

Daljinska in solarna toplota z roko v roki

B. Vidrih*, A. Kitanovski, S. Medved, A. Poredoš
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo,
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
[*boris.vidrih@fs.uni-lj.si](mailto:boris.vidrih@fs.uni-lj.si)

1. Uvod

Solarna toplota v sistemih solarnega daljinskega ogrevanja preko sistema daljinskega ogrevanja-SDO oskrbuje stanovanjska naselja in poslovna območja s toploto iz obnovljivih virov brez emisij onesnažil in trdnih delcev. Ker so v Evropskih državah ti sistemi številčnejši kot pri nas v Sloveniji, smo bili povabljeni k sodelovanju v evropskem projektu Solarnega daljinskega ogrevanja oz. angleško Solar District Heating – SDHplus. V okviru projekta smo izvedli tri študije vključevanja solarnih sprejemnikov v obstoječe SDO po Sloveniji. Toplotni odziv izbranega solarnega sistema in SDO smo modelirali z numeričnim orodjem TRNSYS, pri čemer smo upoštevali urni časovni korak. Predpostavili smo dva tipa sončnih sprejemnikov: visoko selektivne ploščate in vakuumске sprejemnike. Zaradi večjega izkoristka solarnega sistema smo predpostavili priključitev le tega na povratni vod SDO. V ekonomski analizi smo upoštevali ceno postavitve solarnega sistema, v primeru ploščatih sprejemnikov 360 €/m² in v primeru vakuumskih sprejemnikov 585 €/m². Upoštevali smo tudi obratovalne in vzdrževalne stroške glede na preneseno energije iz solarnega sistema v SDO. V primeru dograditve hranilnika toplote ustrezne velikosti, smo predpostavili, da se investicija v solarni sistem poveča za 100€/m² sprejemnika sončne energije. Predpostavljena obratovalna doba sistema znašala 25 let, financiranje sistema smo predvideli preko 15 letnega kreditiranja z letno obrestno mero, ki jo opredeljuje razpis EKO sklada za financiranje okoljskih naložb [1].

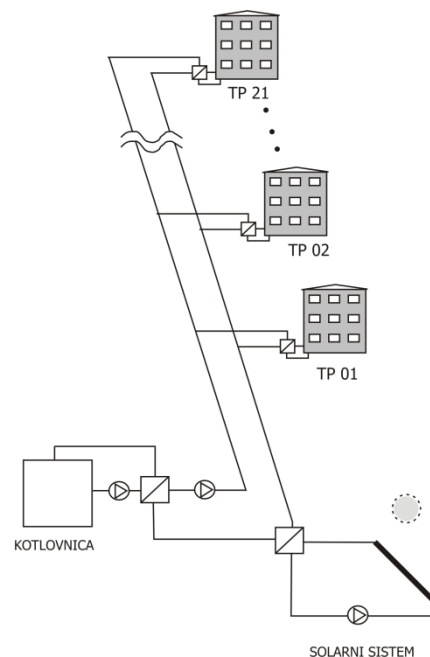
2. Solarno daljinsko ogrevanja v Zagorju ob Savi

Omrežje SDO je bilo zgrajeno leta 1982. Omrežje cevovodov je sestavljeno iz 1.260 metrov primarnega distribucijskega voda, ki večinoma leži v betonskih kinetah pod zemljo. Cevi so izolirane s kameno volno, ki je ovita s trdnim ovojem. Na sliki 1 je prikazan ortofoto posnetek mesta Zagorje ob Savi z vrisanim primarnim delom omrežja in lokacijami toplotnih postaj. Sprva se je kot energent uporabljal premog. Le tega je ob rekonstrukciji kotlovnice (leta 1995) zamenjala biomasa, ko sta bila nameščena dva vročevodna kotla na lesne sekance z nazivno močjo 2,5 MW. Kot rezerva v pripravljenosti deluje kotel na kurilno olje z nazivno močjo 7 MW. Oskrba s toploto se vrši večinoma le za stanovanjski odjem. Skupna površina obravnavanega sistema stanovanjskih stavb je 59.818 m², pri čemer javne zgradbe predstavljajo 8.850 m² oziroma manj kot 15 % površine. Pripravo tople sanitarne vode-TSV vršijo zgolj v treh toplotnih postajah. Zaradi majhne rabe toplote v poletnem obdobju je s tehničnega vidika delovanje SDO nemogoče. V tem obdobju se za pripravo TSV uporabljajo lokalni električni grelniki.

