sup> /kg)	U (kJ/kg)	H (kJ/kg)	S (J/g*°K)
4	32,799	0,3329	2,710	0,3690	438,89	561,73	22,005
1	24,030	0,267	0,267	0,7956	308,98	374,55	15,627

T (K)	P (MPa)	%	U (kJ/kg)	H (kJ/kg)	S (J/g*°K)	Phase
24,000	0,26478	0,79030	307,06	372,20	15,547	liquid and vapor
24,010	0,26538	0,79208	307,70	372,98	15,574	liquid and vapor
24,020	0,26597	0,79387	308,34	373,77	15,600	liquid and vapor
24,030	0,26657	0,79567	308,98	374,55	15,627	liquid and vapor
24,040	0,26717	0,79746	309,62	375,34	15,654	liquid and vapor
24,050	0,26777	0,79927	310,26	376,13	15,680	liquid and vapor
24,060	0,26837	0,80107	310,90	376,92	15,707	liquid and vapor
24,070	0,26897	0,80288	311,54	377,71	15,734	liquid and vapor
24,080	0,26957	0,80469	312,19	378,50	15,761	liquid and vapor

A fenti ábrán a 3 téglalap egy henger 3 állapotát mutatja. Az első a kiinduló 4 pont állapot. A második téglalap megegyezik a harmadik állapotával, tehát ugyanolyan színű és nyomású gőz, csak azért van kézzel jelölve, mert az a térfogat a folyadék gőzének térfogata. A kék melletti piros része azt illusztrálja, hogy a henger térfogat ugyan nem változott, de a folyadék gőze miatt az eredeti 1 kg gőz kisebb területre szorult. Ezért, sűrűsége növekedett, térfogata, entalpiája, entrópiája csökkent.

## 23. tömegarány számítás képletei

Az itt leírt számítás képleteit a táblázatban konkrét számokkal lehet ellenőrizni.

Ez alapján a következő számításokkal lehet a szükséges adatokhoz hozzáférni:

- $V_x=V_4 \cdot 1/(1+X)$ , ( X kg folyadék) képlettel megállapítjuk a térfogatot, majd  $D_x=1/V_x$  annak sűrűségét.
- $H_x=H_4 \cdot 1/(1+X)$  képlettel az entalpiáját, ugyanis a gőz energiájának egyharmadát átadja a folyadéknak.

Ezzel a számítással az eredeti 4 pont állapotú 1 kg gőz két új állapot értéke lett meghatározva, ami alapján a táblázatból kiolvasható a **többi állapot értéke**.

## 24. tömegarány számításának gyakorlati megvalósítása

Az alábbi linket megnyitva az **Isochoric properties for Parahydrogen** oldal megnyílik és a megfelelő rubrikákba a következő adatokat kell beírni:

- sensity: **Dx**
- a hőmérséklet mezőbe egy nagyobb tartományt érdemes elsősre beírni

- ki kell keresni a korábban meghatározott entalpiát  $H_x$
- ezt közelítő módszerrel addig érdemes finomítani, ameddig a kívánt pontosságot elértük.

A Weboldal elérhetősége

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

[https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?ID=B5000001&TUnit=K&PUnit=MPa&DUnit=kg%2Fm3&HUnit=k%2Fkg&WUnit=m%2Fs&VisUnit=uPa\\*s&STUnit=N%2Fm&Type=IsoChor&RefState=DEF&Action=Page](https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?ID=B5000001&TUnit=K&PUnit=MPa&DUnit=kg%2Fm3&HUnit=k%2Fkg&WUnit=m%2Fs&VisUnit=uPa*s&STUnit=N%2Fm&Type=IsoChor&RefState=DEF&Action=Page)

A kívánt mértékegységek beállítása után, jelen esetben: Kelvin, MPa,  $\text{kg/m}^3$ , kJ/kg, mértékegységet beállítva átléphetünk a következő weboldalra, ahol a fenti keresést elvégezhetjük.

The image shows two screenshots of the NIST Chemistry WebBook interface. The left screenshot displays the 'Thermophysical Properties of Fluid Systems' search page. It lists various properties available for selection, such as Density, Cp, Enthalpy, Internal energy, Viscosity, Joule-Thomson coefficient, Specific volume, Cv, Entropy, Speed of sound, Thermal conductivity, and Surface tension. Below the list, there are several steps for selecting the species of interest, units, and data type. The right screenshot shows the 'Isochoric properties for Parahydrogen' results page. It includes a description of the data provided and a form for entering search parameters: density (4.065 kg/m3), temperature range (T Low: 23, T High: 25 K), and increment (0.01 K). There is also a 'Press for Data' button.

