

Virzība uz viedu centralizēto siltumapgādes sistēmu: siltumsūkņu un saules siltuma sistēmas integrēšanas tendences un risinājumi.



Dzintars Jaunzems



ES "Horizon2020" programmas finansēts projekts "Centralizētās siltumapgādes sistēmu darbības uzlabošana Centrāleiropā un Austrumeiropā" (KeepWarm), Granta Līgums Nr. 784966

II. 2.3. Kapacitātes stiprināšana par AER izmantošanu, atkritumiem un siltuma, kā blakusprodukta izmantošanu.

Tēmu izklāsts

- Ievads
- Tehnoloģijas:
 - ✓ Siltumsūkņi;
 - ✓ Saules siltuma sistēmas.
- Galvenie CSS un energoapgādes virzieni

Ideālā pasaule

Pārvade

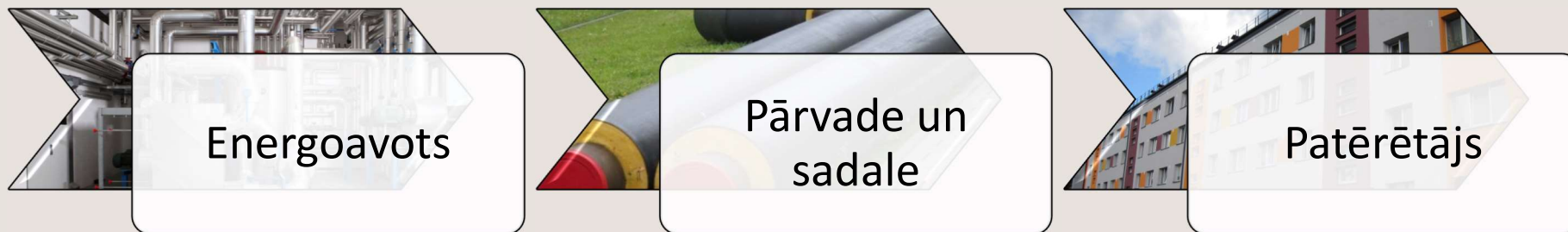
**Energoefektīvs
enerģijas
patērētājs**

**MAX pieejamo
AER
izmantošana**

**MIN un
energoefektīva
fosilo enerģijas
avotu
izmantošana**

Sadale

Energoapgādes sistēmas - šobrīd



4. paaudzes CCS un viedo tīklu koncepts

Integrēta zema patēriņa apkure, dzesēšana un karstā ūdens sistēma



Vieds un zemas temperatūra CSS tīkls



Institucionālais ietvars, ilgspējīgai plānošanai, izmaksu, ieguvumu un motivācijas elementi



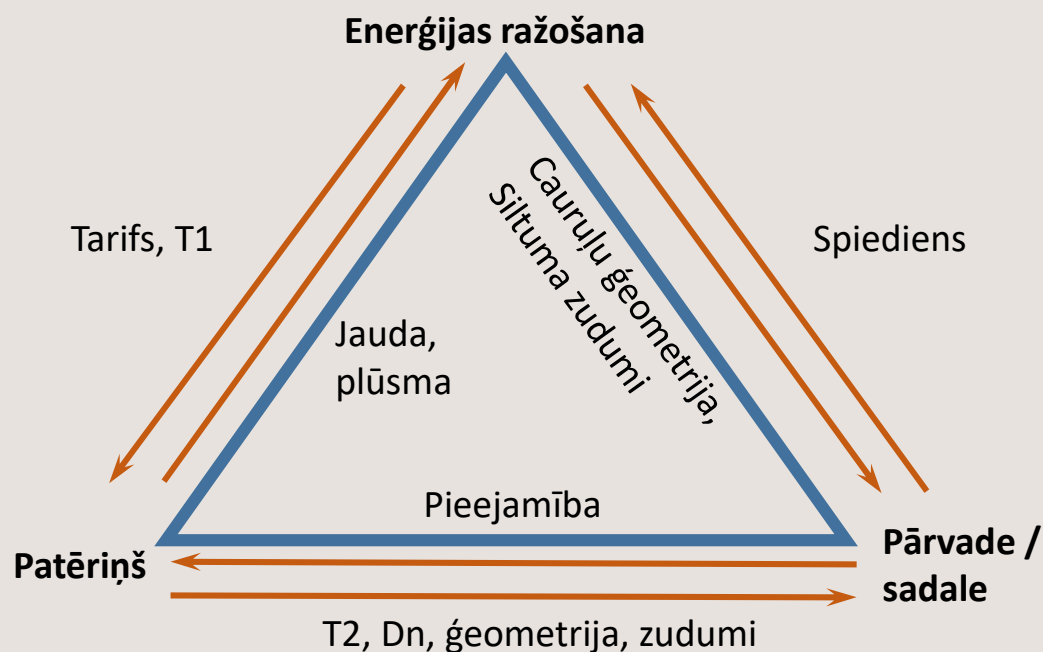
Siltuma pārpalikuma izmantošana un AER integrēšana



Integrēti viedās enerģosistēmas un tīkli

Kāpēc vienkārši nav vienkārši?

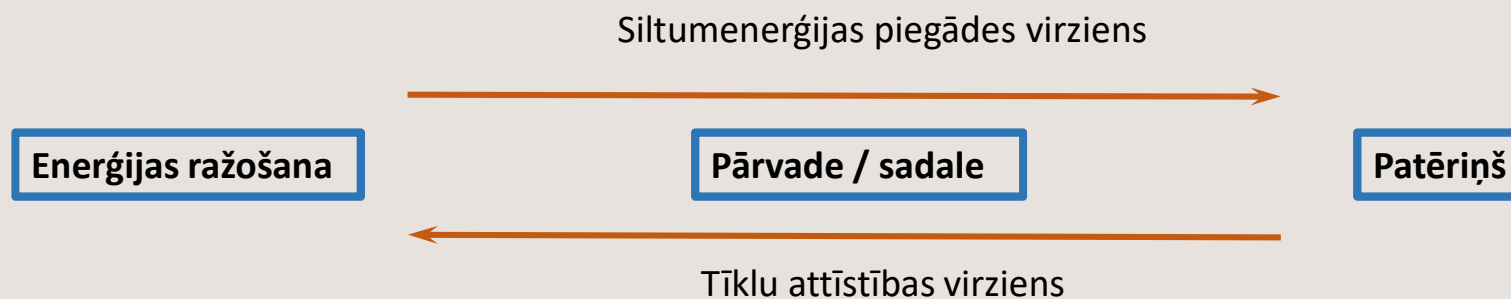
- Enerģijas ražošanas – pārvades/sadales – patēriņa trīsstūris



Avots: V. MAŠĀTIN. Obstacles for Implementation of 4th Generation District Heating for Large Scale Networks, TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2018.

Kāpēc vienkārši nav vienkārši?

- CSS un tīklu attīstības virzieni



Avots: V. MAŠĀTIN. Obstacles for Implementation of 4th Generation District Heating for Large Scale Networks, TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2018.



Fizikas pamatprincipi



RTU
VASSI

Kāpēc viedi? Enerģijas kvalitāte.

- Def.: ir uzglabātās enerģijas īpatsvars, ko var izmantot, lai radītu darbu.
- 10 kWh_{el} v.s. 10 kWh_{th}

Ekserģija raksturo, cik procesa energoefektivitāte ir tālu no teorētiskā maksimuma.

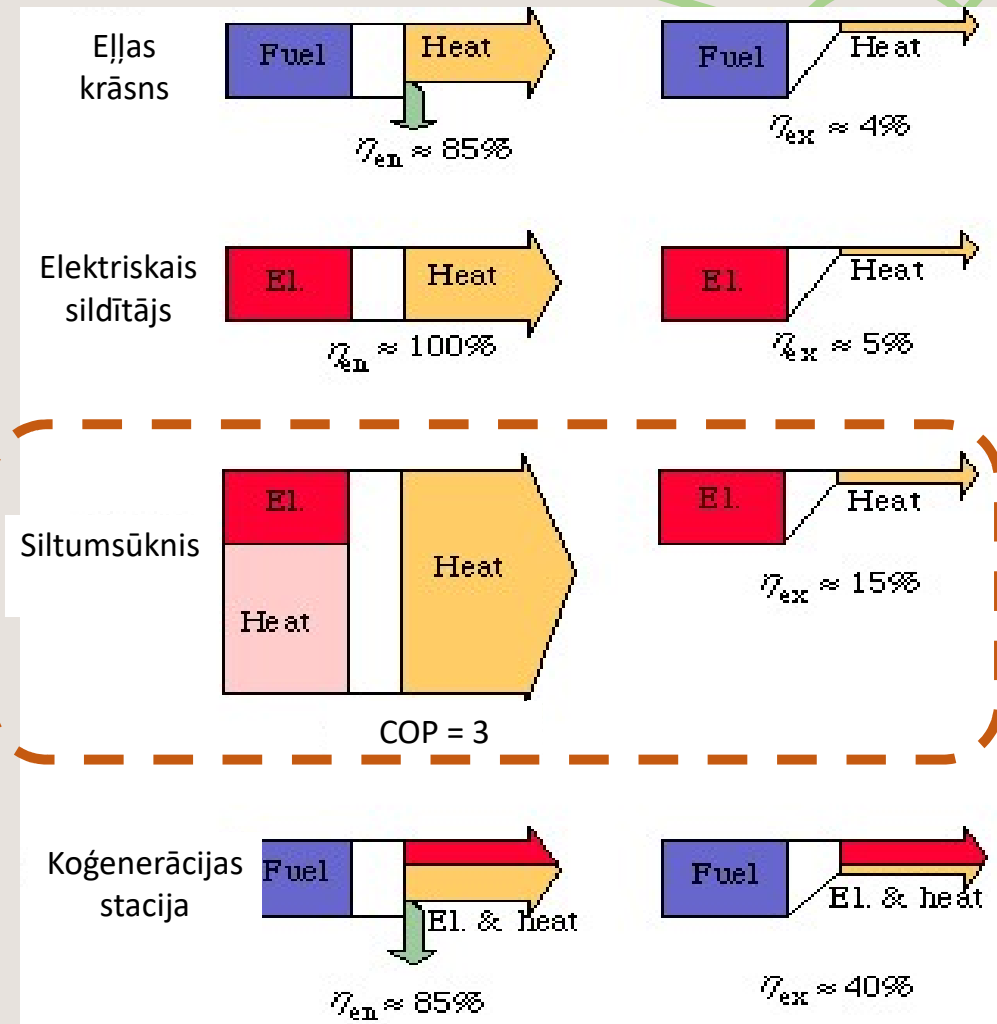
Ekserģija dažādiem siltuma avotiem, atkarībā no t , °C:

Temperature °C	Proportion exergy
500	0,43
400	0,38
300	0,33
250	0,29
200	0,25
150	0,20
100	0,15
80	0,12
60	0,10
40	0,07
20	0,03
0	

Avots: Prof. Dr. Gudni A Jóhannesson: Role and Opportunities of Geothermal in Smart Energy Systems. Orkustofnun, The National Energy Authority. GEORG 25. Nov 2016.

Ekserģija

- Dažādas ekserģijas:
 - Elektroenerģijas $\eta_{ex} >$ siltumenerģijas η_{ex} ;
 - Siltumenerģijas ekserģija atkarīga no dT , P u.c. parametriem.





Tehnoloģijas fokusā:

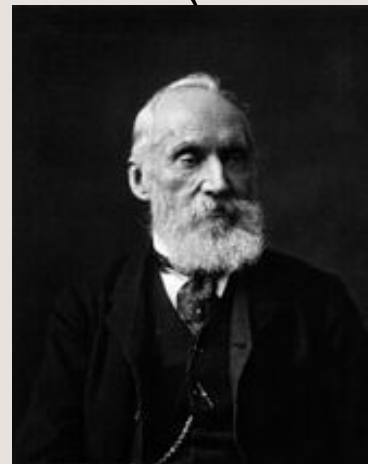
1. Siltumsūkņi;
2. Saules siltuma sistēmas.



1. Siltumsūkņi

Bez vēstures nav nākotnes..

- Darbības pamatā ir atdzesēšanas cikls;
- Ap 1850.g. pētīja Sadī Karno (*Sadi Carnot*) -> Karno cikls
 - Pēc tam teorētiski aprakstīja Lords Kelvins (*Lord Kelvin*).



