

# JAHUTUS

- Vajadused ja eesmärgid
  - ✓ Inimese soojustasakaal
  - ✓ Inimese termoregulatsioon komfordipiirkonnas
  
- Sisekliima nõuete tagamine kui jahutuse eesmärk
  - ✓ Rahuldav töökeskkond
  - ✓ Suurenenud töövõime ja sellega kaasnev tootluse kasv

# NÄIDE JAHUTUSE TASUVUSE KOHTA

Installeerime jahutusseadmed, mis võimaldavad soojal perioodil langetada ruumi temperatuuri kuni 4 °C. Eeldame jahutusvajaduseks ühe töötaja kohta 600 W, s.o jooksva elektrienergia kulus ca 200 W võimsust. Investeeringud on ligikaudu 700 EUR/kW ehk 420 EUR/töötaja. Kasulik tööperiood aasta jooksul on ligikaudu 700 tundi (u 4 soojema kuu jooksul). Arvestades elektri hinnaks 0,12 EUR/kW, saame aastaseks elektrikuluks 17 EUR/töötaja. Seadmete hoolduskuludeks arvestame ligikaudu 1% soetushinnast, aastas – 4 EUR/töötaja. Seega jooksvad kulud aastas on kokku 21 EUR/töötaja.

Töötaja aastased palgakulud on umbes 10 000 EUR. Arvestame paremast sisekliimast tuleva töövõime kasvuks 20% nelja kuu jooksul, mis teeb 660 EUR töötaja kohta aastas.

Tagasimaksu aeg on suhe investeeringute ja toodangu kasvust tingitud säästust (viimasest maha lahutatud jooksvad kulud):

$$(700 / (660-21)) = 1,1 \text{ aastat!}$$

Võib varieerida arvudega (palgad, tootlikkuse kasv) jms, ent üldsuund on selline.

# JAHUTUSKOORMUS

- Vajadused ja eesmärgid
  - ✓ Ehituslik-konstruktiivsed abinõud
  - ✓ Tehnosüsteemid
- Jahutuskoormuse leidmine – süsteemide kavandamise lähtekoht

**Jahutuse kavandamisel on  
peaeesmärk optimaalne sisekliima  
põhjendatud kulutustega**

# LIIGSOOJUSE ALLIKAD

- Ruumis viibivad inimesed
- Tarbitavat elektrienergiat soojuseks muundavad tehnilised seadmed
- Valgustus
- Päike (eelkõige läbi klaaspindade)
- Soojuslähikanne e. soojajuhtivus läbi piirete

# LÄHTEANDMETE ORGANISEERIMINE

- ❑ Nõutavad sisekliima parameetrid
- ❑ Reaalsed ja arvutuslikud väliskliima parameetrid
- ❑ Jahutuse kavandaja poolne selgitustöö omanikule, arhitektuuri ja kujunduse teostajatele – optimeerimine konstruktsioonide ja interjööoriga

# VÄLISKLIIMA PARAMEETRID

| KOHT         | 3 tunni keskmine |    |    | 15 tunni keskmine |    |    | 37 tunni keskmine |    |    |
|--------------|------------------|----|----|-------------------|----|----|-------------------|----|----|
|              | h                | t, | RH | h                 | t, | RH | h                 | t, | RH |
|              | kJ/kg            | °C | %  | kJ/kg             | °C | %  | kJ/kg             | °C | %  |
| Tallinn      | 63               | 27 | 65 | 57                | 24 | 70 | 53                | 23 | 70 |
| Tartu        | 63               | 28 | 65 | 61                | 26 | 65 | 56                | 24 | 65 |
| Pärnu        | 67               | 28 | 65 | 63                | 26 | 70 | 57                | 24 | 70 |
| Narva        | 63               | 27 | 65 | 61                | 26 | 65 | 57                | 24 | 70 |
| Kuressaare   | 63               | 26 | 70 | 57                | 24 | 70 | 49                | 21 | 70 |
| Ristna       | 63               | 26 | 70 | 57                | 24 | 70 | 52                | 21 | 75 |
| Türi         | 64               | 28 | 60 | 61                | 27 | 60 | 56                | 25 | 60 |
| Väike-Maarja | 63               | 27 | 65 | 58                | 25 | 65 | 51                | 23 | 65 |

# JAHUTUSVÕIMSUS JA ÕHUHULK

- 1) Soojuseralduste järgi:  $L = Q / (h_{vt} - h_{sp}) \times \rho$
- 2) Temperatuuride vahe järgi:  $L = Q / (t_{vt} - t_{sp}) \times c \times \rho$

Siinkohal:

L – õhuhulk, m<sup>3</sup>/h

Q – eralduv liigsoojus, kJ/h

h – soojussisaldus, kJ/kg

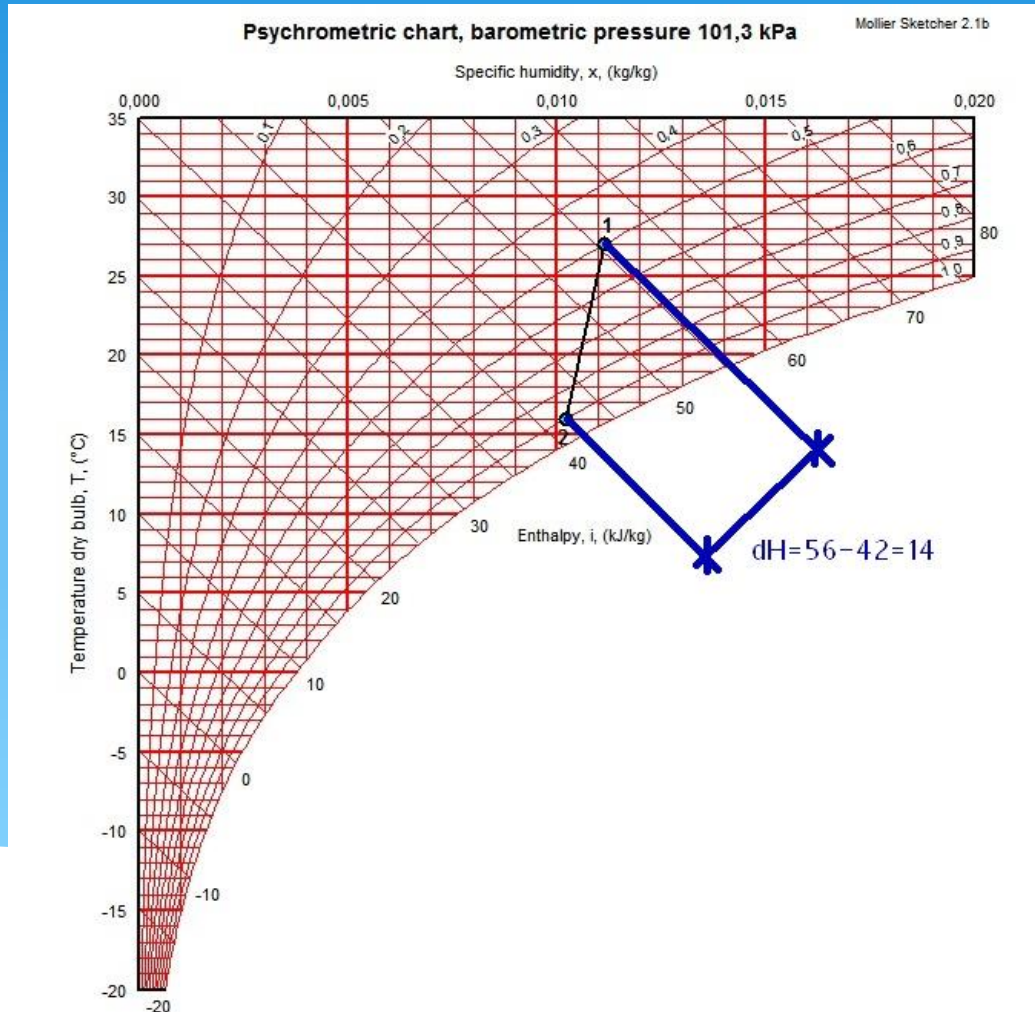
t – temperatuur, °C

ρ – õhu tihedus (kg/m<sup>3</sup>)

c – õhu masserisoojus (kJ/kg °C)

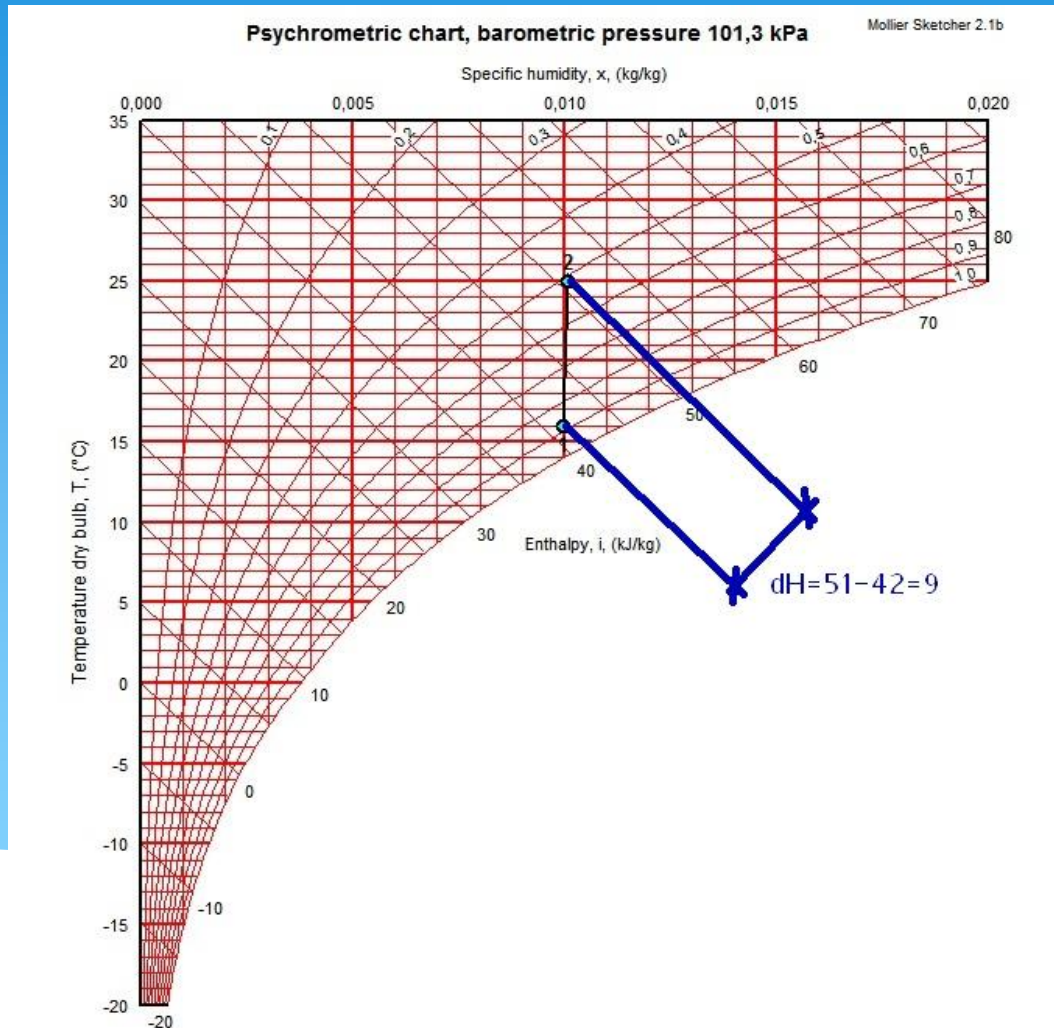
Indeksid vastavalt väljatõmme (<sub>vt</sub>) ja sissepuhe (<sub>sp</sub>)

