

Välisõhu kestusköver ja selle kasutamine kütte koormuse ja kulu määramisel

Kestuskövera kasutamine aitab meil paremini lahti mõtestada ja illustreerida hoone soojustarbimist ning selle iseärasusi.

Teooriast

Loodan, et lugeja ei pane pahaks minupoolset mõningaste valemite ja põhitõdede meelde tuletamist, kuid need aitavad paremini lahti seletada kestuskövera loogikat.

Hoone küttekoormus koosneb kahest komponendist

- Soojuskaod läbi välispiirete
- Soojuskoormus infiltratsioonile

Soojuskadu on arvatav järgmise valemi abil

$$\Phi_{pk} = \Sigma A \times U \times (t_s - t_{v.a.}) \text{ [W]}, \text{ kus}$$

A - piirde komponendi pindala [m²], määratakse vastavalt lisale E
U - jahtuva piirde komponendi soojusjuhtivus (U – väärtus) [W/(m²·K)]
t_s - arvutuslik sisetemperatuur [°C],
t_{v.a.} - arvutuslik välistemperatuur [°C]

Soojuskoormus infiltratsioonile on arvatav

$$\Phi_{inf} = \Sigma L_{inf} \times \rho_{\delta} \times c_{\delta} \times (t_s - t_{v.a.}) \text{ [W]}, \text{ kus}$$

L_{inf} - infiltreeruv õhuvool [m³/s]
ρ_δ - õhu tihedus 1,2 [kg/m³]
c_δ - õhu erisoojus 1005 [J/kg·K]
t_s - arvutuslik siseõhu temperatuur [°C]
t_{v.a.} - välisõhu temperatuur [°C]

Infiltreeruva õhuhulga saab määrata valemiga:

$$L_{inf} = n_v \times V / 3600 \text{ [m}^3/\text{s]}, \text{ kus}$$

n_v - infiltreeruva õhuhulga kordsus tunnis [1/h]
V - ruumi maht [m³]

Kuna hoone kütte soojuskoormus on soojuskadude ja infiltratsiooni soojuskoormuse summa, siis saab selle avaldada järgmisel kujul

$$\Phi = \Phi_{pk} + \Phi_{inf} =$$
$$= \Sigma A \times U \times (t_s - t_{v.a.}) + \Sigma L_{inf} \times \rho_{\delta} \times c_{\delta} \times (t_s - t_{v.a.}) =$$

$$= (\Sigma A \times U + \Sigma L_{\text{inf}} \times \rho_{\delta} \times c_{\delta}) \times (t_s - t_{v.a.}) \approx$$

$$\approx \text{const} \times (t_s - t_{v.a.})$$

Hoone välispiirete mõõtmised ja nende soojusjuhtivused, kubatuur, õhu tihedus ja erisoojus on laias laastus konstantsed suurused. Seega, hoone kütte soojuskoormus on ligikaudu lineaarses sõltuvuses kahest komponendist:

- hoonet iseloomustavast konstandist ja
- sise- ning välisõhu temperatuuride vahet.

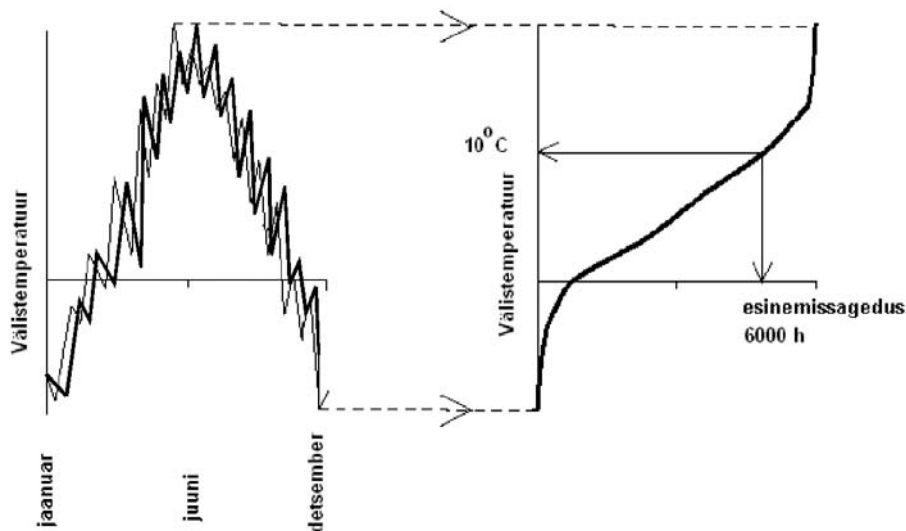
Eelpool nimetatud konstanti nimetatakse hoone kütte erisoojuskoormuseks H ($W/^{\circ}C$).

