



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union



**Univerzitet u Kragujevcu
Agronomski fakultet u Čačku**

PROJEKTOVANJE I OPTIMIZACIJA RASHLADNIH POSTROJENJA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

autor: dr Milan Nikolić

CaSA

Čačak, 2016



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union



This material is created within Tempus project “CaSA “Building Capacity of Serbian Agricultural Education to Link with Society” 544072-TEMPUS-1-2013-1-RS-TEMPUS-SMHES (2013 - 4604 / 001 – 001) which has been funded with the support of the European Commission. This material reflects the view of the author only and the Commission can not be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

With the support of the Tempus programme of the European Union.



Милан П. Николић



Пројектовање и оптимизација расхладних постројења у прехрамбеној индустрији



Име и презиме наставника	Milan Nikolić
Факултет/Универзитет	Универзитет у Крагујевцу, Агронoмски факултет у Čаčku
Назив курса	Пројектовање и оптимизација рашладних постројенја у прехрамбеној индустрији
Цилјна група (кoме је курс намењен)	АМС

Образложење сврхе курса У свим областима прехранбене индустрије примењују се рашладна постројенја. Рашладна постројенја су комплексни и скупи термоенергетски системи, па је стoга битно за сваког прехранбеног технолога да разуме основне принципе рада ових уређаја, а такође и да буде способан да пројектује рашладно постројенје и да на основу капацитета постројенја изабере опрему која ће бити ефикасна да задовољи захтеване технолошке параметре, а са друге стране да буде и економски прихватљива.

Opis kursa:

Kurs će obuhvatiti teoretska i praktična iskustva o principima rada rashladnih postrojenja, kao i najnovije trendove u ovoj oblasti. Polaznici će proširiti saznanja o materijalnim i energetske bilansima u rashladnim postrojenjima, opremi koja se upotrebljava u rashladnim postrojenjima, vrstama izolacionih materijala, automatizaciji opreme u rashladnim postrojenjima, kondicioniranju vazduha u rashladnim sistemima i načinima zamrzavanja pojedinih prehrambenih proizvoda.

Ciljevi kursa

- Sticanje znanja o značaju rashladnih postrojenja u prehrambenoj industriji sa aspekta čuvanja i konzervisanja hrane i o načinima unapređenja rada rashladnih postrojenja;
- Doprinos razvoju kompetencije samostalnog projektovanja rashladnih postrojenja
- Doprinos razvoju kompetencijepolaznika za korišćenje online kurseva.

Kratak opis aktivnosti učesnika (toka kursa)

Učesnici će tokom kursa biti aktivni na rešavanju zadataka sastavljenih na bazi dostupnih činjenica. Aktivnosti će se odvijati po predhodno navedenim nastavnim jedinicama.

Potreban materijal za rad

Računarska oprema, mogućnost upotrebe interneta

1. Расхладни уређаји - Увод

Расхладни уређаји свој рад заснивају на природној особини гаса, та особина је да се гас греје када се сабија (прелази из гасовитог у течно агрегатно стање), а хлади када се шири (прелази из течног у гасовито агрегатно стање).

Расхладни уређаји су пројектовани и произведени да гарантују максималан квалитет у хлађењу различитих врста производа у режиму рада од +10 до -30°C, за различите температурне режиме а према захтевима технологије хлађења производа. Поред стандардних расхладних система производе се и расхладни системи за специјалне намене.

Расхладни уређаји, осим за складиштење хране и пића, користе и за чување лекова, хемикалија итд. Нижа температура успорава хемијске реакције и биолошке процесе који доводе, на пример, до поварене (и тако нејестиве) хране и неупотребљивих хемикалија.

Расхладни уређаји се користе у:

- Домаћинствима
- Прехрамбеној индустрији
- Трговачким објектима
- Угоститељским објектима
- Индустрији лекова
- Хемијским индустријама

Клима уређаји као специјална врста расхладних уређаја се користи за климатизацију простора. Климатизација је процес припреме ваздуха у сврху стварања одговарајућег степена угодног за боравак људи, али и других живих бића.

2. Снижавање температуре у расхладним уређајима

Температура има важну улогу у одржавању квалитета ускладиштених намирница. Снижавање температуре успорава реакције које узрокују смањење квалитета хране. Постоји општа сагласност да се брзина реакција дупло смањује ако се температура смањи за 10 °C.

Расхладни процеси се постижу применом механичких расхладних система који омогућавају пренос топлоте из коморе за хлађење до локације где се топлота може једноставно ослободити. Пренос топлоте се остварује употребом расхладних средстава који у току рада расхладног система мењају своје агрегатно стање из течности у пару. На пример, амонијак је расхладно средство које се често употребљава у индустријским постројењима и има тачку кључања од -33,33°C на 1,013 bar и латентну топлоту испаравања од 1369,5 kJ/kg. На температуру кључања расхладног средства може се утицати променом притиска. На пример, температури кључања амонијака од -50°C

одговара притисак од 0,4089 bar, док температури кључања амонијака од -10°C одговара притисак од 2,908 bar. Према томе, повећањем притиска повећава се и температура кључања расхладног флуида.

2.1 Компоненте расхладног система

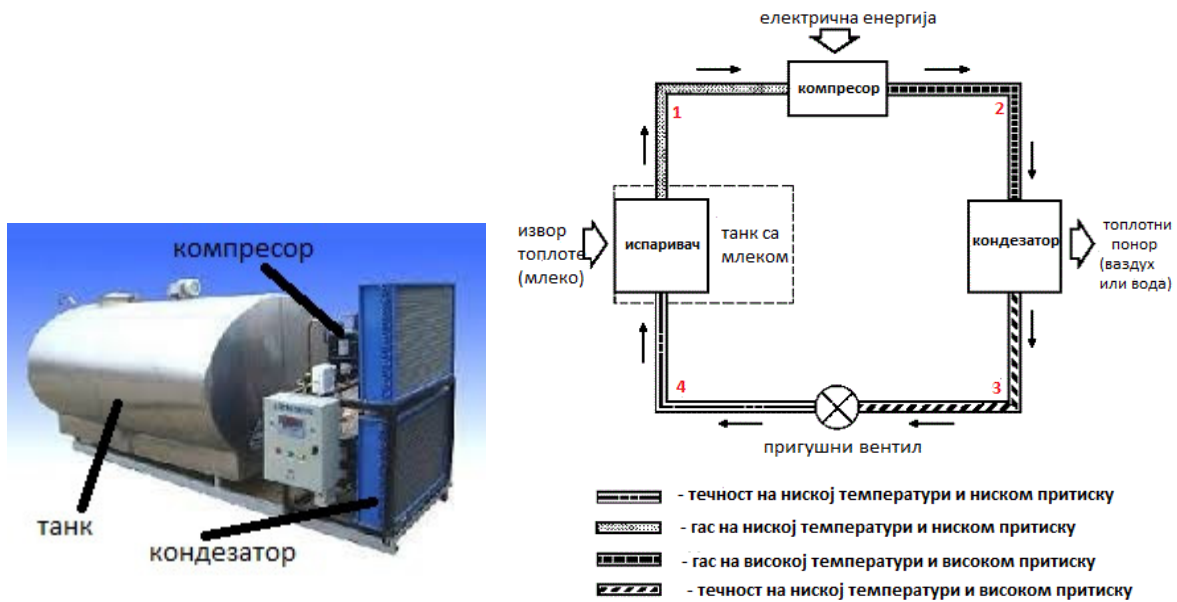
На слици 1а приказан је расхладни танк за млеко, док је на слици 1б шематски приказана шема овог расхладног система. Кретањем кроз расхладни систем, расхладно средство се фазно трансформише из течности у гас, а затим поново у течност. На локацији 3 пре уласка у пригушни (експазиони) вентил, расхладни флуид се налази у засићеном течном стању на температури кондезације или на температури нижој од температуре кондезације. Пригушни вентил раздваја простор високог притиска од простора ниског притиска. Након проласка кроз пригушни вентил, притисак расхладног средства се смањује, а што прати и смањење температуре. Услед смањења притиска расхладног средства један део течног расхладног средства се претвара у гас.