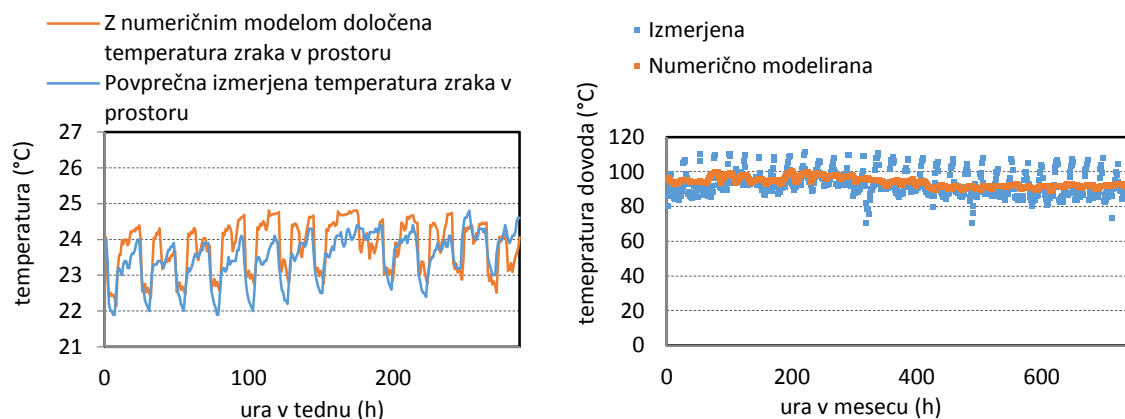


Slika 1: Prikaz primarnega voda SDO Zagorje z glavnimi TP

Z vključevanjem solarnega sistema želijo omogočiti delovanje SDO tudi v poletnem času. Predvidena lokacija za namestitev sprejemnikov je na strehi kotlovnice in bližnjih proizvodnih objektih skupne površine 1.500 m^2 . Zaradi neustreznega naklona in usmeritve obstoječe strehe je potrebno sprejemnike namestiti na podkonstrukcijo. Največja površina sprejemnikov je 744 m^2 oziroma 288 sprejemnikov. Solarni sistem je priključen na povratek SDO preko prenosnika toplote. Za hranilnik toplote smo predpostavili kar omrežje SDO velikosti cca 100 m^3 . Pri analizi smo upoštevali visokoselektivne ploščate in vakuumске sprejemnike. Na sliki desno je shematski prikaz postrojenja SDO in solarnega sistema.

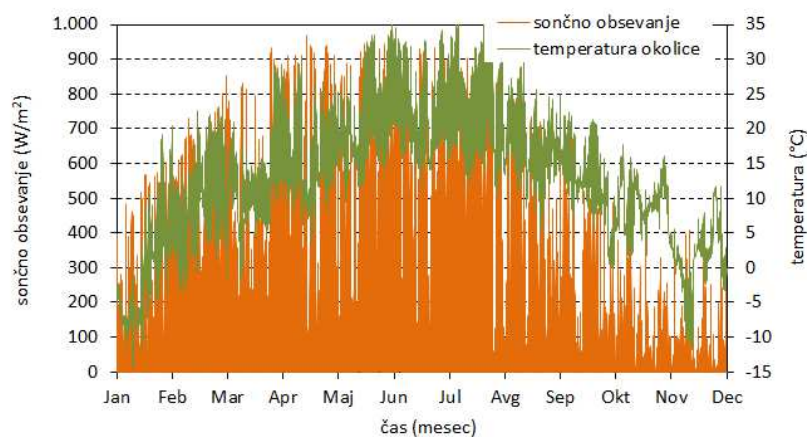


Toplotni odziv SDO modeliramo na osnovi toplotnega odziva priključenih stavb (toplotnih postaj) in toplotnih izgub omrežja SDO. Na sliki 2 prikazujemo ujemanje izmerjenih vrednosti toplotnega odziva stavb (temperatura zraka v stavbi) in toplotnega odziva omrežja SDO (temperaturo dovoda) z modeliranimi (izračunanimi) vrednostmi toplotnega odziva. Opazimo dobro ujemanje toplotnega odziva stavb, kakor tudi omrežja SDO, kar potrди verodostojnost matematičnega modela in s tem analize.



Slika 2: Validacija numeričnega modeliranja toplotnega odziva stavb (levo) in toplotnega odziva omrežja SDO (desno). Prikazane izmerjene vrednosti so iz obdobja januar 2009 .

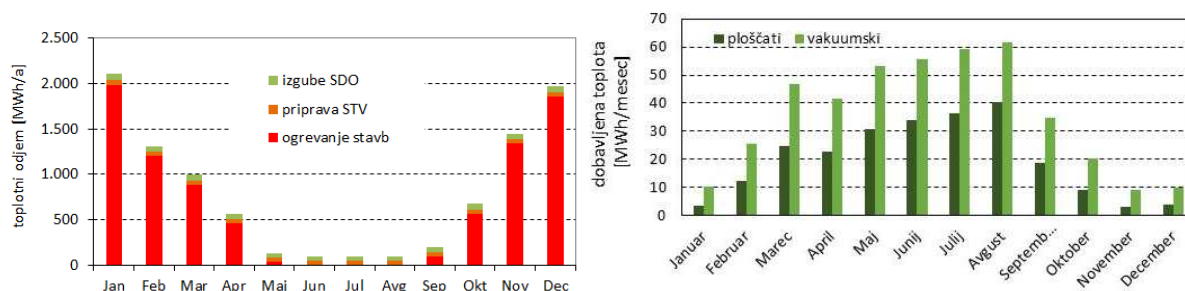
Pri analizi vključevanja solarnega sistema v SDO smo za vhodne meteorološke podatke upoštevali bazo podatkov tipičnega meteorološkega leta TRL za Ljubljano, ki je oblikovana na osnovi obdobje med letoma 1995 in 2005 [2]. Najbolj vplivni spremenljivki, sončno obsevanje na horizontalno ravnino in temperatura okolice sta prikazani na sliki 3.