A különféle folyadék tömegek kiválasztásával akár az egész keveredési görbe megrajzolható. Fontos észrevenni, hogy a bekevert **folyadék tömegének növelésével a keverék entrópiája csökken.**

## 25. telítettségi görbe

A telítettségi görbe viszont a folyadék elpárologtatása miatti gőztömeg növekedésével növekszik, mert az entrópia mértékegysége  $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ . (entrópia additív tulajdonsága miatt) Ezáltal az 1 pont entrópiája is növekszik. (1 pont  $11 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ , 1x  $16 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ) Tehát **a gőz tömegének növekedésével az 1 pont entrópiája növekszik, 1x pont értéket vesz fel.**

## 26. tömeg megállapítás

A két ellentétes irányú entrópia egymással szembe halad a bekevert folyadék tömegének növekedésével. Ahol **a két függvény entrópiája megegyezik** ott van a folyadék tömegaránya.



folyadékot kell 1 pont állapotba hozni. Első esetben **cseppfolyósítás** történik, másik esetben **hűtés**.

## Munkaigény

**29. Cseppfolyósítás munkaigénye 3 részből tevődik össze : W<sub>3</sub> (1 kg), W<sub>(1-2)</sub> (0,46 kg), W<sub>Lf</sub> (0,54 kg) (Ref.13) . Összesen 2 kg induló munkaközeggel számolva. Mivel a hivatalos fajlagos munkaigényt 1 kg induló munkaközeggel szokták megadni ezért fajlagos munka néven is minden lépésnél megadjuk.**

**30.** W<sub>3</sub> a bemutatott T-s diagramokon (ami a szabadalmi beadványban jellemző ábra) a könnyebb érthetőség miatt lett téglalap alakú, mert a munka megállapítása ( $W = Q = \oint T ds$ ) egyszerű szorzással megállapítható. Jelen körfolyamat esetén a  $Q=W=\Delta T*\Delta S$ .

Az alábbi táblázatban (Ref.40) a W<sub>3</sub> munkaigénye a következő számításokkal állapítható meg:

### 30. W<sub>3</sub> munkája

- 1-2p adiabata 2 kg, de ebből csak 1 kg-ot veszünk figyelembe akkor 1 kg
- 2-3p egyértelműen 1 kg, mert a másik 1 kg folyadék irányába megy 1 kg
- 3-4p egyértelműen 1 kg 1 kg
- 4-1p tömege viszont 1-1,46 kg között folyamatosan változik, de mivel az izoterm vonalon halad végig a p\*V hiperbola alakja változatlan, tehát munka szempontjából 1 kg-nak vehető. Annyi pontatlanság lehet benne, hogy a 1p állapotot előbb éri el, mert a dugattyú térben nagyobb a tömeg.  
Ez felveti a kérdést zárt vagy nyitott rendszerű lesz-e a gép? A folyadékterfogatával nagyobb lesz a hengertér, mert a gőzzel együtt betöltésre kerül?  
A befecskendezésnél egyből bekerül a tejes folyadék, vagy folyamatosan, változó nyomáson? Ezek már gyártmányfejlesztési problémák. Így a 4-1p tömege a munka becslés szempontjából 1 kg

Ha a (1-2-3-4) pont terület minden oldala 1 kg akkor a munkaigény a következőképpen alakul.  
 $W_3=(T_1-T_2)*(S_3-S_2)$ ,  $W_3=(32,799-20,271)*(22,005-11,004)=137.8205$ ,  $W_3=137,82$  kJ/1 Kg.  
 Ezt az összeget 2 kg induló munkaközeggel értük el. Ezért az **fajlagos munkaigénye kerekítve 69 KJ/1 kg**

### 32. W<sub>(1-2)</sub> (0,46 kg), bekevert folyadék munkája

A keveredéssel egybekötött kompresszió végén, az **1 pont állapotba 1,46 kg gőz érkezik**. Mivel a körfolyamatnál 1-2p szakaszban csak 1 kg munkaközeget vettünk figyelembe, hogy a körfolyamat minden oldala 1 kg legyen, az 1p pontban még 0,46 kg gőz nincs elszámolva.  $W_{h(1-2)} = 53,80$  kJ/0,46 kg (Ref.13) hasznos munkát végez. Ezért a **fajlagos megtermelt munkája 27 kJ/1 kg**.