# VÄLISÕHU JAHUTAMINE





# RUUMIÕHU JAHUTAMINE

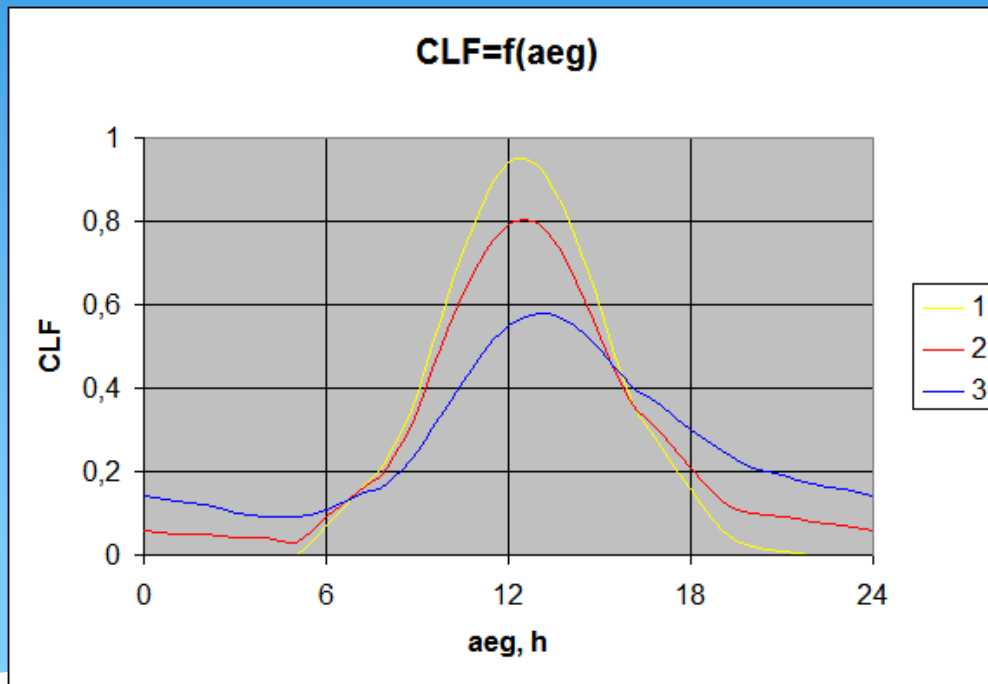


# LIIGSOOJUSE ARVESTAMINE

- Inimesed ... al 75 W (kontoritöö)
- Tehnilised seadmed (allpool)
- Valgustus (ca 5...15W/m<sup>2</sup>)
- Soojusjuhtivus läbi piirete (tavaliselt vähetähtsam)
- Päike

# VARASEMAD PRAKTIKAD, 1

Cooling Load Factor (ASHRAE) mittedünaamilistes arvutustes



- 1) kerge konstruktsiooniga hoone (põrandad vaipkattega);
- 2) raske konstruktsiooniga hoone (põrandad vaipkattega);
- 3) raske konstruktsiooniga hoone (põrandad ilma vaipkatteta).

# VARASEMAD PRAKTIKAD, 2

**Lisa A** (teatmelisa)

## Orienteeruva soojuseralduse määramine

1) Soojuseraldus (üldine) inimestelt:

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| - ruumi temperatuur 20 °C kuni 22 °C | 100W/inim. |
| - ruumi temperatuur 23 °C kuni 25 °C | 90 W/inim. |
| - ruumi temperatuur 26 °C kuni 28 °C | 80 W/inim. |

Soojuseraldus on eeltoodutest suurem seisval inimesel 20 %, töötaval 50 %.

2) Elektervalgustusest 20 W/m<sup>2</sup>.

3) Arvutitelt 200 W/arvuti kuni 400 W/arvuti.

4) Elektriseadmetelt 1 W/W (sh televiisor 120 W, grafoprojektor 200 W, koopia-  
masin 450 W jt).

Liigsoojuse orienteeruva koondnäitajana kontoriruumides võib tavalise suurusega aknapindade, normaalse tehnoloogia ja keskmise inimeste tihedusega ruumis arvestada:

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| - hoone lõunapoolses küljes | ca 100 W/m <sup>2</sup>                        |
| - hoone põhjapoolses küljes | 40 W/m <sup>2</sup> kuni 50 W/m <sup>2</sup> . |

# TEHNILISED SEADMED, 1

| Equipment                       | Description  | Nameplate Power, W | Average Power, W | Radiant Fraction  |
|---------------------------------|--|--------------------|------------------|-------------------|
| Desktop computer <sup>a</sup>   | Manufacturer A (model A); 2.8 GHz processor, 1 GB RAM                  | 480                | 73               | 0.10 <sup>a</sup> |
|                                 | Manufacturer A (model B); 2.6 GHz processor, 2 GB RAM                  | 480                | 49               | 0.10 <sup>a</sup> |
|                                 | Manufacturer B (model A); 3.0 GHz processor, 2 GB RAM                  | 690                | 77               | 0.10 <sup>a</sup> |
|                                 | Manufacturer B (model B); 3.0 GHz processor, 2 GB RAM                  | 690                | 48               | 0.10 <sup>a</sup> |
|                                 | Manufacturer A (model C); 2.3 GHz processor, 3 GB RAM                  | 1200               | 97               | 0.10 <sup>a</sup> |
| Laptop computer <sup>b</sup>    | Manufacturer 1; 2.0 GHz processor, 2 GB RAM, 430 mm screen             | 130                | 36               | 0.25 <sup>b</sup> |
|                                 | Manufacturer 1; 1.8 GHz processor, 1 GB RAM, 430 mm screen             | 90                 | 23               | 0.25 <sup>b</sup> |
|                                 | Manufacturer 1; 2.0 GHz processor, 2 GB RAM, 355 mm screen             | 90                 | 31               | 0.25 <sup>b</sup> |
|                                 | Manufacturer 2; 2.13 GHz processor, 1 GB RAM, 355 mm screen, tablet PC | 90                 | 29               | 0.25 <sup>b</sup> |
|                                 | Manufacturer 2; 366 MHz processor, 130 MB RAM (355 mm screen)          | 70                 | 22               | 0.25 <sup>b</sup> |
|                                 | Manufacturer 3; 900 MHz processor, 256 MB RAM (265 mm screen)          | 50                 | 12               | 0.25 <sup>b</sup> |
| Flat-panel monitor <sup>c</sup> | Manufacturer X (model A); 760 mm screen                                | 383                | 90               | 0.40 <sup>c</sup> |
|                                 | Manufacturer X (model B); 560 mm screen                                | 360                | 36               | 0.40 <sup>c</sup> |
|                                 | Manufacturer Y (model A); 480 mm screen                                | 288                | 28               | 0.40 <sup>c</sup> |
|                                 | Manufacturer Y (model B); 430 mm screen                                | 240                | 27               | 0.40 <sup>c</sup> |
|                                 | Manufacturer Z (model A); 430 mm screen                                | 240                | 29               | 0.40 <sup>c</sup> |
|                                 | Manufacturer Z (model C); 380 mm screen                                | 240                | 19               | 0.40 <sup>c</sup> |

