

Ventilatsioonisüsteemide soojustagaste kasuteguritest

Sissejuhatus

Soojustagaste tasuvuse ja tõhususe hindamise põhikriteeriumiks on selle paigaldamisega kaasnev energia kokkuhoid. Energia kokkuhoiu arvutamise aluseks on tagasti kasutegur. Paraku on esinenud selle igapäevasel kasutamisel ebakompetentsust, mistõttu on saadud ebaadekvaatseid tulemusi.

Soojustagastid

Üheks energia kokkuhoiu viisiks on kasutada ära ventilatsiooniga väljavisatavas õhus sisalduvat energiat. Külmal perioodil saab sissepuhkeõhku eelsoojendada väljatõmmatava õhuga. Kuumal perioodil, kui väljatõmbeõhu temperatuur on madalam välisõhu temperatuurist, saab kasutada väljatõmbeõhku sissepuhkeõhu jahutamiseks. Selliseid energiat vahendavaid süsteeme nimetatakse soojustagastiteks.

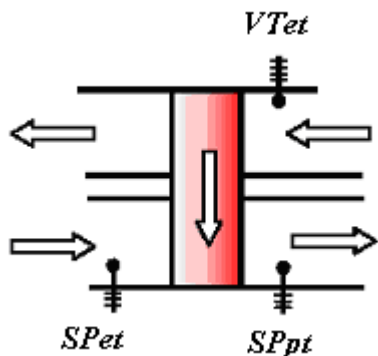
Soojustagasti põhikomponendiks on soojusvaheti. Soojustagastid jagatakse regeneratiivseteks ja rekuperatiivseteks. Neist esimese korral energia akumulereeritakse tsükliliselt soojustagastisse ja tas muutub küllaltki lühikeste ajavahemike järel soojuslevi suund. Tüüpiliseks regeneratiivseks seadmeks on rootortagasti. Rekuperatiivses, milledeks on näiteks plaat või vahesoojuskandjaga tagasti, soojuslevi suund ei muutu, va. suvel jahutusrežiimile ülemikul.

Soojustagasti hetkeline ja aastane kasutegur

Soojustagasti hetkeline kasutegur võrdub suhtega, mille lugejas on sissepuhke õhu mingi parameetri muut soojustagstis ($SP_{pt}-SP_{et}$) ja nimetajas sama parameetri vahe väljatõmbe õhus enne tagastit ja sissepuhke õhus enne tagastit ($VT_{et}-SP_{et}$). Kasuteguri arvutamist iseloomustab joonis 1 ja alljärgnev valem.

$$\eta = \frac{SP_{pt} - SP_{et}}{VT_{et} - SP_{et}}, \text{ kus}$$

- SP_{pt} sissepuhke õhu parameeter peale tagastit
- SP_{et} sissepuhke õhu parameeter enne tagastit
- VT_{et} väljatõmbe õhu parameeter enne tagastit



Joonis 1 Soojustagasti kasuteguri arvutamise skeem

Maksimaalse energiasäästu saavutamiseks on üldjuhul sissepuhke õhu parameeter enne soojustagastit võrdne välisõhu parameetriga (SP_{et} =Välisõhk).

Kõige enam levinud soojustagastites toimub ilmse soojuse vahetus ja sellisel juhul on õhu parameetrikks temperatuur (t). Hetkeline **temperatuuriline kasutegur** avaldub valemiga

$$\eta_t = \frac{t_{pt}^{sp} - t_{et}^{sp}}{t_{et}^{vt} - t_{et}^{sp}}, \text{ kus}$$

t_{pt}^{sp} sissepuhkeõhu temperatuur peale tagastit [$^{\circ}\text{C}$]

t_{et}^{sp} sissepuhkeõhu temperatuur enne tagastit ehk üldjuhul välisõhu temperatuur [$^{\circ}\text{C}$]

t_{et}^{vt} väljatõmbeõhu temperatuur enne tagastit [$^{\circ}\text{C}$]