A két lépés együttes hatása  $W_3=137,82$  kJ/1 kg munkaigény, mínusz  $W_{h(1-2)} = 53,80$  kJ/0,46 kg hasznos munka. összesen 84 kJ/2 kg munkaigényt eredményez. Ezért a **fajlagos munkaigénye 42 kJ/1 kg**.

### 33. W<sub>Lf</sub> (0,54 kg), pótlót munkaközeg munkája

Cseppfolyósítás esetén a pótolt 1 pont állapotú gőz 0,54 kg nincs elszámolva, ezért  $W_{Lf(1-2)} = 63,15 \text{ kJ}/0,54 \text{ kg}$  hasznos munkát végez. Ezért a **fajlagos megtermelt munkája 31,6 kJ/1 kg**.

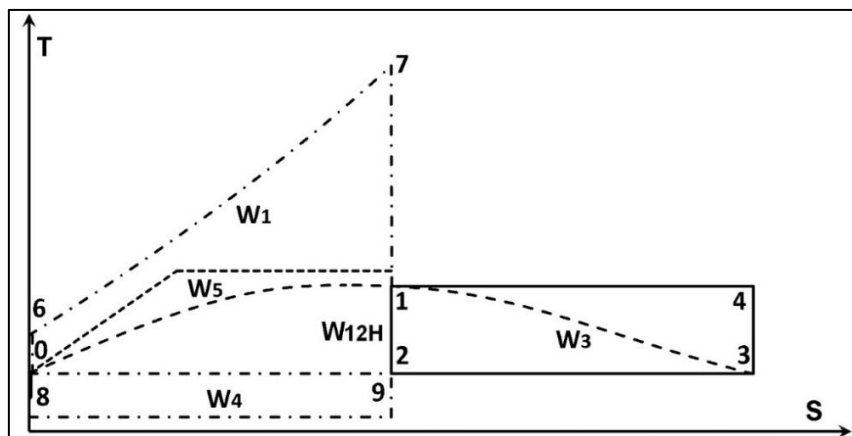
### 34. összesítés

$-W_3 (1 \text{ kg}) + W_{(1-2)} (0,46 \text{ kg}) + W_{Lf} (0,54 \text{ kg}) = -W_3 = 137,82 \text{ kJ}/1 \text{ kg} + 53,80 \text{ kJ}/0,46 \text{ kg} + 63,15 \text{ kJ}/0,54 \text{ kg} = -20,87 \text{ kJ}/2 \text{ kg}$ . 1 kg esetén  $-10,5 \text{ kJ}/\text{kg}$ .

Cseppfolyósítás esetén **alig több mint 10 kJ munkával 0,27 kg 20 K<sup>0</sup> fokos, 1 bar nyomású folyadékot termel, 1 kg 33 K<sup>0</sup> fokos, 12,6 bar nyomású gőzből.**

## III. Alapgép Co/Pp

35. Az alábbi ábrán az 1-2-3-4-1 pontokkal **megrajzolt téglalap** a már bemutatott W3 alap eljárás. Az illusztrált téglalap a legjobb követhetőség miatt téglalap, egyébként a 2-3 vonal kivételével mind politrópikus is lehet. Az itt bemutatásra kerülő eljárások a már megismert cseppfolyósított munkaközeg felhasználását tárgyalja.



36. A szemléltetett körfolyamat együttes négy különböző felhasználást ábrázol:

- Cool középmagas hűtés 0-2 folyamat,
- W4 mélyhűtés 0-8-9-2 folyamat,
- W5 mobilhűtő,
- W1 hűtő-erőforrás 0-6-7-2-0 Co/Pp.

### 37. Cool, középmagas hűtés

A legegyszerűbb. Ekkor a 0 pont folyadék a 0-2 vonalon kerül elpárologtatásra. A folyamat praktikusán egy hőcserélőben megy végbe a gőz állapotig és csak a fele tömeg áramlik át rajta. A maradék 0 pont folyadék továbbra is a gyűjtő tartályban marad, ezáltal megőrizve a 2 pont állapotnak megfelelő tömegarányt. Ebben az esetben a hűtő működtetése  $W_3 - W_{12H}$  **munkát igényl.**  $W_3 = 137,8 \text{ (kJ}/1 \text{ kg}) - W_{h(1-2)} = 53,80 \text{ (kJ}/0,46 \text{ kg}) = 84 \text{ (kJ}/2 \text{ kg})$ . A hűtőhatás  $S \text{ (kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}^0) = (S_1 - S_0) \cdot 0,54 \text{ (kg)} = 5,94 \text{ (2 kg)}$ . Tehát **1 kg munkaközeggel egy cikluson belül  $S = 3 \text{ (kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}^0)$  hűtőhatást hoz létre, 20 (K<sup>0</sup>) hőmérsékleten 42 (kJ/1 kg) munka árán.**