$$H = \Sigma A \times U + \Sigma L_{\text{inf}} \times \rho_{\delta} \times c_{\delta} = \Phi / (t_s - t_{v.a.})$$

Asjaolu, et soojuskoormus on lineaarses sõltuvuses sise- ja välisõhu temperatuuride vahet, annab meile mugava võimaluse kasutada kütte soojuskoormuste ja –tarbimise hindamiseks ning visualiseerimiseks kestusköverat.

Kestusköver

Välisõhu temperatuur muutub pidevalt, tavaliselt on ta päeval soojem kui öösel, talvel on külmem kui suvel jne. Joonise 1 vasakul pool on kujutatud kahe erineva aasta välisõhu temperatuure kronoloogilises järjekorras ja parempoolsel graafikul ehk kestusköveral esinemissageduse järgi, kusjuures horisontaalteljel on vasakult alustatud kõige madalamast temperatuurist ja lõpetatud kõige kõrgema temperatuuriga.



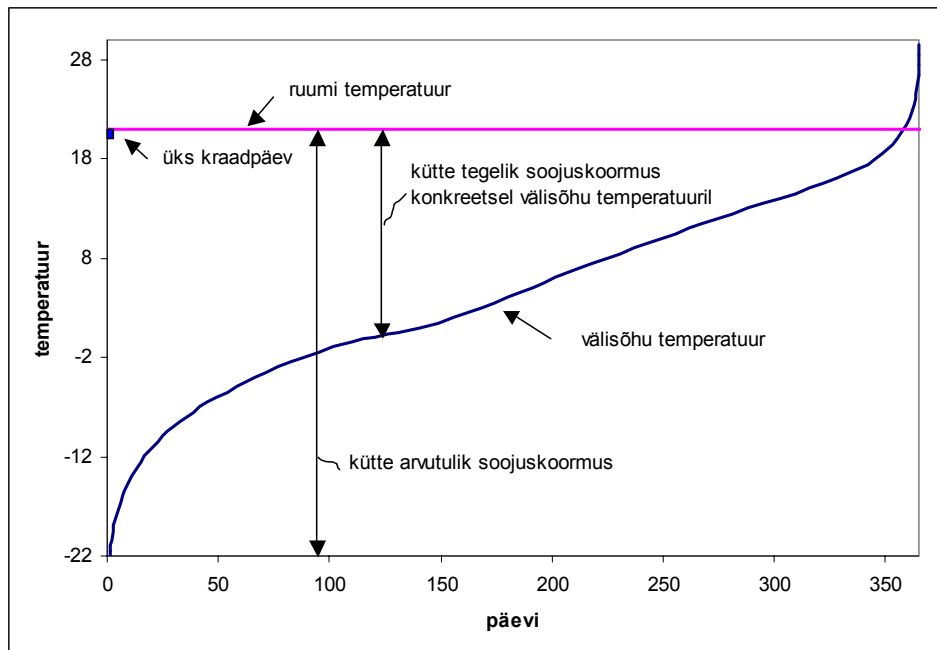
Joonis 1 Välisõhu temperatuurid aasta lõikes

Kestuskõver näitab kui pika perioodi aastas on mingi välisõhu temperatuuri kõrgem või madalam vaadeldavast temperatuurist. Eeltoodud joonisel on näiteks aastas 6000 tunnil välisõhu temperatuur madalam + 10 °C ja ülejäänud ajal ehk 2760 (8760-6000) tunnil kõrgem.

Konkreetses paikkonna erinevate aastate samal kuupäeval ja kellaajal võis välisõhu temperatuur erineda küllaltki suurtes piirides. Seevastu erinevate aastate kestuskõverad ei erine nii suurtes piirides ja on suhteliselt sarnased. Igapäeva elus oleks sobilik lähtuda nn. tüüp ehk normaastast. Käesoleva artiklis on lähtutud Eesti Kliima teatmikust toodud Tallinna väärtustest. Tuleb arvestada, et kestuskõver sõltub hoone geograafilisest asukohast.