Kui lisaks ilmsele soojusvahetusele toimub ka varjatud soojuse, ehk lihtsamalt väljendudes niiskuse vahetus, siis võib olla õhu parameetrikks kas niiskussisaldus (x) või soojussisaldus (h) ja sellisel juhul on meil tegemist kas

niiskuliku kasuteguriga, mis avaldub analoogse valemiga

$$\eta_x = \frac{x_{pt}^{sp} - x_{et}^{sp}}{x_{et}^{vt} - x_{et}^{sp}}$$

või **soojusliku kasuteguriga**

$$\eta_h = \frac{h_{pt}^{sp} - h_{et}^{sp}}{h_{et}^{vt} - h_{et}^{sp}}$$

Niiskust vahendab näiteks hüdrokoopne rootortagasti.

Tuleb märkida, et soojustagasti kasutegur sõltub ka väljatõmbe ja sissepuhke õhuvooludest. Mida väiksem on võrreldes sissepuhkega väljatõmme, seda väiksem on ka kasutegur.

Tavaliselt on kasutegurid järgmistes vahemikes

Regeneratiivsed,	0,7...0,9
Plaattagasti	0,5...0,6
Vahesoojuskandjaga tagasti	0,4...0,55

Tarbijat huvitab üldjuhul hetkelisest kasutegurist palju enam aastane energia kokkuhoid ehk aastane soojustagasti kasutegur, mis avaldub järgmise valemiga

$$\eta_a = 1 - \frac{Q_{tagastiga}}{Q_{tagastita}}$$

$Q_{tagastiga}$	soojustarbimine soojustagastiga [kWh/a]
$Q_{tagastita}$	soojustarbimine, kui tagastit poleks kasutatud [kWh/a]

Praktikas pole harvad juhused, kus aastase säästu arvutamisel on ekslikult eeldatud, et aastane kasutegur on võrdne hetkelise kasuteguriga. Näiteks eeldusel et, aastane soojustarbimine ilma soojustagastita oleks olnud 200 MWh ja hetkeline kasutegur 0,6, saadakse aastaseks energia tarbimiseks koos tagastiga $200 \cdot (1 - 0,6) = 80$ MWh. Kuna üldjuhul on väljatõmbeõhu temperatuur ja soojussisaldus kõrgem sissepuhkeõhu omast, siis on ka aastane kasutegur hetkelisest suurem ning tegelik aastane soojustarve näites toodust väiksem.

Eeltoodut annab paremini lahti mõtestada ja illustreerida kestuskõver. Teatavasti on õhu soojendamise koormus avaldatav valemiga

$$\Phi = L \times \rho_{\delta} \times c_{\delta} \times \Delta t = H_v \times \Delta t \quad [\text{W}], \quad \text{kus}$$

H_v	ventilatsiooni erikoormus [W/°C]
L	õhuvool [m ³ /s]
ρ_{δ}	õhu tihedus 1,2 [kg/m ³]
c_{δ}	õhu erisoojus 1005 [J/kg·K]
Δt	temperatuuri muut õhu soojendamisel [°C]

