

SISTEMI ZA SKLADIŠTENJE RASHLADNE ENERGIJE I NJIHOVA PRIMENA
SYSTEMS FOR THE STORAGE COOLING ENERGY AND THEIR APPLICATIONLaslo Albert, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Tema rada jeste korišćenje leda za skladištenje energije. Uskladišteni led se može koristiti za razne namene, od hlađenja komercijalnih objekata, preko naprednih sistema grejanja, pa sve do povećanja efikasnosti gasnih turbina. Pomoću skladištenja rashladne energije, moguće je napraviti velike uštede tokom čitavog životnog veka sistema.

Ključne reči: Skladištenje rashladne energije, Rashladni uređaji, Rezervoar za skladištenje, Strategije rada i kontrola.

Abstract – The theme of the work is the use of ice for energy storage. Stored ice can be used for various purposes from cooling commercial spaces up to increasing the efficiency of gas turbines. By storing cooling energy, it is possible to make significant savings during the system's lifetime.

Keywords: Refrigeration energy storage, Refrigeration devices, Storage tank, Work and control strategies.

1. UVOD

Skladištenje toplotne energije u današnje vreme dobija sve veću pažnju. Rezerve fosilnih goriva u svetu se veoma brzo troše i moramo da što više koristimo zelene izvore energije, odnosno, obnovljive izvore energije.

Najveća mana obnovljivih izvora energije jeste njihova intermitentnost na šta čovek ne može da utiče. I najčešće proizvodnja električne energije iz sunca i vetra nije u skladu s potrošnjom. Ne može se uključiti kad je potrebna i ne može se isključiti kada postoji višak u sistemu i zbog ovoga moramo da menjamo konvencionalne metode upravljanja električnim sistemima, da bismo što više iskoristili ove izvore energije.

Jedno alternativno rešenje za stabilizaciju jeste da kada postoji višak energije u sistemu taj višak električne energije pretvorimo pomoću odgovarajuće mašine u rashladnu energiju. Pomoću rashladne energije napravimo led i tako akumuliramo rashladnu energiju za kasnije potrebe.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Borivoj Stepanov

2. KORIŠĆENJE FAZNE TRANSFORMACIJE ZA SKLADIŠTENJE ENERGIJE

Kod skladištenja leda se koristi latentna toplota promene faze vode. Količina energije je 335kJ/kg, što približno odgovara energiji koja je potrebna za zagrevanje vode od 0°C do 80°C. Količina energije zavisi od konačnog procenta leda u vodenom rezervoaru i koliko iznosi površina za promenu temperature. Prosečan kapacitet je 0,02-0,03 m³/kWh. Tačka mržnjenja vode je na 0°C. Rashladni uređaji moraju koristiti rashladni fluid sa temperaturom od -9 do -3 °C kako bi skladište leda funkcionisalo normalno. Pošto je temperatura takvog sistema mnogo niža u odnosu na konvencionalne sisteme, moraju se koristiti uređaji koji trpe niske temperature. Fluid za prenos toplote može da bude direktno freon ili neka mešavina vode i glikola.

3. GLAVNE JEDINICE POSTROJENJA ZA SKLADIŠTENJE LEDA

1. Mašine koje transformišu električnu energiju u rashladnu energiju,
2. Skladište rashladne energije, odnosno, skladište leda,

3.1 Rashladni uređaji

Najčešće se koriste kompaktni rashladni uređaji za hlađenje ili ugrađena rashladna postrojenja. Rashladni uređaji koje koristimo za skladištenje leda su parne kompresione mašine. Temperatura izlaznog fluida iz uređaja je od -9 do -3°C. Efikasnost može da bude veća od COP 5, čak može da bude i preko COP 6 kada se uređaj ne koristi pri maksimalnom opterećenju. Što je skladište bliže popunjenosti to efikasnost malo pada. Skoro uvek postoji porast efikasnosti rashladnih uređaja sa snižavanjem temperature tokom noći.

3.2 Rezervoar za skladištenje

Rezervoar za skladištenje hladne toplotne energije mora da bude dovoljno čvrst da izdrži hidro statičku silu vode, mešavine leda i vode. On mora biti vodonepropusan i, takođe, mora biti otporan na koroziju. Rezervoari koji se nalaze na otvorenom moraju biti otporni na vremenske uslove, da bi sprečili vodu ili vodenu paru da prodru u spoljašnju izolaciju.

