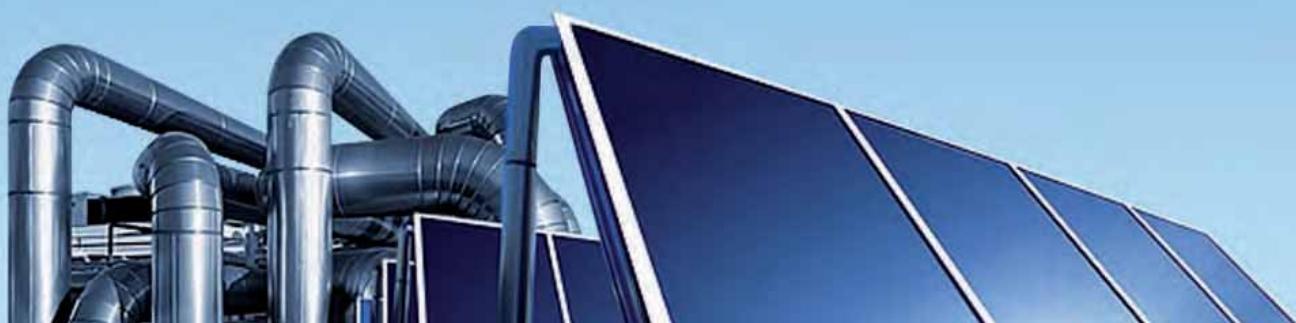


SO-PRO SONČNA PROCESNA TOPLOTA

Proizvodnja sončne procesne toplote:
Priročnik za načrtovanje solarno termalnih sistemov
v izbranih industrijskih procesih

www.solar-process-heat.eu



SONČNA PROCESNA TOPLOTA

IZDALA:

Energetska agencija za Podravje - zavod za trajnostno rabo energije
Smetanova ulica 31
2000 Maribor
Tel: 02 234 23 60
Faks: 02 234 23 61
www.energap.si

AVTORJI:

Stefan Heß, Fraunhofer ISE, dipl.inž., Nemčija
Axel Oliva, Fraunhofer ISE, dipl.inž., Nemčija
dr. Vlasta Krmelj, univ.dipl.inž., Slovenija
Marko Rojs, univ.dipl.gosp.inž.str., Slovenija

UREDILA: Klavdija Polutnik, univ.dipl.ekon.

TISK in OBLIKOVANJE: HOPA d.o.o.

NAKLADA: 500 kom

LETO IZDAJE: 2010

Vsebina tega priročnika se nanaša na Evropsko verzijo priročnika z naslovom: »Solar Process Heat Generation: Guide on Solar Thermal System Design for Selected Industrial Processes«, ki ga je izdelal inštitut Fraunhofer za Solarno energetske sisteme ISE iz Nemčije. Evropska verzija priročnika je na voljo na spletni strani www.solar-process-heat.eu.

Projekt sofinancira Evropska komisija. Za vsebino dokumenta je odgovorna EnergaP in v nobenem pogledu ne izraža stališča Evropske Komisije.



Medtem, ko je evropski trg solarnega ogrevanja za domačo uporabo in na področju storitvenih dejavnosti dobro razvit, ostaja možnost uporabe solarnih sistemov ogrevanja vode v proizvodnji neizkoriščen. Potencial je sicer zelo velik, saj je približno 30 % celotnih potreb po energiji v industriji na temperaturnem nivoju pod 100°C. To pomeni, da se lahko del te toplotne ustvari s tržno dostopnimi sončnimi sprejemniki. Vendar pa je bilo v okviru programa IEA Task 33 v Evropi identificiranih le 70 takšnih industrijskih uporab solarnih sistemov.

Projekt SO-PRO (*Solar Process Heat – Solarno ogrevanje v proizvodnji*) je sofinanciran s strani Evropske komisije v okviru programa Inteligentna energija Evrope. V projektu sodeluje 6 regionalnih partnerjev iz 5 držav (Avstrije, Španije, Češke, Nemčije in Slovenije) in 2 znanstvena partnerja z namenom strokovne in znanstvene podpore na področju solarnih termalnih tehnologij in industrijskih procesov.

Glavni cilj projekta je zato v vsaki partnerski regiji izvesti 2 pilotna projekta solarnega termalnega sistema na področju industrijske oz. obrtne dejavnosti. Namen projekta je tudi informiranje in izobraževanje ključnih ciljnih skupin za povečanje trga in uporabe solarnega ogrevanja v proizvodnji in razvoj novih storitev na področju solarnega pogodbenega sodelovanja.

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

1	UVOD	5
1.1	Evropska iniciativa – Uporaba sončne procesne toplote – SO-PRO	5
1.2	Velik potencial sončne procesne toplote	5
1.3	Namen in uporaba smernic za načrtovanje	5
2	Realizirani PRIMERI prednostnih oblik uporabe	7
3	UVODNA analiza	9
3.1	Gradnja in omejitve	9
3.2	Toplotni procesi in topotno distribucijsko omrežje	10
3.3	Bodoči načrti podjetja	11
3.4	Optimizacijski postopki in ukrepi za varčevanje z energijo	12
4	OSNOVNI KORAKI pri zasnovi sistema za sončno procesno toploto	13
4.1	Izračun profila toplotne obremenitve in profila za solarni sistem	13
4.2	Pred-dimenzioniranje polja sprejemnikov in hranilnikov	15
4.3	Določitev tipa sprejemnikov	16
4.4	Sistemske simulacije	17
4.5	Nomogrami zaslove sistema	17
5	Oblikovanje sistema za PREDNOSTNE OBLIKE UPORABE	22
5.1	Ogrevanje vroče vode za PRANJE in ČIŠČENJE	22
5.2	Predogrevanje DOVAJALNE VODE omrežja s procesno paro	24
5.3	Ogrevanje industrijskih KOPELI	26
5.4	Konvekcijsko SUŠENJE z vročim zrakom	30
6	Vidiki OBLIKOVANJA in VZDRŽEVANJA obratov za proizvodnjo sončne procesne toplote	33
6.1	Povezovanje s procesom/sistem za pripravo konvekcijske toplote	33
6.2	Mirovanje	33
6.3	Delovanje solarnega toplotnega sistema	35
7	Stroški sistema in subvencije	36
7.1	Običajni stroški sistema	36
7.2	Programi subvencioniranja	36
8	Literatura in viri/dodatne informacije	37
9	Energetska agencija za Podravje	38



1 UVOD

1.1 Evropska iniciativa – Uporaba sončne procesne toplotne – SO-PRO

Uporaba sončne energije za pridobivanje sončne toplotne v gospodinjstvih in storitvenem sektorju je v porastu tako v Sloveniji kot Evropski uniji. Njena uporaba v industrijskih procesih je v začetni fazi tržnega razvoja. Projekt SO-PRO namerava, s podporo programa »IntelligentEnergyEurope«, razviti trge za sončno procesno toploto v 6 evropskih regijah - Gornja Avstrija, Castillas in Madrid v Španiji, južna Bohemia, Češka republika, Severni Ren Vestfalija in Saška v Nemčiji in Maribor, Podravska regija v Sloveniji.

Projektne aktivnosti so usmerjene v povečanje znanja in informiranosti ter zavedanja ključnih oseb v tehnoloških procesih in proizvodnji solarnih sistemov. Z izvedbo šolanj in pripravo informativnih gradiv za strokovnjake in z razvojem specifičnih podpornih dokumentov, želimo izvesti 12 pilotnih projektov implementacije uporabe sončne procesne toplotne. Celovite aktivnosti širjenja informacij zagotavljajo uporaboznanja po celotni Evropi.

1.2 Velik potencial sončne procesne toplotne

Potencial za ustvarjanje sončne toplotne energije je izjemno velik: V Evropi je industrija odgovorna za približno 27 odstotkov celotnega povpraševanja po toplotni energiji. Približno 30 odstotkov povpraševanja zajema toplotna energija temperature do 100 °C, 27 odstotkov pa toplotna energija temperature med 100 in 400 °C [1]. Precejšen del take toplotne energije, še posebej tiste, ki je ogreta do 100 °C, je mogoče proizvesti s sončnimi toplotnimi postrojenji. Prehrambna proizvodnja ter proizvodnja pijač, tekstila in obdelovalna industrija, spadajo med najbolj obetajoče industrijske panoge. Veliko obetajo tudi papirna in kemična industrija ter proizvodnja gradbenega materiala [2].

1.3 Namen in uporaba smernic za načrtovanje

Priročnik je namenjen podjetjem, ki se ukvarjajo s solarnimi sistemi, monterjem, specializiranim načrtovalcem, energetskim svetovalcem in raziskovalcem. V njem so zapisana načrtovalna vodila za integracijo sončne toplotne energije v štiri izbrane prednostne tehnološke procese:

- ogrevanje vode za postopke **pranja ali čiščenja**;
- ogrevanje **dodatne vode** za parna omrežja;
- ogrevanje **industrijskih kopeli**;
- konvekcijsko **sušenje** z vročim zrakom.

Navedeni procesi so bili izbrani v okviru projekta zaradi njihovih ugodnih nizkih temperatur in njihove pogostosti v različnih industrijskih panogah.

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

Smernice v priročniku so kratek in praktičen dokument s tehničnimi informacijami o načinu integracije sončne toplotne energije v vsako izmed omenjenih industrijskih procesov. Naš glavni cilj je povezati dve industrijski področji, torej industrijske tehnološke postopke s sončnimi toplotnimi tehnikami. V priročniku smernice za načrtovanje niso zapisane, vendar vseeno omogočajo vpogled v štiri omenjene vrste procesov ter v osnove sončnih toplotnih tehnik. Priporočen in opisan je sistematičen pristop k načrtovanju z več zaporednimi koraki ter razložen z praktičnimi primeri.

Opomba: Zapomnite si, da konceptni sistemi in simulirane oblike pridobitve energije veljajo samo za te štiri specifične predstavljene primere. Čeprav so izbrani primeri značilni za opisane prednostne oblike procesov, se optimalna zasnova solarnega toplotnega sistema, zaradi velike raznolikosti industrijskih sistemov in meteoroloških pogojev, razlikuje od tiste v predstavljenih primerih.

Zato je potrebno rezultate iz tega priročnika individualno prilagoditi, pri tem pa upoštevati različice posameznih industrijskih procesnih sistemov, upravljanje procesov, posledične profile obremenitev in meteorološke pogoje.



2 Realizirani PRIMERI prednostnih oblik uporabe

Montesano (prehrambna industrija, pranje/čiščenje)

V mesnici Montesano proizvajajo različne vrste mesnih izdelkov. Leta 2008 je bil nameščen topotni sistem s sprejemnim poljem velikosti 290 m^2 (203 kW) in shranjevalnim rezervoarjem velikosti 23 m^3 . Sistem omogoča oskrbo s 45 odstotki vse vroče vode, potrebne za pranje in čiščenje, katere temperatura mora biti med 40 in 60 °C. Tako je bila prekinjena uporaba fosilnega goriva oz. nafte. Sistem zaradi ugodnih temperatur in lokacije proizvede 314 MWh na leto (1083 kWh/m^2). Stroški naložbe so znašali 200.000 evrov.



Slika 1: Ploščati sprejemniki na strehi proizvodne dvorane podjetja Montesano na Tenerifih, v La Esperanzi v Španiji

Laguna (tekstilna industrija, ogrevanje dodatne vode in pranje)

Laguna je srednje velika pralnica v industrijskem območju Marburga v Nemčiji. Dva plinska grelnika (vsak moči 300 kW) ustvarjata paro, ki jo parno omrežje razporeja med različne procese. Velik del pare se porabi takoj. Kondenzirana para, ki se ne porabi takoj, se znova odvaja v dovajalni vodni rezervoar. Delovnik podjetja traja od 7.30 do 15.30, obrat ne obratuje ob koncih tedna in običajno ni zaprtja zaradi dopustov.

Leta 2010 je bil nameščen topotni sistem s sprejemnim poljem površine 57 m^2 (40 kW) ter shranjevalnim rezervoarjem velikosti $3,3\text{ m}^3$. Solarni topotni sistem z ogrevanjem destilirane dodatne vode (20 do 90 °C) podpira delno odprto pralno parno omrežje. Predogreva tudi dovajalno vodo (od 90 do največ 120 °C). Sprejemniki v procesnem postopku ogrejejo (20 do 80 °C) vodo za strojno pranje. Sprejemno polje deluje pri temperaturi do 125 °C.



Slika 2: Polje s prototipi izboljšanih ploščatih sprejemnikov (v gradnji). Sprejemniki so dvakrat prekriti (s sončnim steklom in plastično folijo) ter opremljeni z zunanjimi odsevniki.

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

Steinbach&Vollmann (obdelovanje, ogrevanje kopeli)

Podjetje Steinbach&Vollmann, ki se ukvarja z obdelavo kovin, izdeluje ključavnice, pritrtilne elemente in tečaje že več kot 125 let. Z namestitvijo novega gelnega sistema leta 2004, je podjetje zmanjšalo porabo plina za 29 odstotkov. Leta 2008 je bil nameščen solarni topotni sistem z vakuumskimi sprejemniki velikosti 400 m^2 (280 kW) ter s shranjevalnim rezervoarjem velikosti 9 m^3 . Sistem (pred)ogreva 16 galvanskih kopeli (skupne velikosti 21 m^3), z uporabo sistema za polnjenje s povratnim tokom, sistema konvencionalnega ogrevanja in vroče vode za domačo uporabo. Kopeli do neke mere delujejo tudi kot dodaten zbiralnik. Zahtevane delovne temperature kopeli znašajo od 60 do 80 °C. Skupna cena investicije je znašala 240.000 evrov. Podjetje je prejelo subvencijo v višini 300 EUR/m² (120.000 evrov) od regionalne vlade. Zaradi uporabe solarnega topotnega sistema se je preostala poraba plina zmanjšala za nadalnjih 30 do 35 odstotkov. Predvidena je sedemletna amortizacijska doba (vključno s subvencijo).



Slika 3: Vakuumski sončni sprejemniki (400 m^2) na strehi podjetja Steinbach & Vollmann v kraju Heiligenhaus v Nemčiji.

Lammsbräu (pivovarna, konvekcijsko sušenje)

Podjetje Neumarkter Lammsbräu Gebr. Ehrensperger e.K. je pivovarna in sladarna v Neumarktu v Nemčiji z dolgoletno tradicijo. Od leta 1987 se uporablajo samo organsko pridelane sestavine. Leta 2000 so v pivovarni namestili polje enojno zastekljenih zračnih sprejemnikov velikosti 72 m^2 (50 kW). Sistem zračnih sprejemnikov predogreva svež okoliški zrak za namene postopka sušenja v sladarni. Ker se svež zrak uporablja neposredno, uporaba zbiralnika ni potrebna, temperatura zraka pa je zelo primerna za nadaljnje postopke. Postopek predvideva temperaturo do 60 °C.



Slika 4: Ploščat zračni sprejemnik na strehi (odzračevalnik vročega zraka na desni strani)



3 UVODNA analiza

Ob pregledu možnosti za namestitev solarnega toplotnega sistema za podporo toplotnih postopkov v tovarni je potrebno pred oblikovanjem primernega solarnega toplotnega sistema izvesti štiri zaporedne korake:

- analizo gradnikov in omejitve;
- analizo procesnih lastnosti in toplotnega distribucijskega omrežja;
- razpravo o bodočih načrtih podjetja
- analizo možnosti za optimizacijo procesov in varčevanje z energijo.

Stopnja podrobnosti se od prvega proti zadnjemu koraku precej povečuje. Učinek, gospodarnost in zanesljivost solarnega toplotnega sistema so odvisni predvsem od zanesljive analize lastnosti procesov ter ustreznih ukrepov za varčevanje z energijo. Vsako industrijsko postrojenje je potrebno analizirati individualno glede na njihove karakteristike dobave in porabe toplote. Ustrezna izvedba v nadaljevanju opisanih začetnih ukrepov zagotavlja primeren in zanesljiv industrijski energetski koncept, s katerim je mogoče prihraniti predvideno količino energije in je dobra osnova za upravičenje naložbe v sončno toplotno energijo.

