

Siltumsūkņu sistēmas:

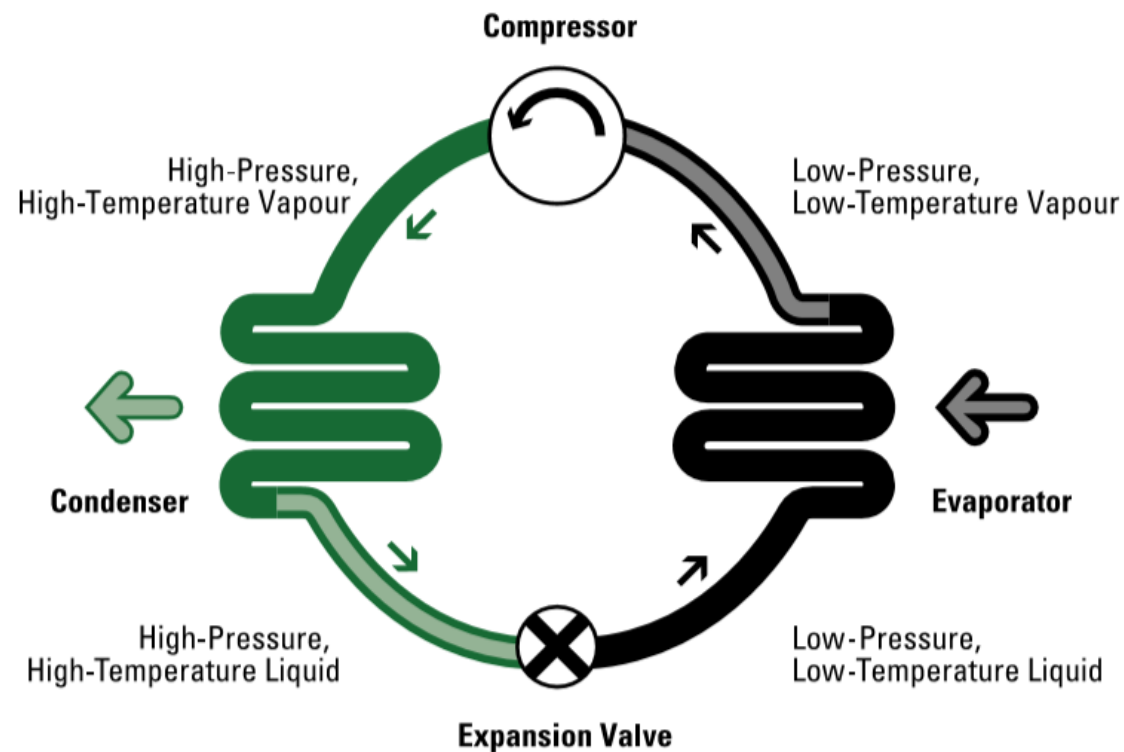
ieviešana, integrēšana dažādos siltuma avotos un siltumapgādes elastīguma paaugstināšana

Dzintars Jaunzems, VASSI, RTU

Vispārējie darbības principi

Siltumsūkņa darbības cikls

1. Siltums no apkārtējās vides
→ Šī siltumenerģija tīke izmantota, lai iztvaicētu dzesējošo vielu / aukstumaģentu
2. Procesā radītā gāzveida aukstumaģenta saspiešana kompresorā
3. Siltummainis kondensatorā pārvada siltumenerģiju uz siltumapgādes sistēmu
4. Saspiestā aukstumaģenta spiediena samazināšana un pāreja uz šķidru agregātstāvokli

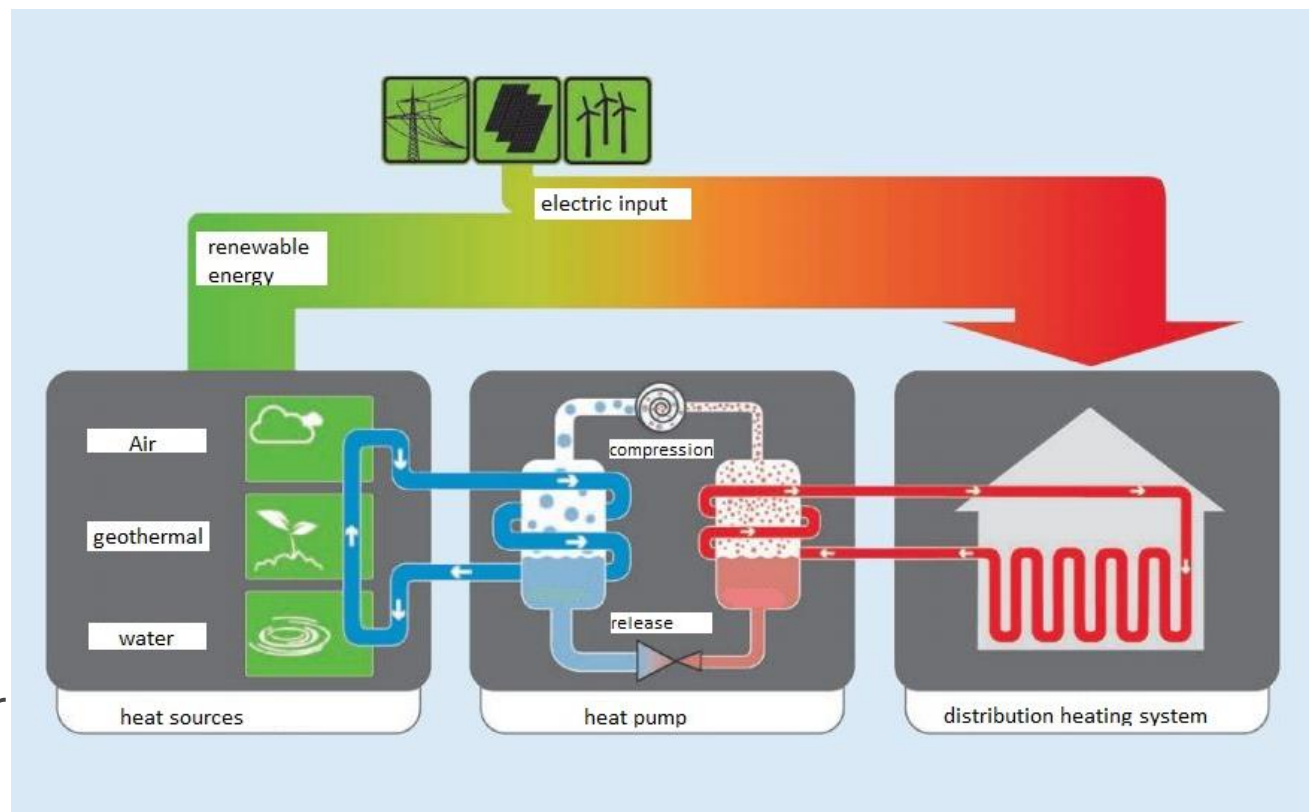


2. attēls: Avots: Ener Guide, Heating and Cooling with a Heat Pump, www.nrcan.gc.ca

Vispārējie darbības principi

Atjaunojamā enerģija

- Siltumsūkņus var kombinēt ar atjaunojamajiem energoresursiem, lai nosegtu siltumsūkņa elektroslodzi
- Siltumsūkņiem izmantojamie siltuma avoti (gaiss, ūdens, grunts, ģeotermālā enerģija utt.) jau paši par sevi ir atjaunojamie energoavoti
- Siltumsūkņi spēj nosegt visu siltumslodzi ar atjaunojamajiem energoresursiem un ar zemām SEG emisijām



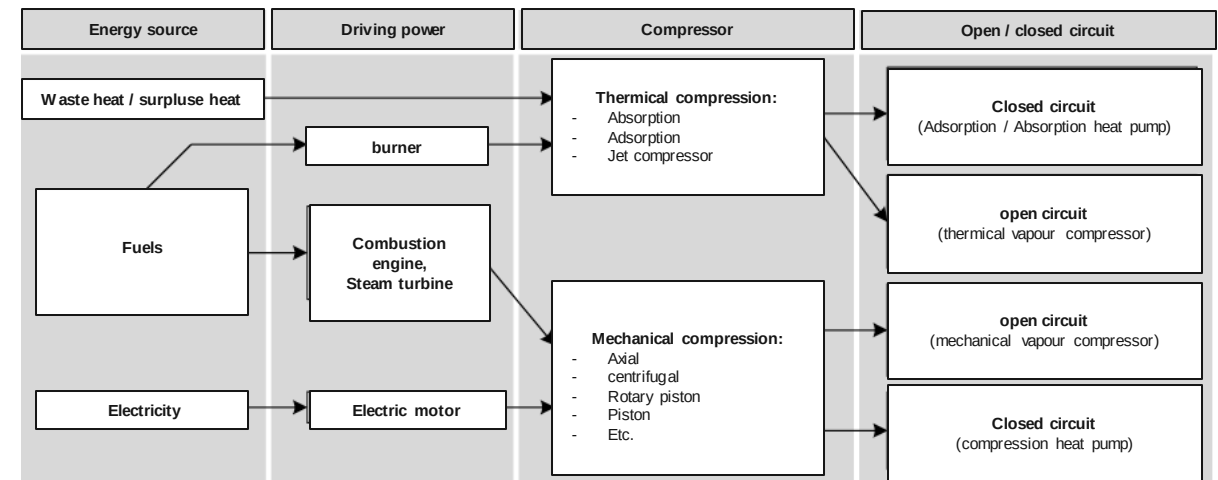
3. attēls: Siltumsūkņa sistēmas enerģijas plūsmas. Avots: bwp

Pamatdati – siltumsūkņu iekārtas risinājumi

- Siltumsūkņi izmanto dažādus dabiskos siltuma avotus
- Siltumsūkņi izmanto siltuma avotu ar zemu temperatūras līmeni → paaugstināt temperatūras līmeni