2 galvenie principi

Iztvaikošana

- Cilvēks karstā vasaras dienā;
 - Piem., uzliekot mitru drānu;
 - Vēsuma efekts.

Kompresija / saspiešana

- Velosipēda riepas/kameras piepumpēšana ar rokas pumpi;
- Muskuļu mehāniskais spēks tiek pielietots, lai saspiestu gaisu rokas pumpī;
- Rokas pumpis uzsilst, jo palielinās spiediens.

Saliekot šos 2 principus vienā...

2 galvenie SS tipi

Tvaika kompresijas

- Lielākā daļa SS darbojās ar tvaika kompresijas ciklu

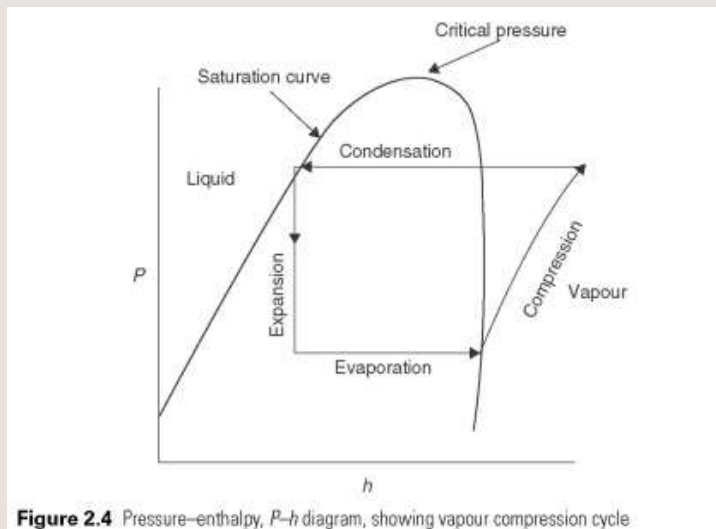


Figure 2.4 Pressure-enthalpy, P - h diagram, showing vapour compression cycle.

http://www.ref-wiki.com/img_article/x8e.jpg.pagespeed.ic.mGX69cpQOt.jpg

Absorbcijas SS

- Ar siltumenerģiju darbināmi = cikls tiek nodrošināts pievadot siltumenerģiju nevis mehānisko enerģiju;
- Kondicionēšana/dzesēšana = piem., ar gāzes katlu;
- Darba vielu pāris:
 - ✓ Li-Br un H₂O vai H₂O un NH₃
- Industriāliem objektiem un CSS – piem., augsta spiediena tvaiks vai liekais siltums.

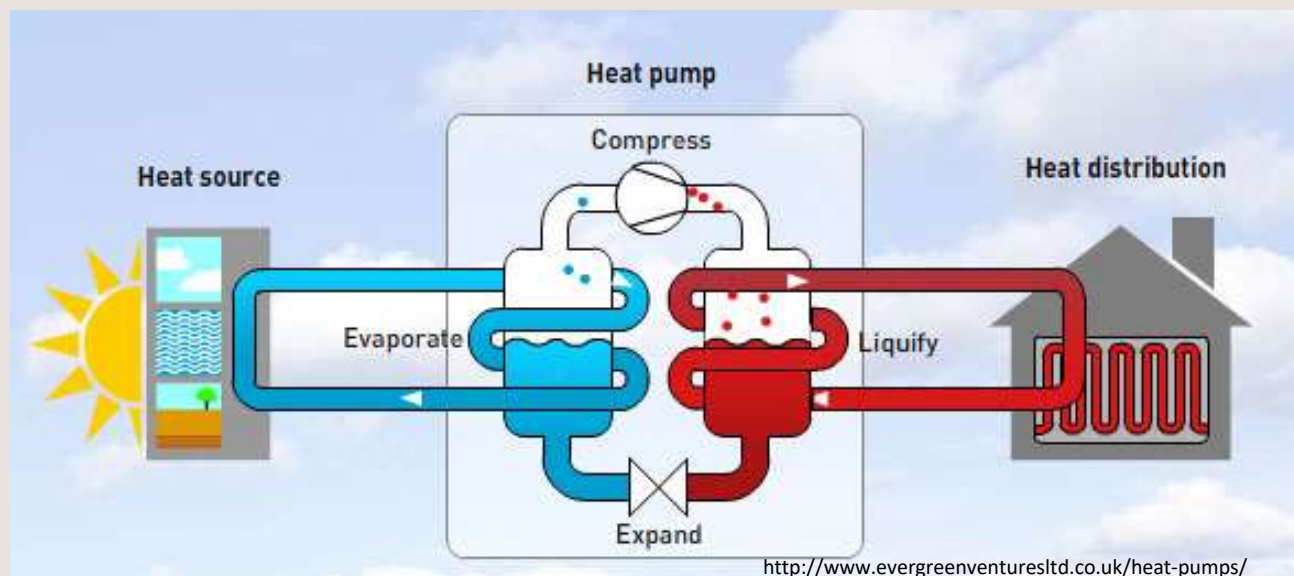
Tajā pašā laikā..

Teorētiski, SS var izmantot vairākus termodinamiskos ciklus un procesus:

- Stirlinga dzinēja un *Vuilleumier* cikls;
- Vienas fāzes cikls (e.g. ar gaisu, CO₂ vai cēlgāzēm);
- Cietas vielas – tvaika sorbcijas (Solid-vapour sorption) sistēmas;
- Hibrīdās sistēmas (kombinē tvaika kompresijas un absorbcijas ciklus) un termoelektriskos procesus;
- Šobrīd dažas no tehnoloģijām var sasniegt tādu tehnisko gatavību, lai nākotnē kļūtu par plaši pielietojamām tehnoloģijām.

Kompresijas SS darbības princips

Iztvaikošana (Siltummainis) -> Kompresija -> Kondensēšanās (Siltummainis) -> Izplešanās

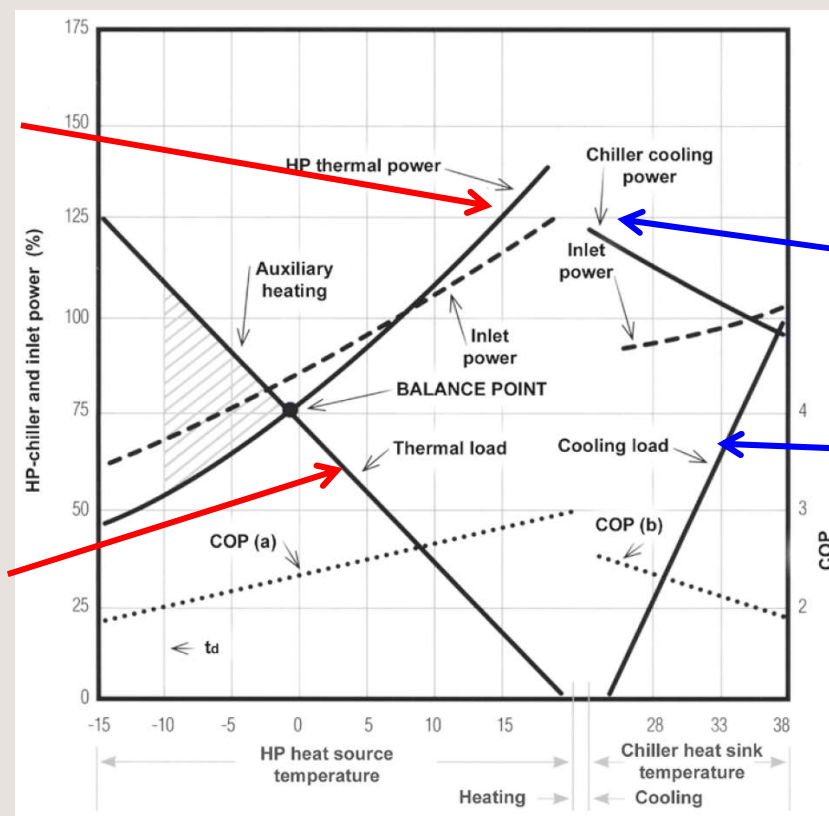


Siltumsūkņu darbība siltuma un dzesēšanas režīmā

Siltuma jauda
 $N(\text{kW}) = f(t, \text{°C})$

ZIEMA

Siltumslodze
 $N(\text{kW}) = f(t, \text{°C})$



Dzesēšanas jauda
 $N(\text{kW}) = f(t, \text{°C})$

Aukstumslodze
 $N(\text{kW}) = f(t, \text{°C})$

VASARA

Avots: Heat pumps in refurbishment of existing buildings. REHVA European HVAC Journal

28.09.2018

RTU EEF Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

18

Siltumsūkņu darbības princips

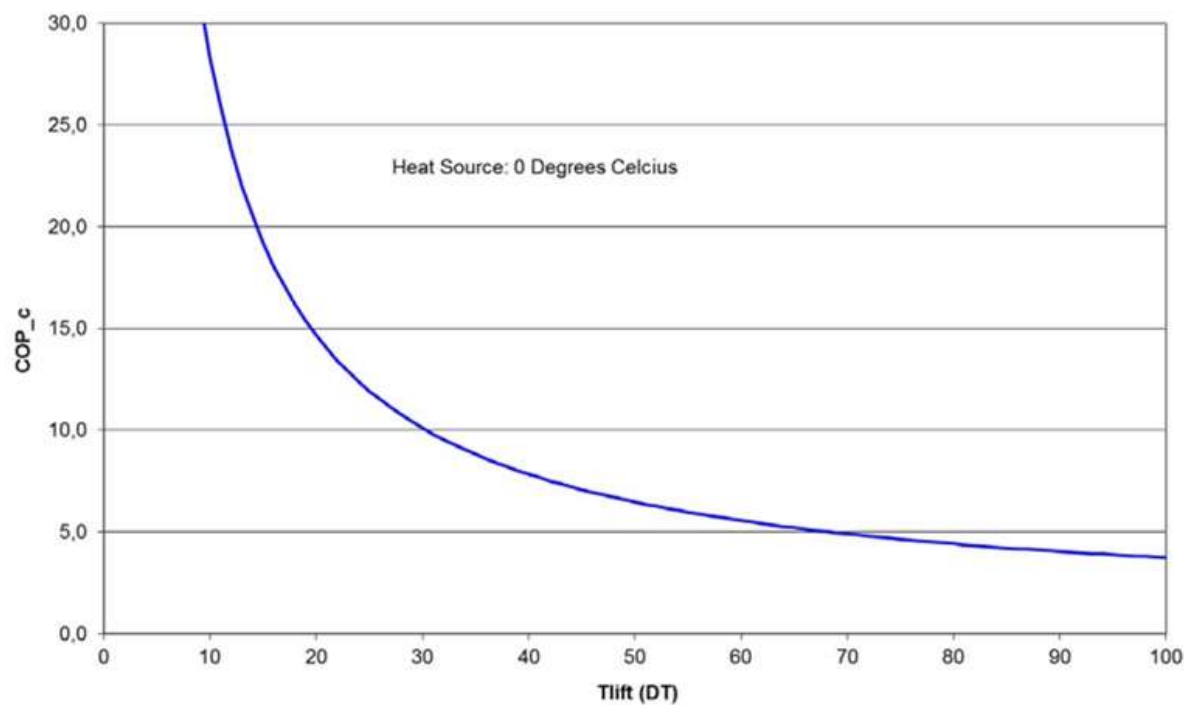
Veiktspējas (lietderības) koeficients / Coefficient of performance (COP)

- Patērētās elektroenerģijas un saražotās siltumenerģijas attiecība pie noteiktiem apstākļiem;
- **E.g. COP @B0/W35 =4,2**
 - 1 kWhel = 4,2 kWhth
 - Ja siltuma avota $t = 0\text{ °C}$, turpgaita no SS $t=35\text{ °C}$.

Sezonālais lietderības koeficients / Seasonal performance factor (SPF)

- Sezonas laikā saražotās siltumenerģijas un kopā izmantotās elektroenerģijas attiecība.
- Koeficients ietver:
- Mainīgo siltuma vai aukstuma slodzi;
- Mainīgo siltuma avota temperatūru;
- Nem vērā papildus nepieciešamo enerģijas patēriņu, piem., atsaldēšanai, priekšapsildei utt.