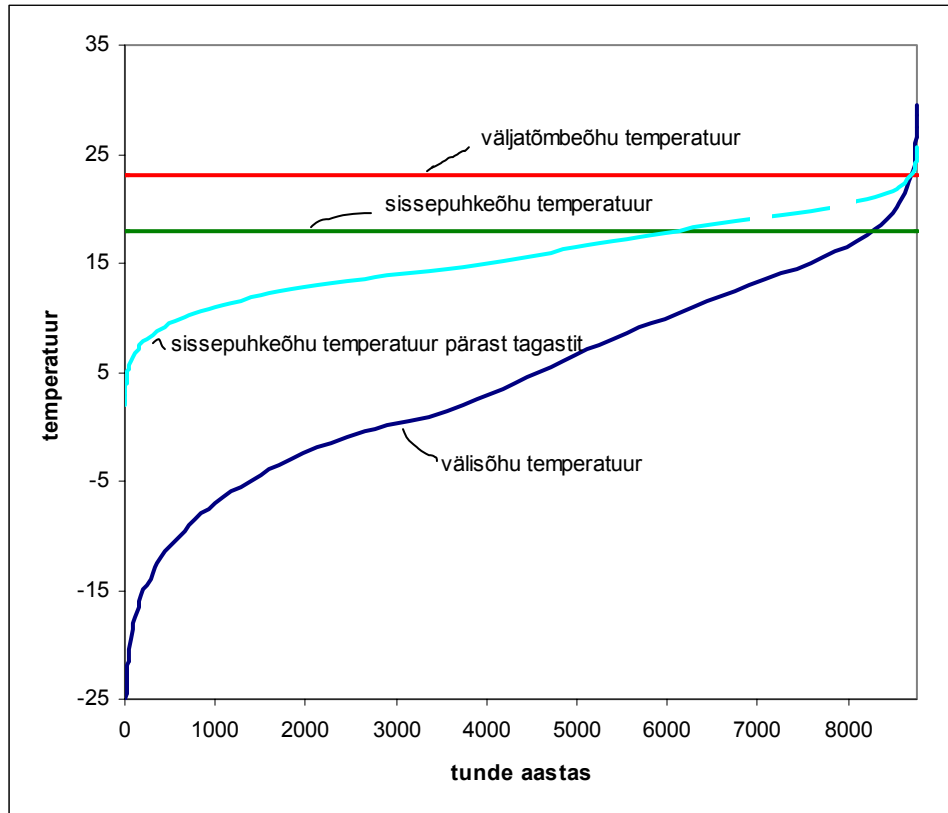
Kestuskõvera vertikaalteljel on toodud temperatuurid, kusjuures skaala üks kraad on võrdne ventilatsiooni ühe erikoormuse ($L \times \rho_{\delta} \times c_{\delta}$) väärtusega. Horisontaalteljel on toodud tunnid aasta lõikes. Juhul, kui süsteem ei tööta 24 tundi ööpäevas on vaja horisontaaltelge tegelike töötundide suhte võrra “kokku suruda”.

Joonisel 2 on kujutatud soojustagastiga ventilatsioonisüsteemi temperatuurid kestuskõveral eeldusel, et väljatõmbeõhu temperatuur on 23 °C ja sissepuhkeõhul 18 °C.

Sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit sõltub hetkelisest temperatuurilisest kasutegurist ja saab avaldada järgmise valemiga

$$t_{pt} = t_{v\delta} + \eta_t * (t_{vt} - t_{v\delta})$$

$t_{v\delta}$ välisõhu temperatuur
 t_{vt} väljatõmbeõhu temperatuur
 η_t tagasti hetkeline temperatuuriline kasutegur