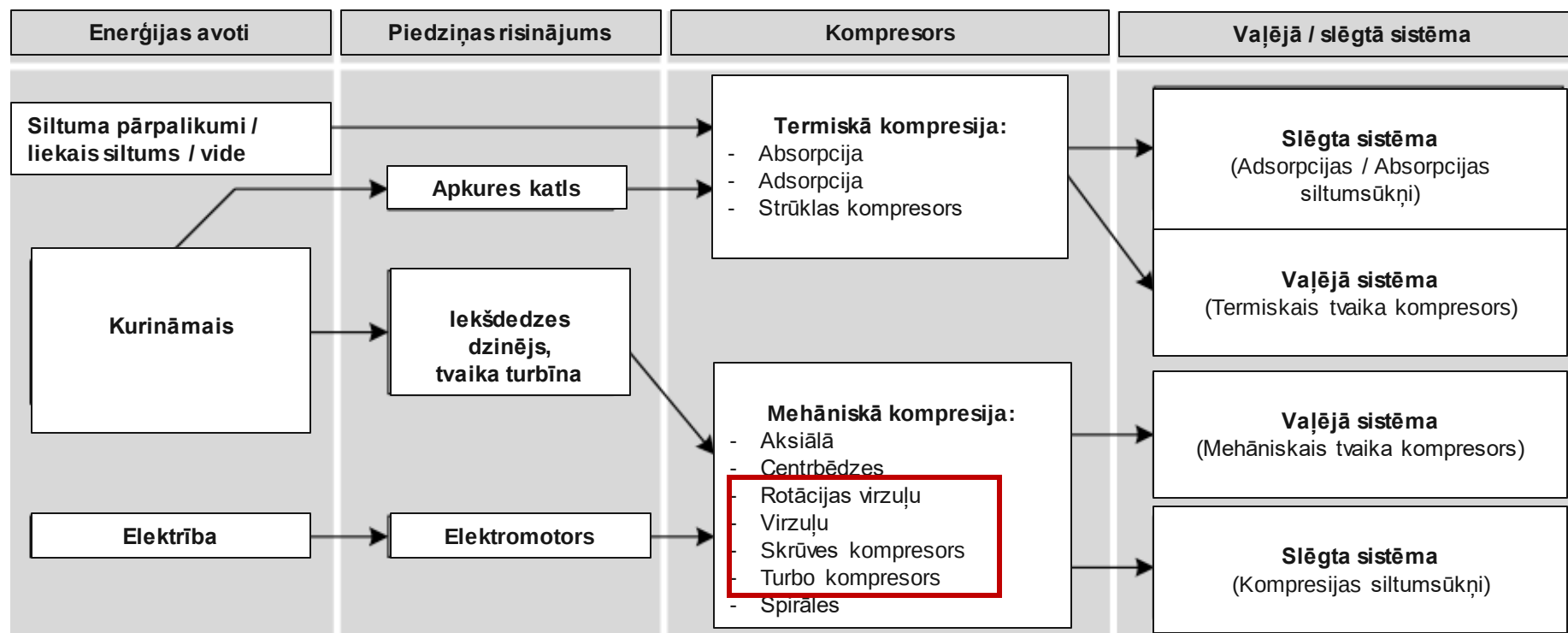
Atšķirības starp plaši izmantotajiem risinājumiem

- Enerģijas avots
- Piedziņas enerģija (elektrība, gāze / tvaiks, iekšdedzes dzinējs)
- Termiskā / mehāniskā kompresija
- Vaļējā vai slēgtā siltumsūkņu sistēma



Siltumsūkņu tehniskā ieviešana
 (Avots: Wolf et al. 2012; Tulkots & precizēts)

Pamatdati – siltumsūkņu iekārtas risinājumi



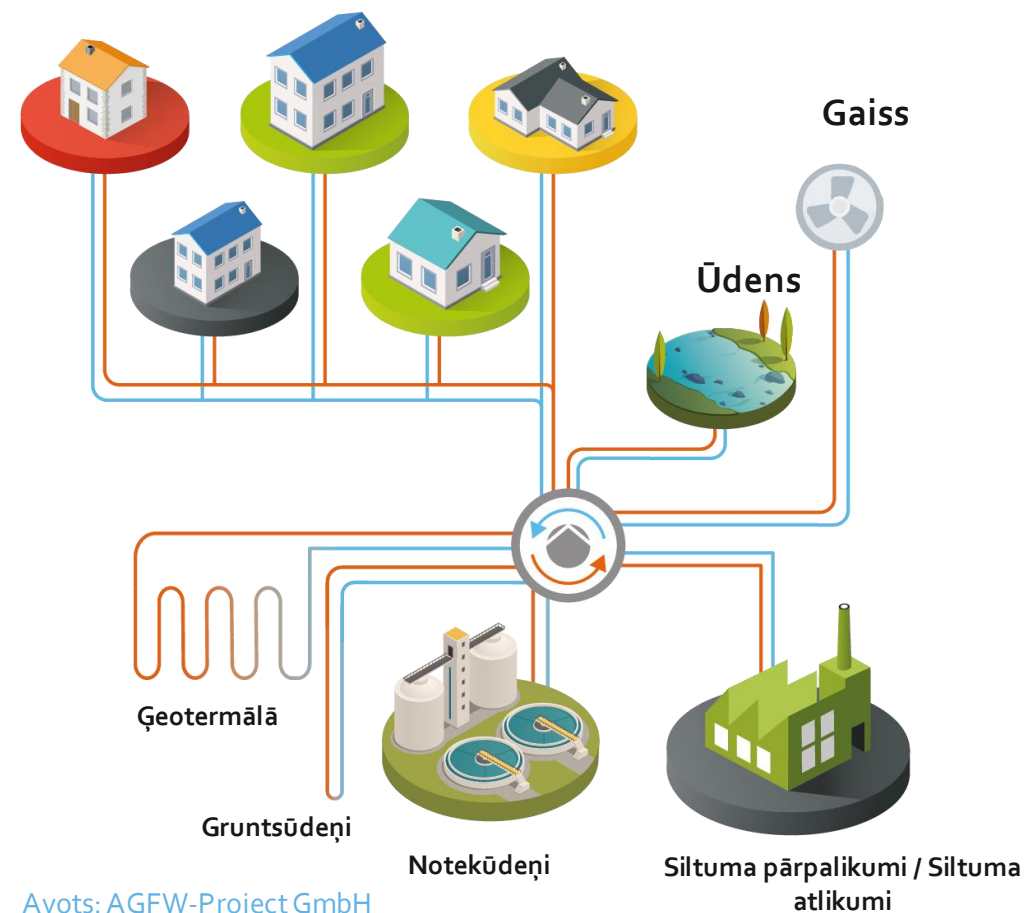
Siltumsūkņu tehniskā ieviešana

(Avots: Wolf et al. 2012; Tulkots & precizēts)

Iespējamie siltuma avoti siltumsūkņu izmantošanai

Dažādie siltumsūkņu tipi

- Gaiss / gaiss
- Gaiss / ūdens
- Ūdens / ūdens
 - Urbumi (akas) / ūdens
 - Grunts (zemes virskārta) / ūdens
 - Notekūdeņi / ūdens
- Ģeotermālā enerģija / ūdens
- Hibrīdie siltumsūkņi
„Duel-fuel-Systems“