Slika 3: Meteorološke spremenljivke iz baze TRL za Ljubljano [2]

Pri modeliranju SDO s solarnim sistemom smo predpostavili celoletno delovanje SDO. Na sliki 4 so predstavljene mesečne vrednosti toplotne bilance SDO in mesečna predvidena prenesena toplota iz solarnega sistema v SDO. Letni odjem toplotne energije iz SDO je 9,1 MWh/leto. Od tega se 92,6 % porabi za ogrevanje stavb, 4,7 % za pripravo STV, preostalo pa predstavljajo toplotne izgube omrežja SDO. Letna predvidena proizvodnja toplotne energije s solarnim sistemom je v primeru ploščatih sprejemnikov 239 MWh oziroma predstavlja 2,4 %

potreb po toplotni energije in pri vakuumskih 427 MWh oziroma predstavlja 4,4 % celoletnega toplotnega odjema iz omrežja SDO.

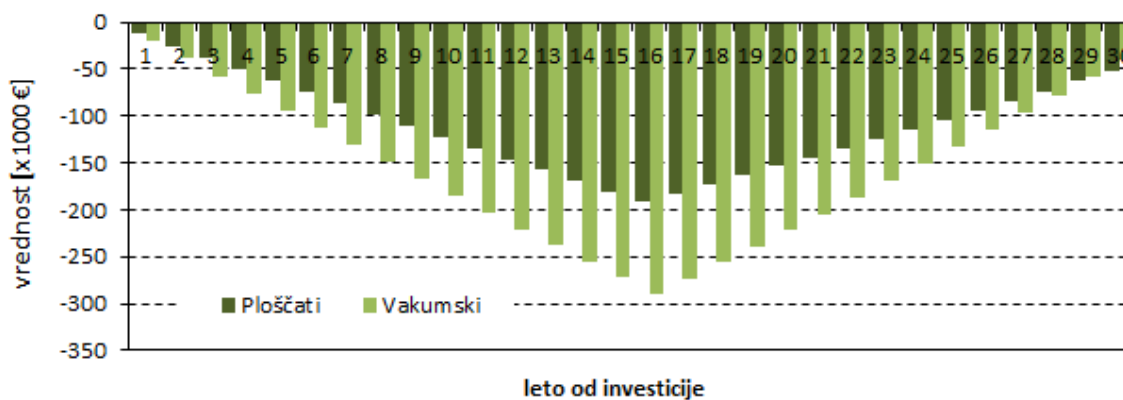


Slika 4: Energijska bilanca SDO (levo) in predvidena dobava toplote iz solarnega sistema v SDO (desno)

Pri ekonomski analizi sistema smo upoštevali kreditno financiranje po pogojih, ki jih opredeljuje razpis EKO sklada za financiranje okoljskih naložb (Javni poziv za kreditiranje okoljskih naložb 50PO13). Doba kreditiranja je 15 let s 1,79 % letno obrestno mero. Prav tako se upoštevajo letni obratovalni in vzdrževalni stroški. V preglednici 1 so predstavljene vrednosti nekaterih kazalnikov ekonomske analize in na sliki 5 denarni tok stroškov in prihrankov, ki smo ga določili na oceni prihranka energenta - sekancev po ceni 31 €/MWh. Upoštevana letna rast cene sekancev je 1%.

Preglednica 1: Vrednosti ekonomskih kazalnikov za primer sistema s ploščatimi in vakuumskimi sprejemniki

	Ploščati sprejemnik	Vakuumski sprejemnik
Vrednost sistema (€)	267.840	352.240
Vrednost anuitete kredita (€/leto)	20.528	33.358
Obratovalni stroški (€/MWh)	1	1
Proizvedena toplota (MWh/leto)	239	427
Cena toplote v 25 letni dobi obratovanja (€/MWh)	52,5	47,8

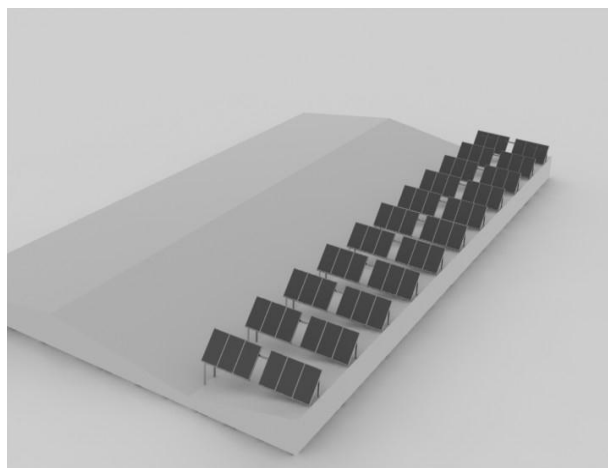


Slika 5: Denarni tok v 30 letni dobi obratovanja solarnega sistema

Cena toplotne energije v dobi obratovanja znaša za sistem s ploščatimi sprejemniki 52 €/MWh in v primeru sistema z vakuumskimi sprejemniki 47,8 €/MWh. Ob upoštevanju kreditnega financiranja sistema in ob ceni energenta sta analizirana sistema ekonomsko neopravičena, saj je vračilna doba večja kot 25 let oziroma preseže predvideno dobo obratovanja solarnega sistema.