Затим смеша течности и гаса који чине расхладно средство улази у испаривач (локација 4) у коме расхладно средство у потпуности испарава и трансформише се у сувозасићену пару при томе апсорбујући топлоту из околног медијума који окружује испаривач. Такође се расхладно средство у испаривачу може превести и до прегрејаног стања ако у испаривачу (слика 2б).

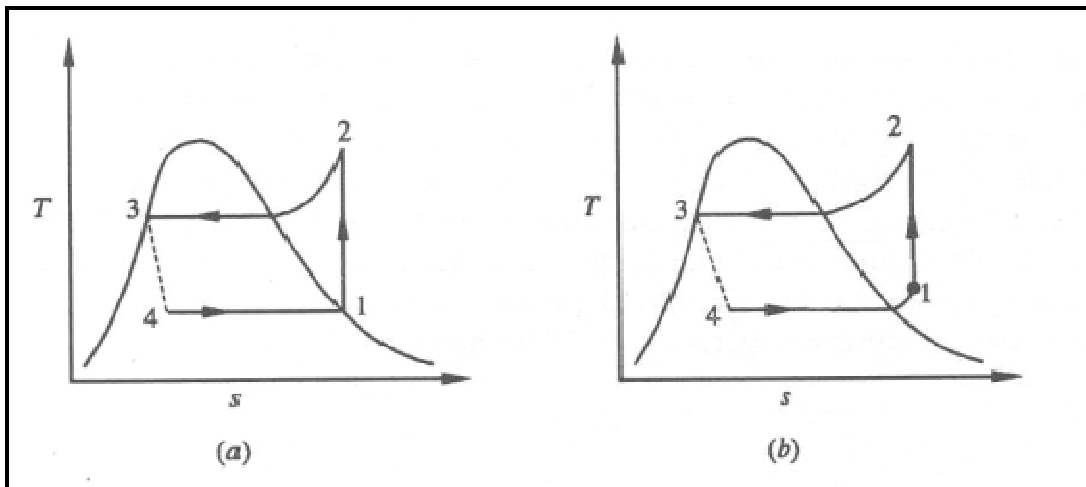
Засићена или прегрејана пара из испаривача улази у компресор који компресује расхладно средство до високих притисака који мора бити испод критичног притиска расхладног средства, али довољно висок да омогући кондезацију расхладног флуида на температури нешто вишој од температуре топлотног понора (амбијентални ваздух или расхладна вода). У компресору се процес сабијања паре одвија при константној ентропији (слика 2). Са растом притиска расхладног средства, расте и температура при чему постаје прегрејано.

Прегрејана пара се затим преноси у кондезатор. У кондезатору који може бити хлађен водом или ваздухом, расхладно средство предаје топлоту околном медијуму при чему се расхладно средство се кондезује до течности. Након што се целокупна количина расхладног средства преведе у зачићену течност, температура расхладног средства може опати испод температуре кондезације услед додатног отпуштања топлоте околном медијуму, тј., расхладни флуид постаје потхлађен. Након тога засићена или потхлађена течност улази у експазиони вентил где се циклус затвара.

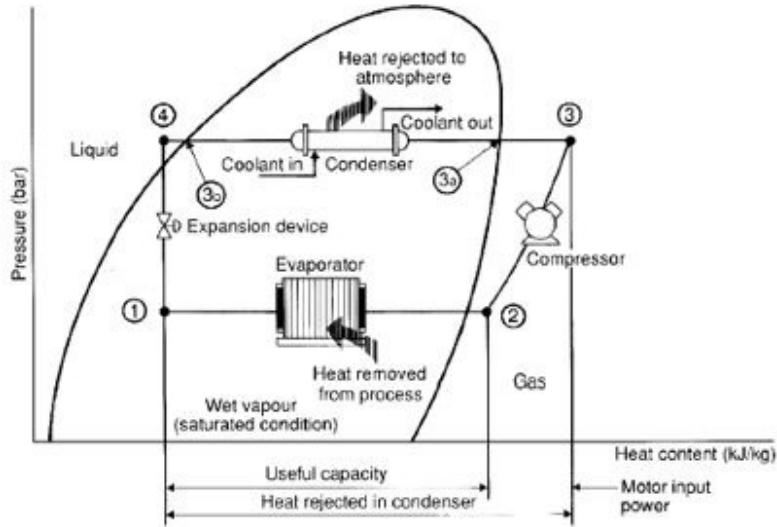
На слици 2 приказан је T-s дијаграм циклуса расхладног система док је на слици 3 приказан p-h дијаграм расхладног система.



Слика 1. Расхладни танк за млеко (а) и шематски приказ расхладног система (б).



Слика 2. T-s дијаграм за расхладно постројење при идеалним условима

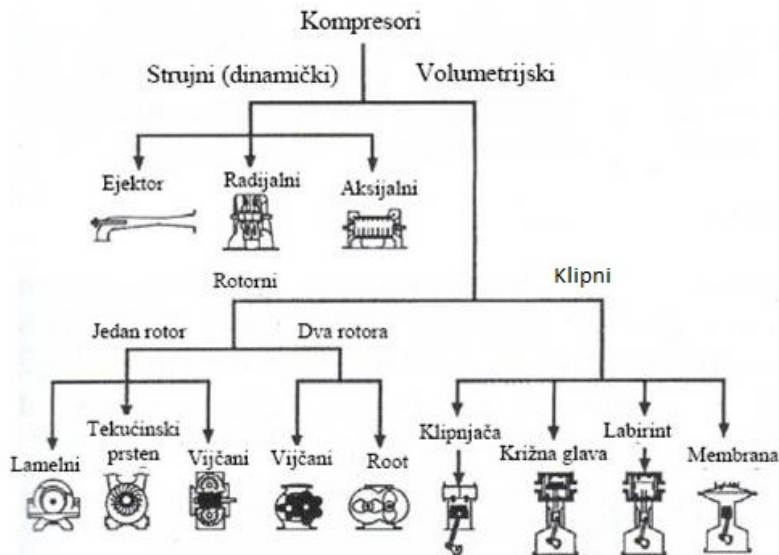


Слика 3. p-h дијаграм за расхладно постројење

2.2.1. Компресори

Компресори су основни елементи расхладних машина чији се компензациони процес заснива на утрoшкy механичког рада. У њима се радна материја (расхладни флуид) сабија како би се достигли и у неопходној мери премашили температура понора и притисак који влада у размењивачу топлоте са понором.

На слици 4 приказана је подела компресора према принципу рада. Према принципу рада компресори се могу поделити на **компресоре запреминског дејства** и **струјне компресоре**.



Слика 4. Подела компресора

Код компресора запреминског дејства усисна пара се сабија услед смањења затворене радне запремине у којој се пара налази.

