

Ieskats Dānijas centralizētajā siltumapgādes sistēmā un Kopenhāgenas siltumenerģijas tirgū



Avedøre TEC Kopenhāgenā

Polīna Ivanova, Māris Balodis, Oļegs Linkevičs, Ilmārs Stuklis



Dānijas centralizētā siltumapgādes sistēma

Pirmā termoelektrocentrāle tika uzbūvēta 1903. gadā Dānijā. Tā bija atkritumu sadedzināšanas stacija, kura nodrošināja atkritumu pārstrādi un ražoja siltumenerģiju un elektroenerģiju tuvējai slimnīcai. Laika posmā no 1920. līdz 1930. gadam attīstījās kolektīvā centralizētā siltumapgādes sistēma (CSS), kas nodrošināja patērētāju siltumapgādi, izmantojot siltuma tīklu infrastruktūru. Paplašinājās koģenerācijas elektrostaciju izmantošana siltumenerģijas ražošanai CSS vajadzīgām. 1970. gadā apmēram 30% no visām mājām Dānijā tika pieslēgti CSS [1].

Decentralizētās siltumapgādes lietotāji apkurei pārsvarā izmantoja šķidro kurināmo. 1973. – 1974. gada enerģētikas krīze parādīja, ka ir svarīgi taupīt enerģiju, lai samazinātu atkarību no importētā kurināmā un siltumenerģijas ražošanas izmaksas. Tika nolemts pilsētās paplašināt centralizētās

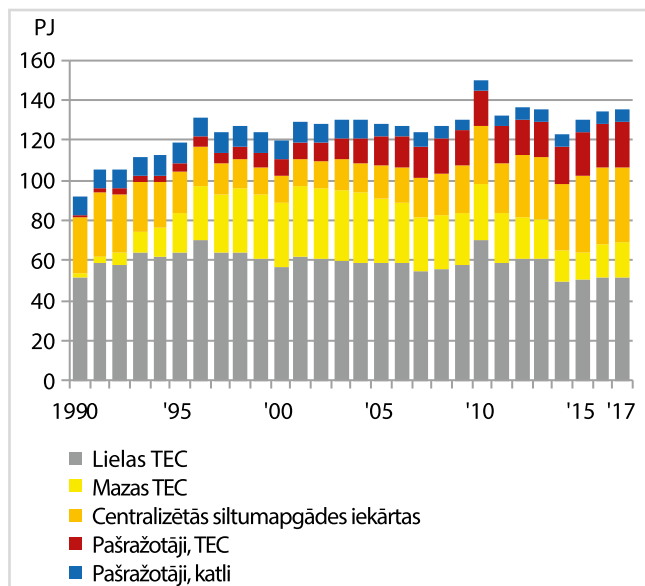
siltumapgādes sistēmas zonas un palielināt koģenerācijas staciju skaitu [1]. 1979. gadā tika pieņemts pirmais *Siltumenerģijas piegādes likums*, kas iezīmēja jaunas ēras sākumu publiskajā siltumenerģijas plānošanā, kura pastāv joprojām [1].

Šodien Dānijā ap 63% no dzīvojamām mājām pieslēgti CSS, kas nodrošina siltumenerģiju apkures un karstā ūdens vajadzībām [1]. Salīdzinājumam, Latvijā ar siltumenerģiju centralizēti ir apgādāti apmēram 30% no siltumenerģijas patērētājiem, Rīgā – ap 70%.

Dānijas CSS attīstības hronoloģija sniegta 1. tabulā.

Dānijā siltumenerģija centralizētajai siltumapgādes sistēmai tiek ražota lielās un mazās termoelektrocentrālēs (TEC), centralizētās siltumapgādes iekārtās (*district heating units*) un daļēji to nodrošina pašražotāji¹ (*autoproducers*), t.i., rūpniecības uzņēmumi, dārzkopības un atkritumu savākšanas iestādes (1. att.). Kopš 1990. gada palielinājās mazo TEC, centralizēto siltumapgādes iekārtu un pašražotāju loma siltumenerģijas ražošanā. Tomēr joprojām liels ieguldījums CSS

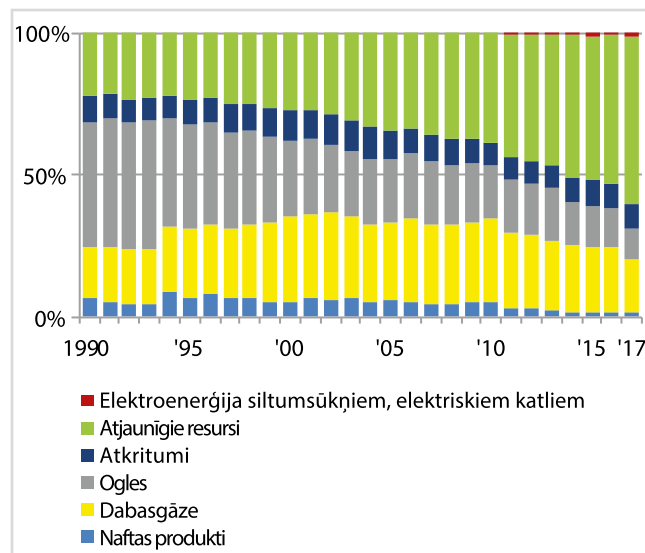
¹ Uzņēmumi, kas ražo elektroenerģiju un/vai siltumenerģiju, kuru pilnībā vai daļēji izmanto savām vajadzībām, lai veicinātu pamatdarbību. Tas var būt privāts vai publisks uzņēmums [4].



1. attēls. CSS siltumenerģijas ražošanas avoti [3]

saglabājās lielām TEC. 2017. gadā kopējais saražotais siltumenerģijas daudzums centralizētajai siltumapgādes sistēmai bija 135,6 PJ [3].

Dānijā siltumenerģijas ražošanai centralizētajā siltumapgādes sistēmā tiek izmantoti atjaunīgie un fosilie enerģoresursi, kā arī atkritumi un elektroenerģija (2. att.). Kopš

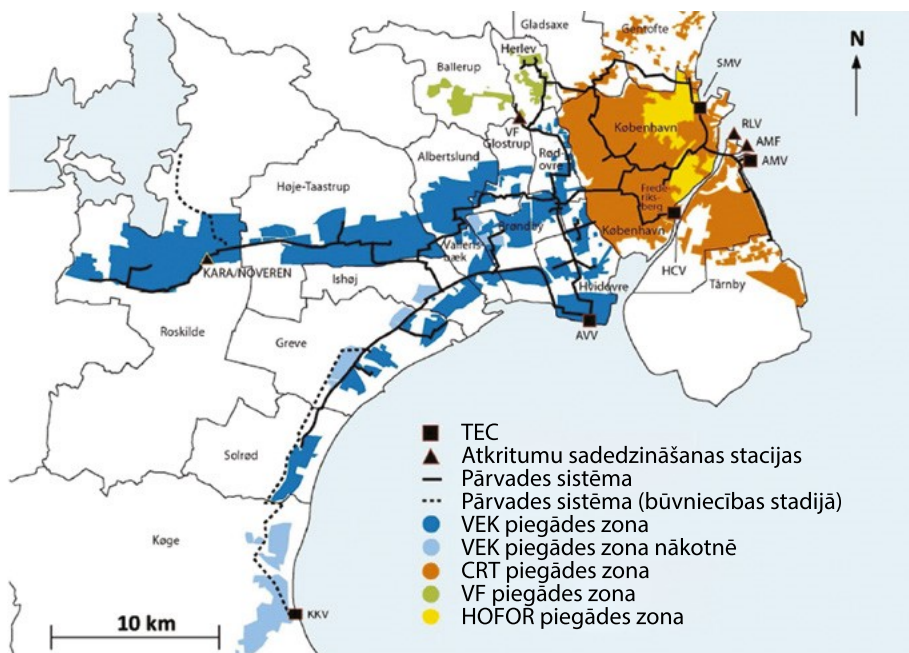


2. attēls. Kurināmā patēriņš (procentuālais sadalījums) siltumenerģijas ražošanai centralizētajā siltumapgādes sistēmā [3]