Kestuskõver illustreerib soojuskoormuse ühte komponenti- temperatuuride vahet.

Alustuseks käsitleks kestuskõvera põhimõtte selgitamiseks kõige lihtsamat, ilma vabasoojuseta varianti, mida illustreerib joonis 2.



Joonis 2 Kütte soojuskoormuse kestuskõvera koostamise üldpõhimõtted

Graafiku vertikaaltelg näitab temperatuure. Kuna kütte soojuskoormus on võrdeline sise- ja välisõhu temperatuuride vahet, siis kajastab vertikaaltelg ka soojuskoormust, mille absoluutväärtus võrdub vastava temperatuuride vahe ja hoone kütte erisoojuskoormuse korrutisena. Y –telje skaala ühele temperatuuri kraadile vastab võimsus (kW), mis on võrdne hoone erisoojuskoormusega H. Kütte arvutuslik soojuskoormus, mis on aluseks küttesüsteemi dimensioneerimisel, võrdub hoone erisoojuskoormuse ning arvutusliku sise- ja välisõhu temperatuuride vahe korrutisena.

Kütte soojuskoormust vaadeldaval välisõhu temperatuuril illustreerib vertikaallõigu pikkus, mis jääb hoone ruumiõhu ja välisõhu temperatuuri vahele. Kui summeerida

tundhaaval aasta ulatuses soojuskoormused, saame aastase soojustarbimise kütteks, ehk siseõhu joone ja välisõhu kõvera vahele jääva kujundi pindala väljendab aastast soojustarbimist..

Sellele põhimõttele tugineb ka soojustarbimise arvutamine kraadpäevade meetodil. Joonisel kujutatud väike ristkülik on kõrgusega 1 kraad ja laiusega 1 päev ehk riskülik on pindalaga 1 kraadpäev. Nagu eelnevalt sai mainitud, et aastast tarbimist näitab siseõhu ja välisõhu temperatuuride vahelise kujuni pindala, siis aastane tarbimine võrdub ühtlasi ka väikeste ristkülikute arvuga nimetatud kujundis ehk vastava kraadpäevade arvuga.

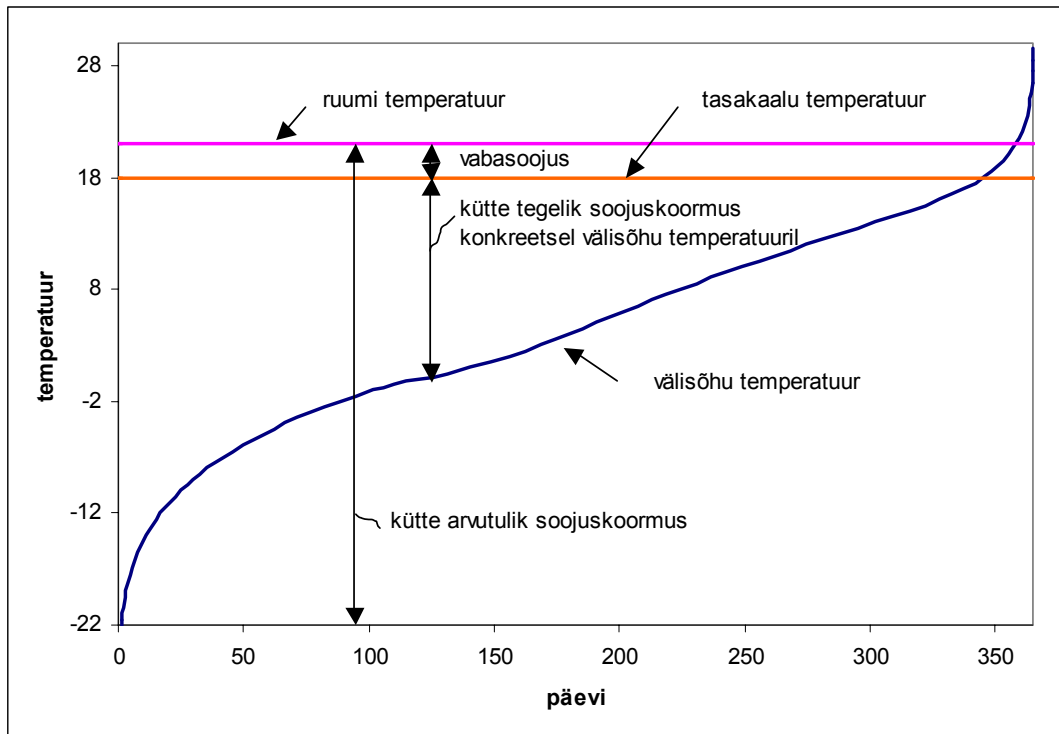
Lähtudes kraadpäevadest saab soojustarbimist arvutada järgmise valemiga

$$Q_k^a = H \times 24 \times S, \text{ kus}$$

S perioodile vastav kraadpäevade arv [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$]