Код струјних компресора пораст притиска је резултат размене енергије при опструјавању лопатица турбомашине (турбокомпресори) или при мешању са радном паром која која са великом брзином долази до млазника (парни ејекторски компресори).

Расхладни капацитет компресора може бити:

мали - до 50 kW

средњи - од 50 до 500 kW

велики - већи од 500 kW

2.2.2. Кондезатори

Кондезатори су измјењивачи топлоте у којима се кондензује пара расхладног флуида, коју сабија компресор. У кондезатору, док се сабија пара расхладног флуида долази до процеса одузимања топлоте од расхладног флуида.

Процес одузимања топлоте од расхладног флуида можемо подијелити у три фазе:

- прва фаза представља хлађење паре до температуре кондензације, то јест до температуре при којој се може извршити кондензација; за овај процес је потребно 3% површине кондезатора.
- другу фазу чини сам процес кондензације; за овај процес је потребно око 77% површине кондезатора.
- трећу фазу процеса представља подхлађивање течног расхладног флуида, то јест понизити температуру течног расхладног флуида испод температуре кондензације.

У зависности од начина одвођења топлоте од кондезатора, односно од тога да ли се хлади водом или ваздухом, постоје:

1. водом хлађени кондезатор
2. ваздухом хлађени кондезатор
3. водом и ваздухом хлађени кондезатор

Водом хлађен кондезатор

Кондезатор са воденим хлађењем примјењује се у расхладним постројењима већих капацитета (од 1 kW па навише) и у условима који обезбеђују довољну количину јефтине, чисте и незагађене воде, (бунарска, ријечна или језерска вода) чије довођење односно одвођење није скупо.

Ваздухом хлађен кондензатор

Ови кондензатори се најчешће примјењују. Примјењују се у расхладним уређајима од најмањег капацитета па до индустријских расхладних система. Због своје практичности могу да се примјене на сваком мјесту. За мање расхладне уређаје овакви кондензатори су најјефтинији. У зависности од капацитета расхладног уређаја, ови кондензатори могу бити:

1. са природним струјање ваздуха (код мањих расхладних уређаја),
2. са принудним струјањем ваздуха, уз помоћ вентилатора (код већих расхладних уређаја).

Водом и ваздухом хлађени кондензатори

Ови кондензатори се примјењују у расхладним системима гдје нема довољног дотока свјеже воде или је вода веома скупа. Вода се слива преко цијеви кондензатора и хлади их. Сливена вода се пумпом враћа и сакупља, што омогућава њено поновно кориштење. У ове кондензаторе спадају:

1. атмосферски кондензатор (ако ваздух струји око кондензаторских цијеви природно),
2. евапоративни кондензатор (ако ваздух струји око кондензаторских цијеви принудно уз помоћ вентилатора).

2.2.3 Експанзивни вентил

Експанзивни (пригушни) вентил је веома важан елемент расхладне инсталације. Он затвара или успорава проток расхладног флуида, и пропорционално га регулише кроз испаривач у зависности од топлотног оптерећења испаривача, одржавајући приближно константан проток флуида. Променљивост протока расхладног флуида повећава искоришћеност испаривача, због боље оквашености унутрашње површине чиме се омогућава правилан и безбједан рад расхладног уређаја. Овај елемент се користи у расхладним постројењима са клипним компресором и са сувим испаривачом као и у постројењима са више испаривача, при температурама од $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Делови експанзионог вентила:

1. термостатски елемент
2. кућиште вентила
3. вретено за подешавање
4. цев за спољшње изједначење притиска
5. одвојена излазна пригушница
6. комплет пригушница
7. осетљиви елемент
8. капиларна цев.

2.2.4. Испаривач

Испаривач је елемент расхладних инсталација у коме испарава течни расхладни флуид, одузимајући топлоту медију који треба да се хлади (води или ваздуху), што је и сврха комплетног расхладног система. У испаривачу расхладном флуиду притисак нагло пада, и он почиње да хлади односно да одузима топлоту другом медију. Испаравање се врши у цијевима или преко цијеви испаривача. У испаривачу се одвија неколико процеса:

1. струјање флуида
2. испаравање флуида
3. прелазак топлоте

Испариваче можемо подијелити по разним категоријама: •Према медију који хладе дијелимо их на:

1. испариваче за хлађење воде
2. испариваче за хлађење ваздуха

У зависности од начина струјања флуида дијелимо их на:

1. испариваче са природним струјањем
2. испариваче са принудним струјањем (пумпа погони расхладно средство)

Према врсти изведбе дијелимо их на:

1. цијевне испаривачи
2. испаривачи са ребрастом цијеви
3. испаривачи са снопом цијеви
4. испаривачи са вертикалним цевима
5. полчасти испаривачи
6. добошасте испаривачи
7. коаксијални испаривачи

По начину испаравања дијелимо их на

1. „суве“, за минус (-) режим рада (минус режим рада је када расхладни уређај хлади испод 0 °C
2. „преплављене“, за плус (+) режим рада (плус режим рада је када расхладни уређај хлади до 0 °C

По начину уградње дијелимо их на:

1. зидне испариваче
2. висуће испариваче

Ипак испариваче најчешће дијелимо према медију који хладе.

Испаривач за хлађење воде

Ови испаривачи се израђују као потопљени испаривачи који се потапају у резервоар или базен у коме се налази хлађена течност и израђују се као добошасте испаривачи кроз које струји хладна течност. Добошасте испаривачи за хлађење воде могу бити са сувим и преплављеним испарењем. Код испаривача са сувим испарењем расхладно средство испарава у цијевима. За мање капацитете користе се коксијални испаривачи, који се састоје од једне или више унутрашњих цијеви и једне спољашње (омотача). У унутрашњим цијевима испарава расхладно средство, док вода тече у супротном смјеру кроз омотач цијеви.

Испаривач за хлађење ваздуха

Испаривачи за хлађење ваздуха углавном су предвиђени за суво испаравање и то тако звано, мирно хлађење (без принудног струјања ваздуха) а могу се користити и за динамичко хлађење (са принудним струјањем ваздуха). Углавном се израђују од оребрених бакарних цијеви. Ребра се обично праве од алуминијума а њихов размак зависи од температуре испаравање (од 2 до 30 mm). Постоје различити начини оребравања а код нас најчешће се користе спирална и ламеласти ребра. Испаривачи за мирно хлађење најчешће се постављају у мањим коморама за хлађење или замрзавање. Склоп који се састоји од испаривача, кућишта, вентилатора, посуде за скупљање воде од отапања иња, назива се ваздушни хладњак.

2.2.5. Помоћни апарати, арматура и цевоводи у расхладним уређајима

Поред већ набројаних елемената у расхладној техници користе се и помоћни апарати у које спадају: одвајачи течности, помоћни размењивачи топлоте, ресивери, испуштачи ваздуха и слично. Ови уређаји смањују потрошњу енергије и обезбеђују несметан рад расхладних постројењ.

Сушач плина и филтер су најчешће једна компонента у расхладном систему која је конструисана тако да врши двије радње истовремено:

1. упија воду из расхладног флуида
2. филтрира расхладни флуид.

Тако да, када говоримо о сушачу плина односно филтру, морамо говорити као да су то двије независне компоненте.

Сушач плина уклања воду из инсталације, а поставља се у течне водове (водове кроз које тече расхладни флуид) између кондензатора и експанзионог вентила (капиларе). Испуњава се неким хигроскопним материјалом (материјалима који могу да упију воду), као нпр: силикагел, алумогел, молекуларна сита, итд. Материјал за апсорбовање воде има способност регенерације која се постиже загријавањем, иако је то понекад отежано због присуства уља.