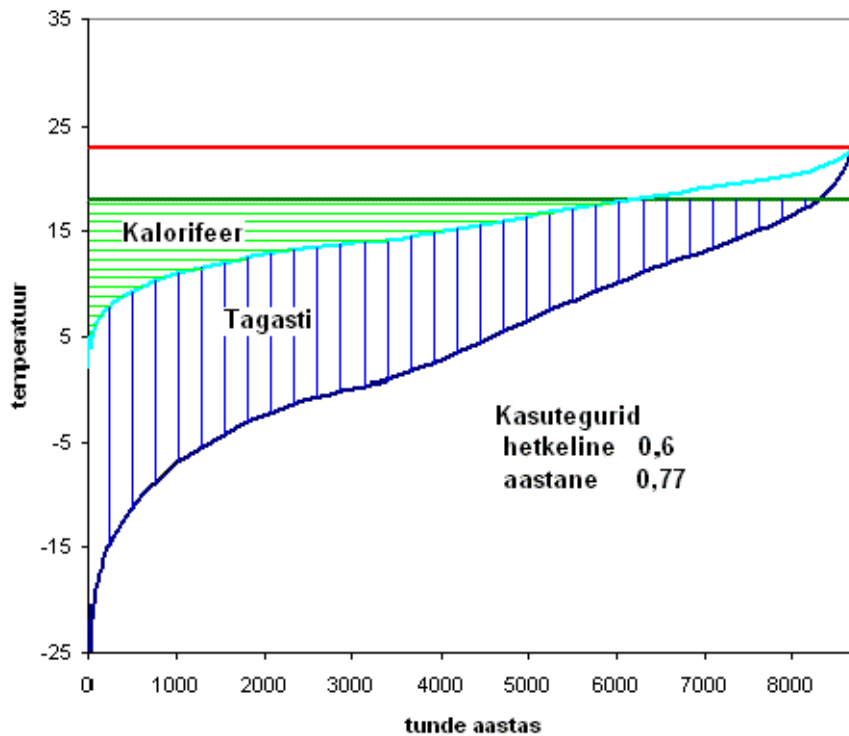


Joonis 2 Soojustagastiga ventilatsioonisüsteemi temperatuurid kestuskõveral

Seni kuni sissepuhke õhu temperatuur pärast tagastit on madalam ruumi puhutava sissepuhke õhu temperatuurist, on vajalik täiendavalt soojendada õhku kalorigeemis. Punktile, kus välisõhu temperatuuri kõver lõikab sissepuhkeõhu joont, vastavast kõrgemast välisõhu temperatuurist alates peab soojustagsti töötama väiksema koormusega.

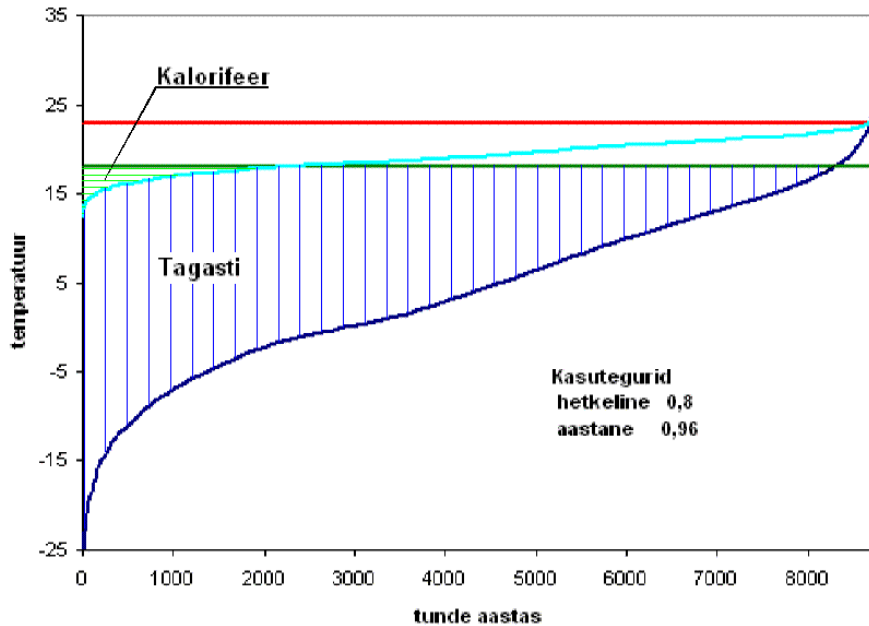
Sissepuhkeõhu temperatuuri kõvera pärast soojustagastit ja sissepuhke temperatuuri vahelise kujundi pindala kajastab aastast kalorigeemi soojustarbimist. Sissepuhkeõhu kõveraga pärast tagastit, sissepuhkeõhu temperatuuri joonega ning välisõhu temperatuuri kõveraga piiratud kujundi pindala näitab soojustagastist saadavat aastast soojustarbimist. Nende kahe kujundi pindala kokku on aastane soojustarbimine ilma tagastita.

