

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 37

LJUBLJANA, JULIJ-SEPTEMBER 1991

ŠTEVILKA 7-9

UDK 621.575

Razvoj dvostopenjske laboratorijske absorpcijske toplotne naprave

SLAVKO ARH — BRANKO GAŠPERŠIČ

0. UVOD

Veliko industrijskih procesov izrablja energetske vire za pridobivanje koristne toplote, katere del se navadno odvaja v okolico. Zavest, da energetski viri niso neizčrpni, je privedla do preudarnejše rabe vseh vrst energij. Prispevek k temu je vsekakor tudi ponovna pridobitev energije iz odpadnih toplot v industrijskih procesih. Poleg drugih znanih načinov obnavljanja toplote zavzema dandanes vse vidnejše mesto tudi uporaba sorpcijskih toplotnih naprav. Njihova bistvena prednost pred drugimi načini obnavljanja toplote je v tem, da jih lahko poganjamo neposredno s primarno energijo, stranskimi produkti nekaterih toplotnih procesov (npr. industrijsko paro, plavžnim plinom) ter celo odpadno toploto. Za izkoriščanje nižje-temperaturne toplote (do 70 °C) so zdaj največ v uporabi absorpcijske toplotne črpalke (ATČ), medtem ko se v višjem temperaturnem območju (70–120 °C) uveljavljajo predvsem absorpcijski toplotni transformatorji (ATT). Z omenjenimi absorpcijskimi napravami lahko, brez večjega deleža dodatne električne energije, odpadni toploti zvišamo temperaturo in s tem omogočimo njeno ponovno uporabo v procesu.

Enostopenjske naprave so se v preteklosti izkazale premalo gospodarne in prilagodljive, da bi lahko resneje ogrozile druge načine obnavljanja toplote, zato smo se leta 1988 lotili projekta „Izpopolnjeni absorpcijski procesi“. S podrobno analizo absorpcijskih procesov, ki delujejo v različnih temperaturnih in tlačnih razmerah [1], smo zasledili procese, ki omogočajo hkratno gretje in hlajenje. Med njimi je še posebno zanimiv proces, ki smo ga označili z oznako PT/RT 4381. Po njem smo načrtovali razvoj in izdelavo laboratorijske naprave — večnamenskega absorpcijskega toplotnega transformatorja (VATT). Glavni nameni izdelave so bili:

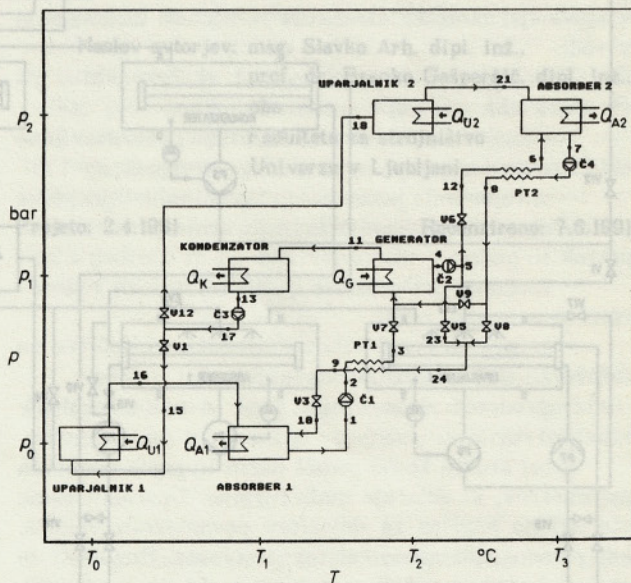
- osnovne raziskave enostopenjskih in večstopenjskih absorpcijskih toplotnih procesov,
- raziskave prenosa toplote, snovi in hidrodinamičnih pojavov v prenosnikih toplote absorpcijskih toplotnih naprav,
- preizkušanje in uporaba različnih konstrukcijskih materialov,
- ugotavljanje zanesljivosti delovanja, regulacije in optimiranja sistema,

— možnost uporabe praktičnih izkušenj pri načrtovanju industrijskega prototipa naprave VATT.

