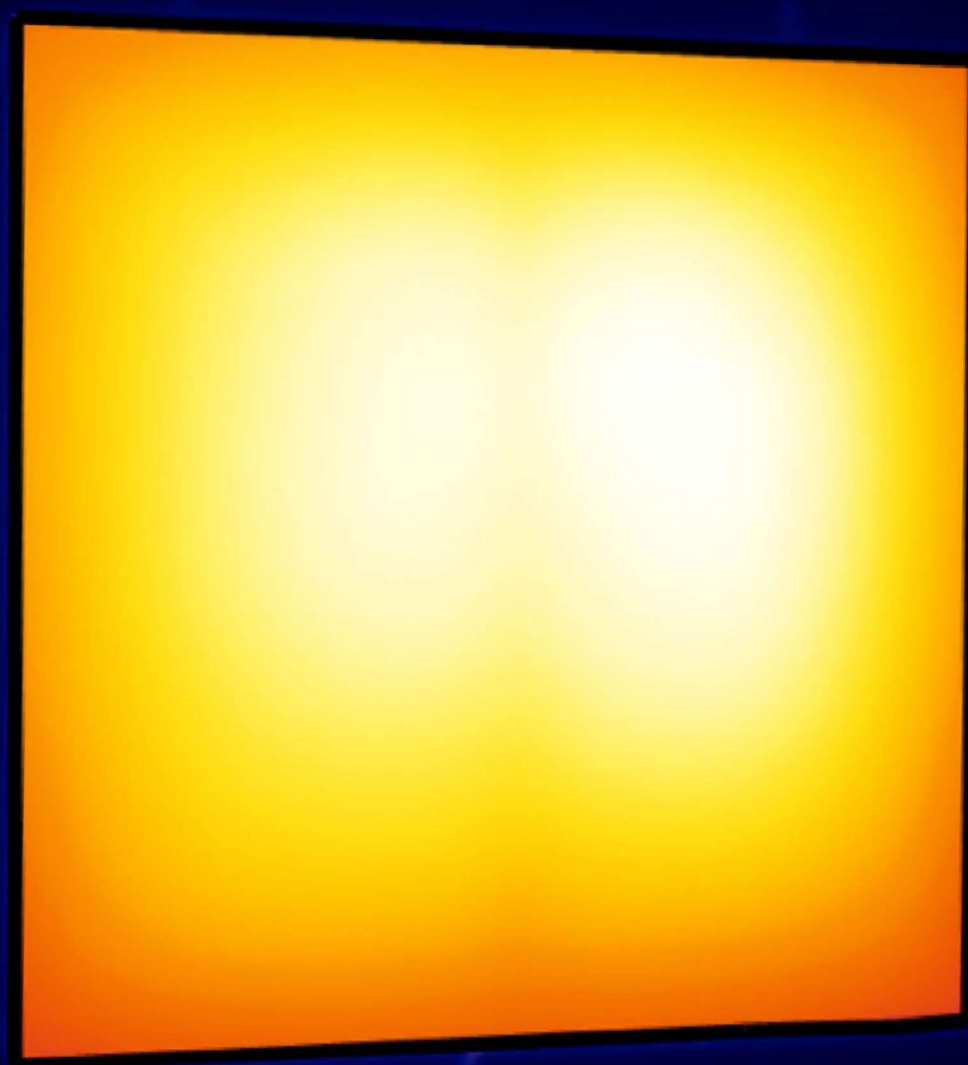


Dr. Ing. Peter Kosack

INFRAPUNA KÜTTE TUTVUSTUS

BVIR Föderaalne infrapunakütte assotsiatsioon ja IG INFRAROT Saksamaa V. (Hg.)



Kokkuvõtlik sissejuhatus teemasse „Infrapuna küte“

© 1. Auflage 2021 | IG Infrarot Deutschland e. V., Pfronten | BVIR Bundesverband Infrarot-Heizung e. V., Zwenckau

Inhalt und fachspezifische Redaktion: Dr. Ing. Peter Kosack, Kaiserslautern

Layout + Satz: von-freytag.com»munications«, Stefan Hofmann, Kolbermoor

Cover: Technische Universität Kaiserslautern

Dr. Ing. Peter Kosack

Leiter Arbeits-Kreis Infrarot (AKI), Technische Universität Kaiserslautern

INFRAPUNA KÜTTE TUTVUSTUS

Välja andja

BVIR Bundesverband Infrarot-Heizung e. V.

und IG Infrarot Deutschland e. V.

SISUKORD

Sissejuhatus	7
Mis on infrapuna kütte?	8
Mis on infrapunakiirgus?	9
Mis tüüpi kütteseadmed on olemas? Kuhu liigitatakse infrapuna kütte?	12
Milliseid infrapuna kütteseadmeid on olemas?	18
Miks on infrapuna kütteseadmed kasulikud? Mis teeb infrapuna kütte nii atraktiivseks?	20
Miks tunnevad inimesed end mugavalt ka suurte paneelküttekehadega ehkki need pole infrapunasoojendid?	22
Infrapuna kütte tehniline ülevaade	24
Uus standard: DIN EN IEC 60675-3	28
Kasutage infrapuna kütteseadmeid aga õigesti!	29
Infrapuna kütte lisaküttena	30
Infrapuna kütte põhiküttena osa 1: Süsteemilahendus infrapuna kütte põhiküttena	37
Infrapuna kütte põhiküttena osa 2: Samm sammuline juhend professionaalidele	40
Ökoloogia ja CO ₂ -jalajalg	42
Majanduslik tõhusus	42
Korduma kippuvad küsimused	43
Allikad ja viited	49

SISSEJUHATUS

Igaüks, kes tunneb huvi infrapuna küttelehenduse vastu, puutub kokku tootjate ja edasimüüjate erinevate väidetega:

„Infrapuna küttelepaneelid on kütte tulevik.“

„Infrapuna kütte soojendab kiiresti kogu ruumi.“

„Infrapuna kütte on ebaefektiivne, kallid ja ebatervislik.“

„Infrapuna kütte tasub ära vaid üksikudel juhtudel.“

„Infrapuna kütte on ökonoomne kasutada, odav soetada ja näeb ka elegantne välja.“

„Infrapuna kütte on tavaline elektrikütte.“

„Elektriga kütmine on umbes neli korda kallim kui gaas.“

Seega liigub väga vastuolulisi väiteid, millised nendest siis vastavad tõele?

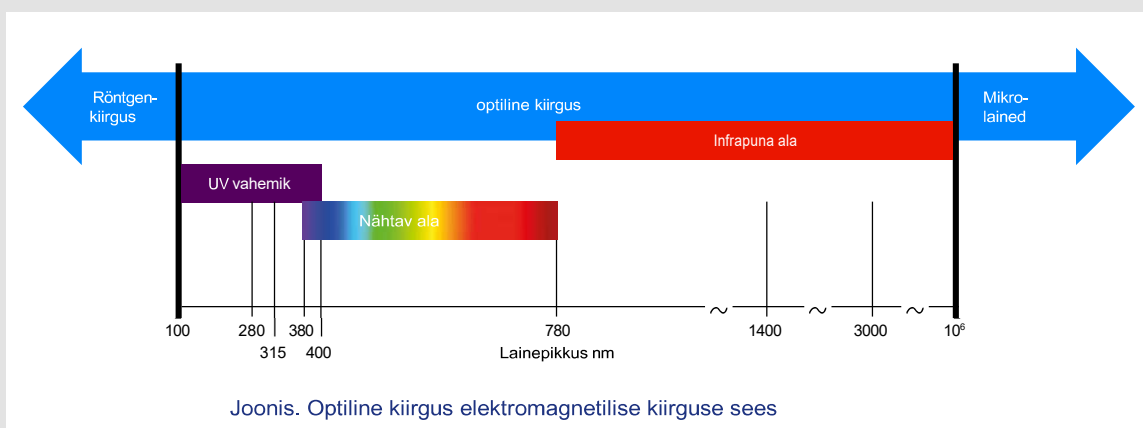
Lühidalt öeldes on kõik need väited enam-vähem ühekülgset liialdatud või isegi valed ja tõstatavad infrapuna kütte probleemi valesti. Selle juhendi eesmärgiks on objektiivse ja neutraalse teabe pakumine ning kokkuvõtliku ülevaate andmine infrapuna kütte valdkonnast. Juhend ei ole ainult lõpptarbijale vaid ka professionaalidele, kes soovivad infrapuna küttega tegeleda – energiakonsultandid, arhitektid, paigaldjad jne

Peter Kosack, November 20

Seda saab kõige paremini demonstreerida kinni keeratud klassikalise lambipirniga. Kõigepealt keerad dimmeri nii alla, et valgust praktiliselt ei paista. Sellest hoolimata soojeneb pirn suhteliselt lühikese aja pärast, sest sooja, kuid veel mitte hõõguva hõõgniidi poolt kiirgav nähtamatu infrapunakiirgus soojendab klaasi. Kui keerate dimmeri üles, muutub hõõgniit heledamaks ja pirn kuumeneb, kuni te ei saa seda enam puudutada. Mida kuumemekas hõõgniit läheb, seda rohkem muutub värv punasest valgeks.

Kõigepealt tekitab hõõgniit ainult infrapunakiirgust ja punast valgust, seejärel lisandub aina rohkem vikerkaarespektrist pärit värve. Lõpuks on teil kõik värvid, mis moodustavad valge. Hõõgniidi temperatuur on siiski üle 3000°C. Seda värvinihke füüsikalist seadust nimetatakse Wieneri nihkeseaduseks. Teatud temperatuuril kiirgavat värvispektrit nimetatakse Plancki kiirgusspektriiks.