Joonisel 3 on kujutatud kestuskõveral aastane soojustarbimine 0,6 ja joonisel 4 0,8 hetkelise temperatuurilise kasuteguri korral.



Joonis 3 Soojustagastiga ventilatsiooni süsteemi soojustarbimine, kui sissepuhke temperatuur on 18 °C ja väljatõmbel 23 °C ning hetkeline kasutegur $\eta_i=0,6$

Eelnevalt toodud näite korral oleks tegelikuks aastaseks tarbimiseks $200 \cdot (1 - 0,77) = 46$ MWh, mis on peaaegu 2 korda väiksem vigasest arvutusest (80 MWh).



Joonis 4 Soojustagastiga ventilatsiooni süsteemi soojustarbimine, kui sissepuhke temperatuur on 18 °C ja väljatõmbel 23 °C ning hetkeline kasutegur $\eta_t=0,8$

Hetkelise kasuteguri väärtuse 0,8 korral kujuneks aastaseks kasuteguriks 0,96 ja eelnevale näitele vastavaks aastaseks tarbimiseks kõigest 8 MWh.

Mida kõrgem on väljatõmbe temperatuur ja mida madalam sissepuhke temperatuur, seda suuremaks kujuneb sama hetkelise kasuteguri korral tagasti aastane kasutegur.

Samas ei tohi ära unustada, et sissepuhkest kõrgema väljatõmbe temperatuuri põhjustab ruumi eralduv vabasoojus (inimesed, elektriseadmed, päike jms.) ja teatud vertikaalsuunaline temperatuuri kasv. Kogu hoone aastase soojustarbimise arvutamisel ei tohi vabasoojust topelt arvestada, so. soojustagastiga kätte saadavat vabasoojust ei saa arvesse võtta kütte aastase soojustarbimise arvutamisel, mistõttu tuleks lähtuda kõrgemast kütte tasakaalu temperatuurist.

Tänapäevaste soojustagastite kõrge kasutegur võib ahvatleda kalorifeerist loobuma. Kalorifeerist loobumine kaasneb ruumides vabasoojuse ja/või ruumi küttesüsteemi üledimensioneerimise puudumise korral ettenähtust madalam ruumiõhu temperatuur. Näiteks, kui on eeldatud, et väljatõmbe õhu temperatuur on 23 °C ja sissepuhkeõhu temperatuur 18 °C ning hetkeline kasutegur 0,85, siis välisõhu temperatuuri -10 °C korral kujuneks temperatuuriks pärast tagastit

$$t_{pt}=t_{v\delta}+\eta_t*(t_{vt}-t_{v\delta}) = -10 + 0,85*(23-(-10))= 18,1 > 18 \text{ °C}$$

Juhul, kui vabasoojust ei eraldu, on tegelik ventilatsiooni väljatõmbeõhu temperatuur ligikaudu võrdne sissepuhkeõhu temperatuuriga. Ventilatsioonisüsteemi töötades hakkab ruumiõhu temperatuur sissepuhkeõhu soojusedefitsiidi arvel alanema. Väljatõmbeõhu temperatuuri 18 °C korral oleks sissepuhke õhu temperatuur pärast tagastit kõigest 12,4°C



ja kalorifeeri puudumisel puhataks sama temperatuuriga ka õhku ruumi, mis omakorda jahutab ruumi õhku ja alandab veelgi väljatõmbeõhu temperatuuri.

Kokkuvõte

Ventilatsiooni soojustagastite efektiivsust iseloomustavad hetkeline ja aastane kasutegur. Üldjuhul on aastane kasutegur suurem hetkelisest. Mida kõrgem on väljatõmbeõhu temperatuur ja mida madalam sissepuhke temperatuur, seda suuremaks kujuneb sama hetkelise kasuteguri korral tagasti aastane kasutegur.

Teet Tark
Hevac OÜ
juhataja
EKVÜ eestseisuse liige