# TEHNILISED SEADMED, 2

| Equipment  | Description                              | Nameplate Power, W | Average Power, W  | Radiant Fraction            |
|--|--|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| Laser printer, typical desktop, small-office type <sup>a</sup> | Printing speed up to 10 pages per minute | 430                | 137               | 0.30 <sup>a</sup>           |
|  | Printing speed up to 35 pages per minute | 890                | 74                | 0.30 <sup>a</sup>           |
|  | Printing speed up to 19 pages per minute | 508                | 88                | 0.30 <sup>a</sup>           |
|  | Printing speed up to 17 pages per minute | 508                | 98                | 0.30 <sup>a</sup>           |
|  | Printing speed up to 19 pages per minute | 635                | 110               | 0.30 <sup>a</sup>           |
|  | Printing speed up to 24 page per minute  | 1344               | 130               | 0.30 <sup>a</sup>           |
| Multifunction (copy, print, scan) <sup>b</sup>                 | Small, desktop type                      | 600                | 30                | d                           |
|  | Medium, desktop type                     | 40                 | 15                | d                           |
| Scanner <sup>b</sup>   | Medium, desktop type                     | 700                | 135               | d                           |
| Scanner <sup>b</sup>   | Small, desktop type                      | 19                 | 16                | d                           |
| Copy machine <sup>c</sup>                                      | Large, multiuser. office type            | 1750               | 800 (idle 260 W)  | d (idle 0.00 <sup>c</sup> ) |
|  |  | 1440               | 550 (idle 135 W)  | d (idle 0.00 <sup>c</sup> ) |
|  |  | 1850               | 1060 (idle 305 W) | d (idle 0.00 <sup>c</sup> ) |

# TEHNILISED SEADMED, 3

SOOVITUS KASUTADA:  
Energiamõõturid koormuste  
täpsemaks määramiseks



# PÄIKE, 1

Maksimaalne päikese kiirguskoormus  $W/m^2$  vertikaalsele ja horisontaalsele klaaspinnale (ASHRAE järgi):

| KUU       | N   | E/W | S   | Horisontaalne |
|-----------|-----|-----|-----|---------------|
| Jaanuvar  | 22  | 145 | 517 | 66            |
| Märts     | 63  | 546 | 764 | 404           |
| Mai       | 136 | 669 | 612 | 656           |
| Juuli     | 139 | 656 | 599 | 653           |
| September | 66  | 505 | 729 | 388           |
| November  | 22  | 142 | 505 | 69            |



# PÄIKE, 2

Varjestuse efekt:

|                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| Tavaline 2-kordne aken (klaas) | 0,75 ... 0,88 |
| Soojust neelva/peegeldav klaas | 0,30 ... 0,60 |
| Hele ribikardin seespool       | 0,75          |
| Tume ribikardin seespool       | 0,85          |
| Ribid seespool                 | 0,7           |
| Ribid kahe klaasi vahel        | 0,4           |
| Välimine kate                  | 0,14          |

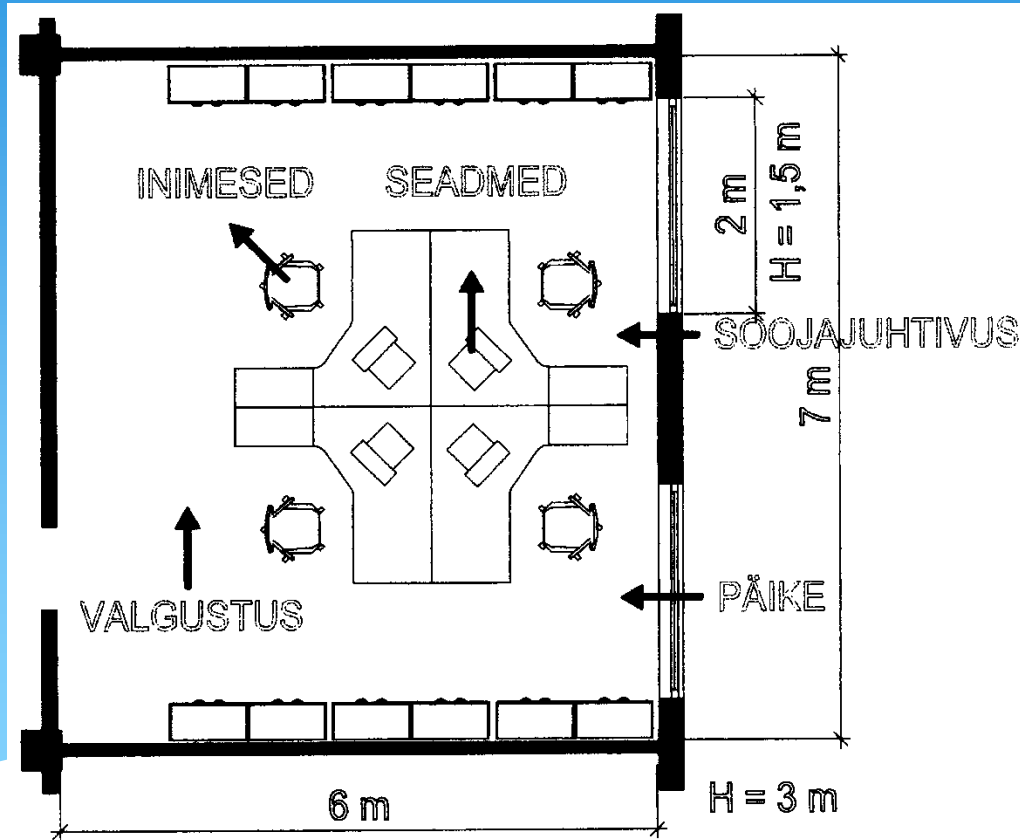
# PÄIKE, 3

- ❑ Peegeldavad jms spetsiaalklaasid harilike asemel alandavad ruumi sattuvat soojushulka umbes kaks korda
- ❑ Eelistatumad on heledamat tooni aknakatted
- ❑ Suurima efekti annab akna välimine (fassaadil) varjestamine päikesevarjuga või žalusiiga (suunatus ja ilmakaared!)
- ❑ Ribakardinate efektiivsus on suurem, kui need kahe klaasi vahel (kolme klaasi puhul kahe välimise vahele)

