

# Studija slučaja daljinskog grijanja na bazi solarne toplote u Dronninglundu, opština Brønderslev, Danska

For more information

**Nataša Kovačević**

District heating campaigner

CEE Bankwatch Network

[natasa.kovacevic@bankwatch.org](mailto:natasa.kovacevic@bankwatch.org)



Solarna toplana Dronninglund sa površinom solarnog kolektora od 37.573 m<sup>2</sup>.<sup>1</sup>

## Uvod

Specifične informacije <sup>2</sup>	
Područje solarnog termalnog kolektora	Otvor 40.466 m <sup>2</sup> bruto / 37.573 m <sup>2</sup> sa 2.982 panela
Skladištenje toplotne energije	Podzemno skladište toplote u jami (sezonsko skladište) 61.700 m <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fotografija: [Testiranje, razvoj i demonstracija velikih solarnih sistema daljinskog grejanja - naučna slika na ResearchGate-u](#), pristupljeno 22. aprila 2022.

<sup>2</sup> Franz Mauthner i Martin Joly, [Analiza primjera najbolje prakse i konceptualne studije izvodljivosti solarnih termalnih sistema u urbanim sredinama](#), IEA SHC, 9, 31 avgust 2017.

Learn more: [bankwatch.org](http://bankwatch.org)



Rezervoar toplotne energije u skladištu (dnevno skladištenje, balansiranje opterećenja)	865 m <sup>3</sup>
Godišnji prinos solarne energije	17.201 MWh (06/2015-05/2016)
Solarna frakcija	48% (zasnovano na konačnom izlazu daljinske toplote ventilaciji izazvanoj toplotom)
Specifični godišnji prinos sunčeve energije	425 kWh/(m <sup>2</sup> bruto·a) / 458 kWh/(m <sup>2</sup> otvora·a), 2015/2016.
Dužina mreže	46 km (2016)
Broj potrošača	1,350

Dronninglundov solarni sistem daljinskog grijanja sa podzemnim sezonskim skladištem toplote pušten je u rad u maju 2014. U vrijeme kada je izgrađena, solarna farma Dronninglund bila je najveća solarna elektrana na svijetu. Smatrana je inovativnom zbog načina na koji su integrisani solarno grijanje, sezonsko skladištenje i toplotne pumpe. Postrojenje je smanjilo potrošnju uglja kroz konvencionalno daljinsko grijanje i obezbijedilo stabilnu cijenu iz solarnog sistema.

Ukupni investicioni troškovi za postrojenje iznosili su 14,6 miliona eura. Postrojenje je subvencionisano od strane Danskog programa za razvoj i demonstraciju energetske tehnologije, EUDP, koji je podržao projekat sa 2,953 miliona eura. Rok otplate je 25 godina.

## Zašto su odabrani solarno grijanje i skladištenje

Zbog nestabilnih cijena prirodnog gasa, ali i ograničenih obnovljivih izvora kao što je biomasa, Upravni odbor preduzeća Dronninglund District Heating (Dronninglund Fjernvarme) odlučio se za strategiju budućeg snabdijevanja toplotom na bazi visokog udjela solarne toplote energije. Za odluku su bile važne i sledeće činjenice:

- Ovakav sistem je donosio stabilne cijene toplote tokom životnog vijeka tj. trajanja sistema i veću fleksibilnost u radu daljinskog grijanja zbog nove opreme (solarna termalna + sezonska akumulacija + apsorpciona toplotna pumpa).
- Takođe, bilo je važno da tehnologija obezbijedi čistiju životnu sredinu; rad bez problema (sa dokazanom pouzdanošću u posljednjih 25 do 30 godina); te da su zainteresovani akteri, uključujući i industriju, već imali dragocjeno iskustvo u razvoju solarne energije za potrebe daljinskog grijanja.<sup>3</sup>
- Dodatno, višak uštede daljinskog grijanja Dronninglunda, postignut instaliranjem solarnog polja, značio je da se dio uštede mogao prodati na 'berzi uštedene energije'.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Dansk Fjernvarme / PlanEnergi, [Solar District Heating Inspiration and Experiences from Denmark](#), Dansk Fjernvarme / PlanEnergi, januar 2018.