Järgmine graafik näitab, kuidas infrapunakiired sobivad päikese soojuskiirgusega ja kogu elektromagnetiliste kiirte spektriga:



Infrapunakiirgusel on kaks rahvusvahelist klassifikatsiooni: üks on lähi-, kesk- ja kauginfrapunakiirguse klassifikatsioon, mis on mõeldud punase spektri läheduse väljendamiseks. Teine on klassifitseerimine infrapuna-A, infrapuna-B ja infrapuna-C kiirguseks.

Järgmine tabel näitab seost:

Nimetus	Tähis	Lainepikkus μm	
lähi Infrapuna	NIR	IR-A	0,78...1,4
		IR-B	1,4...3,0
kesk- Infrapuna	MIR	IR-C	3...50
kaug Infrapuna	FIR		50...1000

Põnev fakt:

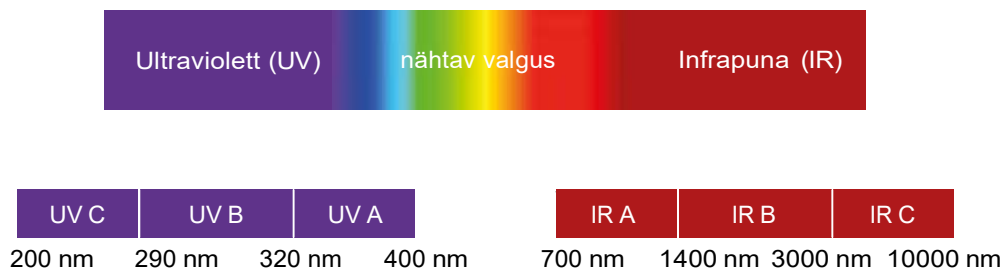
Lisaks kuuma pinna temperatuuridele võivad elektromagnetkiirgust, nagu nähtav valgus ja infrapunakiired, tekitada ka muud füüsikalised protsessid, näiteks fotoelektriline efekt. See töö kaasa sellised arengud nagu LED'id, mida võib leida tänapäevastest lambipirnidest. või infrapuna kaugjuhtimispultidest.



Infrapuna kaugjuhtimispult



Kehade infrapunakiirgus



Joonis. Infrapuna A-, B-, C-kiirgus optilise kiirguse sees

MILLIST TÜÜPI KÜTTEKEHASID ON OLEMAS?

Ja kuhu liigitatakse infrapuna küte?

Küttekehasid saab jagada vastavalt ruumis valitsevale soojusülekande tüübile. Soojusülekanne toimub alati soojalt külmale, mitte kunagi vastupidi. Soojusülekanne on kolm vormi:

- Juhtivus
- Konvektsioon
- Kiirgus

Soojusjuhtivus on tuttav igapäevaelust, näiteks kuuma kohvi või tee külma tassi valamisel. Alguses on tass nii kuum, et seda ei saa peaaegu puudutada. Soojus on vedelikust kruusile juhtivuse teel üle kandunud ja tassi sisu on vahepeal vaid veidi jahtunud.

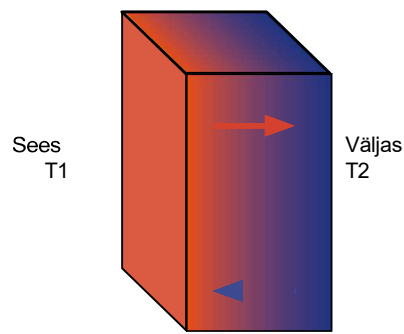
Konvektsiooni saab igapäevaelus jälgida näiteks küünla või pliidiga, kus soojendatud õhk tõuseb soojusallikast kõrgemale. Soe õhk on ümbritsevast külmast õhust kergem ja tõuseb seetõttu ülespoole. All pool lisandub jälle külma õhku, mis omakorda soojendatakse – tekib pidev soojusülekanne küünlalt või pliidilt õhku.

Lõkketule (infrapuna) kiirguse kaudu soojusülekanne on tuttav kõigile. Kuigi õhk võib olla väga külm, siis on tule poole jääv kehapool soe. See tähendab, et soojusallika ja kehapinna kui soojuse vastuvõtja vahel ei tohi olla takistusi. Soojusülekanne kiirguse teel erinevalt konvektsioonist ja juhtivusest ei vaja ainet. Seetõttu jõuab päikesekiirgus meieni läbi kosmosevaakumi.

Järjekordne ekskursioon füüsikasse soojusjuhtivuse, konvektsiooni ja kiirguse ning nendest tulenevate kütteviiside põhjalikumaks mõistmiseks: juhtivusküte, konvektsioonküte ja kiirgusküte.

Tahkete kehade, vedelike ja gaaside soojusjuhtivuse korral puhkeolekus sõltub ülekantav soojushulk sooja ja külma külje temperatuuride erinevusest, materjali soojustakistusest, pinna suuruselt, mille kaudu soojus liigub ja tee pikkusest sooja ja külma poole vahel. Allolev graafik illustreerib seda seinosa abil.

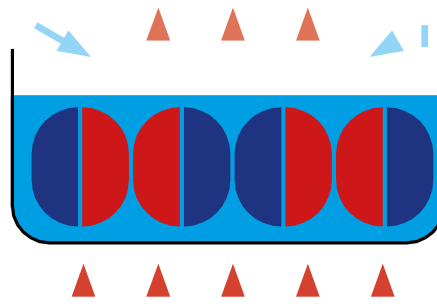
Sein on seest soe (T_1) ja soojus liigub väljapoole, kus on külmem (T_2). Seinas läheb seest väljapoole pidevalt külmemaks. Kui soojusvoog väljapoole ei pääse, muutub sein lõpuks läbivalt ühtlaselt soojaks.



Joonis. Soojusjuhtivus

Konveksiooni käigus ülekantava soojusvõimsuse suurus sõltub järgmistest teguritest:

- küttepinna ja ümbritseva keskkonna (vedelik või gaas) temperatuuride erinevus
- köetava pinna suurus
- soojusülekanne takistus küttepinna ja keskkonna vahel.



Joonis. Konveksioon keedupotis

Kiirguse teel soojusülekanne korral sõltub ülekantav soojusvõimsus

- radiaatori pinnatemperatuuri neljanda astme ja soojendatava ala pinnatemperatuuri neljanda astme erinevusest,
- radiaatori kiirgava pinna suuruselt ja soojendatava pinna võimest neelata kiirgavat kiirgust
- kiirgava pinna võimest kiirata,
- samuti kiirguse vastuvõtmise võimest.

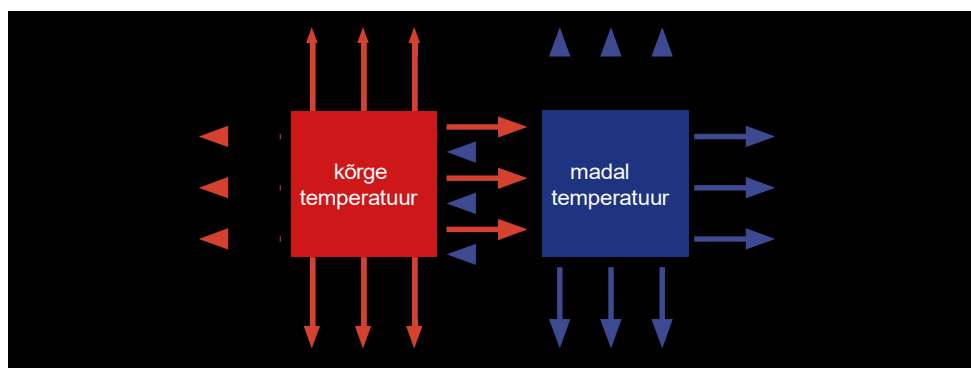
Radiaatori võimet kiirata kiirgust nimetatakse emissiooniteguriks. Soojendatava ala võimet kiirgust vastu võtta nimetatakse neeldumisteguriks. Heitetegur ja neeldumistegur võivad olla vahemikus 0 kuni 1. Mida väiksem on tegur, seda väiksem on vastav kiirgamis- või neeldumisvõime. See tähendab, et radiaator suudab vaatamata kõrgele pinnatemperatuurile valgustatud ala madala emissiooniteguri või madala neeldumisteguriga edastada vaid vähe soojust.

Radiaatori pinna võimet eraldada kiirgust vaatamata kõrgele pinnatemperatuurile madala emissiooniteguriga või kiiratud pinna madala neeldumisteguriga nimetatakse emissiooniteguriks.

Siiski on tõsi ka see, et soojuse ülekandmisel kiirgusega on kõrgete emissiooni- ja neeldumistegurite korral eelis kahe teise ülekandetüübi ees.

Kui võrrelda kolme tüüpi ülekandeid omavahel, siis selgub, et see ei sõltu konkreetselt kütteseadmest ja põhimõtteliselt

- soojusjuhtivuse ja konvektsiooni korral sõltub soojusväljund ainult temperatuuride erinevusest,
- soojuskiirguse puhul aga sõltub väljund kahe pinnatemperatuuri tõusu neljanda astme erinevusest.



Joonis. Kahe keha vaheline kiirgus

Kiirgusülekanne „võidab“ alati kõrgemate temperatuuride suunas. Kui huvitab ainult konkreetse radiaatori poolt otse kiirgav kiirgusvõimsus, ilma soojusülekangeta teisele pinnale, siis see sõltub ainult:

- radiaatori pinnatemperatuuri neljandast võimsusest,
- radiaatori pindalast ja
- radiaatori pinna võimest kiirata kiirgust.