3.1 Gradnja in omejitve

Pri odločitvi za načrtovanje je potrebno preveriti ali izhajajo določene omejitve na področju prostora. Priporočamo uporabo kontrolnega seznama SO-PRO za industrijo. V kolikor ste na osnovi kontrolnega seznama ugotovili, da vašemu obratu ustreza kateri izmed kriterijev neveljavnosti, uporaba sončne toplotne energije ni primerna za ta obrat. Če je ocena na podlagi kontrolnega seznama pozitivna, priporočamo obisk obrata in izvedbo naslednjih korakov:

- a) Predhodno se z odgovorno osebo dogovorite, kateri podatki o zgradbi, toplotnem omrežju in industrijskih procesih so potrebni. Tako lahko podjetje zbere in pripravi potrebne informacije. Priporočljivo je, da je ob obisku obrata prisoten tudi usposobljen tehnik ali inženir, ki lahko natančneje razloči postopke in podatke, potrebne za prvo analizo.
- b) Ob obisku izdelajte skico zgradbe oz. zgradb, ki vključujejo osnovne lastnosti, kot so npr. dimenzijske nezasenčenih in dostopnih strešnih površin, njihova usmerjenost in naklon, dostopnost z žerjavom (običajno je potreben), informacije o statiki (če so na voljo) itd.
- c) Izdelajte okviren izračun dostopnih in nezasenčenih strešnih površin, na katerih želite postaviti sprejemno polje, razpoložljivega področja za skladiščni rezervoar (in druge inštalacije) ter izračunajte razdaljo od rezervoarja do sprejemnega polja in do želenih procesov. Posamezne elemente označite na skici.
- d) S tehnikom in z direktorjem obrata se pogovorite o morebitnih pravnih zahtevah ali drugih omejitvah glede namestitve sončnega toplotnega sistema.

3.2 Toplotni procesi in toplotno distribucijsko omrežje

Ob obisku je treba razvrstiti procese obrata, ki potrebujejo toplotno energijo, na odprte in zaprte ter na stalne in nestalne. Posebno pozornost je treba nameniti stalnim odprtим procesom brez ponovne uporabe mase in toplote, saj ti zagotavljajo največji potencial ob integraciji sončnega toplotnega sistema.

¹(na voljo na naslovu <http://www.solar-process-heat.eu/>).

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

Glavni kriteriji procesov, primernih za sončno procesno toploto, so:

- obremenitev nad $\frac{3}{4}$, vključno s poletjem;
- obremenitev vsaj pet dni na teden;
- dnevna obremenitev poleti ne sme biti nižja od dnevne obremenitve v preostalih obdobjih leta.

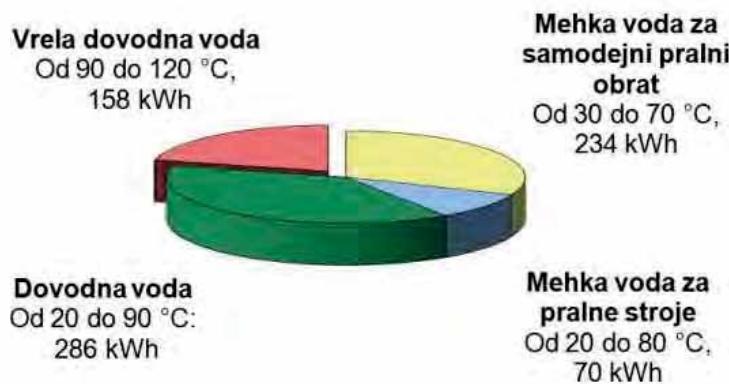
Najpomembnejši dejavnik za integracijo solarnega toplotnega sistema je običajno najnižja razpoložljiva temperatura. To je najnižja raven temperature v obratu, pri kateri je mogoče integrirati zadovoljivo količino sončne toplotne energije v procese. Temperatura na toplotnih vstopnih točkah zelo vpliva na temperaturo tekočine v zanki sprejemnika, ki mora biti čim nižja, saj sprejemno polje in hraničniki delujejo najučinkoviteje pri nizkih temperaturah. Zelo obetavni so odprti procesi brez ponovnega pridobivanja toplote. Najnižja temperatura mora biti zanesljivo znana iz meritev, pred merjenjem pa je treba pretehtati ukrepe za varčevanje z energijo. Pomembna je tudi procesna temperatura. Najgospodarnejši sistemi delujejo pri temperaturah pod 50 °C. Procesne temperature nad 100 °C tudi pri odprtih sistemih pogosto zvišajo najnižjo razpoložljivo temperaturo, saj so oz. bi morali biti upoštevani ukrep za varčevanje z energijo.

Sončno toplotno energijo je mogoče integrirati neposredno v procese ali pa v toplotno distribucijsko omrežje. Podpora toplotnega distribucijskega omrežja omogoča neposredno podporo toplotnih procesov (npr. predogrevanje dovaljne vode) in integracijo večje količine energije, vendar pa so, razen v primeru delno odprtih parnih omrežij, najnižje razpoložljive temperature običajno nižje pri neposredni integraciji v procese.

Za predhodno analizo se priporočajo sledeči koraki:

a) Zberite razpoložljive podatke o toplotnih obremenitvah obrata. Najpomembnejši so podatki o temperturnih ravneh procesov, ki izkoriščajo toplotno energijo ter podatki o dovodnih in odvodnih temperaturah toplotnega distribucijskega omrežja (v kolikor obstaja). Drugi pomembni podatki vključujejo vrsto ogrevalnega sistema, vir energije v uporabi (npr. plin, nafto ali elektriko), ceno energije, grobo oceno učinkovitosti grelnega sistema kot tudi profil toplotne obremenitve procesov, vsaj na sezonski ravni.

b) Omogočite pregled vseh toplotnih procesov in ocenite izvedljivost njihove integracije s solarnim toplotnim sistemom. Sheme procesov so lahko v veliko pomoč pri razumevanju masnih in energetskih pretokov. Znani morata biti povprečna dovodna in odvodna temperatura procesov in potreba po toplotni energiji, določiti pa je treba tudi vrednosti, ki jih posamezni procesi prispevajo k celotni toplotni obremenitvi obrata. Ocrite, ali so v primeru potrebe enega procesa po visoki toploti potrebni masni pretoki ter ali nihajo ali so stalni, saj so taki podatki v pomoč pri integraciji solarnega toplotnega sistema. Posebej pozorni morate biti tudi na zelo nizke temperature (npr. hladne vode, ki jo je treba za pranje ogreti), saj so takšna opravila obetavna tako za ukrepe ponovnega pridobivanja toplote kot tudi za integracijo solarnega toplotnega sistema.



Slika 5: Primer dnevne potrebe štirih procesov po topotni energiji v pralnici Laguna (glejte poglavje 2.2). Po večtedenskem merjenju dovodne in odvodne temperature ter masnih pretokov je bilo mogoče izračunati povprečno dnevno topotno obremenitev zaradi procesov. Samodejni pralni obrat zaradi notranjega ponovnega pridobivanja toplotne ni opremljen s solarnim topotnim sistemom. Sistem je namenjen za gospodarno predogrevanje drugih dveh nizkotemperturnih procesov in za predstavitev predogrevanja dovajalne vode grelnika med izvajanjem znanstvenih raziskav.

c) Med energetskim in tehničnim pregledom je mogoče preučiti naslednje vidike topotne učinkovitosti oz. možnosti ponovnega pridobivanja toplotne:

- Ali je izolacija vročih cevi/rezervoarjev/strojev v dobrem stanju?
- Ali prihaja v obratu do izgube vroče vode ali drugega procesnega medija?
- Ali so uvedeni ukrep za ponovno pridobivanje toplotne in kakšni so nameni vodstva na tem področju v prihodnosti?
- Ali so v primeru uporabe pare, kot prenosni medij, na voljo cevovod za vračanje kondenzata? Ali (v primeru pritrailnega odgovora) kateri izmed strojev neposredno uporablja del pare?
- Ali se v obratu izvajajo določeni postopki (npr. čiščenje opreme in podov), med katerimi je mogoče ponovno pridobivanje toplotne zaradi tehničnih ali ekonomskih razlogov izključiti?

V primeru uspešno izvedene prve analize o primernosti integracije solarnega topotnega sistema je potrebno procese analizirati podrobnejše. Potrebno je izdelati tudi dnevne, tedenske in letne profile topotnih obremenitev (glejte poglavje 4.1). Slednje je pomembno tudi za uvedbo ukrepov za varčevanje z energijo, opisanih v nadaljevanju.

3.3 Bodoči načrti podjetja

Ob predhodni analizi je potrebno tudi preučiti ali so načrtovane spremembe ali razširitve proizvodnih procesov ali omrežja za generacijo toplotne. Če se bo obremenitev ali profil obremenitve omrežja (poglavlje 4) za solarni topotni sistem zelo spremenil, bodo takšne spremembe vplivale na tehniško in ekonomsko učinkovitost sistema. To je potrebno upoštevati že v procesu načrtovanja. Če se sistem namesti v času drugih vzdrževalnih del na postrojenju, se lahko stroški namestitve precej zmanjšajo.

3.4 Optimizacijski postopki in ukrepi za varčevanje z energijo

Za optimizacijo industrijskih procesov je na voljo pester izbor pristopov. Pri optimizaciji procesa naš namen pogosto ni neposredno varčevanje z energijo, ampak npr. zmanjšanje števila ciklov ali vnosa surovin. Vendar pa spremembe proizvodnih procesov ali proizvodne opreme zelo pogosto vplivajo na

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

toplotno obremenitev. Zato je potrebno, ob nameri konkretno spremembe proizvodnega procesa v naslednjih petih letih, solarni topotni sistem zasnovati šele, ko so profili topotnih obremenitev zanesljivo znani.

Uvedba ukrepov za varčevanje z energijo (npr. s ponovnim pridobivanjem toplotne (rekuperacijo) po navadi ugodno vpliva na zmanjšanje potrebe po topotni energiji in je zelo velik gospodarski potencial v večini industrijskih panog. Vendar je tema tudi zelo zapletena, saj lahko ukrepi, ki spreminjajo dovod topotne energije, vplivajo tudi na proizvodni proces. Kadar se zdi modernizacija proizvodne opreme, zamenjava starega grelnega sistema, sistema za ponovno pridobivanje toplotne z gorljivim plinom ali namestitev sistema za ponovno pridobivanje izgubljene toplotne mogoča ali nujna, morajo te ukrepe preučiti usposobljeni strokovnjaki.

Analiza Pinch je zelo primerna metoda za temeljito ocenitev ukrepov za ponovno pridobivanje izgubljene toplotne in za optimizacijo topotnih procesov. Analizirati je potrebno vse topotne procese in opredeliti mogoče ukrepe za ponovno pridobivanje toplotne. Določiti je potrebno teoretično optimalno povezavo vseh procesov, ki predvidevajo uporabo toplotne, s topotnimi izmenjevalniki in nato izračunati najmanjšo potrebo obrata po zunanji energiji. V smislu solarnega topotnega sistema je najpomembnejša razumna ocena najnižje razpoložljive temperature po optimizaciji topotnih procesov. Kratka obrazložitev analize Pinch ter informacije o sončni topotni energetsko učinkovitih procesih so v poglavju 3.

Projekt EINSTEIN (*Expert system for an Intelligent Supply of Thermal Energy in Industry*) [4] je dober vir informacij o energetski učinkovitosti v industriji in o obnovljivi industrijski topoti. Za industrijske energetske revizije je bila razvita napredna, podrobna in s programsko opremo podprtta revizijska metodologija. Rezultati so v veliko pomoč tako pri energetski optimizaciji industrijskih obratov kot tudi pri integraciji obnovljivih energetskih sistemov. Dokumentirani so nekateri primeri dobre prakse pri ukrepih varčevanja s topotno energijo.

Pred začetkom načrtovanja solarnega topotnega sistema je treba pretehtati ukrepe, opisane v tem poglavju.

4 OSNOVNI KORAKI pri zasnovi sistema za sončno procesno toploto

Po opravljeni uvodni analizi so znani vsi pomembni okvirni pogoji, ukrepi za varčevanje z energijo pa so bili že raziskani (glejte poglavje 3). Naslednji koraki so priporočeni za oblikovanje sončnega toplotnega sistema v industrijskih procesih:

- izračun skupne toplotne obremenitve sončnega toplotnega sistema (teoretičen izračun energije, ki jo solarni sistem lahko dobavi k priključenim sistemom) in ustreznih izdelava profilov obremenitev procesov (časovna razporeditev obremenitve);
- ocenite potrebno površino sončnih sprememnikov in volumen hraničnika, da lahko okvirno definirate potrebno velikost postrojenja in da določite primerne začetne točke za simulacijo sončnega toplotnega sistema;
- simulacije sistema z različnimi velikostmi polja sprememnikov in hraničnikov, če je mogoče tudi različne možnosti koncepta sončnega sistema in podprtih sistemov;
- izberite ene možnosti sončnega toplotnega sistema ob upoštevanju bodočih ekonomskih, tehničnih in javnomnenjskih vidikov industrijskega podjetja.

4.1 Izračun profila toplotne obremenitve in profila za solarni sistem

Ob zasnovi solarnega toplotnega sistema morajo biti znani dnevni, tedenski in letni profili obremenitev podprtih procesov.

Za izdelavo takšnih profilov obremenitev hitre meritve ter izpraševanje načrtovalcev obrata in v obratu zaposlenega osebja običajno niso dovolj. Zelo priporočamo merjenje toplotne obremenitve (tj. porabo energije in ravni temperature) vseh potencialno podprtih procesov vsaj en običajni delovni dan. Prav tako upoštevajte, da je potrebno profile obremenitev izračunati po uvedenih ukrepih za varčevanje z energijo in ob tem upoštevati izključno dvig preostale temperature.

Po odločitvi, kateri procesi naj bodo podprt in kje naj bodo točke za toplotno integracijo (poglavlje 3.2), se lahko toplotna obremenitev in profil obremenitve izračunata na sledeč način: za podprte sisteme morata biti znana tekočinski masni pretok in temperatura na točki povezovanja (razpoložljiva temperatura), vključno z odstopanjem v času. Prav tako naj bi bila znana največja temperatura po toplotnem povezovanju (odvisno od procesa ali največje temperature sončnega sistema).

Primer toplotne obremenitve in profil obremenitve čistilnega procesa v manjšem podjetju v prehrambni industriji

Procesna analiza je pokazala potrebo po 10m^3 čistilne vode na dan. Voda se porablja pri $60\text{ }^\circ\text{C}$. Konstantna temperatura hladne vode ($15\text{ }^\circ\text{C}$) je bila izmerjena (razpoložljiv temperaturni nivo). To hladno vodo lahko segrejemo s solarnim toplotnim sistemom. Rekuperacija toplote ni možna, ker je voda v široko razvejanih delih tovarne zelo ohlajena, ker se uporablja v čistilnih procesih. V tovarni ni na voljo odpadne toplotne. Za solarno postrojenje je toplotna obremenitev procesa, brez upoštevanja vodne gostote, podana sledi:

$$Q_{Delovnidan} = m_{Delovnidan} \cdot \bar{c}_p \cdot \Delta T \approx (10.000\text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 45\text{ K}) / 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} = 522,5\text{ kWh}$$

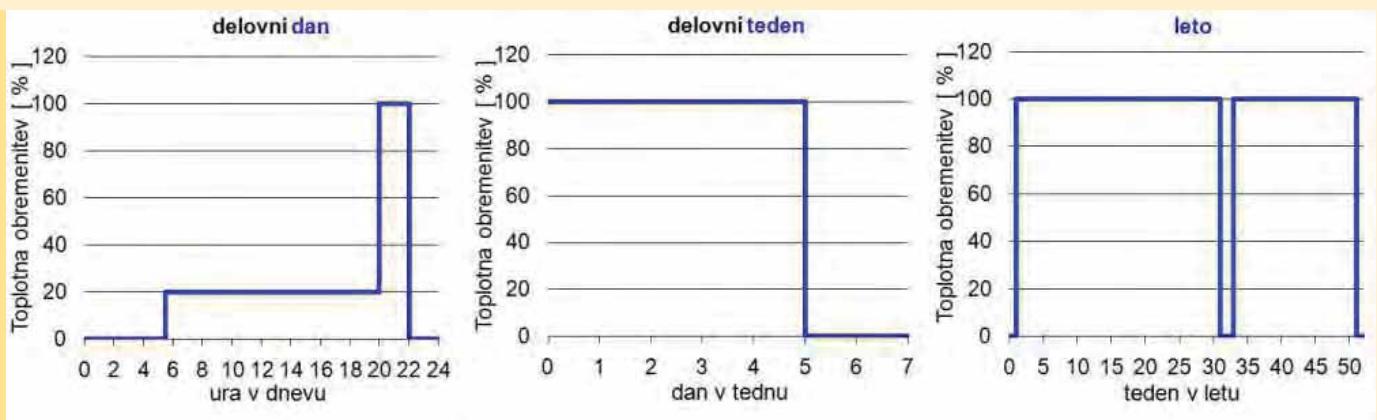
$Q_{Delovnidan}$ = potreba po toplotni energiji v delovnem dnevu za ogrevanje hladne vode

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

$m_{D\text{elovni}\ dan}$ = masa hladne vode porabljene v delovnemu dnevu

$\overline{c_p}$ = srednja specifična toplotna kapaciteta vode

ΔT = temperaturna razlika med vročo in hladno vodo



Slika 6: Profil nestalne obremenitve potreb po vodi za čiščenje proizvodne opreme v manjšem podjetju

Profil obremenitve, prikazan na sliki 6, velja za potrebe po vodi za čiščenje manjšega podjetja za proizvodnjo hrane, je bil določen v obdobju več tipičnih delovnih dni. Tedenski in letni profil temeljita na informacijah, pridobljenih v razgovoru z vodjo obrata. Ponoči ni potreb po vroči vodi, ker podjetje dela med 5:30 in 22.uro, v dveh izmenah. Podjetje ne posluje ob koncih tedna, v prvem in zadnjem tednu v letu in tri tedne v avgustu.