3. Solarno daljinsko ogrevanje v Mariboru

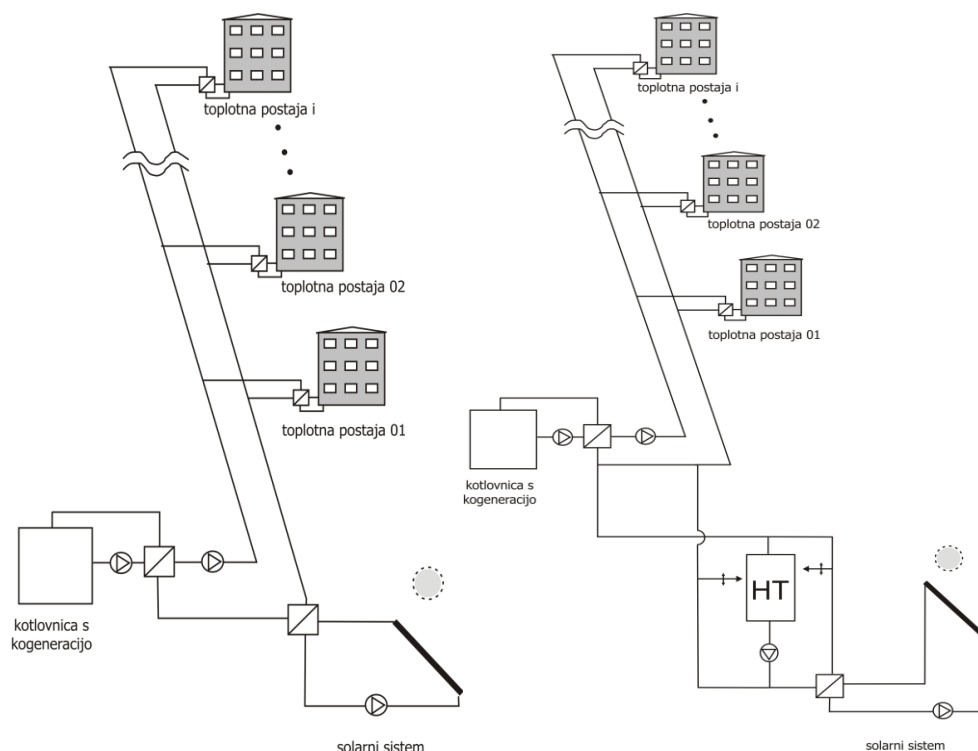
V mestu Maribor deluje SDO že več kot 35 let. Omrežje SDO je dolgo 35 km in oskrbuje s toploto stanovanjske kakor tudi poslovne enote-stavbe. Za pridobivanje toplote uporabljajo plinske kotle skupne moči 98 MW. Leta 2003 je javno podjetje Energetika Maribor, ki je tudi oskrbnik vročevodnega SDO, dogradilo plinsko enoto za sočasno proizvodno toplote in elektrike - SPTE. Le ta obratuje preko celega leta z nazivno električno močjo 3 MW. Z vključevanjem sprejemnikov sončne energije želijo povečati delež OVE in predvsem zmanjšati izpuste onesnažil v okolje. Za postavitev sprejemnikov sončne energije imajo na voljo le streho lastnega poslovnega objekta skupne površine 440 m², kar omogoča postavitev 169 m² velikega solarnega polja – slika 6. Zaradi neustreznega naklona in usmeritve obstoječe strehe (naklon 4° in SZ orientacije) je potrebno sončne sprejemnike namestiti na podkonstrukcijo. Solarni sistem je priključen na povratek SDO preko prenosnika toplote. Delovanje SPTE ima prednost pred delovanjem solarnega sistema.



Slika 6: Streha poslovnega objekta (levo) in namestitvev solarnih sprejemnikov na predvidenem delu strehe (desno)