Karno cikla COP un siltumsūkņa temperatūra, ja siltuma avota temperatūra ir 0 °C



Source: Demonstration of Field Measurements of Heat Pump Systems in Buildings. Good Examples with Modern Technology. Final Report. IEA Heat Pump Centre, 2016.

Ideālais siltuma avots SS sistēmām

- Salīdzinoši augsta/liela un stabila temperatūra visā apkures sezonas laikā;
- Plaši / bez ierobežojumiem pieejams;
- Nav piesārņots vai korodējošs;
- Ar labām siltumfizikālām īpašībām;
- Tā izmantošanai nepieciešamas mazas investīcijas un ir zemas ekspluatācijas izmaksas.

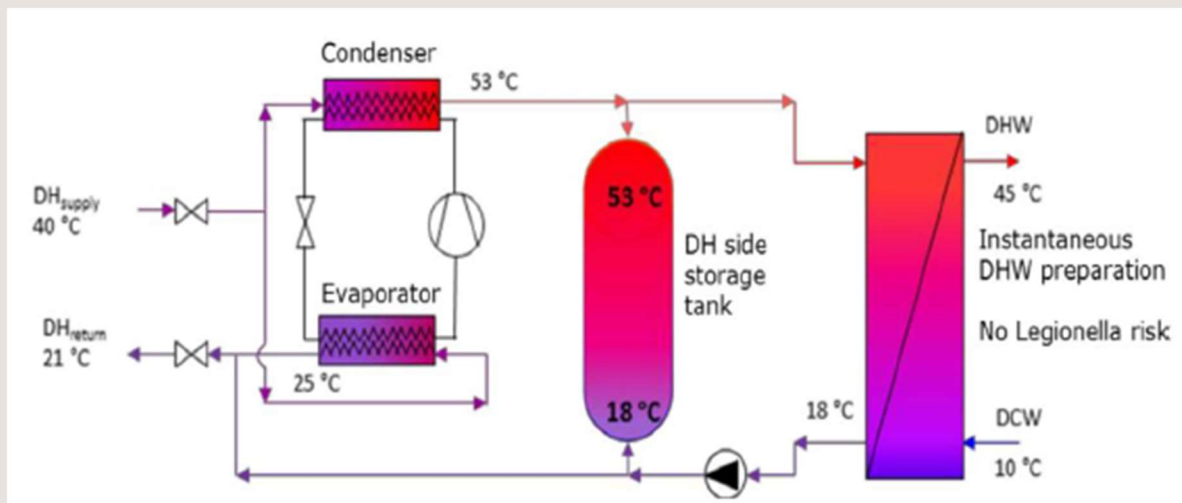
Type of Heat Source	Temperature Range (°C)
Sewage water	10–20
Ambient water	2–15
Industrial waste heat	12–46
Geothermal heat	9–55
Flue gas	34–60
District cooling	0–9
Solar heat storage	10–35
Total	0–60

Avots: David, A.; Mathiesen, B.V.; Averfalk, H.; Werner, S.; Lund, H. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies* 2017, 10, 578.

Siltumsūkņu integrēšana CSS

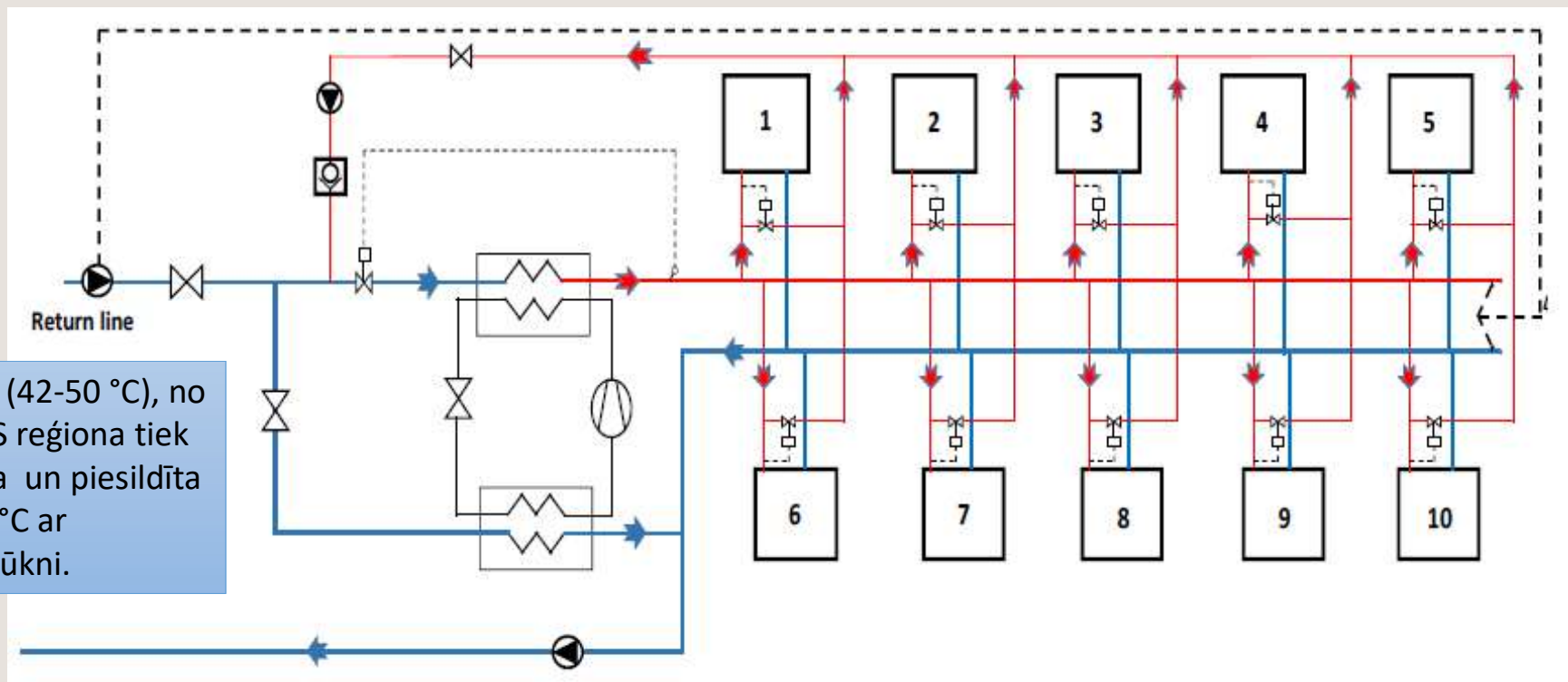


Siltumsūkņu izmantošana lokāli, karstā ūdens piesildīšanai



Avots: V. MAŠATIN. Obstacles for Implementation of 4th Generation District Heating for Large Scale Networks, TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2018.

Siltumsūkņa izmantošana tiešā pieslēguma gadījumā

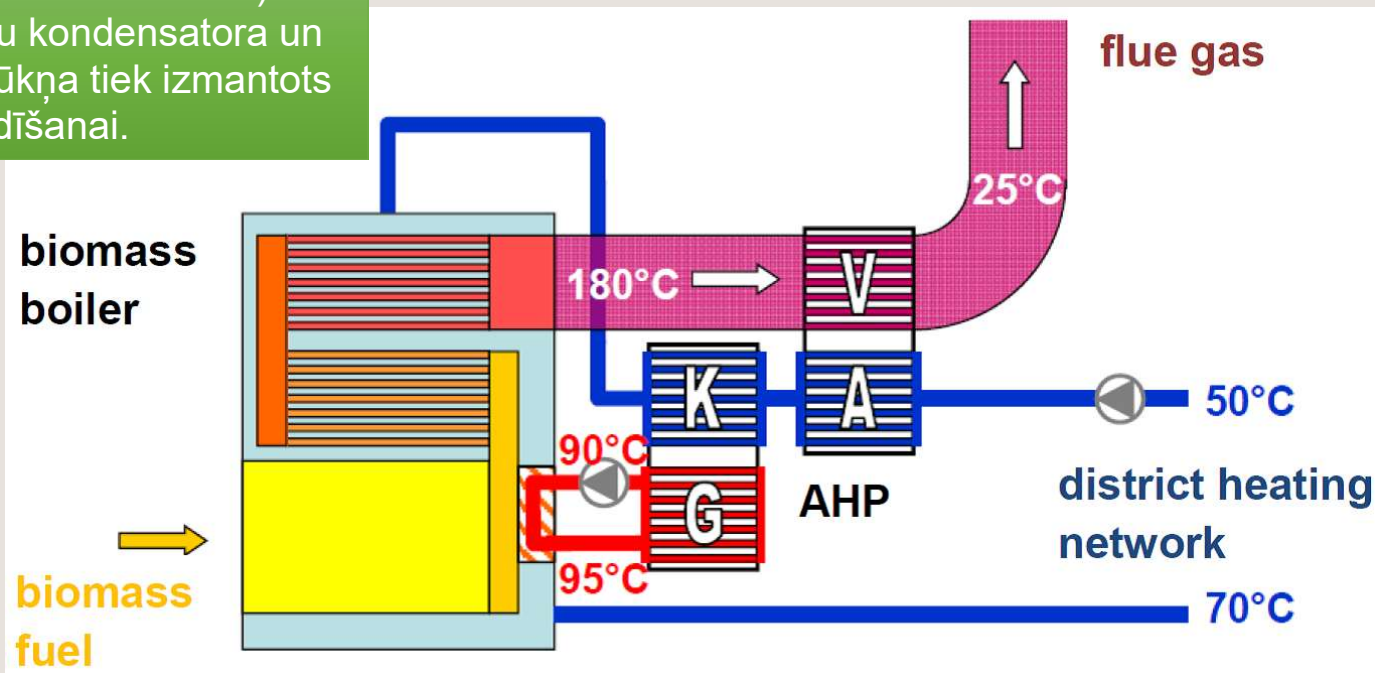


Atgaita (42-50 °C), no cita CSS reģiona tiek sadalīta un piesildīta līdz 60 °C ar siltumsūkni.

Avots: POTENTIAL FOR LOW TEMPERATURE DISTRICT HEATING SYSTEM. Integrating 4th generation district heating system with existing technology. MAJD KAMAL.

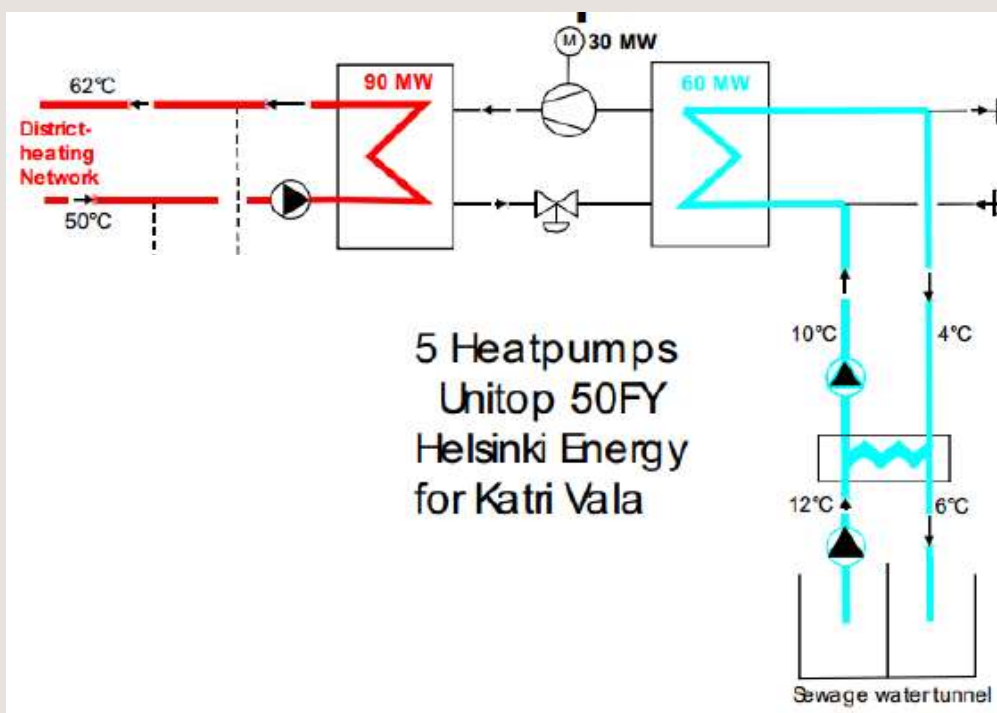
Dūmgāzu kondensatoru aprīkošana ar absorbcijas siltumsūkņiem

Biomases katliem (75 līdz 500 kW)
Siltums no dūmgāzu kondensatora un absorbcijas siltumsūkņa tiek izmantots CSS atgaitas piesildīšanai.