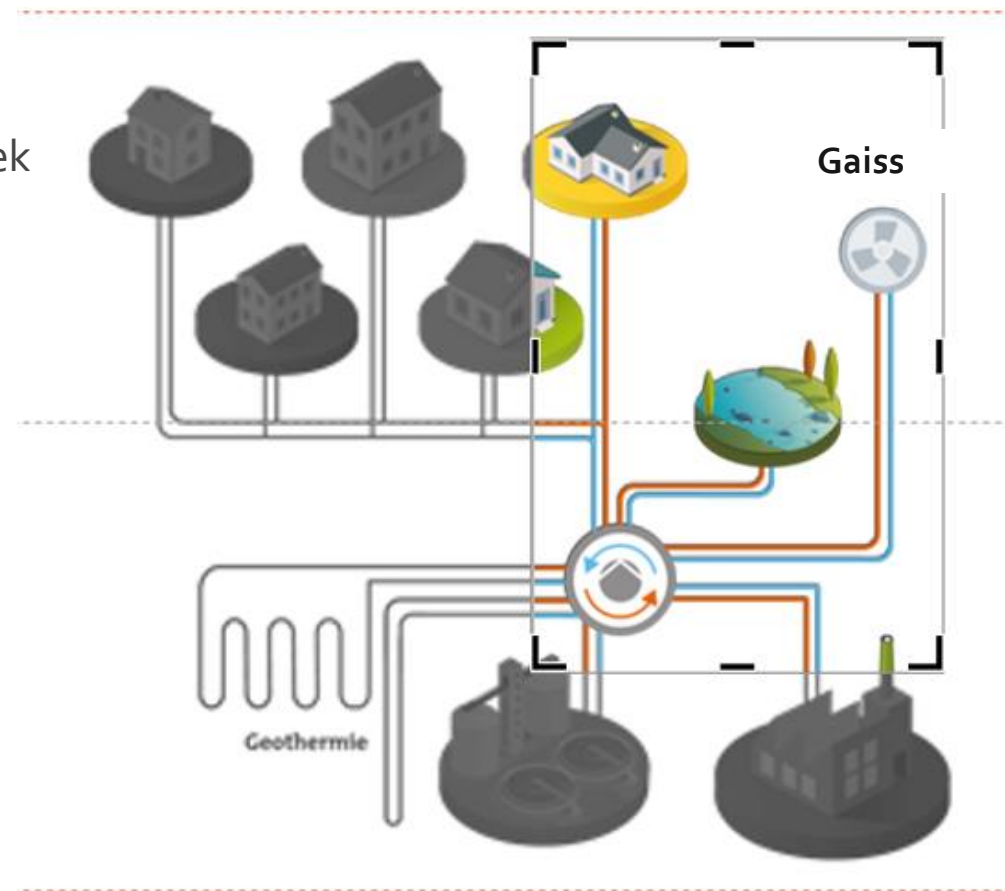


Avots: AGFW-Project GmbH

Siltuma avots - gaiss

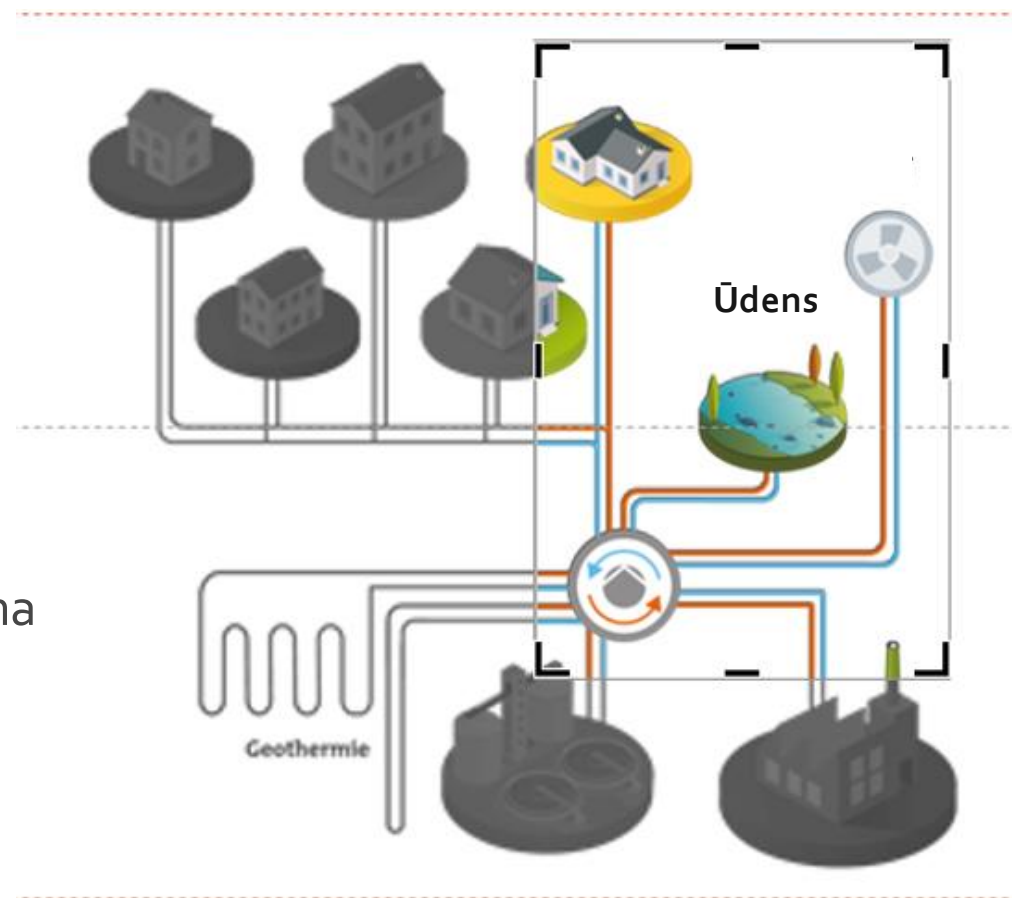
- Izmanto ventilatorus, kas pārvieto gaisa masu > gaisā esošā siltumenerģija tiek nodota siltummainim > izlietotā gaisa masa tiek novadīta atpakaļ vidē
- Neierobežots siltuma avots, **bet izteikti sezonāls**
- **Laika apstākļu izraisītās svārstības (diennakts un sezonas)**
- Siltuma ģenerācija ir pretēja siltuma pieprasījumam
 - > Augstāks COP (*Coefficient of Performance*) vasarā
 - < Zemāks ir ziemā

→ siltumsūkņus, kas izmanto gaisu kā siltuma avotu, parasti izmanto bāzes slodzēm vasarā



Siltuma avots – ūdens (upes & ezeri)

- Vaļējās vai slēgtās sistēmas:
 - Ņem ūdeni vienā vietā, novada citā;
 - Izmanto noslēgtu kontūru, kura izvietota ūdenī.
- **Laika apstākļu izraisītās svārstības**
 - Mazākas kā gaisam, jo lielāka siltumietilpība
- Vaļējām sistēmām jāparedz, ka tās nenodzesēs siltuma avotu un neradīs negatīvu ietekmi uz vidi
- **Piemērs: Vācijā izmantojot upes ir iespējams iegūt 7°C apmēram 6000-6500 h/gadā.**

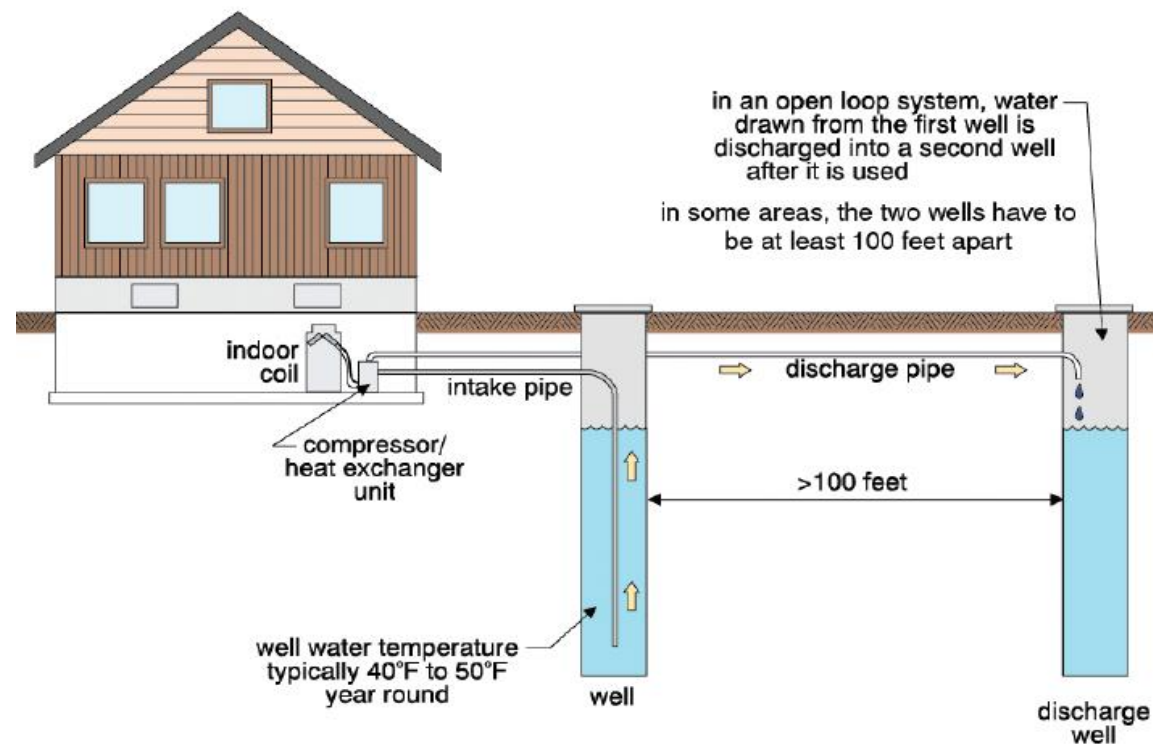


Vispārējie darbības principi

Urbumi (akas) / ūdens siltumsūkņi

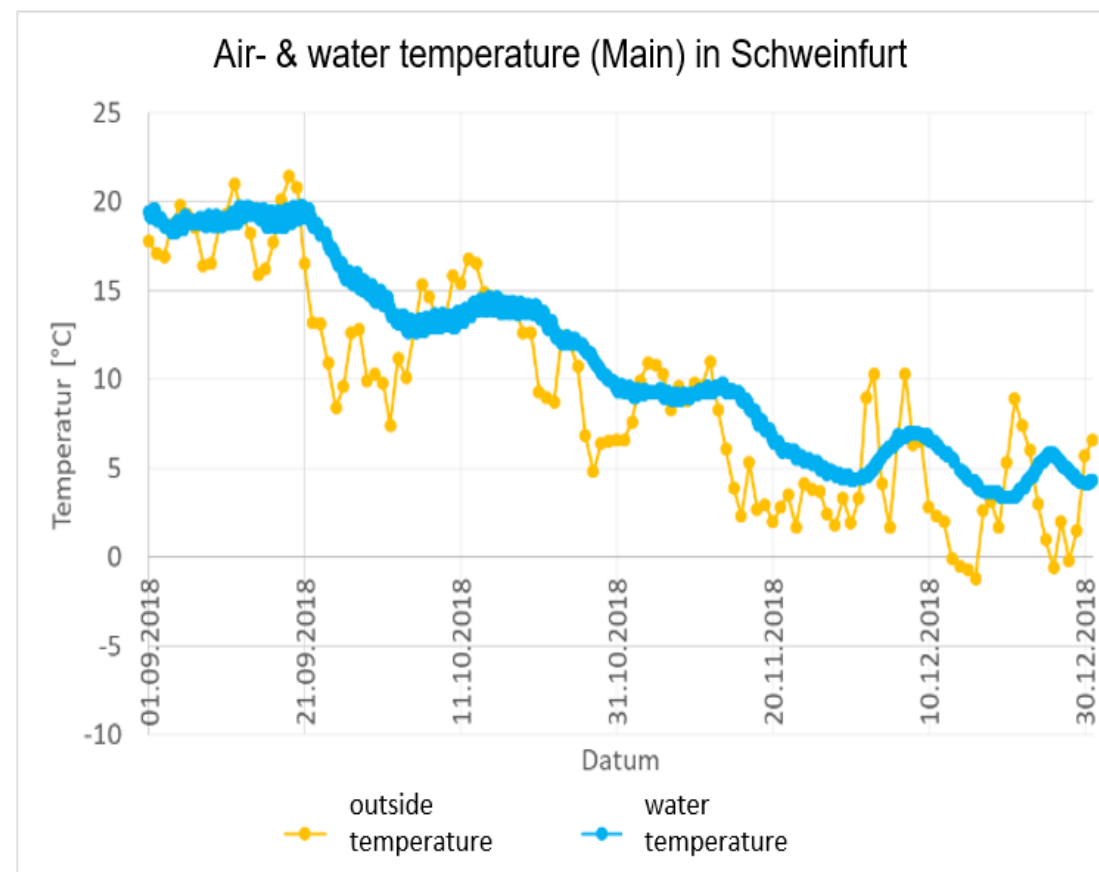
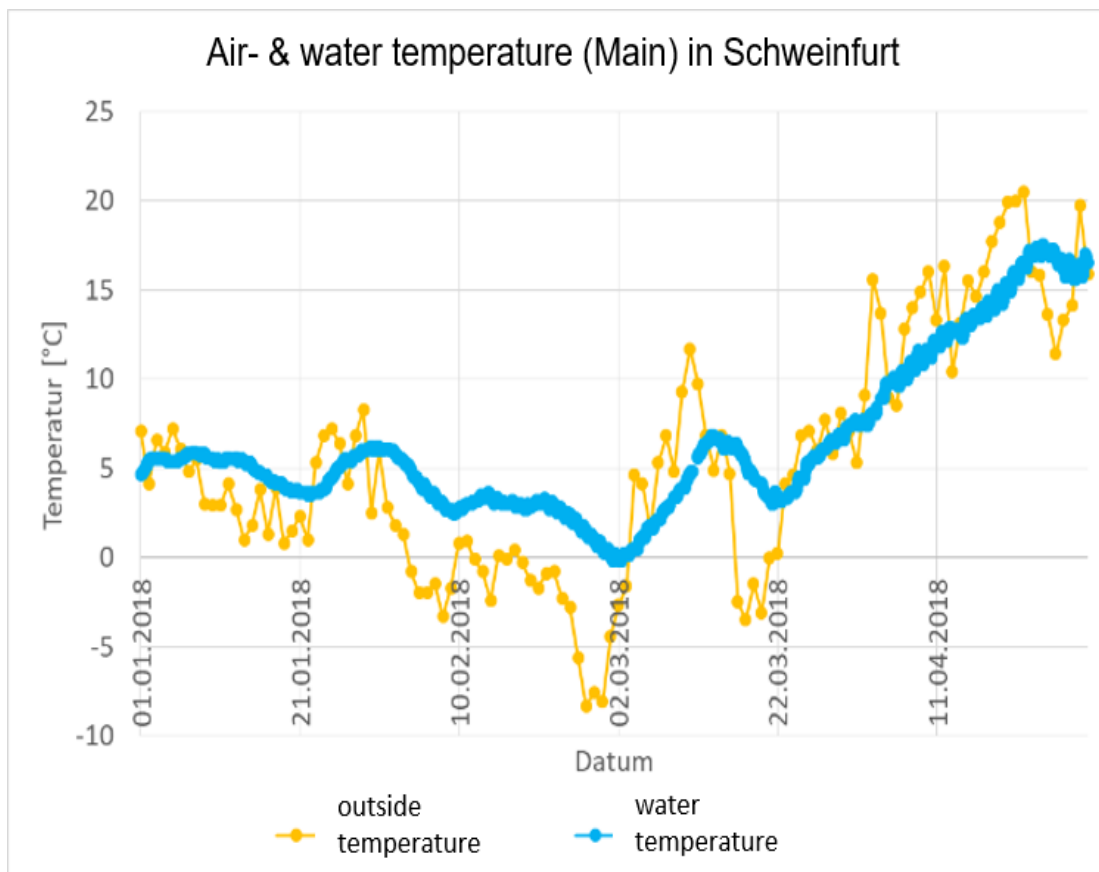
- Izmanto gruntsūdeņus kā siltuma avotu
- Ļoti nebūtiskas sezonālas gruntsūdeņu temperatūras izmaiņas – vienmērīga siltuma jauda
- Vaļējs kontūrs ar diviem urbumiem / akām
- Dziļums: parasti sākot no ~20 m
- Risinājuma efektivitāte atkarīga no gruntsūdens kvalitātes, temperatūras un dziļuma