### 38. Cool W4 mélyhűtés

a Cool-alsó hűtésről akkor beszélünk, ha a munkaközeget a 0-8-9-2 vonalon vezetjük végig, az előbb említett módon. Ekkor az előbbihez képest alacsonyabb hőmérsékleten hűt, de a munkaigénye Cool közép magas hűtés,  $84 \text{ (kJ/2 kg)} + W4 \text{ (terület)} * 0,54 \text{ (kg)}$  munka árán.  $84 + 46,9 * 0,54 = 109,3 \text{ (kJ/2 kg)}$ . Tehát  $S = 3 \text{ (kJ/kg} \cdot \text{K}^0)$  hűtőhatást hoz létre,  $16 \text{ (K}^0)$  hőmérsékleten  $54,6 \text{ (kJ/1 kg)}$  munka árán.

### 39. W5 mobilhűtő

a mobil hűtőnél a  $W3 - W12H = W5$ . A külső energia bevitel nélkül működik, a belső körfolyamat energiáját használja fel. A munkaközeg helyes megválasztásával a környezeti hő alatti hőmérséklet tartományban bárhol működhet. **Az eljárás ciklikus ismételtetésével folyamatos hűtés biztosítható minden energia bevitel nélkül.**

### 40. W1 hűtő-erőforrás,

A Co/Pp felső hűtésnél a 0 folyadékot az 0-6-7-2-0 vonalon vezetjük végig. Ekkor  $W1 - W3 + W12H$  munkát ad le a folyamat, mert a  $W1$  tömegarányos terület nagyobb, mint a  $W3 - W12H$  munka igény. Összefoglalva az alábbi táblázatban látható. A részletesebb energiamérleget pedig a (Ref.42, 43) tárgyalja.

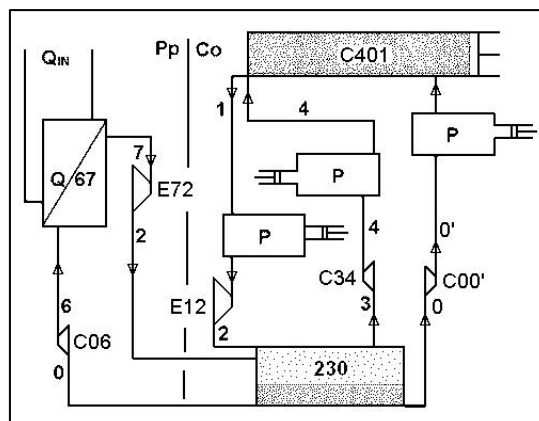
Co/Pp points	Weff		31		Scool		3		Weff (area calculation)	
	T	p	d	v / %	u	h	s	W1		
1	32,799	1,2598	24,738	0,0404	289,08	340,01	11,004		145,4748	
2	20,271	0,1013	2,627	0,5%	184,5	223,06	11,004	W(1-2)	53,797	
3	20,271	0,1013	1,339	0,7471	370,37	446,06	22,005	W3	137,8205	
4	32,799	0,3329	2,710	0,3690	438,89	561,73	22,005	2	Kg	
0	20,271	0,1013	70,828	0,0141	-1,433	0,00	0	1	Weff	
6	25,78	15	79,347	0,0126	8,4182	197,46	0		30,72562	
7	64,5	15	50	0,02	380,6	680,60	11,004		KJ/Kg.cycle	
Masses kg	Total	2	Mixed liquid	0,46	Useful	0,54	27%			
								S6-7	5,9422	
								1kg	3	
									KJ/Kg,K.cycle	

A táblázat adatai a NIST: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> „Thermophysical Properties of Fluid Systems” adatbázisból származnak.

Azt nevezzük (Co/Pp) hűtő-erőforrásnak, ami egy hagyományosan elfogadott erőművi eljárásból és alapeljárásból áll.

### 41 A hűtő-erőforrás eljárásának lépései

A körfolyamatot megvalósító hűtő eljárás a Ref.35 helyen látható T-s diagramon és az alábbi sematikus rajzon követhető. A szaggatott vonallal elválasztott egységek közül a Pp egy hagyományos erőmű, a W3 pedig a gőz 1 állapotba visszaállítását végzi.