V – iztvaikotājs
K – kondensators
A – absorberis
G – ģenerators

Siltumsūkņu integrācija centralizētā siltumapgādē un aukstumapgādē

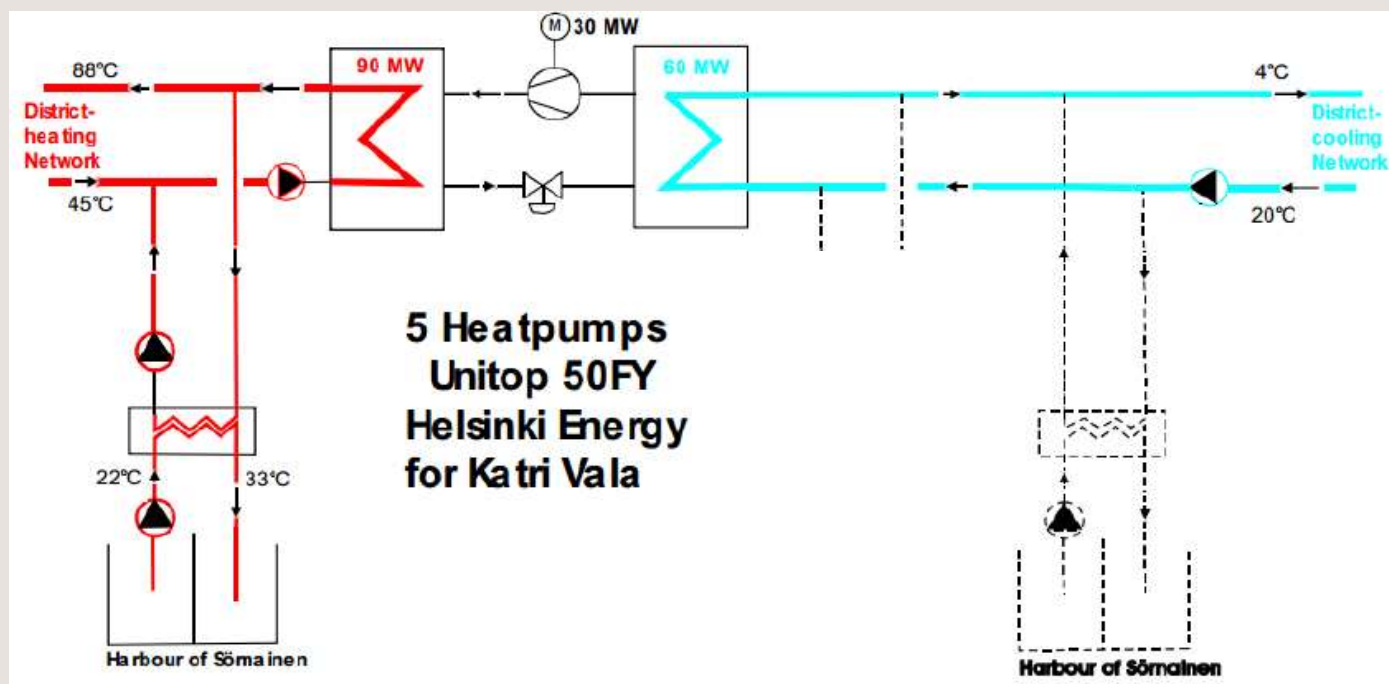


Helsiniki, Somija
5 x 16.8 MW
CSS atgaitas t
palielināšanai (50->62 °C)
Siltuma avots: notekūdeņi
Nosedz ~ 4% siltuma

Ziemas režīms

Avots: Heat Pumps in District Heating: Case Studies. 2016. URN 15D/538

Siltumsūkņu integrācija centralizētā siltumapgādē un aukstumapgādē



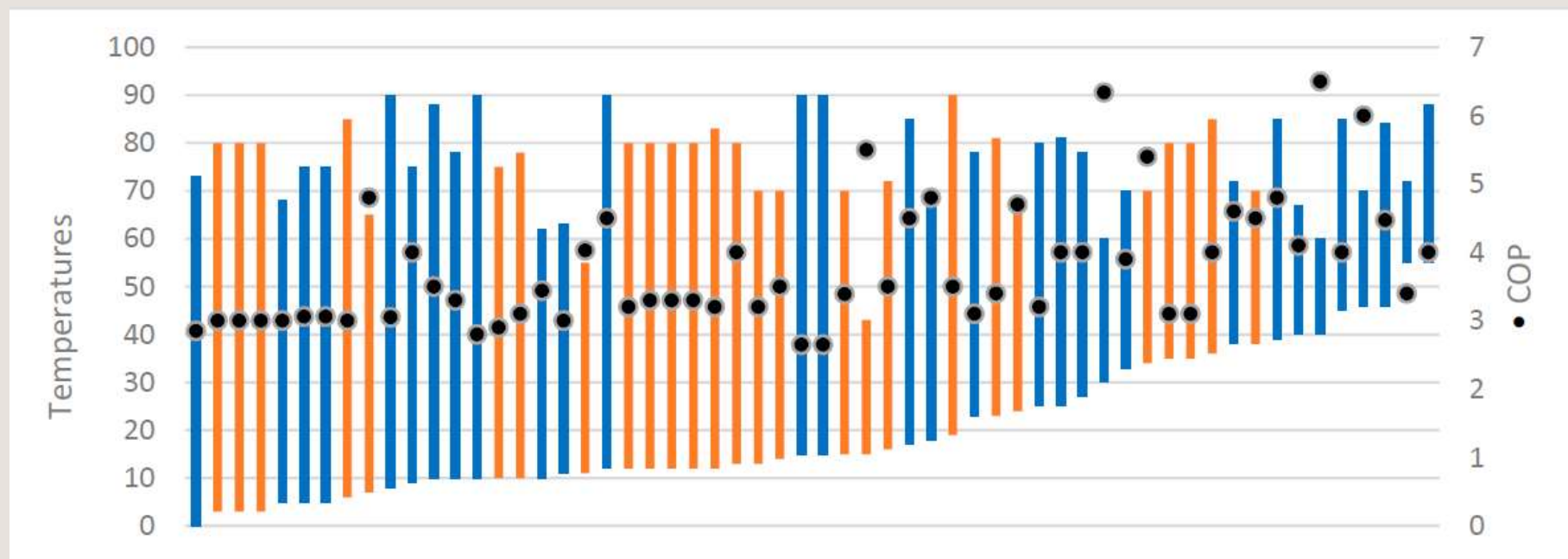
Helsinki, Somija
 5 x 16.8 MW;
 CSS atgaitas t
 palielināšanai (50->62 C)
 Nosedz ~ 33 %
 dzesēšanas

Vasaras režīms

Avots: Heat Pumps in District Heating: Case Studies. 2016. URN 15D/538

Siltumsūkņu darba temperatūru un COP diapazons:

oranžs (līdz 2006. g.) un zils (pēc 2006. g.)



Zviedrija, Dānija, Šveice, Norvēģija, Francija, Itālija

Avots: David, A.; Mathiesen, B.V.; Aeverfalk, H.; Werner, S.; Lund, H. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies* 2017, 10, 578.

Siltumsūkņu darba temperatūru diapazons, jauds un vidējais COP

Output Temperature Ranges (°C)	< 70	71–80	> 80
Units	19	57	34
Capacity (MW)	40	725	425
Average COP	4.5	3.6	3.7

Augstākais COP:

- Ja siltumsūknis paaugstina CSS atgaitas temperatūru;
- Jo mazāka temperatūras paaugstināšana tiek īstenota, jo lielāks siltumsūkņa COP.

Jānodrošina minimāls siltumsūkņa palaišanas & apturēšanas daudzums.

Avots: David, A.; Mathiesen, B.V.; Averfalk, H.; Werner, S.; Lund, H. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies* **2017**, *10*, 578.

Siltumsūkņu izmantošanas priekšnoteikumi CSS

- Energoefektīvs patērētājs;
- Zemas temperatūras CSS;
- Ja pieprasītais enerģijas apjoms nesakrīt ar tīklu piedāvāto temperatūru, siltumsūknis ir kā starpposms, lai salāgotu enerģijas pieprasījumu un piedāvājumu.

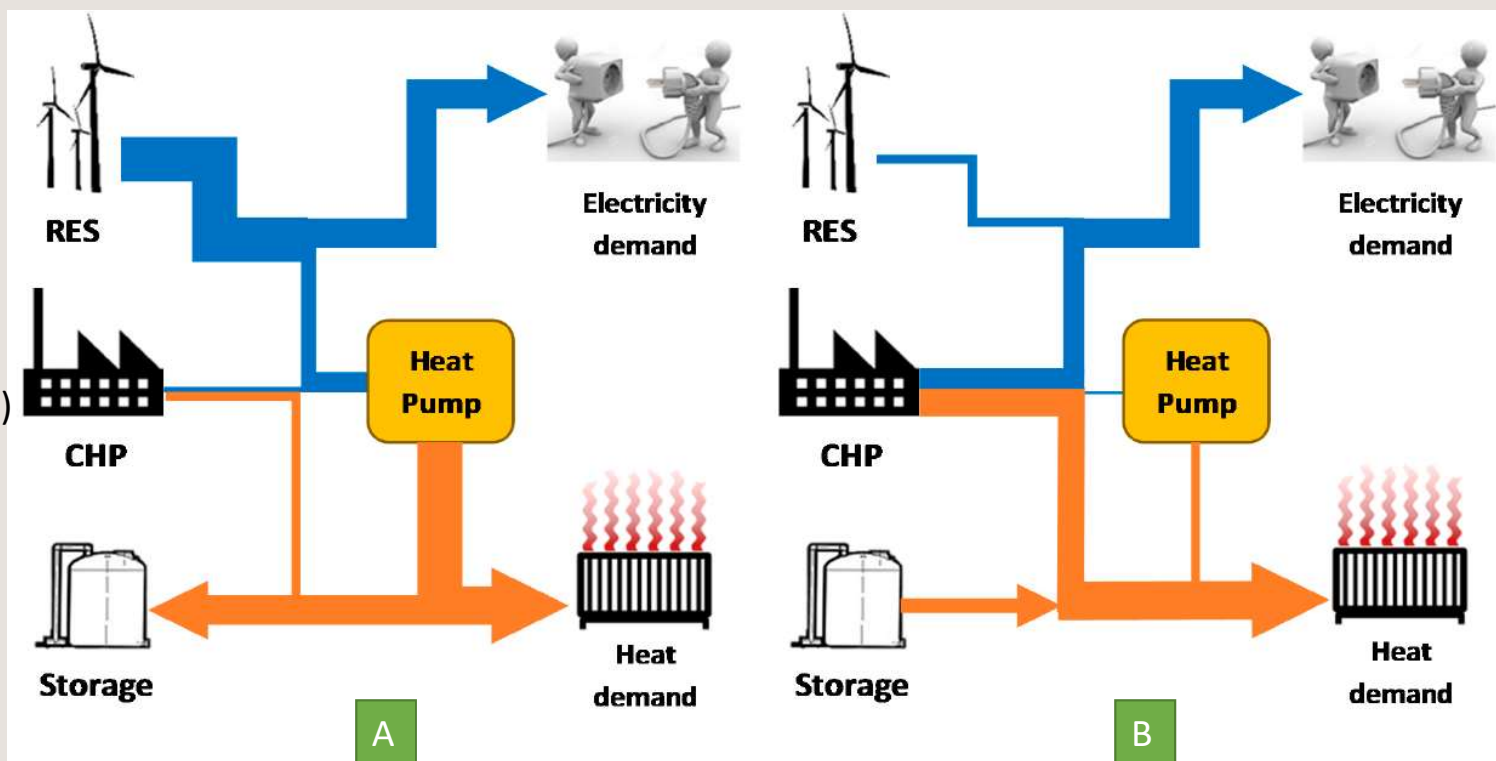
Plašākā energoapgādes kontekstā:

- Elektroenerģija no saules/vēja: elektroenerģijas pārpalikuma izmantošana siltumam/dzesēšanai, t.sk. akumulācija;

Ja CSS ir darbojās sasaistē ar elektrotīklu:

A) $AER > CHP$ un B) $AER < CHP$

Siltumsūkņi var izmantot zema potenciāla siltumu, kas ir uzkrāts īstermiņa (2-8h) akumulācijas tvertnēs.