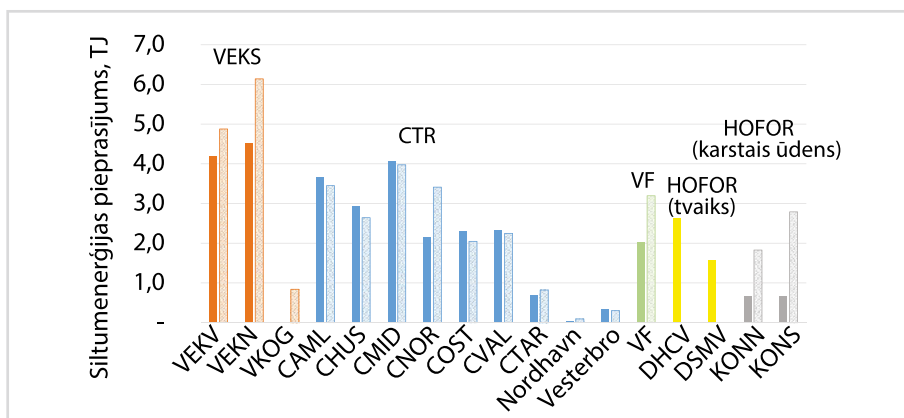
1990. gada būtiski pieauga atjaunīgo enerģoresursu izmantošana siltumenerģijas ražošanā, un tā rezultātā saruka ogļu un naftas produktu izmantošana. Kopš 2010. gada samazinājās dabāsgāzes lietošana. Lai darbinātu siltumsūkņus un elektriskos katlus, pēdējos gados pieaugusi elektroenerģijas izmantošana siltumenerģijas ražošanā.

1. tabula. CSS attīstība Dānijā [1], [2]

CSS attīstības posmi	Gads	Notikums
Uzmanība pievērsta energoefektivitātei un energoapgādes drošumam	1973 – 1974	Enerģētikas krīze pamudina dāņus pievērst uzmanību jautājumam par kurināmā neatkarību un motivē uzlabot energoefektivitāti.
	1976 – 1979	Pirmais enerģētikas plāns – ilgtermiņa enerģētikas politikas pamats. Izveidota Dānijas enerģētikas aģentūra. Pirmais <i>Siltumenerģijas piegādes likums</i> – sākums siltumenerģijas plānošanai, kas pastāv joprojām.
	1981 – 1982	Siltumenerģijas plānošana visā valstī. Pielietota zonēšana (CSS zonā ierobežota cita veida siltumapgādes izmantošana), lai izveidotu efektīvu enerģosistēmu ar samazinātu CO ₂ emisiju daudzumu.
Interese par vietējo kurināmo	1984	Ziemeļjūrā sākas dabāsgāzes ieguve. Enerģētikas ministrijas lūgums uzstādīt gāzes iekārtas elektrostacijās.
	1985 – 1986	Parlaments nolemj neizmantot kodolenerģiju. Ogles tiek izslēgtas no siltumenerģijas ražošanas plāniem. Tiek palielināti enerģētikas nodokļi, jo samazinās naftas cena. Koģenerācijas vienošanās (<i>cogeneration agreement</i>): mazas koģenerācijas stacijas ir galvenā enerģētikas politikas prioritāte.
	1990	Politiskās vienošanās palielināt dabāsgāzes koģenerācijas elektrostaciju un biomasas izmantošanu siltumenerģijas ražošanai CSS. Vienošanās palielināt vēja elektrostaciju jaudas.
Pāreja no nacionālās plānošanas uz projektu pieeju	1990	<i>Siltumenerģijas piegādes likuma</i> pārskatīšana – jauna plānošanas sistēma. Plānošanas direktīvas un vadlīnijas kurināmā izvēlei. Visu pašvaldību nodrošināšana ar koģenerācijas stacijām.
	1992	Subsīdiju ieviešana, lai atbalstītu energoefektivitāti, koģenerācijas stacijas un atjaunīgos resursus.
	1993 – 2000	Politiskās vienošanās par biomasas izmantošanu koģenerācijas stacijās. Pārskatīts <i>Siltumenerģijas piegādes likums</i> . Parlaments nolemj uzlabot nosacījumus 250 mazām un vidējā lieluma koģenerācijas stacijām, kuras atrodas ārpus lielām pilsētām.
Uzmanība pievērsta klimatam, atjaunīgiem enerģoresursiem un energoefektivitātei	2008	Politiskās vienošanās atbalstīt vēja enerģiju un citus atjaunīgos enerģijas resursus. Kompānija <i>Ørsted</i> (bijusī <i>Dong Energy</i>) pieņem lēmumu visas lielās ogļu un dabāsgāzes koģenerācijas elektrostacijas (<i>Herning, Avedøre, Studstrup, Skaerbaek, Asnæs, Esbjerg</i>) līdz 2022. gadam pārveidot darbam ar biokurināmo (pārsvārā koksnes granulām un šķeldu) [2].
	2012	Svarīgas politiskās vienošanās par Dānijas enerģētikas politiku periodam no 2012. līdz 2020. gadam. Politika ietver daudz ambiciozas iniciatīvas un investīcijas energoefektivitātē, atjaunīgajā enerģijā un enerģosistēmā.
	2020	Vienošanās realizācijas rezultātā sagaidāms, ka 2020. gadā 50% no elektroenerģijas patēriņa tiks nodrošināti ar vēja enerģiju, vairāk nekā 35% no enerģijas galapatēriņa – ar atjaunīgiem resursiem un būs vērojams enerģijas patēriņa samazinājums par 12% salīdzinājumā ar 2006. gadu.



3. attēls. Kopenhāģenas centralizētā siltumapgādes sistēma [10]



4. attēls. Siltumenerģijas pieprasījums 2013. gadā (iekrāsots) un 2025. gadā (tonēts) [10]
 (Apgabalu atšifrējums: VEKV – Roskilde/Hedehusene/Taastrup; VEKN – Hvidovre/Glostrup/Albertslund; CAML – Amagerland; CHUS – Brønshøj/Husum/Vanløse; CMID – Frederiksberg/Nørrebro; CNOR – Gladsaxe/Gentofte; CVAL – Valby; NORDHAVN – Nordhavn; VESTERBRO – Vesterbro; CTAR – Tårnby; VF – Herlev/Ballerup; DHCV – Steam Centrum; DSMV – Østerbro (tvaiks); KONN – ziemeļu Østerbro (pāreja no tvaika uz karsto ūdeni); KONS – dienvidu Centrum (pāreja no tvaika uz karsto ūdeni))

Dānijas lielākajai energokompānijai *Ørsted* 2006. gadā kurināmā bilance enerģijas ražošanai bija šāda: ogļu īpatsvars veidoja 66%, dabasgāze – 18%, naftas produkti – 6%, atkritumi – 3%, biomasas – 7% [2]. Pēc lielāko ogļu un gāzes termoelektrocentrāļu (ar kopējo jaudu 1272 Mwe/2277 MWt) rekonstrukcijas 2023. gadā ir plānots, ka biomasas īpatsvars palielināsies līdz 95%, bet gāzes īpatsvars samazināsies līdz 5%.