Water source heat pump - open loop system (well based)



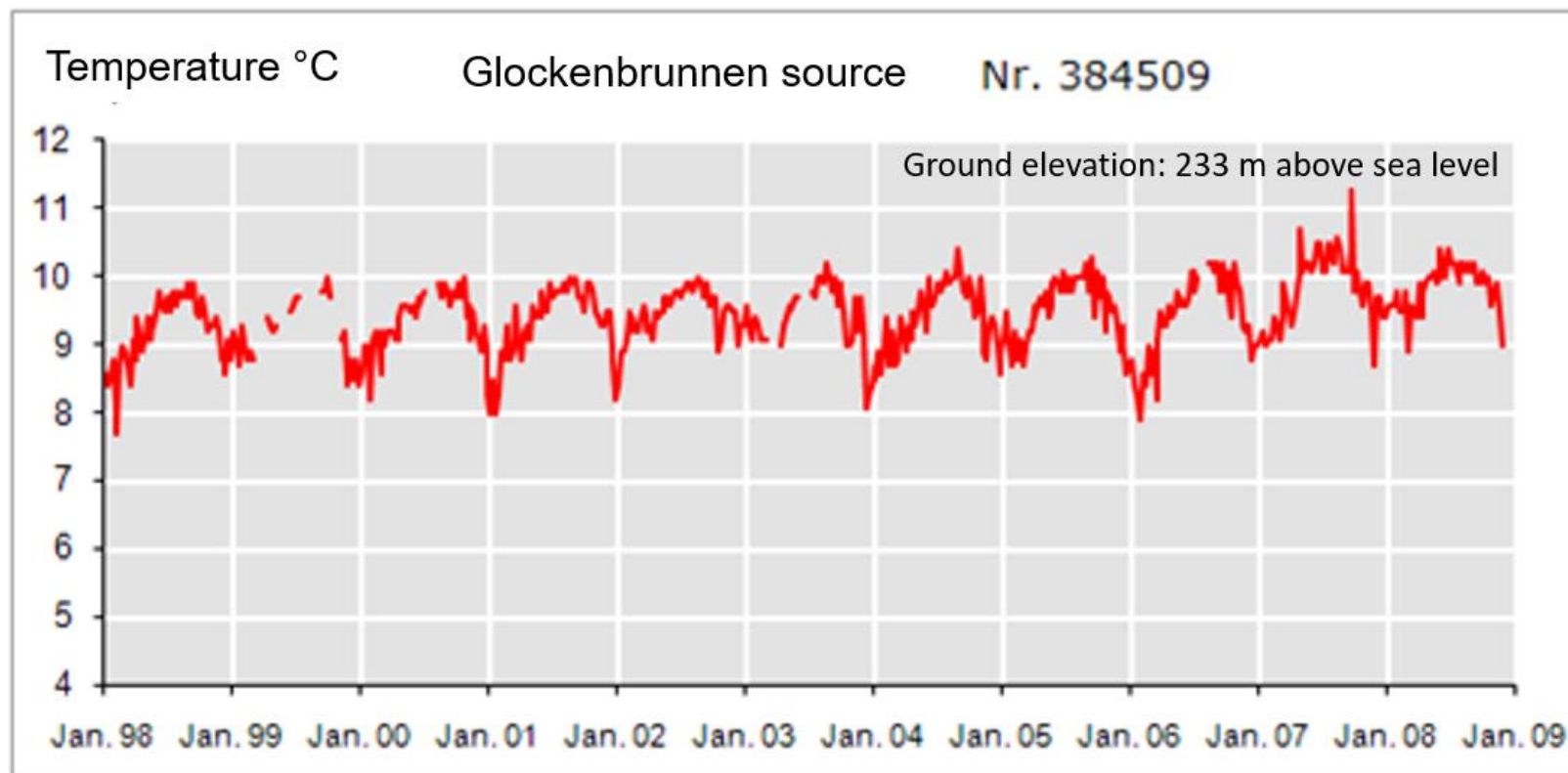
15. attēls: Urbumi (akas) / ūdens siltumsūkņi. Avots:
<http://www.ashireporter.org/Homelnspection/Articles/Warming-Up-to-Heat-Pumps/15064>

Siltuma avots – ūdens (upes & ezeri)



2. attēls. Gaisa un ūdens temperatūru izmaiņas (Mainas upe) Schweinfurt 2018. g. 1. janvāris – 30. aprīlis, 1. septembris – 31. decembris [Avots: Eselshöhe weather station and Bavarian State Office for the Environment]

Siltuma avots – gruntsūdens

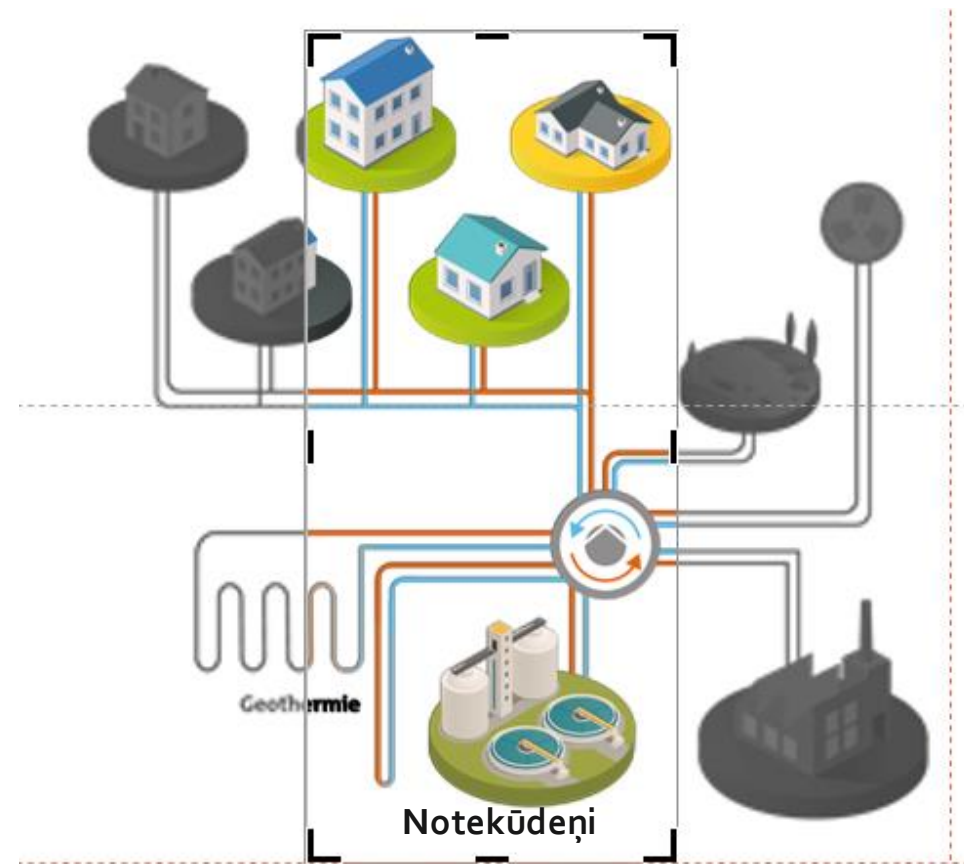


- Piemērs no Vācijas, gruntsūdens temperatūras svārstības no 1998. līdz 2009. gadā

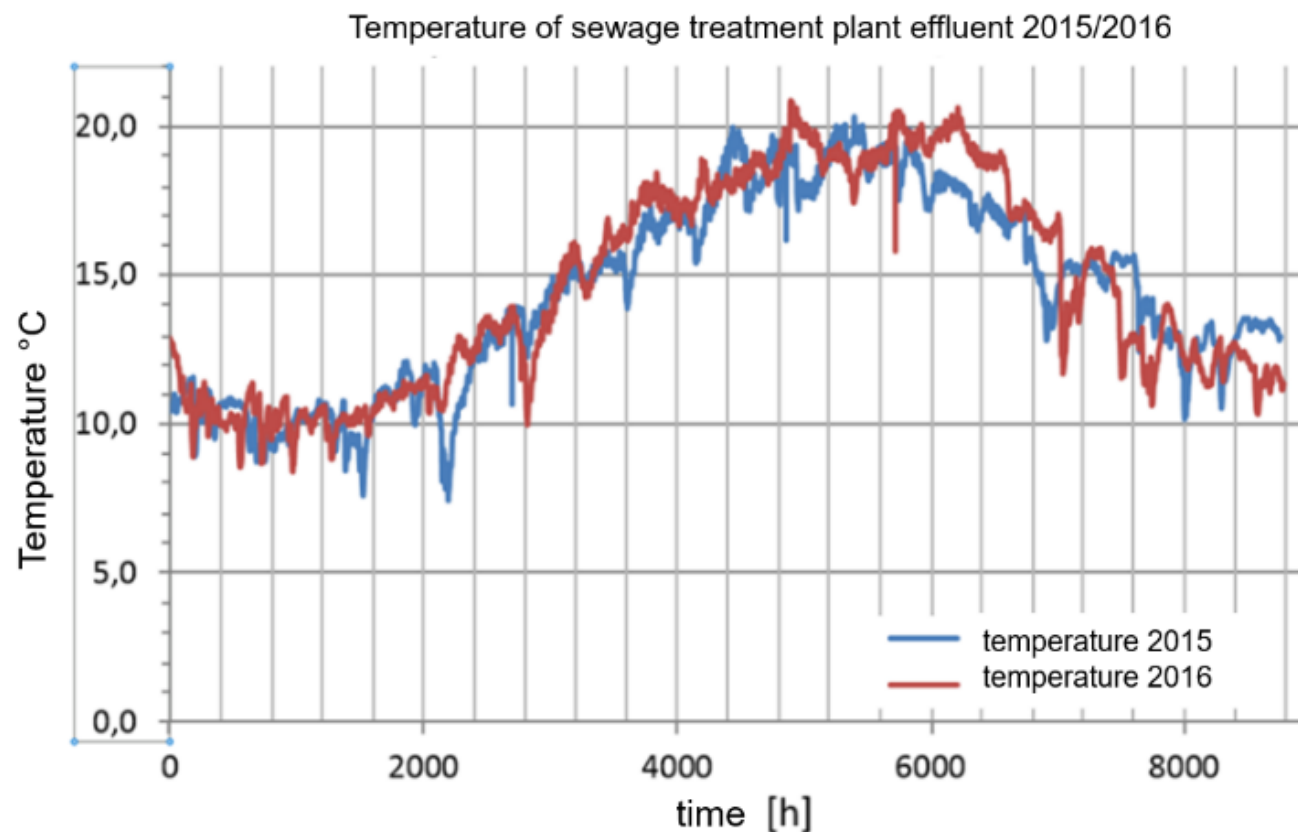
3. attēls. Gruntsūdens temperatūra no 1998. līdz 2009. gadā Bad Soden am Taunus pilsētā [Avots: Hessian State Office for Environment and Geology]