Avots: David, A.; Mathiesen, B.V.; Averfalk, H.; Werner, S.; Lund, H. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies* 2017, 10, 578.



Saules enerģija



Saules enerģija siltumapgādei

Bezmaksas enerģija..

Potenciāls: liels?!

Sezonalitāte..

Dārga.. ?



Pieredze..

Vai tas atmaksāsies?

Nu, nepatstāvīga..

Ko darīt, kad saule nespīd?

Saules enerģijas izmantošanas veidi

1. Ķīmiskais

1. Fotosintēze, nodrošina visus procesus uz Zemes – barības vielas, biomasa un $\text{CO}_2 \rightarrow \text{O}_2$;

2. Elektroenerģijas

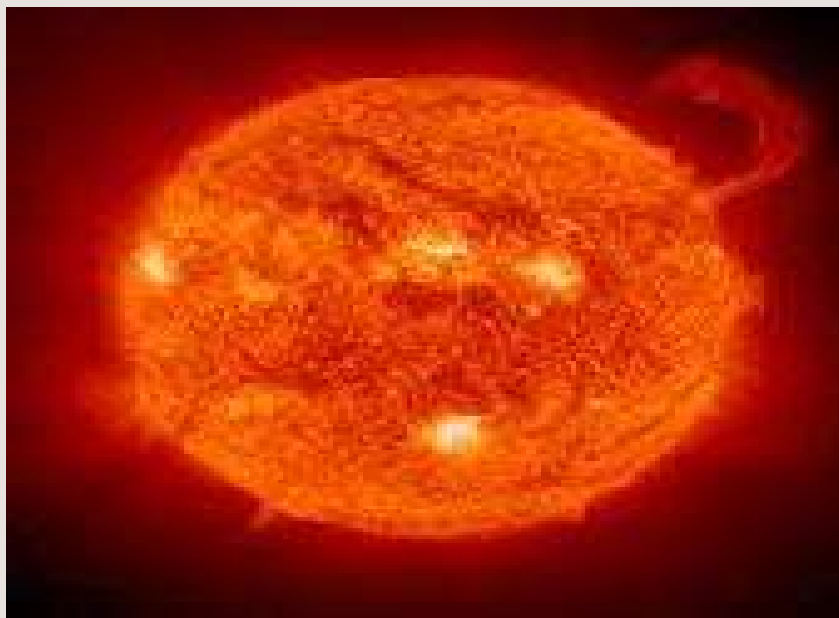
1. Tieša saules starojuma enerģijas pārveide elektroenerģijā, piem., saules paneļi (*solar PV*);

3. Siltumenerģijas

1. Tieša saules starojuma enerģijas pārveide siltumenerģijā, piem., saules kolektori.

Kas ir saules enerģija?

- Kodolsintēzes reakcijas, kas notiek Saules iekšienē.



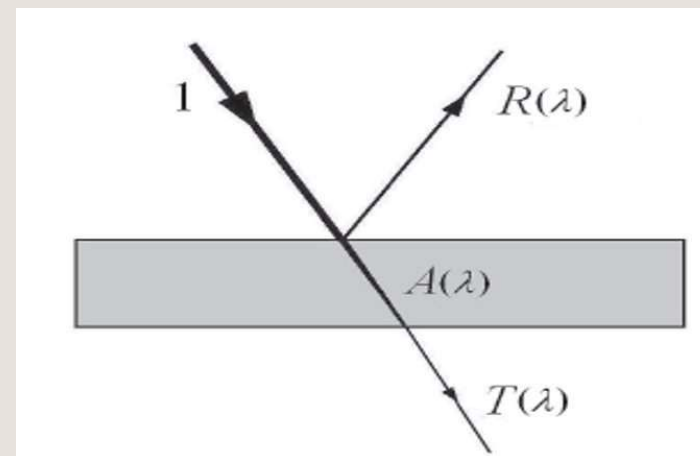
- $d = 1,392 \times 10^6 \text{ km}$ ($109 \cdot d_{\text{Earth}}$)
- $V = 1,412 \times 10^{21} \text{ m}^3$ ($1\,300\,000 \cdot V_{\text{Earth}}$)
- $m = 1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ ($332\,946 \cdot m_{\text{Earth}}$)
- $T_{\text{virsmas}} = 5\,778 \text{ K}$

Avots: <http://lv.wikipedia.org/wiki/Saule>

Saules starojums (optika)

Galvenās starojuma fizikālās parādības:

1. Absorbpcija $A(\lambda)$
2. Atstarošana $R(\lambda)$
3. Caurlaidība/vadāmība $T(\lambda)$

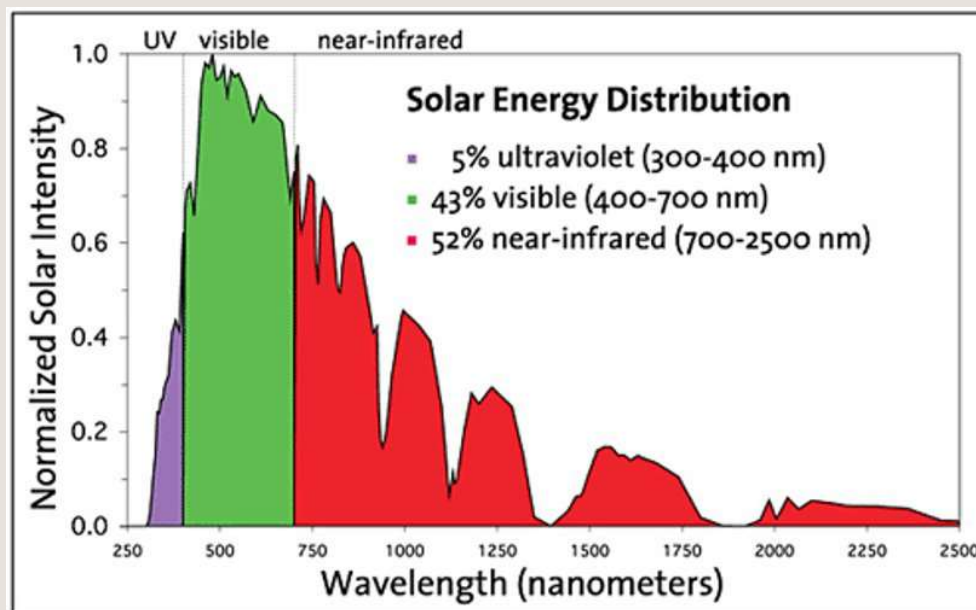


Physics of Solar Energy C. Julian Chen
Copyright © 2011 John Wiley & Sons, Inc.

Kas ir saules enerģija?

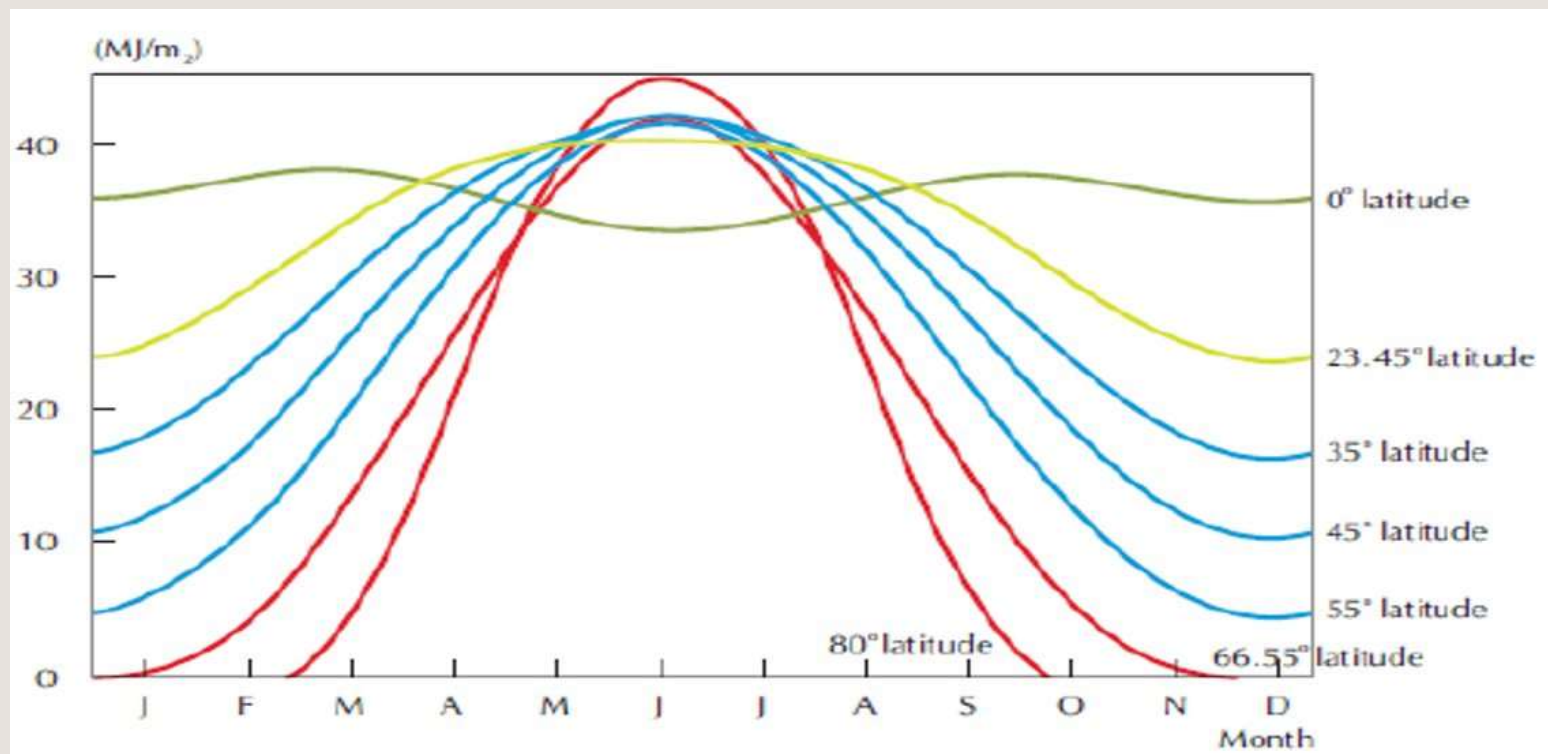
Raksturo viss elektromagnētiskā starojuma spektrs:

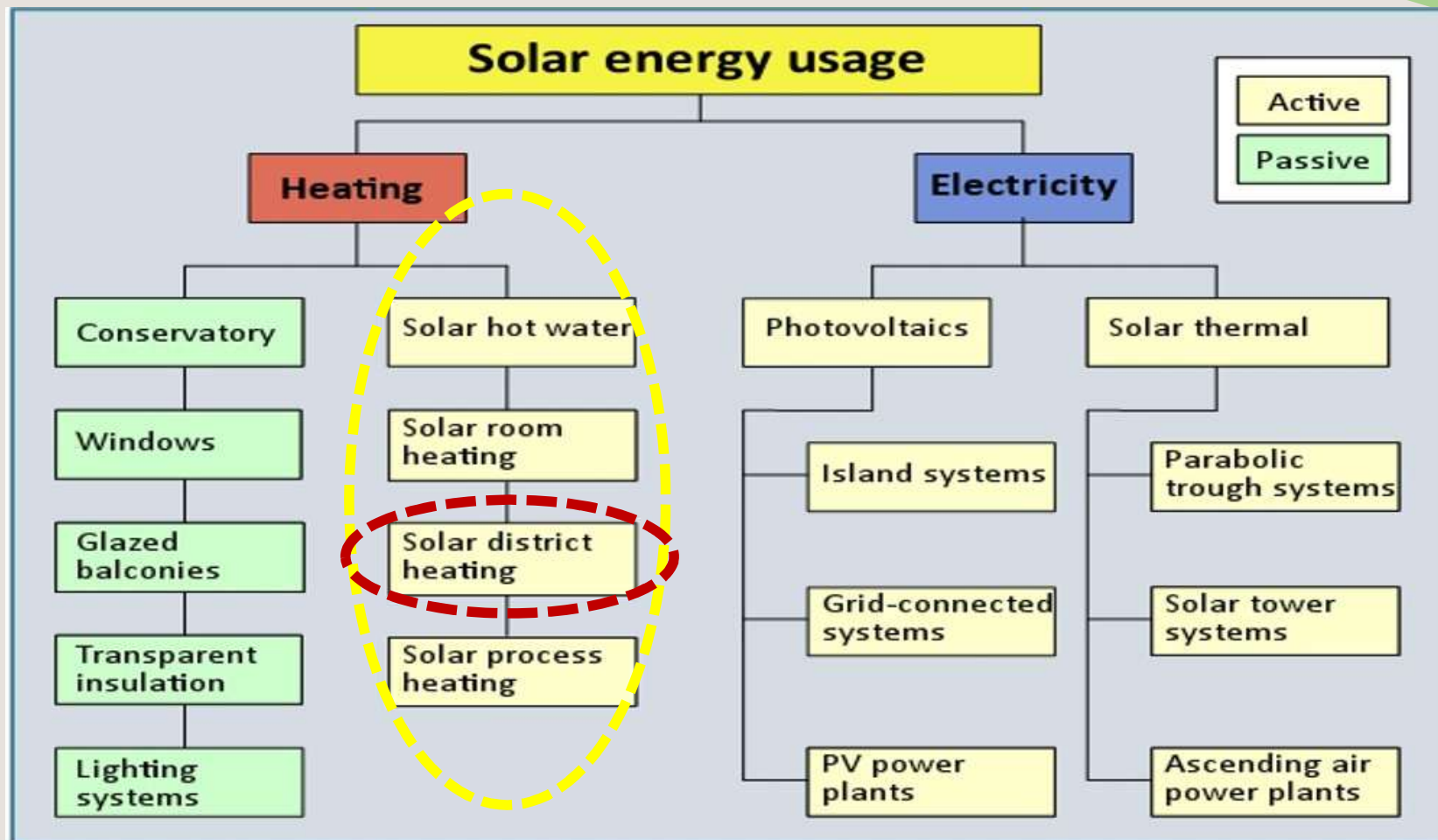
- Redzamā gaisma;
- IS viļņi;
- UV viļņi;
- Rentgena stari;
- Radio viļņi.



Avots: <http://www.intechopen.com/source/html/42202/media/image3.png>

Saules starojuma sezonālītāte





TREE - Transfer Renewable Energy & Efficiency Energy Economics - An Introduction. Renewables Academy (RENAC) AG, 2009.

Galvenie saules kolektora uzdevumi

1. **MAX** absorbēt visu pieejamo saules enerģiju;
2. **MIN** siltuma zudumi no saules kolektora;
3. **MIN** nepieciešamie resursi.

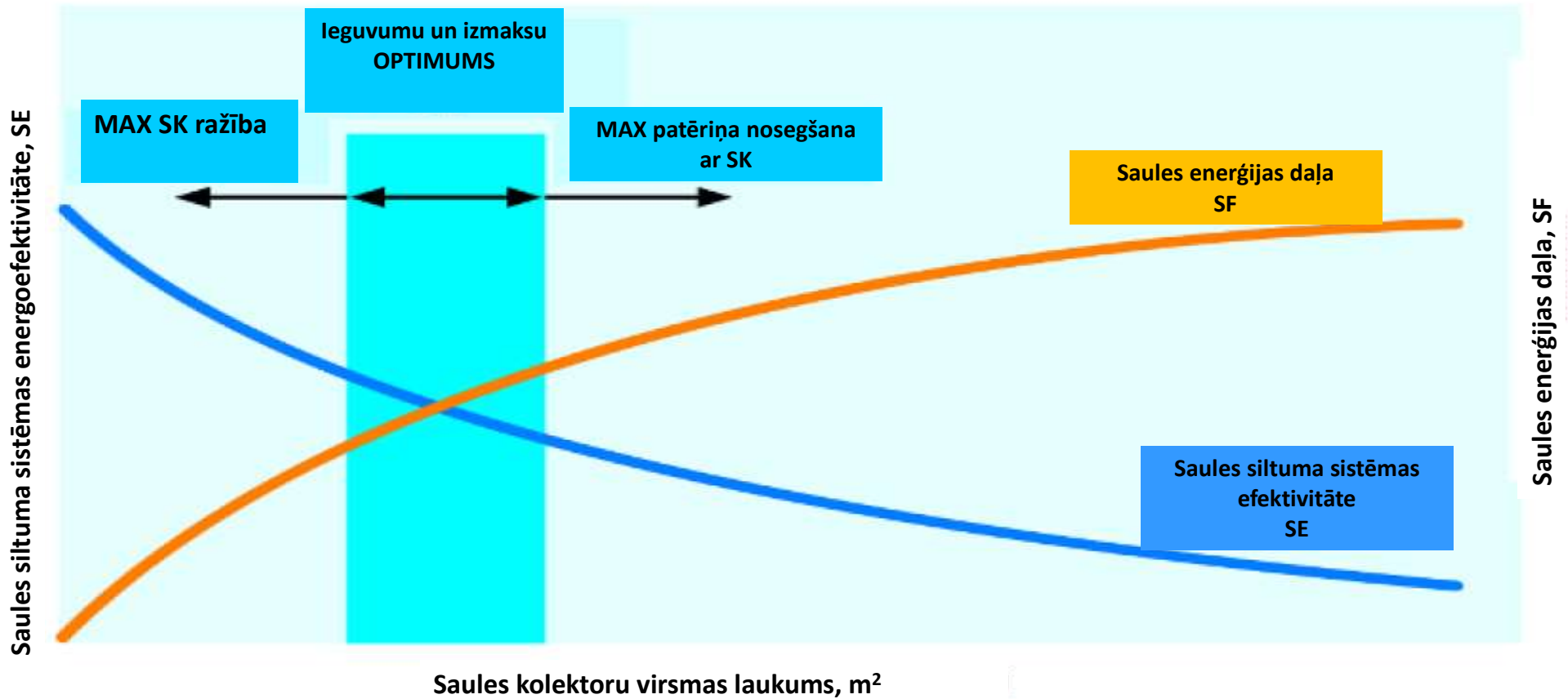


Avots: <http://www.soenso.com/images/thermal-heating-commercial.jpg>



Avots: http://www.buderus.com.cn/?language=2&page_id=6065

SE v.s. SF – no lietotāja skatu punkta



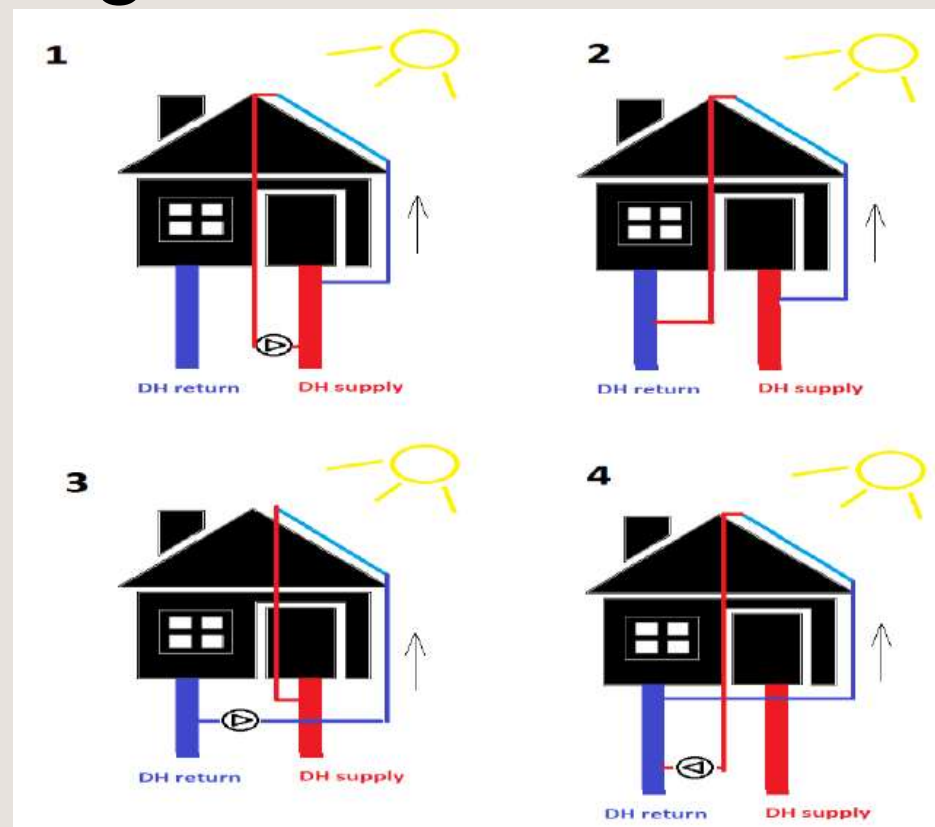
Saules siltuma sistēmu integrēšana CSS



Pie patērētāja uzstādīto saules siltuma sistēmu pieslēgums

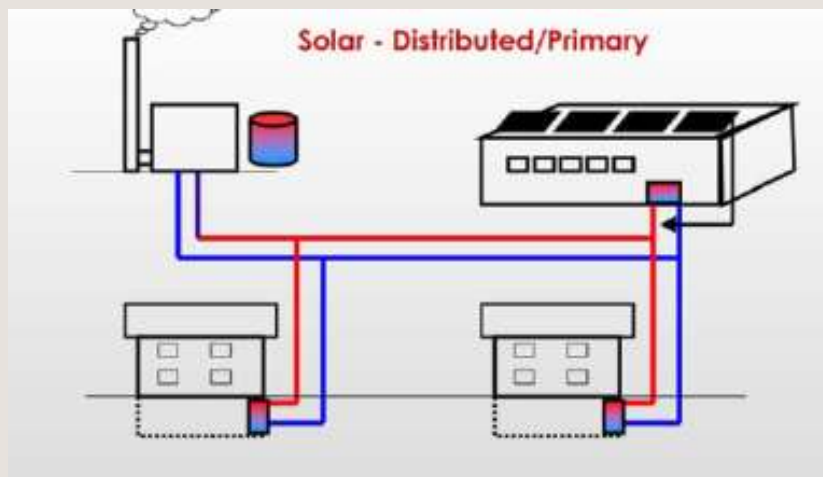
1. CSS turpgaita -> SK -> CSS turpgaita;
2. CSS turpgaita -> SK -> CSS atgaita;
3. CSS atgaita -> SK -> CSS turpgaita;
4. CSS atgaita -> SK -> CSS CSS atgaita.