V delovnih dneh je vedno potreba po določeni količini vode za čiščenje, vendar je profil neenakomeren, kajti največja potreba po vroči vodi je med 20. in 22.uro, ko se delovna oprema čisti pred zaprtjem. Teh 10 m^3 **porabe je razdeljenih v delovnih urah** med 5:30 in 22 uro, to je v 16,5 ur, največja obremenitev je v zadnjih dveh urah delovnega dne. Ostalih 14,5 ur je obremenitev le 20% največje obremenitve. Ko integriramo površine grafa in primerjamo z največjo obremenitvijo, je rezultat približno 408 l/h pri 60°C (ali $21,3\text{ kWh/h}$), kijih porabimo med proizvodnim časom. Od 20. in 22. ure pa je potrebnih 2040 l/h pri 60°C (ali $106,5\text{ kWh/h}$). V delovnem tednu je potrebnih 50 m^3 ali **2.612,5 kWh**. Če upoštevamo še neobratovanje v avgustu in dva tedna pozimi, je letna potreba po energiji procesa preračunana na približno $122,8\text{ MWh/let}$ (235 delovnih od 365 dni na letu).

Za dimenzioniranje solarnega toplotnega sistema je pomembno vedeti povprečno dnevno porabo vroče vode, ker solarko dnevne in tedenske obremenitve različne. Če predvidevamo, da je obremenitev na delovni dan 10 m^3 , potem je povprečna dnevna obremenitev za celotno leto $6,44\text{ m}^3$.

4.1 Pred-dimenzioniranje polja sprejemnikov in hranilnikov

Okvirno pred-dimenzioniranje sprejemnega polja, s katerim opredelimo začetne točke za simulacije, brez tega, da zazamemo vse podrobne lastnosti postrojenja, lahko naredimo na dva načina:

a) Razpoložljivo delovno površino sprejemnikov pomnožimo s $500 \text{ kWh/m}^2 \text{Ap}$ in rezultat delimo s potrebo po sončni energiji podprtih procesov v prejšnjem letu. Za ravne strehe delimo površino strehe z 2,5, da dobimo ocenjeno površino sprejemnikov, ki bodo nameščeni pod določenim kotom. Če je rezultat vrednost pod 0,6 (odstotek sončnega deleža pod 60%), je to dobra začetna pozicija. V nasprotnem primeru uporabimo metodo b).

b) Najprej 40 odstotkov letne toplotne obremenitve obrata delimo s $500 \text{ kWh/m}^2 \text{Ap}$.

Običajno 20-stopinjsko odstopanje v južni smeri ne vpliva preveč na delovanje sprejemnikov. Naklon sprejemnikov pod kotom 35° je dobro izhodišče. V južni Evropi je mogoče največji prirastek doseči pri malo nižjem, v srednji Evropi pa pri malo višjem naklonu sprejemnikov. Seveda pa je vse odvisno od profila obremenitev.

Za okvirno pred-dimenzioniranje hranilnikov v centralni Evropi je $50 \text{ lhraničnika/m}^2 \text{Ap}$ dobro izhodišče za simulacijo različnih sistemov industrijske procesne toplotne. V južni Evropi lahko uporabimo vrednost nad $50 \text{ lhraničnika/m}^2 \text{Ap}$, saj so sončni prirastki višji.

Optimalna prostornina rezervoarja je odvisna predvsem od razmerja med sončnim prirastkom in profilom toplotne obremenitve procesa. V primeru manjših podjetij, ki ob koncih tedna ne obratujejo, mora rezervoar shraniti sončni prirastek, nastal v dveh dneh, ko podjetje ne posluje. Premajhna prostornina rezervoarja lahko privede do neučinkovito visokih temperatur sprejemnega polja in lahko povzroči mirovanje (glejte poglavje 6.2). V južni Evropi meri optimalna prostornina rezervoarja običajno nad $50 \text{ l/m}^2 \text{Ap}$, saj so sončni prirastki veliko večji od tistih v srednji Evropi.

Primer: pred-dimenzioniranje sprejemnega polja po metodi b) in hranilnikov za sistem podpore čistilnih procesov prikazan v poglavju 4.1:

$$A_{Ap} = (Q_{Year} \cdot 0,4) / 500 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{Ap}} = (122,8 \text{ MWh} \cdot 0,4) / 500 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{Ap}} \approx 100 \text{ m}^2 \text{Ap}$$

$$V_{Sto} = A_{Ap} \cdot 50 \frac{l}{\text{m}^2} = 100 \text{ m}^2 \text{Ap} \cdot 50 \frac{l}{\text{m}^2 \text{Ap}} \approx 5 \text{ m}^3$$

A_{Ap} = ocenjena delovna površina sprejemnika

V_{Sto} = ocenjen volumen hranilnika

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

4.3 Določitev tipa sprejemnikov

Pred izbiro vrste sprejemnikov je potrebno razlikovati med celotno in delovno površino sprejemnikov.

Celotna površina sprejemnikov je produkt velikosti zunanjih robov sprejemnika (dolžina in širina) - z njo določimo najmanjšo potrebno površino za namestitev sprejemnika na streho.

Delovna površina (oznaka Ap) je enaka svetlobni vstopni površini sprejemnika. To je površina, skozi katero sončno sevanje vstopi v sprejemnike in jih ogreje neposredno ali z odbojem (npr. z odbojniki CPC). Tako je delovna površina vedno manjša od celotne. Običajno so specifične vrednosti sprejemnikov, kot je na primer krivulja učinkovitosti, stroški sprejemnikov in letni energetski prirastek, povezani z delovno površino.

Razpoložljivo delovno površino sprejemnikov (ki jih je mogoče namestiti) lahko za nagnjeno streho približno izračunamo, če razpoložljivo nezasenčeno strešno površino delimo s celotno površino sprejemnikov. Število sprejemnikov je potrebno nato pomnožiti z delovno površino sprejemnikov. V primeru ravne strehe je potrebno nezasenčeno površino strehe najprej deliti s količnikom 2,5 in tako vračunati potrebno razdaljo med nagnjenimi sprejemniki.

Tabela 1: Primerjava ploščatih in vakuumskih cevnih sprejemnikov

Ploščati	Vakuumski cevni
<p>Nižji stroški</p> <p>Boljše razmerje med ceno in učinkom</p> <p>Lahko zamenjajo običajno streho</p> <p>Mirovanje: boljše lastnosti praznjenja in nižja temperatura ob mirovanju kot pri vakuumskih cevnih sprejemnikih z U-cevovodi (glejte poglavje 6.2)</p>	<p>Višji letni prirastek energije</p> <p>Manjša površina sprejemnikov za enak prirastek energije</p> <p>Večja učinkovitost pri višji temperaturi sprejemnikov in nižji izpostavljenosti sevanju (pozimi)</p>

Pri procesnih temperaturah pod 50 °C so ploščati sprejemniki običajno najugodnejša rešitev. Pri potrebah nad tako temperaturo pa je potrebno vedno izvesti primerjalne simulacije različnih razpoložljivih vrst sprejemnikov ter ob tem upoštevati razpoložljivo strešno površino in ceno delovne površine. Pregled komercialno razpoložljivih sprejemnikov za višje temperature in osnovne informacije o njihovih principih delovanja so v literaturi [5].

V južni Evropi se ploščati sprejemniki običajno zaradi višjih povprečnih zunanjih temperatur in večje izpostavljenosti sončnemu sevanju uporabljajo tudi v primerih procesnih temperatur, ki so precej višje - do 60 °C. Za primere ovplivu procesne temperature in lokacije na izbiro vrste sprejemnikov glejte poglavje 5.3.

Velikost sprejemnega polja, izbiro vrste sprejemnikov in naklon sprejemnikov je potrebno določiti na podlagi rezultatov simulacije sistema. Te vrednosti so odvisne od številnih dejavnikov, kot so lokacija, profil obremenitve, najnižja razpoložljiva temperatura, procesna temperatura, velikost rezervoarja, zasnova koncepta itd.

Končna izbira velikosti rezervoarja mora biti utemeljena s simulacijo sistema. Rezultat je odvisen tudi od vrste in zaslove rezervoarja (zbiralnega rezervoarja z velikim številom slojev, vzporednega rezervoarja ali takega, z zaporedno zasnovno), od strategije praznjenja in polnjenja ter od povezav s procesi.

4.4 Sistemske simulacije

Sistem sončne procesne toplotne mogoče primerno zasnovati izključno s simulacijo sistema. Za proces oblikovanja so lahko nomogrami, ki temeljijo na sistemskih simulacijah, zelo uporabni. V poglavju 4.5 je razloženo, kako so ti nomogrami nastali in kakojih lahko uporabimo. Primeri nomogramov za štiri tehnološke procese so podani poglavju 5. Ob izvajanju simulacije je potrebno spremenjati samo en parameter in tako določiti občutljivost letnega energetskega prirastka in sončnega deleža na ta parameter (npr. prostornino rezervoarja).

Na voljo je različna programska oprema za simulacijo solarnih toplotnih sistemov, vendar ni vsa primerna za simulacijo industrijskega ustvarjanja sončne procesne toplotne. Pomemben kriterij za izbiro simulacijskega programa je zmožnost vnosa lastnih profilov obremenitev v želeno rešitev. Program mora omogočati simulacijo zaslove sistema, ki je zelo podobna tisti, ki jo želimo realizirati. Dodaten zelo pomemben kriterij je sposobnost programa, da zanesljivo izračuna obdobja stagnacije sistema kot tudi temperature stagnacije v sprejemnem polju.

4.5 Nomogrami zaslove sistema

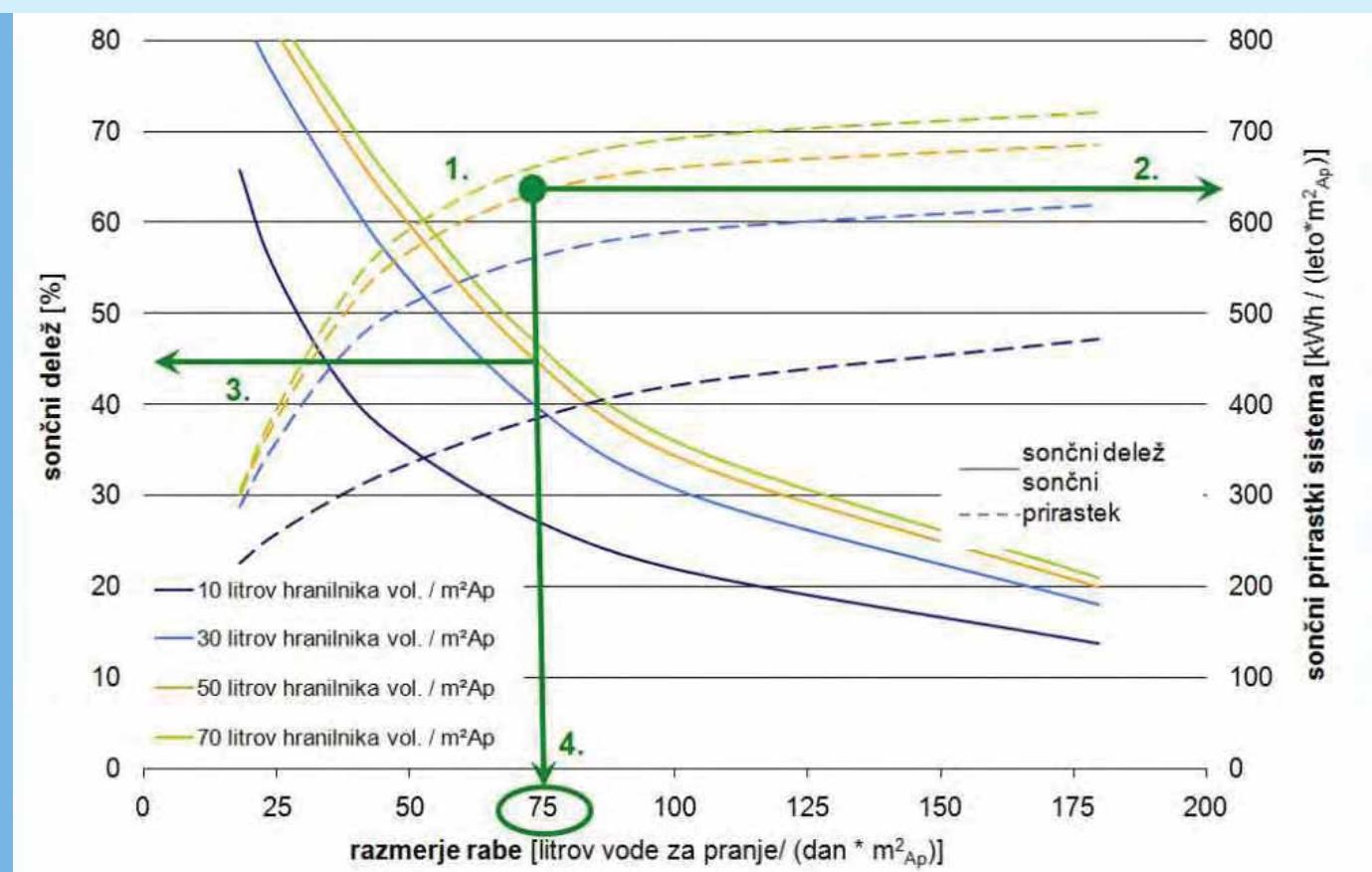
Vsek nomogram v tempriročniku kaže rezultate različnih sistemskih simulacij za različne variante solarno toplotnega sistema, nameščenega na določenem industrijskem objektu. V enem nomogramu je spremenljivka samo ena, npr. sprejemna površina sprejemnika in en shranjevalni volumen, sistemski koncept in posamezne razmere postroja, kot je namestitev, celotna toplotna obremenitev, profili obremenitev, naklon sprejemnikov itd., so konstante. Za variiranje solarno toplotnega sistemskoga koncepta, tipa sprejemnikov in podprtih obremenitev moramo generirati nove nomograme za vsak primer.

Zaradi možnosti izkazovanja specifičnih vrednosti, so nomogrami popolnoma razširljivi. To pomeni, da so sončni delež in specifični sončni dobitki izpisani za določena razmerja toplotnih obremenitev in nameščene sprejemne površine, ker so neodvisni od absolutnih vrednosti teh parametrov.

Nomogrami, prikazani v tempriročniku za določene procese z visokimi potenciali, so v principu nezadostni za oblikovanje sistemov za te aplikacije, ker veljajo samo za določene primere. So pa lahko uporabni za zmanjšanje simuliranih variant za podobne procese in sisteme. Kadar so podporni procesi, dvigi temperature, sevanje, okolska temperatura in nakloni sprejemnikov primerljivi, lahko identificiramo začetne točke za površino sprejemnikov in volumen hranišnikov. Tako lahko zmanjšamo število simuliranih variant in najdemo osnovo za dobro dimenzioniranje.