Siltuma avots – notekūdeņi

- Attīrīti notekūdeņi tiek izmantoti kā siltuma avots
- Jāsaskaņo ar esošajām prasībām notekūdeņu pārvaldības un apsaimniekošanas jomā
- **Notekūdeņu nodzesēšana** ir ierobežota
- Attīrīto notekūdeņu kvalitāte ir būtiska
 - Piem., dzelzs fosfāts izkrīt uz siltummaiņiem
 - Nepieciešamas filtru sistēmas vai īpaši tīrīšanas procesi, tāpēc plākšņu siltummaiņi nav īsti piemēroti



Siltuma avots – notekūdeņi



4. attēls: Kombinētās notekūdeņu attīrīšanas iekārtas attīrīto notekūdeņu temperatūra [Avots: Stadtwerke Lemgo]

Vispārējie darbības principi

Notekūdeņu izmantošana kā siltuma avotu

- Inovatīva tehnoloģija: gāzes absorbcijas siltumsūknis
- Izmantojot notekūdeņos esošo siltumu, samazināja CO₂ par 75 %
- Izmanto apkurei un karstā ūdens sagatavošanai
- Kondensācijas apkures iekārta, lai nosegtu pīķa slodzi



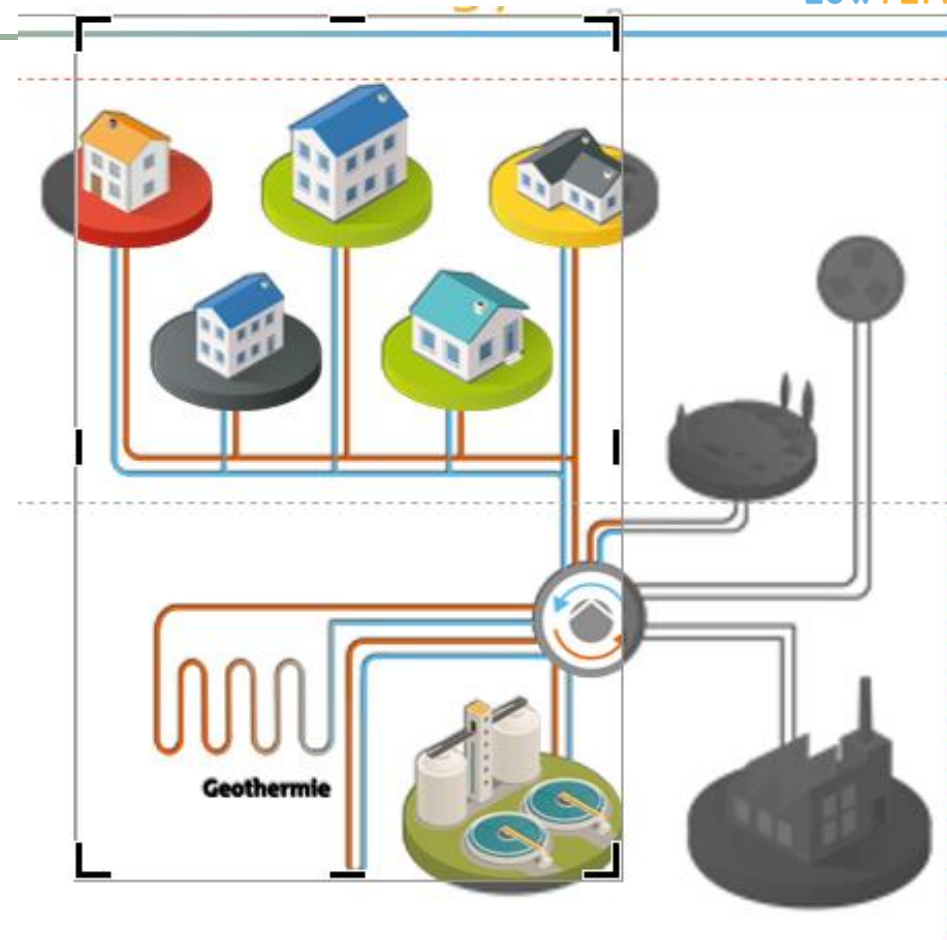
18. attēls: Notekūdeņu siltummainis. Avots: hamburgwasser.de



19. attēls: Notekūdeņu caurule. Avots: hamburgwasser.de

Siltuma avots – grunts

- Izmanto siltumu, kas ir gruntī un zemes virskārtā
- Lai to izdarītu, speciali siltumapmaiņas risinājumi tiek izmantoti (zemes kolektori vai zondes)
- Siltuma avota temperatūra ir atkarīga no izbūves dziļuma
- Jo dziļāk, jo nemainīgāka temperatūra
- **Zema siltuma avota temperatūra** > zemāka siltuma atdeve no 1 m² zemes kolektora laukuma > nepieciešama lielāka teritorija
- **Teritorijas izmantošana pēc tam ir ar zināmiem ierobežojumiem** (piem., lauksaimniecība parasti joprojām ir iespējama)



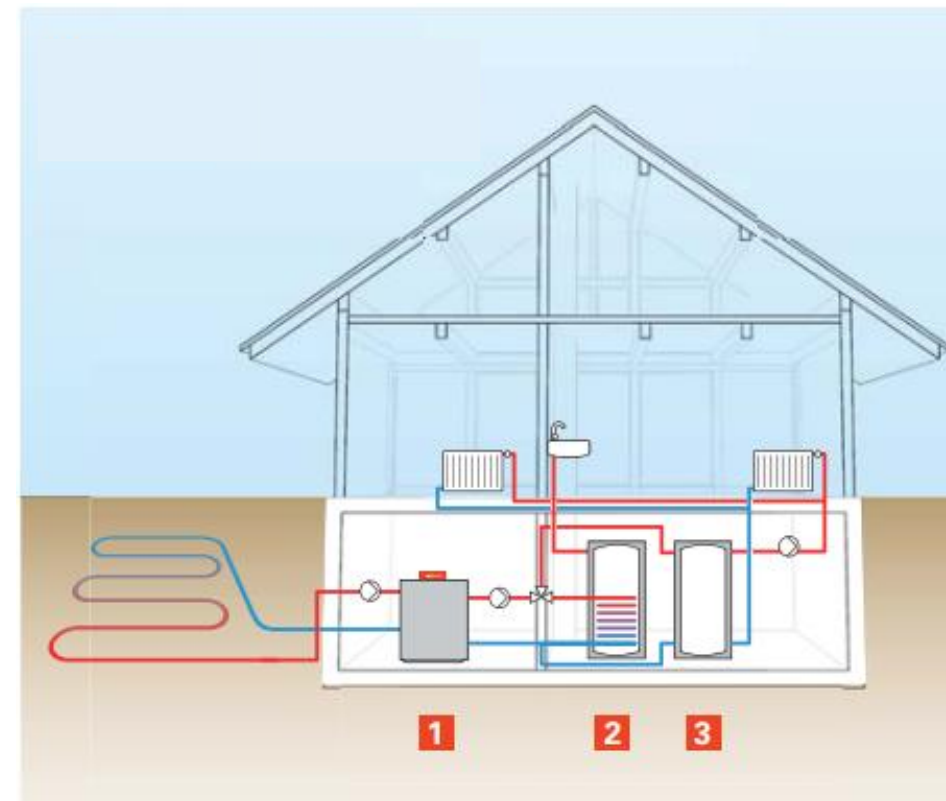
Vispārējie darbības principi

Grunts / ūdens siltumsūkņi – horizontālās zodes / kolektors

- Kontūrs ir horizontāls
- Dziļums 1,5 - 5 m
- Lai palielinātu siltumatdeves virsmu, tās var saritināt
- Nav nepieciešama urbšana



8. attēls: Zemes kolektoru risinājums. Avots: noventec.de

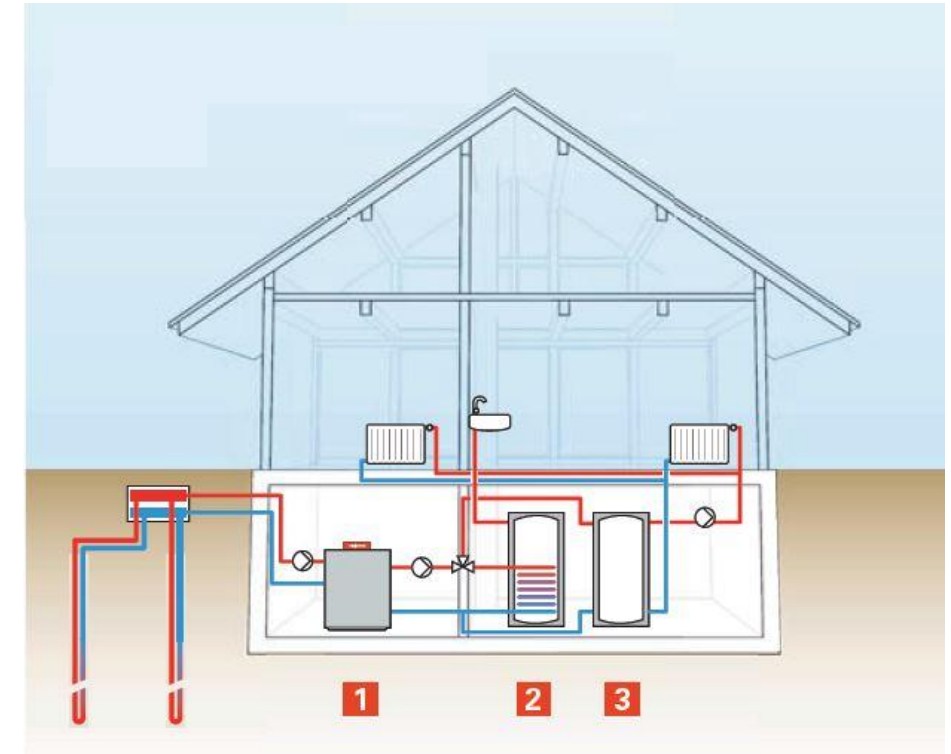


9. attēls: Zemes horizontālās zodes un grunts/ūdens siltumsūkņi. Avots: Viessmann