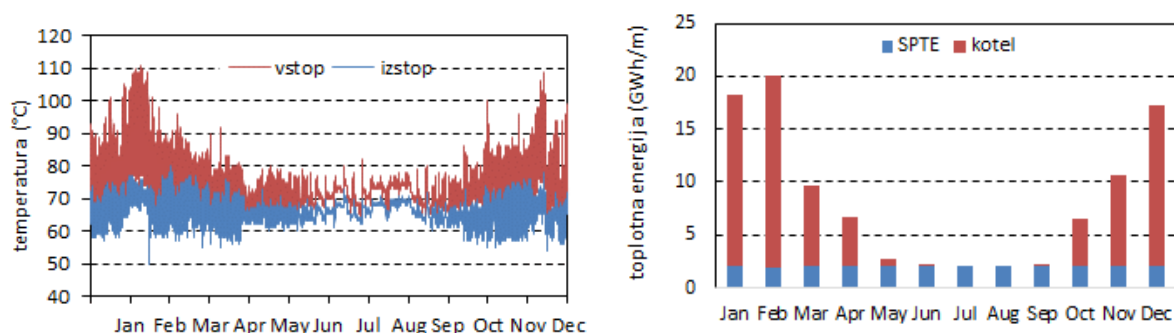
Pri analizah smo upoštevali dve vrsti sončnih sprejemnikov visoko selektivne ploščate sprejemnike ter vakuumске sprejemnike. Zaradi neprekinjenega delovanja enote SPTE smo preučili tudi primer vgradnje dnevnega hranilnika toplote HT v velikosti 30 m³. Na sliki 7

prikazujemo shematsko povezave solarnega sistema brez oziroma s hranilnikom toplote in omrežja SDO.



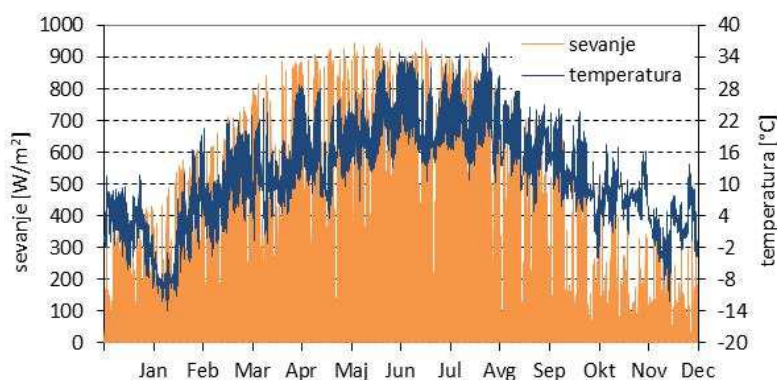
Slika 7: Shematski prikaz priključitve solarnega sistema na omrežje SDO: brez hranilnika toplote (levo) in s hranilnikom toplote (desno)

Obratovalne pogoje delovanja SDO (vstopne ter izstopne temperature in pretok medija) smo določili na osnovi meritev omrežja SDO v letu 2012. Na sliki 8 je prikazan toplotni odziv omrežja SDO. V tem letu je znašal toplotni odjem 100,5 GWh/leto pri čemer so 23,5 % toplote proizvedli v času delovanja SPTE enote.



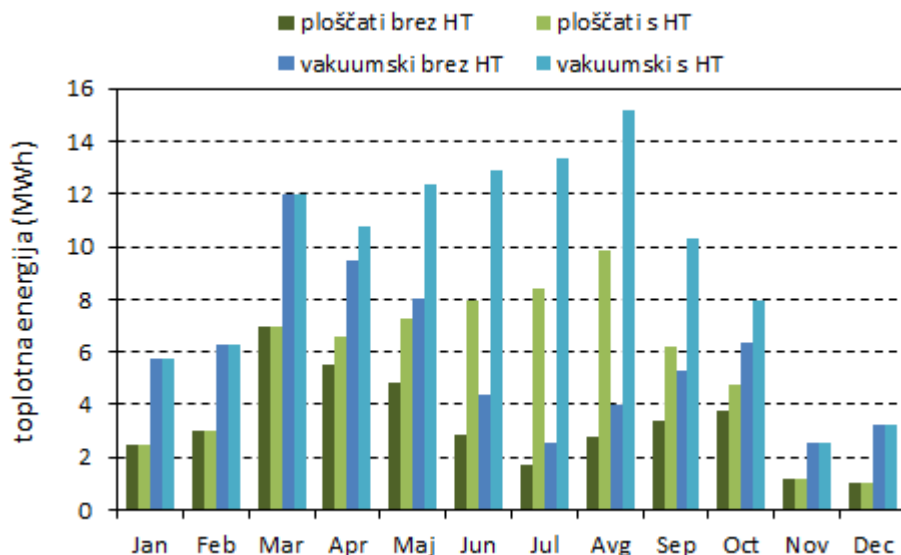
Slika 8: Toplotni odziv omrežja SDO v letu 2012; vstopne ter izstopne temperature (levo) ter mesečne vrednosti proizvedene toplote (desno)

Pri analizi delovanja solarnega sistema smo upoštevali izmerjene meteorološke podatke okolice, ki smo jih pridobili iz meteorološke postaje ARSO [2], ki je v bližini izbrane lokacije in jih prikazujemo na sliki 9.