Slika 7 prikazuje nomogram, ki je bil simuliran za proces čiščenja, ki smo ga predstavili v poglavju 4.1

SONČNA PROCESNA TOPLOTA



Slika 7: Primer nomograma zaslove solarnega toplotnega sistema za pranje/čiščenje v majhnem podjetju (sistem s Slike 9, profil obremenitve s Slike 6 z dvigom temperature od 15 do 60 °C, enoslojni ploščati sprejemnik, razlojen rezervoar, naklon sprejemnikov 35°).

Nomogram je obarvan s štirimi različnimi barvami, glede na štiri različne prostornine rezervoarjev (prostornina rezervoarja v litrih na 1 m² delovne površine sprejemnikov).

Stopnja uporabnosti (os x) označuje, koliko litrov vode za čiščenje zahteva proces za vsak nameščen kvadratni meter delovne površine sprejemnikov. Je razmerje med toplotno obremenitvijo in površino sprejemnikov. Pomembno je, da je toplotna obremenitev konstantna. To pomeni, da je razmerje izkoriščenosti odvisno od različnih velikosti sprejemnega polja. Seveda je mogoče uporabiti tudi druge specifične vrednosti potrebe po energiji, povezane z delovno površino sprejemnikov, kot je na primer potreba kopeli po toplotni energiji (glejte Sliko 16).

Na **levi osi y** je označen sončni **delež (z nepreklenjenimi črtami)**. Ta podaja, kateri del toplotne obremenitve povezanih procesov je prenesen do procesov s strani solarnega toplotnega sistema, ob določenem razmerju sprejemne površine, potreb in hranilnega volumna. Nepreklenjene črte diagrama prikazujejo krivulje sončnega deleža za vsako izmed štirih specifičnih prostornin rezervoarja.

Na **desni osi y** označeni **specifični prirastki solarnega sistema** (količina energije, s katero solarno toplotni sistem oskrbi procese v enem letu na kvadratni meter delovne površine — prekinjene črte). Zaradi sončnega deleža so izrisani tudi specifični prirastki solarnega sistema za določena razmerja med potrebo, delovno površino in prostornino rezervoarja. Prekinjene črte na diagramu prikazujejo krivulje prirastka solarnega sistema za vsako izmed štirih specifičnih prostornin rezervoarja.

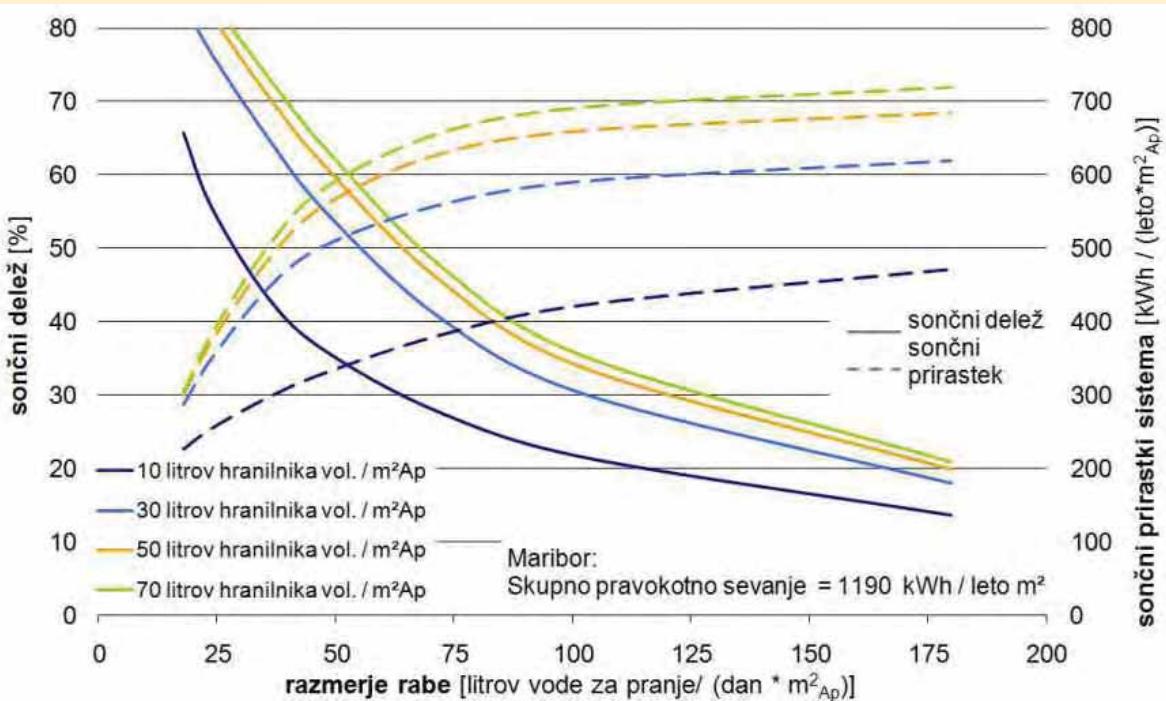
Primer uporabe nomograma na Sliki 7:

Nomograme zasnove sistema je mogoče uporabljati na različne načine, saj običajnega postopka ni. Kadar je ekonomska učinkovitost ključnega pomena, morajo biti specifični sončni prirastki sistema najpomembnejši dejavnik. Določanje velikosti sistema, prikazanega na Sliki 8, je mogoče izvesti na naslednji način:

- Na krivulji $50 \text{ l/m}^2 \text{Ap}$ s Slike 7 izberite točko (1), z razmeroma visokim specifičnim prirastom solarnega sistema točka (2) ($630 \text{ kWh/leto m}^2 \text{Ap}$) in sprecejšnjim sončnim deležem (3: 45 %).
Delovna površina = $(6.440 \text{ l vode za čiščenje na dan}) / 75 = 86 \text{ m}^2 \text{Ap}$
- Na podlagi tega izračunajte potrebno delovno površino sprejemnikov točka (4). V našem primeru je izračun naslednji:
 $\text{Prostornina rezervoarja} = 50 \text{ l/m}^2 \text{Ap} * 86 \text{ m}^2 \text{Ap} = 4.300 \text{ l}$
- Izračunajte potrebno prostornino rezervoarja. V našem primeru je izračun naslednji:
 $\text{Letni energijski dobitek} = 630 \text{ kWh/(leto * m}^2\text{)} * 86 \text{ m}^2 = 54.18 \text{ MWh/leto}$
 $\text{Letni energijski dobitek} = 122,8 \text{ kWh/(leto * m}^2\text{)} * 45 \% = 55.26 \text{ MWh/leto}$
- Spreminjajte parametre; če na primer namestite sprejemnike z delovno površino samo 64 m^2 (stopnja uporabnosti $6.440 \text{ l/dan} / 86 \text{ m}^2 \text{Ap} = 100$) z enako specifično prostornino rezervoarja (oranžna krivulja), se bo specifični sončni prirastek dvignil na $660 \text{ kWh/m}^2 \text{ Ap}$, sončni delež pa bo padel na 34 odstotkov, prirastek sistema se bo znižal na $122,8 \text{ MWh/leto} * 0,34 = 41.75 \text{ MWh/leto}$. Če za delovno površino sprejemnikov, ki meri $88 \text{ m}^2 \text{Ap}$ (stopnja uporabnosti 75) namestite rezervoar s prostornino $70 \text{ l/m}^2 \text{Ap}$, se bo specifični prirastek solarnega sistema dvignil na $670 \text{ kWh/m}^2 \text{Ap} * \text{leto pri povišanem } 38,5\text{-odstotnem sončnem deležu.}$
- Težnje z nomogramov v simulacijskem programu primerjajte s svojimi različicami in dobro spoznajte povezavo nomograma s procesi v vašem obratu. **Sistem končno oblikujte na podlagi simulacij sistema, ob tem pa upoštevajte cene in razpoložljivost sestavnih delov sistema, pri načrtovanju pa ne pozabite ohraniti ugodnega sončnega deleža** (glejte poglavje 7).

Končna oblika sončnega postrojenja je odvisna od stroškov in dosegljivosti komponent. V našem primeru je bilo mogoče uporabiti že izdelane ploščate sprejemnike z 10 m^2 delovne površine, tako da bi bilo nameščenih $90 \text{ m}^2 \text{ Ap}$. Če bi bil nameščen glavni rezervoar prostornine $1,5 \text{ m}^3$ in npr. dva vzporedna pomožna zbiralna rezervoarja prostornine $2,5 \text{ m}^3$, bi to skupaj znašalo 50 l/m^2 prostornine rezervoarjev.

SONČNA PROCESNA TOPLOTA



Slika 8: Primer nomograma zasnove solarnega topotnega sistema za pranje/čiščenje v majhnem podjetju

V nadaljevanju so opisani koncepti solarnih topotnih sistemov za štiri prednostne uporabe, prav tako pa so podani predstavniki profili obremenitev. Za te koncepte sistemov in profile obremenitev ter njihove temperature smo opravili simulacije — izračune različic — v programu TRNSYS. Rezultati so predstavljeni v nomogramih specifičnih izvedb v poglavju 5.

Težnje v nomogramih so naslednje:

- **Veliki solarni topotni sistemi**, v razmerju z obremenitvijo, imajo nizko stopnjo uporabnosti (leva stran diagrama). Sončni delež teh sistemov je zelo visok, vendar so specifični prirastki solarnih sistemov nizki, kar znižuje njihovo gospodarnost. Prav tako obstaja tveganje mirovanja velikih sistemov ob koncih tedna ali med drugimi obdobjji z nizkimi topotnimi obremenitvami.
- **Za majhne solarne topotne sisteme**, v razmerju z obremenitvijo, je značilna visoka stopnja uporabnosti (desna stran diagrama). Specifični prirastki solarnega sistema so prepričljivi, saj je potreba po energiji vedno precej večja od moči solarnega topotnega sistema. Po drugi strani pa je sončni delež nizek. Ker načrtovanje in analiza povzročita precejšen del stroškov solarnega topotnega sistema, namestitve zelo majhnih sistemov ne priporočamo. Prav tako zelo majhni sončni deleži ne pomenijo izboljšave, saj so stroški energije še vedno tesno povezani s cenami energije, naložba pa ne omogoča zmanjšanja moči konvencionalnega sistema za ustvarjanje energije v primeru modernizacije.
- **Majhne specifične prostornine rezervoarjev** prispevajo k daljšim obdobjem mirovanja in k povišanju delovnih temperatur v zankah sprejemnikov, kar zmanjšuje njihovo učinkovitost. Prostornina rezervoarjev je lahko majhna, kadar je sončni delež razmeroma nizek in je profil obremenitve enakomeren (tj. potreba po energiji tudi med konci tedna, brez dopustov). S slike 7 je razvidno, da je za predstavljeni koncept sistema in profil obremenitve rezervoar velikosti 10 l/m^2 premajhen, kar velja tudi za rezervoar velikosti 30 l/m^2 .

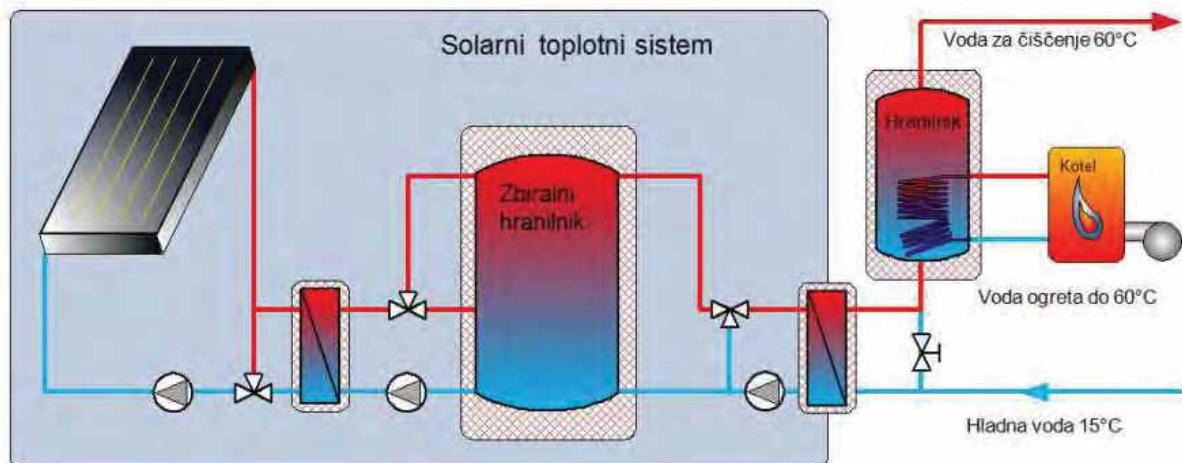


- **Velika specifična prostornina rezervoarjev** vodi k večjim prirastkom sistema in sončnim deležem. Pogosto je velikost 50 l/m^2 zelo ustrezna, saj rezervoar zviša stroške in poveča porabo prostora solarnega toplotnega sistema. Večji rezervoarji podpirajo sistem z nižjo temperaturo, tako da mora pomožni grelnik pogosteje dodatno ogrevati med procesom, kot je to potrebno pri sistemih z manjšim rezervoarjem. Seveda pa je to odvisno od vrste rezervoarja in strategije krmiljenja (glejte poglavje 4.5).

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

5 Oblikovanje sistema za PREDNOSTNE OBLIKE UPORABE

5.1 Ogrevanje vroče vode za PRANJE in ČIŠČENJE



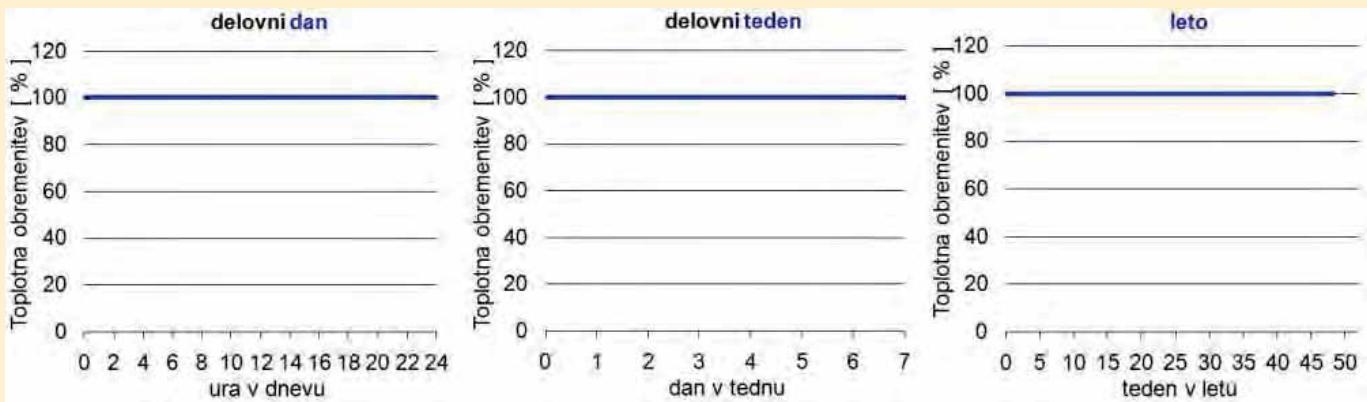
Slika 9: Zasnova sistema s topotnim izmenjevalnikom za čisto vodo in z zaporednim grelnikom (poenostavljeni ilustracija konvencionalnega sistema za pripravo vroče vode)

Ta podporni sistem za pripravo vroče vode je odprt sistem brez ponovnega pridobivanja toplote, saj je voda za čiščenje običajno zaradi čiščenja umazana in ohlajena. Hladna voda (15°C) se ogreje do 60°C . V obratih z nestalno potrebo po vodi za čiščenje in zelo visokimi stopnjami pretoka je rezervni gredni sistem po navadi opremljen z rezervoarjem za vročo vodo, kijo greje gelnik.