NIB! Akumulācijas risinājums

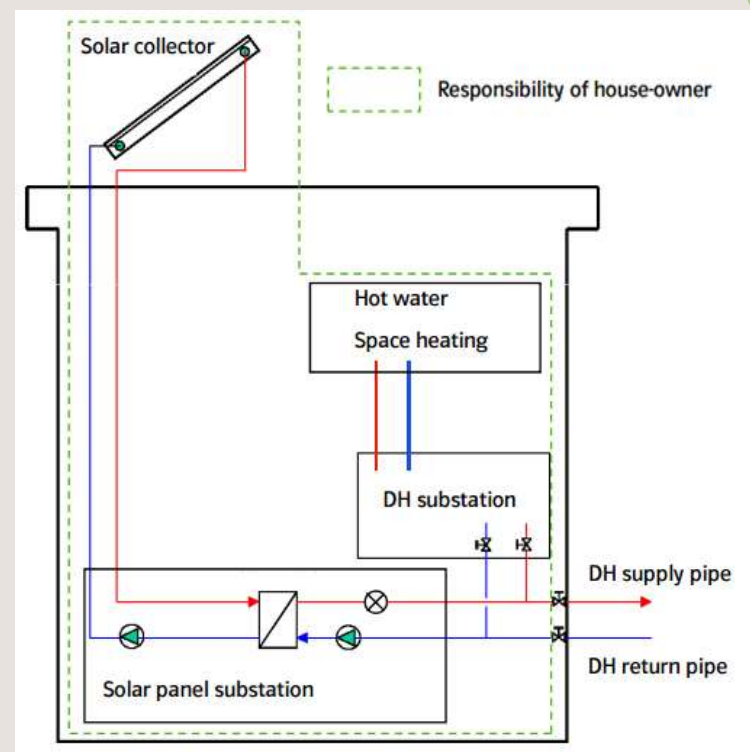


Saules decentralizētas siltumenerģijas ievadīšana tīklā

- NET siltumenerģijas uzskaitīšana

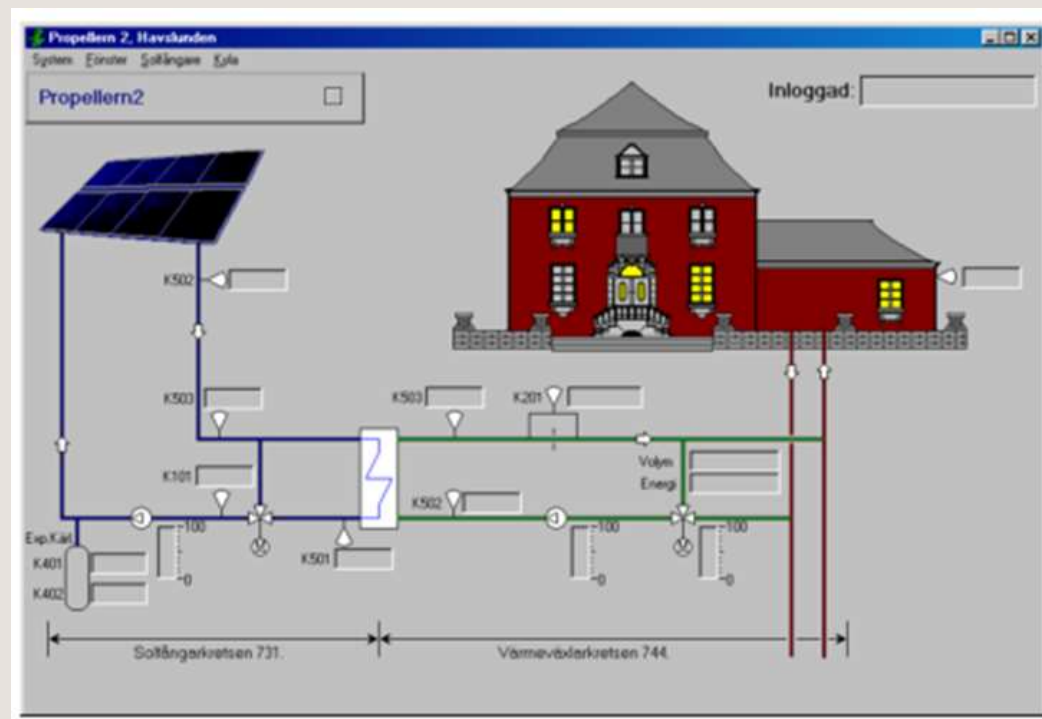


Avots: <http://www.solarthermalworld.org/content/sweden-growing-number-feed-contracts-district-heating-providers>



Saules decentralizētas siltumenerģijas ievadīšana tīklā bez akumulācijas

- Vienkāršāka;
- Neelastīga;
- Zemāka efektivitāte;
- Spiediena izlīdzināšana.



Avots: Solar District Heating in Europe Guideline for end-user feed-in of solar heat

Decentralizēta dienas akumulācija individuālai mājsaimniecībai/tīklam

Galvenās problēmas:

- Īpašumtiesības;
- Apkope;
- sistēmu prasības;
- apmaksas sistēma;
- uzstādīšanas izmaksas.

Galvenās ieteikumi:

- Uzstādīt optimālā leņķī;
- Maksimāli īsi cauruļu garumi no kolektoriem līdz tīklam;
- Samazināt tīkla temperatūru.

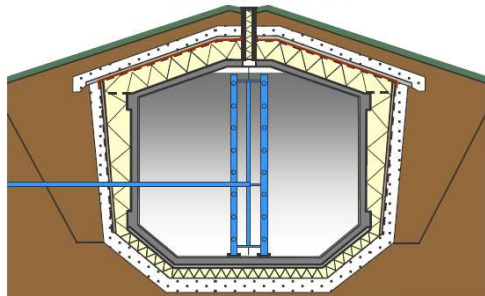
Siltumenerģijas akumulācijas iedalījums pēc akumulācijas metodes

	Fiziskā siltuma	Latentā siltuma	Ķīmisko reakciju
Apzīmējums	-	Fāzu pārejas materiāli (PCM)	Termoķīmiskiemateriāli (TCM)
Enerģijas blīvums, kWh/t	10-50	50-150	120-250
Galvenie siltumnesēji	Ūdens	Parafīni, sāls maisījumi	Zeolīti
Izmaksas, €/kWh	0,1-10	10-50	8-100

Sezonālā siltuma uzkrāšanas piemēri

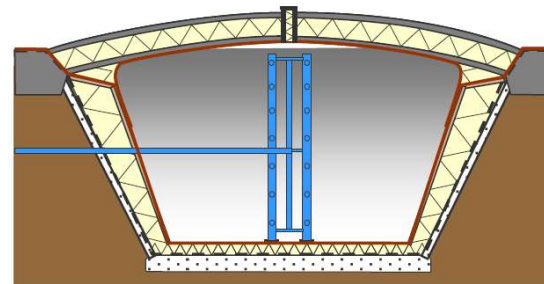
Ūdens akumulācijas tvertnes

(60 to 80 kWh/m³)



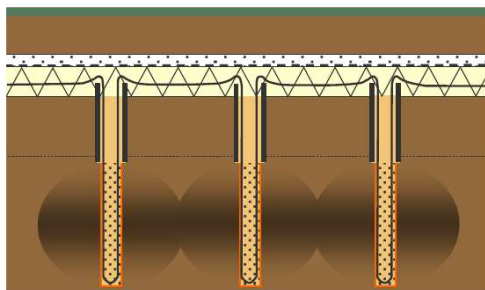
Ūdens akumulācijas tvertnes

(60 to 80 kWh/m³)



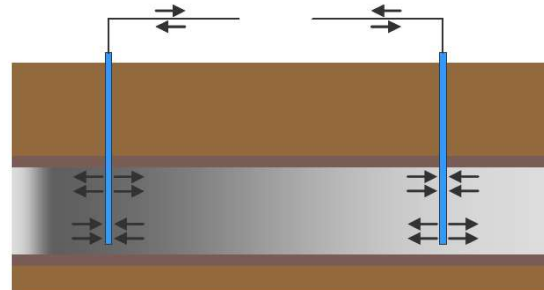
Zem zemes siltuma uzkrāšanas sistēmas

(15 to 30 kWh/m³)



Urbumi ūdens nesējslāņos

(30 to 40 kWh/m³)



Avots: <http://solar-district-heating.eu/Portals/0/SDH-WP2-D2-1-SuccessFactors-Jan2011.pdf>

Piemērs: “Am Ackermannbogen”, Vācija

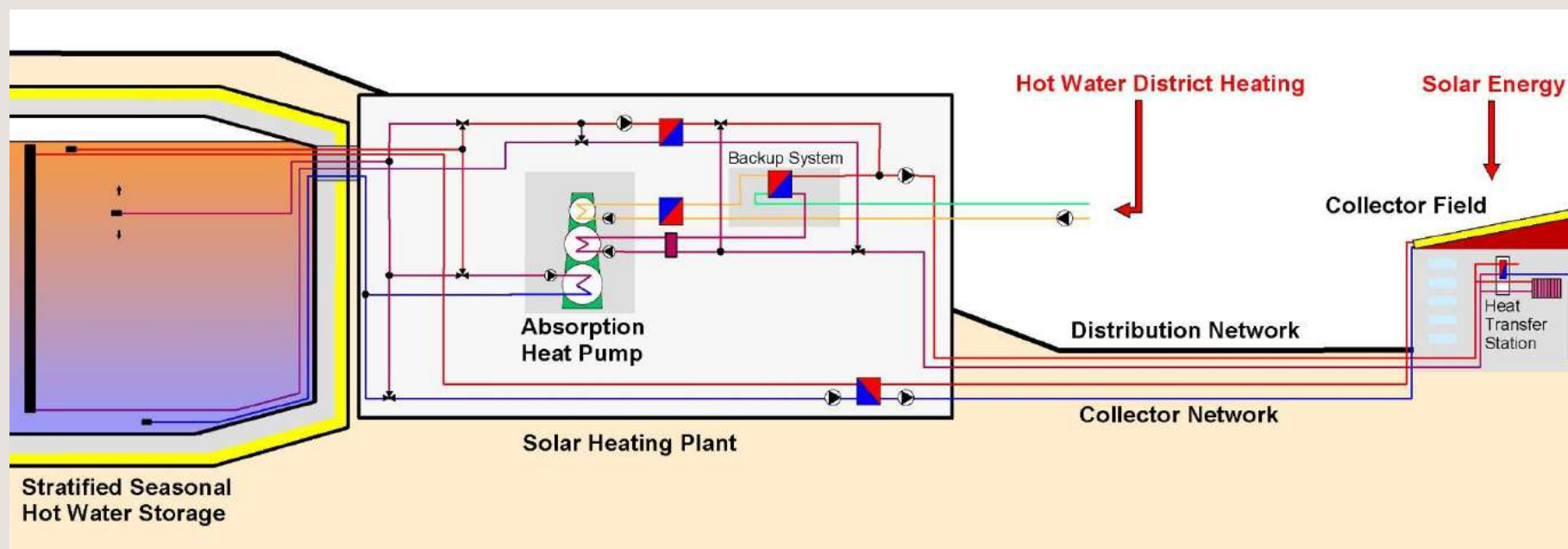


- SK platība: 2 762 m²;
- Akumulācijas tvertne ar siltumizolāciju: 5700 m³;
- Siltuma zudumi no tvertnes: 80 MWh/gadā;
- Akumulācijas spēja: 480 MWh (15/90 °C)



Avots: “Am Ackermannbogen”

Piemērs: “Am Ackermannbogen”, Vācija

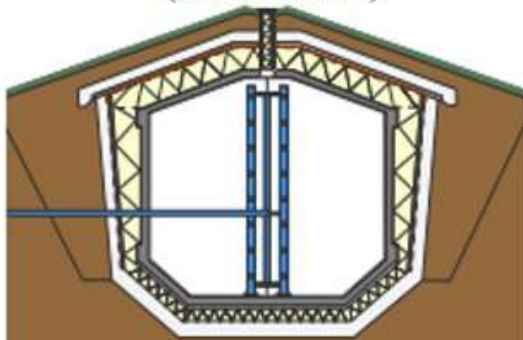


Avots: Dipl.-Phys. Manfred Reuß. Solar District Heating –an Innovative Approach of an Established Technology. Bavarian Center for Applied Energy Research. 2016.

Piemērs: “Am Ackermannbogen”, Vācija

- Tērauda vai betona tvertne;
- Virszemes, daļēji vai pilnīgi zem zemes;
- Ūdens ir siltuma akumulācijas vide.

Tank thermal energy storage (TTES)
(60 to 80 kWh/m³)



Silkeborg (Dānija) saules centralizētā siltumapgādes sistēma

- 156 694 m²
- 110 MW_{th}

<http://www.silkeborgforsyning.dk/>



Avots: http://www.solarthermalworld.org/installations?_ga=1.68081177.985042429.1438764464

Saules siltuma sistēma: Vojens (Dānija)

- Saules kolektori: 70 000 m²;
- Sezonālā akumulācija: 203 000 m³;
- Temperatūras režīms:
 - vasara 75/37 °C,
 - ziema 77/40 °C;
- ~2000 mājsaimniecības, 10 skolas, dažas ražotnes;
- Saules siltuma tarifs: 48 EUR/MWh.