Vispārējie darbības principi

Grunts (zemes) / ūdens siltumsūkņi – (ģeo)termālās zondes

- Zondes ir vertikālas (kā urbumi)
- Dziļums: 5-100 m
- Jo dziļāks urbums, jo lielāka siltuma avota jauda (piem., W/m)
- **Pirms tam noteikti jāveic ģeoloģiskā izpēte**



5. attēls: Zemes/ūdens siltumsūkņis. Avots: Viessmann

Vispārējie darbības principi

Grunts / ūdens siltumsūkņi – (ģeo)termālās zondes

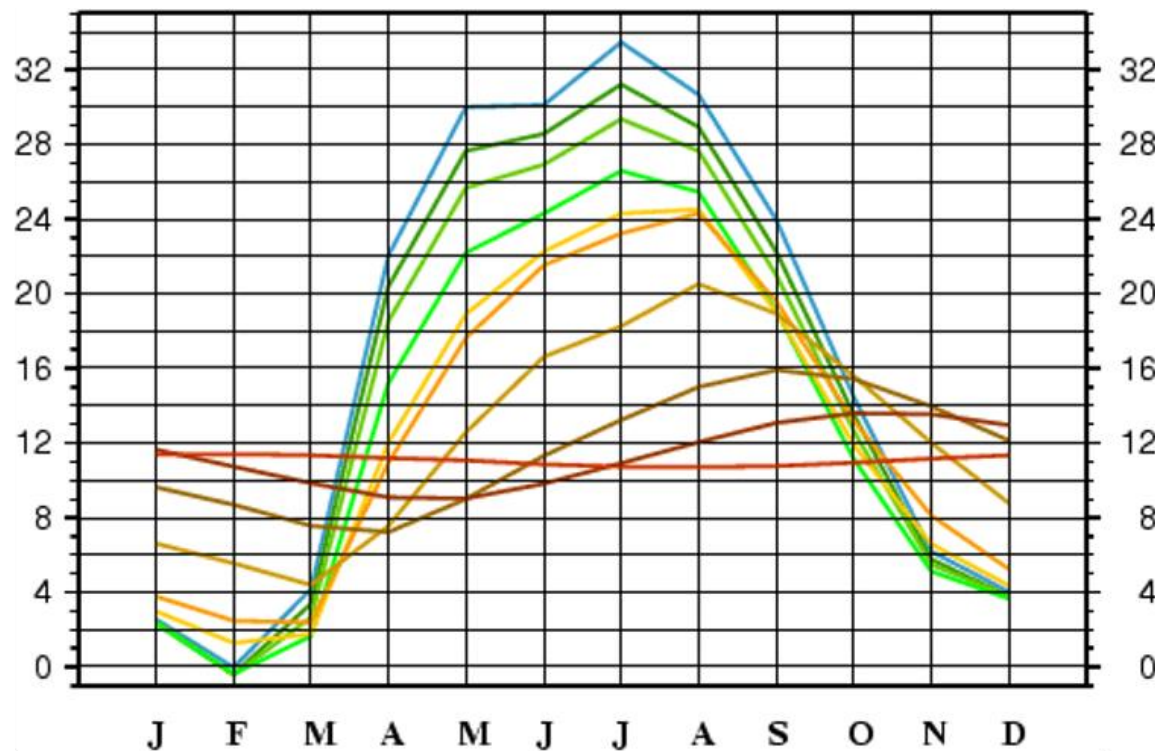


6. attēls: Zemes vertikālās zondes – urbšana un ierīkošana. Avots: sites.google.com



7. attēls: U-tipva zondes gals. Avots: wikipedia.de

Siltuma avots – grunts



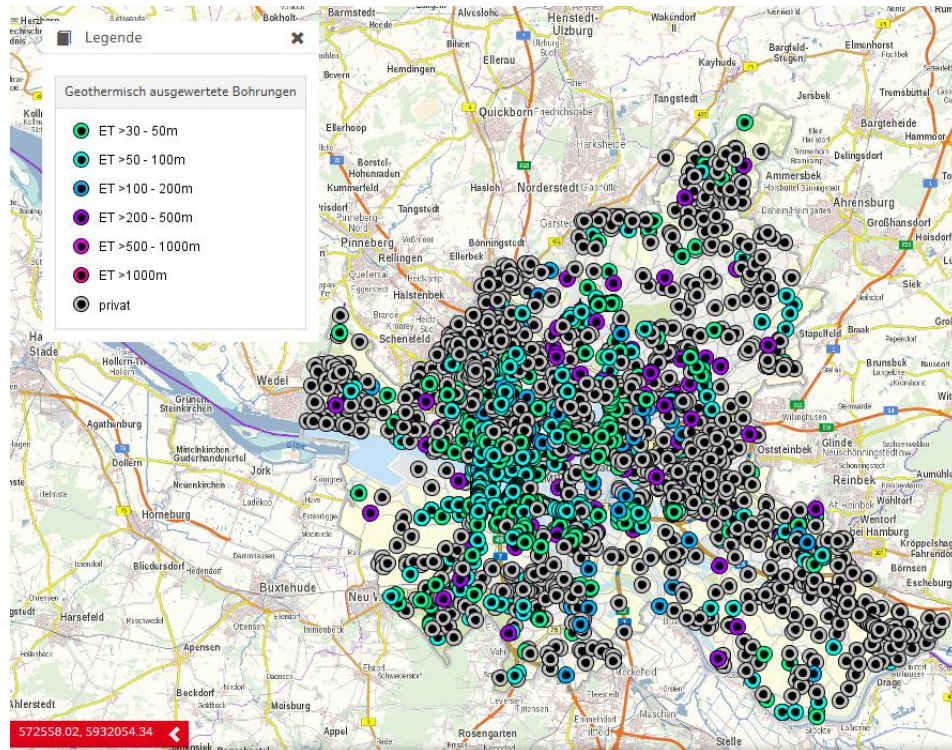
Groundtemperature (°C) in 2cm, 5cm, 10cm, 20cm, 50cm, 1m, 2m, 4m, 6m, 12m depth

5. attēls. Grunts temperatūras dažādos dziļumos [Avots: Potsdam Institute for Climate Research]

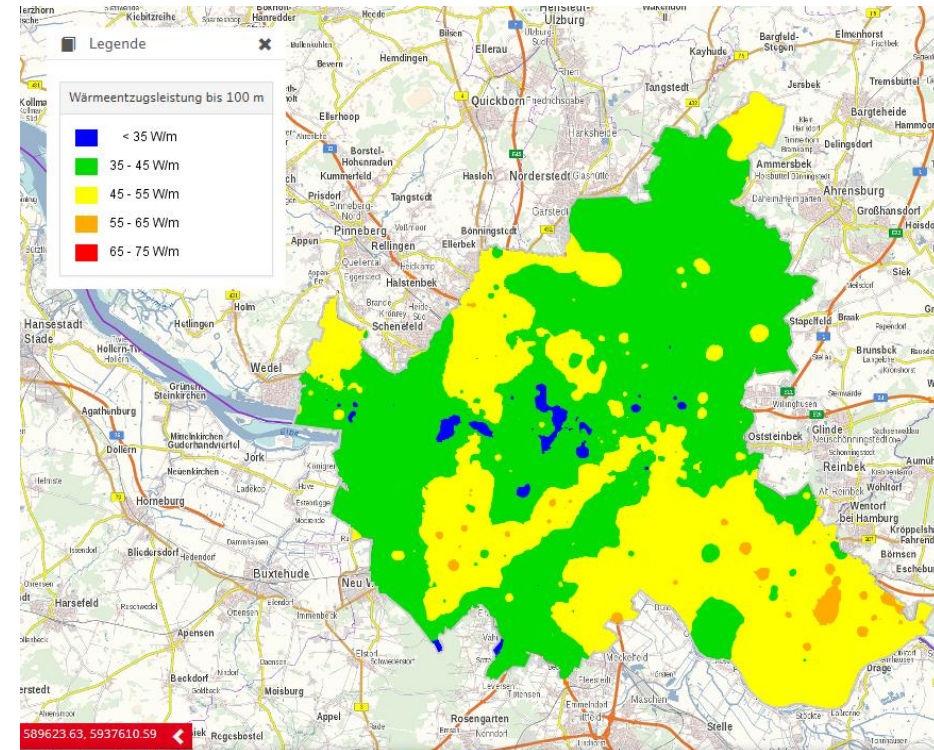
Vispārējie darbības principi

Urbumu reģistrs un siltumatdeves rādītāji (Hamburga, Vācija)

Īpatnējā ģeotermālās zondes siltuma ekstrakcijas jauda



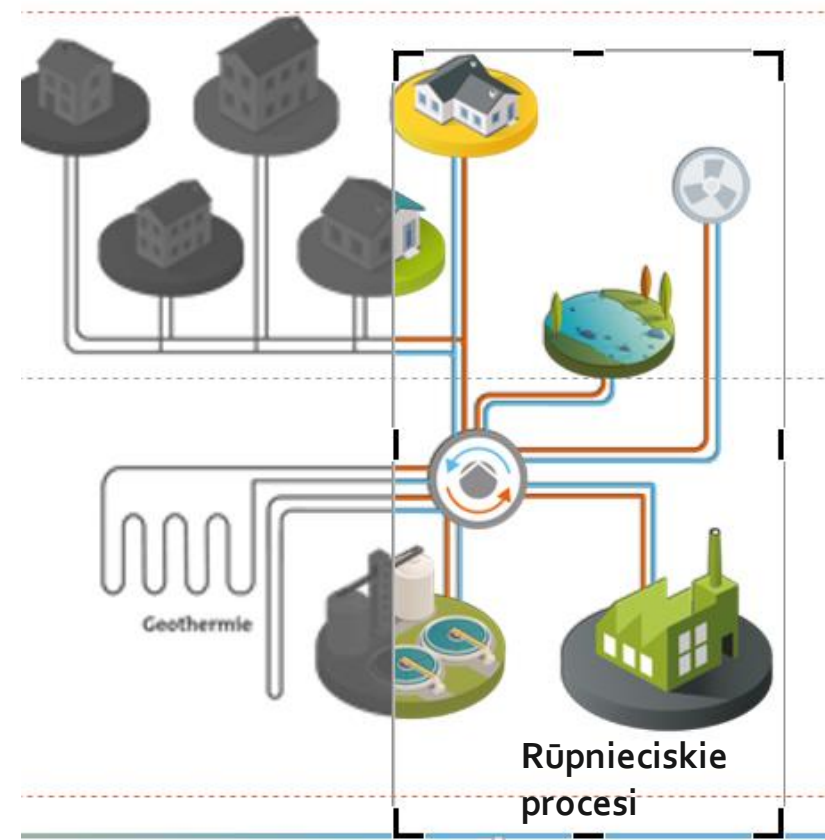
11: attēls. Urbumu reģistrs. Avots: geoportal-hamburg.de