Pri namestitvi, prikazani na sliki 9, je mogoče solarno topotni sistem preprosto integrirati z dodatnim izmenjevalnikom toplote (lahko je tako imenovana postaja s svežo vodo). Kadar je treba ogreti svežo vodo, to (pred)ogreje solarno topotni sistem, preden priteče do rezervoarja za vročo vodo. Obvod hladne vode na odvodni strani sončnega zbiralnega rezervoarja preprečuje rast temperature sveže vode v zbirальнem rezervoarju (do 90°C). Sončni topotni izmenjevalnik na polnilni strani je mogoče v solarni zanki obiti s trosmernim ventilom. Kadar je temperatura na dnu hranilnika nižja kot izhodna temperatura sprejemnika, se zažene črpalka solarnega sistema. Tako se sprejemni sistem segreje preden se vklopi črpalka zalogovnika. V nasprotnem primeru bi se lahko toplota iz zbiralnika izgubila v solarni zanki, zaradi česar bi lahko izmenjevalnik toplote pozimi zmrznil. Ob polnjenju rezervoarja eden ali večtrosmernih ventilov nadzira stopnjo pretoka dovoda in hkrati kar najbolje ohranja razslojenost rezervoarja. Celotno prostornino lahko tvoril rezervoarjeva celo en rezervoar z več predeli.

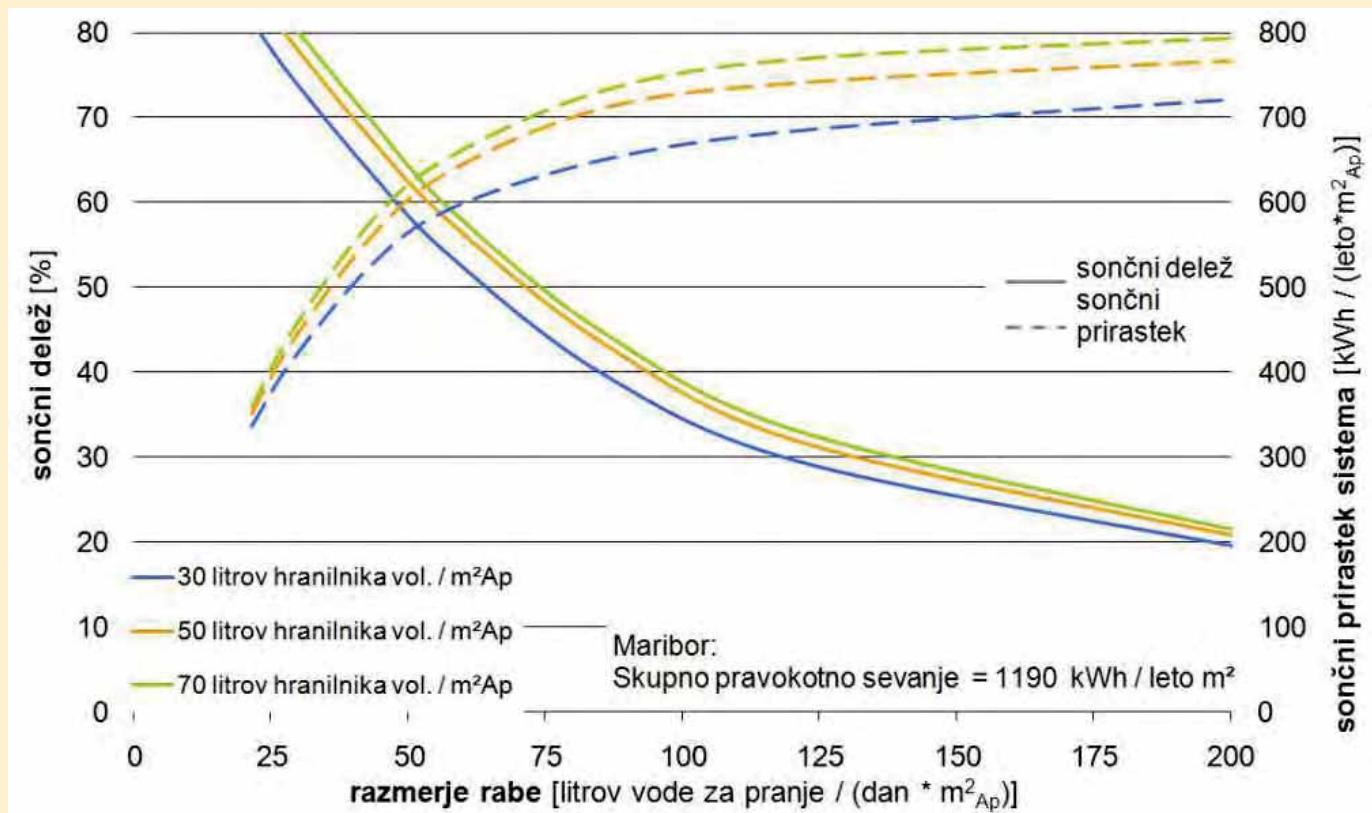
Pri procesih z visoko potrebo po vroči vodi za čiščenje je lahko predogrevanje hladne vode z nizkimi sončnimi deleži zaradi nizkih temperatur dovoda hladne vode zelo gospodarno (glejte najnižjo razpoložljivo temperaturo v razdelku 4.1).

Rezultati simulacije (nomogram) sistema s slike 8 in nestalen profil obremenitve s Slike 6 so razvidni s Slike 7 in so opisani v poglavju 4.7.



Slika 10: Stalni profil obremenitve pralnega postopka, ki je del proizvodnje velikega podjetja

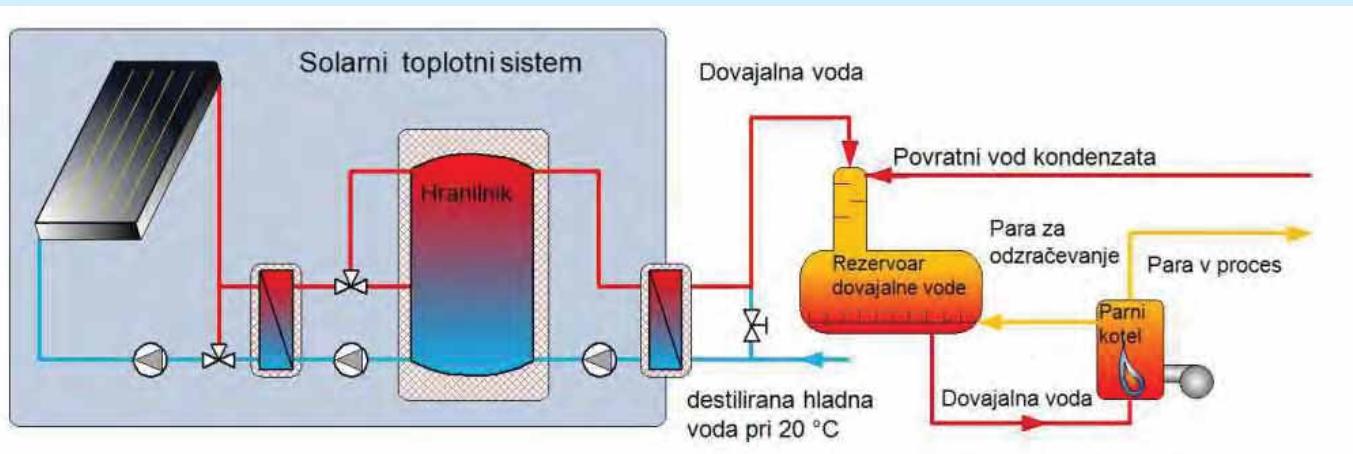
Profil obremenitev s Slike 10 velja za zelo veliko podjetje (s tremi izmenami), ki posluje vse leto in vseh sedem dni v tednu. V tem primeru je pranje proizvodni proces, potreba po toplotni energiji pa je stalna. V primerjavi z nomogrami na Sliki 9 in 11, kaže jasen vpliv obremenitvenega profila in sistemskih dobitkov. Poletni dopusti pomenijo precej nižje dobitke. Za neenakomerne obremenitvene profile mora biti hranični volumen vedno dimenzioniran dovolj veliko, da hrani dobitke, ki jih prejme čez konec tedna. Stagnaciji zaradi doseganja maksimalne temperature hraničnika bi se naj izogibali. Zmanjšana poraba ob koncih tedna povečuje sončne pribitke, ker se temperatura v sistemu in hraničnikih povečuje. Iz Slike 11 je razvidno, da za stalni obremenitveni profil naj nebi namestili več kot 50 l/m² hraničnega volumena. Ne glede na to, je za doseganje visokega sončnega deleža večji hraničnik potreben, ker omogoča podporo sistema v času slabega sevanja in ponoči.



Slika 11: Primer nomograma zasnove solarnega toplotnega sistema za postopke pranja v velikem podjetju (velja za sistem s slike 8 in profil s slike 9, stalni profil obremenitve od 15 do 60 °C, enoslojni ploščat sprejemnik, razslojen rezervoar, nagib sprejemnikov 35°)

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

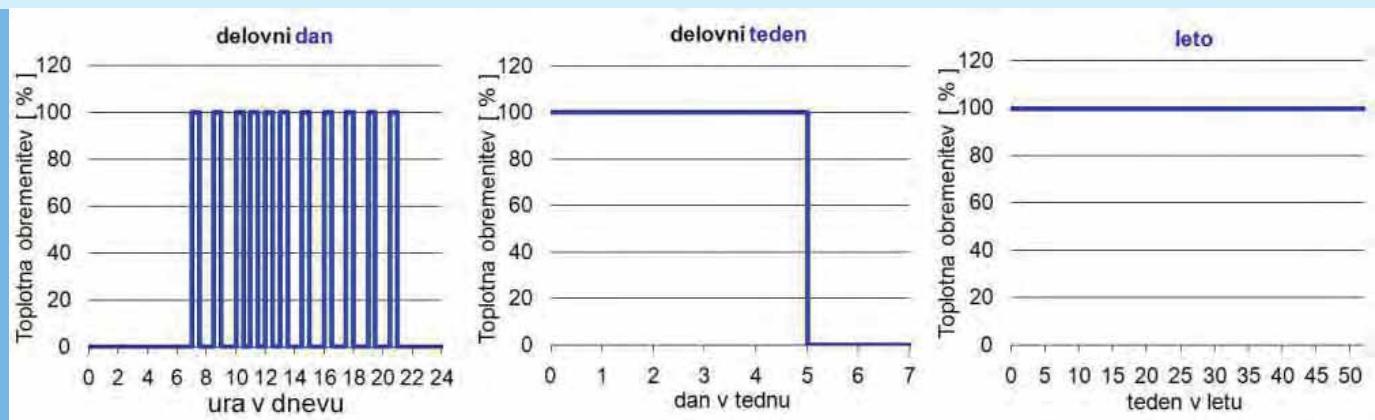
5.2 Predogrevanje DOVAJALNE VODE omrežja s procesno paro



Slika 12: Zasnova sistema s topotnim izmenjevalnikom za hladno vodo, z dovajanjem predogrete dodatne vode v rezervoar dovajalne vode (poenostavljena ilustracija parnega procesnega omrežja)

Podpora nastajanju procesne pare je navadno gospodarna samo v primeru, ko procesi neposredno porabljajo del pare (parno omrežje je odprt ali delno odprt sistem). Ogrevanje dovajalne, destilirane vode je privlačno z vidika varčevanja; neposredno ogrevanje povratnega toka kondenzata ali dovajalne vode je dražje zaradi višjih temperatur. V (delno) odprtem parnem omrežju se destilirana dovajalna voda običajno zmeša s povratnim kondenzatom in jo je treba pred vstopom v parni grelnik odzračiti. Odzračevanje se običajno izvede z uporabo toplotne procesne pare iz parnega grelnika. S to paro se ogreva dovajalna voda v rezervoarju do 90 °C, občasno tudi malo nad 100°C, če rezervoar deluje z nadtlakom od 0,2 do 0,3 bar. Tako je predogrevanje destilirane dodatne dovajalne vode pred mešanjem s kondenzatom in pred odzračevanjem mešanice dobra rešitev. Manj pare se porabi za odzračevanje, in ker so s paro podprtvi številni procesi v obratu, lahko solarni topotni sistem pokrije precejšen delež celotne potrebe po toploti na zelo preprost način, zgolj z namestitvijo enega samega topotnega izmenjevalnika v sistem.

Koncept priporočljivega solarno topotnega sistema je podoben čistilnemu/pralnemu (glejte poglavje in Sliko 9). Odvodni topotni izmenjevalnik hranilnik varuje pred rjavenjem, okoli njega pa na strani sončnega sprejemnika ni odvoda, saj je temperatura 90 °C hrkrati tudi najvišja temperatura shranjevanja. Dodaten rezervoarni potreben, saj je masni pretok dovodne vode običajno stalen.

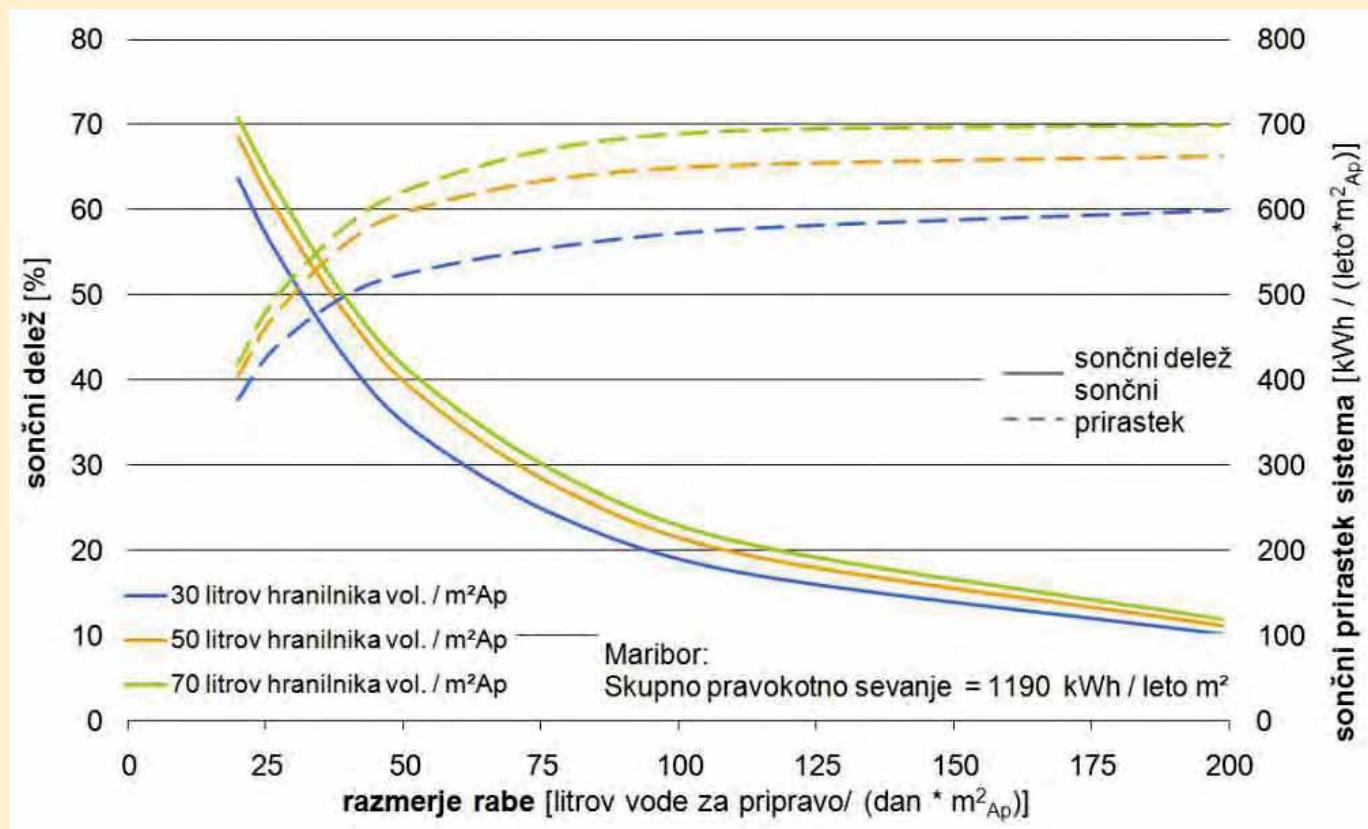


Slika 13: Profil porabe dodatne vode delno odprtrega parnega omrežja v pralnici (dve izmeni, brez dopustov). Krmiljenje stopnje polnjenja rezervoarja dovajalne vode odpira dovod dodatne vode v približno 30-minutnih intervalih. Tako je masni pretok običajno stalen.