Mida kõrgem on ruumiõhu temperatuur, seda suuremaks kujundi pindala ja seega ka aastane soojustarbimine.

Hoones paiknevad elektriseadmed, inimesed, valgustus jms. eraldavad ruumi soojust, mis kajastub ka hoone energiabilansis. Sõltuvalt küttesüsteemi automaatikast ja reguleerimisvõimalustest väheneb selle arvel kütteks vajalik soojuskoormus ning – tarbimine. Joonisel 3 on kajastatud kestuskõver hoone konstantse sisemise soojuseralduse korral.



Joonis 3 Kestusköver ja tasakaalu temperatuur väikese vabasoojuseeralduse või halva soojapidavusega hoone korral

Sisemise soojuseralduse võrra väheneb tegelik soojuskoormus ja vastav aastane soojustarbimine. Samas tuleb märkida, et kütte arvutusliku soojuskoormuse määramisel võetakse vabasoojus arvesse ainult sellisel juhul, kui sisemised soojuseraldused on pidevad. Vastasel juhul, mida esineb enamasti, ei oleks näiteks võimalik büroohoones tagada arvutuslikul välisõhu temperatuuril tööpäeva alguseks vajalik siseõhu temperatuur.

Sisemise soojuseralduste tõttu pole vaja küttesüsteemil tinglikult tõsta ruumiõhku siseõhu temperatuurini, vaid ta võib olla nn. vabasoojuse arvelt madalam. Kui hoones näiteks puuduks vastav automaatika ja küttesüsteem tagab arvutuslikule soojuskoormusele vastava soojuskoormuse, siis hoone sisetemperatuur tõuseks vabasoojuse arvel ettenähtust kõrgemaks. Sellise temperatuuri muudu saab arvutada järgmise valemiga

$$\Delta t_s = \frac{\Phi_{\text{vabasoojus}}}{H} \quad ,\text{kus}$$

$\Phi_{\text{vabasoojus}}$ hoones energiabilansis osalev vabasoojus [W]
 H hoone kütte erisoojuskoormus [W/°C]

Tihti kasutatakse mõistet tasakaalu temperatuur, mis näitab millise välisõhu temperatuuri juures oleks hoone ümbritseva väliskeskkonnaga soojuslikus tasakaalus. Piltlikult

väljendades näitab tasakaalu temperatuur kõrgeimat välisõhu temperatuuri, mille korral pole veel vaja vajaliku siseõhu temperatuuri tagamiseks sisse lülitada küttesüsteemi.

Tasakaalu temperatuuri saab leida järgmise valemi abil

$$t_0 = t_s - \Delta t_s, \text{ kus}$$

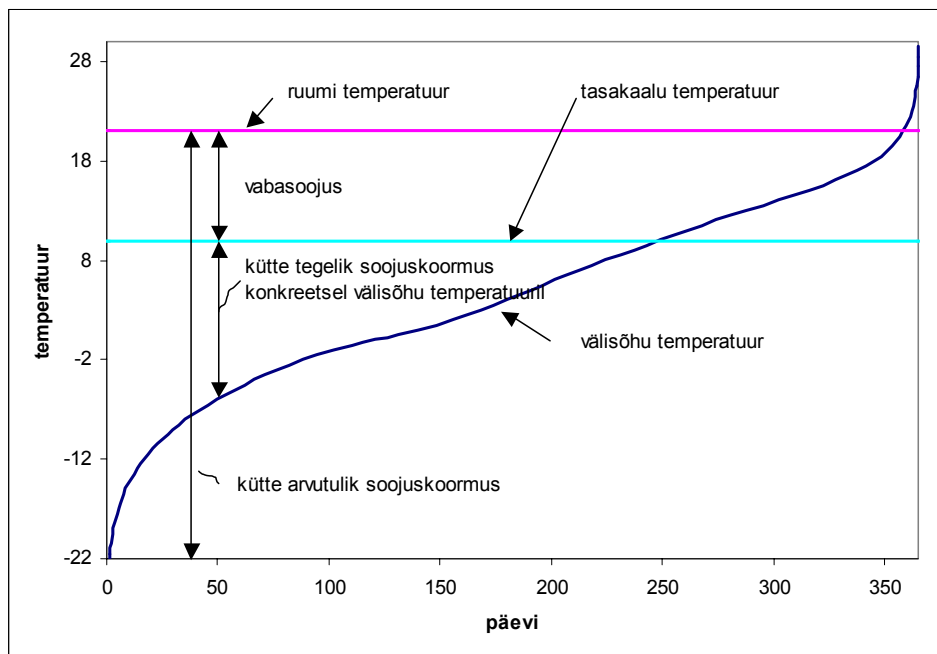
t_s arvutuslik siseõhu temperatuur [$^{\circ}\text{C}$]