# PÄIKE, 4

- ❑ Henrik Voll: Passiivsete arhitektuuriliste jahutusmeetmete kasutamine ühiskondlike hoonete kavandamisel. Innovatiivne lähenemine energiakokkuhoiule (<http://www.ekvy.ee/attachments/article/16/Päevavalgus%20ja%20energiatõhusus.pdf>)
- ❑ Enno Abel, Henrik Voll: Hoonete energiatarve ja sisekliima

# JAHUTUSKOORMUS ERINEVATE TINGIMUSTEGA, NÄIDE, 1

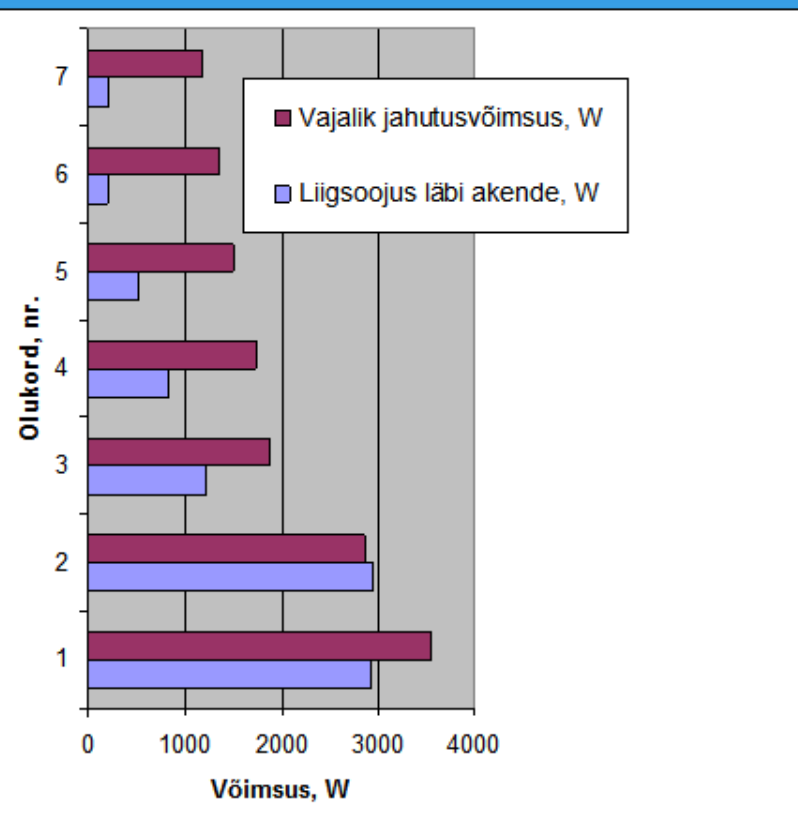


Liigsoojusallikad:

- töötajad,  $4 \times 100 \text{ W} = 400 \text{ W}$ ;
- seadmed (4 kompuutrit, á  $100 \text{ W}$  + muud seadmed  $500 \text{ W}$ , kokku  $900 \text{ W}$  valgustus,  $15 \text{ W/m}^2$ , koormusteguriga  $0,5$  – kokku  $315 \text{ W}$ );
- päike läbi klaaspindade läänes (kokku  $6 \text{ m}^2$ );
- ventilatsioon (ilma jahutusega), arvestades normatiivseid õhuhulki (kokku  $40 \text{ l/s}$ ).

# JAHUTUSKOORMUS ERINEVATE TINGIMUSTEGA, NÄIDE, 2

| Number (graafikul 2) | Olukord  |
|----------------------|--|
| 1                    | Kerge konstruktsioon, 2xklaasaken (SC=0,80), ilma varjestuseta (SC=1,00), ventilatsioon töötab töö ajal (10 h) |
| 2                    | Samad tingimused, ent raske konstruktsioon   |
| 3                    | Kasutatakse spetsiaalklaasi, näiteks Pilkington D6-12 Kappa Opt. Silver (SC=0,31, U=1,7)                       |
| 4                    | Kasutatakse lisaks sisemist varjestust heledate ribidega (SC=0,70)   |
| 5                    | Kasutatakse sisemise varjestuse asemel ribisid kahe klaasi vahel (SC=0,40)                                     |
| 6                    | Kasutatakse sisemise varjestuse asemel välimist varjestust (SC=0,15)   |
| 7                    | Lisaks töötab ventilatsioon ööpäevaringselt (õine "tasuta" mahajahutamine)                                     |



# JAHUTUSKOORMUS ERINEVATE TINGIMUSTEGA, NÄIDE, 3

## JÄRELDUSED:

- raskete konstruktsioonide kasutamine kergete asemel annab 20% kokkuhoidu jahutuskoormuses
- spetsiaalklaasid annavad kolmandiku võrra kokkuhoidu
- omakorda kolmandik kokkuhoidu lisandub välimise varjestusega
- öine ventilatsioon vähendab päevast jahutuskoormust (jahutades maha konstruktsioone ja sisustust)
- kasutades ventilatsiooni sissepuhkel jahutuspatareid tuleb ruumide jahutussüsteem väiksem

# JAHUTUSE SIMULATSIOONID

- „Riuskad ja Idad“, varasemad meetodid
- Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamine
- TTÜ 2010 Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine  
([http://www.mkm.ee/public/hoonete-mn\\_BV2\\_lopparuanne.pdf](http://www.mkm.ee/public/hoonete-mn_BV2_lopparuanne.pdf))
  
- Lähteandmed! Lähteandmed!!

# KÜLMAVARUSTUSEST ÜLDISELT, 1

- ❑ Jahutussüsteem konstrueeritakse tavaliselt sisemise aurustina. Ruumides eralduv soojus juhitakse hoonest välja läbi välisõhus paikneva kondensaatori.
- ❑ Soovitatav on kasutada hoonesisese paigutusega külmamasinat. Sel juhul saab valdavas osas süsteemis (külmamasina ja ruumiseadmete vahel) kasutada külmakandjana vett. Vabajahutuse võimalus. Välispaigalduse korral tuleb süsteemis kasutada antifriise.