Za rezervoare izložene sunčevom zračenju, dobici toplote radijacijom mogu biti značajni. Tada se preporučuje pokrivanje reflektujućim materijalom kako bi se smanjila dobijena toplotna energija od sunca.

Ukopani rezervoari moraju da izdrže težinu zemljinog pokrivača kao i predviđeno dodatno opterećenje. Delimično ili potpuno ukopani rezervoari takođe treba da budu projektovani da izdrže opterećenja tla na zidove rezervoara kao i hidro-statički pritisak podzemnih voda koji može uticati na rezervoar ako se voda ukloni iz rezervoara. Toplotni dobici su 1- 5% po danu. Ovi dobici zavise od veličine i površine rezervoara i koeficijenta prolaza toplote kroz zidove rezervoara. Rezervoari za skladištenje su uglavnom napravljeni od čelika, betona, fiberglasa ili plastike. Bez obzira na materijal, rezervoar treba da bude projektovan i instaliran tako da nema curenja tečnosti iz njega.

4. SKLADIŠTENJE LEDA ZA HLAĐENJE

Za funkciju skladištenja leda možemo koristiti svaki rashladni sistem koji radi sa hladnom vodom. Korišćenje i jednog i drugog sistema je identično, jedina razlika je ako je sistem opremljen skladištenjem. Tada se potrošnja pogonske energije može pomeriti za neki drugi vremenski period. Zbog promena vremenskih uslova na taj način se može postići značajna ušteda i energije i novca.

Najveća potrošnja rashladne energije javlja se tokom dana kad je električna energija skupa, rashladne mašine tokom dane rade sa nižom efikasnošću. Idealno je kada se rashladna energija proizvodi noću, kada je električna energija jeftina i spoljašnja temperatura niža, a da istu koristimo tokom dana.

4.1 Princip rada skladišta leda

Rashladna mašina hladi glikol na temperaturu od -6 do -5 °C. Hladan glikol se pumpom dovodi do skladišta gde cirkuliše kroz cevnu zmiyu koja se nalazi u rezervoaru koji je napunjen vodom (slika 1). Ledeni prsten se formira oko svakog namotaja.

Period formiranja leda dešava se kada je električna energija jeftina. Na pikovima kada je struja najskuplja rashladni uređaji se isključe. Tečnost koja je potrebna za hlađenje cirkuliše kroz namotaje i hladi, tako uskladištena rashladna energija može se transportovati na mesta gde je potrebna.

4.2 Topljenje leda

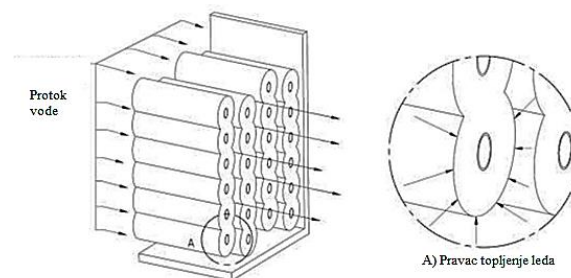
4.2.1 Spoljašnje topljenje

Led se skladišti na spoljašnjim površinama zavojnice za razmenu toplote potopljene u rezervoar za vodu bez pritiska (slika 1). Kod ovog rešenja totalna napunjenost znači da se u rezervoaru nalazi približno 65% leda i 35% vode.

Led se formira cilindrično oko namotaja. Povratna toplija voda protiče kroz rezervoar gde dodiruje zamrznute površine i otapa se led sa spoljašnje strane. Voda iz otopljenog leda cirkuliše u sistemu, obezbeđuje temperaturu pražnjenja od 1°C do 2°C.

Sloj leda debljine od 40 do 65 mm se formira na cevima, u zavisnosti od primene. Veća debljina zahteva niže temperature punjenja. Na mestima gde su poželjne više temperature punjenja i veća efikasnost koristi se tanji led. Ako se skladište prepuni, led se može zamrznuti između susednih cevi.

Ovakav sistem koristi dva različita radna fluida: glikol za formiranje leda i cirkulaciju kroz namotaje, i vodu odnosno otopljeni led koja cirkuliše kroz rashladni sistem.