Mivel az **alapeljárás W3** már korábban részletesen ismertetésre került (Ref.14) most csak a Pp hagyományos erőművi eljárás és kapcsolata a W3-al kerül bemutatásra:

- 230 számmal jelzett tartályból a megmaradt 0 pont állapotú folyadékot a C06 kompresszor az adiabatikus kompresszió után 6 pont magasabb nyomású és kicsit magasabb hőmérsékletű állapotban Q67 hőcserélőben nyomja,
- a Q67 hőcserélőben állandó nyomáson, külső hőenergiabevittel 7 pont telített gőzzé alakul,
- a nagynyomású 7 pont állapotú telített gőz energiáját E72 expanziós gép munkává alakítja és ezáltal 2 pont állapotú fáradt gőz alakul ki,
- a fáradt gőz 230 tartályba visszakerül,
- az eljárást ciklikusan ismétljük.

**Ez a körfolyamat a W1, ahol a hasznos energia keletkezik.** Ez egy jelenleg is általánosan elfogadott erőművi eljárás.

#### **42. Hűtő-erőforrás munkája**

Ha az alap eljárást hűtő-erőforrásként használjuk, akkor 1 kg munkaközegre számolva (Ref.37) szerint 84 (kJ/2 kg). munkával 0,54 kg folyadék keletkezik. Az 1-2 szakaszon maradék 0,54 kg munka ebben az esetben nem lett elszámolva, ezért az erőforrás teljes 0-6-7-2-0 terület 0,54 szeresével számolhatunk. (Nem csak 0-6-7-1)

Az előbbiekhöz hasonlóan a terület kiszámításával és 0,54 kg tömeggel megszorozva  $W_1 = 145,47 \text{ kJ} / 0,54 \text{ kg}$  hasznos munkát végez. A hűtőnek 84 (kJ/2 kg) van szüksége.  $145,47 - 84 = 61,5$ . (kJ/2 kg)

**Tehát az eljárás elméletileg, fajlagosan 31 kJ/kg\*ciklus munkát képes létrehozni.**

#### **43. Hűtőhatás**

Hűtőhatás a folyadék felhasználásakor a 6-7p szakaszon keletkezik. Ezen a szakaszon a folyékony munkaközeg telített gőzé alakul, és az ehhez szükséges energiát egy hőcserélőből nyeri.

A hőcserélő másik oldalán ezáltal hűtőhatás keletkezik. A hűtőhatás értéke látszólag 11 kJ/kg\*K, azonban figyelembe véve, hogy 1 kg munkaközegből csak 0,27 kg használható fel hűtésre, **a fajlagos hűtőhatás 3 kJ/kg\*K.**

**44.** Ha a rendszer másodpercenként 1 ciklust végez, akkor 31 kW a teljesítménye, 31 kW/h energiát termel. A (Ref.40) táblázatban a munkapontok értékei megtalálhatók. Ez alapján a gép megépíthető és a veszteségek figyelembevételével korrigálható.

#### **45. Megjegyzés**

-Az eljárás leírása és a bemutatott számítások a termodinamika II. törvényével összhangban, annak feltételeit következetesen figyelembe véve készültek.

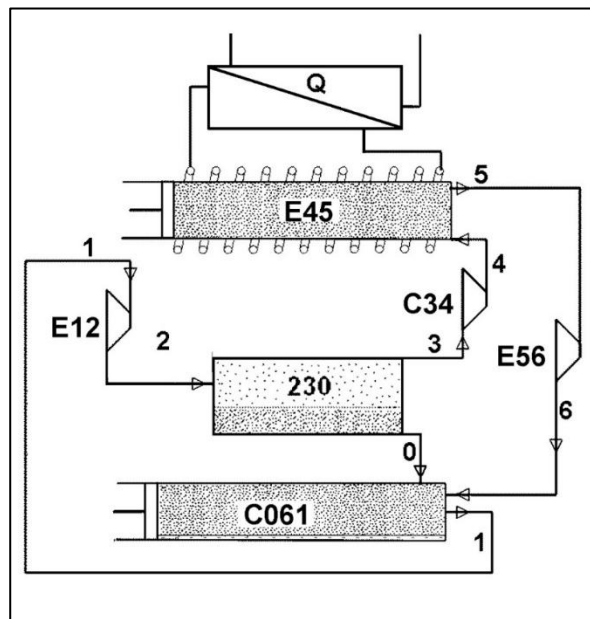
-Az eljárás statikus üzemre vonatkozik, mert az eljárás bemutatása szempontjából az jobban követhető. A gyakorlatban nagy valószínűséggel a keverőhengerbe a 0 pont folyadékot beporlasztással kell benyomni, hogy a folyamat felgyorsuljon és a ciklusidő csökkenjen.

