



## Turpgaitas un atgaitas temperatūru optimizēšana CSA un dzesēšanai.

Dzintars Jaunzems



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

# Tēmu izklāsts

- Ievads
- CSA:
  - ✓ Termodinamika
  - ✓ Hidraulika;
- Vadības stratēģijas;
- Optimizācija.

# Ideālā pasaule

**Pārvade**

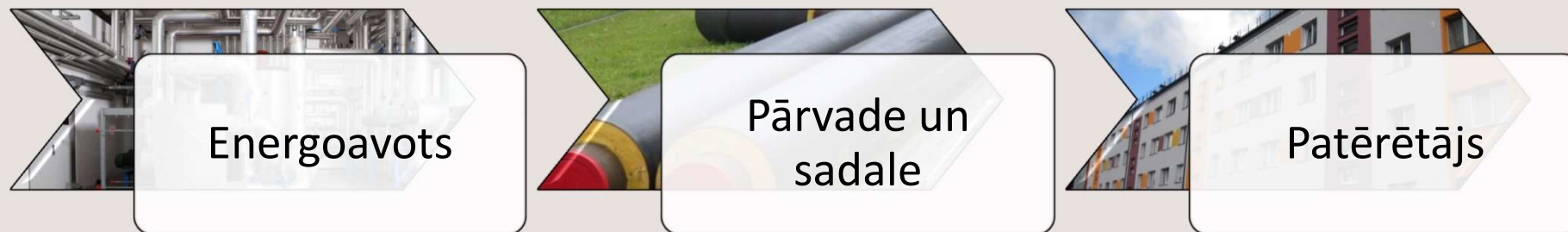
**Energoefektīvs  
enerģijas  
patērētājs**

**MAX pieejamo  
AER  
izmantošana**

**MIN un  
energoefektīva  
fosilo enerģijas  
avotu  
izmantošana**

**Sadale**

# Energoapgādes modelis



# 4. paaudzes CCS un viedo tīklu koncepts

**Integrēta zema patēriņa apkure, dzesēšana un karstā ūdens sistēma**



**Vieds un zemas temperatūras CSS tīkls**



**Institucionālais ietvars,  
ilgstpējīgai plānošanai,  
izmaksu, ieguvumu un  
motivācijas elementi**



**Siltuma pārpalikuma izmantošana un AER integrēšana**



**Integrēti viedās enerģosistēmas un tīkli**

# Centralizētā siltuma (un aukstuma) apgādes sistēma



# Temperatūras režīma pazemināšana

1. Relatīvie siltuma zudumi, ja patērētājs paliek energoefektīvāks;
2. Iespēja izmantot un integrēt citus energoavotus:
  1. Atjaunīgie energoresursi – saule, ģeotermālā enerģija u.c.;
  2. Siltumsūkņi;
  3. Liekais siltums;
  4. Dūmgāzu kondensēšana.
3. Samazināts CSA tīklu un caruļu termiskais spriegums.



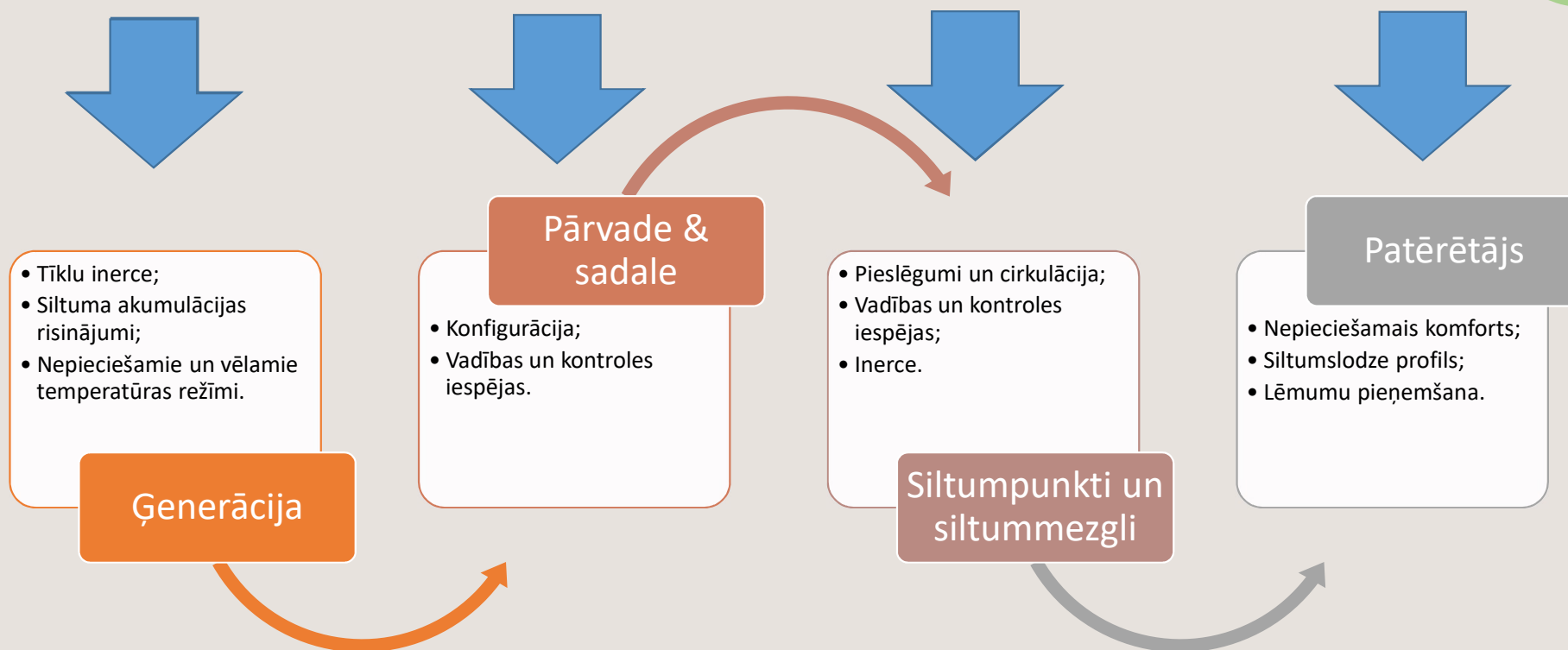
# Zemas temperatūras CSA



Risinājumi zemākas atgaitas  
temperatūras sasniegšanai



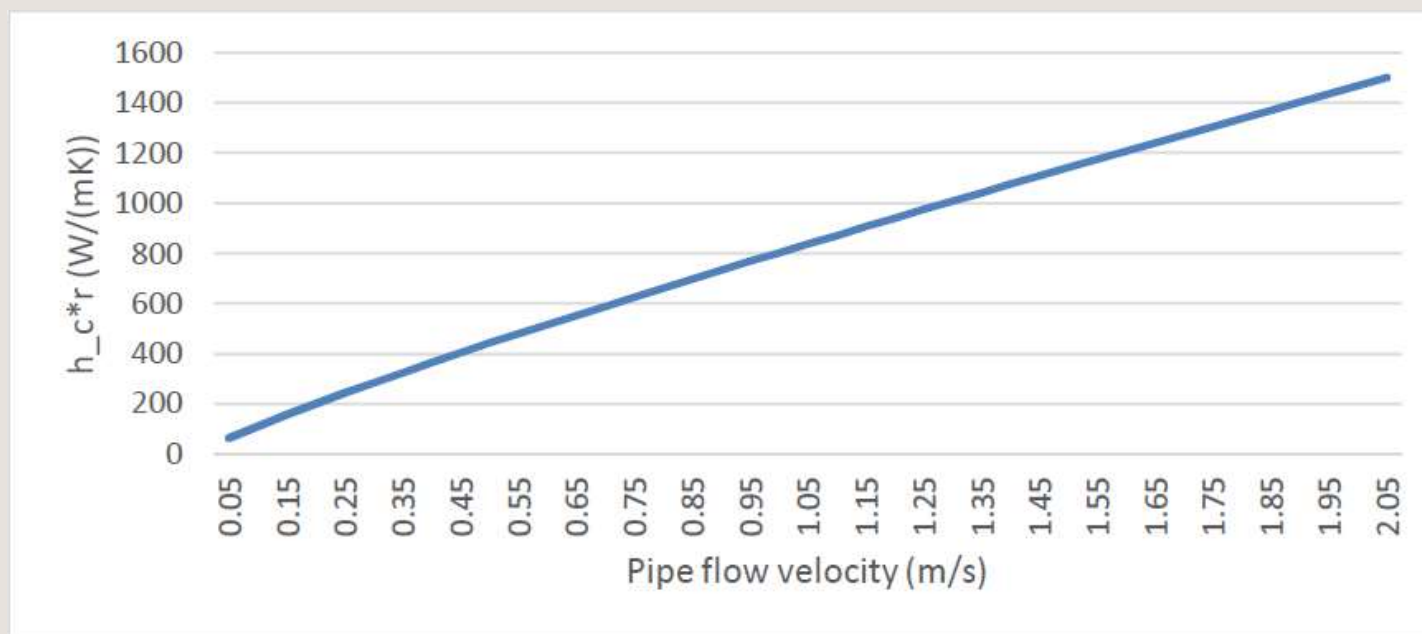
# CSA temperatūru optimizācija





# Hidraulika

# Siltumatdeve no caurules ar turbulentu plūsmu atkarībā no plūsmas ātruma



Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

# Pareiza hidraulika tīklos

- **Turpgaitas un atgaitas spiediens** starp turpgaitas un atgaitas maģistrālēm ir **virš noteiktā minimumam pie visiem ISM** (tas nozīmē – izpildmehānisma vārstam nav jābūt pilnībā atvērtam, lai nodrošinātu nepieciešamo siltumjaudu) **un zem maksimuma**, kas var būt bīstams vārstiem;
- Nevienā no tīkla punktiem **spiediens nenokrīt zem globālā minimuma** (gaisa infiltrēšanās risks sistēmā);
- Nevienā no tīkla punktiem **spiediens nepārsniedz globālo maksimumu** (bīstami cauruļvadu mehāniskajai izturībai).

Avots: Leško, M., & Bujalski, W. (2017). Modeling of District Heating Networks for the Purpose of Operational Optimization with Thermal Energy Storage, Archives of Thermodynamics, 38(4), 139-163. doi: <https://doi.org/10.1515/aoter-2017-0029>

# Pareiza hidraulika tīklos

- Jebkurā laikā momentā CSA darbībā, nepieciešamās siltumnesēja plūsmas pie ISM un tīkla konfigurācija nosaka optimālo cirkulācijas un sūkņu darbību (jauda un spiediens), lai nodrošinātu atbilstošu hidraulisko režīmu.
- **Optimālo hidraulisko režīmu plānu var atrast reāllaikā, jo nav būtiskas laika nobīdes.**
- Siltuma ģenerācijas plans un režīmi tiek iegūti, nemot vērā ka būs iespējams nodrošināt nepieciešamo siltumnesēju plūsmu pie visiem patērētājiem.
- **Praktiski hidraulika (sākumā) un pēc tam termodinamika..**

Avots: Leško, M., & Bujalski, W. (2017). Modeling of District Heating Networks for the Purpose of Operational Optimization with Thermal Energy Storage, Archives of Thermodynamics, 38(4), 139-163. doi: <https://doi.org/10.1515/aoter-2017-0029>



# Termodinamika

# Vienkāršots CSA termodinamiskais modelis (I)

Kur:

$T_{s,s}$  – turpgaitas temperatūra pie siltuma avota;

$\tau_s$  – laika nobīde starp  $T_{s,s}$  un  $T_{s,c}$ ;

$T_{s,c}$  – turpgaitas temperatūra pie patērētāja;

$T_{r,c}$  – atgaitas temperatūra pie patērētāja;

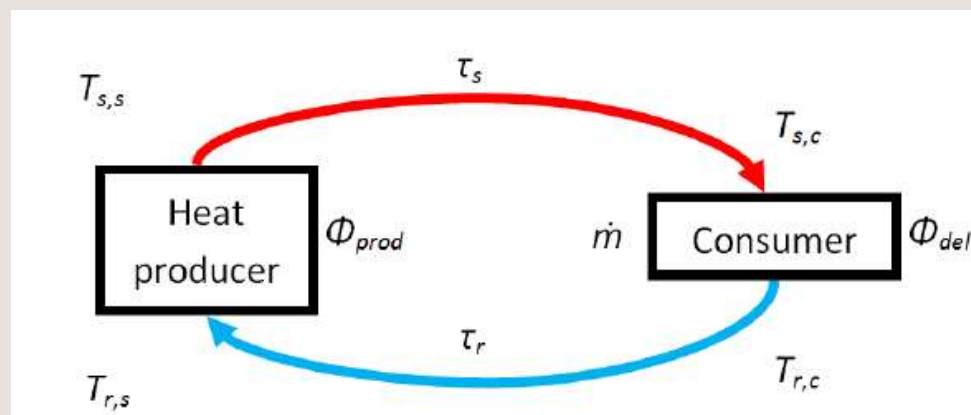
$T_{r,s}$  – atgaitas temperatūra pie siltuma avota;

$\tau_r$  – laika nobīde starp  $T_{r,c}$  un  $T_{r,s}$ ;

$\dot{m}$  - masas plūsma;

$\Phi_{prod}$  – siltuma avota siltuma jauda;

$\Phi_{del}$  – patērētāja siltuma slodze.



$\dot{m}$  ir atkarīga no  $\Phi_{del}$  un  $T_{s,c}$  un  $T_{r,c}$  starpības.

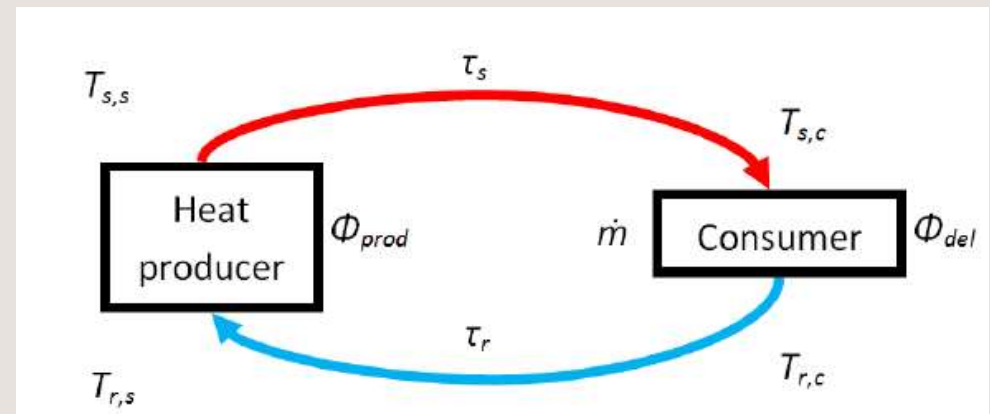
$\Phi_{prod}$  ir atkarīga no  $\dot{m}$  un  $T_{s,s}$  un  $T_{r,s}$ .

Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

# Vienkāršots CSA termodinamiskais modelis (I)

CSA tīklu topoloģija:

- Cauruļvadi (Dn20 ... 1200...)
- Sadalījums tīklu zonās/sekcijās, ko raksturo vienāds/līdzīgs:
  - cauruļu Dn;
  - ģeometrija;
  - raupjums;
  - siltumizolācija;
  - siltumnesēja masas caurplūde.
- Sīkāk tīklu zonas/sekcijas iedala dažādos punktos:
  - Individuālie siltummezgli;
  - Siltumpunkti;
  - Vārsti un noslēgarmatūra;
  - Siltumavoti;
  - Sūkņu stacijas;
  - Siltuma akumulācijas iekārtas;
  - U.c.



$\dot{m}$  ir atkarīga no  $\Phi_{del}$  un  $T_{s,c}$  un  $T_{r,c}$  starpības.  
 $\Phi_{prod}$  ir atkarīga no  $\dot{m}$  un  $T_{s,s}$  un  $T_{r,s}$ .

Avots: L. LAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.



# Vienkāršots CSA termodinamiskais modelis (II)

$\Phi_{\text{prod}}$  – mainīgs, jo  $\Phi_{\text{del}}$  nav konstants.

$$\Phi_{\text{prod}} = \dot{m} c_p (T_{\text{turpg.}} - T_{\text{atg.}})$$

$\dot{m}$  – hidraulikas iespējas un ierobežojumi.

$T_{\text{turpgaita}}$  – Jāsabalnsē ar siltumavota darbības specifiku.

$T_{\text{atgaita}}$  - jo zemāka, jo labāk – zemāka plūsma, mazāki siltuma zudumi, ietekmē koģenerācijas efektivitāti.

$c_p$  ir mainīgs (ietekmē temperatūra un spiediens):

- 4.18 kJ/kgK @35 °C & 2 bar;
- 4.24 kJ/kgK @120 °C & 10 bar.