Δt_s vabasoojusega kaasnev siseõhu temperatuuri muut [$^{\circ}\text{C}$]

Joonisel 3 kajastab ruumiõhu ja tasakaalu temperatuuri joone vahelise kujundi pindala aastast vabasoojust ning tasakaalu ja välisõhu temperatuuri vahelise kujundi pindala aastast soojustarvet.

Mida rohkem on hoones vabasoojust, seda suurem on ka sisemine temperatuuri muut ja madalam tasakaalu temperatuur. Samuti, mida väiksem on erisoojuskoormus, ehk soojapidavam hoone, seda suurem on sisemine temperatuuri muut (Δt_s) ja madalam tasakaalu temperatuur.

Joonis 3 illustreerib väikese soojapidavusega või väikese vabasoojusega hoonet ja joonis 4 hea soojapidavusega või suurte sisemiste soojuseraldustega hoonet.



Joonis 4 Hea soojapidavusega või suurte sisemiste soojuseraldustega hoone

Eeltoodu illustreerimiseks võiks tuua järgmise näite. Olgu meil tegemist hoonega, mida iseloomustavad järgmised parameetrid

Kütte erisoojuskoormus	2,5 kW/ $^{\circ}\text{C}$
Arvutuslik siseõhu temperatuur	+21 $^{\circ}\text{C}$

Arvutuslik välisõhu temperatuur -22 °C
Vabasoojus 7,5 kW

Hoone arvutuslik soojuskoormus

$$\Phi = H \cdot (t_s - t_{va}) = 2,5 \cdot (21 - (-22)) = 107,5 \text{ kW}$$

Vabasoojusega kaasnev sisemine temperatuuri muut

$$\Delta t_s = \frac{\Phi_{\text{vabasoojus}}}{H} = \frac{7,5}{2,5} = 3 \text{ °C}$$

Tasakaalu temperatuur

$$t_o = t_s - \Delta t_s = 21 - 3 = 18 \text{ °C}$$

Antud olukorda illustreerib joonis 3. Tasakaalu ja välisõhu temperatuuriga piiratud kujundi pindala on 4000 kraadpäeva ja aastane soojustarve kütteks

$$Q_k^a = H \times 24 \times S = 2,5 \cdot 24 \cdot 4000 = 240\,000 \text{ kWh}$$

Eeldame, et ühe teise täpselt samasuguste ehitusfüüsikaliste näitajatega hoone ($H=2,5 \text{ kW/°C}$) sisemine vabasoojus on märgatavalt palju suurem 27,5 kW. Sellisel juhul oleks

hoone arvutuslik soojuskoormus

$$\Phi = H \cdot (t_s - t_{va}) = 2,5 \cdot (21 - (-22)) = 107,5 \text{ kW}$$

Vabasoojusega kaasnev sisemine temperatuuri muut

$$\Delta t_s = \frac{\Phi_{\text{vabasoojus}}}{H} = \frac{27,5}{2,5} = 11 \text{ °C}$$