Vēl viena tendence Dānijas enerģētikas sektorā ir saistīta ar dabasgāzes aizvietošanu ar biogāzi, kas, atšķirībā no Latvijas, netiks sadedzināta elektroenerģijas izstrādei iekšdedzes dzinējos lokāli ieguves vietā, bet tiks ievadīta Dānijas gāzes pārvades tīklā.

Perspektīvā centralizētā siltumapgādes sistēma joprojām būs galvenais elements Dānijas enerģosistēmā. Jau šogad pusi no elektroenerģijas pieprasījuma nodrošinās vēja elektrostacijas. Elastīga CSS ar siltumenerģijas akumulēšanu ir nepieciešama, lai nodrošinātu mainīgās vēja ģenerācijas integrāciju enerģijas ražošanas procesā. Tādējādi centralizētā siltumapgādes sistēma ir nepieciešama ne tikai klimata mērķu sasniegšanai, bet arī balansēšanas nodrošināšanai enerģosistēmā [1].

Kopenhāģenas centralizētā siltumapgādes sistēma

Kopenhāģenas centralizētā siltumapgādes sistēma ir sociāli ekonomiska sistēma (*social economic network*), kuru veido siltumenerģijas pārvades dalībnieki, siltumenerģijas ražošanas elektrostacijas, organizācijas, likumdošana un noteikumi, kuri pārvalda darījumus un siltumenerģijas piegādi [5].

Siltumenerģiju ģenerē savstarpēji konkurējoši uzņēmumi, kuri izvietoti dažādos pilsētas rajonos un izmanto dažādas tehnoloģijas [5].

Kopenhāģenas CSS ir viena no lielākajām un sarežģītākajām siltumapgādes sistēmām pasaulē [6]. Tā ir integrēta centralizētā siltumapgādes sistēma, ko veido divdesmit sadales un trīs pārvades siltumenerģijas uzņēmumi [7].

Kopenhāģenas centralizētās siltum-

2. tabula. Siltumenerģijas ražošanas avoti Kopenhāģenā [11], [14]

Iedalījums	Ražošanas avota veids	Ražošanas avots
Prioritārās ražošanas jaudas	Atkritumu sadedzināšanas stacijas, ģeotermālās un siltumsūkņu iekārtas	Atkritumu sadedzināšanas elektrostacijas: - Amager Ressource Center - Vestforbrænding - ARGO - Rensningsanlægget Lynetten Ģeotermālās un siltumsūkņu iekārtas
Bāzes jaudas	Koģenerācijas elektrostacijas	Koģenerācijas elektrostacijas: - Amager - Avedøre - H.C. Ørsted Siltuma akumulatori
Piķa un rezerves jaudas	Katli	Lieli/mazi piķa un rezerves katli



Avots: Dreamstime

Avots: Wikimedia Commons

Termoelektrostacijas Kopenhāgenā. Augšā no kreisās: *H. C. Ørsted TEC, Svanemølle TEC*; apakšā no kreisās: *Amager TEC, Amagerværket TEC*

apgādes sistēmas mērogs [1], [8]:

- 500 000 lietotāji;
- kopējā apsildāmo ēku platība 75 milj. m²;
- siltumenerģijas pārdošana 30 600 TJ/gadā (ap 8 500 GWh/gadā);
- siltumenerģijas ražošana 36 000 TJ/gadā (ap 10 000 GWh/gadā);
- 15% no visa siltumenerģijas pieprasījuma Dānijā.

Siltumenerģijas pārvades un atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi pieder pašvaldībām. Savukārt 20 siltumenerģijas sadales uzņēmumi pieder pašvaldībām vai patērētājiem. Tā visi uzņēmumi ir ieinteresēti sadarboties un piedāvāt patērētājiem izmaksu ziņā efektīvus risinājumus [1].

Kopenhāgenas centralizētās siltumapgādes sistēmas mugurkaulu veido 180 km pārvades siltumtīkls un siltuma akumulācijas tvertnes. Spiediens pārvades tīklā ir 25 bar un maksimālā temperatūra – 110 °C. Pārvades siltumtīkls ir pievienots sadales siltumtīkliem, izmantojot siltummaiņus [1], [9].

Centralizēto siltumapgādes sistēmu Kopenhāgenā veido četri piegādātāji: CTR (*Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company*), VEKS (*Vestegnens Kraftvarmeselskab*), HOFOR (*Hovedstadens Forsyning*), VF (*Vestforbrænding*). Uzņēmumu siltumenerģijas piegādes zonas atspoguļotas 3. attēlā [10].

Centralizētā siltumapgādes sistēma sastāv no vairākām siltumapgādes sadales zonām (*distribution areas*) [10]. Vēsturiskais un gaidāmais siltumenerģijas pieprasījums siltumapgādes zonās atspoguļots 4. attēlā.

HOFOR ir lielākais siltumenerģijas sadales uzņēmums, kuram pieder siltumapgādes sistēma ar tvaika siltumnesēju. Tvaika siltumapgādes sistēma tiek integrēta kopējā centrali-

zētajā siltumapgādes sistēmā. Tvaika siltumapgādes sistēmu var transformēt par karstā ūdens siltumapgādes sistēmu, bet ne otrādi. Tvaika-ūdens siltummaiņi ir izvietoti *H.C. Ørsted* un *Amager* elektrostacijās [1], [11]. HOFOR siltumapgādes zonā tvaika siltuma tīkli veido ap 20% no kopējā siltumtīklu garuma, ko līdz 2022. gadam ir paredzēts pārbūvēt par karstā ūdens siltumtīkliem [9]. HOFOR ir lielākais uzņēmums pēc siltumenerģijas piegādes apjoma (4 794 GWh, 2015). HOFOR pieder Kopenhāgenas pašvaldībām, kas īsteno uzņēmuma pārvaldību [1], [12].

CTR ir otrais lielākais uzņēmums pēc siltumenerģijas piegādes apjoma (4 745 GWh, 2015). Tas pārdod siltumenerģiju centralizētās siltumapgādes sadales uzņēmumiem: HOFOR un VEKS [12].

VEKS ir trešais lielākais uzņēmums pēc piegādātā siltumenerģijas apjoma (2 557 GWh, 2015). VEKS darbojas gan Kopenhāgenā, gan ārpus tās robežām. Tas pieder pašvaldībām. VEKS ir pārvades uzņēmums, bet tam pieder arī koģenerācijas stacijas un sadales siltumtīkli [12].

CTR un VEKS siltumapgādes sistēmas ir apvienotas, bet abi uzņēmumi darbojas neatkarīgi viens no otra [13]. Pārvades siltumtīkls, kurš pieder CTR un VEKS, savieno divas koģenerācijas stacijas un trīs atkritumu sadedzināšanas stacijas ar 20 siltumenerģijas sadales uzņēmumiem. Šādi tiek nodrošināta optimāla siltumenerģijas ražošana un sadale, iespēja elastīgāk apmainīties ar siltumenerģiju starp dažādām siltumapgādes zonām [1]. CTR un VEKS savienojuma kapacitāte ir 335 MJ/s (MW) [5].