Kütterakenduse jaoks pole see kaalutlus aga oluline. Kui soojusülekanne toimub alati soojusjuhtivuse ja konvektsiooniga, siis kiirguse puhul see automaatselt nii ei ole. Kuna soojusjuhtivus ja konvektsioon on materiaalselt seotud, toimub see ülekanne ainult temperatuuride erinevuse korral.

Kiirguseks piisab, kui kiirgav keha on absoluutsest nullpunkti temperatuurist soojem. Kiirgus toimub seega igal juhul ja mitte ainult temperatuuride erinevuse korral. See, kas see kiiratud energia viib soojusülekanzeni, sõltub sellest, kuhu kiirgus saabub ja mida see seal teeb.

Lihtne näide: kujutage ette kahte pinda, mis on valmistatud samast materjalist, on ühesuurused, millel on samad kiirgusomadused ja mis on võrdselt kuumad. Esimene pind kiirgab teisele pinnale ja teine pind omakorda kiirgab sama kiirgusvõimsust esimesele. Mõlemad kaotavad kiirgusega sama palju energiat, mille kompenseerib teiselt saadav energia. Seega ei toimu kiirguse kaudu soojusülekanne.

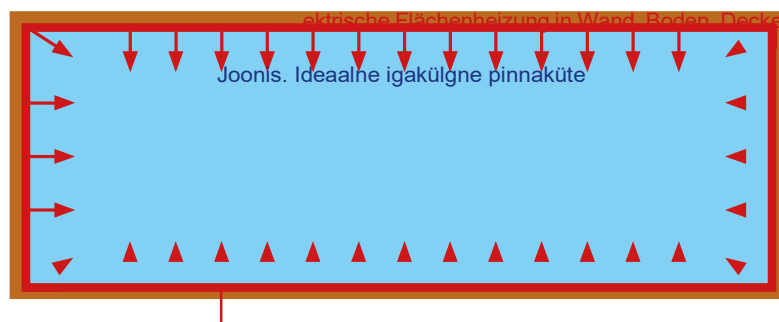
Seega ei piisa ainult kiirgussoojuse vaatamisest, alati tuleb kaasata ka kiirgusvahetus keskkonnaga. Seda aga väga sageli ei võeta arvesse. Peaaegu kogu teabe puhul küttesüsteemide kiirguse osakaalu kohta võetakse arvesse ainult kiirguse soojusvõimsust, mitte tasakaalu keskkonnaga. Täpsemalt saab lugeda lk 23.

Põhilised kütteviisid

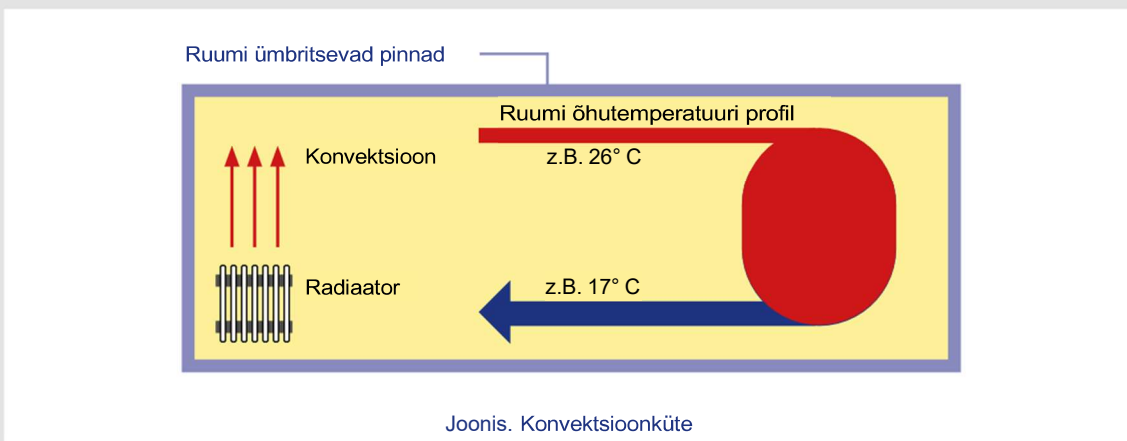
Erinevaid küttesüsteeme saab liigitada vastavalt ruumi soojusülekanne tüübile.

Nn soojusjuhtivusküttega (nagu tavaline põrand-, sein-, laeküte) soojendatakse seinu, põrandat ja lage sisseehitatud elektriküttekiledega või sisseehitatud torudega, mille kaudu voolab soe vesi. Kui kõik ruumi osad ja seega ka ruumpinnad sel viisil ühele temperatuurile soojendada, soojendatakse soojusjuhtivuse kaudu ka ruumis seisev õhk väljastpoolt ruumi keskele.

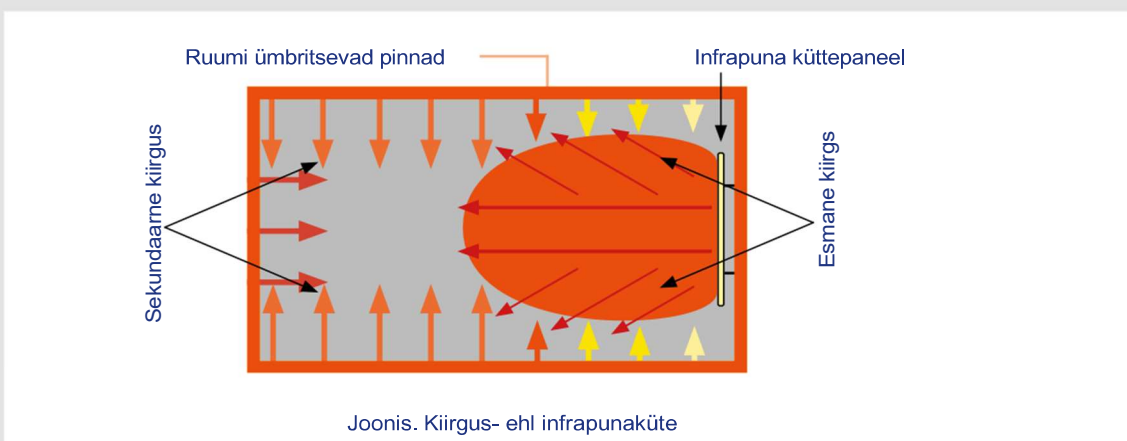
Seda ideaalset soojusjuhtivusega kütteviisi rakendatakse praktikas harva. Niipea, kui sel viisil soojendatakse ainult osa pinnast – näiteks ainult seinu, põrandat või lage – mängib soojuskiirgus ja konvektsioon ka seda suuremat rolli, mida väiksemaks pinnad muutuvad. Kaislauterni tehnikaülikoolis tehtud uuringud näitavad, et isegi sel juhul säilitab juhtivuse protsendi enamuse ja see moodustab üldiselt palju suurema soojusjuhtivuse protsendi kui kõik muud kütteviisid (vt allikad juhendi lõpus).



Selle järgi oleks kõik pinnaküttesüsteemid nagu põrand-, sein- või laeküte määratud soojusjuhtivusega küttele, kuigi see tähistus on kütetööstuses ebatavaline. On oluline, et seda tüüpi klassifikatsioon ei esindaks kvaliteedikriteeriumi, sest igat tüüpi soojusülekanne ruumi on konkreetsete rakenduste jaoks optimaalne.



Enamik praegu levinud küttekehades, nn konvektsioon küttekehades, töötavad konvektsiooni põhimõttel. Õhk soojeneb tavaliste radiaatorite abil, tõuseb üles, moodustab koos alt sissevoolava külma õhuga nn õhurulli ja jaotub nii ruumis laiali. Seejärel soojendatakse soojenenud õhu kaudu ruumi pinnad märkimisväärse viivitusega. Radiaatoreid köetakse kas neid läbiva sooja vee või sisemiste elektriliste küttekehade abil.



Kiirgusküte ehk täpsemalt infrapuna küte soojendab kiirgava soojuskiirgusega otse ruumis olevad kehad ja pinnad. Seejärel soojendatakse pindade kaudu ka ruumi õhku. Kiirgusküttesüsteemid on erineva välimusega / kujundusega (vaata lk 22).

Seega on ruumiõhu ja -pindade soojendamiseks erinevaid viise. Need erinevused on olulised ruumi soojusmugavuse arvestamisel.

Otsene küte, salvestusküte, keskküte

Liskas olulisele liigitusele soojusülekande tüübi järgi saab küttesüsteeme jagada ka kütteprotsessi ruumilise ja ajalise korralduse järgi otsekütteks, akumulatsioonikütteks ja keskkütteks.

Otseküte muudab põlemisprotsessis kütteks kasutatava elektri- või keemilise energia otse tarbimiskohas soojuseks ilma vahepealse salvestamiseta. Nende kütteseadmete hulka kuuluvad kõik elektrilised ühetoalised küttekehad, puuküttega ahjud ja ühetoalised gaasi- või õliahjud. Viimaseid tänapäeval praktiliselt enam ei kasutata.

Salvestuskütte ja keskkütte puhul salvestatakse tekkiv soojus esmalt salvestusmeediumisse ja suunatakse seejärel vastavalt vajadusele soojendatavasse ruumi.

Akumulaatorite tüüpilised esindajad on öised akumulaatorid, kus kividest südamikku soojendatakse öise elektri abil elektriküttejühtmetega ja selle sisselülitamisel puhutakse kividest olevate õhukanalite kaudu tuppa sooja õhku.