Tasakaalu temperatuur

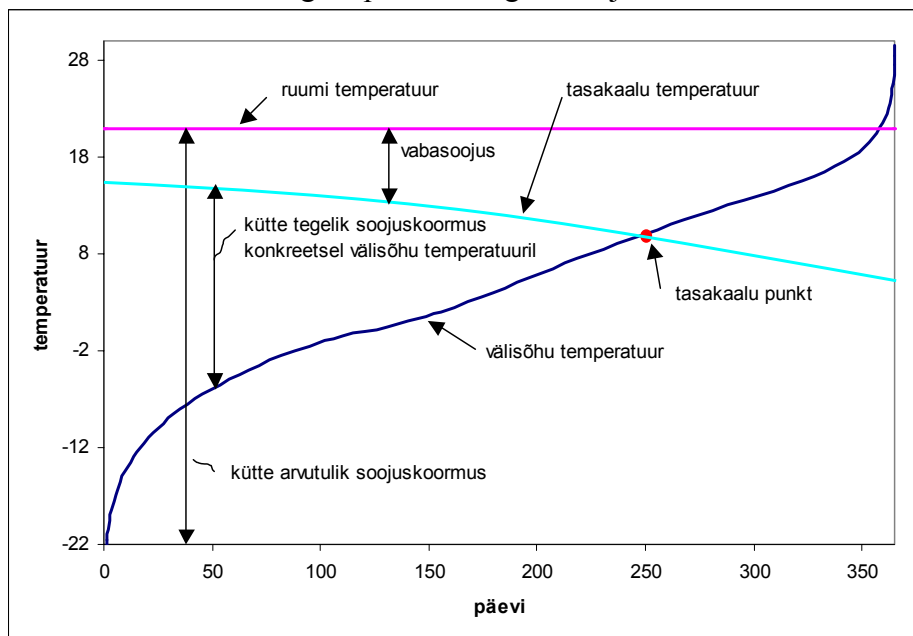
$$t_o = t_s - \Delta t_s = 21 - 11 = 10 \text{ °C}$$

Antud olukorda illustreerib joonis 4. Tasakaalu ja välisõhu temperatuuriga piiratud kujundi pindala on hoomatavalt väiksem ja vastav kraadpäevade arv on 2825 ning aastane soojustarve kütteks

$$Q_k^a = H \times 24 \times S = 2,5 \cdot 24 \cdot 2825 = 169\,500 \text{ kWh}$$

Eelnevalt sai vaadeldud lihtsustatud varianti, kus sisuliselt oli tegemist konstantse sisemise soojuseraldusega. Akendega hoonele avaldab oma mõju päikesekiirgus, mille osakaal vabasoojuses sõltub lisaks hoone ehitusfüüsikalistele parameetritele ka aastaajast

ja hoone orientatsioonist. Talvekuudel on ta päikese osakaal tühine, kuid alates märtsi kuust hakkab osakaal suurenema ning sügiskuudel jällegi vähenema. Kuna päikese osa vabasoojuses ei ole konstantne, siis varieerub ajas ka sisemine temperatuuri muut ning tasakaalu temperatuur. Joonisel 5 on kujutatud kestuskõver, kus vabasoojuses on arvesse võetud ka hoonesse tungiva päikesekiirguse mõju.



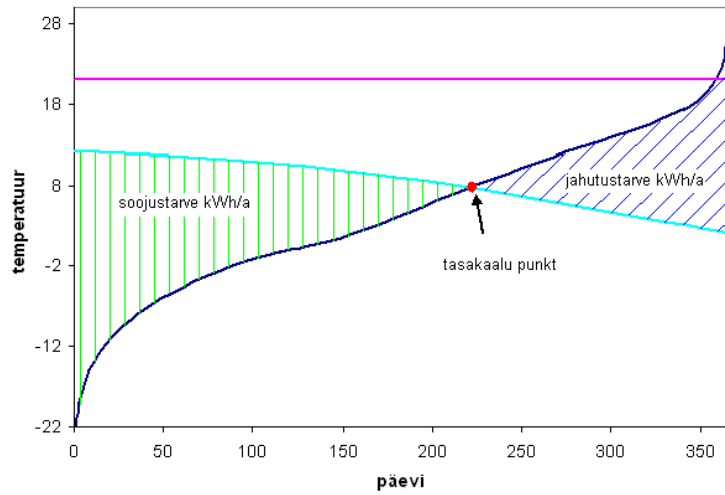
Joonis 5 Kestus kõver koos päikese kiirguse mõjuga

Välisõhu temperatuuri kasvades löikab ta kõver teatud punktis tasakakaalu kõverat (vt. joonis 5). Seda punkti nimetatakse sageli tasakaalu punktiks. Tasakaalu punktile vastaval välisõhu temperatuuril on hoone ümbritseva keskkonnaga soojuslikus tasakaalus, ehk sel ajal pole vajaliku siseõhu temperatuuri tagamiseks vajalik hoonet (ruumi) kütta ega jahutada.