<sup>4</sup> Sve mrežne i distributivne kompanije u oblasti električne energije, daljinskog grijanja i prirodnog gasa su prema Sporazumu od 13. novembra 2012. godine obavezne da ostvare određeni broj ušteda energije godišnje i o tome izvještavaju Dansku agenciju za energetiku (DEA). Proizvodnja solarne

- Ekonomska studija je pokazala da bi projekat zadovoljio ključnu potražnju za daljinskim grijanjem u Dronninglundu i da investicija neće povećati trenutne troškove krajnjih potrošača za grijanje.<sup>5</sup>

## Tehnologija i investicioni troškovi

Solarna termoelektrana Dronninglund za daljinsko grijanje sastoji se od 2.982 solarna panela površine 37.573 kvadratnih metara (m<sup>2</sup>). Paneli su podijeljeni u polja, a svako polje je povezano na izmjenjivač toplote u tehničkoj zgradi. Maksimalna snaga koja se može dobiti iz kolektorskih polja je 26 megavata (MW) – što se može uporediti sa maksimalnom potrošnjom koja iznosi 12 MW u najhladnijim zimskim periodima.

Svaki red kolektorskih polja ima 21 solarni kolektor spojen u niz. Hladna voda se postepeno zagrijava solarnim kolektorima. Ovo obezbjeđuje da je temperatura u posljednjem solarnom kolektoru u nizu onakva kakva je zadata upravljačkim sistemom. Solarni kolektori su postavljeni na pocinčane čelične profile koji su postavljeni u zemlji. Nagib solarnih kolektora je 35° kako bi se obezbijedio maksimalni godišnji solarni prinos. Dvadeset jedan kolektor u jednom redu je tipičan broj za nizove sa kolektorima u obliku harfe<sup>6</sup>, kao u Dronninglundu, pošto, ukoliko je spojeno više kolektora, pad pritiska postane prevelik ili brzina protoka postane premala u cijevima razdjelnika (čvorište koje povezuje dovodne i povratne vodove). Ulazne temperature kolektorskog niza su ljeti oko 40 °C i mogu pasti na oko 15 do 20 °C zimi. Izlazne temperature dostižu od 8 do –90 °C tokom ljeta i prosječno od 30 do 40 °C tokom zime<sup>7</sup>.

Podzemno sezonsko skladište toplotne, koje ima zapreminu od 62.000 kubnih metara (m<sup>3</sup>) (91 x 91 x 16 metara), izgrađeno je u napuštenom kamenolomu. Nivo podzemne vode je približno tri metra ispod dna skladišnog prostora, a tlo se sastoji od šljunka i pijeska. Prostor za skladištenje je sa gornje strane izolovan plivajućim poklopcem. Izolacija za prostor odvaja vodu od jedinica. Skladište je kombinovano sa apsorpcionim rashladnim uređajem (sa 2 MW kapaciteta za hlađenje), koji radi kao toplotna pumpa kako bi omogućio korišćenje niskotemperaturne mreže. Skladište se puni do 85 °C tokom ljeta, a prazni na 10 do 15 °C tokom zime. Skladište se koristi direktno i kao izvor toplote za apsorpcionu toplotnu pumpu. Dakle, temperatura mreže<sup>8</sup> može pasti i do 15 °C, što čak i zimi (obično u periodu između novembra i februara) sunčevu toplotu čini vrijednim resursom od 30 do 40 °C.

---

toplote u prvoj godini mogla bi se računati kao ušteda energije. Sistem uključuje mogućnost kupovine uštedene energije od drugih kompanija umjesto stvaranja iste.

<sup>5</sup> Dronninglund Fjernvarme, [Solarnoj elektrani Dronninglund](#), *Dronninglund Fjernvarme*, 2015.

<sup>6</sup> Dizajn se obično koristi u termosifonskim sistemima niskog pritiska ili pumpnim sistemima, Philip Ohneweina and Robert Hausnera, [Novi pristup analizi hidrauličkih konstrukcija u velikim nizovima solarnih kolektora](#), *Energy Procedia*, 6-7, 25 septembar 2013.