Slika 9: Meteorološki podatki za izbrano lokacijo – leto 2012

Mesečne vrednosti predvidene dobave toplotne energije iz solarnega sistema v omrežje SDO prikazujemo na sliki 10. Ker SPTE enota deluje neprekinjeno preko celega leta, se predvidena dobava toplotne energije iz solarnega sistema zmanjša. Do zmanjšanja pride predvsem v poletnih mesecih, ko je odjem toplotne energije iz SDO manjši. Z vgradnjo hranilnika toplote se le ta poveča za 4 do 6 krat. Letna predvidena proizvodnja toplotne energije s solarnim sistemom je za primer vgradnje ploščatih sprejemnikov 39,7 MWh/leto in v primeru vakuumskih sprejemnikov 69,9 MWh/leto. S prigradnjo hranilnika toplote, pa je predvidena količina toplote v primeru ploščatih sprejemnikov 65,9 MWh/leto in v primeru vakuumskih sprejemnikov 112,8 MWh/leto.



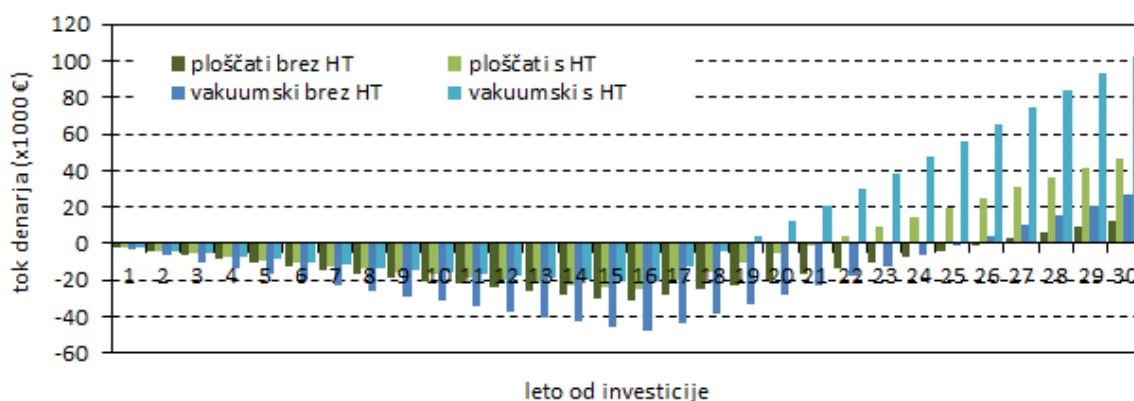
Slika 10: Mesečne vrednosti predvidene dobave toplote iz solarnega sistema

Pri ekonomski analizi sistema smo upoštevali kreditno financiranje po pogojih, ki jih opredeljuje razpis EKO sklada za financiranje okoljskih naložb (Javni poziv za kreditiranje okoljskih naložb 50PO13). Doba kreditiranja je 15 let s 1,79 % letno obrestno mero. Prav tako smo upoštevali letne obratovalne in vzdrževalne stroške. V preglednici 2 so predstavljene vrednosti nekaterih kazalnikov ekonomske analize in na sliki 11 denarni tok stroškov in

prihrankov, ki smo ju določili na oceni prihranka energenta – plina s ceno 0,5536 €/m³. Upoštevana letna rast cene plina je 1%.

Preglednica 2: Vrednosti ekonomskih kazalnikov za primer sistema s ploščatimi in vakuumskimi sprejemniki

	Ploščati sprejemniki brez hranilnika	Ploščati sprejemniki s hranilnikom	Vakuumski sprejemniki brez hranilnika	Vakuumski sprejemniki s hranilnikom
Vrednost sistema (€)	21.200	77.704	98.865	115.765
Vrednost anuitete kredita (€/leto)	4.663	5.958	7.577	8.873
Obratovalni stroški (€/MWh)	1	1	1	1
Proizvedena toplota (MWh/leto)	40	66	70	113
Cena toplote v dobi obratovanja (€/MWh)	70,9	56,6	68,7	49,2
Zmanjšanje emisij CO ₂ (t/leto)	8,1	18,5	14,5	23,2



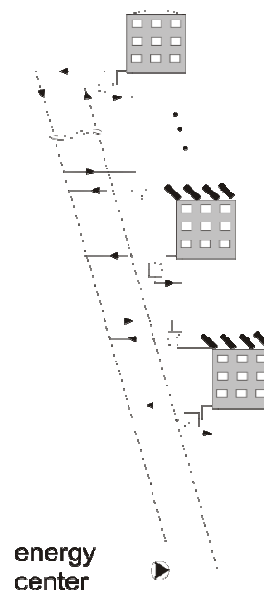
Slika 11: Denarni tok v 30 letni dobi obratovanja solarnega sistema

Vračilna doba v primeru vgradnje ploščatih sprejemnikov brez oziroma s hranilnikom toplote je 26 oziroma 21 let in v primeru vgradnje vakuumskih sprejemnikov 25 let oziroma ob upoštevanju prigradnje hranilnika toplote pa 18 let. Zaradi vročevodnega daljinskega sistema, je smiselna vgradnja vakuumskih sprejemnikov in hranilnika toplote. Slednjega bi lahko uporabili tudi v času, ko je razpoložljiva toplota iz SPTE večja, kot pa je raba toplote iz omrežja. Na ta način bi se povečal tudi izkoristek SPTE. Ob večji rasti cene energenta (pri analizi je upoštevana 1% rast) se investicija povrne v krajšem času, kakor tudi ob upoštevanju gotovinskega nakupa ali pa subvencionirane investicije.