Vestforbrænding (VF) nodarbojas gan ar siltumenerģijas sadali, gan ar to siltumenerģijas pārpalikumu pārvadi, kuri veidojas vasarā [1].

CSS darbība tiek vadīta CTR un VEKS vadības telpās, kas izvietotas, attiecīgi, *Frederiksberg* un *Albertslund* rajonos [9].

Siltumenerģijas ražošana Kopenhāģenas CSS

Kopenhāģenas centralizētās siltumapgādes sistēmas avoti iedalīti trīs grupās: 1) prioritārās; 2) bāzes; 3) piķa un rezerves jaudas (2. tab.) [11]. Pašlaik siltumenerģijas ražošanu nodrošina trīs koģenerācijas elektrostacijas un četras atkritumu sadedzināšanas stacijas, kā arī divi siltuma akumulatori. Papildus siltumenerģiju ražo arī ģeotermālās un siltumsūkņu stacijās un piķa/rezerves katlos.

Siltumsūkņi un ģeotermālās stacijas strādā testa režīmā un nenodarbojas ar komerciālu siltumenerģijas ražošanu. Atkritumu sadedzināšanas stacijas īsteno prioritāro ražošanu divu iemeslu dēļ: 1) atkritumus nepieciešams utilizēt un 2) atkritumu elektrostacijām ir zemas ekspluatācijas mainīgās izmaksas (kaut gan pēdējā laikā atkritumus un biomasu nācies importēt, kas ievērojami sadārdzina siltumenerģijas ražošanu šajās stacijās). Prioritārās ražošanas stacijās siltumenerģijas iepirkuma cena tiek ierobežota.

Bāzes jaudu nodrošina lieljaudas koģenerācijas elektrostacijas: *Ørsted* piederošās *Avedøre*, *Svanemølle* un *H.C. Ørsted* elektrostacijas; *HOFOR* piederošā *Amagerværket* elektrostacija.

Amager ir Dānijas vismodernākā atkritumu sadedzināšanas elektrostacija, kas tika nodota ekspluatācijā 2017. gada 30. martā. Tajā ir paredzēts sadedzināt ap 400 tūkst. tonnu pilsētas atkritumu, iegūstot elektrisko jaudu 63 MW_{el} un siltuma jaudu 247 MW_{th}. TEC *Amager* dizainu izstrādāja *Bjarke Ingels Group*, un stilistiski tā veido vienu ansambli ar *Amager* kalnu slēpošanas trasi.

Termoelektrocenātrās *Amagerværket* pirmais un otrais energobloks (AMV1 un AMV2) tika uzbūvēti 1971. – 1972. gadā ogļu un naftas produktu dedzināšanai. Katra bloka jauda ir 110 MW_{el}/190 MW_{th}. *Amagerværket* trešais ogļu energobloks (AMV3; 215 MW_{el}/330 MW_{th}) ekspluatācijā tika nodots 1989. gadā. 2009. gadā no *Amagerværket* uz Kopenhāģenas centru ir uzbūvēts 4 km garš tunelis ar siltuma trasi. Tas ir Dānijā lielākais centralizētās siltumapgādes tunelis ar 4,2 metru diametru. Sākotnēji *Amagerværket* piederēja *DONG Energy*, pēc tam 2005. gadā to nopirka *Vattenfall*, bet 2013. gadā pārpirka *HOFOR*. *HOFOR* līdz 2020. gadam plāno aizstāt *Amagerværket* energobloku Nr. 3 ar jaunu elektrostacijas

bloku (AMV4), kas tiks kurināts tikai ar biomasu [15].

Termoelektrocenātrā *Avedøre* (*Avedøreværket*) atrodas Kopenhāģenas pilsētas dienvidu daļā. Tā ir viena no efektīvākajām elektrostacijām Dānijā ar kopējo kurināmā izmantošanas koeficientu 94% un lietderības koeficientu elektroenerģijas izstrādē ap 49% (kondensācijas režīmā). *Avedøre 1* – pirmais energobloks ar kopējo elektrisko/siltuma jaudu 250 MW_{el}/348 MW_{th} ir uzbūvēts 1990. gadā un iepriekš izmantoja ogles. 2015. gadā tas tika pārbūvēts koksnes granulu izmantošanai. *Avedøre 2* – otrais energobloks ar kopējo elektrisko/siltuma jaudu 585 MW_{el}/570 MW_{th} ir uzbūvēts 2001. gadā un enerģijas ražošanai izmanto dabasgāzi, koksnes granulas un salmus. Šajā energoblokā darbojas gāzes turbīnas un viens no lielākajiem biomasas katliem pasaulē [16].

Termoelektrocenātrā *H. C. Ørsted* (*H. C. Ørstedværket*), kas atrodas *Sydhavnen* rajonā, līdz 1994. gadam izmantoja akmeņogles, bet vēlāk tika pārbūvēta dabasgāzes dedzināšanai. Mūsdienās tās elektriskā jauda ir 185 MW_{el}, bet siltuma jauda 815 MW_{th} [17].

Svanemølle koģenerācijas elektrostacija, līdzīgi kā *H. C. Ørsted*, līdz 1985. gadam dedzināja importētas akmeņogles, bet vēlāk pārslēdzās uz dabasgāzi. Esošās gāzes turbīnas šajā TEC darbojas kopš 1995. gada un nodrošina elektrisko jaudu 81 MW_{el} un siltuma jaudu 355 MW_{th} [18].

KM Lynettefællesskabet izmanto siltumu, kas ir iegūts notekūdeņu termiskās apstrādes procesā, lai saražotu ap 7 MW_{th} siltumenerģijas.

Vestforbraending ir viena no lielākajām Kopenhāģenas atkritumu sadedzināšanas rūpniecām. Tā pārstrādā ap 26 t/h atkritumu un iegūst ap 17 MW_{th} siltumenerģijas. 2006. gadā *Babcock & Wilcox Vølund AB* veica ražotnes rekonstrukciju, kuras rezultātā tika pārbūvēta atkritumu pārstrādes līnija Nr. 5 un līdz ar absorbcijas tipa siltumsūkni uzstādīts dūmgāzes kondensācijas ekonomizers.

Cits arhitektūras šedevrs ir *KARA/NOVEREN* atkritumu sadedzināšanas rūpnīca, kas 2014. gadā tika uzbūvēta Kopenhāģenas dienvidu rajonā *Roskilde*. *Energitarinet* ("Enerģijas tornis") projekta autors – Eriks van Egerāts (*Erick Van Egeraat*).