Dosegljivi prirastki solarnega sistema so malenkost nižji od prirastkov sistemov, ki podpirajo procese čiščenja/pranja. Ti so nižji zaradi višje najnižje razpoložljive temperature 20 °C (primerjajte s 15 °C za pranje/čiščenje), saj se voda ob destilaciji že ogreva. Prav tako so nižji dosegljivi sončni deleži, saj je treba vodo ogreti do temperature 90 °C (toplotna obremenitev se vedno primerja z dvigom temperature, ki ga lahko omogoči solarno topotni sistem). Intervali masnega pretoka, ki jih povzroča krmiljenje stopnje polnjenja rezervoarja dovajalne vode, ne smejo preveč vplivati na delovanje solarnega topotnega sistema, saj je treba prejeti sončno energijo med dnevom shranjevati v eno ali dvournih intervalih.

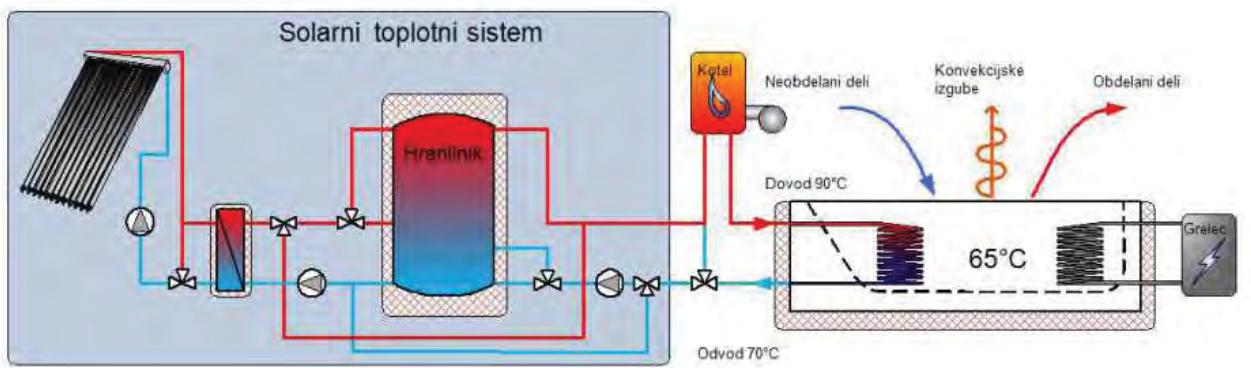
Na Sliki 14 je jasno prikazano, da stopnja uporabnosti ne sme preseči vrednosti 75, saj prirastki solarnega sistema pri sprejemljivih specifičnih prostorninah rezervoarjev ne zrastejo nad to vrednost, sončni delež pa je razmeroma nizek.

V nekaterih primerih lahko najnižji razpoložljiv temperaturni nivo destilirane dovodne vode po izvedbi ukrepov za ponovno pridobitev topote naraste do 60 °C, posledično pa se zmanjša učinkovitost solarnega topotnega sistema. To je treba posebej preveriti pri vsaki namestitvi.



Slika 14: Primer nomograma solarnega topotnega sistema za predogrevanje dodatne vode, ki ustreza sistemu s slike 11 in profilu s slike 12 (vrsta sprejemnika: enoslojni ploščati, slojevit rezervoar, naklon sprejemnikov 35°)

SONČNA PROCESNA TOPLOTA



Slika 15: Koncept sistema za sončno toplotno ogrevanje industrijske kopeli (neposredna uporaba sončne toplote je mogoča, električni grelnik samo nadzira temperaturo kopeli).



Slika 16: Stalna potreba po topotni energiji industrijske kopeli v manjšem podjetju (npr. temperatura elektrolita mora biti stalna).

5.3 Ogrevanje industrijskih KOPELI

Profil obremenitve s Slike 15 prikazuje obdelavo v industrijskih kopelih pri temperaturi 65°C . V odvisnosti od obratovalnih časov, povzročajo elementi, ki vstopajo v obdelavo v kopol, velike izgube energije, saj imajo veliko topotno kapaciteto in jih je potrebno segrevati v kopeli. Konvekcijske izgube topote predstavljajo le majhen delež potreb po topoti. Solarni sistem segreva kopol preko dogrevanja povratnega toka in zaporedno vezan kotel zagotavlja potrebno dodatno topoto. Glede na tip kotla, je potrebno predvideti tudi obvod le tega za primere, ko ne deluje.

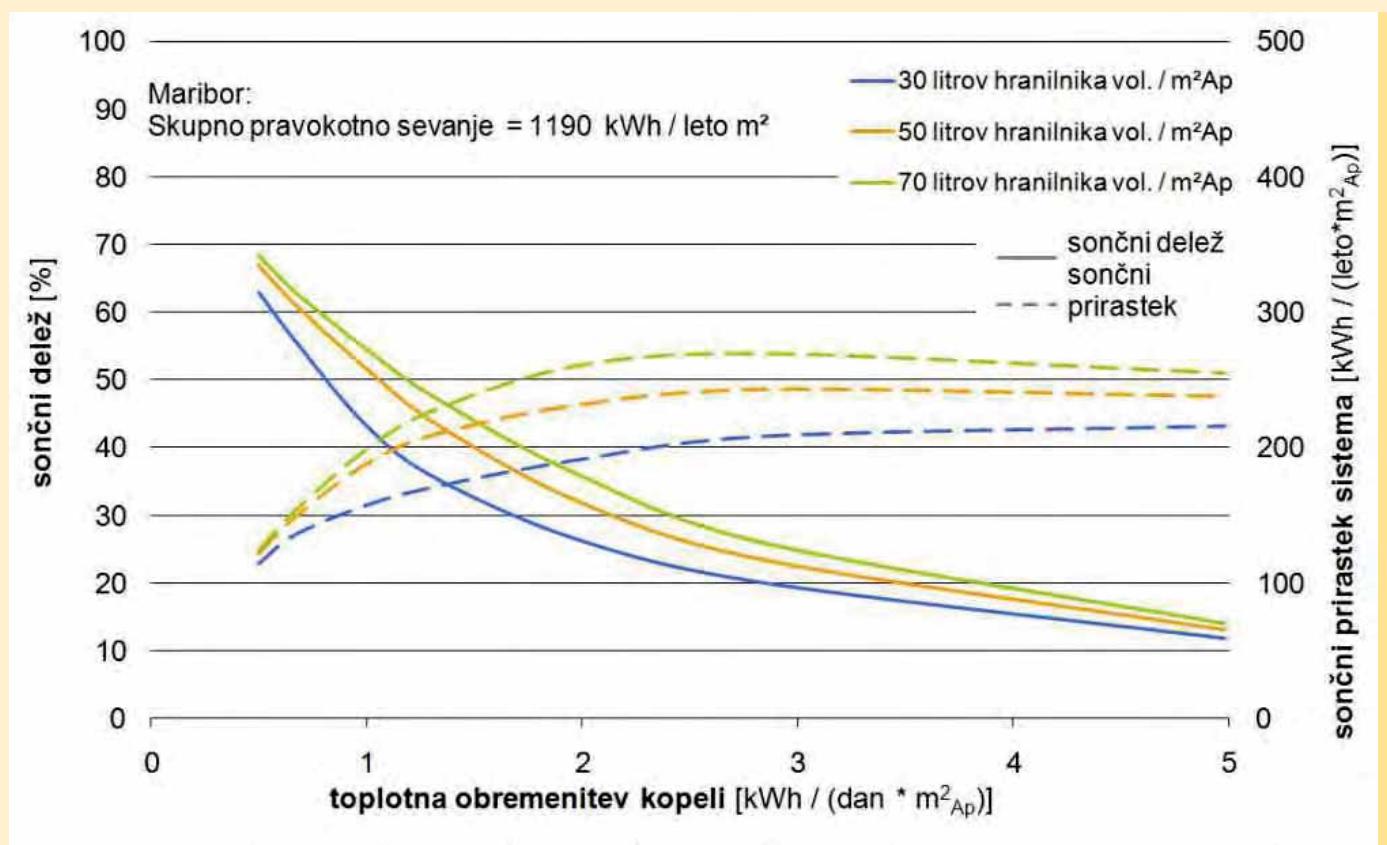
Energija, ki jo dovaja solarni sistem, je navadno mnogo nižja od topotnih potreb. Ker je potrebna zelo visoka temperatura (90°C) na vstopu v topotni izmenjevalnik kopeli, obstaja možnost obvoda zalogovnika za zmanjšanje hranilnih izgub in da se prepreči mešanje tekočine v grelnem tokokrogu ter posledično nižanje temperatur. To je pomembno tudi zato, ker je minimalni nivo temperature v celotnem sistemu 70°C . Kontrolni sistem kotla mora biti sposoben zagotavljati konstantno vstopno temperaturo pri zahtevanem masnem pretoku.

Ko se rezervoar izprazni, je mogoče povratni tok iz kopeli s tri-potnim ventilom dovesti v različne dele rezervoarja in tako zagotoviti ustrezno razslojenost tudi, ko je dno rezervoarja hladnejše od 70°C . Kadar sončno sevanje ni zadostno za ogrevanje in je hranilna temperatura pod 70°C , nam tri-potni ventil omogoča direktno ogrevanje kopeli brez vmesnega ogrevanja hranilnika.



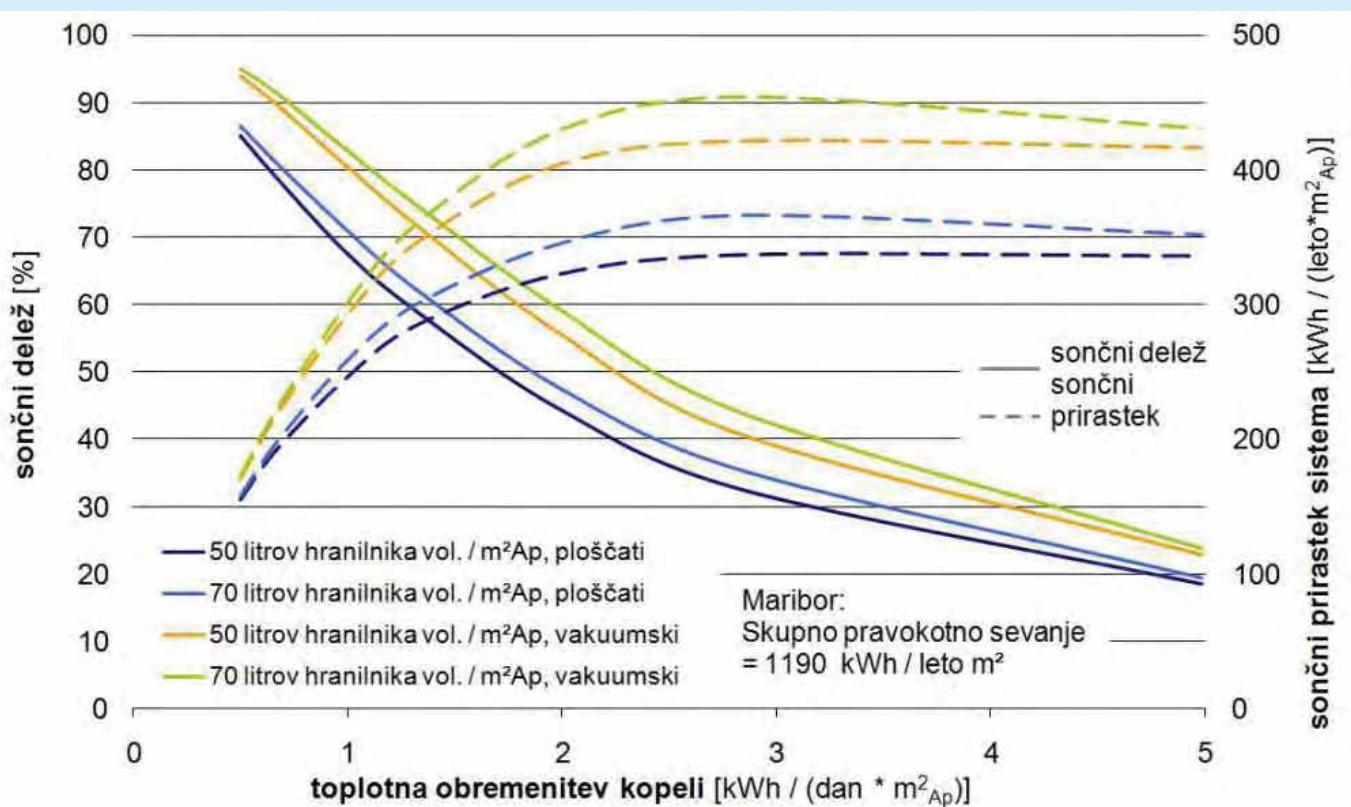
Pri ogrevanju industrijskih kopeli so prirastki solarnega sistema običajno nižji od tistih pri ogrevanju hladne vode. Prirastki so tudi tukaj odvisni od najnižje razpoložljive temperature povratnega toka, ki je najpomembnejša, kadar kopeli niso nikoli oz. skoraj nikoli ponovno napolnjene. Na simulacijah v tem poglavju se kopeli niso nikoli ponovno napolnile. V simulaciji na Sliki 17, so pribitki solarnega sistema dokaj nizki tudi pri uporabi vakuumskih sprejemnikov. To je zaradi visokih temperatur povratnega toka (70°C), ki povzročajo nizko učinkovitost v sprejemnem polju in visoke hranilne izgube.

V praksi so dobitki mnogo višji kadar je kopel potrebno ponovno napolniti in segreti iz hranilnika. Odvisno od temperature se lahko zgodi tudi določeno izparevanje vode iz kopeli. Ponovna polnitev se lahko izvede s sistemskim konceptom, ki je podoben sistemu priprave vode (Slika 12) ali iz sončnega hranilnika (Slika 9). Dodatna prednost ogrevanih kopeli je, da so potrebni zelo mali hranilni volumni, ker je sama kopel do neke mere v funkciji topotnega hranilnika (odvisno od variacij v temperaturah, ki jih dovoljuje proces). Za obremenitvene profile, prikazane na Sliki 16, je možno pokrivati vse potrebe procesa med mirovanjem ponoči in med konci tedna za vsaj nekaj ur. To lahko zmanjša čas, ko mora kotel delovati z nizkimi izkoristki zaradi slabe obremenitve ali pa je potrebno uporabljati električni grelec. Ti primeri ilustrirajo, da so za potrebe načrtovanja in razvoj dobro prilagojenih kontrolnih mehanizmov, zelo pomembne natančne predhodne analize.



Slika 17: Primer oblike nomograma za solarni sistem ogrevanja industrijskih kopeli (velja za sistem na sliki 15 in obremenitveni profil na sliki 16, vakuumski cevi z naklonom 35° , temperatura kopeli 65°C , vstop 90°C , izstop 70°C , plastni hranilnik).