# Vienkāršots CSA termodinamiskais modelis (III)

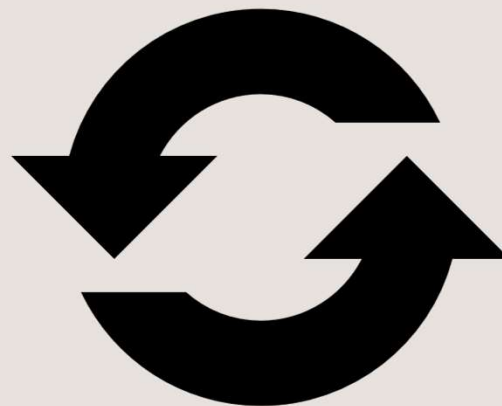
Turpgaitas temperatūra (°C)	Atgaitas temperatūra (°C)	Nepieciešamā plūsma (litri/kW)	Turpgaitas temperatūra (°C)	Atgaitas temperatūra (°C)	Nepieciešamā plūsma (litri/kW)	Turpgaitas temperatūra (°C)	Atgaitas temperatūra (°C)	Nepieciešamā plūsma (litri/kW)
90	60	28.7	90	40	17.2	90	30	14.4
100	60	21.5	100	40	14.3	100	30	12.3
112	60	16.4	112	40	11.8	112	30	10.4
120	60	14.3	120	40	10.7	120	30	9.5
133	60	11.8	133	40	9.3	133	30	8.4
150	60	9.6	150	40	7.9	150	30	7.2
180	60	7.2	180	40	6.2	180	30	5.8

**Stacionārs režīms, konstanti un standarta apstākļi.**

Avots: [https://www.engineeringtoolbox.com/district-heating-temperature-capacity-d\\_1810.html](https://www.engineeringtoolbox.com/district-heating-temperature-capacity-d_1810.html)

# Ja esošā CSA infrastruktūra un patēriņa profils ir nemainīgs

- Ja samazina tīklu turpgaitas temperatūru, obligāti ir jāpanāk atgaitas temperatūras pazemināšanos, lai nepieaugtu plūsmas ātrums.



# Siltuma zudumi no cauruļvadiem

$$Q_{\text{zud.}} = \sum L_i q_i (t_{\text{c.}} - t_{\text{vide}}) \tau$$

kur:

$L_i$  – cauruļvada garums [m];

$q_i$  – caurules siltumvadītspējas koeficients [W/(mK)];

$t_{\text{c.}}$  – caurules vidējā temperatūra [°C];

$t_{\text{vide}}$  – apkārtējās vides temperatūra [°C];

$\tau$  – aprēķinu periods h.



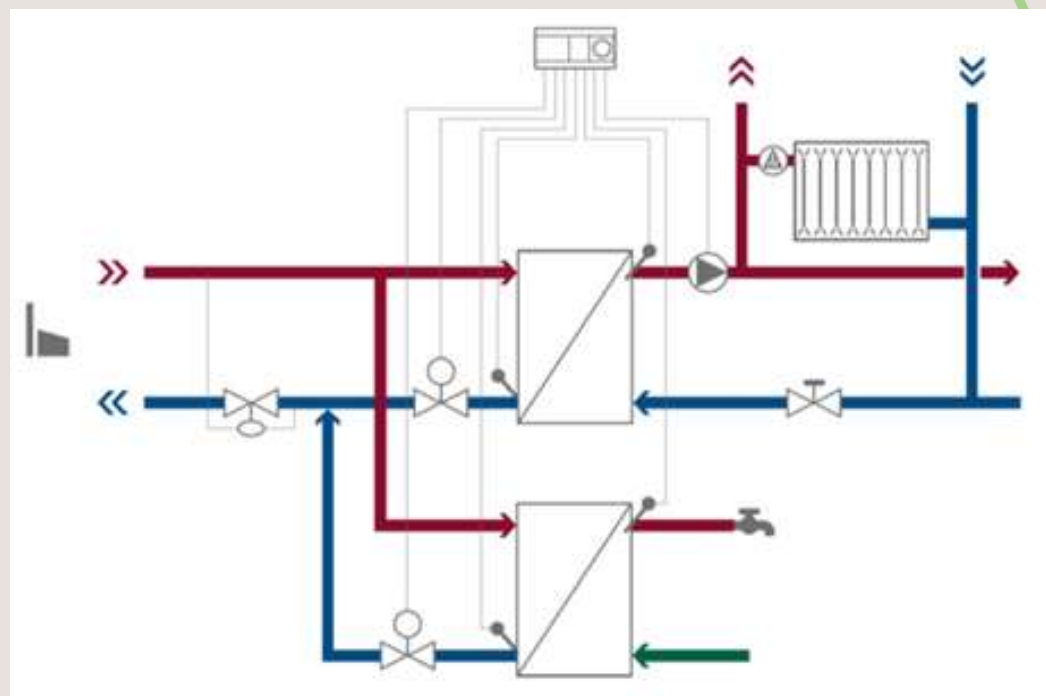
# Patērētājs



# Tipisks patērētāja pieslēgums CSA

Neatkarīgs individuālais siltummezgls:

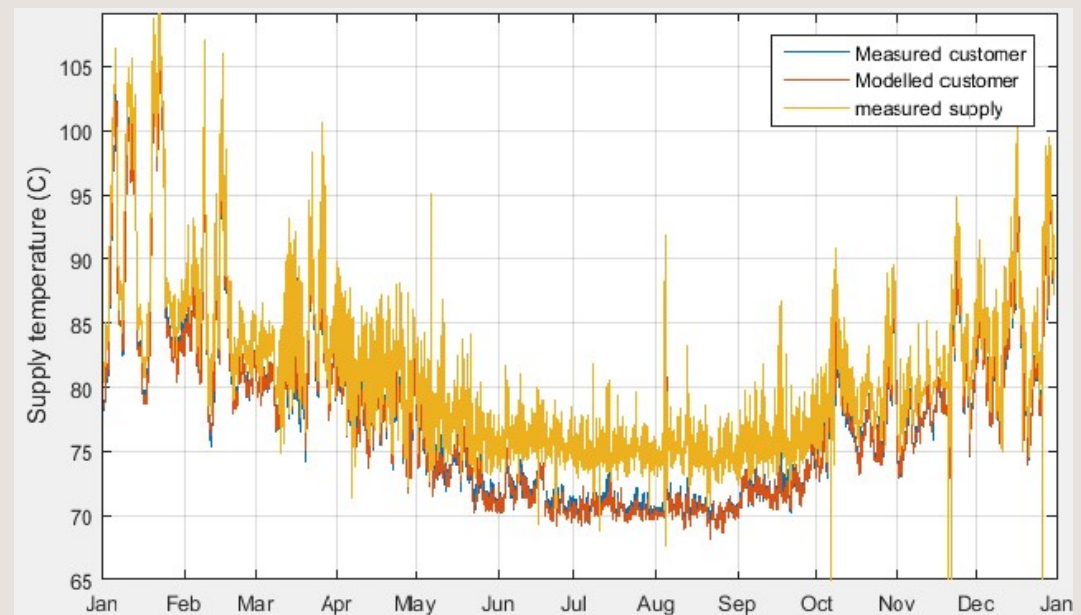
- Lielākā siltumslodze ir apkures sezonā;
- No ārgaisa neatkarīgi, CSA turpgaitas temperatūra un siltumslodze karstajam ūdenim (KŪ) jānodrošina 24/7 visu gadu;
- **Kas ietekmē atgaitas temperatūru apkures un KŪ kontūrā patērētāja pusē?**



Avots: <https://www.slideshare.net/siltinam/apkures-automtika-siltummezgl>

# Patēriņa profils – cik daudz, ko un kad?

- Apkure;
- Karstais ūdens;
- Ventilācija;
- Dzesēšana;
- Ražošanas procesi;
- U.c.



Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

# Patērētāja apkures sistēmas specifika

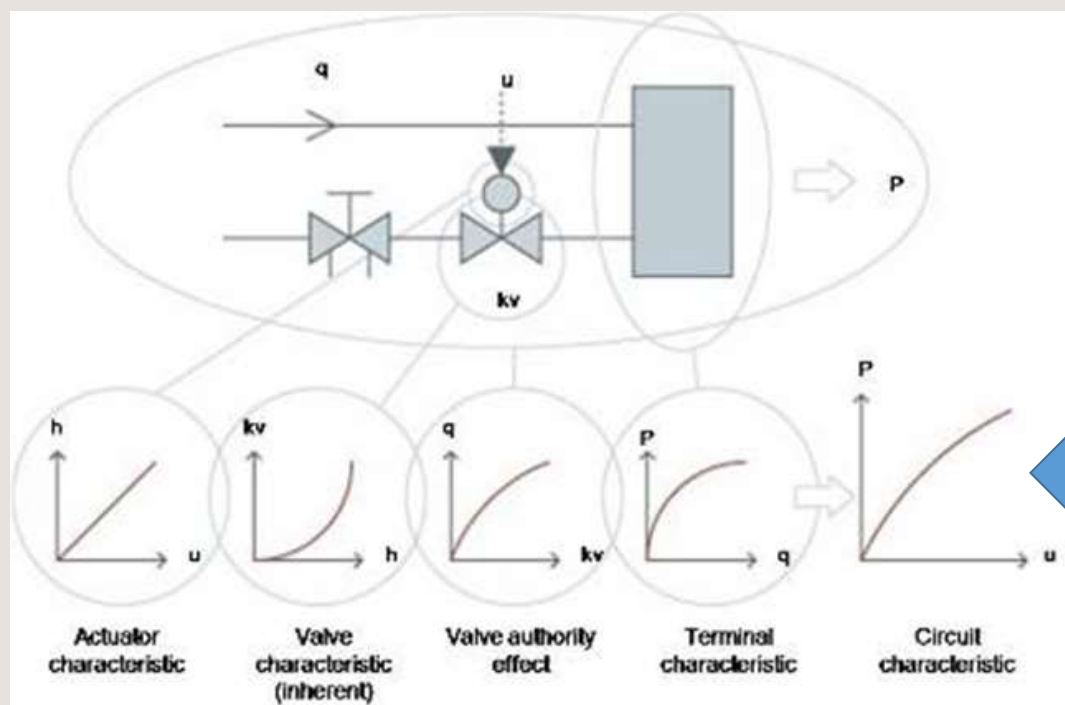
- Kā nodrošināt zemāku atgaitas temperatūru **patērētāja** pusē, nodrošinot noteiktu iekštelpu komfortu?
- Patērētāja energoefektivitātes paaugstināšana?
- Lielākas virsmas sildķermeņi?
- Nobalansēta siltumnesēja plūsma patērētāja pusē?
- Labāka gala lietotāja energopārvaldība?
- Vai tā ir CSA operatora atbildība?



# ISM darbība

Dažādi elementi:

- Izpildmehānisms;
- Vārsts;
- Siltummainis.



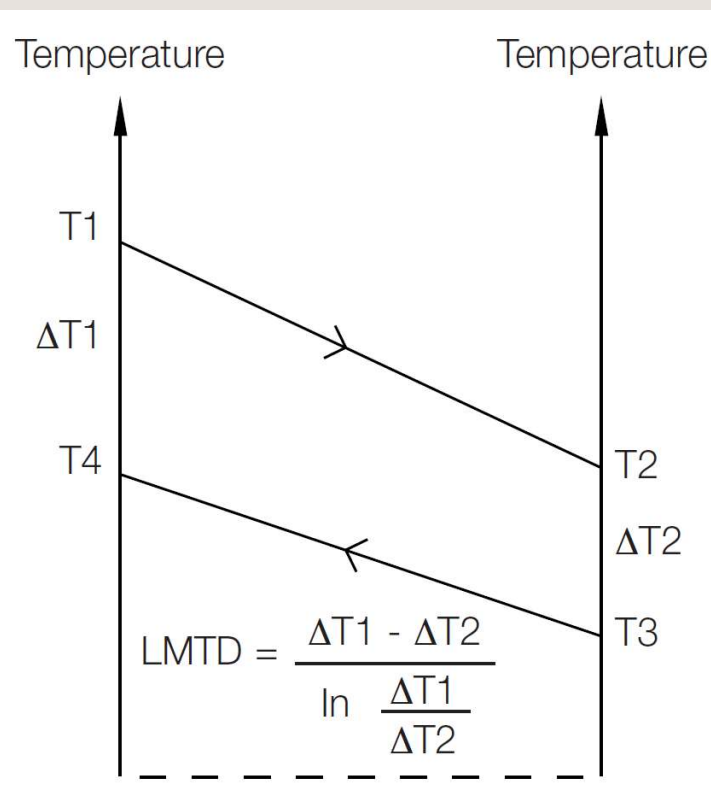
Jāticās, lai līkne  $P(u)$  būtu lineāra.

<http://www2.imi-hydronic.com/lv/zinas-rki/tehniskie-raksti/aplikcija/mazu-pateretaju-vienibu-balansesana-un-regulesana/>

# ISM esošie siltummaiņi (SM) – 1

Ietekmējošie parametri:

- SM logaritmiskā vidējā temperatūru starpība (LMTD);
- SM termiskais garums ( $\Theta$ ) – apraksta, cik labi SM notiek siltumapmaiņa.

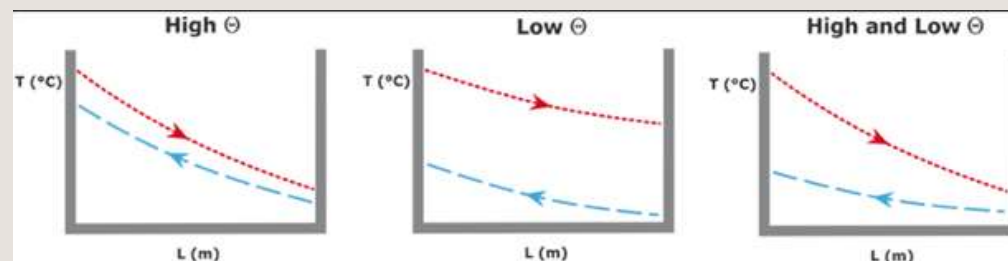


[https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/alfa\\_laval\\_heating\\_and\\_cooling\\_hub\\_the\\_theory\\_behind\\_heat\\_transfer.pdf](https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/alfa_laval_heating_and_cooling_hub_the_theory_behind_heat_transfer.pdf)

# ISM esošie siltummaiņi (SM) – 2

- SM termiskais garums ( $\Theta$ ) – apraksta, cik labi SM notiek siltumapmaiņa.

$$\Theta = \frac{\delta t}{LMTD} = \frac{k \cdot A}{m \cdot c_p}$$



<https://www.swep.net/refrigerant-handbook/1.-basic-heat-transfer/as1/>

kur:  $\delta t$  – temperatūras starpība vienā SM pusē, [°C];

$k$  – siltumpārejas koeficients, [W/(mK)];

$A$  – SM siltumpārejas virsmas laukums, [m<sup>2</sup>];

$m$  – masas plūsmas ātrums, [kg/s];

$c_p$  – siltumnesēja īpatnējā siltmietilpība, [kJ/(kgK)]

# ISM esošie siltummaiņi (SM) – 3

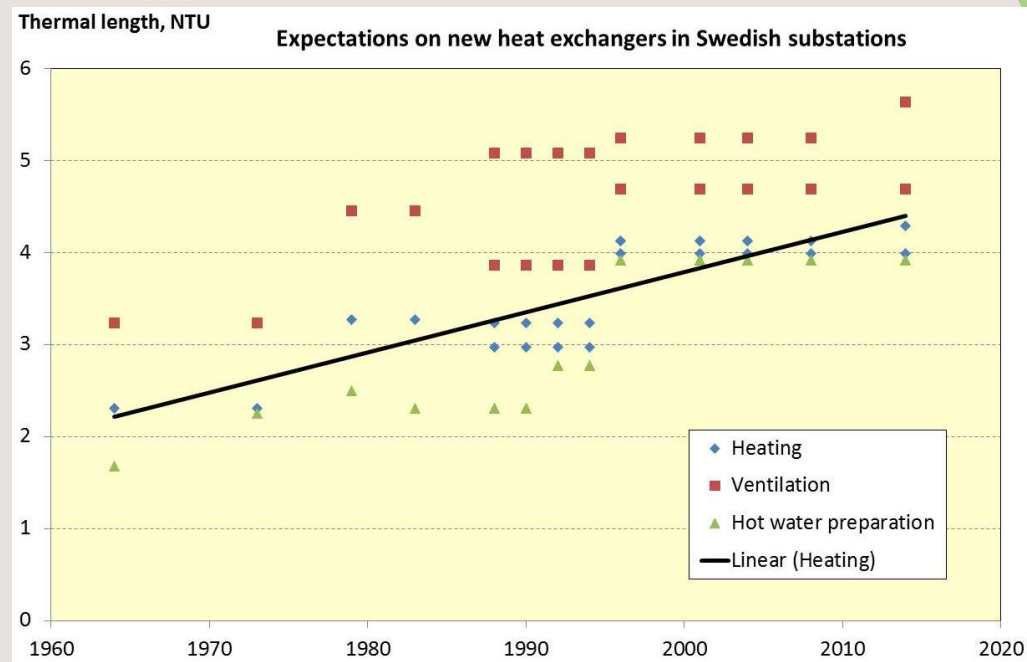
- SM termiskais garums ( $\Theta$ ) – īpaši būtiski karstā ūdens sagatavošanai.