1. OPIS IN DELOVANJE PROCESA ABSORPCIJSKE NAPRAVE VATT

Absorpcijski proces PT/RT 4381, ki je podlaga absorpcijske naprave VATT, deluje med štirimi temperaturnimi in tremi tlačnimi ravni. Absorpcijska naprava VATT je v bistvu dvostopenjska, saj je na prvi stopnji elementarni proces absorpcijske toplotne črpalke (ATČ) oz. absorpcijskega hladilnika (AH), na drugi stopnji pa absorpcijski toplotni transformator (ATT). VATT je torej kombinirana naprava, ki hkrati združuje funkcijo gretja in hlajenja, pri čemer lahko uporabljamo tudi vsako zase.

Oglejmo si primer, ko VATT deluje hkrati kot AH in ATT. Shema procesa naprave VATT prikazuje slika 1. Kondenzat delovnega sredstva, ki prihaja iz kondenzatorja (točka 13), vodimo v prvo (AH) in drugo (ATT) stopnjo procesa. Tok količine kondenzata v obe stopnji uravnavamo z ventiloma V1 in V12. Na prvi stopnji se kondenzat v uparjalniku 1 upari, pri čemer odvzema toploto mediju, ki ga hladimo. Paro



Sl. 1. Shema procesa naprave VATT.

delovnega sredstva absorbira bogata raztopina, ki se skozi raztopinski prenosnik toplote PT 1 vrača iz generatorja v absorber 1. Črpalka Č1 omogoča višji tlak revne raztopine, kjer se pred vstopom v generator nekoliko predgreje v prenosniku toplote PT1. V generator dovedena (pogonska) toplota povzroči vrenje raztopine, iz katere izhaja praktično čista para delovnega sredstva, ki nato kondenzira v kondenzatorju. Na drugi stopnji vstopa del kondenzata, ki ga črpalka Č3 črpa skozi ventil V12 v uparjalnik 2, kjer se uparja na temperaturi T_2 . V absorberju 2 se para absorbira, pri čemer se sprošča toplota pri temperaturi T_3 . Nastala revna raztopina prek raztopinskega prenosnika toplote PT2 ter ventilov V8 in V3 odteka v prvo stopnjo. S črpalko Č2 se ustvari višji tlak bogate raztopine iz generatorja (točka 4), nato pa po poprejšnjem predgrevanju v PT2 raztopina vstopa v absorber 2. S tem je proces sklenjen, pri čemer je treba poudariti, da je ventil V9 vseskozi zaprt. Glede na razmerje tokov kondenzata skozi ventila V1 in V12 ter s tem posredno tudi želeno grelno in hladilno močjo je določen tudi tok skozi ventil V9. Ta zagotavlja, da se v obeh stopnjah vzpostavijo ustrezne koncentracije revne in bogate raztopine.