<sup>7</sup> Daniel Tschopp et al., [Solarni termalni sistemi velikih razmjera u vodećim zemljama: Pregled i uporedna studija Danske, Kine, Njemačke i Austrije](#), *Applied Energy*, 6 april 2020.

<sup>8</sup> Sistem daljinskog niskotemperaturnog grijanja (LTDH) definiše se kao sistem mreže daljinskog grijanja i njenih elemenata, priključaka potrošača i internih instalacija, koji mogu raditi u rasponu od 50-55°C do 60-70°C napajanja i 25-30°C do 40°C povratne temperature i zadovoljavaju zahtjeve potrošača za prijatnim grijanjem u zatvorenom prostoru i potrošnom toplom vodom za domaćinstva.

## Investicioni i operativni troškovi

Ukupni investicioni troškovi za postrojenje iznosili su 14,6 miliona eura, od čega je 6,1 milion eura uloženo u solarnu instalaciju. Daljinsko grijanje za Dronninglund je projekat koji je okončan u skladu sa planiranim budžetom: Kompanija Arcon- Sunmark, koja je isporučila kolektore i potpurnu konstrukciju za solarno polje, uspjela je ostvariti 30 procenata uštede troškova<sup>9</sup> (ili 155 m<sup>2</sup> solarnog polja) optimizacijom proizvoda i konstrukcije. Jedna od glavnih prednosti skladišta toplote u jami je relativno niska cijena po kubnom metru skladišta, otprilike oko 40 EUR/m<sup>3</sup>. Veća skladišta od ovog u Dronninglundu su postigla čak niže troškove od ovog (između 20 i 30 EUR/m<sup>3</sup>) na većem prostoru.

<b>Ekonomija solarne termoelektrane</b>	<b>U hiljadama EUR</b>
Skladište toplote, 62.000 m <sup>3</sup> (38,7 EUR/m <sup>3</sup> )	2 400
Zgrade	2 400
Solarni paneli	6 100
Cijevi daljinskog grijanja	1 340
Kotlarnica i toplotna pumpa	920
Kamate za izgradnju i nepredviđeni troškovi	800
Ukupna investicija za hardvere	13 960
Inženjeri i konsalting	673
EUDP (subvencije danskog ministarstva energetike)	-2 953
Neto investicija (opštinska garancija za kredit)	11 680

Operativni troškovi su niski i iznose oko 15 centi po megavat-satu (MWh) solarne energije.

U proizvodnu cijenu grijanja u Dronninglundu nisu uključene subvencije. Kapitalni troškovi odgovaraju prosječnim troškovima za 20-godišnji anuitetski kredit sa kamatom od pet odsto i inflacijom od dva posto<sup>10</sup>. Cijena grijanja za potrošače danas iznosi 424 DKK/MWh, bez PDV-a (~ 57 EUR/MWh).

<sup>9</sup> Tipični investicioni troškovi kolektorskog polja od 10.000 m<sup>2</sup> koji se montira u zemlji bili su 200 EUR/m<sup>2</sup>.

<sup>10</sup> [Godišnji finansijski izvještaj Dronninglund fjernvarme 1/6 2013-31/5 2014](#)