-A (Ref.41) C34, C401 egy gépelem lehet. A 4 gőzt hirtelen összekomprimálja a dugattyú és folyadék beporlasztással tovább sűríti az 1 állapotig.



48. Az eljárás a fenti ábrán látható T-s diagrammon követhető.

Az eljárás fő jellegzetessége, hogy nem közvetlenül a maradék folyadékot használja fel munkavégzésre, hanem a gőz munkaközeg végez munkát és a folyadék csak a 6-1 szakaszban az entrópia csökkentését végzi. A továbbiakban célszerű a körfolyamatot a 2 pontól kezdve vizsgálni. A 3 gőz a 3-4-5-6-1-2 állapotváltozásokon halad végig. A 0 folyadék csak a 6-1 szakaszon avatkozik be, mint a keveredés egyik eleme. Munka szempontjából a 6-X szakaszt a W1 körfolyamathoz érdemes beszámítani, ezáltal a téglalap záródik és így a W1 terület meghatározza a hasznos munka nagyságát. Értelemszerűen az X-1 szakaszt pedig a W3 körfolyamathoz érdemes beszámítani. Számítások szerint körülbelül 20% folyadék elegendő a 6 fázist gőz visszakomprimálásához.



A fenti ábrán látható sematikus rajz a fentiekben ismertetett eljárást megvalósító gépet mutatja be. A 230 ülepítő tartályban lévő 2 állapotú munkaközeg 3 telített gőzét a C34 kompressziós gép a kívánt 4 hőmérsékletre és nyomásra sűríti. Az E45 izoterm expanziós gép nagy nyomású 4 gőzt 4-5 kiexpandálja és ezáltal hasznos munkát végez. Az izoterm folyamathoz szükséges hőenergiát egy Q hőcserélőn keresztül környezeti hőenergia biztosítja, ezáltal a környezetet hűti, tehát hűtőgépként is működik. Következő lépésben 5 állapotú munkaközeg az E56 expanziós gép 6 állapotba expandálja, adiabatikus expanzióval. Ekkor szintén hasznos munka keletkezik. A 6 állapotból 1 állapotba visszakomprimálás a már korábban tárgyalt C061 kompresszióval egybekötött keveredéssel kerül megvalósításra. Végül a munkaközeg 1 állapotból 2 állapotba E12 adiabatikus expanziós gépen keresztül jut vissza a 230 ülepítő tartályba.

Az eljárás alkalmazkodása a környezeti hőmérséklethez abban nyilvánul meg, hogy a 4-5 szakasz hőmérsékletének változtatásával a folyamat a környezeti hőmérséklethez igazítható. A gép a (Ref.47) látható 240 K<sup>0</sup>-os beállítással hőcserélőtől függően, körülbelül -24 C<sup>0</sup>-os környezeti hőmérsékletnél még 100 %-os teljesítménnyel képes működni. Előfordulhat, hogy magasabb hőmérsékletű hulladékhőt kívánunk vele hasznosítani. Például, ha hagyományos hőerőmű 60 C<sup>0</sup>-os fázistgőzét akarjuk felhasználni, akkor magasabb hőmérsékletű 3-4'-5'-6