## Lystrup, Dānija:

4. paaudzes CSA:

- karstā ūdens t° režīms: 50-20/14-47 °C;
- SM termiskais garums 7,6.

Nākotnē: līdz pat 8 NTU (*Number of Thermal Units*)



# Apkure

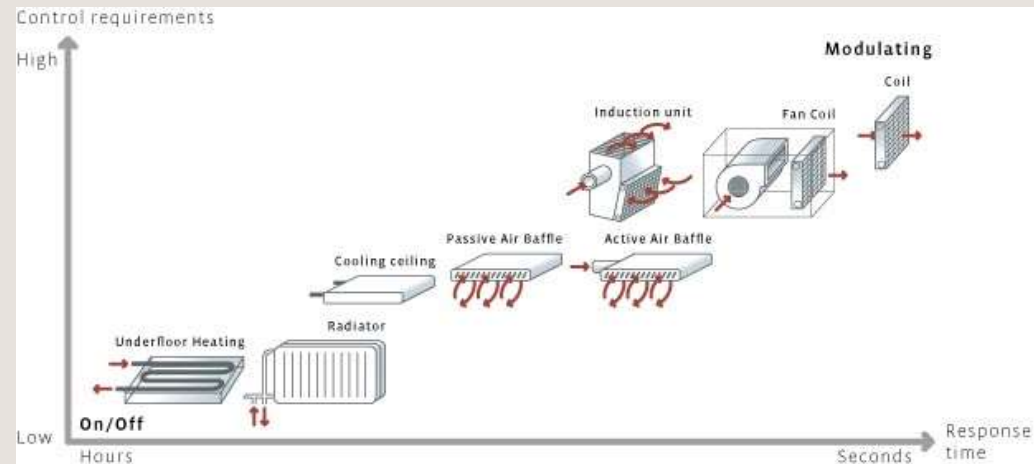
1. **Pārlicība**, ka ēkas ārējās norobežojošās konstrukcijas atbilst vismaz LBN 002-15 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika".

**Nodrošināt** optimālu siltumatdevi no sildķermeņiem:

- Termostātiskie vārsti un atbilstoša diferenciālā spiediena nodrošināšana;
- 1-cauruļu sistēmām: apvads, atpakaļplūsmas ierobežošana utt.

**Nobalansēta** siltumnesēja plūsma:

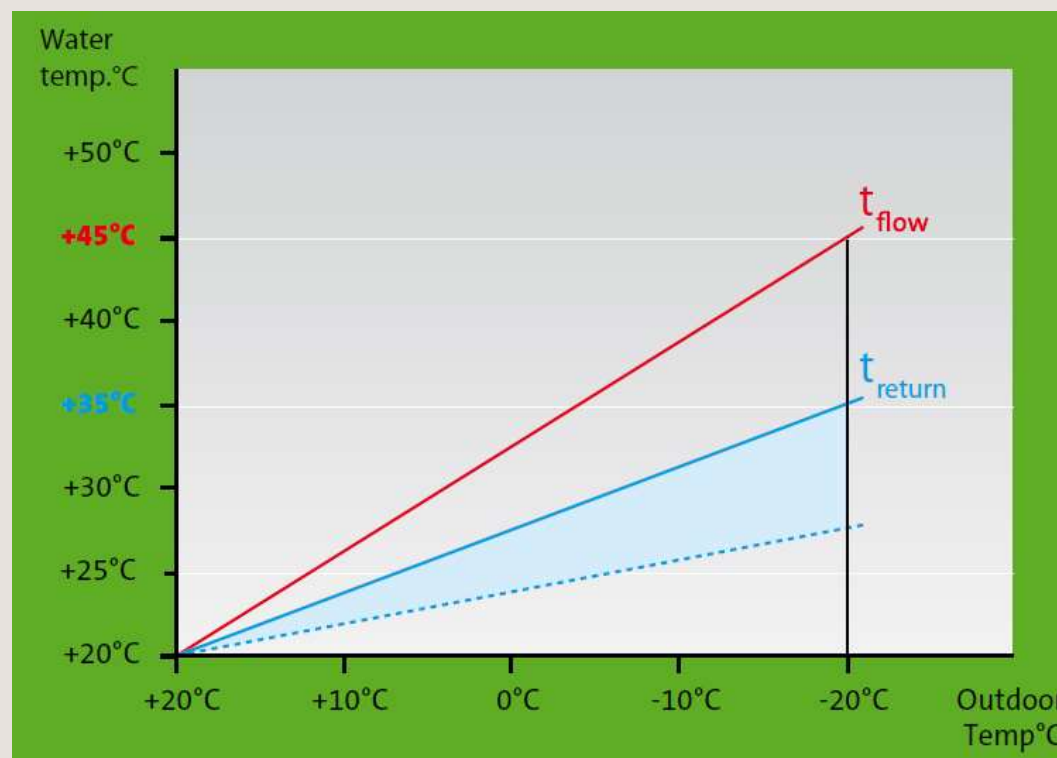
- Mainīga siltumnesēja plūsma, atbilstoši faktiskajai siltumslodzei;
- Automātiskā stāvvalu balansēšana (temperatūra + spiediena starpība).



<http://www2.imi-hydronic.com/lv/zinas-rki/tehniskie-raksti/aplikcija/mazu-pateretaju-vienibu-balansesana-un-regulesana/>

# Radiator ar/bez termostatisko vārstu

- Termostatiskā funkcija, ietekmē caurplūdi;
- Termostatisks vārsts ļauj pazemināt atgaitas temperatūru no radiatora;



# Karstais ūdens (I)

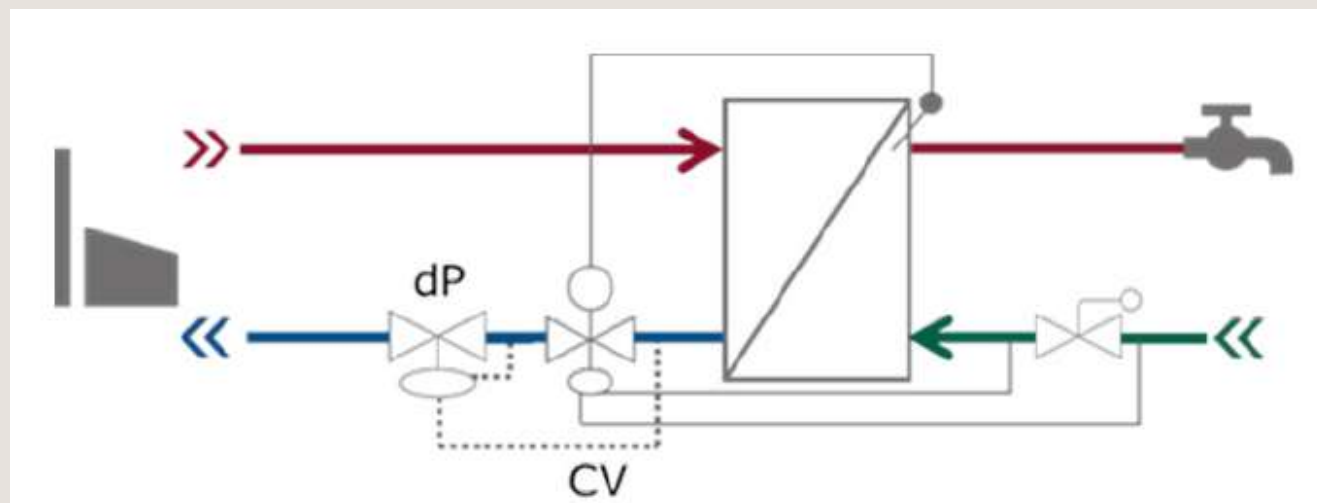
LBN 221-15 "Ēku iekšējais ūdensvads un kanalizācija":  
jaunbūvējamām vai rekonstruējamām ēkām:

- **55 – 70 °C** izdales vietā;
- Kā to savietot ar 4. paaudzes CSA?

# Karstais ūdens (I)

Esošais risinājums:

- Jānodrošina augsta turpgaitas temperatūra CSA pusē;
- KŪ patēriņš var nebūt patstāvīgs (diennakts/nedēļas griezumā).



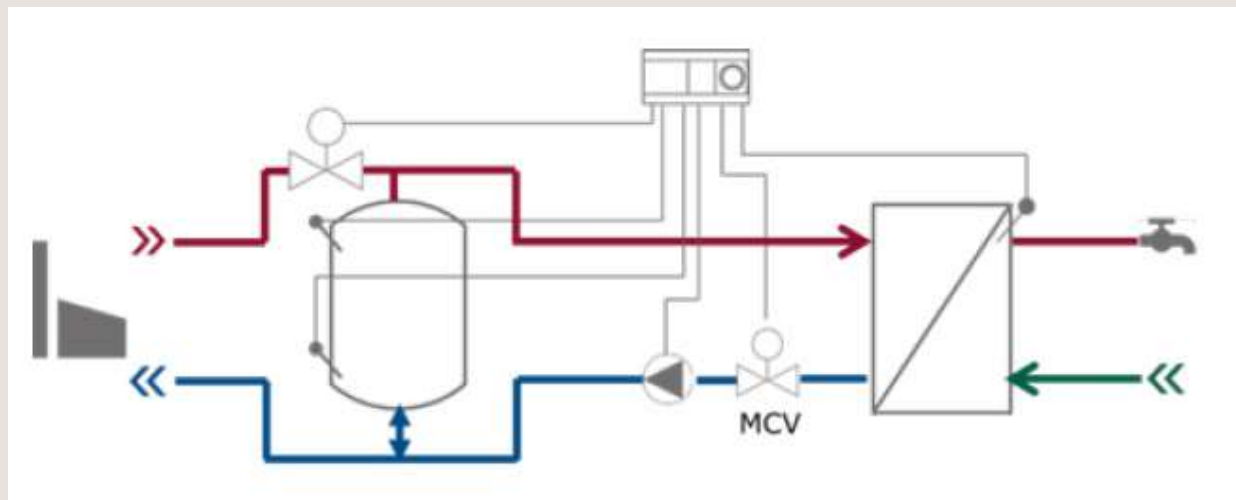
Avots: Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., Nord, N., & Sipilä, K. (2017). Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. Energy Procedia, 116, 26-38. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.052



# Karstais ūdens (II)

Siltuma akumulācija pirms patērētāja:

- Var samazināt CSA pieslēguma jaudu (cauruļu Dn un caurplūde).

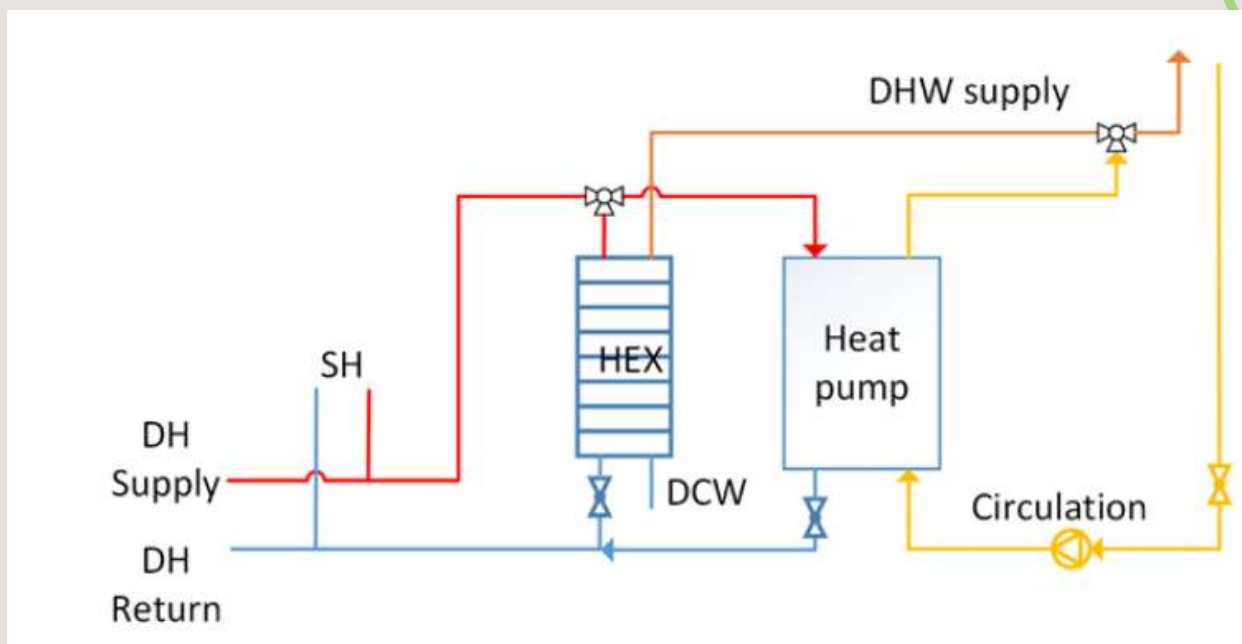


Avots: Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., Nord, N., & Sipilä, K. (2017). Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. Energy Procedia, 116, 26-38. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.052

# Karstais ūdens (III)

Ja zemas temperatūras CSA (vai arī ārpus apkures sezonas):

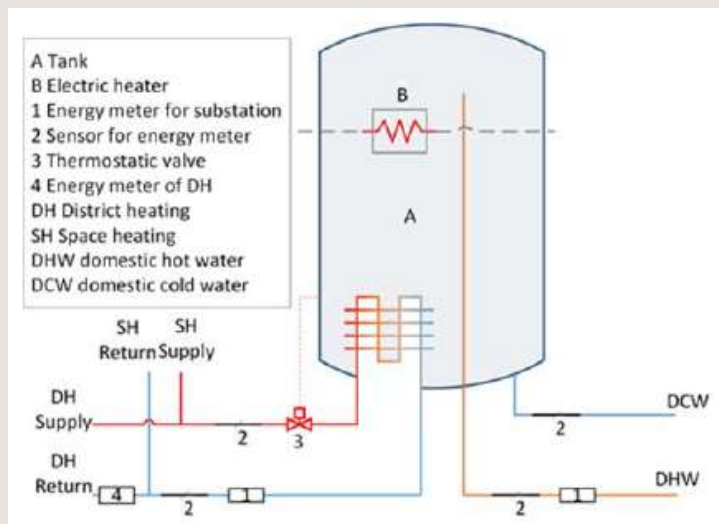
- Paaugstina temperatūru, lai ir atbilstoši normatīviem;
- Integrē patērētāja pusē ūdens/ūdens siltumsūkni vai kādu citu risinājumu.