На тијелу сушача налазе се прикључци за улаз и излаз течног расхладног флуида.

Филтар служи да онемогући проток чврстих честица (пијеска, рђе) у компоненте расхладног уређаја, посебно у радни простор компресора и експанзионог вентила (капиларе), јер може доћи до таложења тих ситних честица и блокирања рада одређених компоненти у расхладном уређају.

Филтри се постављају тако да расхладни флуид тече кроз њих, а честице из расхладног флуида се механички заустављају, најчешће вишеслојним мрежицама и ситима од ситних метала (азбестне тканине или других материјала, зависно од врсте расхладног флуида). Код већих расхладних филтара мрежице и сита се лако мијењају, док је код мањих филтара то непрактично и неисплативо.

Дијелови сушача плина и филтра:

1. улазни прикључак
2. мрежице и сита од ситних материјала
3. хидроскопни материјал (силикагел)
4. кућиште (оклоп)
5. излазни прикључак

2.2.6. Аутоматизација расхладних постројења

Без аутоматизације не би била могућа шира употреба расхладних уређаја. Аутоматизацијом расхладних уређаја постиже се тачније одржавање жељених температура, економичнији рад уређаја, смањење могућности кварења уређаја и мања или никаква зависност рада уређаја од особља које са њим рукује.

Имамо 3 основан уређаја за регулисање и управљање, пресостат, термостат и хигростат.

Пресостати су електрични прекидачи који у зависности од притиска затварају или отварају струјно коло, а постављају се као елементи за регулисање и заштиту. У зависности од величине притиска, разликујемо пресостат ниског и пресостат високог притиска, као и диференцијални пресостат. Електрични контакти су постављени тако да при одређеном притиску или разлици притиска струјно коло прекида или затвара. Пресостат који обавља функцију заштите производи се са додатним контактом за поновно укључење ([енг. reset](#)).

Термостат је електрични прекидач који у зависности од температуре прекида или затвара струјно коло. Термостат регулише рад многих уређаја у расхладној постројењу, као што су: електромотор, компресор, магнетни вентил, вентилатор. Термостат је конструисан тако да је његов механизам преко капиларне цијеви спојен са давачем (осјетљивим елементом) који је изведен као мали резервоар у коме се налази течност или гас. Давач је причвршћен уз објекат којем мјери температуру, у зависности да ли температура расте или опада

флуид у давачу ће се ширити или скупљати. Те промјене преко капиларне цијеви ће покренути механизам који ће отворити или затворити струјно коло.

Хигростат је електрични прекидач који прекида и затвара струјно коло у зависности од релативне влажности ваздуха. Принцип рада им се заснива на употреби соли и раствора од чије влажности зависи електрична проводност, односно, количина воде у ваздуху мења вриједност електричног отпора. Повећањем влажности се повећава струја која загријава раствор соли, чауру и отпорнички термостат, који је редно повезан са промјењивим отпорником у једној грани Витстновог моста у кућишту хигростата, преко кога се подешава одговарајућа влажност. Добијени импулс преко појачавача и релеја активира контактни механизам који затвара струјно коло неког елемента, од чијег рада зависи релативна влажност у комори гдје је хигростат постављен.

3. Материјални и енергетски биланси расхладног постројења

На основу прорачуна потребе хлађења које обухватају све количине топлоте које из било ког разлога оптерећују расхладну инсталацију, одређује се расхладни капацитет расхладног уређаја и прорачунавају се његове саставне компоненте (испаривачи, кондезатори, компресори, помоћни апарати и цевоводи).

Потреба хлађења се прорачунава за период од 24 часа. При прорачунима у циљу пројектовања расхладног уређаја (постројења) рачуна се са најнеповољнијим условима експлоатације у којима уређај мора задовољавајуће да ради. Међутим, при повољнијим условима рада (мања топлотна оптерећења), расхладни капацитет уређаја може се прилагодити тренутним потребама.

Постоји осам група топлотних оптерећења:

1. Топлотно оптерећење услед продирања топлотне струје Q_1
2. Топлотно оптерећење услед расхлађивања и смрзавања производа Q_2
3. Топлотно оптерећење услед проветравања и инфилтрације спољашњег ваздуха Q_3
4. Топлотно оптерећење услед одвијања биолошких процеса у ускладиштеним производима Q_4
5. Топлотно оптерећење услед стварања иња на испаривачима Q_5
6. Топлотно оптерећење услед рада људи Q_6
7. Топлотно оптерећење услед осветљавања Q_7
8. Топлотно оптерећење услед рада вентилатора Q_8

3.1 Топлотно оптерећење услед продирања топлотне струје Q_1

Количина топлоте која продира из околине кроз преграде коморе, у комору дата је следећим изразом:

$$Q_1 = A \cdot K \cdot (t_s - t_u) \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s (kJ/дан)}$$

где је:

A-површина одговарајуће преграде коморе (m^2)

K- коефицијент пролаза топлоте за одговарајућу преграду ($\text{kJ/m}^2\text{s}$)

t_s -температура околине ($^{\circ}\text{C}$)

t_u -температура у комори ($^{\circ}\text{C}$)

Коефицијент пролаза топлоте дат је следећим изразом:

Температура t_u је технолошки задата, док температура t_s зависи и од утицаја сунчеве радијацијена спољну површину преграде. Утицај сунца на повишење температуре t_s може се видети у следећој табели.

Боја површине	Источни зид	Јужни зид	Западни зид	Раван кров
Тамна	5	3	5	11
Умерена	4	2	4	9
Светла	2	1	2	5

Спољна температура у летњем периоду може се израчунати из следећег израза:

$$t_s = 0,4 t_{sm} + 0,6 t_{max}$$

где је:

t_{sm} -средња месечна температура најтоплијег месеца за период од последњих 10 година

t_{\max} -средња вредност максималних температура најтоплијег месеца за период од последњих 10 година

Температура тла испод изолације зависи од подручја у којем се хладњача налази. Код комора у којима је $t_u = -20$ °C или тунела са $t_u = -35$ °C, нулта изотерма се налази испод изолације пода, а што може изазвати подизање пода коморе. Ово се може избећи уградњом електричних грејача снаге 10-20 W/m² у бетонску плочу испод изолације пода. Смрзавање тла се такође може спречити постављањем вентилационих цеви исподб бетонске плоче.

Температура тла t_s креће се од 10 до 15 °C.

Ово топлотно оптерећење зависи од врсте, количине и начина расхлађивања и смрзавања производа. Ако у комори већ има охлађених и ускладиштених производа у њу се не уноси нерасхлађених производа више од 5-10% складишног капацитета коморе. Разлог овоме је тај да неохлађени производи не би значајније утицали на температуру и релативну влажност ваздуха у комори.

Да би израчунали топлотно оптерећење расхладног постројења услед термичке обраде производа неопходно је знати максималну количину производа која одједном може да стане у комору за хлађење. Ако се у комори ови производи складиште на дужи рок, тада говоримо о **складишном капацитету коморе** који се изражава максималном количином производа који једновремено може да стане у комору.

Ако је комора специјално прилагођена за термичку обраду производа који се након тога одлаже у складишне коморе, онда говоримо о **производном капацитету коморе**, који се односи на количину одређеног производа која у овој комори или специјалним уређајима може да се расхлади или замрзне у току одређеног времена.