TEC *Køge Kraftvarmeværk* ir koģenerācijas stacija, kas atrodas Kēģes ostā, Kēģē. Sākotnēji TEC piederēja grīdas dēļu ražotājam *Junckers Industrier A/S*, bet kopš 2012. gada to pārņēma *VEKS*. Patlaban TEC *Køge* jauda ir 24 MW_{el}/81 MW_{th}

3. tabula. Piemērs: tipiskās CSS struktūras Dānijā [12]

Maza mēroga CSS	Liela mēroga CSS	Kopenhāģenas CSS	Koordināte Varmelast.dk
Vietējie CSS sadales uzņēmumi (arī ražo)	Lieli centralizēti ražotāji	Lieli centralizēti ražotāji	
Galalietotāji	CSS pārvades uzņēmumi	CSS pārvades uzņēmumi	
-	Vietējie CSS sadales uzņēmumi	Vietējie CSS sadales uzņēmumi	
-	Galalietotāji	Galalietotāji	
<ul style="list-style-type: none"> Siltumapgādes sistēma un ražotāji pieder vietējai pašvaldībai vai komunālo pakalpojumu uzņēmumu kooperatīvam. Lielākā daļa CSS ir šāda tipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Galvenie ražotāji pievienoti centralizētās siltumapgādes pārvades siltumtīklam. Pārvades uzņēmumi pārņem siltumenerģiju no ražotājiem un pārdod sadales uzņēmumiem, kuri pēc tam pārdod siltumu galalietotājiem. Pārvades uzņēmumiem pārsvarā pieder siltumenerģijas avoti, kuri nodrošina piķa slodzi, un reti – enerģijas ražošanas avoti, kuri nodrošina bāzes izstrādi. Dažas lielas CSS ir šāda tipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Lielle ražotāji pārdod siltumenerģiju pārvades uzņēmumiem. <i>Varmelast.dk</i> prognozē, organizē, koordinē un uzrauga šo siltumenerģijas izstrādes procesu. Pārvades uzņēmumi pārdod siltumenerģiju CSS sadales uzņēmumiem, kuri pēc tam pārdod siltumenerģiju galalietotājiem. 	

un par kurināmo tiek izmantota šķelda.

Koģenerācijas elektrostacijas kopā ar prioritāro ražošanu veido pamatu siltumenerģijas nodrošinājumam Kopenhāgenā. Siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas optimizācijai *Varmelast.dk* izmanto divus siltuma akumulatorus *Amagerværket* un *Avedore* koģenerācijas elektrostacijā [11]. *Amagerværket* ir uzstādīta 24 000 m³ spiediena siltuma akumulācijas tvertne, kas ir pieslēgta tieši siltumenerģijas pārvaldes tīkliem (25 bar spiediens). Līdzīgas spiediena tvertnes ir uzstādītas arī *Avedore* elektrostacijā. Tur ir uzstādītas divas šādas (2 x 24 000 m³) tvertnes. TEC *Avedore* kopējais uzglabājamas enerģijas apjoms ir 2400 MW_{th} ar uzlādes/izlādes kapacitāti 300 MW. Apmēram 30 "piķu" (galotņu) iekārtas, kuras pieder *CTR*, *VEKS*, *HOFOR*, tiek izmantotas kā rezerves jaudas atteicēm ziemas laikā. Ir pieejami četri lieli "piķa" un rezerves jaudas katli *Svanemølle* un *H.C. Ørsted* koģenerācijas elektrostacijās. Šie katli tiek izmantoti līdznoslodzei (*intermediate load*), kad pieprasījums pēc siltumenerģijas ir lielāks nekā parasti, t.i., ziemas laikā, rīta slodžu maksimuma stundās un koģenerācijas elektrostaciju atteiķu gadījumā [11].

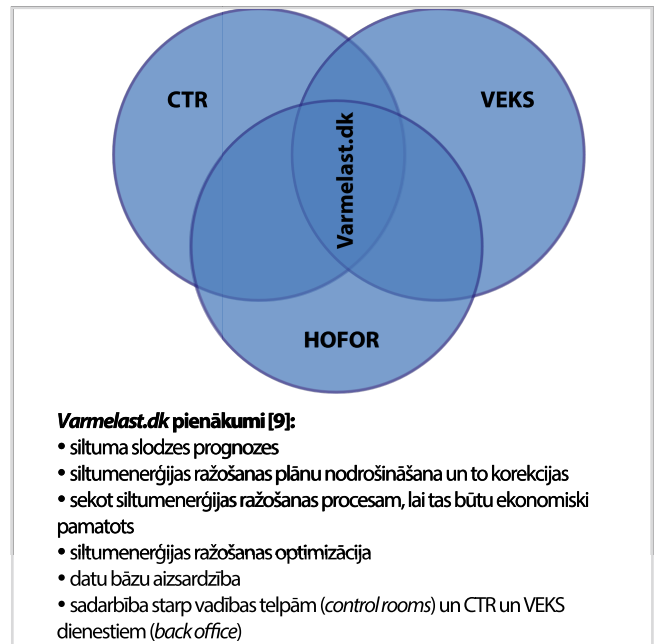
Siltumenerģijas tirgus veidi Dānijā

Dānijā centralizētās siltumapgādes sistēmas sektorā darbojas vairāki dalībnieki: lieli centralizēti ražotāji, CSS pārvaldes uzņēmumi, mazas vietējās CSS sadales un siltumenerģijas ražošanas plānošanas uzņēmumi, piemēram, *Varmelast.dk*, kas koordinē siltumenerģijas ražošanu Kopenhāgenas centralizētajā siltumapgādes sistēmā. Tipiskās CSS tirgus struktūras Dānijā sniegtas 3. tabulā [12].

Piemēram, lieli centralizētie siltumenerģijas ražotāji ir *Ørsted* un *HOFOR*. Tiem pieder koģenerācijas un atkritumu sadedzināšanas stacijas, kuras pievienotas pārvaldes siltumtīkliem. Šie uzņēmumi pārdod siltumenerģiju pārvaldes uzņēmumiem, piemēram, *CTR* un *VEKS*. Pārvaldes uzņēmumi nodrošina siltumenerģijas piegādi līdz sadales siltumtīkliem. Pārvaldes uzņēmumiem var piederēt koģenerācijas stacijas vai piķa slodzes ražošanas avoti. Pārvaldes uzņēmumi pieder pašvaldību konsorcijiem. Sadales uzņēmumi ir atbildīgi par siltumenerģijas nogādāšanu līdz galalietotājiem un rēķiniem par izlietoto siltumenerģiju. Parasti sadales uzņēmumi pieder pašvaldībām [12].

Centralizēto siltumapgādi regulē *Siltumenerģijas piegādes likums (Heat Supply Act)*. Šis dokuments regulē siltumenerģijas piegādes procesu iekārtām ar jaudu virs 250 kW un koģenerācijas iekārtām ar siltuma jaudu līdz 25 MW. Lielo koģenerācijas staciju darbību regulē *Elektroenerģijas likums (Electricity law)*, bet siltuma piegādi no lielām koģenerācijas stacijām *Siltumenerģijas piegādes likums*. Atbilstoši tam siltumenerģija jāražo koģenerācijas iekārtās [12].

Saskaņā ar *Siltumenerģijas piegādes likumu* cenai, par kuru patērētāji pērk siltumenerģiju, jānosedz nepieciešamās (*necessary*) izmaksas. Siltumenerģijas piegādes uzņēmumiem nav atļauts veidot peļņu. Bezpeļņas princips pasargā patērētājus no dabīgā monopola ļaunprātīgas izmantošanas CSS. Tomēr tas nepasargā patērētājus no neefektīvas centralizētās siltumapgādes vadības un darbības, tādējādi centralizētās siltumapgādes uzņēmumi ikgadēji veic salīdzinošo novērtēšanu (*benchmarking*). Tas tiek darīts brīvprātīgi [12].



5. attēls. Siltumenerģijas uzņēmumu apvienība un *Varmelast.dk* pienākumi

Kopenhāgenas siltumenerģijas tirgus arhitektūra

Kopenhāgenas CSS tirgus organizators ir *Varmelast.dk* (5. att.) [11].

Atšķirībā no Rīgas, Kopenhāgenā veiksmīgi darbojas ikstundas nākamās dienas siltumenerģijas tirgus, kurā piedalās pilsētas lielākie siltumenerģijas ražotāji un kuru pārvalda *Varmelast.dk*. Ikdienas izsole nodrošina zemākas siltumenerģijas cenas Kopenhāgenas iedzīvotājiem.