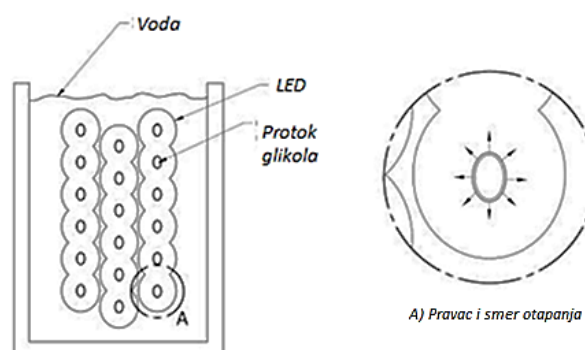
Slika 1. Spoljašnje topljenje

4.2.2 Sistemi sa unutrašnjim topljenjem

Sistemi koriste sekundarno rashladno sredstvo, obično etilen ili propilen glikol, kao fluid za punjenje i pražnjenje toplote, koji cirkuliše kroz cevi ili kalemove potopljene u rezervoare napunjene vodom. (slika 2) Da bi se napravio led, rashladni uređaj hladi rashladnu tečnost na -6°C do -3°C, a led se formira na spoljašnjoj strani cevi. Završetak punjenja je kada količina leda u rezervoaru stigne na određeni nivo 65-80% leda.

Rashladni namotaji nalaze se bliže jedni drugima u odnosu na sisteme sa spoljašnjim topljenjem, i dozvoljeno je da se formirani led oko namotaja dodiruje. Prilikom punjenja glikol cirkuliše kroz namotaje skladišta i rashladnog uređaja, a prilikom pražnjenja isti glikol se koristi za rashladni sistem, i povratni topliji glikol otapa led prema unutrašnjoj strani. Mogu da se obezbede stalne temperature pražnjenja od 2°C do 3°C, koje zavise od brzine pražnjenja i količine preostalog leda. Takav sistem se najčešće povezuje redno sa rashladnim uređajem[2].

Takav sistem je najbolje koristiti u slučaju delimičnog skladištenja, rashladni uređaj prethodno hladi topli povratni fluid iz zgrade pre ulaska u rezervoare za skladištenje. Ovaj raspored obezbeđuje efikasniji rad rashladnog uređaja zbog viših radnih temperatura



Slika 2. Spoljašnje topljenje

5. STRATEGIJE RADA I KONTROLA

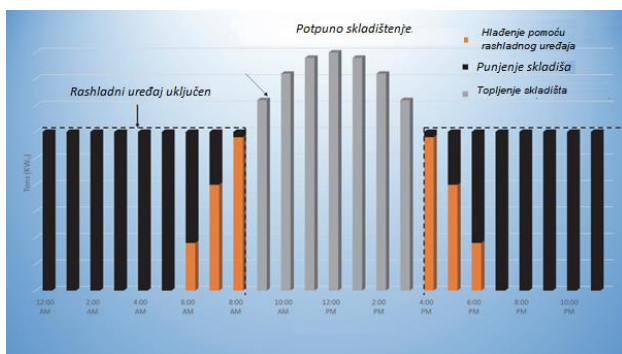
Ako želimo da napravimo dobar sistem za skladištenje neophodno je izabrati najbolju strategiju u zavisnosti od sistema. Prilikom konstruisanja sistema prvo se mora definisati koje vrste skladištenja ćemo koristiti. Vrste sistema su:

- Potpuno skladištenje
- Delimično skladištenje
- Osnovno opterećenje rashladnih uređaja
- Identifikovanje perioda promene potražnje
- Dnevni ciklusi punjenja
- Nedeljni ili drugi ciklusi punjenja
- Prioritet rashladnog uređaja
- Kontrola brzine punjenja
- Predviđanje opterećenja
- Prioritet obnovljivih izvora energije

5.1 Potpuno skladištenje

Strategija potpunog skladištenja prenosi celokupno opterećenje hlađenja na vrhuncu na periode van špica. (slika 3) Rashladna oprema ne radi tokom vršnih sati, a sva potrebna rashladna opterećenja dolaze iz skladišta.

Takav sistem zahteva relativno velike kapacitete za hlađenje i za skladištenje. Ovakvo rešenje se koristi na mestima gde su troškovi na vršnoj potražnji visoki ili gde je period vršnog opterećenja relativno kratak. Kontrola ovog tipa sistema je relativno jednostavna [1].