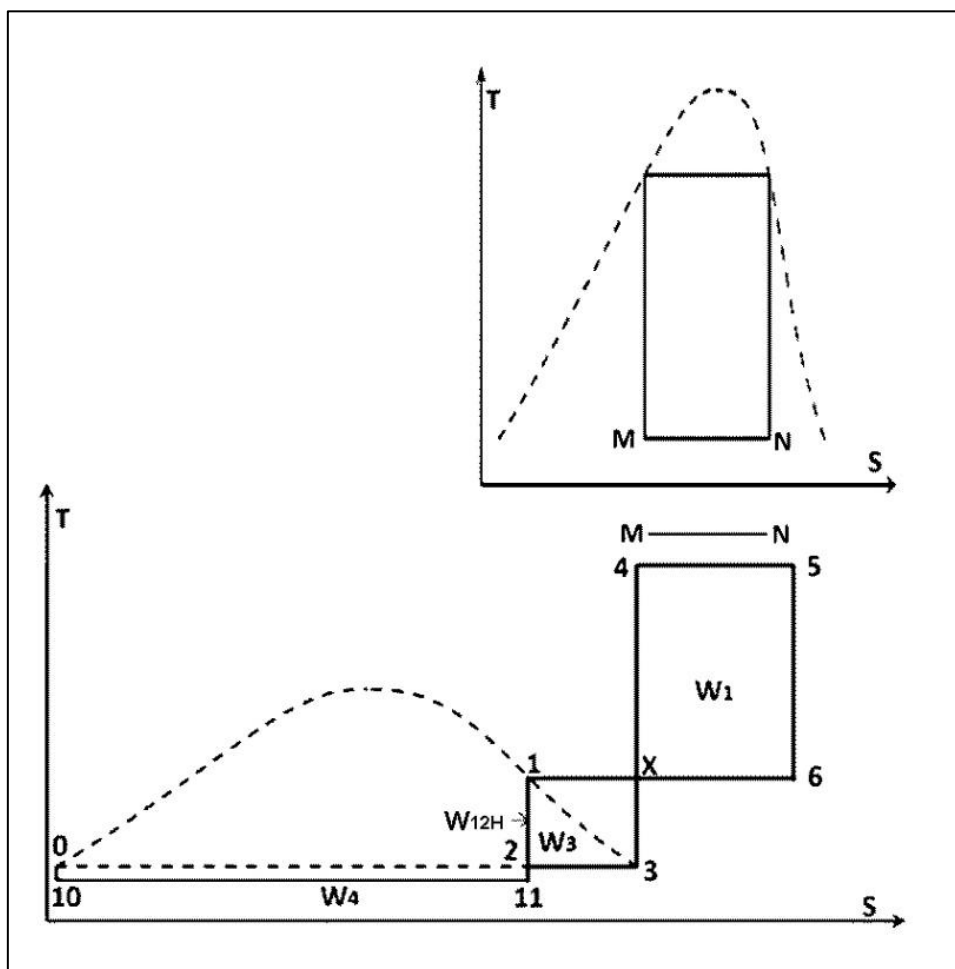
állapotváltozáson vezetjük végig a folyamatot. Ez esetben sokkal nagyobb hatásfokú hűtőerőforráshoz jutunk.

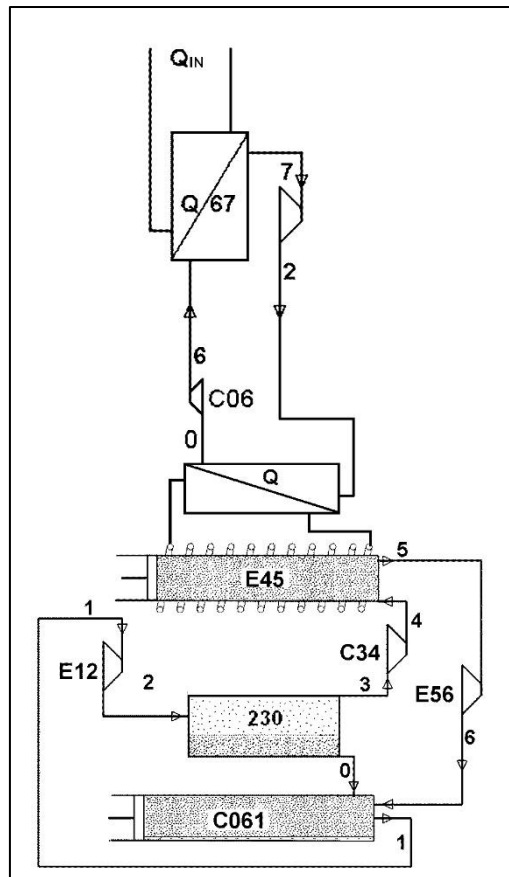
Szabályozási lehetőségeket tekintve leginkább a folyadék-gőz arány változtatásával lehet hűtésre, vagy energiaforrásra optimalizálni. Ez praktikusán a 3 telített gőz határgörbe vonalán 1 pont C változtatásával oldható meg.