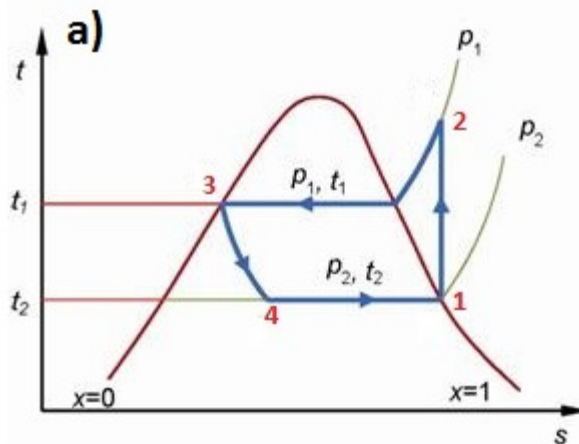
У коморама и тунелима за брзо расхлађивање (смрзавање) у којима се остварује принудно струјање ваздуха, производи се одлажу са мањом густином складиштења него у коморама за дуже чување да би се остварило боље прострујавање ваздуха. При овоме производи треба што боље да попуњавају пресек коморе попречно на правац струјања ваздуха да ваздух не би обилазио производе.

У зависности од врсте производа, његовог стања на улазу (свеж, охлађен или смрзнут), начина складиштења и паковања, као и намене коморе (термичка обрада или складиштење производа), капацитет коморе се одређује на основу корисне површине пода или корисне запремине као зависи од врсте производа

4. Основни прорачуни у расхладним постројењима

Одредити масени проток амонијака кроз расхладну инсталацију и снагу компресора проточног тунела у коме се смрзава грашак. Капацитет расхладног постројења је 3500 kg/h, ако је температура грашка на улазу +15 °C, а температура грашка на излазу -18 °C. Након замрзавања количина леда у односу на укупан садржај воде у производу је $\omega=0,85$ kg/kg.

T-s дијаграм расхладног система има следећи изглед:



T-s дијаграм циклуса расхладног система

При чему су:

$t_2 = -35$ °C; p_2 (притисак у тачки 2) = 7 bar; t_2 (температура у тачки 2) = 70°C;
 t_1 (температура кондензације амонијака) = 40 °C

Решење проблема

Прво ће се одредити проток топлоте смрзавања (kW) која се одстрањује из грашка.

масени проток грашка (Q_m) = 3500 kg/h = 0.972 kg/s

Проток топлоте хлађења представља збир три члана:

први члан је проток топлота хлађења производа ;

други члан представља проток латентне топлоте смрзавања воде у грашку;

трећи члан представља проток топлоте смрзавања грашка до задате температуре која у овом случају износи -18 °C.

Према томе, топлота смрзавања може се изразити преко следеће једначине:

$$Q = G_p C_{p1}(t_1 - t_{kr}) + G_p \omega Y + G_p C_{p2}(t_{kr} - t_3) \quad (1)$$

G_p - масени проток производа

t_1 - улазна температура производа

t_{kr} - криоскопска температура производа

ω - количина леда у односу на укупана садржај воде у производу (kg/kg)

Y - реллативна влажност производа

t_3 - задата температура смрзавања

C_{p1} - специфични топлотни капацитет производа изнад температуре смрзавања (kJ/kg°C)

C_{p2} - специфични топлотни капацитет производа испод температуре смрзавања

C_{p1} , C_{p2} , t_{kr} и Y читавају се из прилога I:

Prilog I

Toplotne karakteristike prehrambenih proizvoda

Vrsta proizvoda	Sadržaj vode tež. %	Tačka smrzavanja °C	Specifični topl. kapacitet kJ/kg°C		Toplota smrzavanja KJ/kg
			Pre smrzavanja	Posle smrzavanja	
1	2	3	4	5	6
VOĆE					
1. Ananas	85	-1,4	3,68	1,88	285
2. Banana - zelena	75	-1,0	3,35	1,76	251
3. Banana - zrela	75	-1,7	3,35	1,76	251
4. Breskva	84	-1,4	3,80	1,93	290
5. Dunja	82	-2,1	3,68	1,88	284
6. Grejpfrut	87	-2,0	3,85	2,01	257
7. Grožđe	81	-4,0	3,68	1,88	264
8. Grožđe - suvo	24	-	1,97	-	-
9. Jabuka	83	-2,0	3,85	2,09	280
10. Jagoda	90	-1,2	3,86	1,14	290
11. Kajsija	85	-2,0	3,68	1,93	284
12. Kruška	83	-2,5	3,85	1,76	281
13. Kupina	85	-1,7	3,73	1,93	291
14. Limun	86	-2,0	3,85	1,93	285
15. Malina	87	-1,2	3,60	1,88	284
16. Mandarina	84	-2,2	3,64	1,88	280
17. Ogrozđ	89	-2,2	3,85	1,93	301
18. Orah - jezgra	7	-6,5	1,05	0,92	38
19. Pomorandža	85	-2,2	3,85	1,84	283
20. Ribizla	84	-1,1	3,65	1,88	281
21. Smokva-sveža	78	-2,8	3,43	1,80	250
22. Smokva - suva	24	-	1,63	-	-
23. Šljiva	80	-2,0	3,68	1,88	260
24. Trešnja	85	-3,0	3,64	1,84	276
25. Višnja	83	-3,0	3,64	1,93	276
POVRĆE					
1. Boranija	89	-1,0	3,81	1,97	298
2. Celer - koren	90	-1,2	3,94	1,97	314
3. Dinja	89	-1,7	3,90	2,01	305
4. Grašak - zmo	76	-1,2	3,35	1,76	251
5. Kartof	91	-1,1	3,89	1,97	307
6. Kelj	87	-1,5	3,89	2,01	306
7. Krastavac	95	-0,8	4,10	2,05	318
8. Krompir	78	-1,8	3,35	1,76	243
9. Kupus	92	-0,8	3,94	1,97	307
10. Lubenica	92	-1,6	3,85	1,93	297
11. Luk-beli	70	-3,7	3,31	1,76	247
12. Luk-crni	87	-1,5	3,81	1,93	285
13. Mrkva	85	-1,4	3,64	1,88	276
14. Paprika	90	-1,2	3,94	1,97	306
15. Paradajz	94	-0,9	3,98	2,01	310
16. Pečurka	90	-1,0	3,89	1,97	302
17. Peršun	85	-1,4	3,85	-	-
18. Plavi paradajz	92	-1,6	3,64	1,88	280
19. Praziluk	88	-1,0	3,77	1,93	293

$$Q=0.972 \text{ kg/s} \cdot 3.35 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (15^\circ\text{C} - (-1.2^\circ\text{C})) + 0.76 \cdot 0.972 \text{ kg/s} \cdot 0.85 \cdot 334 \text{ kJ/kg} + 0.972 \text{ kg/s} \cdot 1.76 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (-1.2^\circ\text{C} - (-18^\circ\text{C}))$$

$$Q=278.86 \text{ kW}$$

Укупан топлотни проток замрзавања грашка једнак је следећем изразу:

$$Q= Q_m(h_1-h_4) \quad (2)$$

Q_m - масени проток амонијака

h_1 - енталпија амонијака у тачки 1

h_4 - енталпија амонијака у тачки 4

Са слике 1 уочава се да је h_1 енталпија сувозасићене паре амонијака на -35°C . А пошто је пригушивање изоенталпски процес, онда је $h_3 = h_4 = h_1(+40^\circ\text{C})$. Према томе, вредности h_1 и h_4 могу се прочитати из [табеле](#) 1 у којој је црвеном бојом означена енталпија сувозасићене паре амонијака на -35°C , док је плавом бојом означена енталпија кључале течности амонијака на $+40^\circ\text{C}$.