Keskküttesüsteemideks on puu-, õli- ja gaasikeskküte, mis koosneb tavaliselt keldrisse või tehnoruumi paigaldatud puu-, õli või gaasipõletist, veepaagist ning torustikust ja radiaatoritest või põrandasse ehitatud soojusjaotussüsteemist. Põleti soojendab vett akumulatsioonipaagis, kust sooja vee soojus juhatakse vaid vajadusel torustike kaudu ruumide radiaatoritesse või sisseehitatud pinnaküttesse. Põleti kasutamise asemel saab akumulatsioonipaagis olevat vett soojendada ka elektriliselt.

Salvestuskütteseadmete ja eriti keskkütte puuduseks on see, et osa soojusest võib põleti, akumulatsioonipaagi või torude soojuskadude kaudu ruumi kütmise jaoks kaotsi minna.

Elektrilise otsekütte alla kuuluvad soojapuhurid, elektriradiaatorid, osa-akumulatsiooni- küttekehad (näiteks looduskivikerised) ja elektrilised infrapuna küttekehad. Sellega seoses on oluline, et neid kütteseadmeid käsitletakse praegu kehtiva hooneenergia- seaduse (HEG) energiahinnangus ühtemoodi, kuigi kogemused näitavad, et erinevused on suured. Võrdse kohtlemise arutamisel kasutatakse nn süsteemikulu numbrit, mis võrdub 1-ga kõigi otseküttesüsteemide puhul, olenemata sellest, kas tegemist on puhur- või infrapuna küttega. Süsteemi maksumuse näitaja on mõeldud küttesüsteemi energiatõhususe üldiseks mõõduks. See kirjeldab kasuliku energia (siin soojuse) ja tarnitud energia (siin elektrienergia) suhet. Kasu osas on aga suur vahe, kas soojendatakse peamiselt õhku ja soojendatakse pindu kaudselt või soojendatakse pindu peamiselt ja õhku soojendatakse kaudselt. Seda on üksikasjalikumalt kirjeldatud lk 18 soojusmugavuse kohta.

MILLISED INFRAPUNAKÜTTE LIIGID ON OLEMAS?

Vastavalt standardile DIN EN IEC 60675 jaotatakse infrapunasoojendid madala ja kõrge temperatuuriga infrapunasoojenditeks vastavalt kasutatavale energiaallikale, nagu gaas või elekter, ja töötemperatuurile. Samal ajal määrab töötemperatuur, millises infrapunavahemikus infrapunasoojendi kõige rohkem energiat kiirgab.

Tüüpilisi gaasi-infrapuna küttekehasid võib leida näiteks tehasehoonete lae-soojenditena ja restoranides terrassisoojenditena. Gaasiga infrapunasoojendiga põletatakse maagaasi või propaani. Ereda radiaatori versioonis kasutatakse leeki otse kiirgusallikana. Tumedas radiaatori versioonis soojendab leek radiaatori korpuse pinda seestpoolt, mis seejärel toimib kiirgava pinnana.

Gaasiga infrapuna kütteseadmete puuduseks on see, et põlemisproduktina tekivad heitgaasid ja veeaur. Lisaks on gaasiküttekehadel tavaliselt suur kiirgusintensiivsus ning need on pigem sobimatud lühikesteks vahemaadeks kontorites ja korterites. Kõik see muudab need büroo- ja eluhoonetes kasutamiseks sobimatuks.



Gaasikütteseade (primoSchwank)

Nii gaasiga töötavad heledad radiaatorid kui ka gaasiga töötavad tumedad radiaatorid on kõrge temperatuuriga radiaatorid. Madala ja kõrge temperatuuriga infrapuna küttekehade vaheline piir on pinnal või nähtaval küttejuhtmel 200°C töötemperatuur. Selles mõttes kuuluvad kõrgtemperatuursete infrapunaradiaatorite hulka ka klassikalised lambipirnid, isegi kui neid tegelikult küttekehadena ei kasutatud.



Gaasitoru kütteseade (deltaSchwank)



Elektriline kiirgusprožektor

Heledate ja tumedate radiaatorite jaoks on olemas elektriliselt juhitud variandid, mis sobivad ka kontorisse ja eluruumidesse, kui need on varustatud vastavate turvaseadmetega.

Tumedate radiaatorite hulka kuuluvad ka madala temperatuuriga infrapuna-radiaatorid, mille pinnatemperatuur on vahemikus 40°C kuni 200°C. Madala temperatuuriga infrapunasoojendid töötati algselt välja hoonete kuivatamiseks enne, kui avastati nende sobivus ruumide kütmiseks. Need on saadaval erineva kujundusega (vt tehnilise disaini peatükki alates lk 22 Kõige levinum korpus on plaat (vt tehnilist projekti lk 22)).



Madala temperatuuriga infrapuna radiaator pistikupesa termostaadiga

MIKS KASUTATAKSE INFRAPUNA KÜTET?

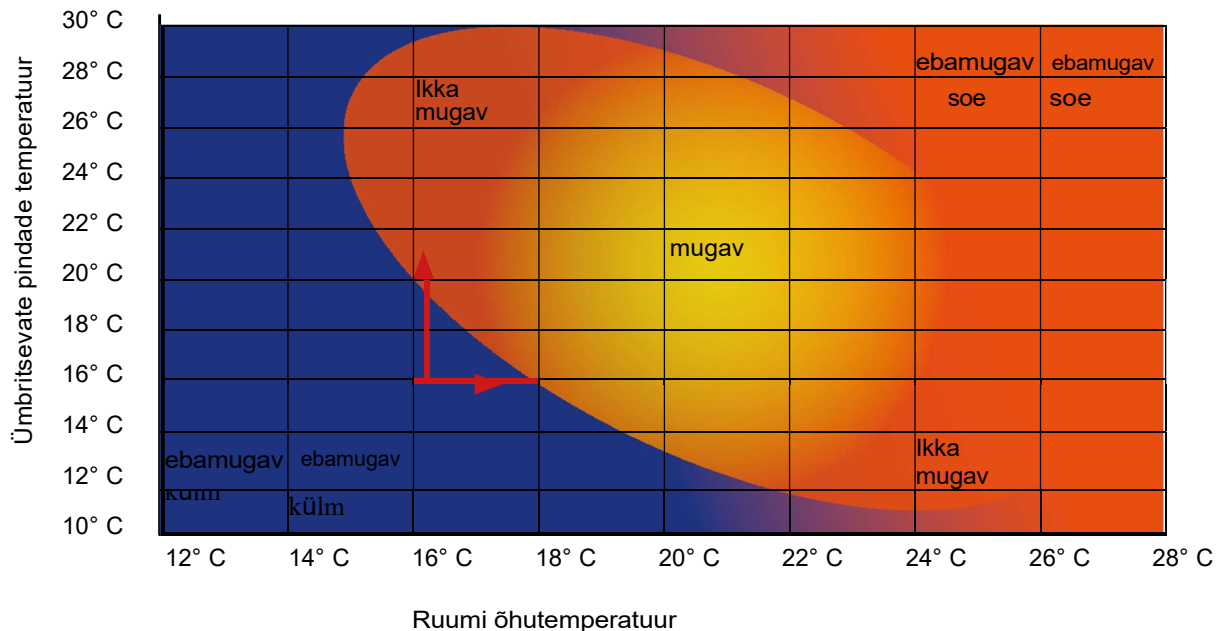
Ja mis teeb infrapunakiirgusega kütmise nii atraktiivseks?

"Mugavus lihtsalt sooja õhu asemel!" (tundmatu autor)

Kõikide küteliikide puhul köetakse nii õhku kui ruumi pindu. Konvektsioonküte on kõige levinum. Sellega köetakse põhiliselt ainult õhku, mis varem tagas, et paljudes küttenormides ning büroo- ja üürikorterite määrustes oli korralikult toimiva kütte jaoks ette nähtud ainult üks eesmärk s.o. saavutatav õhutemperatuur.

Kaasaegse kütte- ja kliimatehnika standardites, nt DIN EN ISO 7730 määrati soojusmugavuse kriteeriumid. On tõdetud, et lisaks õhutemperatuurile mängib olulist rolli ka ruumi pindade temperatuur.

Seos õhutemperatuuri, ruumi pinnatemperatuuride (ruumi ümbritsevad alad) ja subjektiivse termilise mugavuse tajumise vahel on näidatud järgmisel graafikul:



Subjektiivse tunde, et pole liiga soe ega liiga külm, st termiliselt mugav, võivad tekitada erinevad õhu- ja ruumipinna temperatuuride kombinatsioonid. Igaüks teab ilmselt omast kogemusest, et soojustamata vanas hoones, mille välisseinad võivad külma ilmaga märgatavalt jahtuda, tuleb termostaadi õhutemperatuuri seada kõvasti üle 20°C, et tunneksite end toas mugavalt.

Mugavust on võimalik saavutada nii madalate ruumipinna temperatuuride ja kõrgete õhutemperatuuridega kui ka vastupidi kõrgete ruumipinna temperatuuride ja madalate õhutemperatuuridega.

Viimaste aastate uuringute abil on suudetud näidata, et teine variant – kõrgem ruumipinna temperatuur ja madalam õhutemperatuur – on paljudel juhtudel energiasäästlikum ja kulutõhusam (vt. Rahvusvaheline infrapunakütte töötuba lõpus allikate loendis). Seda illustreerib lk 20 olev pilt kahe punase noolega. Mõlemad nooled tähistavad sama soojusenergia kogust. Alates ebamugavalt külmast algolukorrast, kus õhu- ja ruumipinna temperatuur on kumbki 16°C, kulub sama palju soojusenergiat kas lihtsalt õhu soojendamiseks või lihtsalt pindade soojendamiseks. Pindade soojendamise jätkamiseks mugavustundele palju lähemale ja kiiremini mugavustsooni kui õhu soojendamise jätkamiseks. Kasutate üldiselt vähem soojusenergiat, mis tavaliselt toob kaasa tõhusamad küttesüsteemid.