A berendezés alsó hűtésre is képes azáltal, hogy a 1-2 szakaszt magasabb hőmérsékletére, 1'-2' szabályozzuk. Az új beállításnál már keletkezik annyi tartalék folyadék, hogy a 10-11 alsó hűtést megvalósítsa. Energetikai szempontból erre akkor lehet szükség, ha alacsonyabb hőmérsékleten működő hűtő erőforrást kívánunk elindítani, mint például a következő példában, vagy a gép leállásakor. Ebben az esetben a szabályozás a maximális alsó hűtésig szabályoz és a lehető legtöbb folyékony munkaközeget egy jól szigetelt duplafalú tartályba tárolja.

### B. példa: Törpeerőmű

49. A törpeerőmű az oxigénnel működtetett CoPp alapgépet használja, egy erőművi eljárással együtt működve. Így a CoPp és Pp eljárások összege adja az összteljesítményt. Természetesen a Co/Pp is lehet alapgép.





Az alapgép hűtőhatása teszi lehetővé a Pp erőművi eljárás alkalmazhatóságát azáltal, hogy az alapgép a fenti ábrán látható M-N hűtőhatásával az R22 munkaközegű Pp eljárást alkalmazó M-N szakaszban történő fűtőgőz visszacseppfolyósítását végzi. Ezáltal a kazán helyett hőcserélő végezheti a nagy nyomású telített gőz létrehozását. Ez a környezeti hő hasznosítására alkalmas eljárás másik változata.

### C. példa: Nagyerőmű

**50.** A fentiekben ismertetett Co/Pp és CoPp is lehet nagyerőmű alapgépe. Ebben a példában egy, para hidrogén munkaközegű Co/Pp alapgépet és felette pedig nitrogén és oxigén munkaközegű megvalósított hagyományos Pp erőművi eljárásokat láthatunk. A munkaközeg aránya megfelel a levegő arányának. Az alapgép elsődleges feladata a nitrogén és oxigén visszakondenzálása.

Azért érdemes az 1. ábrán látható Co/Pp alapgéppel a nagyerőművet működtetni, mert a fűtő levegőt is le tudja kondenzálni, ugyanis, ha a rendszer hőellátása levegővel történik, az ellenhatás miatt a fűtő levegő hűl. A „forró”  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os fűtő levegő hőmérséklete  $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$ -osra csökken. Innen egy másik Co/Pp alapgéppel a fűtőlevegőt is le lehet kondenzálni az így kialakult folyékony levegőt egy másodlagos erőmű újra hasznosíthatja. És ez többször ismétlődhet. Amennyiben az erőmű teljes teljesítményére nincs szükség, a lekondenzált levegőt alapgéppel hűtve tároló tartályokban energia tárolásra lehet használni.



## 51. Megjegyzés

-Mivel a bemutatásra került példákban a keveredéssel egybekötött kompresszió szakaszában izotermikus folyamatot választottuk, ezért a szabályozásnak a hengerben uralkodó hőmérsékletet kell figyelnie, ami elég körülményes, mert a keveredés nem molekuláris szinten történik és helyi hőmérsékletkülönbségek alakulhatnak ki. Ezért érdemes a nyomás görbét felvenni és inkább a dugattyú tolását a nyomás függvényében szabályozni.

-Az eljárások, ahol lehet, azért téglalap alakúak, mert a keletkezett munkát könnyen lehet számolni és ezért könnyebben érthető.

**52.** A leírtakból látható, hogy a találmány képes megvalósítani a kitűzött célokat, mert

- bármilyen hőmérsékleten képes hűteni,
- közvetve energia tárolásra is alkalmas,
- gázok folyékony halmazállapotba hozására és tárolására is alkalmas,
- gázok frakcionálási desztillációjára is alkalmas,
- háztartási és ipari hűtést igénylő technológiák hűtője lehet,
- erőművek alapgépe lehet és
- erőforrás is lehet.

## Szabadalmi igénypont

1. Eljárás hűtésre és környezeti hő hasznosítására egy termodinamikai gépben végrehajtva, azzal jellemezve, hogy

- a) gőzzel expanziót végzünk a vegyes halmazállapotú mezőben,
- b) a nedves gőz halmazállapotú munkaközeget halmazállapot szerint folyadék és gőz összetevőkre választjuk szét,
- c) gőz hőmérséklet emelést hajtunk végre,
- d) kompresszióval egybekötött gőz, folyadék keverést hajtunk végre,
- e) a maradék folyadékot úgy hasznosítjuk, hogy 1 pont állapotba kerüljön vissza, vagy cseppfolyósítás esetén az elfogyasztott gázt pótoljuk,
- e) az a)-d) körfolyamatot ciklikusan ismételjük.