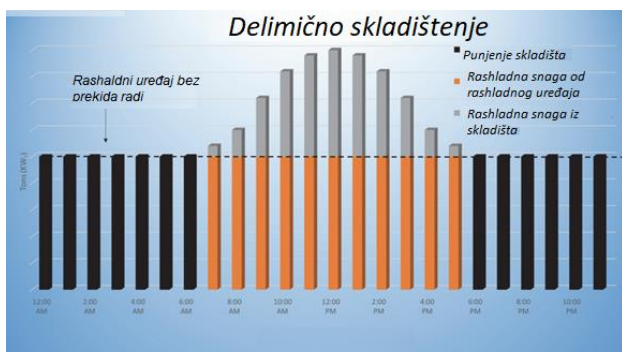


Slika 3. Potpuno skladištenje

5.2. Delimično skladištenje

U sistem delimičnog skladištenja na pikovima potrošnje jedan deo rashladne energije se izvlači iz skladišta, a drugi deo se dobije iz rashladne mašine. Operativne strategije delimičnog skladištenja mogu se dalje podeliti na rad sa nivelisanjem opterećenja i rad sa ograničenjem potražnje.

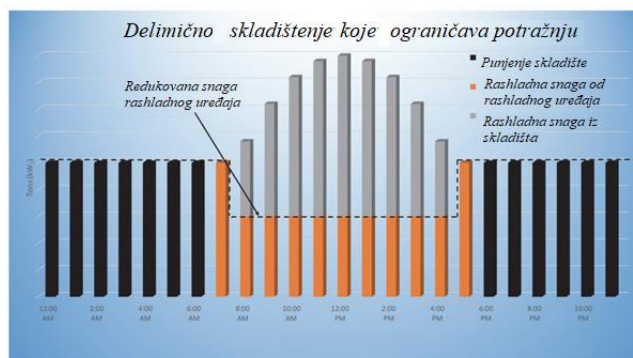
Sistem za nivelisanje opterećenja - radi sa rashladnom opremom koja radi sa konstantnim kapacitetom tokom projektovanog radnog ciklusa, obično 24 sata (slika 4).



Slika 4. Sistem delimičnog skladištenja sa nivelisanjem opterećenja

Kada je opterećenje hlađenja manje od izlazne snage iz rashladnog uređaja, onda se višak skladišti, a kada je opterećenje veće od kapaciteta rashladnog uređaja, onda se razlika ispušta iz skladišta. Kod ovog modela se minimizira potreban kapacitet hlađenja i kapacitet skladištenja. Operacija nivelisanja opterećenja je posebno atraktivna na mestima gde je vršno opterećenje hlađenja mnogo veće od prosečnog opterećenja [1].

Sistem delimičnog skladištenja koji ograničava potražnju: Rashladna oprema radi sa smanjenim kapacitetom ili po potrebi tokom vršnog perioda (slika 5). Ovaj sistem se nalazi u sredini između potpunog skladištenja i nivelisanja opterećenja. Uštede na potražnji, kao i troškovi opreme, veći su od sistema za nivelisanje opterećenja, a niži od onih sa sistemom sa pomeranjem opterećenja.



Slika 3. Sistem delimičnog skladištenja koji ograničava potražnju

6. SKLADIŠTENJE RASHLADNE ENERGIJE SPECIJALNE NAMENE

6.1. Hlađenje usisnog vazduha gasne turbine

Skladištenje rashladne energije može povećati kapacitet i efikasnost gasnih turbina prethlađenjem ulaznog vazduha. Gasne turbine koje koriste naftu ili prirodni gas obično generišu punu nominalnu snagu pri temperaturi ulaznog vazduha od 15°C. Pri višim temperaturama ulaznog vazduha smanjuje se gustina, a time i maseni protok vazduha, smanjujući snagu i efikasnost iskorišćenja goriva. Kapacitet i efikasnost se mogu povećati hlađenjem ulaznog vazduha vodom ili direktnim hlađenjem.

Optimalna temperatura ulaznog vazduha je obično u opsegu od 4,4°C do 10°C, u zavisnosti od modela turbine. U letnjim danima kad je temperatura 38°C, gasna turbina koja pokreće generator može da izgubi do 25% svoje nominalne proizvodnje. Ovo smanjenje izlazne snage generatora se dešava u najnepovoljnijem trenutku kada je najpotrebnija dodatna električna snaga iz turbina sa vršnim ciklusom. Ovaj izgubljeni kapacitet može se povratiti ako se ulazni vazduh veštački ohladi [2].