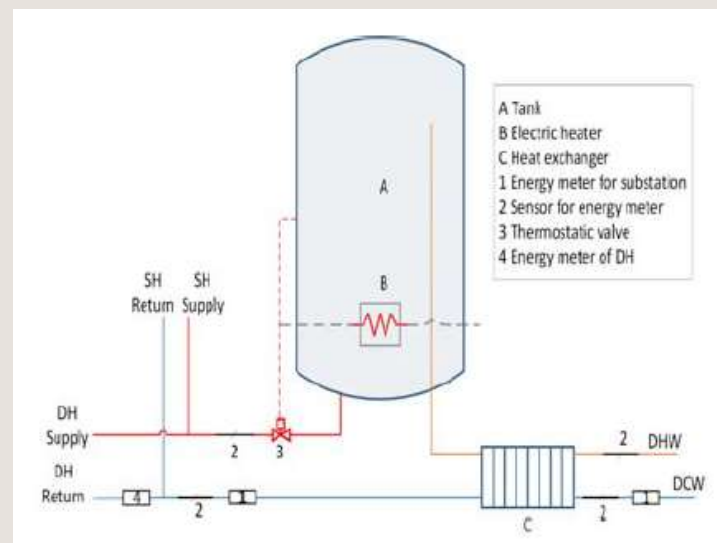
Avots: Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., Nord, N., & Sipilä, K. (2017). Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. Energy Procedia, 116, 26-38. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.052

# Karstais ūdens (IV)

## Akumulācijas tvertne bez siltummaiņa



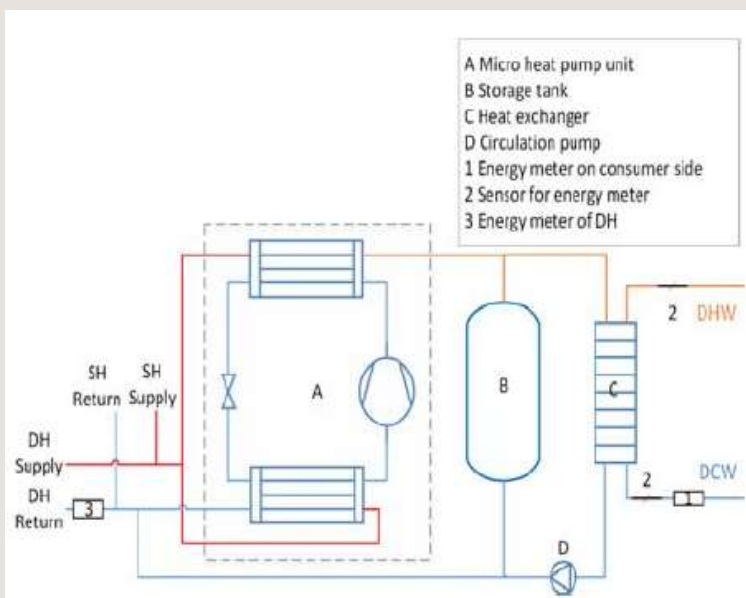
## Akumulācijas tvertne ar siltummaiņi



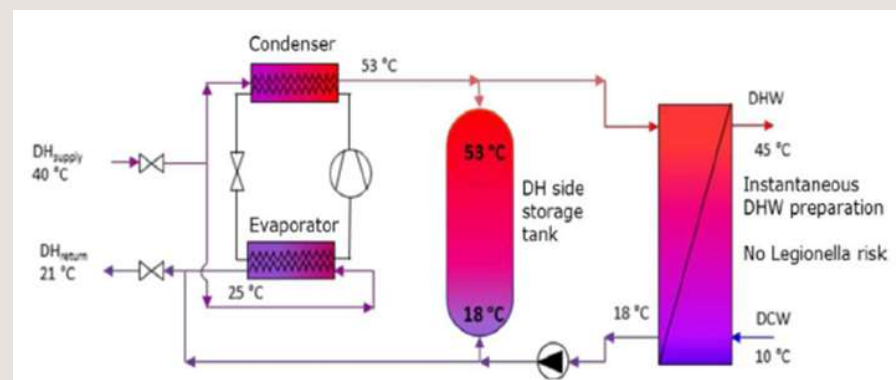
Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.

# Karstais ūdens (V)

## Akumulācijas tvertne un mazas jaudas siltumsūknis



## Iespējamās temperatūras



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

Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.

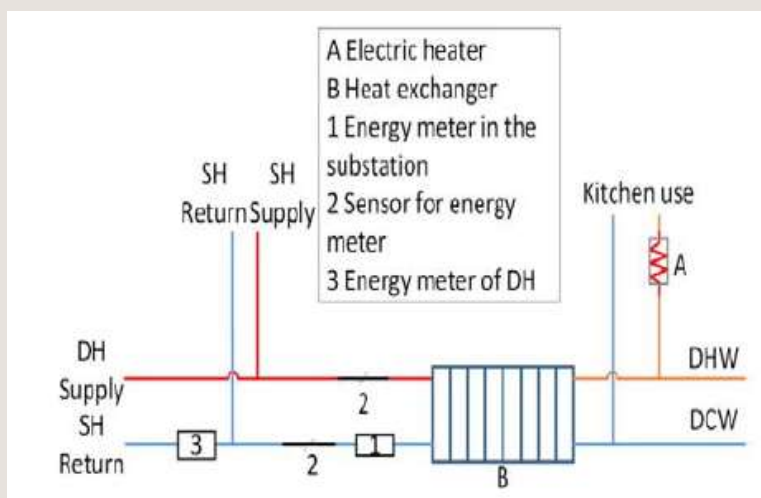
14.11.2018

RTU EEF Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

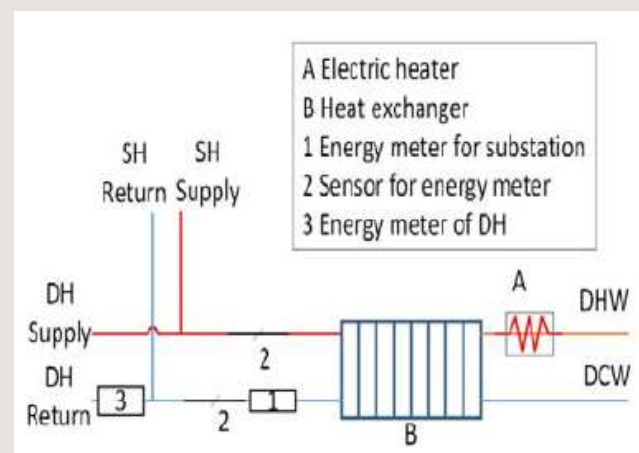
36

# Karstais ūdens (VI)

Elektriskais sildītājs tikai virtuvei

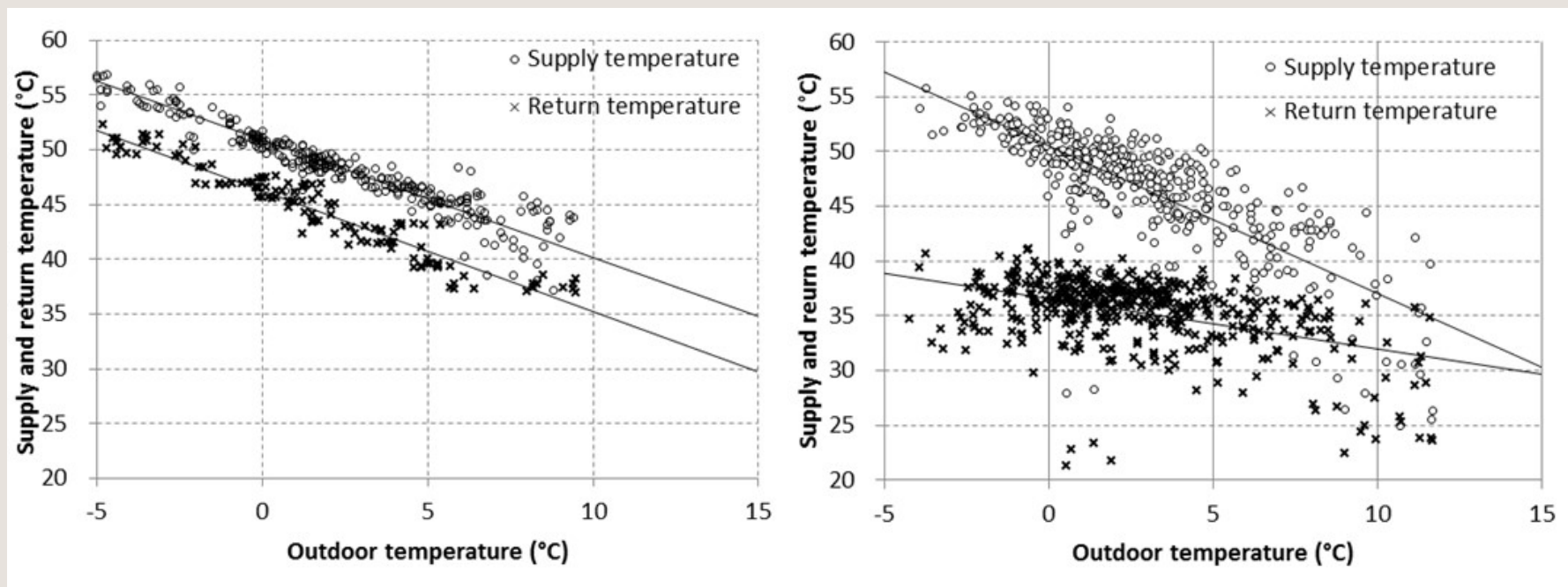


Elektriskais sildītājs gan virtuvei,  
gan sanitārajam mezglam.



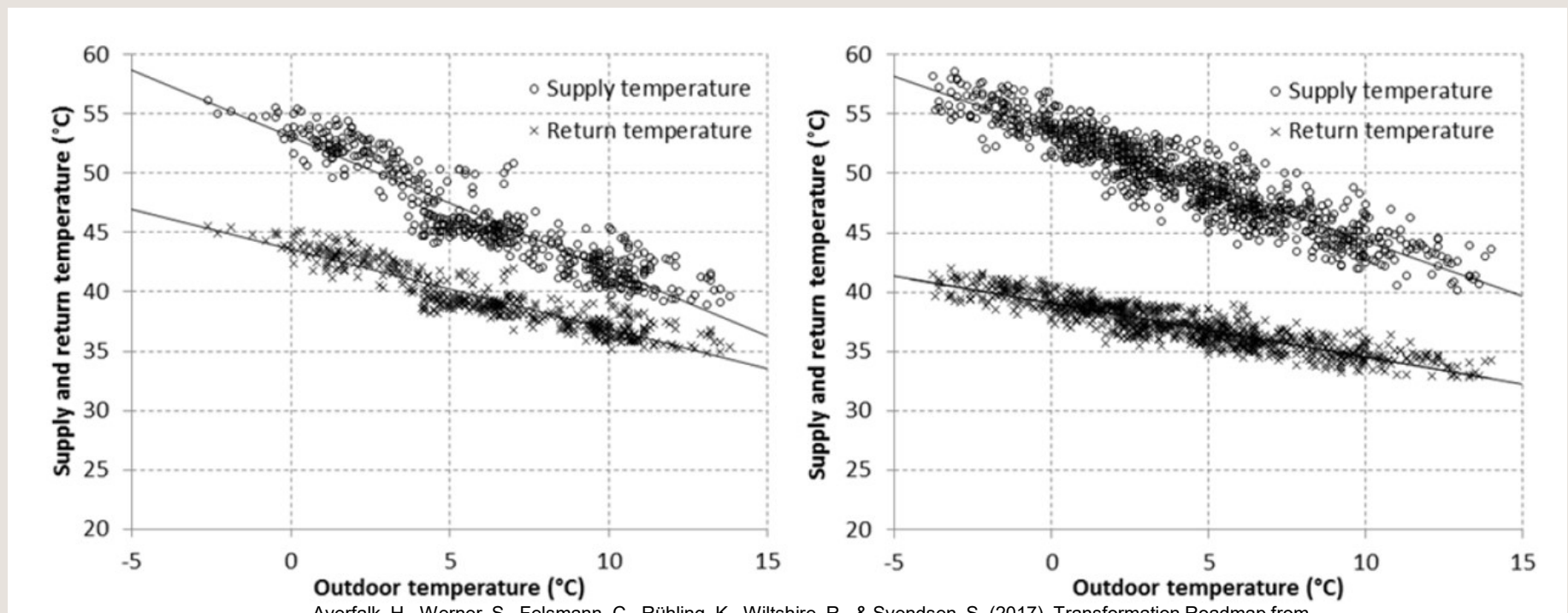
Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.

# Ēka pirms un pēc “siltināšanas” – bez apkures sistēmas balansēšanas



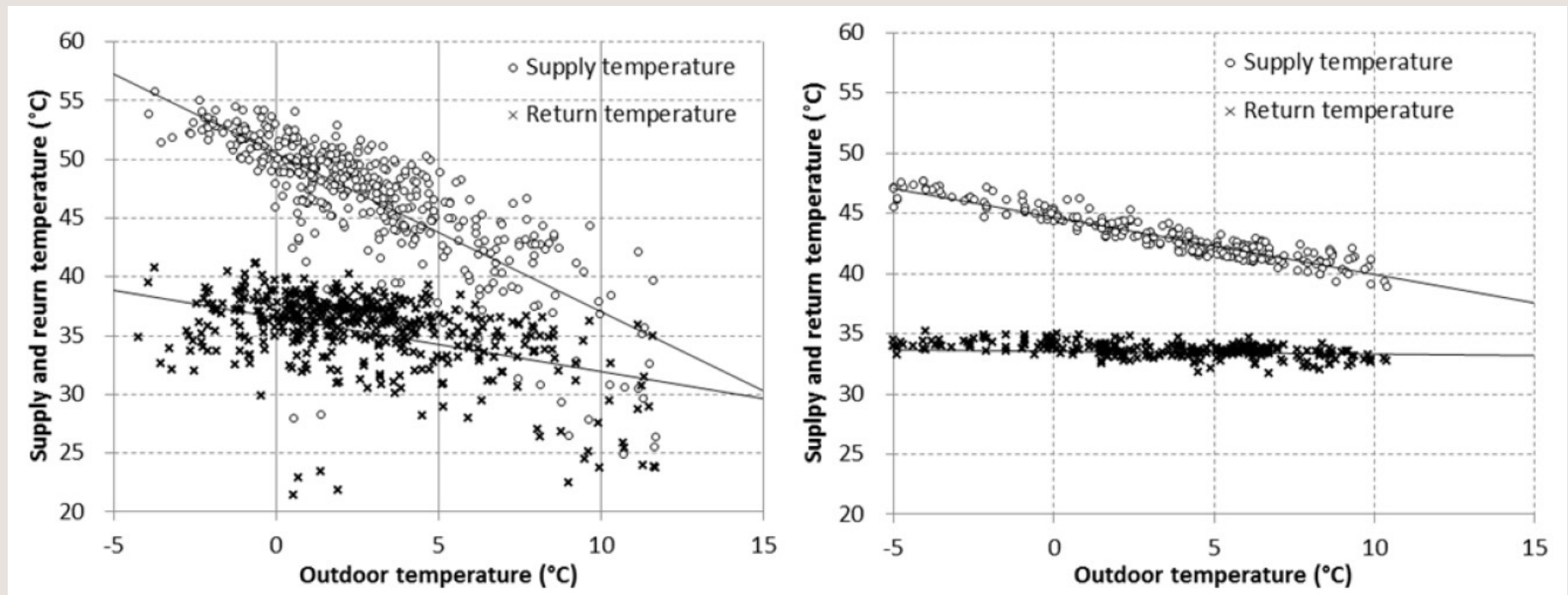
Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.

# Ēka ar un bez apkures balansēšana.



Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.

# “Siltināta” ēka ar un bez apkures sistēmas balansēšanas

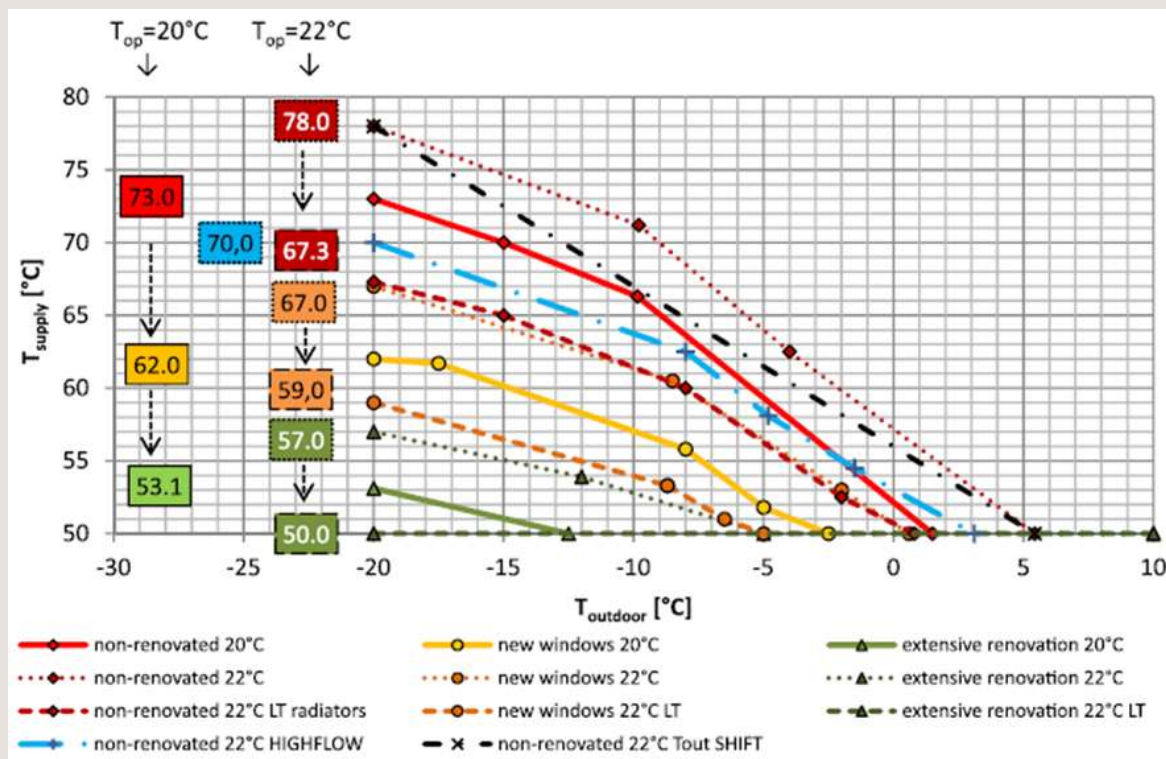


Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.



# Ēkas apkures sistēmas temperatūras līknes

Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.