.

Seetõttu muutub üha olulisemaks pinnaküte ja eriti infrapuna küte, mis soojendab eelkõige ruumi pindu.

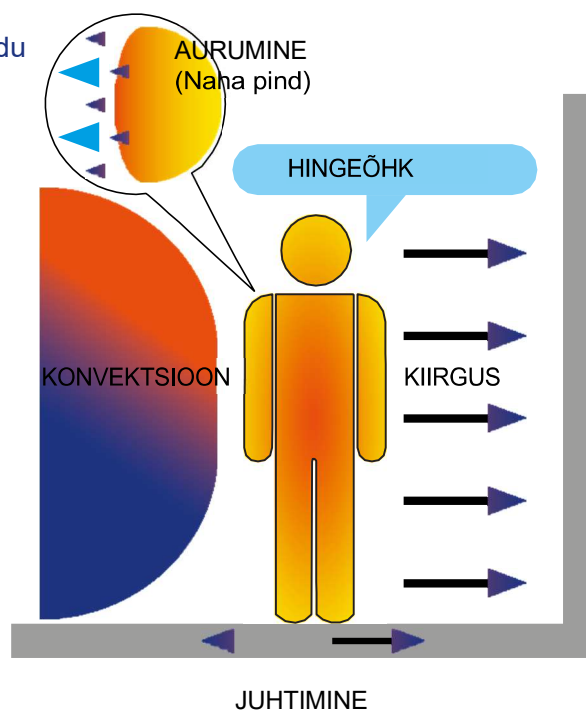
.

MIKS TUNDUB SUURTE PINDADE KÜTMINE MUGAV

– kuigi need pole infrapuna küttekehad?

Nagu varasemates peatükkides juba kirjeldatud, sõltub soojusmugavus olulisel määral ruumi pindade pinnatemperatuuridest ja õhutemperatuurist, mis ruumis viibivat inimest mõjutab. Ja vastupidi, soojuse tajumine sõltub inimese soojusvõimsusest.

Keskmiselt jaguneb soojuskadu järgmiselt:
43% (infrapuna)kiirguse kaudu
31% konvektsiooni ja soojusjuhtivuse kaudu
22% aurustumise (higistamise) kaudu
4% hingamise kaudu



Joonis. Interaktsioon, vastastikune mõju

Peaaegu pool kehasoojusest antakse kiirguse kaudu keskkonda. Jahtumise ja külmumise vältimiseks tuleb esimese asjana vältida keha kiirguse kadu. Sel põhjusel kasutavad päästetöötajad õnnetuse korral infrapunakiirgust peegeldavaid kilesid, mis hoiavad kiirguse kao peaaegu täielikult ära

Paljud inimesed tunnevad seda kiirguse kadu igapäevasest kogemusest, kui viibite suure isoleerimata akna läheduses, kui välistemperatuur on pakaseline. Seejärel muutub akna sisepind väga külmaks. Subjektiivselt jääb mulje, et aknal on

tuuletõmbus, kuigi aken sulgub tihedalt. Naha närvid suudavad väga halvasti eristada soojuskadu tuuletõmbusest ja soojuskadu kiirgusest, kuid siin on tegemist viimasega.

Seega kaotame suure osa kehasoojusest ümbritsevatele jahedamatele ruumi- ja aknapindadele.

Neid pindu soojendatakse infrapunaküttega. Pinnad saavad keskmise temperatuuri, mis on lähemal riietatud inimese keskmisele pinnatemperatuurile. Need on enamasti temperatuurid vahemikus 18°C kuni 25°C. Ümbritsevate pindade ja inimese vahelise kiirgusvahetuse tasakaal muutub peaaegu nulliks. Kiirguse kaudu tekkivad soojuskadod vähenevad ja mugavus suureneb.

See keskmise temperatuuri tõus kogu ümbritsevas piirkonnas on seega määrav.

See on aga määrav ka pinnaküttesüsteemide nagu põranda-, seinä-, ja laekütte mugavuse seisukohalt. Kuigi nad annavad oma energiat peamiselt soojusjuhtivuse kaudu, on ruumi pinnatemperatuurid keskmiselt umbes samad, mis ruumis viibivate inimeste pinnatemperatuurid. Kehasoojuse soojuskadu kiirgusvahetuse kaudu on seetõttu sama väike kui infrapunakütte puhul.

INFRAPUNA KÜTTE TEHNILINE EHITUS

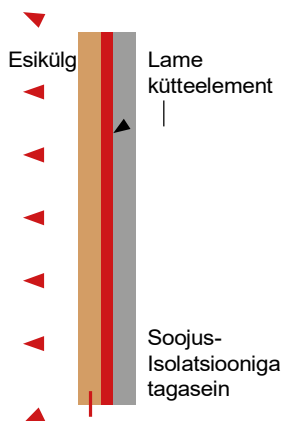
Kuna gaasi-infrapunasoojendid ei mängi büroo- ja elamutes mingit rolli ning seetõttu ei saa neid neis piirkondades peaaegu või üldse mitte kasutada, piirdume siin elektriliste infrapunasoojenditega.

Kõik elektrilised infrapunasoojendid koosnevad voolu juhtivast kütteelemendist ja korpusest. Kütteelement on elektritakistus ja elektrienergia muundatakse peaaegu 100 protsenti soojuseks. See muundamise efektiivsus on kõigi elektriliste infrapunasoojendite puhul sama ega ole mingil juhul kvaliteediomadus. Kuid paljud tootjad on seda sageli sellisena määratlenud. Muundamise efektiivsust ei tohiks segi ajada kiirgusefektiivsusega (vt käesolevas peatükis hiljem. Kiirgusefektiivsus on kõige olulisem kvaliteedinäitaja.

Infrapuna küttekehade puhul on kütteelement nähtamatult korpusesse integreeritud ja soojendab selle pinda seestpoolt. Soojendusega korpuse pind on tegelik infrapuna- radiaator. Pinna omadused määravad siis kvaliteedi radiaatorina. Tumedate radiaatorite pinnatemperatuur on kuni ca 500°C.

Enamik neist tumedatest radiaatoritest on konstrueeritud lamedate madala temperatuuriga infrapunakiirguritena (pinnatemperatuur kuni 200 °C), mis kiirgavad ainult ühele küljele. Need on ette nähtud paigaldamiseks seinale või lakke. Nad kiirgavad hajusalt lainurga all.

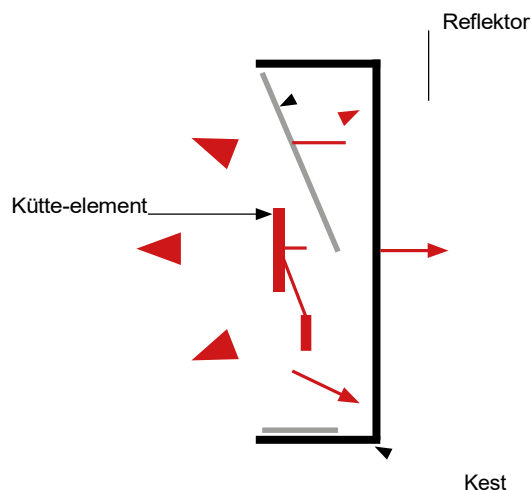
Allolev graafik näitab põhistruktuuri:



Joonis. Lameda madala temperatuuriga infrapunaradiaatori põhistruktuur

Sõltuvalt korpuse struktuurist on kiirgussoojendite kütteelement mõnikord enam-vähem nähtav, helendab sõltuvalt temperatuurist eredalt või tumedalt ja koosneb kas hõõgniidist, nagu klassikalises väikeses klaastorus olevas lambipirn, või hõõguv plaat. Kütteelemendi taha paigaldatakse tavaliselt reflektor, nii et kiirgus on suunatud kitsa nurga all ettepoole, nagu prožektor puhul. Tagantpoolt on kiirgus siis ainult väga nõrk.

Järgmine graafik näitab põhistruktuuri:



Joonis. Kiirgusradiaatori põhimõte

Infrapunasoojendite korpused on saadaval väga erineva kujundusega.

Eelkõige on lamedad madala temperatuuriga infrapunasoojendid saadaval paljudes variatsioonides sein- või laepaneelidena, peeglisoojenditena, pildisoojenditena, kunstiliste kollaažidena ja palju muud.

Infrapunasoojendite olulisemad parameetrid on lisaks elektriga ühendatud koormusele kiirgusefektiivsus ja soojenemisaeg.

Elektriga ühendatud koormus on võimsus, mille infrapunakütteseade võtab elektrivõrgust ja muundab soojuseks. See peab olema vähemalt sama suur kui ruumi jaoks vajalik küttevõimsus, mis tuleneb soojuskoormuse arvutusest vastavalt standardile DIN EN 12831.

Kiirgusefektiivsus näitab, kui suur osa tarnitud elektrienergiast tegelikult edastatakse infrapunakiirgusvõimsusena ruumi pindadele.

Nagu juba kirjeldatud, ei tohi seda segi ajada kiirgusvõimsuse selle osaga, mis vastab infrapunakiirgusena kiiratavale elektrienergia osale. Ruumipinnad mõjutavad infrapuna kiirgust andes tagasi oma infrapunakiirguse ja tühistavad osaliselt seal eralduva kiirguse mõju.