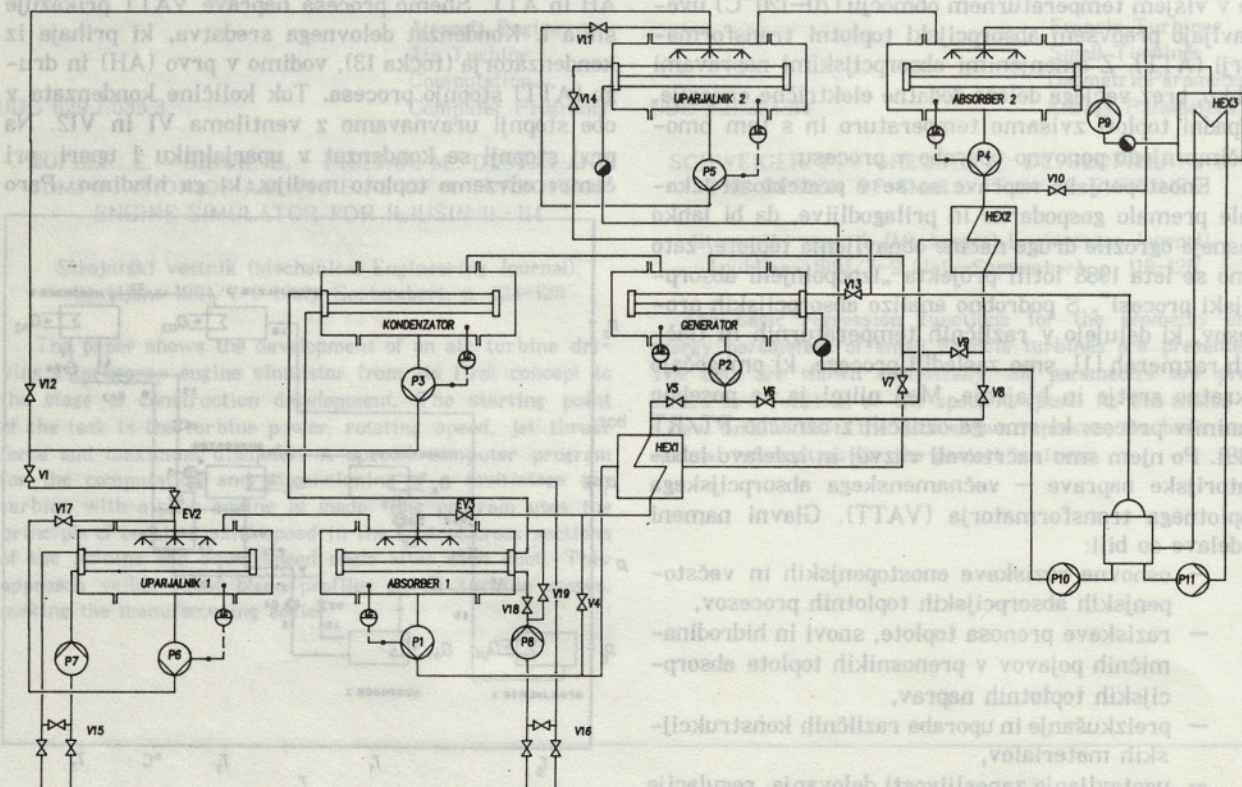
2. OPIS EKSPERIMENTALNE NAPRAVE VATT

Absorpcijska toplotna naprava VATT deluje z zmesjo vode in litijevega bromida ($H_2O/LiBr$), kjer je voda delovno, litijev bromid pa absorpcijsko sredstvo.

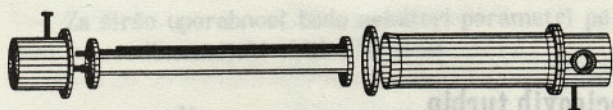
Iz konstrukcijske sheme (sl. 2) je razvidno, da je naprava VATT sestavljena iz šestih glavnih elementov oziroma prenosnikov toplote: dveh uparjalnikov, dveh absorberjev, generatorja in kondenzatorja. Poleg dveh raztopinskih prenosnikov toplote je uporabljeno še precej črpalk za raztopino in vodo, ventilov, dušilnih elementov ter drugih regulacijskih in pomožnih elementov. Celotna naprava deluje pri podtlaku, in sicer v področju 0,009 do 0,9 bar, odvisno od temperaturnih razmer v procesu. Skupna toplotna moč (grelna in hladilna) je okrog 10 kW.

Vsi prenosniki toplote so kotelne izvedbe (snop cevi v plašču). Ker želimo opazovati hidrodinamične pojave v glavnih elementih naprave, so plašči vseh prenosnikov toplote (razen obeh raztopinskih) stekleni. Izbira drugih materialov je glede na povečano korozijo raztopine $H_2O/LiBr$ pri višjih temperaturah povzročala precej težav. Po opravljenem preizkušanju korozijske odpornosti tehničnega bakra, nerjavnega jekla Č.4580 ter konstrukcijskega jekla Č.0361, smo se odločili za slednjega, saj se je izkazal za najboljše. Glavni prenosniki toplote so izdelani tako, da lahko v primeru pojava hujše korozije, preprosto zamenjamo snop cevi (sl. 3).