Varmelast.dk īsteno siltuma slodzes sadali starp enerģijas ražošanas avotiem, ievērojot siltumenerģijas ražošanas robežizmaksas (*marginal production prices*). Piemēram, koģenerāciju elektrostaciju gadījumā, siltumenerģijas ražošanas robežizmaksas aprēķinātas pēc šādas formulas [5], [14]:

siltumenerģijas ražošanas robežizmaksas = kurināmā izmaksas + emisiju izmaksas + ekspluatācijas izmaksas + nodokļu izmaksas – ieguvumi no elektroenerģijas pārdošanas – subsīdijas.

Siltumenerģijas pārdošanas cena tiek noteikta ar divpusējiem līgumiem (*bilateral contracts*) [5]. Papildus siltumenerģijas ražošanas robežizmaksām tiek ievērotas investīciju un darbaspēka izmaksas [14].

Veicot siltuma slodzes sadalījuma plānus, *Varmelast.dk* ievēro pieeju – siltumenerģijas nodrošināšana ar vismazākajām izmaksām (*least-cost approach*) [5].

Ikdienas siltumenerģijas ražošanas avotu izstrādes plāni tiek gatavoti, pamatojoties uz ekonomisko optimizāciju, ievērojot šādus kritērijus [5]:

- siltumenerģijas un elektroenerģijas pieprasījuma prognoze;
- prioritārās ražošanas jaudas;
- ražošanas izmaksas (kurināmās, ekspluatācijas izmaksas, nodokļi, CO₂ kvotas, ienākumi no elektroenerģijas pārdošanas);
- hidrauliskie ierobežojumi (*transmission bottlenecks*).

4. tabula. Siltumenerģijas plāna izstrāde nākamajai dienai (*day ahead*) [5], [11]

Laiks	Dalībnieks	Darbība	Darbības aprasts
7:45	Varmelast.dk	Siltumenerģijas pieprasījuma prognoze	Varmelast.dk nosūta siltumenerģijas pieprasījuma prognozi ražotājiem. Tā tiek izstrādāta, pamatojoties uz meteoroloģiskiem datiem [13]
8:30	Ražotāji	Siltumenerģijas piedāvājumi (<i>heat bid</i>)	Siltumenerģijas ražotāji izveido tabulas, kurās tiek atspoguļota informācija par ģenerācijas pieejamību, tās jaudu un siltumenerģijas ražošanas robežmaksām. Tabula tiek nosūtīta Varmelast.dk
9:00	Varmelast.dk	Siltumenerģijas pieprasījumi no ražotājiem (angļu val. <i>order</i>)	Saņemot informāciju no ražotājiem, Varmelast.dk aprēķina, kā vislētāk nosegt siltumenerģijas pieprasījumu. Pēc veiktiem aprēķiniem Varmelast.dk nosūta pieprasījumus ražotājiem, kuros noteikts, cik daudz siltumenerģijas jāsarāžo nākamajā dienā
9:45	Ražotāji	Provizorisks siltumenerģijas plāns	Saņemot siltumenerģijas pieprasījumus, ražotāji aprēķina, kā tos nodrošināt vislētākajā veidā, ievērojot elektroenerģijas ražošanu, kurināmā cenu, CO ₂ kvotas cenu un nodokļus. Pēc veiktiem aprēķiniem ražotāji nosūta detalizētus plānus, t.i., ražošanas avotu izstrādes pa stundām, kā arī regulēšanas pakalpojumu izmaksas
10:00	Varmelast.dk	Gala siltumenerģijas plāns	Saņemot informāciju no ražotājiem, Varmelast.dk veic gala optimizāciju, ievērojot ierobežojumus siltumapgādes sistēmā un optimālo siltuma akumulācijas tvertņu izmantošanu AMV (<i>Amagerværket</i>) un AVV (<i>Avedøreværket</i>) elektrostacijās. Gala siltumenerģijas plāns tiek nosūtīts ražotājiem. Tajos definēts, cik daudz siltumenerģijas jāsarāžo (pa stundām) katram enerģijas ražošanas avotam nākamajā dienā

Siltumenerģijas ražošanas plānu sastādīšana un optimizācija ir sarunu procedūra starp ražotājiem un Varmelast.dk (4. tab.). Siltumenerģijas piedāvājumi nākamajai dienai sākas tekošajā dienā pirms plkst. 8:00. Tā kā siltumenerģijas ražotāji arī piedalās elektroenerģijas tirgū, tad galīgajam siltumenerģijas plānam jābūt gatavam pirms plkst. 10:30, lai ražotāji varētu noteikt, cik daudz elektroenerģijas viņi varēs piedāvāt elektroenerģijas tirgū. Piedāvājumu elektroenerģijas tirgū jāiesniedz līdz dienas vidum [11], [5].

No 4. tabulas secināms, ka siltuma slodzes sadalījums starp enerģijas ražošanas avotiem notiek, ievērojot siltumenerģijas ražošanas robežmaksas, sakārtojot tās augošā secībā, t.i., pirmais tiek izvēlēts siltumenerģijas ražošanas avots ar viszemākajām siltumenerģijas ražošanas robežmaksām, bet pēdējais – siltumenerģijas ražošanas avots ar visaugstākajām siltumenerģijas ražošanas robežmaksām.

Prognozes un realitāte atšķiras, tādējādi siltumenerģijas ražošanas plāna korigējumi notiek piecas reizes dienā (5. tab.), ievērojot siltumenerģijas pieprasījumu, elektroenerģijas cenu un neparedzētus notikumus elektrostacijās [11].

Varmelast.dk nenosaka siltumenerģijas cenu tirdzniecībai. Siltumenerģijas cena tiek noteikta divpusīgās vienošanās (*bilateral agreements*) starp VEKS, CTR, HOFOR no vienas puses un koģenerācijas un atkritumu sadedzināšanas stacijām no otras puses. Divpusīgās vienošanās ir konfidenciāla informācija. Dažādas shēmas tiek pielietotas, lai noteiktu siltumenerģijas pārdošanas cenu. Siltumenerģijas cena tiek noteikta, ievērojot bezpeļņas principu (*non-profit principle*) [5].

Kopenhāģenas centralizētās siltumapgādes sistēmas attīstība

Patlaban Kopenhāģenas centralizētā siltumapgādes sistēma atrodas pārejā uz 4. paaudzes centralizēto siltumapgādes sistēmu (6. tab.) [1]:

- fosilā kurināmā (ogles un gāze) elektrostacijas tiks aizvietotas ar biomasu (salmi un koksne);

5. tabula. Siltumenerģijas ražošanas plānu korigējumi: tekošās dienas (*intraday*) tirgus [11], [5]