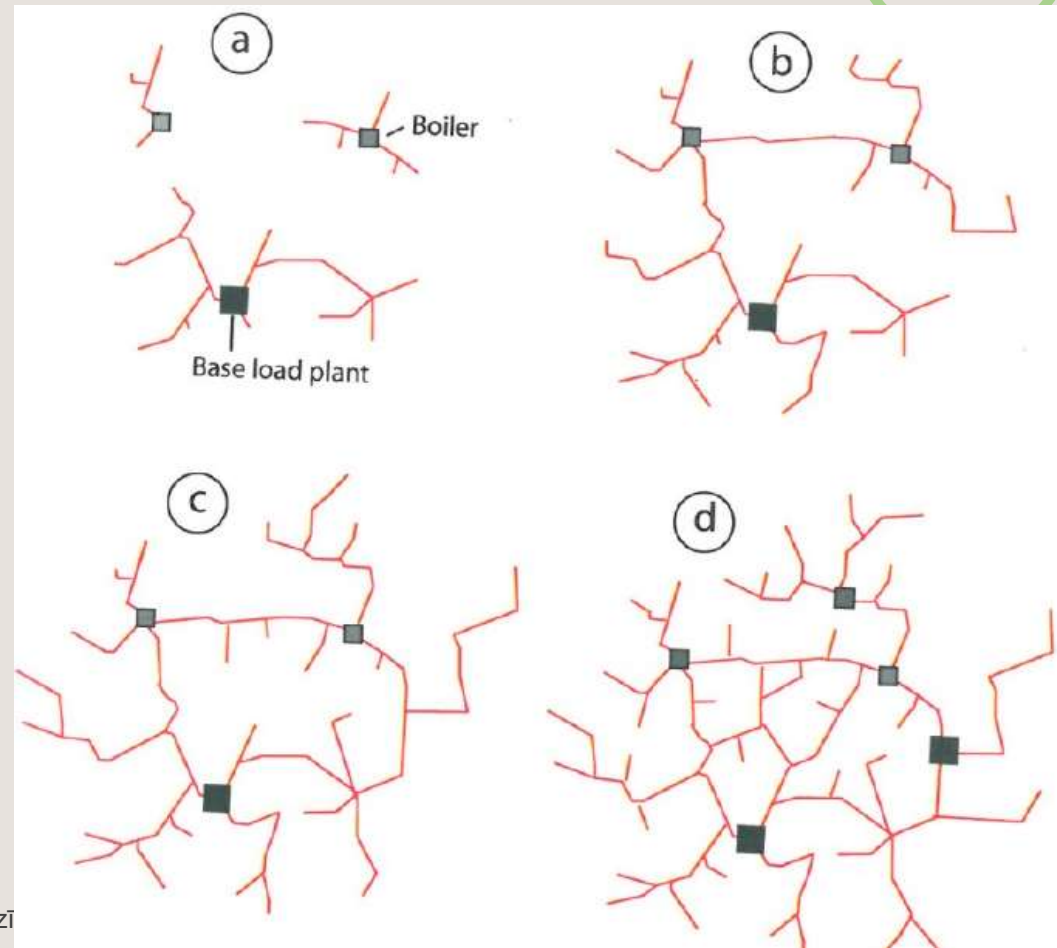
Ģenerācija

Pārvade &  
sadale

Siltumpunkti un  
siltummezgli

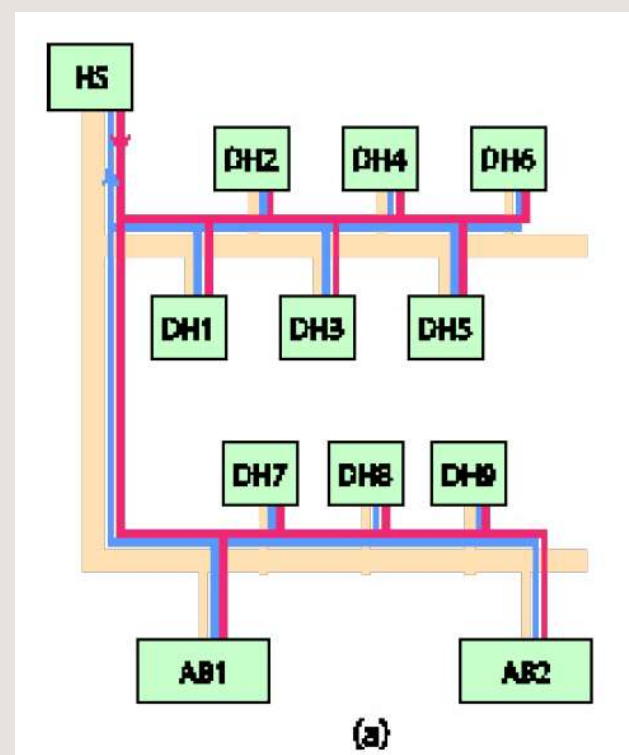
# CSA attīstības variant urbanizācijas apstākļos

- (a) Izkliedēti;
- (b) Izkliedēti ar atzariem;
- (c) Gredzenveida/Apļveida;
- (d) Jaukta konfigurācija.



# Tradicionālais CSA tīkls

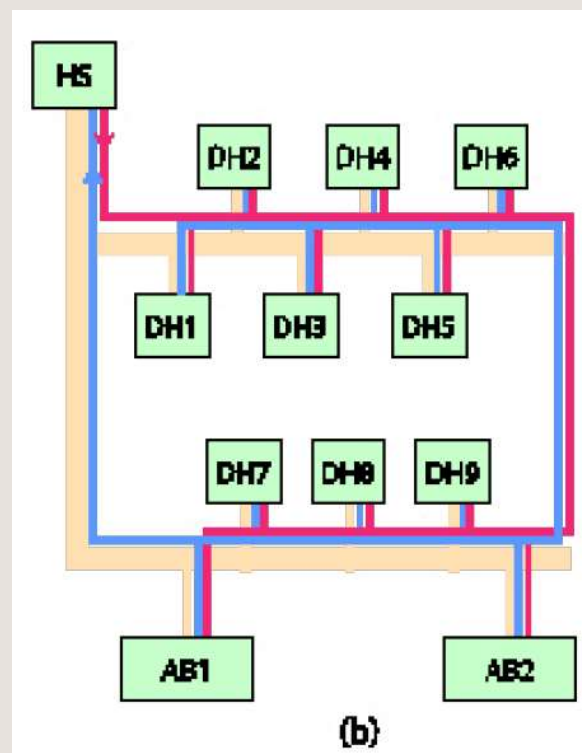
- Dažāds cauruļu garums;
- Patērētājiem, kas ir tuvāk siltuma avotam ir lielāks diferenciālais spiediens:
  - Jābalansē tīkls (jāregulē vārsti), lai vienāda plūsma visiem patērētājiem.



M. Vesterlund, A. Toffolo. Design Optimization of a District Heating Network Expansion, a Case Study for the Town of Kiruna, 2017.

# Gredzenveida CSA tīkls

- iespējams, tikai tad, ja visur ir neatkarīgais pieslēgums;
- Izlīdzināts diferenciālais spiediens;
- Labāk nobalansēta sistēma;
- Vienmērīgāka CSA tīkla darbība (nav vairākas zonas utt.).



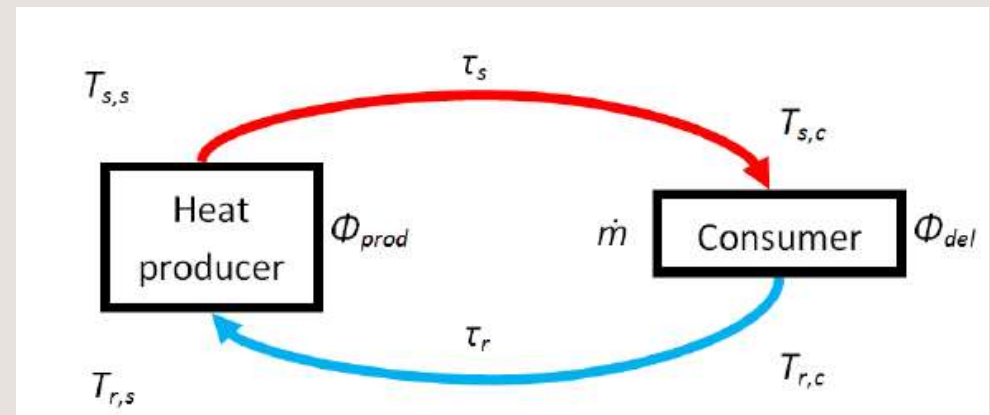
M. Vesterlund, A. Toffolo. Design Optimization of a District Heating Network Expansion, a Case Study for the Town of Kiruna, 2017.

# CSA tīklu un temperatūras dinamika

Jo lielāka CSA sistēma, jo lielāka nobīde starp:

- $T_{s,s}$  un  $T_{s,c}$
- $T_{r,c}$  un  $T_{r,s}$

To ietekmē arī patērētāja siltuma slodze, turpgaitas temperatūra un attālums.



Lai risinātu CSA sistēmas turpgaitas temperatūras optimizācijas uzdevumus, nepieciešams precīzi prognozēt:

1. Atgaitas temperatūru;
2. Siltumnesēja masas plūsmu;
3. Siltuma slodzi.

# CSA turpgaitas un atgaitas vadības stratēģijas

- Relatīvi augsts temperatūras režīms, atkarībā no sezonas;
- Temperatūras režīms atkarībā no ārgaisa temperatūras;

*Nav nepieciešams prognozēt patērētāja siltumslodzi. Vajag rezerves siltuma jaudu, lai vajadzības gadījumā nosegtu lielāku siltuma slodzi.*

*Turpgaitas temperatūrai jābūt ar rezervi, attiecīgi sūkņu jaudai jābūt pietiekošai negaidītu siltumslodzes pīķu nosešanai.*

- Temperatūras režīms, kas izmanto tīklu spēju akumulēt enerģiju;

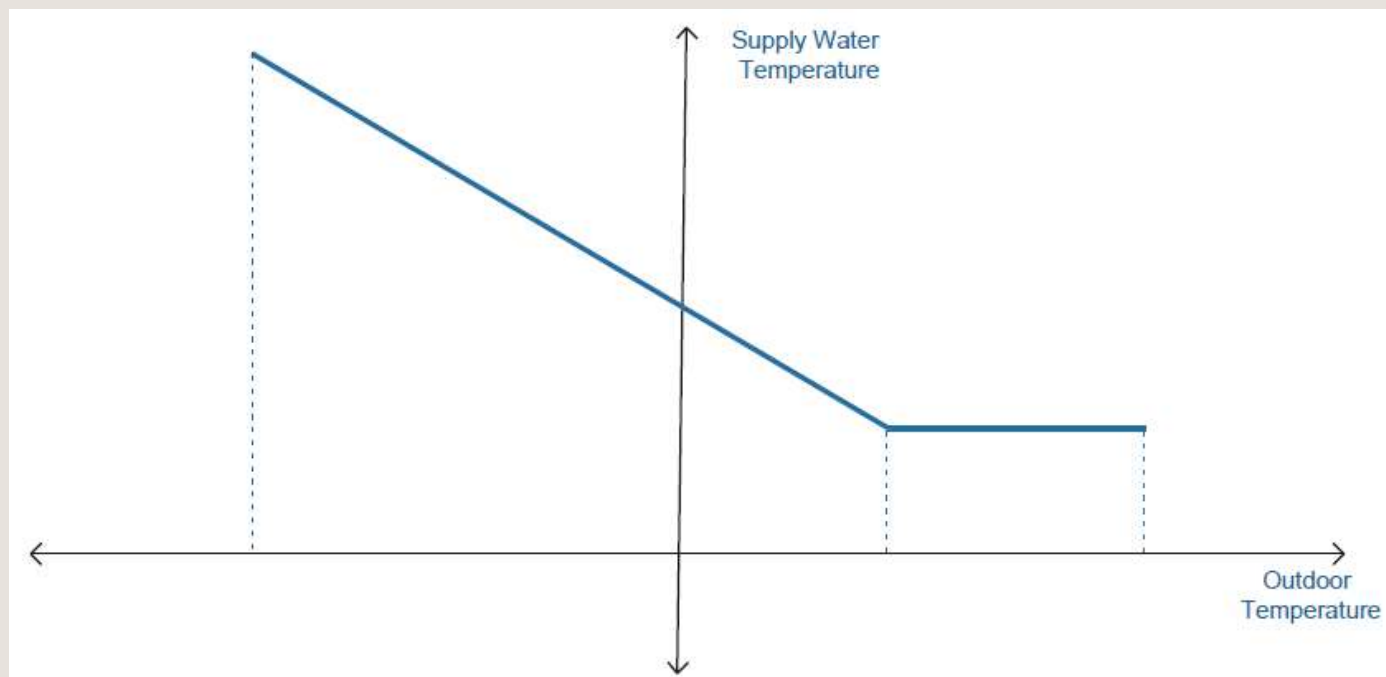
**Jāspēj prognozēt pīķa siltumslodzes, ņemot vērā laikapstākļus un siltuma piegādes nobīdes laikā.**

- Temperatūru optimizācija.

*Kombinē prognozēšanu un optimizēšanas algoritmus, lai precīzi noteiktu temperatūras režīmus.*

# Tradicionālā CSA kontroles stratēģija

- Diferenciālais spiediens dažādos tīkla posmos tiek kontrolēts mainot cirkulācijas sūkņu jaudu;
- Turpgaitas temperatūra ir funkcija no āra gaisa temperatūras un tiek mērīta dažādos tīklu posmos;
- Turpgaitas temperatūra tiek nodrošināta mainot siltuma avota jaudu.

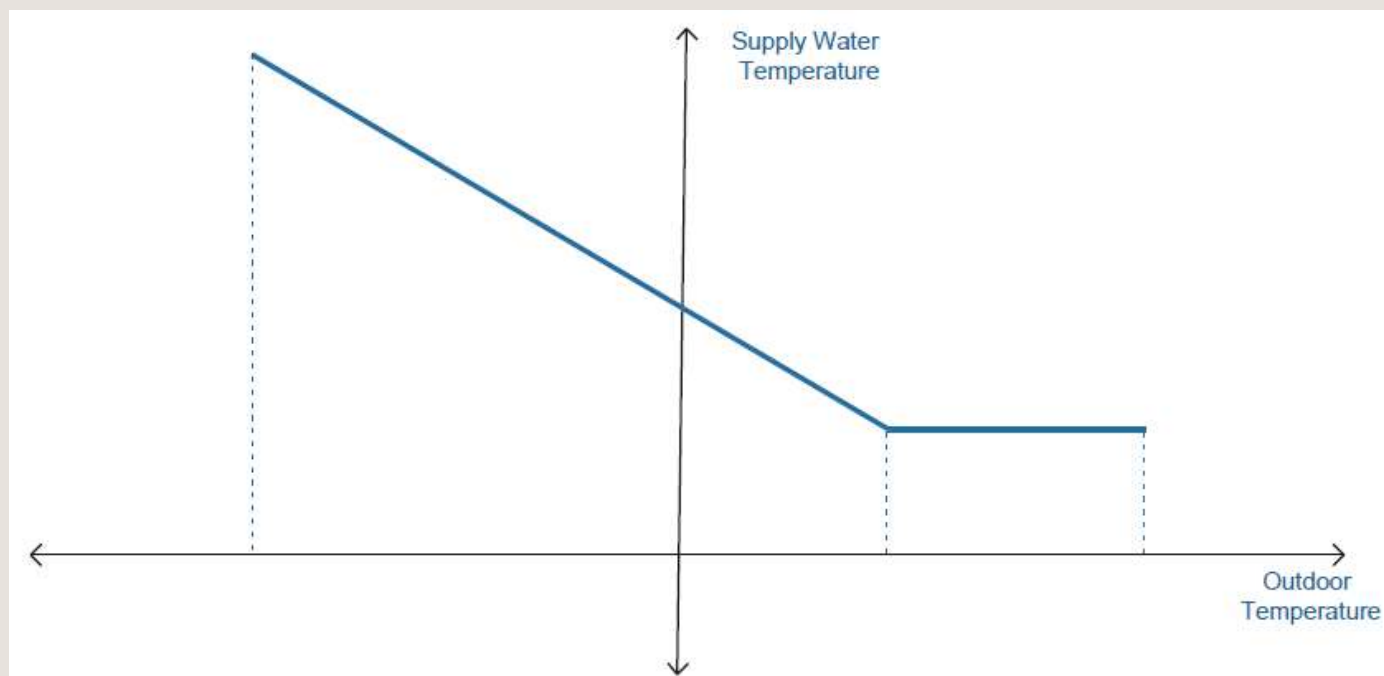


Khalid Tourkey Atta & Wolfgang Birk. Utilizing generic consumer modeling in planning and optimization of district heating and cooling systems. Luleå University of Technology - Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering - Division of Signals and Systems.