# KÜLMAVARUSTUSEST ÜLDISELT, 2

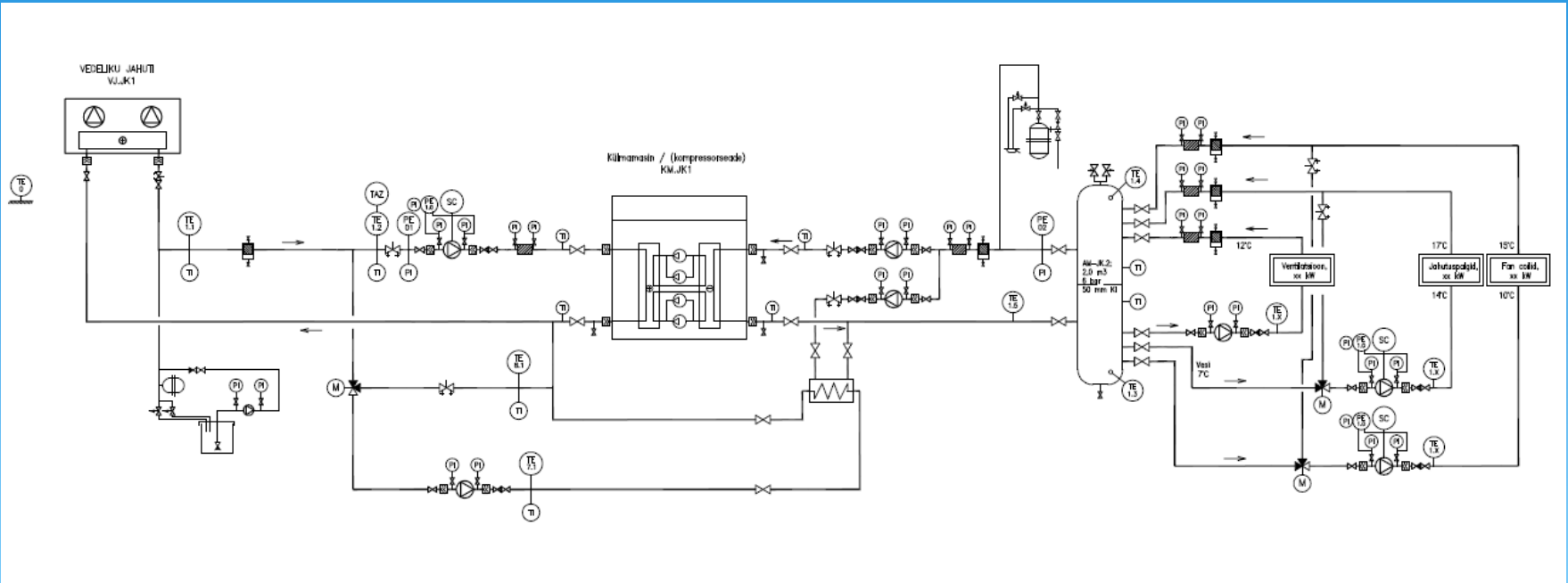
## TÜÜBID:

- Ventilatsioon
- Jahutuspalgid
- Fan coil*'id
- TABS

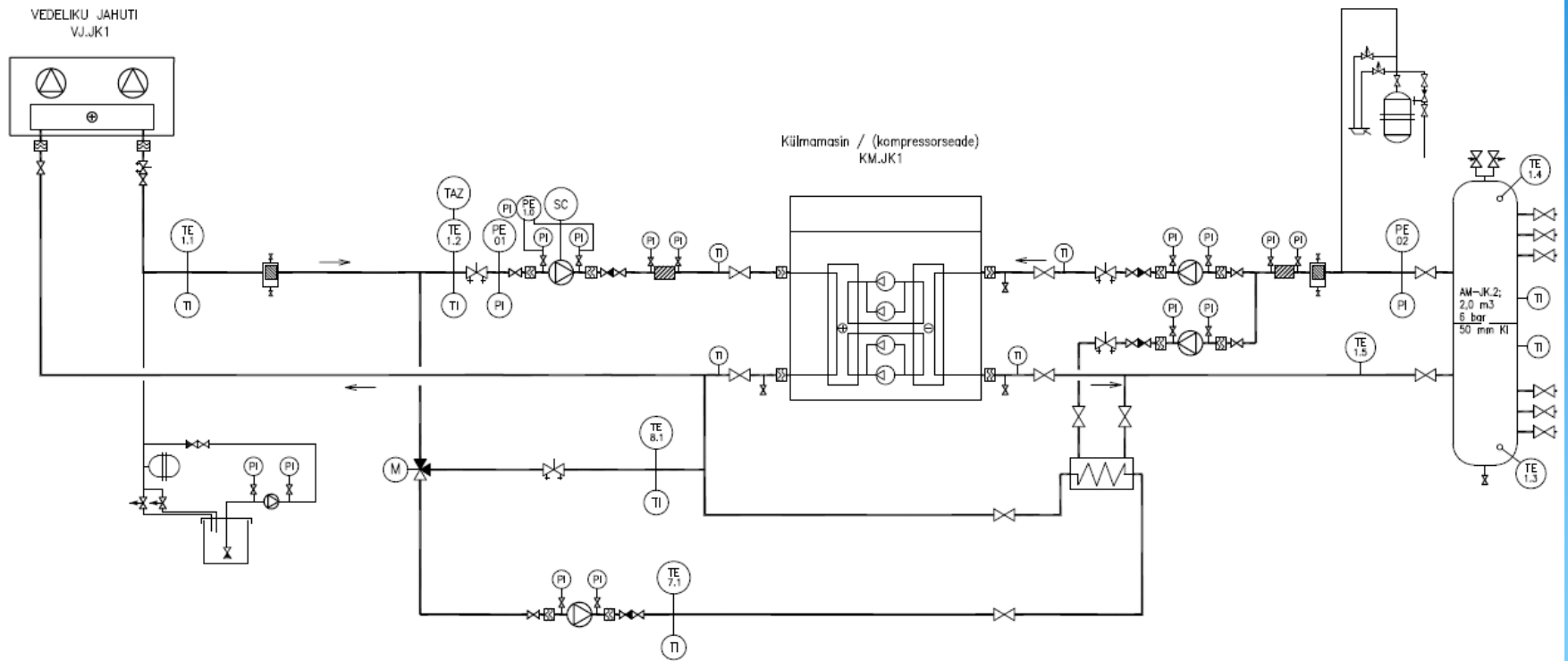
## ALLIKAD:

- Kompressorseade (koos vabajahutusvõimalusega)
- Soojuspump
- Kaugjahutus, trigeneratsioon ...