12: attēls. Siltumatdeves rādītāji. Avots: geoportal-hamburg.de

Siltuma avots – rūpniecības siltuma atlikumi & pārpalikumi

- Ļoti piemērots siltumsūkņa darbībai (ja precīzi zināms sagaidāmais siltuma apjoms / siltuma jauda)
- **Jebkuri siltuma atlikumi** no rūpnieciskajiem procesiem ir ar potenciālu, ja tehniski to var izdarīt (piem., dzesēšanas ūdens & gaiss, u.c.)
- **Aktīva atdzesēšana** ir iespējama
- Arī dūmgāzes no rūpnieciskajiem procesiem var izmantot/kombinēt siltumsūkņu izmantošanai



Apkopojums

Heat source	Typical source temperatures	Temperature fluctuations	Typical availabilities	Further information
Ambient air	0 °C – 40 °C	High	April – September	Local (own) weather stations
Lakes and rivers	2 °C – 20 °C	Medium	April – October	Local, competent water authority
Groundwater	3 °C – 15 °C	Low	All year round	Competent water authority
Wastewater/ pure water	7 °C – 20 °C	Medium	All year round ⁴	Operator of the relevant sewage treatment plant
Shallow geothermal energy	0 °C – 19 °C	Medium	All year round	-
Industrial waste heat	14 °C – 50 °C	Individual	Individual	Corresponding industrial enterprise
Industrial flue gas/waste gas	30 °C – 50 °C	Low	Individual	Corresponding industrial enterprise

Table 1 Overview of heat sources [large heat pumps, supplemented] (AGFW)

Veiktspējas koeficients (COP – Coefficient of Performance)

... Raksturo siltumsūkņa efektivitāti – to raksturo saražotās lietderīgās siltumenerģijas attiecība pret patērēto elektroenerģiju

$$COP = \frac{|\dot{Q}_{lietderīgā}|}{P_{el.}}$$

- Siltuma avoti galvenokārt tiek uzskatīti, ka ir brīvi pieejami
- No siltuma avota paņemtais siltumenerģijas apjoms netiek ņemts vērā efektivitātes aprēķinā → Koeficients var būt >1
- **Siltumsūkņi var būt energoefektīvi un izmaksu efektīvi**
- Galvenais nosacījums: Jo mazāka ΔT jāsasniedz, jo lielāks COP

Pamatdati – Siltumsūkņu jaudas un dimensijas



Viens no 2 lielas jaudas siltumsūkņiem Vīnē, Austrija:

- Kopējā siltumjauda **40 MW**
- 25 000 mājsaimniecību siltumapgāde
- Temperatūras paaugstināšana no 6° līdz 95°C
- Samazinājums: 40 000 CO₂ tonnas/gadā

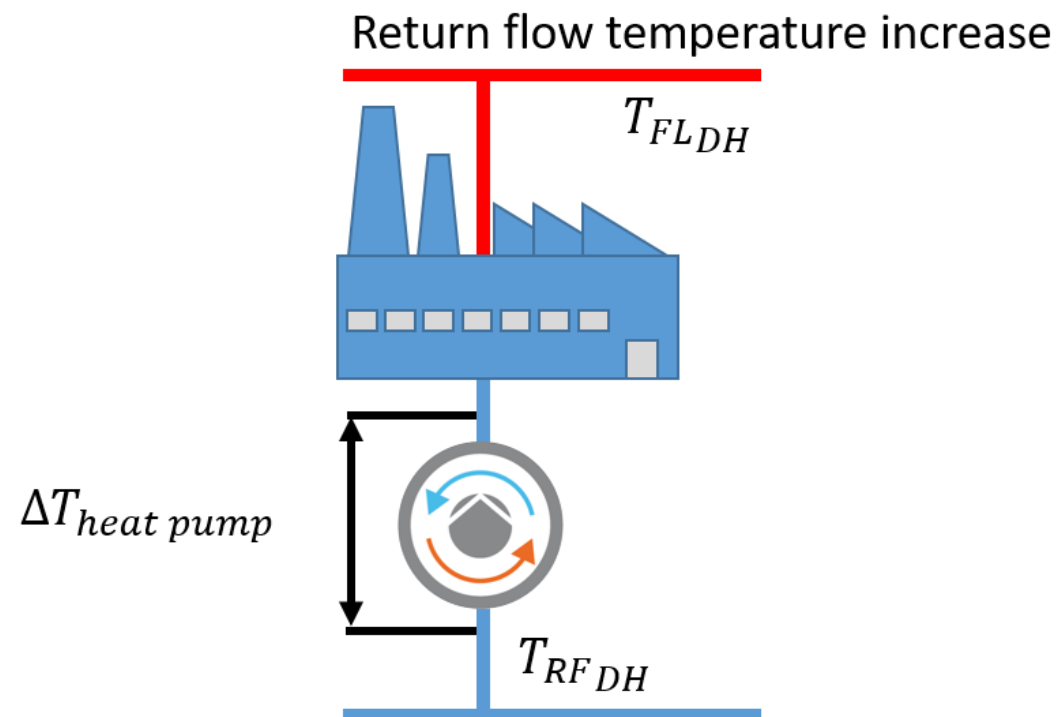
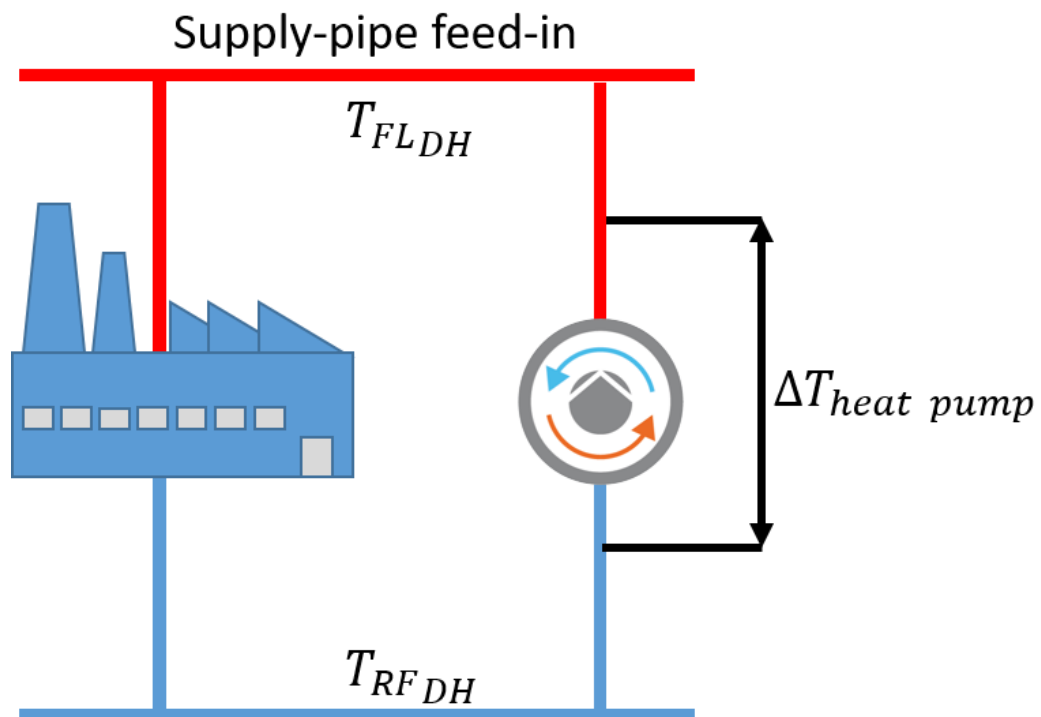
Avots: Wien Energie/Christian Hofer



- Gaiss/ūdens siltumsūkņis privātmājai (siltumjauda 6-12 kW)

Source: energie-experten.org

Siltumsūkņu integrēšana DH sistēmās



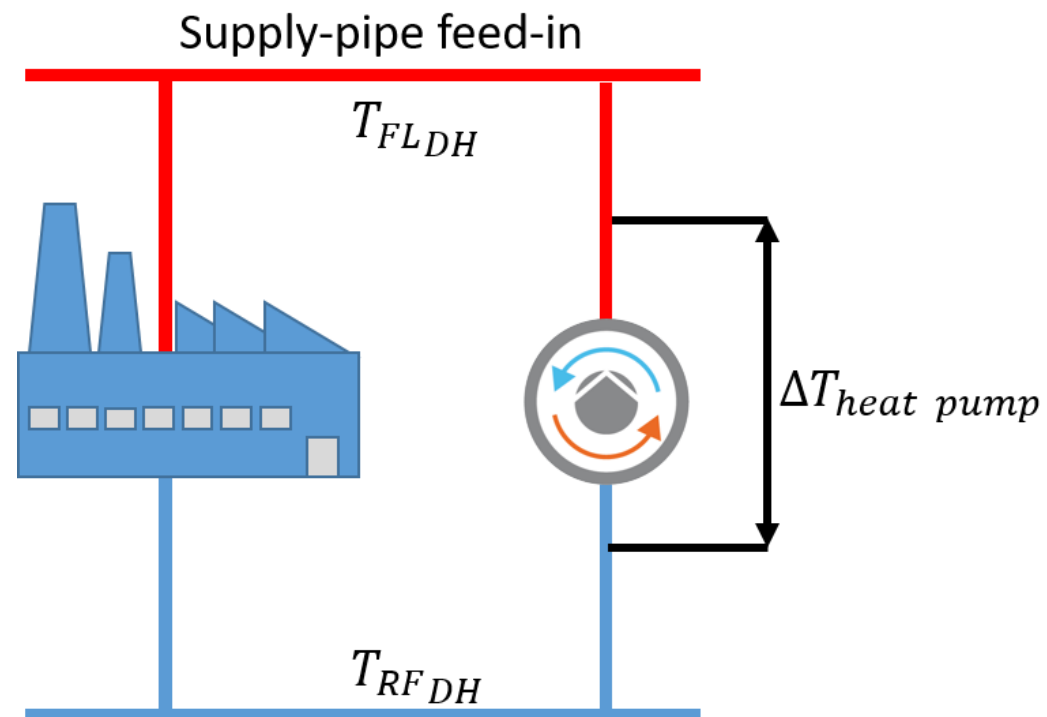
8. attēls. Lielas jaudas siltumsūkņu integrēšana DH sistēmās – turpgaitas padevē (attēls pa kreisi) un atgaitas temperatūras paaugstināšana (attēls pa labi) [Autoru attēli]