Laiks	Dalībnieks	Darbība
3:00	Ražotāji	Datu korigējumi: ražotāji nosūta korigēto informāciju par siltuma avota pieejamību un tā robežmaksām
3:45	Varmelast.dk	Plāna korigējumi: Varmelast.dk nosūta korigētos siltumenerģijas plānus nākamajām 43 stundām
7:00	Ražotāji	Datu korigējumi: ražotāji nosūta korigēto informāciju par siltuma avota pieejamību un tā robežmaksām
10:30	Varmelast.dk	Plāna korigējumi: Varmelast.dk nosūta korigētos siltumenerģijas plānus nākamajām 39 stundām
15:00	Ražotāji	Datu korigējumi: ražotāji nosūta korigēto informāciju par siltuma avota pieejamību un tā robežmaksām
15:45	Varmelast.dk	Plāna korigējumi: Varmelast.dk nosūta korigētos siltumenerģijas plānus nākamajām 55 stundām
19:00	Ražotāji	Datu korigējumi: ražotāji nosūta korigēto informāciju par siltuma avota pieejamību un tā robežmaksām
19:45	Varmelast.dk	Plāna korigējumi: Varmelast.dk nosūta korigētos siltumenerģijas plānus nākamajai 51 stundai
23:00	Ražotāji	Datu korigējumi: ražotāji nosūta korigēto informāciju par siltuma avota pieejamību un tā robežmaksām
23:45	Varmelast.dk	Plāna korigējumi: Varmelast.dk nosūta korigēto siltuma plānu nākamajām 47 stundām

6. tabula. CSS attīstība: pāreja no pirmās paaudzes uz ceturtais paaudzes siltumapgādes sistēmu [19], [20]

Paaudze	CSS mērķi	CSS infrastruktūra	Siltumnesējs	Temperatūra	Efektivitāte	Siltuma ražošana	Caurules
1. paaudze (1880 – 1930)	Komforts un samazināts risks	Valdībā konkurējošas siltumapgādes infrastruktūras	Tvaiks	< 200 °C	~20%	Ogļu tvaika katli un dažas TEC	Izolētas tērauda caurules
2. paaudze (1930 – 1980)	Kurināmā ietaupījums un izmaksu samazinājums	CSS attīstība un izplatība rentabli TEC izmantošanai	Karstais ūdens zem spiediena	> 100 °C	~55%	Ogļu, mazuta TEC un ūdens sildkatli	Izolētas tērauda caurules
3. paaudze (1980 – 2020)	Piegādes drošums	Siltumapgādes infrastruktūras, kuras balstās uz fosilā kurināmā	Karstais ūdens zem spiediena	< 100 °C	~70%	Liels TEC, decentralizētās TEC, biomasas un atkritumu vai fosilā kurināmā katli	Rūpnieciski izolētas tērauda caurules
4. paaudze (2020 – 2050)	Pāreja uz ilgtspējīgu enerģijas sistēmu	Siltumapgādes infrastruktūras, kuras nebalstās uz fosilā kurināmā	Ūdens ar pazeminātu temperatūru	30 – 70 °C	~90%	Zemas temperatūras siltuma pārstrāde un atjaunīgie energoresursi	Rūpnieciski izolētas elastīgas caurules

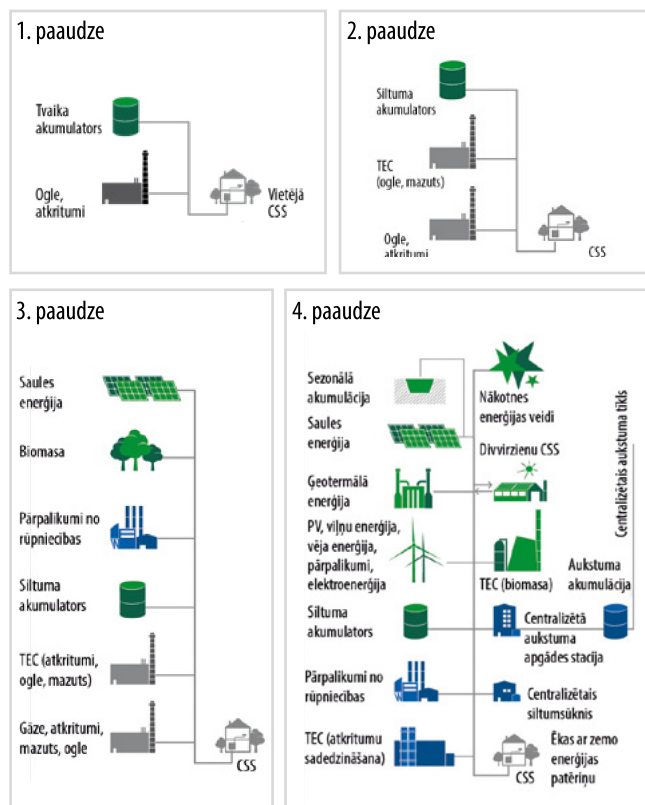
- akumulācijas kapacitāte tiks palielināta (lielas akumulācijas tvertnes un uzglabāšanas krātuves (*storage pit*));
- centralizēto aukstumapgādes sistēmu paplašināšana. Pārsvārā aukstuma akumulācija, aukstuma un siltuma koģenerācija un sezonālās akumulācijas darbojas simbiozē ar centralizēto siltumapgādes sistēmu;
- jaunu siltumenerģijas patērētāju (ar patēriņu virs 1000 GWh) pieslēgšana pie centralizētās siltumapgādes sistēmas;
- pārvades siltumtīklu paplašināšana;
- lielas jaudas siltumsūkņu un elektrisko katlu uzstādīšana mainīgās elektroenerģijas ģenerācijas fluktuāciju dzēšanai;
- pēc 2020. gada siltumapgādes sistēma ar tvaika siltumnesēju tiks pilnībā aizvietota ar karsto ūdeni;
- siltumtīklos, kur par siltumnesēju izmantots pārkarstais ūdens (165 °C), tiks samazināta siltumnesēja temperatūra. Pārkarstais ūdens tiks izmantots rūpniecības vajadzībām;
- tiks samazināta siltumnesēja temperatūra un zudumi siltumtīklos.

Kopenhāgenas CSS attīstība turpinās. Kā jau minēts, šī attīstība paredz CSS efektivitātes palielināšanu, siltumnesēja temperatūras samazināšanu, pāreju no fosiliem uz atjaunīgiem energoresursiem, t.sk. mainīgās ģenerācijas integrāciju enerģijas ražošanas procesā. Notiek CSS mērķa pārorientācija no piegādes drošuma uz klimatneitralitāti un balansēšanas pakalpojumu nodrošinājumu energosistēmā.

Kopenhāgenas siltumapgādes sistēmas mācības

Veicot Kopenhāgenas CSS un siltumenerģijas tirgus apskatu, tika gūta teorētiskā pieredze, kuru var pielietot, lai pilnveidotu un uzlabotu Rīgas CSS un siltumenerģijas tirgus darbību.

Kopenhāgenas siltumapgādes sistēma ir universāla un paredz elastīgu siltumenerģijas ražošanas avota un kurināmā izvēli. Siltumapgādes sistēmas struktūra ir integrēta, tādējādi pārvades uzņēmumi var izvēlēties siltumenerģijas ražotāju starp dažādiem pieejamiem enerģijas ražošanas avotiem. Izvēle pamatojas uz ekonomiskiem un vides principiem.



Salīdzinot Rīgas pilsētas un Kopenhāgenas CSS (7. tab.) var konstatēt, ka Rīgas centralizētajai siltumapgādes sistēmai vēl joprojām ir lielas iespējas izaugsmei un efektivitātes paaugstināšanai.