Табела 1. Термодинамичке величине стања амонијака за равнотежу течност пара (у зависности од температуре)

θ	p	v_l	v_g	h_l	h_g	r	s_l	s_g
$^\circ\text{C}$	kPa	m^3/kg		kJ/kg			kJ/(kg·K)	
-50	40,9	0,001424	2,6270	123,4	1539,7	1416,3	0,5908	6,9376
-45	54,5	0,001437	2,0064	145,2	1547,9	1402,7	0,6873	6,8356
-40	71,7	0,001450	1,5526	167,1	1555,9	1388,8	0,7824	6,7390
-35	93,1	0,001463	1,2161	189,2	1563,7	1374,5	0,8758	6,6472
-30	119,5	0,001476	0,9634	211,4	1571,1	1359,7	0,9680	6,5600
-25	151,5	0,001490	0,7712	233,7	1578,3	1344,6	1,0586	6,4770
-20	190,2	0,001504	0,6233	256,2	1585,1	1329,0	1,1481	6,3977
-15	236,3	0,001519	0,5084	278,8	1591,7	1312,9	1,2362	6,3220
-10	290,8	0,001534	0,4184	301,6	1597,9	1296,4	1,3232	6,2495
-5	354,9	0,001550	0,3465	324,4	1603,8	1279,4	1,4090	6,1800
0	429,5	0,001566	0,2892	347,5	1609,3	1261,8	1,4938	6,1132
5	515,9	0,001583	0,2430	370,7	1614,4	1243,7	1,5775	6,0488
10	615,2	0,001600	0,2054	394,1	1619,1	1225,0	1,6603	5,9867
15	728,6	0,001619	0,1746	417,7	1623,4	1205,8	1,7421	5,9266
20	857,5	0,001638	0,1492	441,4	1627,3	1185,8	1,8232	5,8683
25	1003,1	0,001658	0,1281	465,4	1630,6	1165,2	1,9034	5,8115
30	1166,9	0,001680	0,1105	489,6	1633,4	1143,9	1,9828	5,7561
35	1350,3	0,001702	0,0957	513,9	1635,7	1121,7	2,0616	5,7018
40	1554,8	0,001725	0,0831	538,6	1637,3	1098,8	2,1397	5,6485
45	1781,9	0,001750	0,0725	563,4	1638,3	1074,9	2,2173	5,5958
50	2033,0	0,001777	0,0634	588,6	1638,6	1050,0	2,2944	5,5437
55	2309,9	0,001804	0,0556	614,1	1638,1	1024,1	2,3711	5,4918
60	2614,2	0,001834	0,0488	639,9	1636,8	996,9	2,4476	5,4400
65	2947,6	0,001866	0,0430	669,1	1634,6	965,5	2,5239	5,3880

Из табеле се може прочитати да је $h_1 = 1563,7$ kJ/kg, а $h_4 = 538,6$ kJ/kg.

Из једначине (2) може се израчунати масени проток амонијака:

$$Q_m = Q/(h_1 - h_4) = 278.86 \text{ kW}/(1563,7 \text{ kJ/kg} - 538,6 \text{ kJ/kg}) = 0.272 \text{ kg/s}$$

Снага компресора (W_{cv}) може се изразити преко следеће једначине:

$$W_{cv} = Q_m(h_2 - h_1) \quad (3)$$

Енталпија h_2 представља енталпију прегрејане паре амонијака на излазу из компресора на температури од 70°C и притиску од 7 bar (0.7 MPa) и вредност ове енталпије се може одредити из табеле 2. У табели су вредност тражене енталпије заједно са пратећим параметрима означене жутом бојом.

Табела 2. Термодинамичке карактеристике прегрејане паре амонијака

T	$p = 0.70 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 13.80^\circ\text{C}$)			$p = 0.80 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 17.85^\circ\text{C}$)			$p = 0.90 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 21.52^\circ\text{C}$)		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
Sat.	0.18148	1455.3	5.1586	0.15958	1458.6	5.1110	0.14239	1461.2	5.0686
20	0.18721	1473.0	5.2196	0.16138	1464.9	5.1328	-	-	-
30	0.19610	1500.4	5.3115	0.16947	1493.5	5.2287	0.14872	1486.5	5.1530
40	0.20464	1526.7	5.3968	0.17720	1520.8	5.3171	0.15582	1514.7	5.2447
50	0.21293	1552.2	5.4770	0.18465	1547.0	5.3996	0.16263	1541.7	5.3296
60	0.22101	1577.1	5.5529	0.19189	1572.5	5.4774	0.16922	1567.9	5.4093
70	0.22894	1601.6	5.6254	0.19896	1597.5	5.5513	0.17563	1593.3	5.4847
80	0.23674	1625.8	5.6949	0.20590	1622.1	5.6219	0.18191	1618.4	5.5565
100	0.25205	1673.7	5.8268	0.21949	1670.6	5.7555	0.19416	1667.5	5.6919
120	0.26709	1721.4	5.9512	0.32380	1718.7	5.8811	0.20612	1716.1	5.8187
140	0.28193	1769.2	6.0698	0.24590	1766.9	6.0006	0.21787	1764.5	5.9389
160	0.29663	1817.3	6.1837	0.25886	1815.3	6.1150	0.22948	1813.2	6.0541
180	0.31121	1866.0	6.2935	0.27170	1864.2	6.2254	0.24097	1862.4	6.1649
200	0.32570	1915.3	6.3999	0.28445	1913.6	6.3322	0.25236	1912.0	6.2721
220	0.34012	1965.2	6.5032	0.29712	1963.7	6.4358	0.26368	1962.3	6.3762
240	0.35447	2015.8	6.6037	0.30973	2014.5	6.5367	0.27493	2013.2	6.4774
260	0.36876	2067.1	6.7018	0.32228	2065.9	6.6350	0.28612	2064.8	6.5760
280	0.38299	2119.1	6.7975	0.33477	2118.0	6.7310	0.29726	2117.0	6.6722
300	0.39718	2171.8	6.8911	0.34722	2170.9	6.8242	0.30835	2170.0	6.7662

Вредност енталпије h_2 износи $1601,6 \text{ kJ/kg}$, па се снага компресора може одредити из једначине 3:

$$W_{cv} = Q_m(h_2 - h_1) = 0,272 \text{ kg/s} (1601,6 \text{ kJ/kg} - 1563,7 \text{ kJ/kg}) = 10,3 \text{ kW}$$

5. Тестови знања

1. Ако је екстремна температура околине у току дана $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ колика би била потребна температура кондензације расхладног средства у кондензатору:

- а) $45\text{ }^{\circ}\text{C}$
- б) $37\text{ }^{\circ}\text{C}$
- в) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- г) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

2. Одредити средњу спољашњу температуру у летњем периоду, ако је средња месечна температура најтоплијег месеца за период од последњих 10 година $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, док је средња вредност максималних температура најтоплијег месеца за период од последњих 10 година $34\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- а) $28,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- б) $32\text{ }^{\circ}\text{C}$
- в) $23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- г) $27,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

3. За колико треба увећати средњу температуру у летњем периоду из претходног задатка услед сунчеве радијације, ако су зидови хладњаче окренути према југу и западу.