SONČNA PROCESNA TOPLOTA



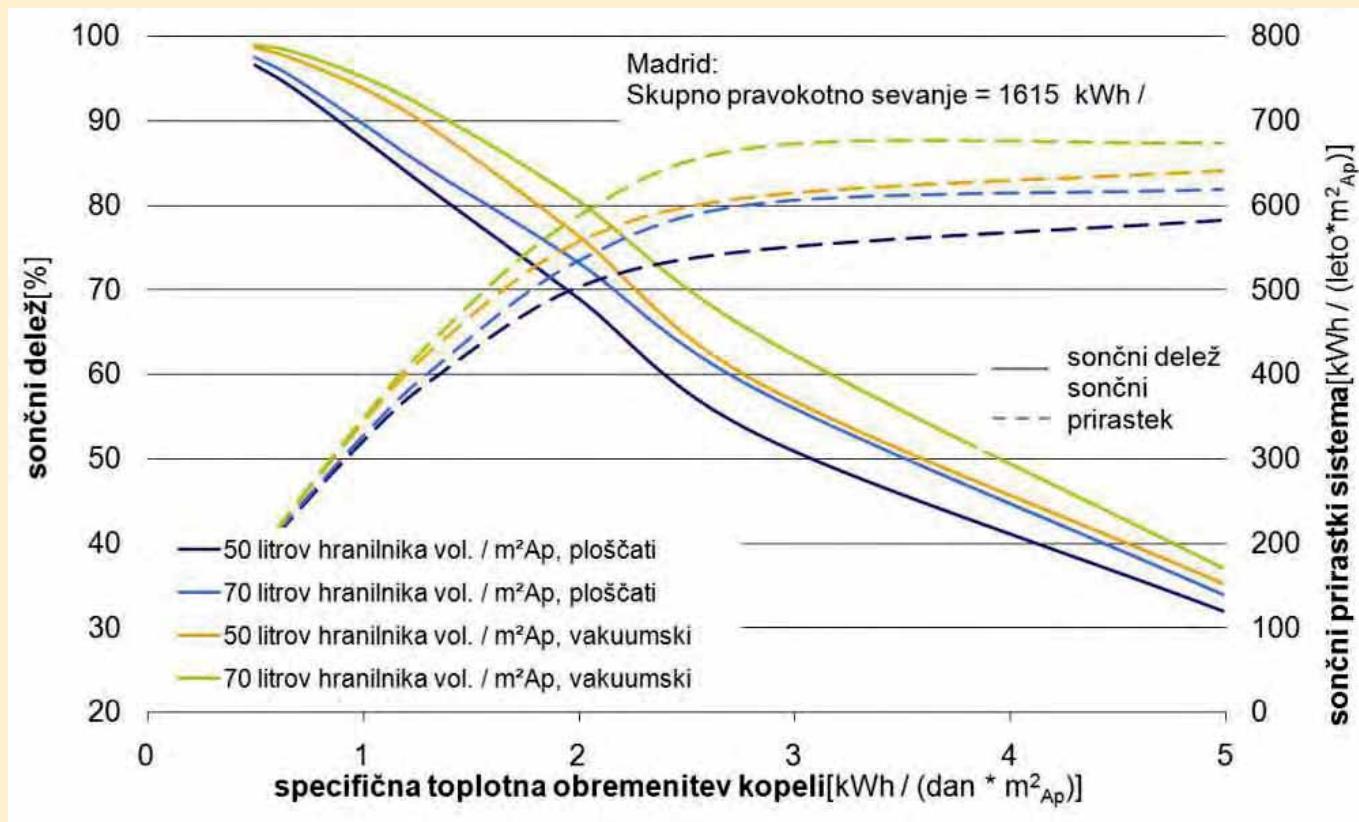
Slika 18: Primer oblike nomograma za solarni sistem ogrevanja industrijskih kopeli (velja za sistem na Sliki 15 in obremenitveni profil na sliki 16, primerjava vakuumskih in ploščatih sprejemnikov, temperatura kopeli 45 °C, vstop 70 °C, izstop 50°C, plastni hranilnik).

Ko temperatura kopeli pade s 65 na 45 °C, se v primeru vakuumskih cevnih sprejemnikov prirastki solarnega sistema skoraj podvojijo (glejte Sliko 17 in 18). Na Sliki 18 lahko opazite tudi primerjavo prirastkov solarnega sistema s ploščatimi in z vakuumskimi cevnimi sprejemniki (zenako nameščeno specifično delovno površino) pri najnižji razpoložljivi temperaturi 50 °C (povratni tok iz izmenjevalca). V večini primerov sta glavna dejavnika pri izbiri vrste sprejemnikov razlika v ceni ali razpoložljiva strešna površina. Na Sliki 19 je prikazana enaka primerjava, vendar v primeru obrata, nameščenega v Madridu. V tem primeru se prirastki solarnega sistema skoraj podvojijo. Zaradi večjega sevanja in višjih zunanjih temperatur, je razlika med ploščatimi in vakuumskimi cevnimi sprejemniki precej manjša. Zaradi nižjih stroškov, bodo v Madridu verjetno nameščeni ploščati sprejemniki.

Če primerjamo Sliko 18 in 19, postane očitno, da je izbira vrste sprejemnikov odvisna samo od najnižje razpoložljive temperature ampak tudi od količine sončnega sevanja in temperature okolja.

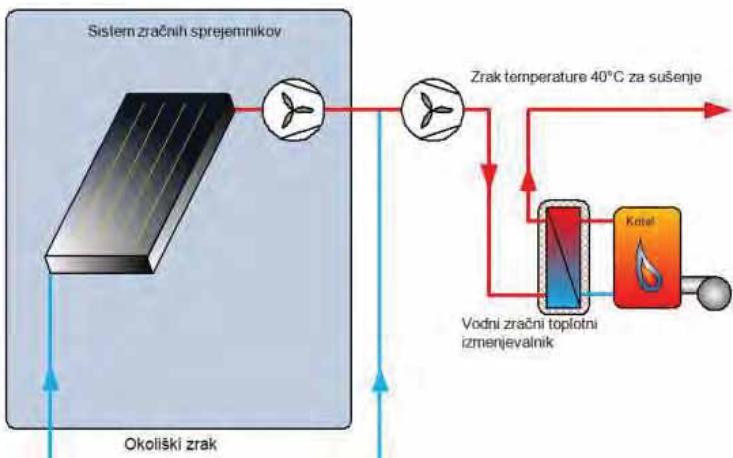


SO-PRO



Slika 19: Primer oblike nomograma za solarni sistem ogrevanja industrijskih kopeli (velja za sistem na Sliki 15 in obremenitveni profil na Sliki 16, primerjava vakuumskih in ploščatih sprejemnikov, temperatura kopeli 45°C, vstop 70 °C, izstop 50 °C, plastni hranilnik).

SONČNA PROCESNA TOPLOTA



Slika 20: Primer zasnove sistema z odprtim sušilnim procesom. Odprt sistem zračnih sprejemnikov zaporedno podpira grelnik (levo ventilator na sončno energijo, desno običajen ventilator).

5.4 Konvekcijsko SUŠENJE z vročim zrakom

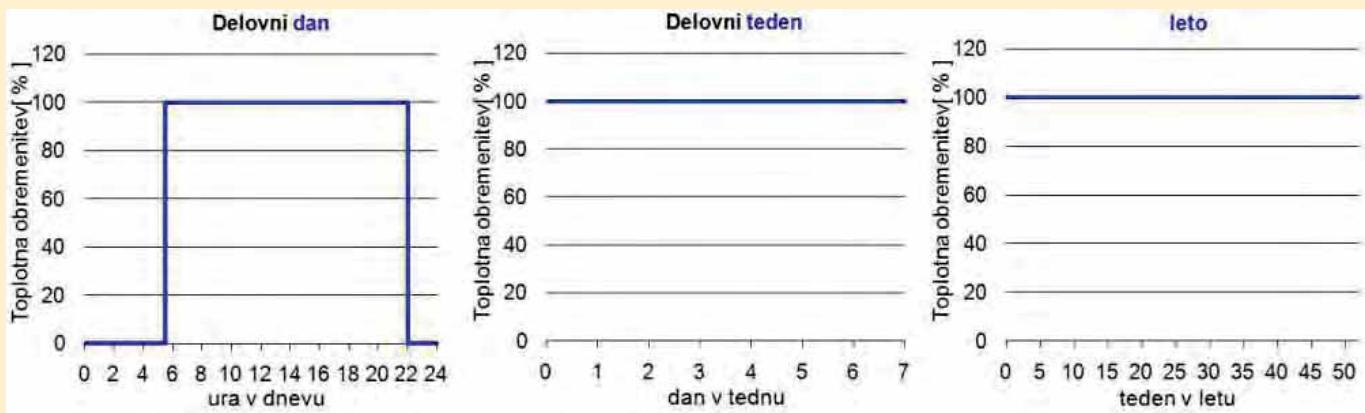
S sončno topotno energijo je podprt proces odprtega sušenja. V tem primeru ne poteka ponovno pridobivanje toplote iz navlaženega zraka. Običajno zunanji zrak do temperature 40°C ogreje zračni/vodni toplotni izmenjevalnik. Sistem sončnih zračnih sprejemnikov je nameščen za (pred)ogrevanje zunanjega zraka. Zaradi ugodnega profila obremenitve (glejte Sliko 21) rezervoar ni nameščen. Sončni ventilator je nameščen na vroči strani zračnih sprejemnikov, tako da se zrak, ki uhaja pri sprejemnikov, ne izgubi, ampak porabi.

V primerjavi s sončnimi topotnimi sprejemniki, ki za prenos toplote uporabljajo vodo (glikol), se **učinkovitost sončnih zračnih sprejemnikov zniža s padcem masnega pretoka** (primer sprejemnika s 70-odstotno učinkovitostjo pri masnem pretoku $100 \text{ kg zraka/h} * \text{m}^2 \text{Ap}$, in samo 45-odstotno učinkovitostjo pri masnem pretoku $20 \text{ kg zraka/h} * \text{m}^2 \text{Ap}$, kjer je dovodna temperatura sprejemnikov enaka zunanji temperaturi). Prav tako je v tem primeru **padec tlaka** od pet do šestkrat **večji pri visokem masnem pretoku** kot pri nizkem.

Kadar je za postopek sušenja potreben ogret zunanj zrak, običajni ventilator ustvari potreben masni pretok. Ta ventilator kompenzira vse izgube v običajnem sistemu. Kadar sonce ne sije, ventilator na sončno energijo ni dejaven, zunanji zrak pa ogreva neposredno toplotni izmenjevalnik. Ko temperatura absorberja zračnega sprejemnika (ali sončno sevanje, odvisno od krmiljenja) preseže določeno raven, se začne vrteni ventilator na sončno energijo in ustvarja pretok največ $100 \text{ kg zraka/m}^2 \text{Ap}$. Pri takem masnem pretoku je dvig temperature solarnega toplotnega sistema nizek, vendar je učinkovitost visoka. Glede na sončno sevanje doda izmenjevalnik toplotek 40°C še preostalo temperaturno razliko.

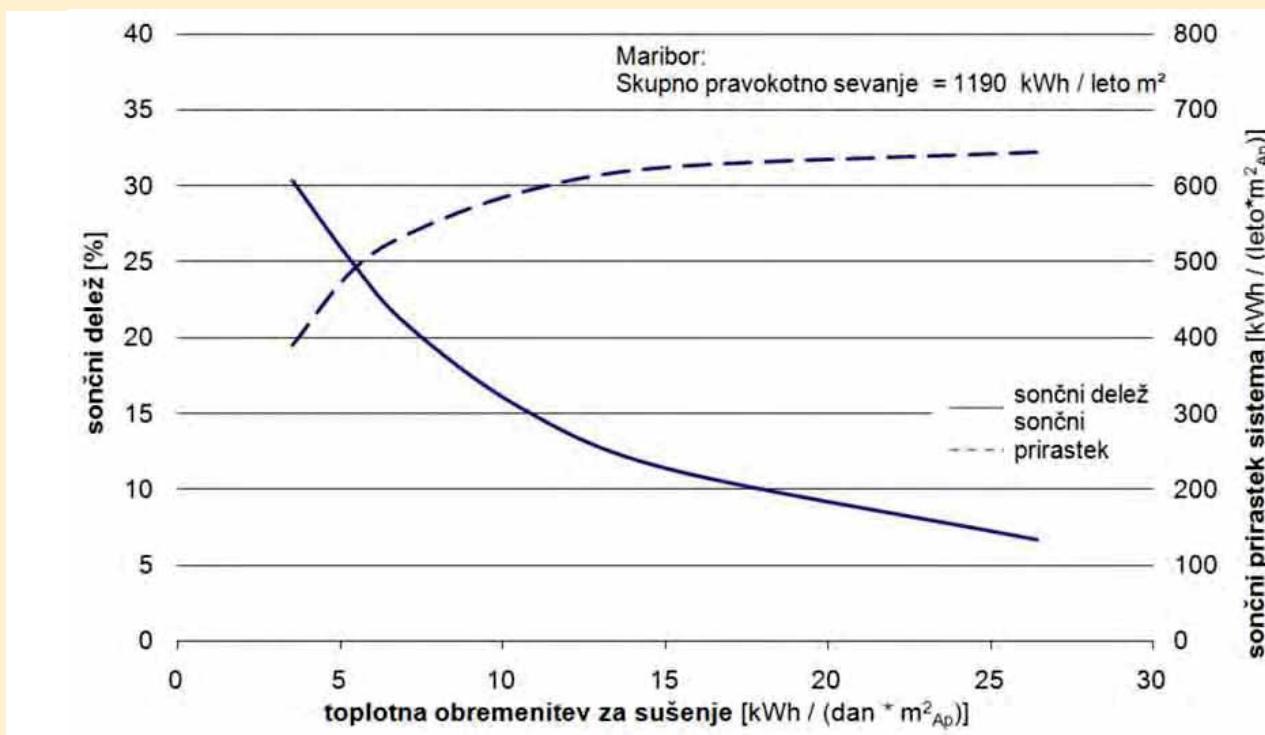
Odvisno od velikosti in notranje povezave polja zračnih sprejemnikov (enovrstni sprejemniki so pogosto zaporedni, posamezne vrste pa vzporedne), se dodaja hladen okoliški zrak avtomatično s pomočjo konvencionalnega ventilatorja, ki teče pri konstantni hitrosti in vedno zagotavlja potreben masni pretok. Kadar raven temperature običajnega ventilatorja preseže 40°C , krmilnik zniža hitrost ventilatorja na sončno energijo. Masni pretok skozi sončno polje se zniža, zrakom, ki ga je ogrelo sonce, pa se zmeša (več) hladnega

zunanjega zraka. Tako je mogoče ohranjati temperaturo 40°C , saj učinkovitost zračnih sprejemnikov pada hkrati z masnim pretokom. V takem primeru se zaradi padca tlaka sprejemnega polja zmanjša električna poraba ventilatorja na sončno energijo. Z ustrezeno krmiljenim in za določen proces po meri izdelanim sistemom zračnih sprejemnikov, je mogoče v primeru visokih pribitkov obiti zračni/vodni topotni izmenjevalnik in tako še dodatno zmanjšati izgubo tlaka v sistemu.



Slika 21: Profil obremenitve konvekcijskega sušenja (uporaba je primerna za amortizacijo zračnih sprejemnikov, saj je vroč zrak potreben vedno, kadar sije sonce).

Za razumevanje krivulj s Slike 22 je potrebno upoštevati, da je skupna potreba po energiji (kot tudi masnem pretoku) stalna. V simulaciji smo spremajali samo velikost sprejemnega polja različnih specifičnih potreb po energiji sušilnegazraka. (tj. specifično potrebo po energiji).



Slika 22: Diagram zasnove solarnega topotnega sistema za konvekcijsko sušenje, ki ustreza sistemu s Slike 20 in profilu s Slike 21 (brez rezervoarja, razpon masnega pretoka od $20 \text{ kg}/(\text{h} * \text{m}^2 \text{Ap})$ do $100 \text{ kg}/(\text{h} * \text{m}^2 \text{Ap})$)

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

V primeru visokih specifičnih potreb po energiji (majhna sprejemna polja) lahko sprejemno polje deluje pri visokem masnem pretoku (visoka učinkovitost), saj je odvodna temperatura običajno nižja od 40 °C (zaradi lažje namestitve je ena vrsta zračnih sprejemnikov običajno nameščena zaporedno; po drugi strani pa je sončni delež precej nizek, hkrati pa precej neučinkovito deluje tudi pomožni grelnik). Pri večjih površinah sprejemnikov se specifični prirastki sistema zmanjšajo, saj mora masni pretok v polju pogosto pasti, posledično pa je učinkovitost polja ob zelo sončnih dneh slabša. Pri takem sistemu in profilu obremenitve znaša sprejemljiv sončni delež v srednji Evropi od 15 do 20 odstotkov, v južni Evropi pa zaradi večje stopnje obsevanja in višje temperature okolja od 25 do 35 odstotkov.

6 Vidiki OBLIKOVANJA in VZDRŽEVANJA obratov za proizvodnjo sončne procesne toplote

V tem poglavju so podani samo pogledi oblikovanja in vzdrževanja sistemov sončne procesne toplote, ki se posebej nanašajo na predstavljene tehnološke procese sisteme in so drugačni od konvencionalnih sončnih postrojenj. Podrobne informacije o načrtovanju, nameščanju in določanju velikosti tehničnih sestavnih delov sončnih toplotnih sistemov so podani v literaturi [6],[7] in [8].

V tem poglavju so opisani samo vidiki zaslove in vzdrževanja sončnih procesnih toplotnih sistemov, ki se lahko razlikujejo od običajnih velikih sončnih toplotnih sistemov. Poleg informacij, navedenih v nadaljevanju, si oglejte še literaturo [8].