Runājot par Rīgas pilsētas CSS attīstības iespējām ilgtermiņā, varētu atzīmēt šādus perspektīvos attīstības virzienus:

- jauno klientu, to skaitā rūpniecības uzņēmumu, piesaistīšana centralizētai siltumapgādei;
- centralizēto aukstumapgādes tīklu izveide, īpaši jaunajās apbūves vietās;
- atsevišķo siltumtīklu zonu apvienošana, tostarp Daugavas labā un kreisā krasta siltumtīklu apvienošana;
- siltuma akumulatoru plašāka izmantošana CSS;
- neatkarīga tirgus operatora izveide (līdzīgi *Varmelast.dk*);
- nākamās dienas ikstundas tirgus principu ieviešana;

7. tabula. Kopenhāģenas un Rīgas centralizēto siltumapgādes sistēmu un siltumenerģijas tirgu salīdzinājums

Rādītājs	Kopenhāģena	Rīga
Iedzīvotāju skaits	1,3 milj. cilvēku [23]	0,6 milj. cilvēku [24]
Pieslēgums pie CSS	98% [22]	75% [21]
CSS	Integrētā siltumapgādes sistēma	Labā un kreisā krasta CSS
CSS mērķis	Pārēja no siltumenerģijas piegādes drošuma uz ilgtspējīgu enerģijas sistēmu	Siltumenerģijas piegādes drošums
Pamatkurināmais	Atjaunīgie energoresursi un atkritumi, pieaug elektrības un samazinās dabasgāzes un ogļu izmantošana	Dabasgāze un šķelda
CSS garums	1660 km [1], [25]	650 km [27]
Siltumnesēja temperatūra	< 100 °C	< 120 °C
Zudumi siltumtīklos	8% [26]	11,9% [27]
Īpatnējais siltumenerģijas patēriņš ēkās	100 – 200 kWh/m ² [19]	ap 200 kWh/m ² [27]
Siltumenerģijas tirgus	Nākamās dienas ikstundas tirgus Tekošās dienas ikstundas tirgus	Nedēļas tirgus
Siltumenerģijas ražošanas plānošana	<i>Varmelast.dk</i>	AS "Rīgas Siltums"
Siltumenerģijas ražošana	Ražošanas uzņēmumi	Ražošanas uzņēmumi, t.sk. AS "Rīgas Siltums"
Siltumenerģijas piegāde līdz patērētājiem	Pārvades un sadales uzņēmumi	AS "Rīgas Siltums"

- siltumnesēja temperatūras un zudumu siltumtīklos mazināšana, CSS virzība uz ceturtās paaudzes siltumapgādes sistēmu.

Salīdzinot Kopenhāģenas siltumenerģijas tirgu ar siltumenerģijas tirgu Rīgā, secināms, ka siltumenerģijas tirgus pilnveides iespējas paredz pāreju no nedēļas izolēm uz nākamās dienas un turpmāk – nākamās dienas ikstundas izolēm. Rīgas pilsētas CSS siltumenerģijas iepirkšanas sistēma ar nedēļas izsoles soli nav tik optimāla, jo nedēļas griezumā nav iespējams ievērot strauji mainīgas sistēmas parametrus – klimatiskos apstākļus un tā rezultātā siltuma slodzes, katlumāju un koģenerācijas staciju faktisku pieejamību (avārijas remontus), mainīgās elektroenerģijas cenas *Nord Pool* biržā, CO₂ kvotu un energoresursu cenas. Esošā siltumenerģijas iepirkuma organizācijas sistēma nav neitrāla attiecībā pret

visiem tirgus dalībniekiem un tehnoloģijām. Tas mazina konkurenci un rezultātā var negatīvi iespaidot siltumenerģijas cenu pilsētā.

Rīgā siltumenerģijas tirgus izsoļu organizators vienlaicīgi ir gan siltumenerģijas ražotājs, gan arī siltumenerģijas piegādātājs no citiem ražotājiem līdz patērētājiem.

Nodalot iespējas uzņēmumam vienlaicīgi nodarboties ar siltumenerģijas ražošanu un siltumenerģijas piegādi no ražotājiem līdz patērētājiem, tiktu veicināta vienlīdzīga attieksme pret visiem siltumenerģijas ražotājiem.

No minētā izriet vēl viena iespēja pilnveidot siltumenerģijas tirgu Rīgā – nodibināt uzņēmumu (līdzīgu *Varmelast.dk* Kopenhāģenā), kurš nodarbotos tikai ar siltumenerģijas ražošanas plānošanu un pats nebūtu saistīts ar siltumenerģijas ražošanu. **E&P**

Izmantotie avoti

[1] District energy. Energy efficiency for urban areas, 2018.

[2] Ørsted prezentācijas "Ørsted vision and experiences with biomass" materiāli. <https://edepot.wur.nl/444861>

[3] Danish Energy Agency. Energy statistic 2017. Data, tables, statistics and maps.

[4] Skaidrojums vārdam autoproducer: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/42195/ELE_HEAT_instructions.pdf/cb797574-951d-470e-9d3f-9924b86ed3fd

[5] N. Bertelsen, U. Petersen. Thermal Energy Storage in Great Copenhagen. Master's Thesis, 2017.

[6] C. Matson, prezentācijas "District cooling and district heating – Danish Experience" materiāli, 2017.

[7] Smart cities. Creating livable, sustainable and prosperous societies, 2018.

[8] J. Boldt, prezentācijas "The district heating system in great Copenhagen area – in a free power market" materiāli, 2018.

[9] District Heating in the Copenhagen Region. <https://stateofgreen.com/en/partners/ramboll/solutions/district-heating-in-the-copenhagen-region/>

[10] B. Bach, J. Werling, T. Ommen, M. Munster, J. M. Morales, B. Elmegaard. Integration of large-scale heat pumps in the district heating system of Great Copenhagen. Energy, 2016.

[11] Par Varmelast.dk: <https://www.varmelast.dk/en/dh-network>

[12] Nordic Council of Ministers. Nordic heating and cooling. Nordic approach to EU's heating and cooling strategy, 2017.

[13] CTR. District Heating – Close Up, 2018.

[14] Komunikācija ar Varmelast.dk.

[15] Par Amagerværket: <https://da.wikipedia.org/wiki/Amagerværket>

[16] Par Avedøre TEC: https://en.wikipedia.org/wiki/Aved%C3%B8re_Power_Station

[17] Par H. C. Ørsted TEC: https://en.wikipedia.org/wiki/H._C._%C3%98rsted_Power_Station

[18] Par Svanemølle TEC: https://en.wikipedia.org/wiki/Svanemølle_Power_Station

[19] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J.E. Thorsen, F. Hvelplund, B.V. Mathiesen. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into sustainable energy system. Energy (68), 2014.

[20] Par siltumapgādes sistēmas paaudzēm: <http://ecopolis.danfoss.com/#open-source-energy>

[21] O. Linkevičs. Rīgas siltumapgādes sistēmas attīstības tendences. "Enerģija un Pasaule" 2013/3, 50 – 57.

[22] Par CSS Dānijā <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-denmark/>

[23] Iedzīvotāju skaits Rīgā <http://worldpopulationreview.com/world-cities/riga-population/>

[24] Iedzīvotāju skaits Kopenhāģenā <http://worldpopulationreview.com/world-cities/copenhagen-population/>

[25] Par CSS un aukstumapgādi http://www.engineering-timelines.com/why/lowCarbonCopenhagen/copenhagenDistrictHeating_03.asp

[26] M. Harrestrup, S. Svendsen. Heat planning for fossil-fuel-free district heating areas with extensive end-use heat savings: A case study of the Copenhagen district heating area in Denmark. EnergyPolicy 68, 2014.

[27] AS "Rīgas Siltums" valdes ziņojums par darbību 2017./2018. gadā.