# Tradicionālā CSA kontroles stratēģija

- Nemot vērā tīklu inerci un siltuma transportēšanas procesu, patērētājs var atsevišķos brīžos nesaņemt visu nepieciešamo siltumu;
- Turpgaitas temperatūra jāuztur mazliet augstāka, lai nosegtu straujākas āra gaisa temperatūras izmaiņas;
- Esošā siltuma izstrāde balstās tikai uz šībrīža temperatūru.

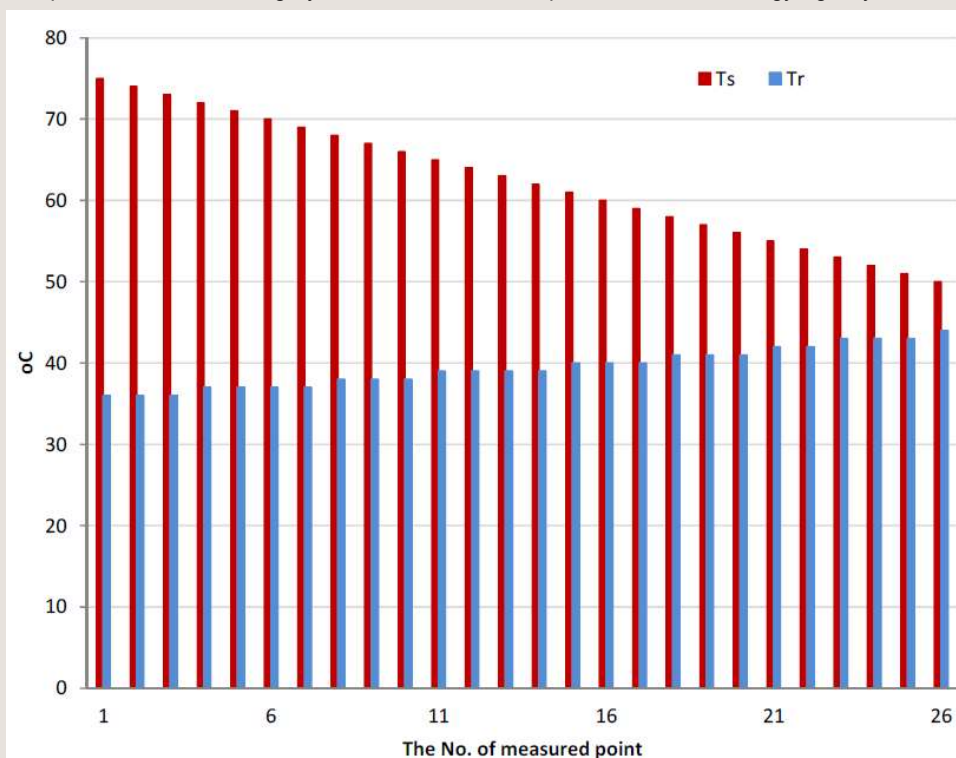


Khalid Tourkey Atta & Wolfgang Birk. Utilizing generic consumer modeling in planning and optimization of district heating and cooling systems. Luleå University of Technology - Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering - Division of Signals and Systems.

# Mērījumu punktu daudzums

Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., Wiltshire, R., & Svendsen, S. (2017). Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems: Annex XI final report. International Energy Agency.

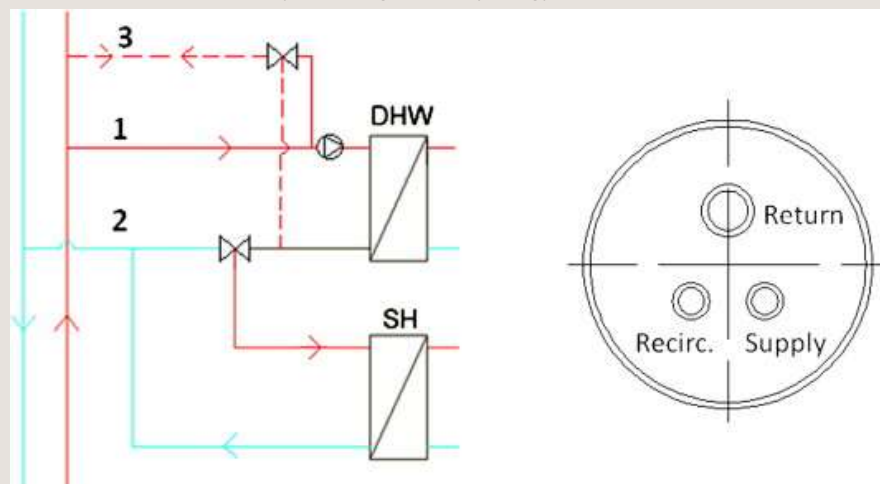
**CSA sistēma  
Middelfart, Dānija**



# Trīs cauruļu maģistrālie tīkli

A. Dalla Rosa, H. Li, S. Svendsen, Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses, Energy, Volume 36, Issue 5, 2011, Pages 2407-2418, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.024>.

- 2 turpgaitas caurules + 1 atgaitas;
- Turpgaita cirkulē pa 2 turpgaitas caurulēm, ja ir ļoti zema patērētāja siltuma slodze;
- Netiek izmantoti apvadi;
- Atgaita netiek uzsildīta vai sajaukta ar turpgaitu.



## 4GDH-3P

Helge Averfalk, Sven Werner, Novel low temperature heat distribution technology, Energy, Volume 145, 2018, Pages 526-539, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.157>.





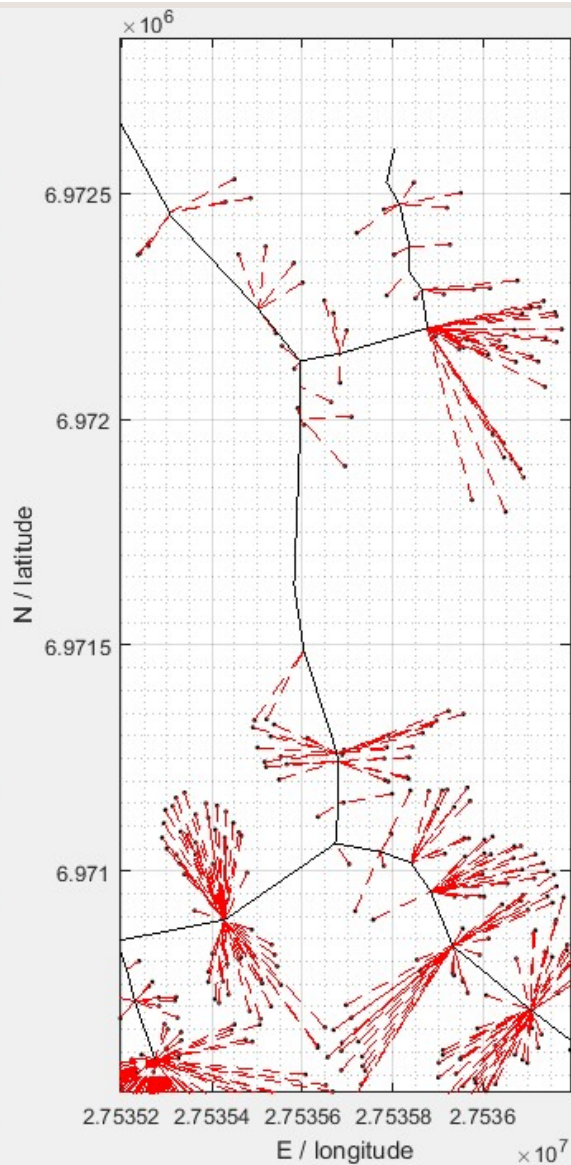
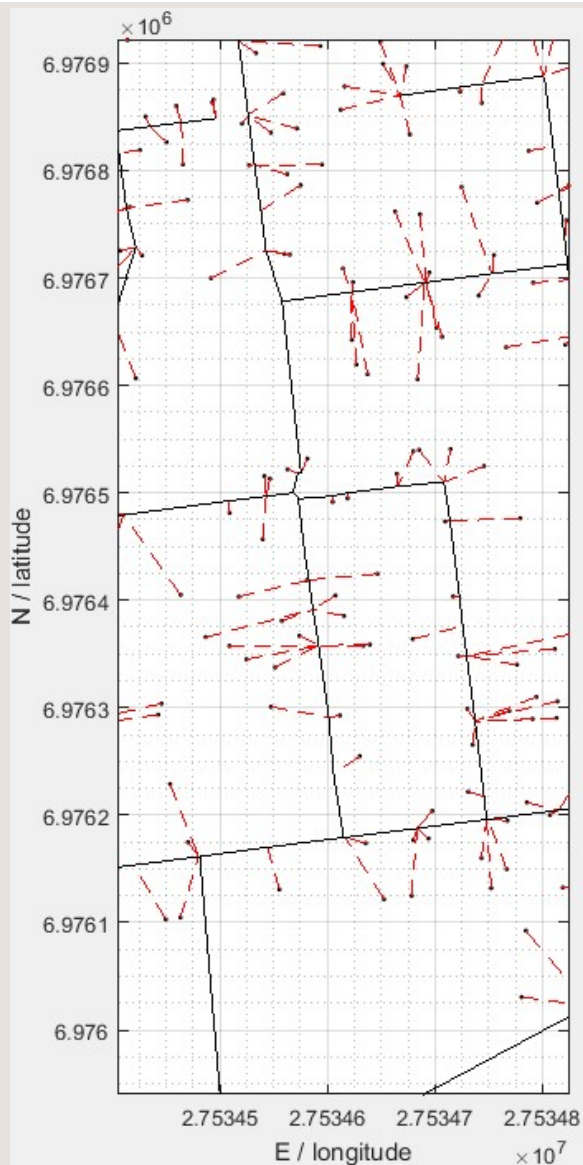
# Optimizācijas metodes



# Laika nobīdes izkliede

Balstīta uz tīkla ģeometriju un konfigurāciju, kā arī ģenerācijas un patēriņa datu apstrādi.

Nosaka CSA tīklu siltumnesēja un siltumpārvades dinamiku, nosakot vidējo turpgaitas temperatūru, balstoties uz vēsturisko turpgaitas temperatūru, ņemot vērā laika nobīdi kā funkciju.



1. CSA tīkls ir korekti projektēts, t.i. siltumnesējs sasniedz patērētāju pa iespējami īsāko (vai tuvu tam) ceļu.
  - Melnie punkti ir patērētāji,
  - Melnās līnijas - maģistrālie cauruļvadi;
  - Sarkanās līnijas – vienkāršots tuvākais savienojums maģistrālajiem cauruļvadiem.

Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

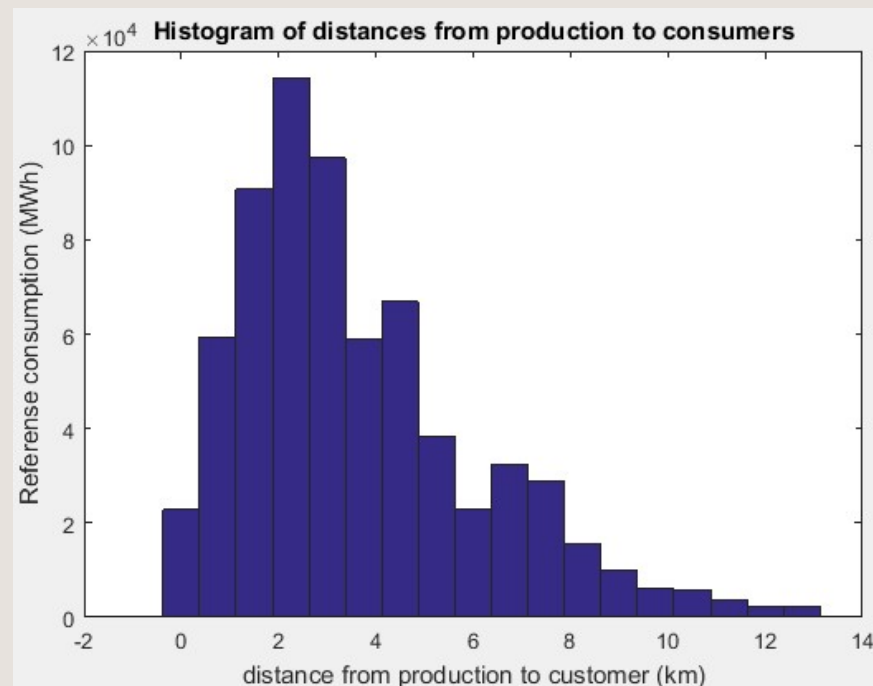
# Laika nobīdes izkliede

Pieņemot, ka siltumnesējs netiek saspiests – laika nobīde ir atkarīga no attāluma, cauruļu diametra un pretēji proporcionāla siltumnesēja masas plūsmai.

$$\tau = \frac{\rho L d^2}{\dot{m}}$$

Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

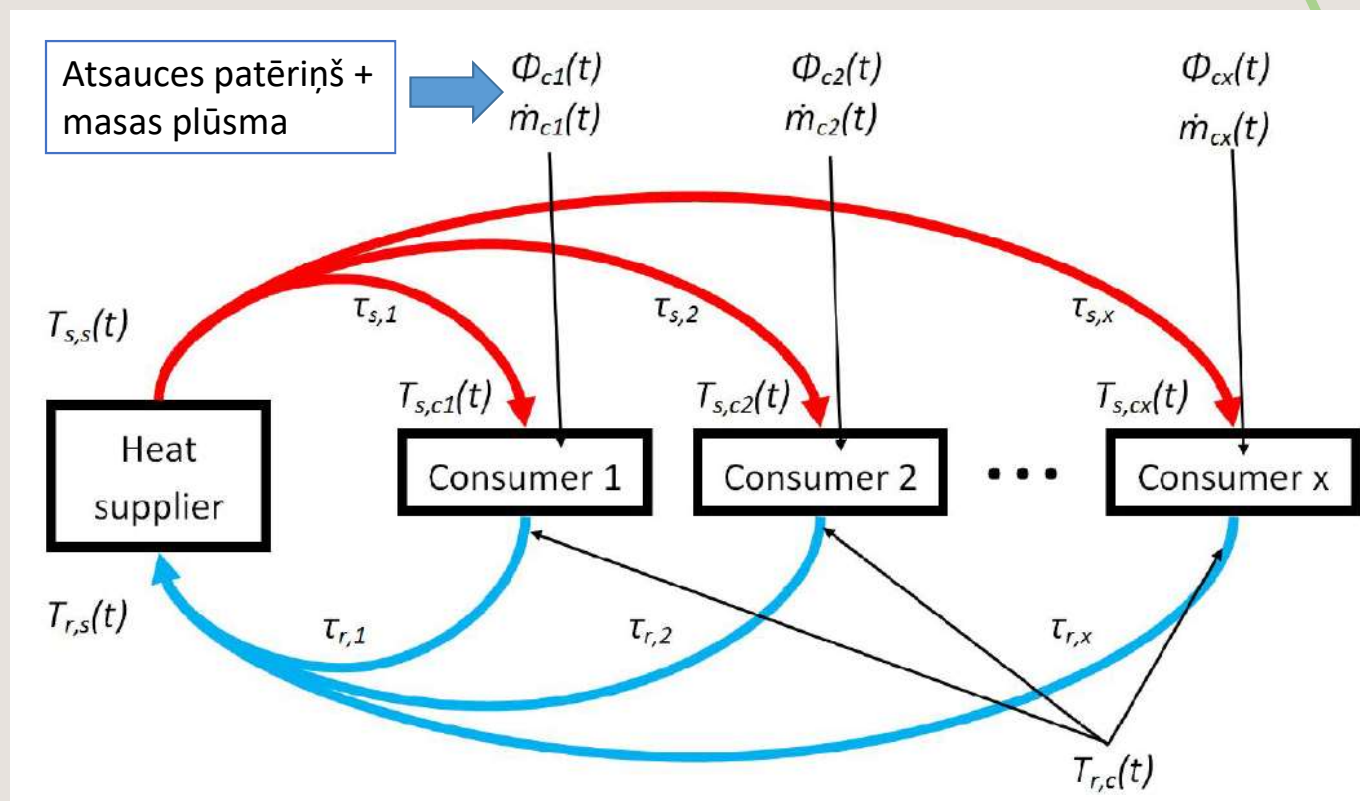
Katra patērētāja patēriņš un attālums līdz silumavotam



# Laika nobīdes izkliede

- Patērētājus sagrupē atkarībā no laika nobīdes;
- *Attēloti  $x$  patērētāji, kas sagrupēti atkarībā no attāluma līdz siltuma avotam.*