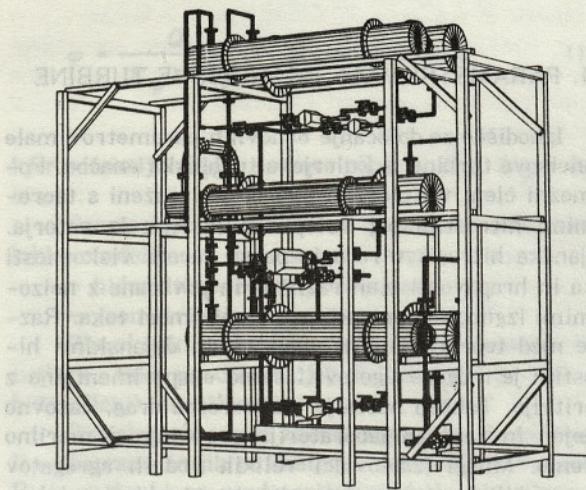
Pri načrtovanju naprave VATT smo se odločili, namesto standardne izdelave pomanjšanega modela, uporabiti računalnik. S programskim paketom Auto CAD smo izdelali geometrijski model za prostorsko razporeditev elementov ter njihovih cevni povezav (sl. 4).



Sl. 2. Konstrukcijska shema naprave VATT.



Sl. 3. Sestava prenosnika toplote.



Sl. 4. Geometrijski model naprave VATT.

3. ZAGON, OBRATOVANJE IN MERITVE NAPRAVE VATT

Po napolnitvi generatorja s 53-odstotno raztopino $H_2O/LiBr$ in obeh uparjalnikov z destilirano vodo smo najprej pognali prvo stopnjo naprave (AH). Ko smo uskladili delovanje brezkontaktnih merilnikov ravni kapljevine v prenosnikih toplote, je naprava dosegla stacionarno stanje. Nekaj dni smo obratovali le s prvo stopnjo ter tako pri različnih pogojih ugotavljali zanesljivost delovanja naprave. Pri tem se je nekajkrat pojavila tudi kristalizacija soli iz zmesi $H_2O/LiBr$. Problem smo najprej reševali z lokalnim segrevanjem cevi, nato pa z razredčenjem raztopine. Vrsta uspešnih dni delovanja prve stopnje je brez večjih težav omogočila zagon tudi druge stopnje (ATT). Kljub ročni regulaciji sistema je naprava stabilno delovala v izbranem temperaturnem območju. Sledil je še hkratni zagon obeh stopenj in usklajitev medsebojnega delovanja.

Naprava pri preizkusnem zagonu še ni bila izolirana, zato je obratovala le v temperaturnem območju 8–120 °C. Pri tem smo dosegli okrog 3 kW hladilne in 4 kW grelne moči. Razen nekaj manjših vdorov zraka v sistem s tesnjenjem naprave nismo imeli posebnih težav. Ob tem se je pojavila v nekaterih elementih tudi korozija.

Pri zagonu naprave smo merili temperaturo, tlak in masne tokove v najpomembnejših točkah procesa. V kratkem bomo vzpostavili tudi neposredno merjenje koncentracij z električno prevodnostjo raztopine $H_2O/LiBr$.

4. SKLEP

Gospodarnejša raba energije z uporabo absorpcijskih toplotnih naprav v razvitem svetu prav gotovo ni več skrivnost, pač pa je skrivnost tehnologija izdelave teh naprav. V laboratoriju za hladilno tehniko smo zgradili eksperimentalno absorpcijsko toplotno napravo, da bi čim bolj spoznali delovanje in uporabo tovrstnih naprav. Uspešen zagon in prve obratovne izkušnje so nam vlile upanje, da bomo lahko tudi pri nas v bližnji prihodnosti z lastnim znanjem prihranili precejšen delež energije.

5. LITERATURA

III Arh. S.- Gašperšič, B.: Development and Comparison of Different Advanced Absorption Cycles, Int. J. of Refrig. 13 (1990) št.1. str. 41-50.

Naslov avtorjev: mag. Slavko Arh. dipl. inž..

prof. dr. Branko Gašperšič. dipl. inž..

oba

Fakulteta za strojništvo

Univerze v Ljubljani

Prejeto: 2.4.1991

Recenzirano: 7.6.1991