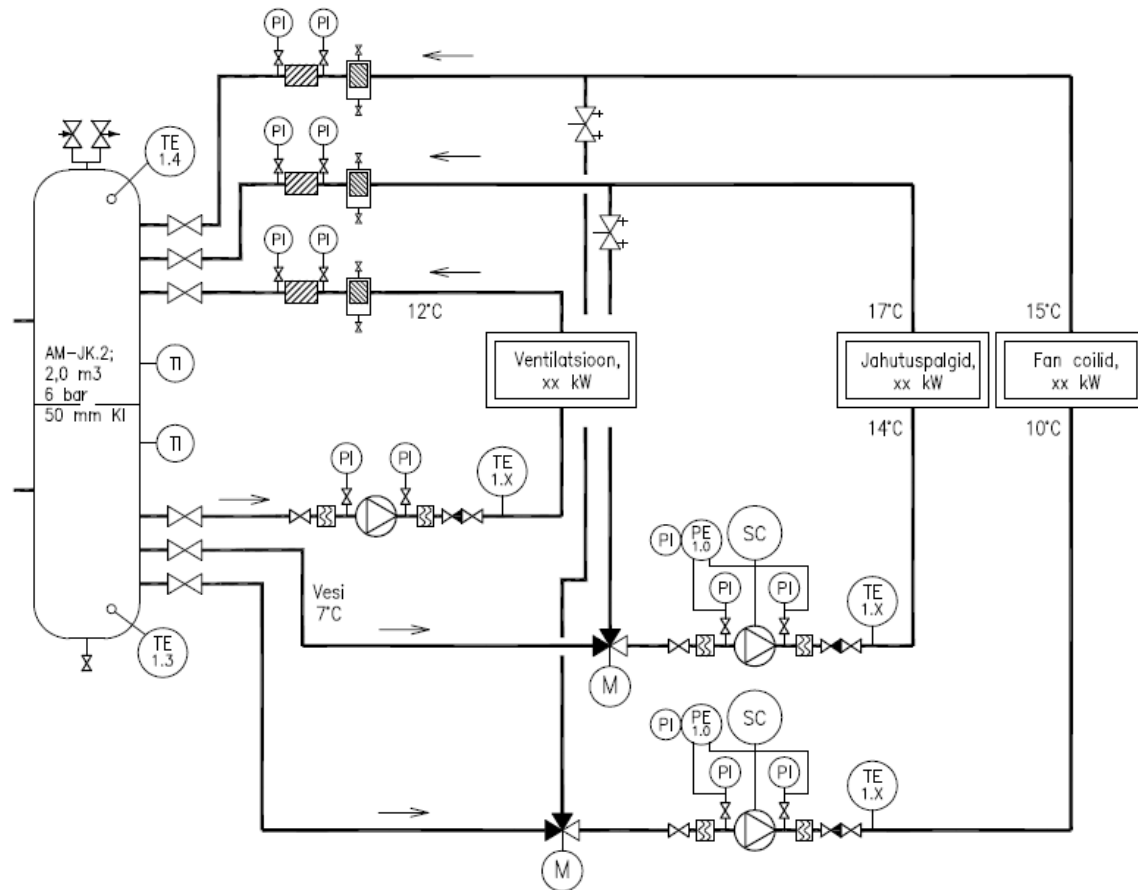
# KÜLMAVARUSTUSEST ÜLDISELT, 3



# KÜLMAVARUSTUSEST ÜLDISELT, 4

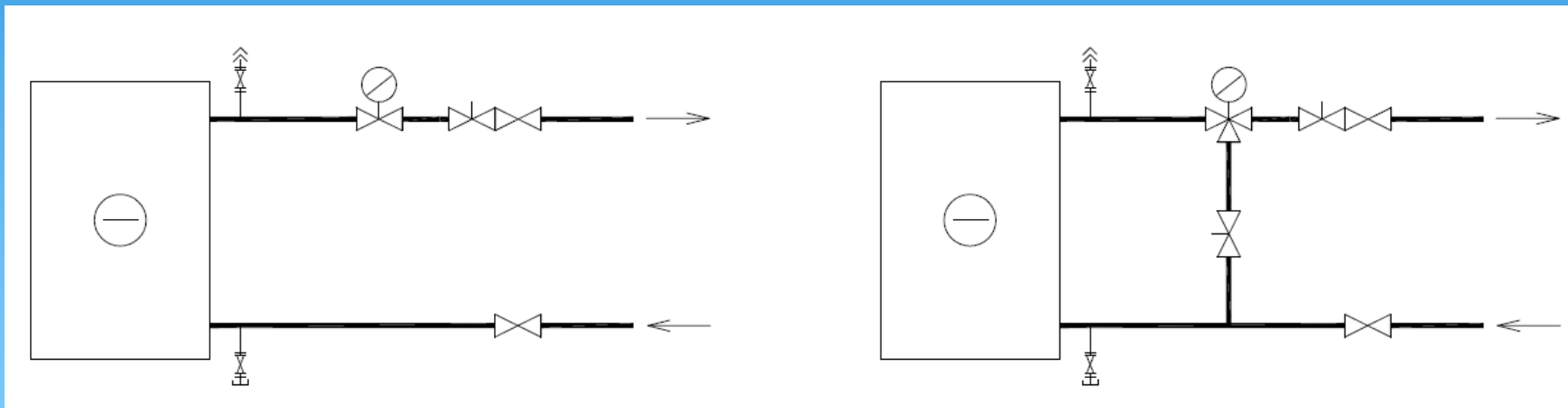


# KÜLMAVARUSTUSEST ÜLDISELT, 5



# TARBIJAD, 1

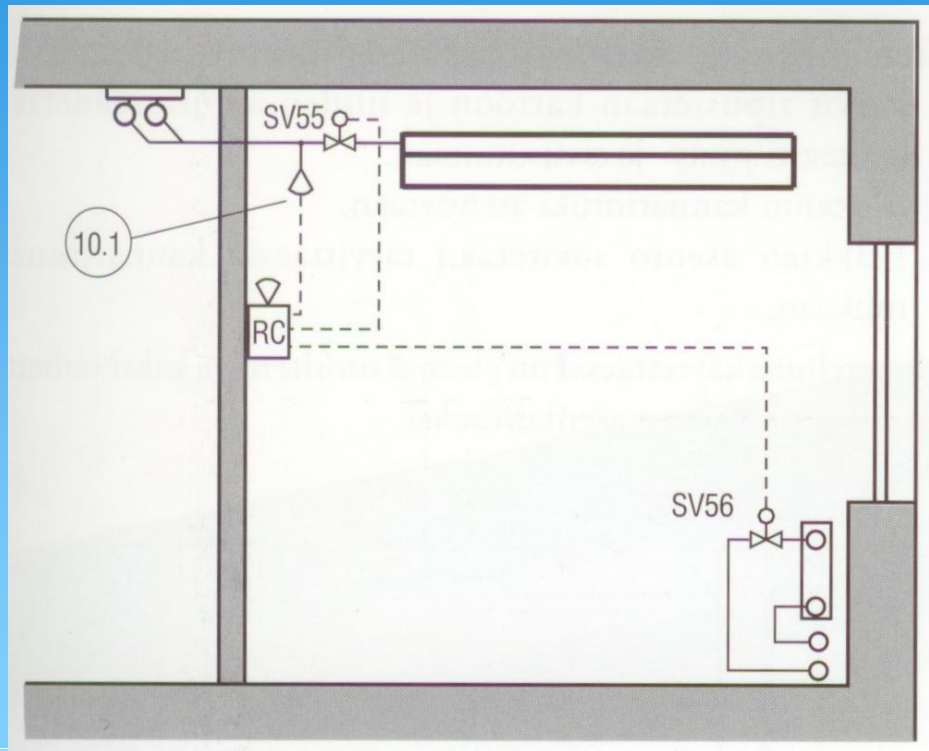
- Muutuv või konstantne vooluhulk



- Kuiv või märg süsteem

# TARBIJAD, 2

- ☐ Muud momendid
- ✓ Õhu ärastamine
- ✓ Isoleerimine
- ✓ Kondensatsioon
- ✓ Hüdrauliline reguleerimine
- ✓ Jahutusväljastuse reguleerimine (sh integreeritud)

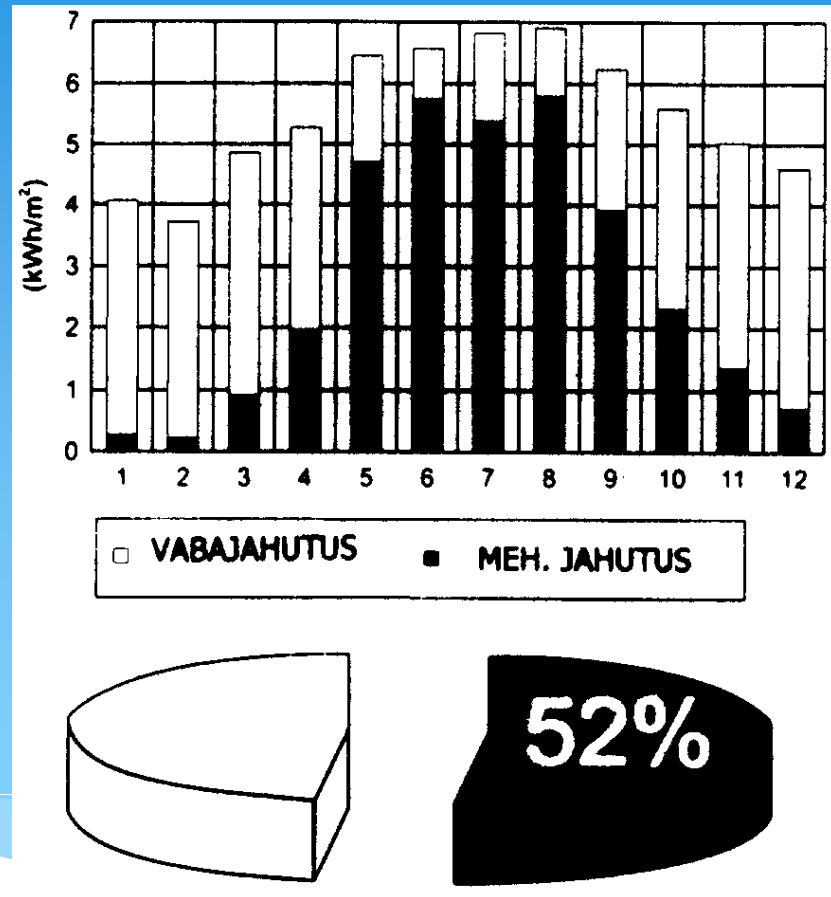


# VABAJAHUTUS, 1

- ❑ Külmavarustussüsteemist tagastunud vesi suunatakse kõigepealt läbi vabajahutuse soojusvaheti ning alles seejärel külmamassinasse. Kui külmakandja temperatuur pealevoolule on saavutatud, siis kompressor tööle ei hakka. Vastasel juhul annab kompressor puuduva jahutuskoormuse juurde.
- ❑ Vabajahutuse töösükkel algab, kui välistemperatuur langeb alla +14°C. Mida madalamale välistemperatuur langeb, seda efektiivsemaks süsteem muutub.
- ❑ Säästab kompressorit, (viimasel juhul salvestus- ja puhverdamismeetmed samuti väga olulised)
- ❑ Esmane vabajahutus on jahutus ventilatsiooniga

# VABAJAHUTUS, 2

Vabajahutuse ja mehaanilise jahutuse osa aasta lõikes:





# KOKKUVÕTE

- Vajadused (ja soovid)
- Jahutuskoormus
- Süsteemi valik – jahutuse tootjad
- Süsteemi valik – ruumi seadmed