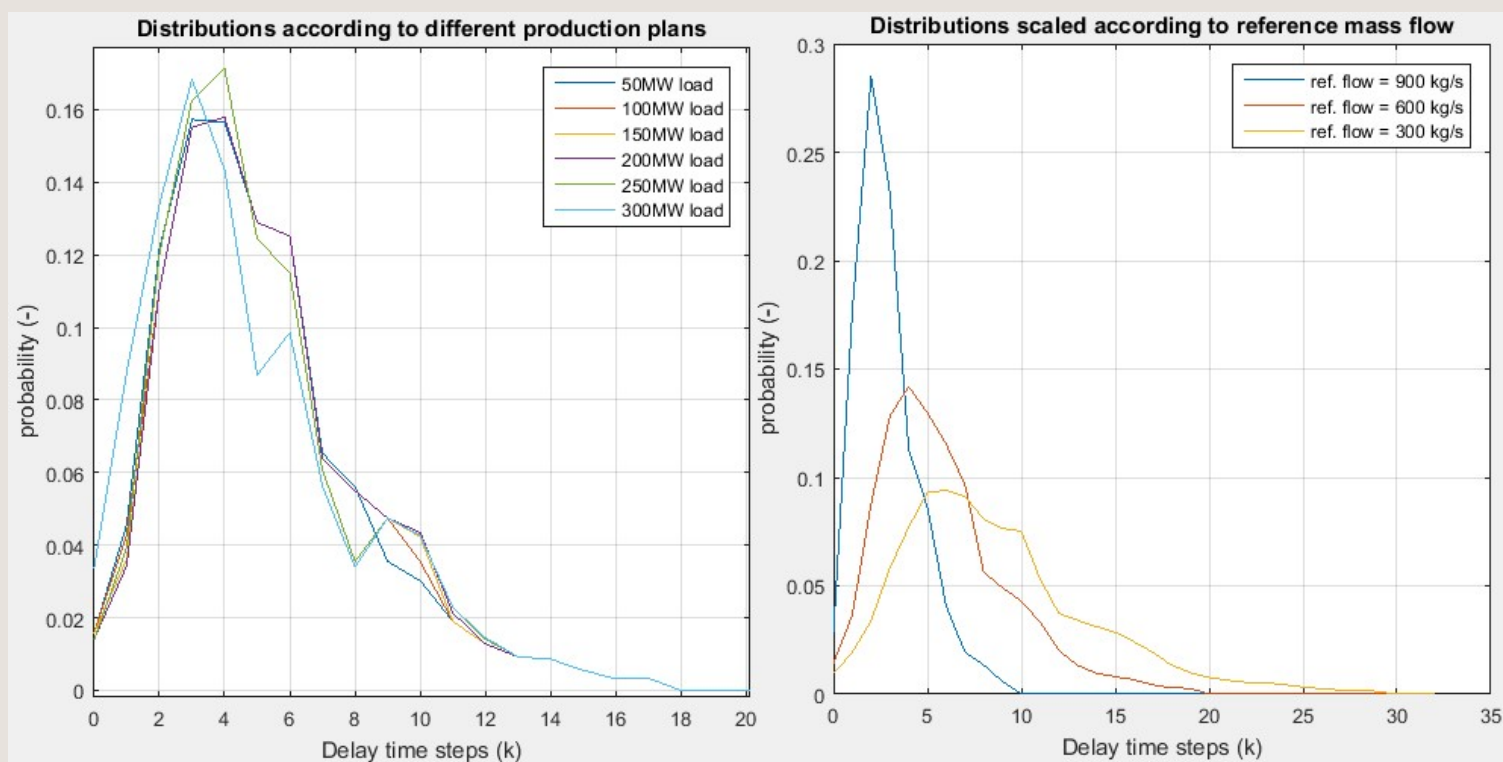
Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.





# Varbūtības sadalījums (vektors) atbilstoši:

- 1) dažādiem ģenerācijas plāniem;
- 2) dažādām masas plūsmām tīklos.



Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

# Laika nobīdes izkliede

Papildus tiek noteikti:

- Īpatnējie siltumzudumi;
- Siltumnesēja transportēšanas enerģija.

# Neironu tīkla metode

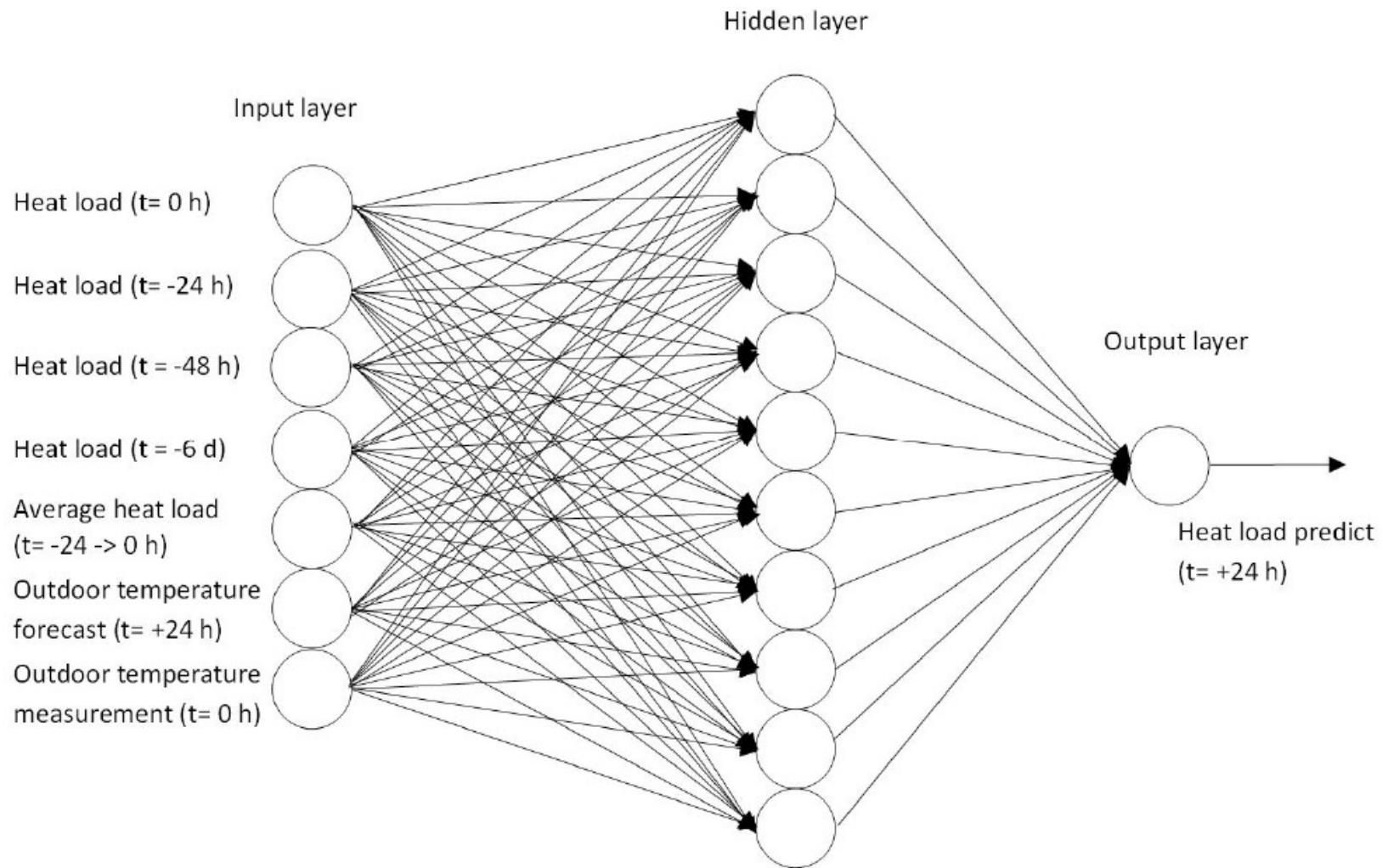
Galvenokārt prognozē lietotāja:

1. siltuma slodzi;
2. atgaitas temperatūru.

- Abas atkarīgas no laikapstākļiem;
- Cikliskas un ietekmē cilvēku paradumi;
- Atgaitas temperatūras tendences vieglāk prognozēt, bet kopējās izmaiņas ir daudz nebūtiskākas kā siltuma slodzes gadījumā.
  
- Siltuma slodze ir vairāk atkarīga no klimata apstākļiem un diennakts cikliem;
- Cilvēku paradumu ietekmē siltuma slodzi (nedēļas un diennakts griezumā).

Siltuma slodzes  
prognozēšanas  
neironu tīkls.

Tiek mērīta  
atgaitas  
temperatūra.



Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

RTU EEF Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

14.11.2018

60

# Piespiedu optimizēšana

## */ Brute force optimizer*

### **Būtība**

- Aprēķina noteikto alternatīvu izmaksas;
- Turpgaitas temperatūra tiek prognozēta nākošajām 24h ar laika soli 0,5h;
- Siltuma zudumu un siltumnesēja transportēšana tiek modelēti, izmaksas aprēķinātas un alternatīva ar zemākajām izmaksām tiek izvēlēta;
- Nosaka labāko turpgaitas temperatūras režīmu nākošajām 24h ar zemākajām ekspluatācijas izmaksām;
- Optimizācijai tiek izmantota siltuma slodzes un atgaitas temperatūras prognoze, lai aprakstītu CSA sistēmas darbību.

### **Optimizācijas mainīgie**

- Lietotāju siltuma slodzes prognozes;
- Lietotāja atgaitas temperatūras prognozes;
- Turpgaitas vēsturiskie dati;
- Kurināmā izmaksas;
- Elektronenerģijas izmaksas;

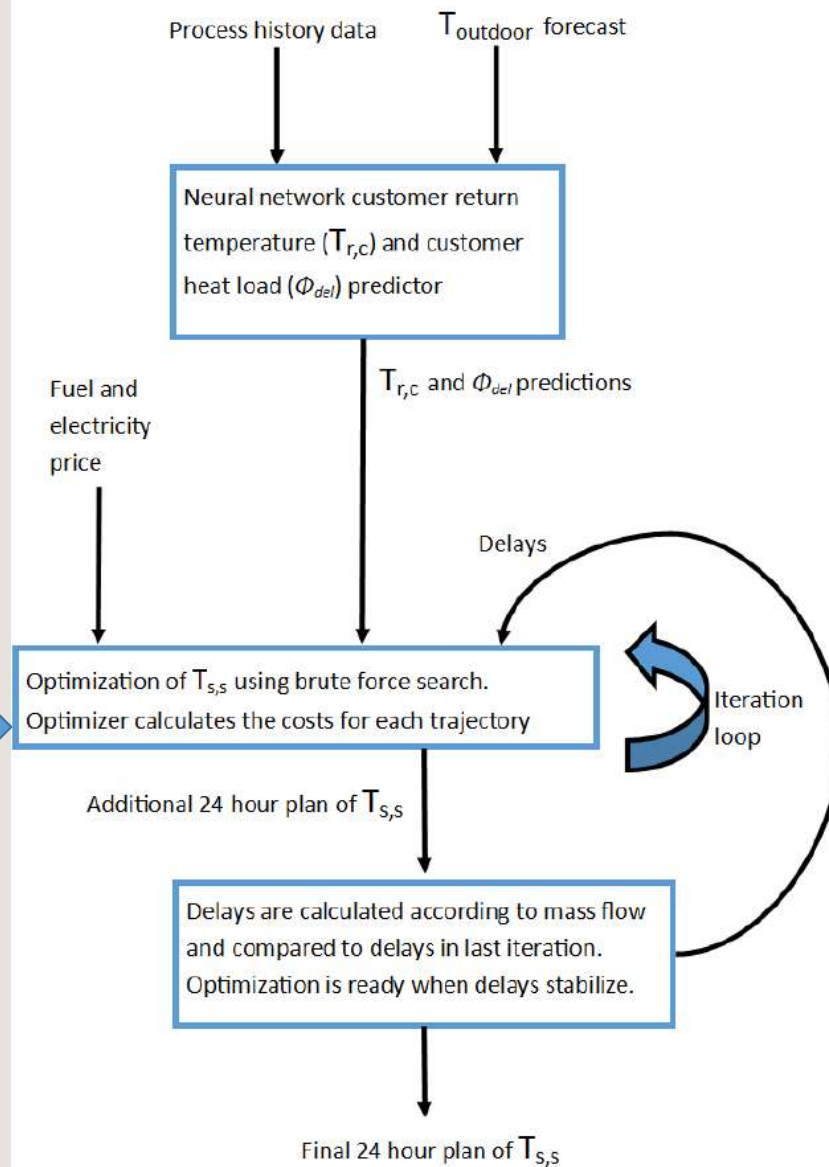
# Optimizācijas blokshēma

Temperatūras  
trajektorijas  
aprēķins



Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

14.11.2018



# Brute force optimizer: Temperatūras trajektorijas aprēķins

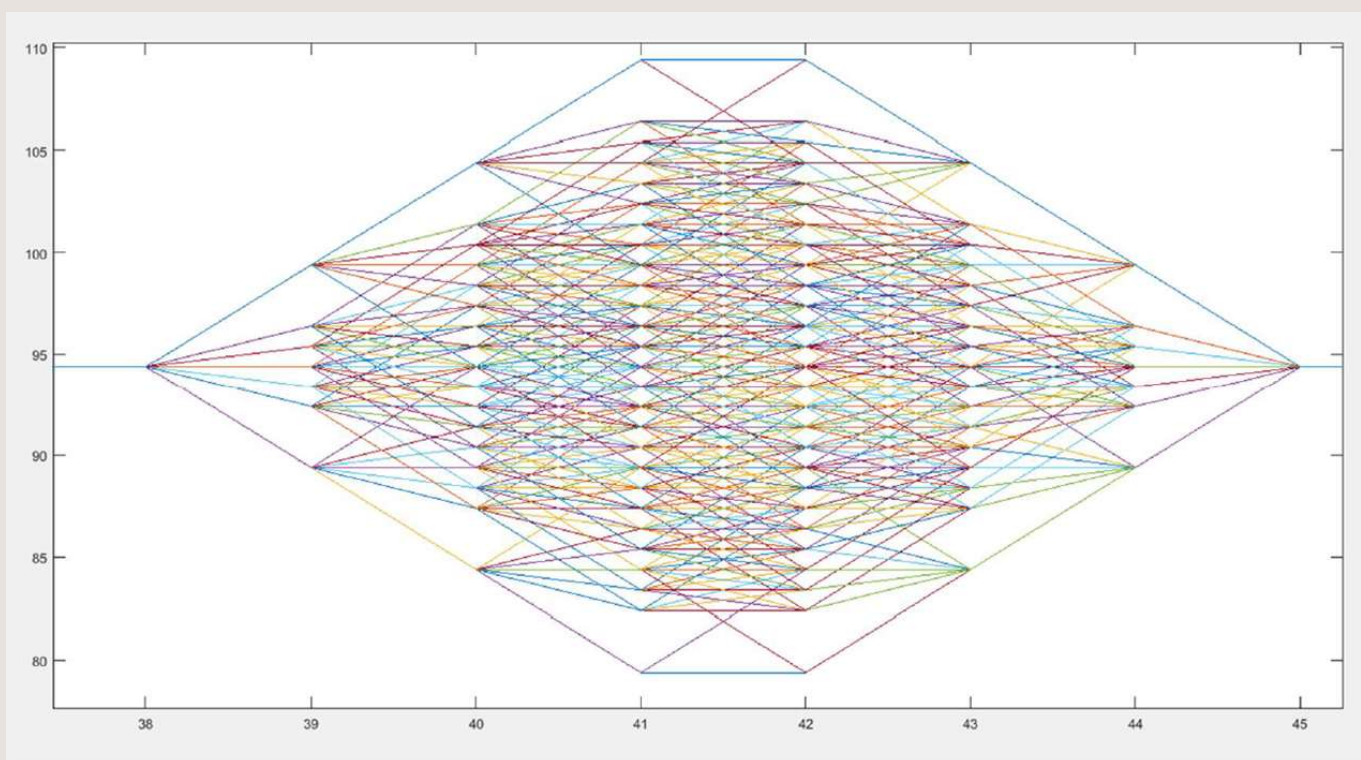
Tiek noteiktas visas iespējamās turpgaitas temperatūras nākošajiem laika soļiem.

Dabiski tiek minimizēta tīkos akumulētā enerģija.

Laika solis 0,5h – pietiekoši īss salīdzinot ar laika nobīdi.

Temperatūras trajektoriju izmaiņas:

- Nelielas  $0\text{ }^{\circ}\text{C}/\Delta t \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}/\Delta t$
- Vidējas  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}/\Delta t$ ;
- Ekstrēmas  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\Delta t$ .