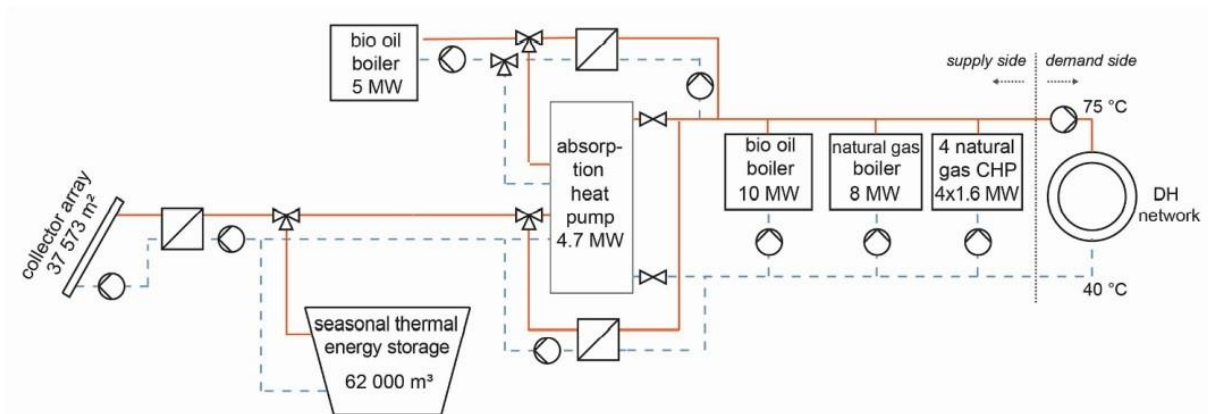
## Operativna iskustva i efikasnost

Iskustvo kompanije u pogledu rada elektrane je da je solarni sistem daljinskog grijanja jednostavan za rukovanje. Rukovanje može obavljati redovno osoblje.

Procjena performansi i efikasnosti solarne toplane Dronninglund od 2014. do 2017. godine pokazala je da je efikasnost elektrane od 39 do 41 odsto, a efikasnost PTES sistema za skladištenje od 90 do 96 odsto, što dokazuje efikasnost i pouzdanost tehnologije skladištenja. Procjena učinka potvrdila je da su integrisane prakse skladištenja toplote imale dobru ravnotežu korišćenja temperaturnih raspona u odnosu na postojeće snabdijevanje daljinskim grijanjem uvezanih mreža daljinskog grijanja. Takođe, procijenjene solarne frakcije, koje se koriste za punjenje sezonskog skladišta, bile su u skladu sa unaprijed planiranim projektnim očekivanjima.<sup>11</sup> Pokazalo se da su gubici toplote iz skladišnog prostora manji od očekivanih za sve godine. Pozitivan uticaj u tom smislu su niske temperature u zimskom periodu, koje rezultiraju negativnim toplotnim gubicima u donjem dijelu skladišnog prostora.

## Integracija solarnog sistema u postojeću mrežu daljinskog grijanja

Dugoročno gledano, daljinsko grijanje za Dronninglund planiralo je da sve grijanje obezbijedi putem obnovljivih izvora energije kako bi cijene grijanja bile stabilne. Trenutno se napajanje toplotne mreže zasniva na četiri kombinovane toplane na gas (ukupno 7 MWel i 12 MWth) i dva kotla na biogoriva (ukupno 15,1 MW).



Slika 2. Hidraulički (pojednostavljeni) izgled sistema daljinskog grijanja Dronninglund. Pumpe pokazuju smjer protoka u ulaznim/povratnim cijevima sa nižim temperaturama (plave isprekidane linije) i izlaznim/dovodnim cijevima sa višim temperaturama (crvene pune linije) (izvor: Solites)

<sup>11</sup> Carlo Winterscheid i Thomas Schmidt, [Procjena monitoringa podataka o daljinskom grijanju Dronninglund 2015-2017](#), Solites, 31 maj 2019.

## Odluka, proces dizajna i primijenjeni pristupi

Daljinsko grijanje za Dronninglund je zajedničko vlasništvo potrošača. Ona je 1989. godine postala prva danska kompanija za daljinsko grijanje koja je instalirala motore na prirodni gas za kombinovanu proizvodnju grijanja i električne energije. U 2005. godini, odbor i generalna skupština Dronninglund daljinskog grijanja shvatili su da ovo preduzeće treba zamijeniti prirodni gas obnovljivim izvorima energije.

Godine 2007. Nordjyllands Vækstforum (danski vladin forum za regionalni rast) subvencionisao je prethodnu studiju izvodljivosti koja je pokazala da veliki solarni termalni sistem sa sezonskim skladištenjem toplote može pokriti do 50 posto potražnje za grijanjem. Preduslov je bio da grijanje ne bude skuplje za potrošače.