Valguskiirguri põhimõte. Kütteelement peegeldab infrapunakiirguse tagasi infrapunasoojendile ja tühistab osaliselt seal kiirguva kiirguse mõju.

Mõnikord kasutatakse terminit kiirgusefektiivsus ekslikult või isegi kuritahtlikult, kuigi tegelikult mõeldakse kiirgustegurit. Kiirgusteguri väärtused on oluliselt kõrgemad kui kiirgusefektiivsuse väärtused.

Kiirgusefektiivsuse mõõtmise meetod töötati esmakordselt välja Kaiserslauterni Tehnikaülikooli töörühma poolt aastatel 2010–2014 ja alates 2014. aastast on seda rakendatud VDE/DKE standardimise töörühmas uues standardis DIN EN IEC 60675. - 3, mis jõustus 2021. aastal.

Oluline on, et ainult kiirgusefektiivsus võimaldab rääkida kvaliteedist selle kohta, kui hästi infrapunasoojendi küttekehana töötab ehk kui hästi suudab see ruumi pindu soojendada.

Kõik kütteseadmed, nagu kõik soojad kehad, eraldavad soojust infrapunakiirtena. Erinevate küttekehade kiirgusefektiivsuse tüüpilised väärtused vastavalt uuele kiirgusefektiivsuse mõõtmismeetodile on:

Küttekeha / Radiaator	Kiirgusefektiivsus
Ahi/pliit	max 5%
Elektriline öine akumulaaorkütteseade	max 10%
Radiaator (elektriline või kuuma veega)	5 kuni 15%
Paneelradiaatorid (elektrilised või sooja veega))	10 kuni 25%
Põrandaküte (elektri või sooja veega)	15 kuni 35%
Laeküttesüsteemid (elektri või sooja veega)	20 kuni 40%
Seinakütteseadmed (elektri või sooja veega)	10 kuni 35%
Kahhelahjud	25 kuni 45%
Infrapuna-kiirgusküte (= Infrapunaküte)	40 kuni üle 90%

Siin saab selgeks, miks infrapuna kütteseadmed on nii olulised. Need ületavad kiirgusefektiivsuse poolest selgelt kõiki teisi kütteseadmeid. Tuleb märkida, et uue standardi järgi saab infrapunasoojenditena kirjeldada vaid küttekehaid, mille kiirgusefektiivsus on 40% või rohkem.

Paljud tänapäeval infrapunaküttena pakutavad küttesüsteemid ei ole selles mõttes küttekehad. Soojus antakse ruumi alati samaaegselt soojuskiirguse, konvektsiooni ja soojusjuhtivuse kaudu.

Sajaprotsendiline vabanemine soojuskiirguse kaudu on füüsiliselt võimalik ainult vaakumis, näiteks päikese ja maa vahel.

Ülaltoodud mõõtmismeetodi uuringutes praktiliselt mõõdetud infrapunasoojendid saavutavad vajaliku 40-protsendilise kiirgusefektiivsuse vaid pinna-temperatuuridel üle ca 60°C. Teoreetiliselt oleks see saavutatav alates umbes 40°C. Madala temperatuuriga infrapunakütteseadmetega, mille pinnatemperatuur on maksimaalselt 200°C, on teoreetiliselt võimalik saavutada maksimaalselt 70-protsendiline kiirgusefektiivsus. Heledad radiaatorid saavutavad kuni 90%.

See osa soojustoodangust, mida infrapunakiirgusega ruumi ei saa üle kanda, kandub keskkonda tavaliselt peamiselt konveksiooni teel. Soojusjuhtivuse osakaal on enamikes kütteseadmetes madal. Peaaegu kõik kütteseadmed, mis ei ole tõelised infrapunasoojendid, mille kiirgusefektiivsus on vähemalt 40%, on tegelikult konveksioonkütteseadmed, kuigi paljusid neist, näiteks paneelradiaatorit, nimetatakse ajaloolistel põhjustel kiirgussoojenditeks.

Kütteaeg on veel üks oluline parameeter, kuna see näitab, kui hästi saab infrapunakütteseadet juhtida. Mida lühem on soojenemisaeg, seda paremini suudab infrapunasoojendi juhtimist järgida. Kütteaeg määratakse samuti uue standardi DIN EN IEC 60675-3 järgi. Head infrapunasoojendid võivad soojeneda vähem kui viie minutiga, samas kui ideaalne oleks alla kahe minuti.

UUS STANDARD: DIN EN IEC 60675-3

Uues standardis DIN EN IEC 60675-3 on esmakordselt kogu maailmas sätestatud meetod kodumajapidamises kasutatavate elektriliste otsekütteseadmete kiirgusefektiivsuse määramiseks.

Standard töötati algselt välja VDE/DKE töörühmas Kaiserslauterni Tehnikaülikooli uurimistulemuste põhjal. Seejärel tutvustati seda rahvusvahelisel tasandil Rahvusvahelise Elektrotehnikakomisjoni (IEC) töörühmale ja arendati seal edasi. IEC on maailma kõige olulisem elektrotehnika ja elektroonika valdkonna standardimisorganisatsioon, mis asub Genfis. IEC standard on jaemüügis määrav kvaliteedikriteerium.

Kiirgusefektiivsuse määramiseks vajalikud mõõtmised tehakse standardiseeritud katseruumis ja nagu eelpool kirjeldatud, mõõdetakse tegelikult efektiivselt ruumi pindadele üle kantud soojustoodang. Lisaks on seatud piir, millal elektriline individuaalne toasoojendaja on selle standardi järgi infarpunakütteseade, nimelt alates 40 protsendist. Üle selle künnise ületab infrapunakiirguse poolt edastatav soojusvõimsus mõlema kahe teise soojusülekanne tüübi, st nii konvektsiooni kui ka juhtivuse oma.

See spetsifikatsioon on ülioluline, kuna kirjeldatud infrapunakütte mõjud, nagu pindade valdav soojenemine ruumiõhu asemel, rakenduvad alles siis. Kuna terminit infrapunakütte kasutati küttureturul meelevaldselt – infrapunasoojenditena pakuti isegi ventilaatorküttekehasid – ei olnud see kõigi selle nimetuse all pakutavate toodete puhul sugugi garanteeritud.

Standardis DIN EN IEC 60675-3 ankurdatud kiirgusefektiivsuse definitsiooniga loodi alus, mille abil on võimalik klassifitseerida olemasolev küttesüsteem infrapunakütteks – või mitte.

Lisaks on standardis ette nähtud kütteaja mõõtmise meetod.

Infrapunakütte kõige olulisem kvaliteedikriteerium on seega kiirgusefektiivsus, tähtsuset teine on soojenemisaeg, mis on määratud vastavalt standardile.

INFRAPUNA KÜTTE KASUTAMINE

Kuidas kasutada infrapuna kütet õigesti!

Põhimõtteliselt on soov või vajadus mugava temperatuuriga keskkonna järele. Sellise keskkonna tagamine on kütetehnoloogia ülesanne ja eesmärk.

Kuidas on siis kõige parem toimida, kui kasutada infrapuna kütet?

Kõige olulisem kriteerium on: Infrapunaküte ja hoone või rakendus peavad ühilduma. Oleme harjunud kasutama konvektsioonsoojendeid ja neid nägema. Kuid need toimivad väga erinevalt. Seetõttu nõuab infrapuna kütteseadmete kasutamine tavaliselt nende planeerimise ja kasutamise ümbermõtestamist.

Üldiselt on kaks ülesannet:

1. Kasutamine lisaküttena

Soovite lisaks põhiküttesüsteemile luua mugava temperatuuriga ruumi, elamu või avatud ruumi ala (paindlik, mobiilne) valitavates alades. See on tüüpiline lisaküttekeha kasutusala. Kasutaja ei pea järgima mingeid eriseadusi ega eeskirju ning igaüks võib seda ise rakendada vastavalt kasutusjuhendile.

Täiendavate kütterakenduste näited on:

Külm tsoon muidu köetavas ruumis

Kütmata ühekordne tuba köetavas elamus

Lisaküte juhuslikult kasutatavates ruumides mugavuse suurendamiseks (nt vannituba) Hallitusprobleemid (selgitage põhjus enne: põhilised niiskuskahjustused, ventilatsiooniprobleemid, külma tsooni tagajärjed)

Üldine: mugavuse puudujääk muidu köetava elamu teatud eluruumides.

2. Kasutamine põhiküttena

Soovite luua mõnusa temperatuurikeskkonna kogu hoone, korteri, esiku või avatud ruumi alale. See on infrapuna kütte rakendamine põhiküttena

INFRAPUNA KÜTTE KASUTAMINE Õigesti!

Tuleb järgida mitmeid seadusi, määrusi ja standardeid (vt lk 31), mis nõuavad asjatundlikke inseneriteenuseid energiakonsultantidelt, planeerijatelt ja arhitektidelt ning täitmist spetsialistidelt. All olev samm-sammuline juhend infrapuna küttekeha kasutamiseks põhiküttena on mõeldud professionaalidele. Tavainimestele võib see olla teabeks spetsialiseeritud ettevõtte või spetsialisti tellimisel

INFRAPUNA KÜTE LISAKÜTTENA

Järgmine teave kehtib ülalkirjeldatud rakenduste kohta lisaküttena.