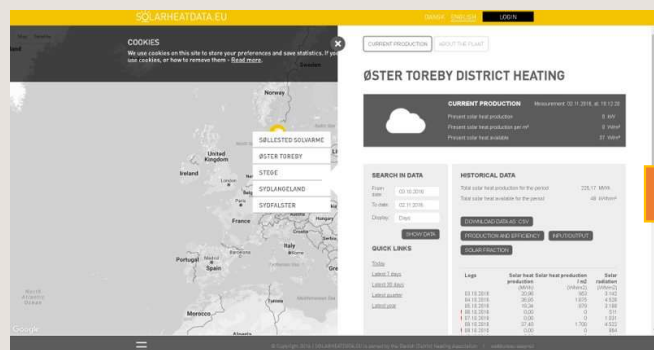
http://www.vojensfjernvarme.dk/umbraco/ImageGen.ashx?image=/media/2755375/_dsc2521-redi.jpg&width=460



<http://www.solarthermalworld.org/content/denmark-52500-m2-additional-collector-area-vojens>

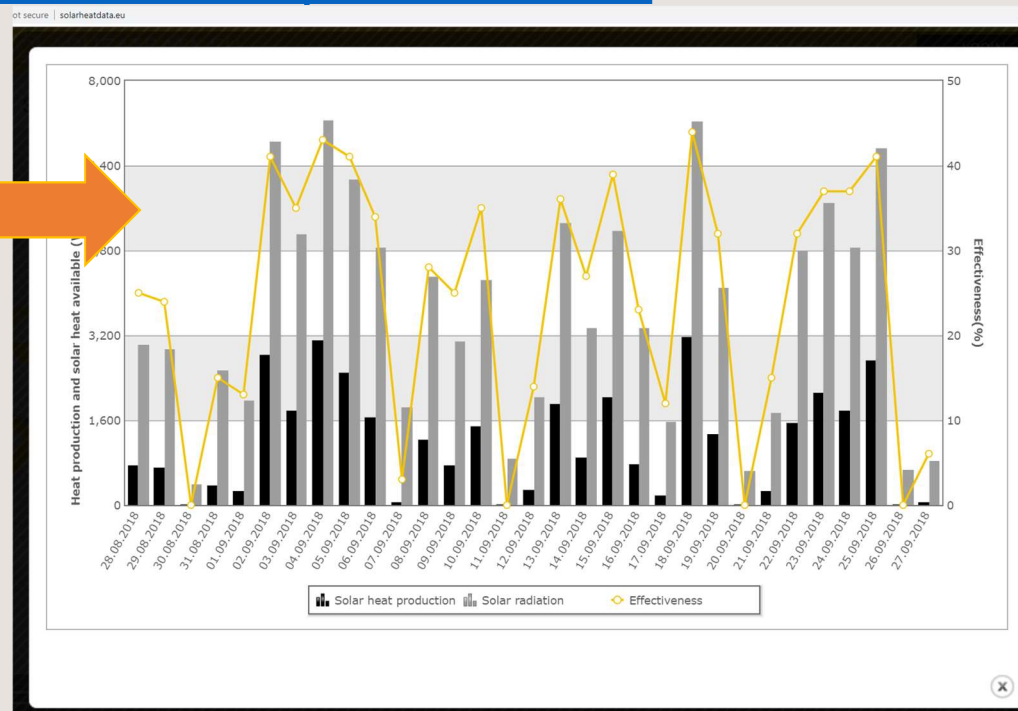
Dānijas pieredze: Tehniski ekonomiskie rādītāji un monitoringa dati

<http://www.solvarmedata.dk/index.asp?secid=228>



NYKØBING S. DISTRICT HEATING:

- SK virsma: 20084 m²;
- SK ražība: 9566 MWh/gadā;
- SK īpatsvars: 19 %.



Pāreja uz gudrāku energoapgādi

- Ko darīt ar koģenerāciju?
- Ko darīt ar AER izmantošanu elektroenerģijas iegūšanai?
- Dānijā:
 - Vienlaicīgi samazinās uzstādītās jaudas (gan TEC, gan CHP..) un uzstādīs vēju;
 - Starpsavienojumu izbūve;
 - Līdz pat CHP pārveido no CHP uz vienkāršām biomasas katlu mājām.



Accumulation

1 mio. m³

CHP

"5000 MW +
"2000 MW"

Elec. boilers
400 MW

Heat Pumps
20 MW



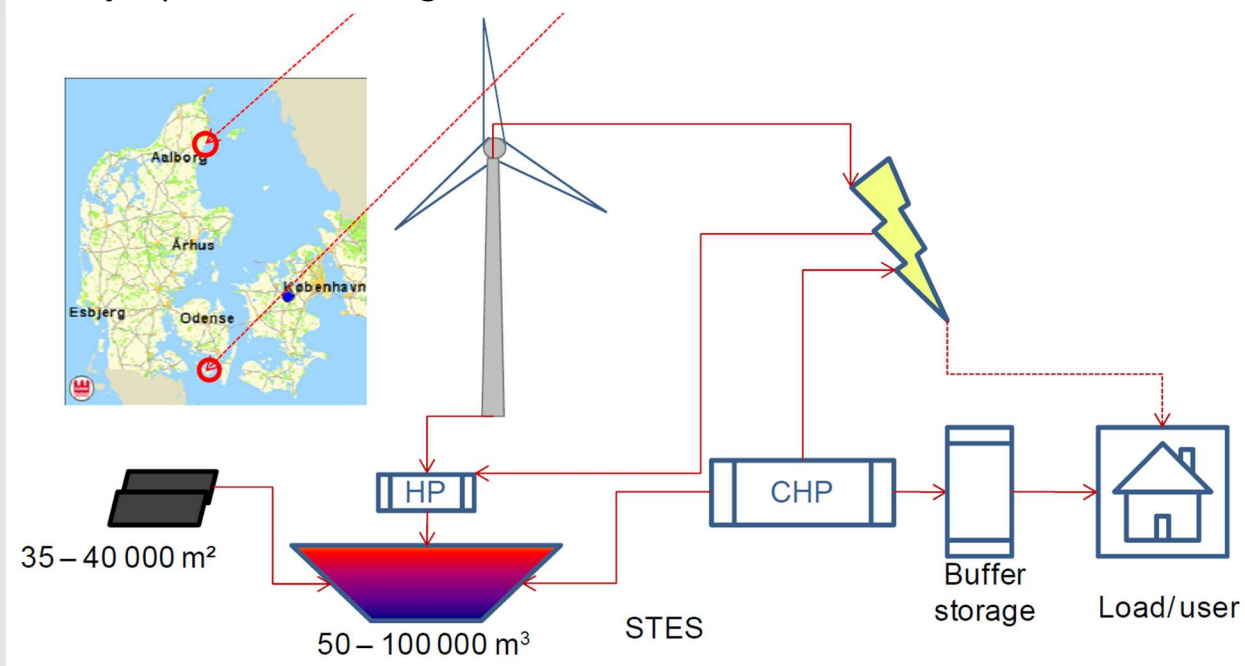
Avots: Kasper Jessen, Green Energy. DISTRICT HEATING in The Danish Energy System, 2016.

Vieda energoapgādes sistēma: elastīga un integrēta

1. Ir iespējams nobalansēt elektroapgādes tīklu pat tad, ja vēja enerģijas īpatsvars ir > 50 %;
2. Lai akumulētu un sabalansētu vēja enerģijas izmantošanu, CSS ir ļoti atbilstošs risinājums.

Avots: Kasper Jessen, Green Energy. DISTRICT HEATING in The Danish Energy System, 2016.

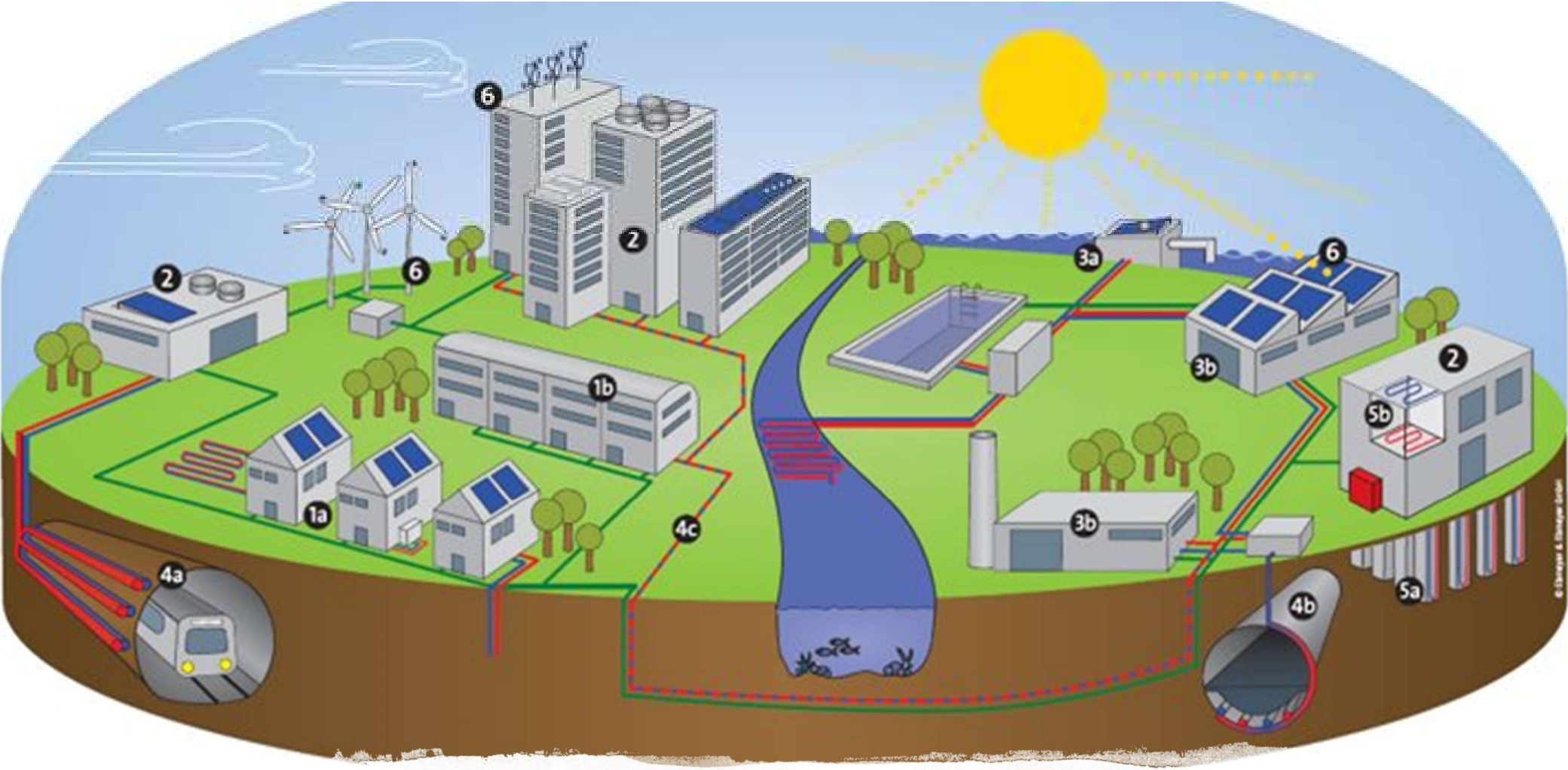
Dānijas piemērs: Droninglande un Mārstala



Avots: IEA SHC Task 45: Seasonal thermal energy storage - Report on state of the art and necessary further R+D, 2015.

Nobeigumā

- Pāreja no “*dumb*” *grids* (“tikai” pārvada un sadala enerģiju) uz “*smart*” *grids*;
- Viedie tīkli būs/ir *interneta jaunākais brālis*. Viedie enerģijas tīkli būs *mazāk pazīstamais interneta brālis*;
- Pāreja tiek īstenota izmantojot informācijas un komunikācijas tehnoloģijas.
- Enerģijas tīkli kā publisks akumulators.



In the future all existing currencies are abolished. The “mega-watt-hour” becomes the universal unit of exchange.

Sir Arthur C. Clarke, 2001



RTU
VASSI



Paldies par uzmanību!

Dzintars Jaunzems

dzintars.jaunzems@rtu.lv

www.videszinatne.rtu.lv