Od same ideje 2006. do donošenja odluke 2011. godine prošlo je pet godina, tokom kojih su solarno orijentisani dioničari izgradili povjerenje među ostalim dioničarima koristeći činjenice i jasne informacije. Pored toga, odbor daljinskog grejanja Dronninglund je održavao dijalog sa opštinom, čiji je službenik za zaštitu životne sredine bio određen da učestvuje na svim sastancima o projektu solarnog daljinskog grijanja. Opština je imala koristi od činjenice da će solarni sistem pomoći u ispunjavanju klimatskih ciljeva grada.

Centralno grijanje Dronninglund prijavilo se za subvenciju iz Programa razvoja i demonstracije energetske tehnologije (EUDP), programa koji finansira danska država. Odobren je projektni predlog SUNSTORE 3 i dodijeljena je subvencija za izradu glavnog projekta i za ulaganja u dugotrajno skladištenje, cjevovode, izmjenjivače toplote i upravljački sistem za povezivanje proizvodnih jedinica.

Glavni projekat je organizovan na način da je jedan od partnera na projektu, PlanEnergi, bio odgovoran za simulaciju cjelokupnog energetskeg sistema, projekciju vlage itd. i sprovođenje eksperimenata u vezi sa dizajnom poklopca (zatvarača). Drugi partner (NIRAS) je izvršio detaljno projektovanje cijevi, pumpe, izmjenjivača toplote, ventila itd.; pripremio je materijal za skice i tendere; i bio je odgovoran za ocjenu tendera i pregovore o samom ugovoru. Prvi korak u procesu bio je sastavljanje sistemskog dijagrama. Zatim je u simulacionom programu TRNSYS ugrađen model ukupnog energetskeg sistema, nakon čega je sistem mogao biti optimizovan za protok, temperaturne uslove itd.

Detaljni projekat i priprema tenderskog materijala obavljani su početkom jula 2010. godine, a tenderi su primljeni u avgustu 2010. godine. Međutim, tender za polje solarnog kolektora je raspisan u jesen 2008. godine i prije početka projekta. Pregovori o ugovoru su završeni, a ugovori potpisani u decembru 2010. godine.

Za sezonsko skladište toplote korišćen je nešto drugačiji pristup, jer je proces projektovanja rađen u partnerstvu sa GG-Construction kao izvođačem i NIRAS-om i PlanEnergi kao projektantima. Tokom čitavog procesa, uspostavljena je bliska saradnja sa opštinom Brønderslev (gdje se nalazi Dronninglund), kako na političkom tako i na administrativnom nivou, što je bilo neophodno za implementaciju ovako komplikovanog projekta.

Postupak odobravanja projekta započeo je u decembru 2009. i to fazom pred-objavljivanja lokalnog plana, sa lokacijom projekta sjeverno od Nordre Ringveja. Kada su se u proljeće 2010. godine pojavile sumnje u vezi sa ovom lokacijom, opština Brønderslev je sprovela ekološki skrining.

Prilikom dobijanja građevinskih dozvola nije bilo bitnih komplikacija. Naknade za obradu i odobrenja bile su niske zbog činjenice da bi se projektom izgradila samo jedna zgrada sa pratećim tehničkim sistemima.

Značajna prepreka za uspostavljanje solarnog sistema daljinskog grijanja u Dronninglundu bilo je dobijanje parcele, kao i prigovori na lokalni plan koji su dostavljeni Odboru za žalbe za prirodu i životnu sredinu. Ovaj izazov je prevaziđen kroz nekoliko javnih rasprava organizovanih između lokalne uprave i zajednica, a izvršene su i detaljne procjene uticaja na životnu sredinu. Ovo je odgodilo realizaciju projekta za godinu do godinu i po dana, ali je ekološki i društveni kvalitet projekta poboljšan.<sup>12</sup>

## Sažetak i naučene lekcije

Nekoliko lekcija je naučeno tokom planiranja i izgradnje solarne elektrane Dronninglund:

- Nije striktno potrebno graditi postrojenje maksimalne/optimalne veličine od samog početka – uspostavljanje se može obaviti u fazama, a dalje faze se mogu sprovoditi kada postoji dobro operativno iskustvo sa realizacijom početnih faza (iako bi razvijanje postrojenja pune veličine odjednom vjerovatno bila najekonomičnija odluka).
- Što je veća potražnja za grijanjem, to je bolja ekonomičnost. To znači da postoji velika prednost solarnih sistema grijanja – a posebno za podzemna sezonska skladišta u jami. Solarne frakcije<sup>13</sup> od više od 60 odsto su tehnički i ekonomski moguća. Kombinacija sa toplotnim pumpama može poboljšati ekonomičnost, ali se mora posebno analizirati za svaki pojedinačni projekat.
- Optimalna veličina postrojenja treba biti utvrđena na osnovu lokalnih karakteristika određene mreže snabdijevanja i daljinskog grijanja. Veličina bi mogla biti ograničena raspoloživom površinom zemljišta. Za veće solarne termalne sisteme moguće je uspostaviti duže dalekovode, jer ekonomičnost većeg solarnog sistema može bolje podnijeti uvećana ulaganja za duži dalekovod.
- Solarni sistem se može proširiti u fazama. U tom slučaju, prikladno je to uzeti u obzir prilikom planiranja prve faze, npr. pozicioniranjem prvog polja na takav način da se eventualno proširivanje lako realizuje.
- Kada je dostupna projektna ideja koja sadrži glavne ekonomske, socijalne i ekološke parametre, a ako odbor ima namjeru da se projekat pokrene, predlog se upućuje Glavnoj skupštini. Prije ovog sastanka važno je obavijestiti korisnike (javnost), opštinu i eventualno vlasnike zemljišta na koje projekat utiče.
- Sadržaj ove projektne ideje će se često djelimično podudarati s opisom projekta u kojem je bliže opisana i objašnjena ekonomičnost projekta.
- Predlog projekta mora biti pripremljen u skladu sa nacionalnom regulativom koja nameće formalne zahtjeve za objašnjavanje određenih aspekata projekta (ekonomičnost, uticaj na životnu sredinu, itd.).
- Predlog projekta mora biti odobren od strane lokalnih vlasti i dostavljen za javnu raspravu prije uspostavljanja solarnog sistema. Stoga je što je ranije moguće uspostavljanje dijaloga sa opštinom veoma važno.

<sup>12</sup> PlanEnergi, [SUNSTORE 3 - Implementacija Faze 2, Dronninglund Fjernvarme](#), mart 2015.

<sup>13</sup> procenat protoka tople vode koji može podmiriti solarna energija na godišnjem nivou

- Opština igra važnu ulogu u koordinaciji projekta, procjeni optimalne lokacije, primjeni lokalnih i opštinskih propisa i otkupu zemljišta – da li je opština spremna da izvrši eksproprijaciju zemljišta? Ekološki skrining, ekološke dozvole i građevinske dozvole su, takođe, važni elementi prije uspostavljanja solarnog sistema daljinskog grijanja.
- Ukoliko kompanija za daljinsko grijanje odluči uspostaviti podzemno skladište toplote u jami i razmotri različite mogućnosti veličine tog skladišta, onda trošak povećanja zapremine po dodatnom m<sup>3</sup> može biti vrlo nizak (npr. u rasponu od 15 do 20 EUR/ m<sup>3</sup>). Kada se razmatraju prostori za skladištenje velikih razmjera, investicioni troškovi će obično biti mnogo niži od troškova koji uključuju rješenja u obliku čeličnih rezervoara. S druge strane, početni investicioni trošak u toplotno skladište u jami zajedno sa povezanim gubicima toplote čini ga neisplativim za manje isuviše male zapremine skladišta (npr. nekoliko hiljada m<sup>3</sup>).

*Ova publikacija je napravljena uz finansijsku pomoć Evropske klimatske fondacije, Evropske unije i Sida-e. Sadržaj ove publikacije je isključiva odgovornost CEE Bankwatch Network i ni pod kojim okolnostima se ne može smatrati da odražava stav donatora.*