Elektriühenduse võimsuse mõõtmine

Allolevas tabelis toodud küttevõimsuse väärtused on ligikaudsed juhtväärtused infrapunasoojendi kui lisakütte ühendatud koormuse hindamisel. Määrake külmatooni või üksiku köetava ruumi põrandapind ja korrutage see pindala vastava küttevõimsusega. Selle tulemuseks on infrapuna küttekeha või küttekehade elektriühendus, mis on vajalik lisaküttena.

Eelkõige passiivmajade puhul on vajalik lisasoojusvõimsus nii väike, et ligikaudselt sobivaid infrapuna küttekehasid pole. See pole aga probleem, kuna termostaat hoiab ära ülekuumenemise.

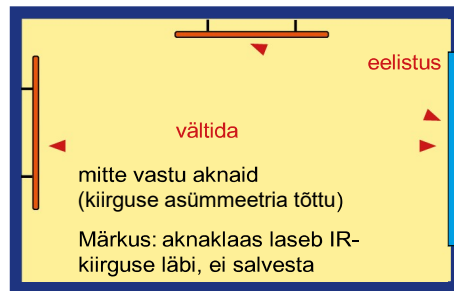
Ehitusaasta või ehitusstandard	Küttevõimsus
Ehitusaasta kuni 1982	60-100 W/m ²
Ehitusaasta 1983 kuni 1995	40-60 W/m ²
Ehitusaasta alates 1996 üldine	30-40 W/m ²
KfW-energiatõhususe maja 70	15-30 W/m ²
Passiivmaja	10 W/m ²

Kasutatavad ruumitermostaadid

Kahjuks ei ole praegu infrapuna kütteseadmete jaoks spetsiaalseid ruumitermostaate, mis suudaksid mõõta õhu ja pinna temperatuuri kombinatsiooni. Spetsiaalsed andurid, nagu maakera andur (musta palli andur), on infrapunakütte juhtseadiste uurimisel osutunud liiga aeglaseks. Seetõttu tulebki teha ümberarvestus müügilolevate õhutemperatuuri termostaatide kaudu, kuni töötatakse välja uued ja kiired andurid, mis on tööstuslikuks kasutamiseks valmis. Need on juba uurimistöös olemas ja üks neist on juba määratletud uues DIN SPEC 91420-s. Akutoitega juhtmevabad termostaadid on seetõttu osutunud lisaküttena kõige lihtsamaks kasutamiseks.

Infrapunasoojendi paigutamisel akendega ruumis kehtib ainult üks üldreegel: võimalusel mitte akende vastas. Külma aknapinna tõttu on aknapoolne keskmine temperatuur infrapunaküttega vastasseinast oluliselt madalam.

Kahe seina vahelise võimaliku suure kiirguse asümmeetria tõttu võib see kaasa tuua nn „lökkeefekti“ ehk üks pool tajutakse liiga soojana ja teine pool liiga külmana. Kõik muud seisukohad on selles osas kriitilised. Seetõttu tuleks võimalusel vältida asukohta akende vastas. Eriti vanades hoonetes on parim asend akende kõrval või nende vahel



Joonis. Lisaküttekeha paigutamine ühe aknaga ruumi

Lisaks tuleb arvestada

Infrapunakütte- ja kontrolltermostaadist koosnevale süsteemile kehtivad järgmised tingimused, kui seda kasutatakse lisaküttekehana:

Vaikimisi on temperatuuriregulaator põhikütte juhtimisest sõltumatu. Seda tuleb arvestada põhikütte ja lisakütte termostaatide paigutamisel (piisav kaugus). Infrapunasoojendi ja sellega seotud termostaat tuleb mõlemad paigutada lokaalselt soojendatavasse tsooni (vt paigutust ülalpool), et saavutada võimalikult suur efekt ning minimeerida põhikütte ja lisakütte vastastikust segamist.

Kasutuselevõtt:

Tuleb jälgida, et järgitaks kõiki infrapunasoojendi ja termostaadi kasutusjuhendis toodud juhiseid. Põhikütte termostaadid tuleb enne kasutuselevõttu jätta tavapärastesse seadistustesse, milles oli mugavuse puudujääk.

Reguleerige infrapunasoojendi termostaat subjektiivsele mugavusele.

Pange tähele: ekraanil olevad temperatuurinäidud on ruumiõhu termostaatide puhul veidi eksitavad. Põhjus: mugavuse osas loeb ruumi õhu ja pinna temperatuuri kombinatsioon, mitte ainult ruumi õhutemperatuur.

Kasutamine

- Infrapunasoojendit tuleks kasutada lisaküttekehana, mitte peidetud põhiküttekehana.
 - Lülitage küttekeha välja, kui te seda ei kasuta (termostaadi kaudu)
 - Jätke põhikütte termostaadid tavapärasesse seadistusse enne lisakütte käivitamist, et vältida liigset energiatarbimist.
- Põhjus: teatud termostaadi seadistuste kombinatsioonid võivad põhjustada ruumi ülekuumenemist.

Milliseid juriidilisi nõudeid ja standardeid tuleb üldiselt järgida?

Internetis liigub palju juhiseid, kuidas lihtsate valemite abil arvutada üksikute ruumide vajalik küttevõimsus ja seejärel projekteerida infrapuna küttelehendus. Seda soodustab asjaolu, et infrapuna küttekehasid on soodne osta ja ka võhikutel on neid lihtne paigaldada. Tihti jääb mulje, et nii saab sisustada kõik maja või korteri ruumid.

Asi on vastupidi! Iseseisev paigaldamine on seadusega lubatud ainult üksikute ruumide jaoks lisaküttena. Infrapuna küttesüsteemide kasutamisel põhiküttena on hädavajalik järgida vastavaid seadusi ja eeskirju. Nõuete eiramine on karistatav rikkumine ja selle tagajärjeks võivad olla suured halduskaristused. Lisaks on oht, et valesti valitud ja paigaldatud infrapuna kütteseadmed muudavad elektritarbimise ja sellest tulenevad kulud ebamõistlikult suureks.

Põhiküttesüsteemi puhul on soojuskoormuse arvestus ja ehitusenergia seaduse (GEG) kohased arvustused kohustuslikud seadusega.

Soojuskoormuse arvutus (endine soojusvajaduse arvestus) määrab soojusvõimsuse, mille jaoks tuleks küttesüsteem projekteerida, et hoida soojas ka väga külmadel päevadel. Ehitusenergia seadus kehtestab aastase energiatarbimise piirväärtused, millele hoone ja kasutatav küttesüsteem peavad vastama.

Samuti on olulised tootespetsiifilised juriidilised nõuded ja standardid nagu:

- ökodisaini direktiiv (EU Ecodesign Directive 2009/125/EC, Regulation 2015/1188)
- kvaliteedimärgised nagu CE- või GS-märgis sealhulgas nendega seotud testid
- standardid nagu uus DIN EN IEC 60675-3.

Ökodisaini direktiivi eesmärk on vähendada nii palju kui võimalik energiat tarbivate toodete keskkonnamõju. Arvesse võetakse kogu toote elutsükkel. Tooted peavad olema kujundatud nii, et need saastavad tootmise ja kasutamise käigus võimalikult vähe keskkonda. See direktiiv mõjutab ka infrapunakütet. Tootjad ja tarnijad peavad järgima kõiki direktiivi nõudeid.

CE-märgis või täpsemalt CE-vastavusmärgis on märgis, millega tootja kinnitab, et toode vastab märgise tootele paigaldamist sätestavate ühenduse ühtlustamise õigusaktide alusel kohaldatavatele nõuetele ehk CE märgise paigaldamisega tootele kinnitab tootja, et toodet on hinnatud ning see vastab kõigile selle toote osas kehtestatud keskkonna- tervise- ja ohutusnõuetele.

Puhas CE-märgis ei ole katsemärk nagu GS-märgis. Kui selle vastavust EL direktiividele on tõendanud riiklikult määratud testimisasutus, lisatakse katsenumber. See teeb sellest ka testimärgi. GS-märk tõendab, et toode vastab tooteohutuse seaduse nõuetele. See on ainus seaduslikult reguleeritud tooteohutuse märk EL-is, mis kaitseb elule ja kehale tekitatud kahju eest.

Erimärkused kõrgtemperatuursete infrapuna küttekehade kasutamise kohta

Paljud elektrilised kõrgtemperatuursete infrapuna küttekehad saab paigaldada ka iseseisvalt lisaküttekehana, eriti kõrgete lagedega ruumidesse ja avatud ruumide, näiteks terrasside kütmiseks.

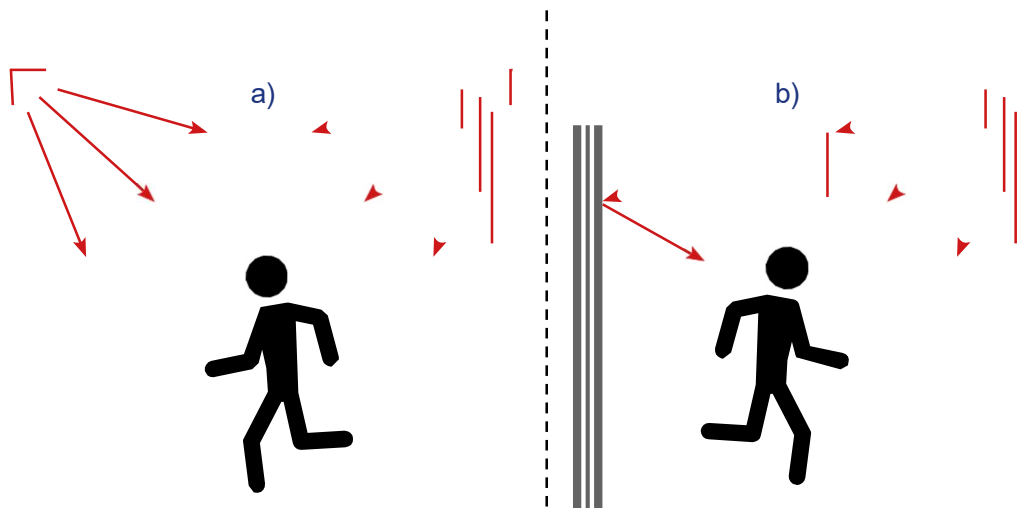
Kõrge temperatuuriga infrapuna küttekehad hõlmavad kõiki radiaatoreid, mille pinnatemperatuur on 200°C kuni üle 1000°C. Kõrgete temperatuuride tõttu tuleb järgida spetsiaalseid ettevaatusabinõusid, nagu minimaalne paigalduskõrgus ja kaugus põlevmaterjalist.