Avots: AGFW

Siltumsūkņu integrēšana DH sistēmās – turpgaitas padevē

- **LHP var būt tieši integrēts turpgaitā**, ja var nodrošināt nepieciešamo ΔT
- Siltumsūkņa jaudai jābūt pielāgotai maksimālajai turpgaitas plūsmas temperatūrai*

(*jo T_{FL} palielinās pazeminoties ārējais temperatūrai)



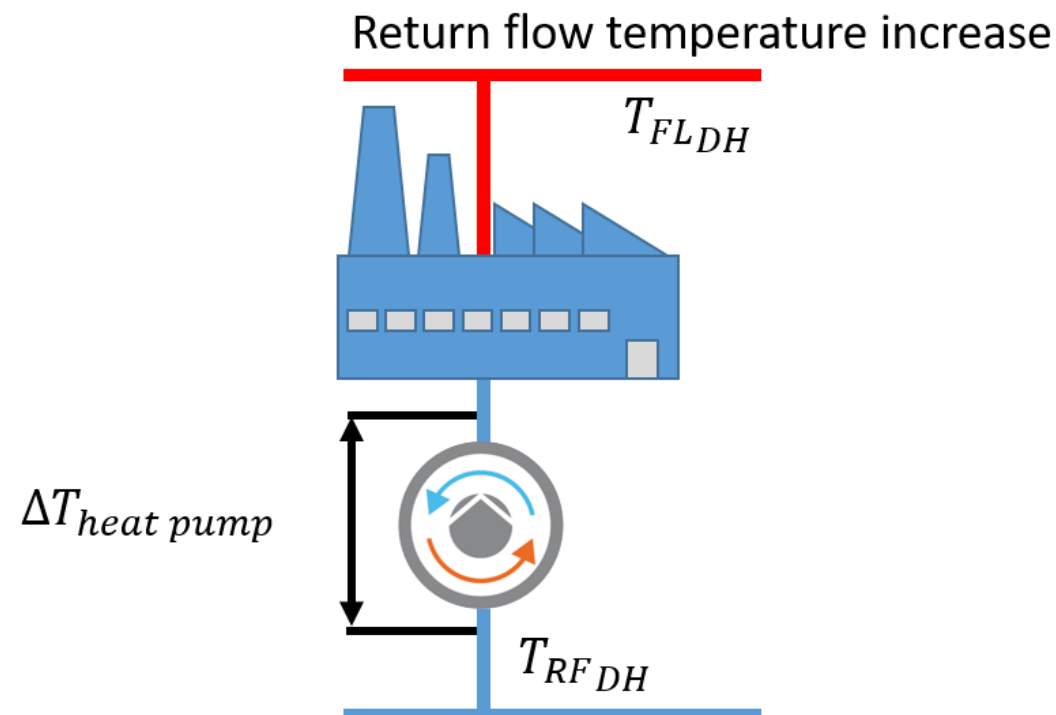
Avots: AGFW

Siltumsūkņu integrēšana DH sistēmās – Atgaitas temperatūras paaugstināšana



LowTEMP2.0

- Ja turpgaitas padevē siltumsūkņa efektivitāte ir zema, tad atgaitas temperatūras paaugstināšana var būt kā alternatīva
- **Ieguvumi:**
 - Daudz reālāka integrēšana esošajās DH sistēmās
 - Nākotnes potenciāls pāriet uz turpgaitas padeves risinājumu, jo tendence ir pazemināt T_{FL}



Avots: AGFW

Aukstumaģenti - Pētniecība & vides aspekti

- Esošais dalījums:

Dabiskie

- NH_3 (amonjaks) & CO_2
- Zems globālās sasilšanas potenciāls (GWP)
- Nav ozonu noārdīšanās potenciāla (ODP)
- Daži vai neviena ierobežojuma no ietekmes uz vidi viedokļa
- Parasti netiek izmantoti kā aukstumaģenti

Sintētiskie

- R-134a, R-152a & R-245fa
- Galvenokārt fluorogļūdeņradis (HFC)
- Ekoloģija un ietekme uz vidi
- Plaši izmantoti

Lielas jaudas siltumsūkņiem šobrīd nav ierobežojums HFC izmantošanā, bet aukstumaģentu izmantošana ar augstu GWP ir ierobežota ES F-gāzu regulā.

→ Kopumā klimata un vides politikas veicina pāreju uz dabiskajiem aukstumaģentiem!

Ekonomiskā dzīvotspēja

Investīciju sadalījums:

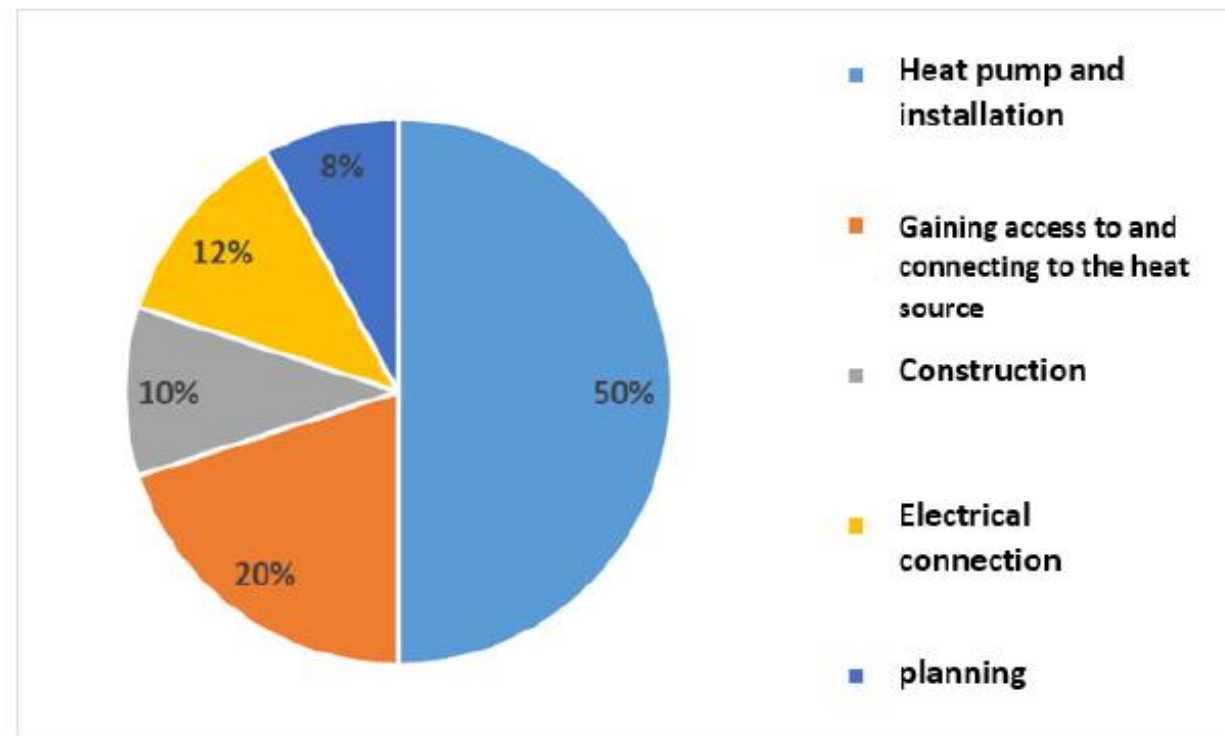
Lielas jaudas siltumsūkņu projekta pozīcijas:

- Siltumsūkņa iekārta
- Piekļuve un pieslēgums siltuma avotam
- Pieslēgums DH tīklam
- Elektroapgādes risinājums un pieslēgums
- Būvniecības izmaksas
- Projektēšanas un atļauju izmaksas

Ekonomiskā dzīvotspēja

Investīciju sadalījums:

- Siltumsūkņa iekārta ~ 50%
- Siltuma avota izmaksas ļoti atkarīgas no tā veida, ko raksturo:
 - Pieejamība
 - Iespējas pieslēgties un izmantot
 - Apkopes nepieciešamība un biežums
- Jāizvērtē siltumsūkņa integrēšanas risinājums un veids (piem., temperatūru režīms, tīkla spiediens, attālumi no/līdz siltumavotam, siltumsūknim un siltumtīkliem u.c.)



Investīciju sadalījums
Avots: Pieper and Energinet

Ekonomiskā dzīvotspēja

Īpatnējās investīcijas dažādām siltumsūkņu jaudām un izmantotajiem siltuma avotiem

Table 3 Specific amounts of the total investment in the case of large heat pumps, depending on the heat source used according to [Pieper]

Specific investment (total) in million €/MW _{th}	Flue gas	Wastewater	Waste heat	Groundwater	Air
0.5 – 1 MW _{th}	0.53 – 0.63	1.23 – 1.91	0.97 – 1.3	1.18 – 1.72	0.9 – 1.12
1 – 4 MW _{th}	0.46 – 0.53	0.72 – 1.23	0.72 – 0.97	0.77 – 1.18	0.73 – 0.9
4 – 10 MW _{th}	0.44 – 0.46	0.62 – 0.72	0.67 – 0.72	0.69 – 0.77	0.7 – 0.73

Avots: AGFW

Lielas jaudas siltumsūkņu ieguvumi integrējot DH sistēmās

DH sistēmas elastīguma paaugstināšana

- Ātra + relatīvi lēta uzsākšana
- Optimizēts bāzes jaudu darbības laiks

Labāka siltuma ražošanas pārpalikuma izmantošana

- Zemas temperatūras un citu siltuma zudumu izmantošana

Risku minimizēšana

- Kurināmā cenu izmaksu ietekmes minimizēšana
- Energoavotu dažādošana, siltumapgādes un dzēsēšanas kombinēšana

AER īpatsvara palielināšana

- Nav degšanas process
- Publiskais tēls un reputācija



LowTEMP2.0

Kontaktinformācija

AGFW-Project GmbH

Racionalizācijas, informācijas un
standartizācijas projektu kompānija

Georg Bosak
Urbānās attīstības departaments

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Vācija

E-pasts: info@agfw.de
Tel: +49 69 6304 - 247
www.agfw.de

Pielāgoja / moduli tulkoja:

Rīgas Tehniskā Universitāte

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Dagnija Blumberga, Professore
Francesko Romagnoli, Profesors
Dzintars Jaunzems, Docents
Ieva Pakere, Docente
Vladimirs Kirsanovs, Docents

Āzenes iela 12/1-609
1048 Rīga
Latvija

E-pasts: dagnija.blumberga@rtu.lv
Tālrunis: +371 67089943
www.rtu.lv, www.videszinatne.lv
www.lowtemp.eu