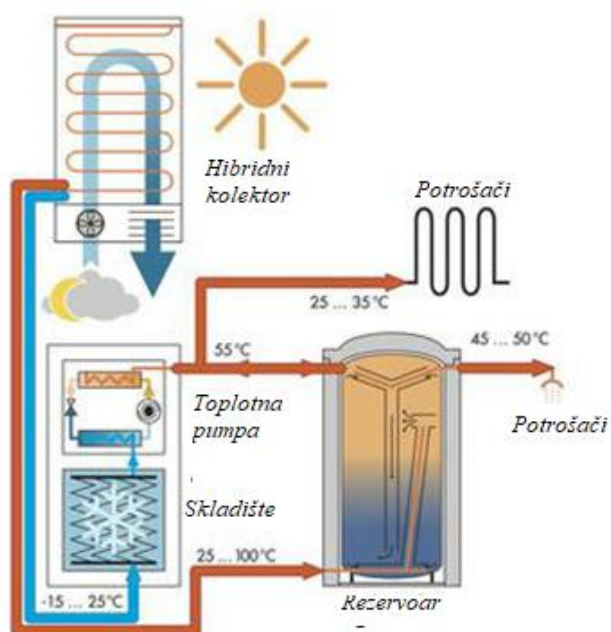
6.2. Skladištenje leda za grejanje

Ovo je jedno neobično i savremeno rešenje korišćenja leda za grejanje. U nekim slučajevima nemoguće je koristiti ni jedno konvencionalno rešenje za grejanje. Problemi se najčešće javljaju kada se ne sme narušiti izgled zgrada sa dimnjakom, kada ne postoji distributivni sistem prirodnog gasa, zbog nekog razloga, toplotne sonde se ne mogu izgraditi, ili se ne sme koristiti bučan

sistem (toplotna pumpa vazduh-voda ili vazduh-vazduh). U tim slučajevima je idealno rešenje toplotna pumpa sa skladištenjem leda zajedno sa hibridnim solarnim kolektorima (slika 6) [4].

Sistem se sastoji od velikog betonskog rezervoara koji se kopa na dvorištu. Toplotna izolacija je nepotrebna, jer ako se stavlja izolacija, gube se dobici toplotne energije od zemlje. Osnovni princip takvog sistema jeste kada se neka materija iz čvrstog stanja pretvori u tečno oslobađa se velika količina energije.

Na rezervoaru se nalaze dva posebna kruga za razmenu toplote. Jedan krug dolazi od solarnog panel-kolektora koji u istom vremenu proizvodi struju i toplotnu energiju. Toplotna energija je u ovom slučaju otpadna energija, i koristi se za topljenje leda u rezervoaru, odnosno za skladištenje toplotne energije. Drugi krug je povezan sa toplotnom pumpom koja snabdeva potrošače toplotom.



Slika 4. Šematski prikaz hibridni sistem

7. ZAKLJUČAK

U današnje vreme čovečanstvo koristi sve više energije. Trenutno razvijamo znanja i tehnologije kako bi se što više mogli koristiti obnovljivi izvori energije, a sa druge strane moramo da što racionalnije koristimo fosilna goriva. Gradovi rastu konstantno i veoma velika količina energije troši se za klimatizaciju. Za bolje korišćenje resursa jedno dobro rešenje jeste skladištenje energije.

Najčistija i najjeftinija energija koja se može skladištiti dolazi od vetra i Sunca, ali te energije nisu uvek dostupne, i nisu ravnomerne. Da bi se uskladištile energije Sunca i vetra moraju se pretvarati u neki drugi oblik, npr. u električnu energiju, toplotnu energiju, potencijalnu energiju. Električna energija se može skladištiti jedino u akumulatorima, ali to je veoma skupo, a proizvodnja akumulatora je jako prljava tehnologija.

Toplotna energija se može jednostavnije čuvati. Najveći kapacitet skladišta može se postići ako se javlja fazna transformacija nekog materijala. Voda je jako dobar materijal za skladištenje jer se fazna transformacije javlja na povoljnim temperaturama i pritiscima. Fazna transformacija tečne vode na čvrsto, odnosno na led, javlja se ispod 0°C na atmosferskom pritisku i može se uskladištiti 335 kJ/kg energije.

8. LITERATURA

- [1] Jason Glazer, PE, BEMP, ASHRAE Design Guide for Cool Thermal Storage 2019. Atlanta
- [2] THERMAL ICE STORAGE: Application & Design Guide, EVAPCO
- [3] Ibrahim Dincer and Marc A. Rosen, THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS AND APPLICATIONS, SECOND EDITION, 2022
- [4] <https://www.energie-experten.org/heizung/solar-thermie/solarkollektoren/hybridkollektoren>, dostupno 09.11.2022

Kratka biografija:



Laslo Albert rođen je u Senti 1995. god. Osnovne studije završio 2020, na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetika i procesna tehnika tehnika

kontakt: 3x3ms1@gmail.com