- а) $34,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- б) $38\text{ }^{\circ}\text{C}$
- в) $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- г) $31,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

4. Одредити коефицијент пролаза топлоте кроз двослојан зид хладњаче који се састоји од бетона дебљине 20 cm и полистиренске пене дебљине 10 cm. Коефицијент прелаза топлоте са околине на спољашни зид је $30\text{ W/m}^2\text{K}$, коефицијент прелаза топлоте са зида на ваздух коморе је $20\text{ W/m}^2\text{K}$. Коефицијент топлотне проводљивости бетона је $1,28\text{ W/mK}$, а полистиренске пене је $0,03\text{ W/mK}$.

- a) $4,17 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
- б) $2,12 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
- в) $9,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
- г) $12 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

5. Ако је спољна температура ваздуха $35 \text{ }^\circ\text{C}$, температура ваздуха у комори $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, а коефицијент пролаза топлоте као из прошлог примера одредити флуks топлоте кроз двослојан зид хладњаче.

- a) 167 W/m^2
- б) 120 W/m^2
- в) 235 W/m^2
- г) 312 W/m^2

2. Топлотно оптерећење услед расхлађивања и смрзавања производа (Q_2)

1. Ако у комори већ има охлађених и ускладиштених производа, рачунато на складишни капацитет коморе која максимална количина нерасхлађених намирница се може унети у ову комору.

- a) 10%
- б) 20%
- в) 30%
- г) 40%

2. Одредити топлоту расхлађивања и смрзавања грашка (у kW) које се обавља у проточном тунелу капацитета 3500 kg/h , ако је температура грашка на улазу $+15 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура грашка на излазу $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Након замрзавања количина леда у односу на укупан садржај воде у проитводу је $\omega=0,85 \text{ kg/kg}$. За топлотне карактеристике грашка користити Прилог 1 (Јанковић, стр 251)

- a) 291 kW

б) 69 kW

в) 765 kW

г) 106 kW

3. Помоћу енталпијских таблица из Прилога II (Јанковић, стр 253) одредити топлоту расхлађивања и смрзавања јагода у проточном тунелу капацитета 4000 kg/h, ако је температура јагода на улазу +20 °C, а температура јагода на излазу -25 °C.

Q3 – топлота дисања биљних производа

1. Складиште за јабуке има капацитет од 30 тона и температуру складиштења од 2 °C. Складиште је напуњено до 80 % свог капацитета, а следећег дана је допуњен до свог максималног капацитета са јабукама на температури уноса од 20 °C. Одредити укупну топлоту ослобођену дисањем производа у комори (kJ/дан).

а) 70800 kJ/дан

б) 100000 kJ/дан

в) 35000 kJ/дан

г) 15300 kJ/дан

Q4 – топлота проветравања

1. Комора димензија 10 m ×6m ×5m проветрава се ради одстрањивања CO₂. 30 % од укупне запремине коморе је слободно. Ако је максимална дозвољена концентрација CO₂ у комори МДК = 5000 ppm, концентрација CO₂ у ваздуху за проветравање 300 ppm, концентрација CO₂ у комори до које се врши проветравање 400 ppm, одредити запремину ваздуха за проветравање . Интервал проветравања је свака 2 дана.

а) 4830 m³

б) 1300 m³

в) 3540 m³

г) 5600 m³

2. У примеру из прошлог задатка одредити топлоту која се уноси са ваздухом за проветравање (у kW) ако је време проветравања 2 часа на свака 2 дана. Густина ваздуха у комори је 1,2 kg/m³, температура и релативна влажност спољнег ваздуха су 20 °C и 60 %, а температура и влажност у комори су 5 °C и 85 %.

а) 22,53 kW

б) 45,6 kW

в) 15,98 kW

г) 78 kW

3. Комора за складиштење крушки има запремину 200 m³, температуру ваздуха од -1 °C, и релативну влажност од 95 %. Одредити топлотно оптерећење услед отварања врата, ако је температура и релативна влажност спољнег ваздуха су 20 °C и 60 %. Густина ваздуха је 1,2 kg/m³.

а) 43560 kJ/дан

б) 22300 kJ/дан

в) 56780 kJ/дан

г) 12390 kJ/дан

Q5 – топлота хлађења и смрзавања влаге у испаривачу

1. Одредити топлоту смрзавања влаге ваздуха на испаривачу у коме је температура испаравања - 25°C у комори запремине 500 m³, температуре ваздуха у комори -10 °C и влажности 95%, ако се 30 % влаге из ваздуха кондезује на испаривачу. Густина ваздуха је 1,2 kg/m³

а) 16,68 kJ/дан

б) 34,98 kJ/дан

в) 56,89 kJ/дан

г) 10,39 kJ/дан

Прилог II Термодинамичке особине амонијака

Особине амонијака у засићеном стању						
Температура (°C)	Притисак (bar)	Специфична запремина (m ³ /kg)	Специфична енталпија		Специфична ентропија	
			Засићена течност - <i>h_f</i> - (kJ/kg)	Засићена пара - <i>h_g</i> - (kJ/kg)	Засићена течност - <i>s_f</i> - (kJ/kgK)	Засићена пара - <i>s_g</i> - (kJ/kgK)
-50	0.4089	2.625	-44.4	1373.3	-0.194	6.159
-45	0.5454	2.005	-22.3	1381.6	-0.096	6.057
-40	0.7177	1.552	0	1390.0	0	5.962
-35	0.9322	1.216	22.3	1397.9	0.095	5.872
-30	1.196	0.9633	44.7	1405.6	0.188	5.785
-28	1.317	0.8809	53.6	1408.5	0.224	5.751
-26	1.447	0.8058	62.6	1411.4	0.261	5.718
-24	1.588	0.7389	71.7	1414.3	0.297	5.686
-22	1.740	0.6783	80.8	1417.3	0.333	5.655
-20	1.902	0.6237	89.8	1420.0	0.368	5.623
-18	2.077	0.5743	98.8	1422.7	0.404	5.593
-16	2.265	0.5296	107.9	1425.3	0.440	5.563
-14	2.465	0.4890	117.0	1427.9	0.475	5.533
-12	2.680	0.4521	126.2	1430.5	0.510	5.504
-10	2.908	0.4185	135.4	1433.0	0.544	5.475

-8	3.153	0.3879	144.5	1435.3	0.579	5.447
-6	3.413	0.3599	153.6	1437.6	0.613	5.419
-4	3.691	0.3344	162.8	1439.9	0.647	5.392
-2	3.983	0.3110	172.0	1442.2	0.681	5.365
0	4.295	0.2895	181.2	1444.4	0.715	5.340
2	4.625	0.2699	190.4	1446.5	0.749	5.314
4	4.975	0.2517	199.7	1448.5	0.782	5.288
6	5.346	0.2351	209.1	1450.6	0.816	5.263
8	5.736	0.2198	218.5	1452.5	0.849	5.238
10	6.149	0.2056	227.8	1454.3	0.881	5.213
12	6.585	0.1926	237.2	1456.1	0.914	5.189
14	7.045	0.1805	246.6	1457.8	0.947	5.165
16	7.529	0.1693	256.0	1459.5	0.979	5.141
18	8.035	0.1590	265.5	1461.1	1.012	5.118
20	8.570	0.1494	275.1	1462.6	1.044	5.095
22	9.134	0.1405	284.6	1463.9	1.076	5.072
24	9.722	0.1322	294.1	1465.2	1.108	5.049
26	10.34	0.1245	303.7	1466.5	1.140	5.027
28	10.99	0.1173	313.4	1467.8	1.172	5.005
30	11.67	0.1106	323.1	1468.9	1.204	4.984