6.1 Povezovanje s procesom/sistem za pripravo konvekcijske toplote

Zbiralni rezervoar sončnega toplotnega sistema, namenjenega pranju/čiščenju, je potrebno z izmenjevalnikom toplote priključiti na sistem za dovod vroče vode (postaja s svežo vodo). To je potrebno zaradi treh dejavnikov:

- **Legionela:** Ob shranjevanju vode v količinah nad 400 l je potrebno to enkrat dnevno segreti do temperature 60 °C in preprečiti razvoj legionelle (glejte Sliko 8).
- **Usedline:** Ob gretju hladne vode do temperatur nad 60 °C pride do nabiranja usedlin (v rezervoarjih, izmenjevalnikih toplote itd.), kar znižuje stopnjo prenosa toplote in pretoka.
- **Rjavenje:** Običajne jeklene rezervoarje ali bakrene cevi lahko ob rednem stiku s hladno vodo z visoko vsebnostjo kisika poškoduje rja.

Prav zaradi usedlin in rjavenja dodatne vode ni mogoče segreti neposredno v sončnem rezervoarju (glejte Sliko 11). V obratih z nestalno potrebo po vodi za čiščenje in z visokimi stopnjami pretoka je običajno nameščen dodaten rezervoar, saj lahko moduli s svežo vodo želeno temperaturo ohranljajo samo do določene stopnje (glejte Sliko 9). Voda se lahko segreva samo direktno (brez izmenjevalca) v sončnem zalogovniku, kadar se uporablja kot tekočina za prenos toplote v zaprtem tokokrogu (Slika 15).

6.2 Mirovanje

Kadar pride do naključnega obsevanja sončnih sprejemnikov in črpalk sprejemnega kroga ne deluje, se začne sprejemno polje segrevati do temperature mirovanja. To je temperatura, pri kateri je energija, ki jo sprejemnik absorbira, enaka toplotnim izgubam. Glede na vrsto sprejemnika in cevovod lahko ta temperatura znaša tudi več kot 250 °C.

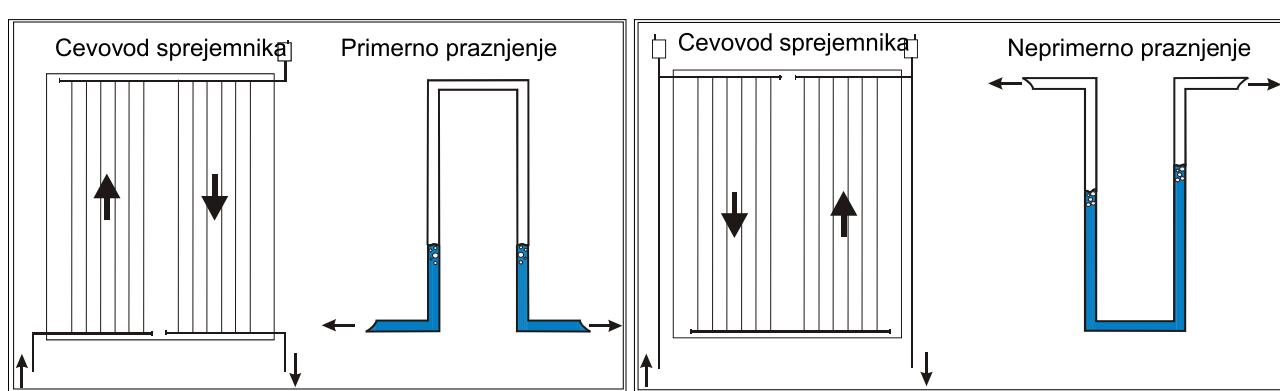
Različne **faze mirovanja** je mogoče opisati, kot sledi: Najprej se tekočina v sprejemniku razteza zaradi dvigajoče se temperature. Ko temperatura naraste do temperature izhlapevanja, začnejo nastajati plinski mehurčki (temperatura je odvisna od sistemskega tlaka). Sistemski tlak naglo raste. Glede na konstrukcijo cevi sprejemnikov lahko tekočino iz sprejemnikov izrinejo že prvi plinski mehurčki (glejte sliko 23). Para vstopi v povezujoče cevi sončnega polja in lahko doseže druge sestavne dele sončnega kroga (odvisno od parnih proizvodnih zmogljivosti sprejemnega polja, v korelaciji z obnašanjem praznjenja med stagnacijo). Preostala količina v sprejemnikih zaradi zdaj povišanega sistemskega tlaka zavre pri višji temperaturi. Para v sprejemnikih se pregreje. Ob padcu temperature razteza posoda znova napolni sprejemno polje.

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

Mogoči razlogi za mirovanje z nastanjnjem pare v sprejemnikih so naslednji:

- dosežena je bila najvišja temperatura rezervoarjev, zato se je črpalka zaustavila (pogostost je odvisna od velikosti postrojenja v primerjavi z obremenitvijo);
- napake krmiljenja ali senzorjev ali okvara zbiralne črpalke;
- uhajanje iz sončnega kroga, kar znižuje sistemski tlak.

Mirovanje lahko povzroči naslednje težave: Toplotna nosilna tekočina (voda/glikol) se lahko stara hitreje ali se celo uniči. Glikol lahko poškoduje tako topota (dolgotrajna izpostavljenost temperaturam $> 160^{\circ}\text{C}$, odvisno od vrste glikola) kot tudi kisik (v primeru puščanja). Kadar se glikol uniči pri zelo visokih temperaturah, lahko zamaši cevi sprejemnikov. Sestavni deli sončnega kroga se lahko poškodujejo zaradi previsoke temperature, kar še posebej velja za membrano raztezne posode, ventile, odzračevalnike, črpalke itd. V primeru neustrezne velikosti raztezne posode ali varnostnega ventila lahko sprejemni krog popusti. Poleg tehničnih problemov v primeru mirovanja sončni topotni sistem prav tako ne more izkoristiti prejetega sončnega sevanja, kar zmanjšuje gospodarnost.



Slika 23 : Primerjava primerjnega (levo) in neprimerjnega (desno) cevovoda. Kadar se sprejemniki in sprejemna polja primerno praznijo (obratna U-postavitev), sta stopnji proizvodnje in prodiranja pare nizki. V primeru desnega cevovoda mora vsa tekočina v sprejemnikih izhlapeti, zato obstaja možnost topotnih poškodb.

Težavam zaradi mirovanja se je treba izogniti že v fazi načrtovanja. Vsak sistem mora imeti ustrezeno zasnovano fazo mirovanja, saj je ta del delovnega cikla (npr. kadar ob praznikih ni topotne obremenitve).

Ukrepiza odpravljanje težav zaradi mirovanja:

- Namestite sprejemnike in sprejemna polja z dobrim praznjenjem (obratna U–postavitev) in zagotovite ustrezeno odzračevanje.
- Zagotovite ustrezeno velikost raztezne posode. Njena prostornina ne sme biti manjša od prostornine sprejemnega cevovoda. Raztezno posodo zaščitite pred paro (ne osamite priključne cevi; glede na zmožnost proizvodnje pare sprejemnega polja lahko namestite tudi pasivne hladilnike).
- Med sprejemno polje in raztezno posodo ne nameščajte nepovratnega ventila. Nepovratni ventil določa smer pretakanja pare.
- Zagotovite ustrezeno velikost varnostnega ventila, ki lahko zdrži tlak mirovanja (običajno šest barov).
- Izberite proti pari in temperaturi odporne sestavne dele, ki jih para lahko doseže; prav tako izberite vrsto glikola, ki predvideva uporabo pri višjih temperaturah.
- Zmožnost proizvodnje pare sprejemnega polja mora biti natančno znana, kadar namestitev cevovodov obratne U–postavitve ni mogoča, kar še posebej velja za vakumske cevne sprejemnike. Je pomemben kriterij pri načrtovanju (npr. raztezne posode).
- Prepričajte se, da krmilni mehanizem ne more znova zagnati črpalke, kadar so v sprejemnikih hlapi (določitev najvišje delovne temperature).
- Nizek sistemski tlak zmanjšuje toplotno obremenitev preostale tekočine v sprejemnikih (vendar je treba upoštevati višjo stopnjo proizvodnje pare).
- Če je treba, uporabite aktivno hlajenje. Ploščati sprejemniki toploto oddajajo ponoči. Za hlajenje sončnega polja, po tem, ko je bila dosežena določena temperatura, lahko namestite aktivne vodne/zračne izmenjevalnike toplove. Upoštevajte, da taki ukrepi zmanjšujejo specifične prirastke in daje njihova izvedba izključno v skrajnih primerih.
- V primeru majhnih obratov morajo biti rezervoarji dovolj veliki za shranjevanje vse ob koncih tedna absorbirane energije, saj takrat ni toplotne obremenitve. Tako se izognete mirovanju in izboljšate gospodarnost sistema. Upoštevajte, da je toplotna zmogljivost rezervoarjev odvisna predvsem od njihove nižje ravni temperature — v primeru podpore zaprtega visokotemperaturnega procesa je lahko taka temperatura visoka (glejte Sliko 15)

Več podrobnih informacij o vidikih mirovanja je v literaturi [9].

6.3 Delovanje solarnega topotnega sistema

Pravilna zasnova in namestitev sistema zmanjšata potrebe po vzdrževanju sistema sončne procesne topote. Najpomembnejše za pravilno delovanje sistema je redno opravljanje pregledov (glejte literaturo [8]), ki jih mora opraviti usposobljena oseba, zaposlena v industrijskem podjetju (običajno tehnik), ali oseba, zaposlena v podjetju, ki je namestilo sistem (v primeru naročila namestitve solarnega sistema). Za redne preglede morajo biti na voljo podrobni načrti sistema in smernice za vzdrževanje.

Po namestitvi sistema je treba kontrolne parametre ustrezeno prilagoditi resničnemu delovanju procesov in tako zagotoviti največjo učinkovitost solarnega topotnega sistema. Prav tako priporočamo elektronsko spremljanje parametrov solarnega topotnega sistema in prirastkov energije, saj boste tako lažje izvajali postopke optimizacije in zmanjšali potrebo po pregledih na mestu, npr. po dopustu.

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

7 Stroški sistema in subvencije

7.1 Običajni stroški sistema

Stroški namestitve sistema sončne procesne toplote v Evropi znašajo od 180 do 500 evrov/ $m^2 Ap$, odvisno od zasnove in velikosti sistema, izbranih sestavnih delov (npr. izbire vrste sprejemnikov) in od specifičnih pogojev v državah (npr. ravni plač). Stroški sistema za sončno sušenje so lahko nižji, saj namestitev rezervoarja običajno ni potrebna. Na Sliki 23 je prikazan primer stroškov namestitve večjega sončnega toplotnega sistema v Nemčiji. Cena delovne površine se z velikostjo sistema zniža, saj stroški naložb v npr. načrtovanje innadzor ne rastejo sorazmerno s stroški sprememnih polj.

Kot smo že omenili, so lahko letni energetski prirastki namestitev sistemov sončne procesne toplote dvakrat višji kot v stanovanjskem sektorju, odvisno od najnižje uporabne temperature, procesne temperature in profila obremenitve. Tako je mogoče precej skrajšati obdobje amortizacije (odvisno od tega, ali ste s sončno energijo zamenjali bencin, nafto, plin ali električno energijo).



Slika 23: Razdelitev specifičnih stroškov naložbe v namestitev večjega sončnega toplotnega sistema (Solarthermie-2000, poročilo v [10])

Življenska doba ustrezena načrtovanega in vzdrževanega toplotnega solarnega sistema traja do 20 let. Stroški ustvarjanja sončne toplotne energije takih namestitev znašajo od 4 do 8 evrskih centov/MQ/kWh in so precej odvisni od lokacije, podprtih procesov in temperturnih ravni.

7.2 Programi subvencioniranja

Programi subvencioniranja so na voljo v večini evropskih držav ter zajemajo tudi ali predvsem namestitve sistemov sončne procesne toplote.

Programi za subvencije se spreminja. Za dodatne informacije o državnih ali regijskih programih subvencioniranja namestitve sistemov sončne procesne toplote se obrnite na ENERGAP (www.energap.si).

8 Literatura in viri/dodatne informacije

- [1] Werner, S. (2007): *The European Heat Market, ECOHEATCOOL — Work Package 1. Final Report, IEE ALTENER Project, Euroheat & Power, Belgium*
- [2] C. Vannoni, R. Battisti in Drigo, S. (2008): *Potential for Solar Heat in Industrial Processes. IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. Ciemat, Madrid*
www.iea-shc.org/task33/publications
- [3] Brunner, C. in B. Slawitsch et al. (2008): *Industrial process indicators and heat integraton in industries. IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. AEE INTEC, Gleisdorf.*
www.energytech.at/pdf/ieatask33_4_ipi.pdf
- [4] *EINSTEIN: Expert system for an INtelligent Supply of Thermal Energy in Industry.*
<http://iee-einstein.org/>
- [5] Weiss, W. in Rommel, M. (2008): *Process Heat Collectors. IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. AEE INTEC, Gleisdorf.* www.iea-shc.org/task33/publications
- [6] *Planning and Installing Solar Thermal Systems. A Guide for Installers, Architects and Engineers.* Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS). 2nd Edition, May 2010, ISBN 9781844077601
- [7] *VDI 6002 Blatt 1: Solar heating for domestic water — General principles, system technology and use in residential building,* Verein Deutscher Ingenieure (VDI), September 2004, German/English. Dostopno na www.vdi.de
- [8] A. Aidonis, V. in Drosou et al. (2002): *PROCESOL II: Solar thermal plants in industrial processes — Design and Maintenance Guidelines.* Centre for Renewable Energy Sources, Pikermi.
www.energytech.at/pdf/procesol_2_english.pdf
- [9] StagSim: Verbundprojekt zu Systemuntersuchungen großer solarthermischer Kombianlagen. – www.solarkombianlagen-xl.info
- [10] F. Peuser (2002): *Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung. BINE Themen Info III/2002.*
www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/III_2002/themen0302internetc.pdf
- [11] T. Müller, W. in Weiss et al. (2004): *PROMISE: Produzieren mit Solarenergie. Final report.*
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/0401_promise.pdf
- [12] H. Schweiger et al. (2001): *POSHIP: Potential of Solar Heat in Industrial Processes. Final report.*
http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP_Final_Report.pdf

SONČNA PROCESNA TOPLOTA

9 Energetska agencija za Podravje

CENTER PROJEKTOV, ZNANJA IN IDEJ ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE IN OBNOVLJIVE VIRE ENERGIJE



Energetsko Agencijo za Podravje (EnergaP) je ustanovila Mestna občina Maribor v sodelovanju z Evropsko Komisijo. Agencija tako deluje na področju Mestne občine Maribor in občin zgornjega Podravja. Naše poslanstvo je širjenje znanja in aktivno delovanje na področju učinkovite rabe energije in rabe obnovljivih virov energije. Karpa predstavlja dolgoročni razvojni potencial.

Dejavnosti Energetske agencije za Podravje so:

- izvajanje gospodarjenja z energijo v javnem sektorju (občine, javni zavodi),
- uvajanje energetskega upravljanja v zasebnem sektorju,
- priprava strategije trajnostne mobilnosti,
- svetovanje pri zelenih javnih naročilih,
- priprava in izvedba projektov s področja URE in OVE, njihova promocija in ozaveščanje ljudi,
- izvedba razvojnih in raziskovalnih nalog,
- priprava energetske strategije lokalnih skupnosti,
- izvedba izobraževanj strokovne javnosti, javne uprave, gospodarskih subjektov in občanov,
- spodbujanje URE in rabe OVE s svetovanjem za doseg pozitivnih ekonomskeh in okoljskih učinkov v malih in srednjih podjetjih,
- izdelava načrtov za zmanjšanje porabe električne in toplotne energije v zgradbah, ki so v javni rabi,
- priprava načrtov zmanjšanja porabe električne energije javne razsvetljave in
- skrb za trajnostni energetski razvoj.

ENERGAP

pomaga razvijati ideje, pripravljaljati in izvajati projekte ter poglablja znanja za učinkovito rabo energije in rabe obnovljivih virov energije na naslednjih področjih:

- OKOLJE IN ENERGIJA
- JAVNE in DRUGE STAVBE
- MOBILNOST
- INDUSTRIJA
- OTROCI IN ENERGIJA

Z vsemi temi dejavnostmi Energetska Agencija za Podravje postavlja dolgoročne temelje dobrega gospodarjenja z energijo v javnem in zasebnem sektorju. Pri tem pa sledi trajnostnemu energetsko – gospodarskemu razvoju.

Energetska agencija za Podravje, Smetanova ulica 31, 2000 Maribor
Telefon: 02/234 23 60, Fax: 02/234 23 61, www.energap.si, info@energap.si