4. Analiza primera solarnega daljinskega ogrevanja na Bledu

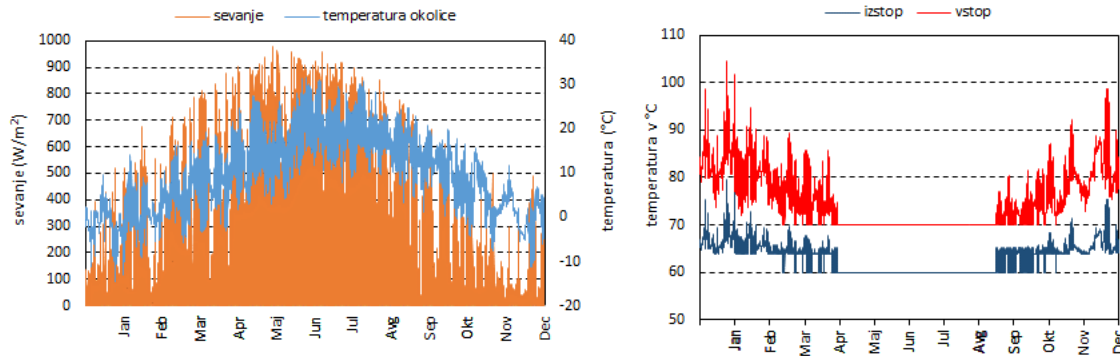
Na Bledu so SDO zgradili v letu 2014. Na sistem je trenutno priklopljenih 6 hotelov, športni park, trgovski center in občinska stavba. Predvideni toplotni oddjem in toplotna moč SDO sta pridobljena na osnovi zgodovinskih meritev rabe toplote v stavbah, ki so priklopljene na omrežje SDO. Predvideni letni toplotni odjem znaša 8,7 GWh/leto in predvidena toplotna moč 5,0 GW. Temperaturni režim SDO je visoko temperaturni, z najvišjo temperaturo 90 °(pri temperaturi okolice -13°C) in najnižjo 68 °C v poletni mesecih. Toploto proizvajajo s toplotno črpalko moči 0,4 MW, dvema napravama SPTE nazivnih električnih moči 1,0 MW ter 0,4 MW in s plinskim kotlom moči 2,9 MW.

S postavitvijo solarnega sistema želijo povečati delež OVE pri proizvodnji toplotne energije in zmanjšati emisije CO₂. V ta namen smo analizirali postavitev solarnega polja velikosti 1.500 m². Pri nalizi smo upoštevali selektivne ploščate in vakuumске solarne sprejemnike. Predvidena je izgradnja decentralnih solarnih sistemov na strehah objektov, ki koristijo toploto iz SDO – slika 12 (levo). Predpostavili smo uporabo dodatnih konstrukcijskih nosilcev za zagotavljanje primerne orientacije in naklona sončnih sprejemnikov. Zaradi visokotemperaturnega režima obratovanja SDO je solarni sistem priklopljen na povratek SDO – slika 12 (desno).



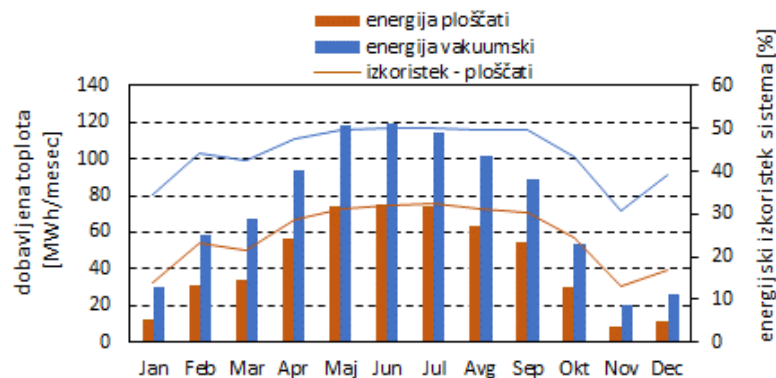
Slika 12: Predvidene lokacije postavitve solarnih sistemov (levo) in shematski prikaz priklopa solarnih sprejemnikov na omrežje SDO (desno)

Pri modeliranju toplotnega odziva SDO in solarnega sistema smo uporabili meteorološke podatke iz baze TRL za lokacijo Brnik, ki je od Bleda oddaljena 30km. Vstopna temperatura medija v SDO je odvisna od temperature okolice, vendar ni višja od 110°C oziroma nižja od 60°C. Temperatura na izstopu iz omrežja SDO je za 20 °C nižja od vstopne.