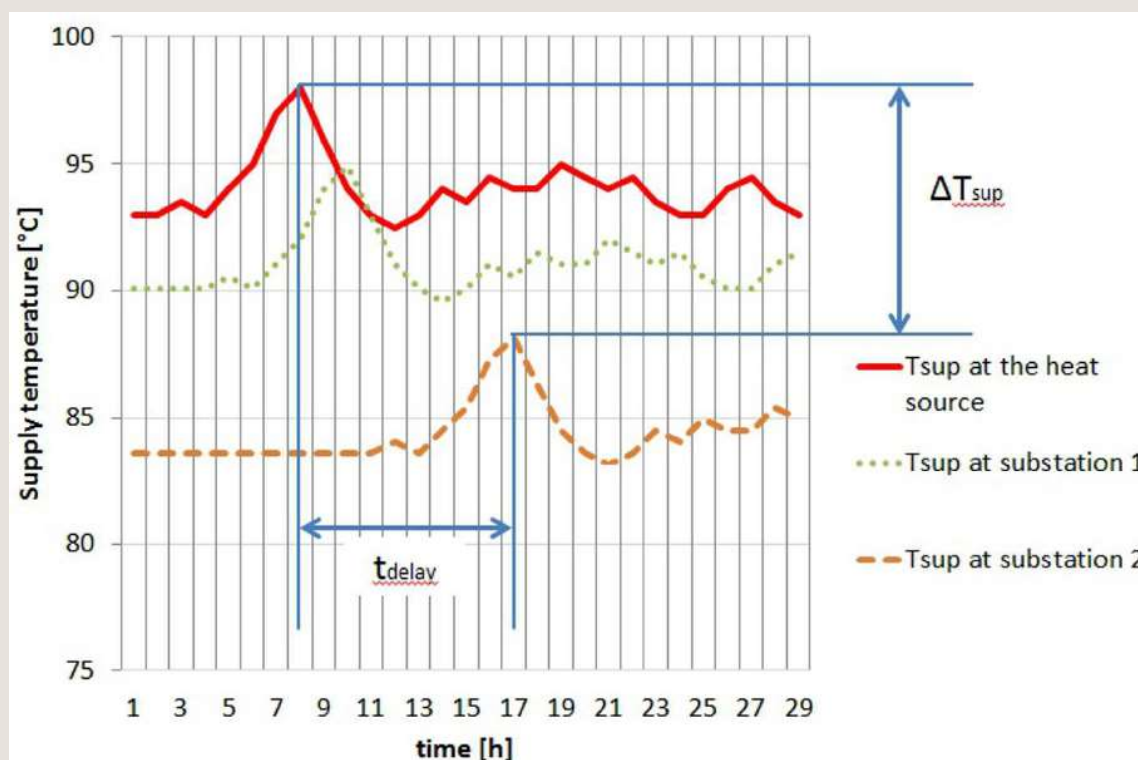


Avots: L. LAAKKONEN. PREDICTIVE SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION OF DISTRICT HEATING NETWORKS. Master of Science thesis. 2016.

# Piemērs: laika nobīdes un temperatūras krituma mērījumi pie siltumavota un pie 2 ISM

Veicot vairāku mērījumu virkni, pie dažādiem apstākļiem, ir iespējams matemātiski aprakstīt transportēšanas laiku un temperatūras kritumu pie katra svarīgā patērētāja.

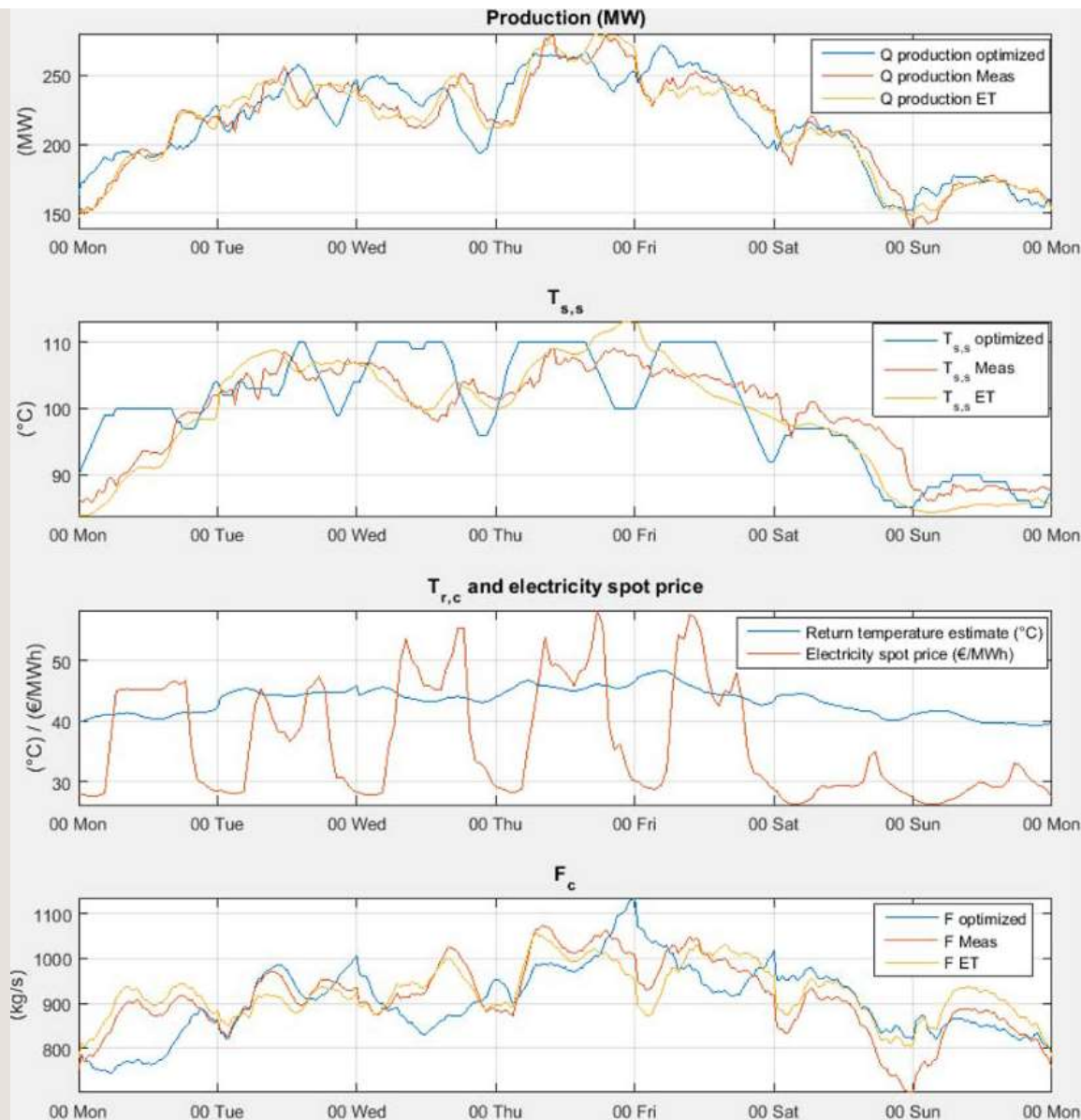
Svarīgi: nav nepieciešama CSA tīklu topoloģija un aksonometrija.



Avots: Leško, M., & Bujalski, W. (2017). Modeling of District Heating Networks for the Purpose of Operational Optimization with Thermal Energy Storage, Archives of Thermodynamics, 38(4), 139-163. doi: <https://doi.org/10.1515/aoter-2017-0029>

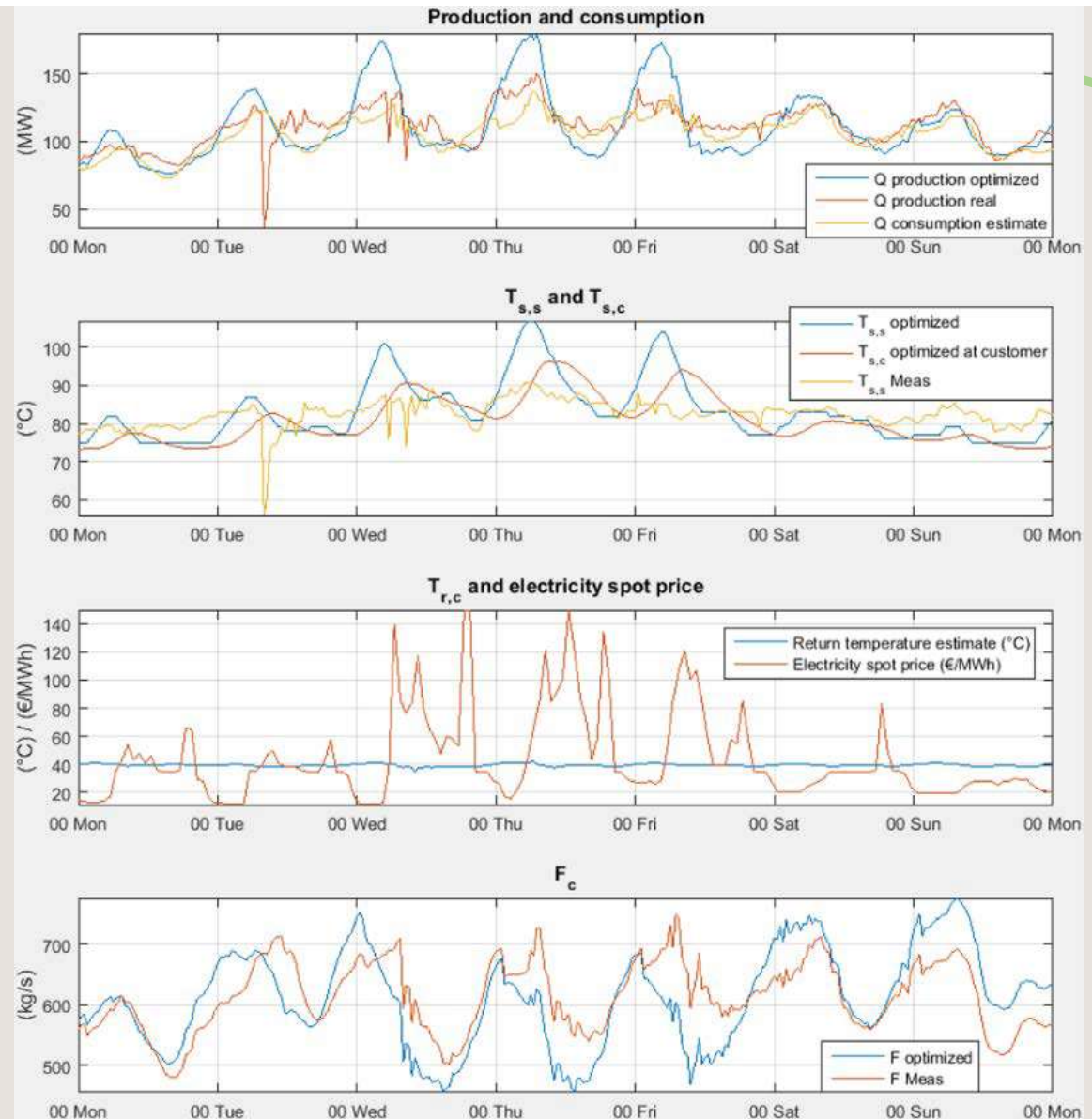


# Salīdzinājums pie gandrīz maksimālās siltumavota siltumjaudas.



Laakkonen, L., Korpela, T., Kaivosoja, J., Vilkkio, M., Majanne, Y., & Nurmoranta, M. (2017). Predictive Supply Temperature Optimization of District Heating Networks Using Delay Distributions. *Energy Procedia*, 116, 297-309. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.076

- Turpgaitas temperatūru samazināja 1,1-2,8 C;
- Eksploatācijas izmaksas samazināja 1,2 – 1,5 %.



Laakkonen, L., Korpela, T., Kaivosoja, J., Vilkkö, M., Majanne, Y., & Nurmoranta, M. (2017). Predictive Supply Temperature Optimization of District Heating Networks Using Delay Distributions. *Energy Procedia*, 116, 297-309. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.076

14.11.2018

# Zemas temperatūras/potenciāla enerģijas izmantošana mazas CSA sistēmas gadījumā



# Dažādie siltumapgādes risinājumi mazai CSA sistēmai

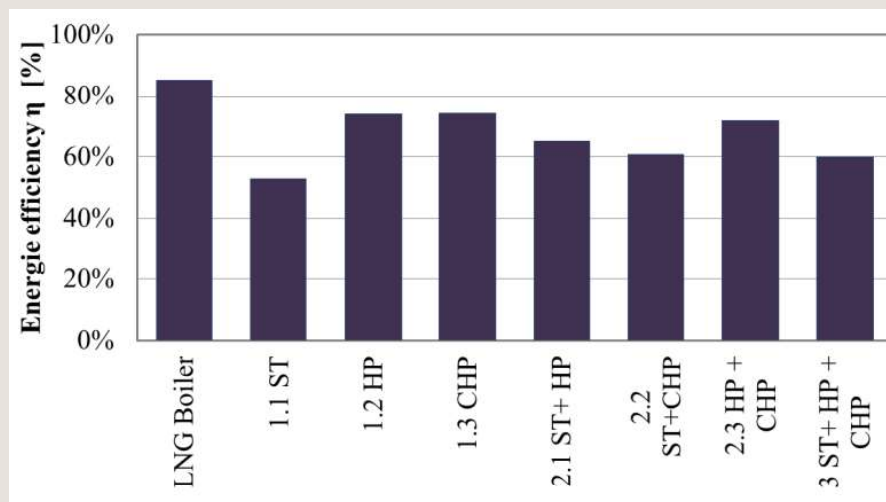
Energoefektīvs patērētājs:  
45 kWh/m<sup>2</sup> gadā

	Scenario	Solar	Heat pump	CHP
0	LNG gas boiler	-	-	-
1.1	Solar Thermal	800 m <sup>2</sup> (100%)	-	-
1.2	Heat Pump	-	60 kW	-
1.3	CHP	-	-	60 kW
2.1	Solar Thermal + Heat Pump	200 m <sup>2</sup> (20 %)	60kW	-
2.2	Solar Thermal+ CHP	200 m <sup>2</sup> (20 %)	-	60 kW
2.3	Heat Pump + CHP	-	60 kW	5kW
3	Solar Thermal+ Heat Pump + CHP	350 m <sup>2</sup> (40%)	45 kW	20kW

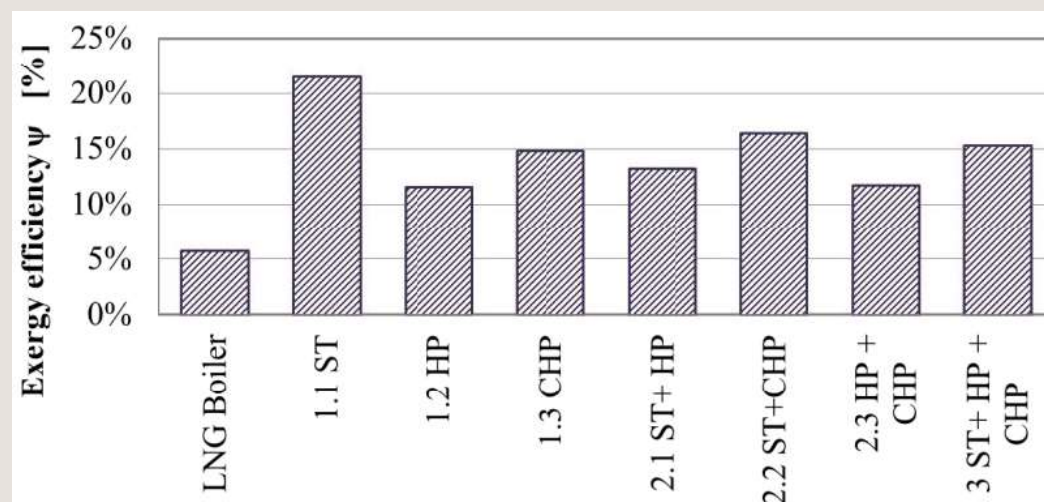
Avots: Heiselberg, P. K. (Ed.) (2016). CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 10. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering.

# Scenāriju salīdzinājums: nav integrēti ekonomikas un klimata faktori

## Energoefektivitāte



## Ekserģija



No ekserģijas viedokļa – jāspēj izprast visus enerģijas pārveides un pārvades procesus.

Avots: Heiselberg, P. K. (Ed.) (2016). CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 10. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering.

- 1. Open bypasses – it seems that every scheme we look at has bypasses left open somewhere in the network. Often these represent a significant portion of total network flows. As a result, return temperatures are much higher than they should be, leading to high losses and ancillary issues (such as inability to operate CHP)
- 2. Missing insulation, particularly on the terminal run from the laterals into the flat. This is a major contributor to losses and overheating in flats and corridors
- 3. HIUs not commissioned or poorly commissioned. In particular, DHW and/or space heating temperature set points are too high. This results in high return temperatures and, in some cases, can lead to the HIU effectively acting as a bypass in the system
- 4. Space heating return temperatures too high, typically due to poor (or non-existent) space heating circuit commissioning – for example, non balancing of radiator circuit. This results in very high return temps during space heating operation, with consequent impact on system performance
- 5. Poor (or absent) pump controls, resulting in pumps operating at full capacity. In combination with open bypasses, this can result in the whole network operating with close to a 0°C delta-T and very high pump electricity costs.

<https://www.cibsejournal.com/technical/on-a-mission-using-data-to-optimise-heat-networks/>

*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](mailto:dzintars.jaunzems@rtu.lv)

[www.videszinatne.rtu.lv](http://www.videszinatne.rtu.lv)