32	12.37	0.1044	332.8	1469.9	1.235	4.962
34	13.11	0.0986	342.5	1470.8	1.267	4.940
36	13.89	0.0931	352.3	1471.8	1.298	4.919
38	14.70	0.0880	362.1	1472.6	1.329	4.898
40	15.54	0.0833	371.9	1473.3	1.360	4.877
42	16.42	0.0788	381.8	1473.8	1.391	4.856
44	17.34	0.0746	391.8	1474.2	1.422	4.835
46	18.30	0.0706	401.8	1474.5	1.453	4.814
48	19.29	0.0670	411.9	1474.7	1.484	4.793
50	20.33	0.0635	421.9	1474.7	1.515	4.773

Температура	p=50 kPa, $t_{3ac} = -46.5^{\circ}\text{C}$ $v=1289.3 \text{ m}^3/\text{kg}$, $h=1398.1 \text{ kJ/kg}$, $s=6.3732$			p=100 kPa, , $t_{3ac} = -33.6^{\circ}\text{C}$		
	v	h	s	v	h	s
$^{\circ}\text{C}$	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kgK	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kgK
-40	2.2427	1299.7	6.4332			
-30	2.3450	1315.9	6.5223	1.1573	1426.4	6.1424
-20	2.4464	1332.0	6.6077	1.2102	1448.6	6.2518
-10	2.5471	1348.1	6.6898	1.2622	1470.5	6.3369
0	2.6474	1364.3	6.7687	1.3137	1492.4	6.4184
10	2.7472	1380.5	6.8449	1.3647	1514.1	6.4966
20	2.8466	1396.7	6.9187	1.4153	1535.8	6.5719
30	2.9458	1413.1	6.9902	1.4657	1557.5	6.6447
40	3.0447	1429.6	7.0596	1.5158	1579.3	6.7152
50	3.1435	1446.1	7.1273	1.5658	1601.0	6.7837
60	3.2417	1462.8	7.1931	1.6153	1622.9	6.8502
70	3.3406	1479.7	7.2576	1.6652	1644.8	6.9152
80	3.4389	1496.7	7.3205	1.7148	1666.9	6.9786
90	3.5373	1513.8	7.3821	1.7643	1689.1	7.0406

100	3.6355	1531.1	7.4425	1.8137	1711.5	7.1013

Температура	p=200 kPa, t _{зач} = -18.9°C			p=300 kPa, , t _{зач} = -9.2°C		
	v	h	s	v	h	s
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK
-10	0.6192	1460.3	5.9683			
0	0.6466	1483.6	6.0553	0.4238	1474.4	5.8312
10	0.6733	1506.5	6.1377	0.4425	1498.7	5.9183
20	0.6995	1529.2	6.2164	0.4608	1522.4	6.0008
30	0.7255	1551.7	6.2919	0.4787	1545.7	6.0790
40	0.7513	1574.1	6.3645	0.4964	1568.8	6.1539
50	0.7768	1596.4	6.4347	0.5138	1591.7	6.2259
60	0.8023	1618.7	6.5027	0.5311	1614.5	6.2953
70	0.8275	1641.1	6.5687	0.5483	1637.2	6.3626
80	0.8527	1663.5	6.6330	0.5653	1660.0	6.4279
90	0.8778	1685.9	6.6958	0.5823	1682.7	6.4914
100	0.9028	1708.5	6.7572	0.5992	1705.6	6.5534
-10	0.6192	1460.3	5.9683	0.4238	1474.4	5.8312
0	0.6466	1483.6	6.0553	0.4425	1498.7	5.9183
10	0.6733	1506.5	6.1377	0.4608	1522.4	6.0008

Температура	p=400 kPa, t _{зач} = -1.9°C			p=500 kPa, , t _{зач} = 4.1°C		
	v	h	s	v	h	s
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK
0	0.3123	1464.9	5.6634			
10	0.3270	1490.5	5.7556			
20	0.3413	1515.4	5.8418	0.2695	1508.1	5.7138
30	0.3552	1539.6	5.9233	0.2923	1557.9	5.8783
40	0.3688	1563.4	6.0005	0.3141	1605.9	6.0267
50	0.3823	1586.9	6.0744	0.3354	1652.9	6.1637
60	0.3954	1610.2	6.1452	0.3562	1699.6	6.2923
70	0.4086	1633.4	6.2138	0.3768	1746.3	6.4144
80	0.4216	1656.4	6.2801	0.3973	1793.4	6.5313
90	0.4345	1679.5	6.3445	0.4176	1841.0	6.6437
100	0.4473	1702.6	6.4072	0.4377	1889.2	6.7524

Температура	p=600 kPa, t _{3ac} = 9.3°C			p=700 kPa, , t _{3ac} = 13.8°C		
	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK
10	0.2112	1473.2	5.5098			
20	0.2215	1500.6	5.6049	0.1872	1492.8	5.5090
40	0.2412	1552.3	5.7756	0.2047	1546.5	5.6863
60	0.2598	1601.4	5.9277	0.2210	1596.9	5.8423
80	0.2778	1649.3	6.0672	0.2367	1645.6	5.9842
100	0.2955	1696.5	6.1974	0.2521	1693.5	6.1161
120	0.3129	1743.7	6.3206	0.2671	1741.1	6.2405
140	0.3300	1791.1	6.4382	0.2820	1788.9	6.3589
160	0.3470	1839.0	6.5513	0.2967	1837.0	6.4726
180	0.3639	1887.4	6.6605	0.3113	1885.6	6.5824

Температура	p=800 kPa, t _{3ac} = 17.8°C			p=1000 kPa, , t _{3ac} = 24.9°C		
	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kgK
20	0.1614	1484.7	5.4222			
40	0.1772	1540.6	5.6065	0.1387	1528.3	5.4672
60	0.1919	1592.3	5.7668	0.1511	1582.9	5.6365
80	0.2059	1641.9	5.9113	0.1627	1634.3	5.7864
100	0.2196	1690.4	6.0449	0.1739	1684.1	5.9236
120	0.2328	1738.5	6.1704	0.1848	1733.1	6.0515
140	0.2459	1786.5	6.2897	0.1955	1781.9	6.1725
160	0.2589	1834.9	6.4040	0.2060	1830.8	6.2881
180	0.2717	1883.8	6.5142	0.2164	1880.1	6.3994



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union



Building Capacity of Serbian Agricultural
Education to Link with Society
CaSA



TEMPUS projekat:
Izgradnja kapaciteta srpskog obrazovanja
u oblasti poljoprivrede radi povezivanja sa društvom (CaSA)
544072-TEMPUS-1-2013-1-RS-TEMPUS-SMHES (2013 – 4604 / 001 - 001)

Koordinator:
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet

WP4 (DEV) - Modernizacija nastavnih sadržaja

**4.3. Razvoj klasičnih stručnih kurseva za
nastavnike srednjih poljoprivrednih škola i agronome u savetodavnim službama**

**4.4. Razvoj on-line stručnih kurseva za
nastavnike srednjih poljoprivrednih škola i agronome u savetodavnim službama**

WP7 (DEV) - Pilot implementacija stručnih kurseva

7.1. Implementacija klasičnih stručnih kurseva

7.2. Implementacija on-line stručnih kurseva



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union



Building Capacity of Serbian Agricultural
Education to Link with Society
CaSA