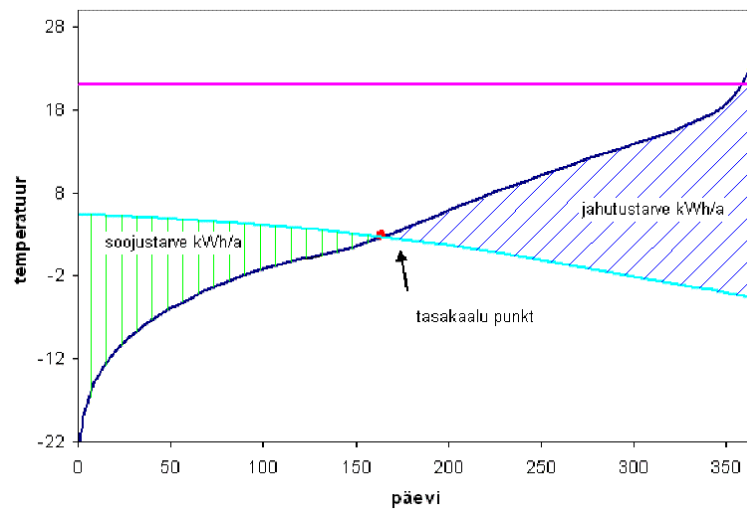
Tasakaalu punktist vasakule jääva välisõhu ja tasakaalu temperatuuri kõvera vahelise kujundi pindala iseloomustab hoone soojuspuudujääki ehk kütmiseks kuluvat soojustarvet ja paremale poole jääva kujundi pindala soojuseülejääki ehk jahutuseks kuluvat energiat. Vastavad energiatarbed (Wh) saab arvutada nende pindaladega moodustatud kraadtundide läbikorrutamisel hoone erisoojuskoormusega.

Mida parema soojapidavusega on hoone ja mida suurem on vabasoojus, seda madalam on tasakaalu punkti temperatuur ehk seda lühem on aastas vajalik kütteperiood ja pikem jahutusperiood. Ei ole harvad juhused, kus päikesepeaistel päevadel on vaja hakata ruume jahutama juba miinuskraadiliste välisõhu temperatuuride korral.

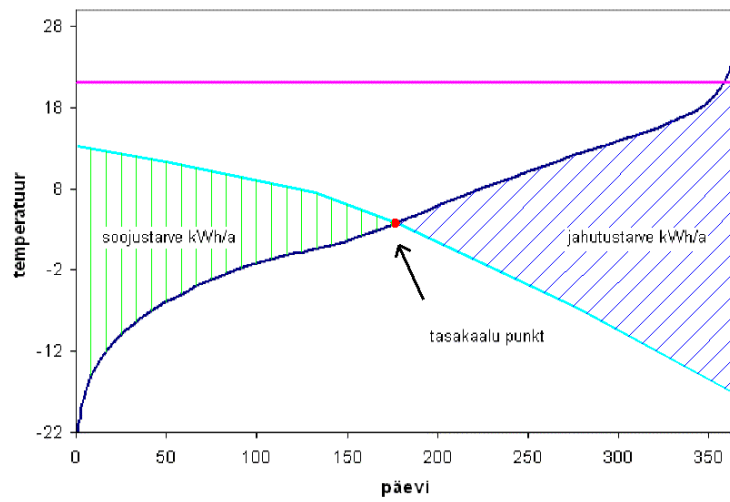
Kestuskõver võimaldab meil illustriivselt analüüsida erinevate lahendusvariantide energiatarbimist. Alljärgnevatel joonistel on kujutatud ühe ja sama hoone soojus- ja jahutustarbimise vajadused, sõltuvalt hoone erisoojuskoormusest ja akende päikeseläbilaske võimest.



Joonis 6 Keskmise kütte erisoojuskoormusega hoone soojus- ja jahutustarve



Joonis 7 Võrreldes joonisel 6 kujutatud hoonega väiksema erisoojuskoormusega ehk parema soojapidavusega hoone



Joonis 8 Võrreldes joonisel 6 kujutatud hoonega suurema päikese läbilaskega klaasidega hoone

Teet Tark

Hevac OÜ
juhataja
EKVÜ eestseisuse liige