Slika 13: Meteorološki podatki iz baze TRL [2] za Brnik (levo) in linearno odvisna vstopna in izstopna temperaturo medija SDO

Mesečne vrednosti predvideno dobave toplotne energije iz solarnega sistema v omrežje SDO prikazujemo na sliki 14. Na sliki je prikazan tudi izkoristek solarnega sistema. Letna proizvodnja toplote ob upoštevanju ploščatih solarnih sprejemnikov je 524 MWh/leto in ob upoštevanju vakuumskih sprejemnikov 890 MWh/leto. Zaradi visokotemperaturnega režima SDO je izkoristek sistema z vakuumskih sprejemniki skoraj dvakrat višji, kot pri sistemu s ploščatimi sprejemniki.

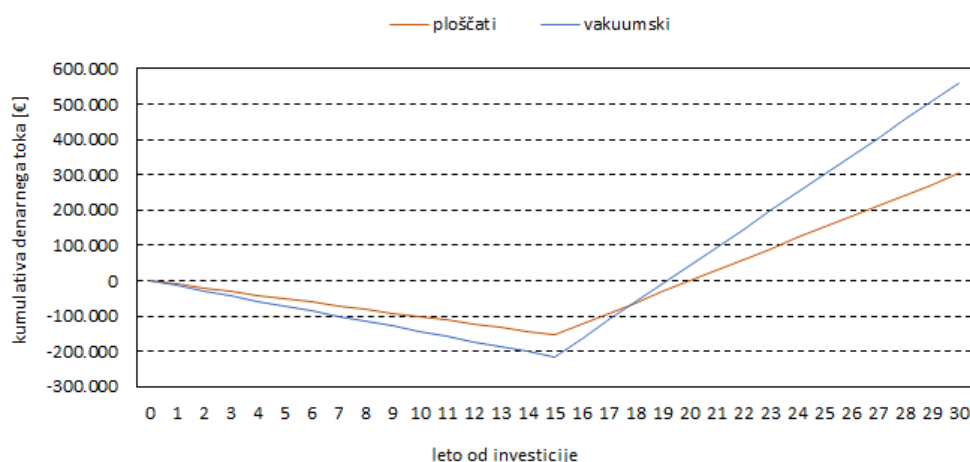


Slika 14: Predvidena dobava toplotne energije iz solarnega sistema v omrežje SDO

Pri ekonomski analizi sistema smo upoštevali kreditno financiranje po pogojih, ki jih opredeljuje razpis EKO sklada za financiranje okoljskih naložb (Javni poziv za kreditiranje okoljskih naložb 53PO15). Doba kreditiranja je 15 let z letno višino obrestne mere 3 mesečni EURIBOR + 1,5% . Prav tako smo upoštevali letne obratovalne in vzdrževalne stroške. V preglednici 3 in na sliki 15 so prikazani ekonomski kazalniki investicije v solarni sistem.

Preglednica 3: Vrednosti ekonomskih kazalnikov za primer sistema s ploščatimi in vakuumskimi sprejemniki

	Ploščati sprejemnik	Vakuumski sprejemnik
Vrednost sistema (€)	540.000	877.500
Vrednost anuitete kredita (€/leto)	40.599	65.974
Obratovalni stroški (€/MWh)	1	1
Proizvedena toplota (MWh/leto)	524	890
Cena toplote v dobi obratovanja (€/MWh)	47,2	45,1
Zmanjšanje emisij CO2 (t/leto)	107	182



Slika 15: Denarni tok v 30 letni dobi obratovanja solarnega sistema

Cena toplotne energije ob upoštevanju 25 letne življenjske dobe je med 45,1 €/MWh za sistem z vakuumskimi sprejemniki in 47,2 €/MWh za sistem s ploščatimi sprejemniki. Ob upoštevanju predpostavljenih pogojev financiranja in stroškov delovanja sistema je vračilna doba pri sistemu s ploščatimi sprejemniki 20 let in pri sistemu z vakuumskimi sprejemniki 19 let. Dohodek v 25 letni dobi delovanja sistema je 151.188 € za sistem s ploščatimi sprejemniki in v za primer sistema z vakuumskimi sprejemniki 300.967 €. Ob večji rasti cene energenta (pri analizi je upoštevana 1% rast) se investicija povrne v krajšem času, kakor tudi ob upoštevanju gotovinskega nakupa ali subvencionirane investicije. Prav tak se povečajo tudi dohodki v življenjski dobi sistema.

5. Zaključek

Na osnovi opravljenih analiz lahko ugotovimo, da so cene toplote iz solarnih sistemov primerljive s cenami drugod po Evropi, kjer so taki sistemi številčnejši. Vendar je potrebno poudariti, da pri izračunu nismo upoštevali cene zemljišč oziroma površine za namestitev solarnega polja, ki lahko doseže tudi do 10% celotne investicije ali pa celo več, odvisno od vrste površine oziroma zemljišča. Vračilna doba je v večini primerov nad 20 let, kar s strani investitorja ni prepričljiv potencial za investicijo. Poudariti je potrebno, da bi bilo potrebno s

strani države zagotoviti bistveno večjo podporo za uveljavljanje podobnih (večji) sistemov, saj so trenutno na razpolago le nepovratna sredstva za manjše solarne sisteme.

6. Reference

[1] Eko sklad; <http://www.ekosklad.si/>

[2] ARSO - http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/test_ref_year/