Erinevalt madala temperatuuriga infrapuna küttepaneelidest võib elektriga ühendatud koormus kasutusala tõttu olla mitu tuhat vatti. Seetõttu peab olema olemas vastavalt kõrge kaitsetasemega toiteallikas, võib-olla kuni kõrgepingeühenduseni.

Kerise tüüpiliselt vajalik elektrienergia võimsus on kõrgetes ruumides (3 meetrit ja rohkem) 100-200 vatti ruutmeetri kohta, avatud aladel 200-400 vatti ruutmeetri kohta, kui avatud ruum ei ole tuule eest kaitstud, isegi rohkem. Üksikjuhtudel peaksite järgima tootja soovitusi või konsulteerima spetsialistiga.

Paigutus sõltub suuresti võimsusest ja valgusvihu nurgast.

Tootjad esitavad vastava teabe paigaldusjuhendis. Üldiselt soodsat paigutust avatud ruumi kasutamiseks on illustreeritud alloleval pildil. Kui avatud ruumiga ei ole piiravat seinu (pilt a),



Joonis. Küttekeha paigutamine avatud ruumis

Siis piisab tavaliselt selle paigutamisest kahele vastas küljele ülalt nurga all (eeldusel, et kasutatakse vastavaid paigaldusseadmeid, näiteks maste).

Kui on olemas piirdesein (pilt b), siis on parim paigutus sein vastas. Selle eeliseks on see, et köetakse ka seinapinda, ka kiirgus peegeldub osaliselt olenevalt sein materjalist (peegelradiaatori- efekt) ning kahest küljest soojendatakse ka seal asuvaid inimesi.

Siin on vaja ka sobivaid paigaldusseadmeid. Sageli kasutatav paigaldamine seinale on palju lihtsam ja odavam, kuid palju ebamugavam radiaatori ja välise soojuse erinevuse tõttu. Kõigi rakenduste puhul, mis lähevad kaugemale liskütte olemusest, st üldiselt mitteeluhoonetes, tuleb lisaks tootja juhiste järgida ka seal kehtivaid standardeid ja juriidilisi nõudeid. Need paigaldused peavad läbi viima spetsialistid.

INFRAPUNA KÜTE PÕHIKÜTTENA

Osa 1: Süsteemilahendus infrapuna kütteseadmete kasutamiseks põhiküttena

Infrapuna küttekehasid ei erista seadusandlikud eeskirjad ja nendes sisalduvad arvutusreeglid teistest otsekütte viisidest. On palju praktilisi näiteid, mille puhul infrapuna küttekehad toimivad energiakasutuse osas palju paremini kui võrreldavad konveksioonküttekehad. Kahjuks on ka palju vastuväiteid, mille puhul infrapunaküttele üleminekul energiakulu suureneb. Täpseid seoseid uuritakse veel.

Põhjus, miks eeskirjades varasemad arvutusvalemid infrapuna küttega hästi kokku ei sobi on järgmised:

Eelmised küttekehad on valdavalt õhku soojendavad konveksioon küttekehad. Nende kütteseadmete jaoks on olemas hästi toimivad arvutusmeetodid. Rangelt võttes ei kõeta konveksioonkütte puhul mitte hoonet ennast, vaid ainult hoones olevat õhuruumi. Infrapunaküte soojendab aga otseselt hoonetes olevaid pindu ehk ehitusosi ja seega ka hoonet ennast, mis on ehitusfüüsikaliselt suur erinevus. Selle tagajärgi pole aga veel üksikasjalikult uuritud. Seetõttu puuduvad siiani infrapuna kütte jaoks kohandatud arvutusvalemid, mida saaks eeskirjades kasutada, et eelnevalt otsustada, kas infrapuna küttest on konkreetsetes hoones kasu või mitte. Eelkõige ei ole ikka veel konkreetset väärtust ülalmainitud infrapuna kütteseadmete süsteemi kulunumbril.

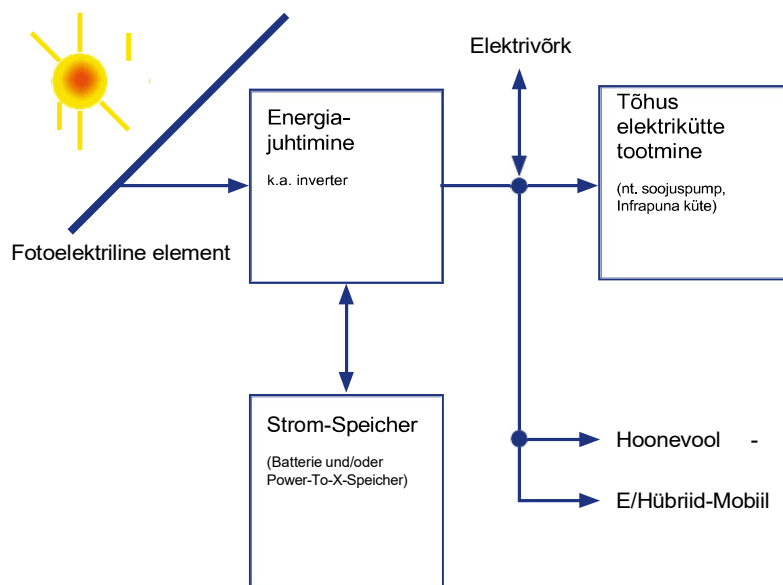
Selle tagajärg on see, et GEG-i järgi arvutades ei suuda infrapuna küte paljudel juhtudel vastata nõutavatele piirväärtustele ja on välistatud põhiküttena.

Sellest dilemmast on aga väljapääs: terviklik vaade maja või korteri energiavarustusele.

Õige küttesüsteemi küsimus pole ainus, mis vajab energeetiliselt mõistlikku vastust. Selle taga on palju laiahaardelisem ülesanne tagada hoonetele õige energiavarustus. Selle kohta on tehtud palju uuringuid, mis kõik viitavad sellele, et hoonete energiavarustus peab arenema kohaliku energiaautonoomia suunas.

Juba 1990. aastatel alustati selliseid uuringuid Kaiserslauterni Tehnikaülikoolis toonastes ökoloogilise ehituse ja hoonesüsteemide tehnoloogia töörühmades. Tulemuseks on süsteemkontseptsioon, mis on ökoloogiliselt ja majanduslikult mitmes mõttes kasulik. Seda kontseptsiooni on tänaseni edasi arendatud ja see sisaldab nüüd olulise komponendina infrapuna kütet.

Süsteemi kontseptsioon on skemaatiliselt näidatud järgmisel joonisel:



Joonis. Süsteemikontseptsioon

Energiaallikas on päikeseenergia, mis fotogalvaanilise süsteemi abil muudetakse elektriks. Elektrit ei kasutata mitte ainult „tavalise“ majapidamise elektrienergiana, vaid ka tõhusaks soojuse tootmiseks toakütteks ja sooja veevarustuseks. Toodetud elektrit kasutatakse ka elektrisõiduki toiteks. Elektrienergiat tarbitakse kas otse või salvestatakse ajutiselt elektrisalvestisse perioodideks, mil fotogalvaaniline süsteem ei varusta piisavalt. Lisaks töötab fotogalvaaniline süsteem paralleelselt elektrivõrguga ja liigne elekter suunatakse võrku. Vajadusel võetakse uuesti võrgust. Eesmärk on täielik energiaautonoomia.

Infrapuna küttekehad ja soojuspumbad kuuluvad tõhusa soojuse tootmise kontseptsiooni.

See kontseptsioon sobib GEG-ile väga hästi. Seega on infrapuna küttekeha, kui olulist komponenti lihtne integreerida varem kehtinud arvutusmeetoditega.

Majanduslikult ja ökoloogiliselt on osutunud eriti sobivateks järgmised põhivariandid:

Variant 1: fotogalvaaniline süsteem (salvestiga või ilma), infrapunaküte, sooja vee ettevalmistamine voolusoojendi või soojavee soojuspumbaga.

Variant 1 sobib eriti hästi kõikidele uutele hoonetele, mille energiastandard on 55 KfW ja parem.

Variant 2: fotogalvaaniline süsteem (salvestiga või ilma), infrapuna küte, ventilatsiooniga kompaktne soojuspump sooja vee valmistamiseks ja ruumi kütmise tugi.

Variant 2 sobib kõikidele uutele hoonetele, mille energiastandard on halvem kui 55 KfW ja eelkõige vanade hoonete energeetiliseks renoveerimiseks.

Täpsemalt arutatakse konkreetset teostust TLÜ Kaiserslauternis toimuvates tavapärastes töötubades ja loengutes.

Täiendõppeseminare pakuvad ka ühendused IG Infrared ja Federal Association of Infrared Heating (BVIR).

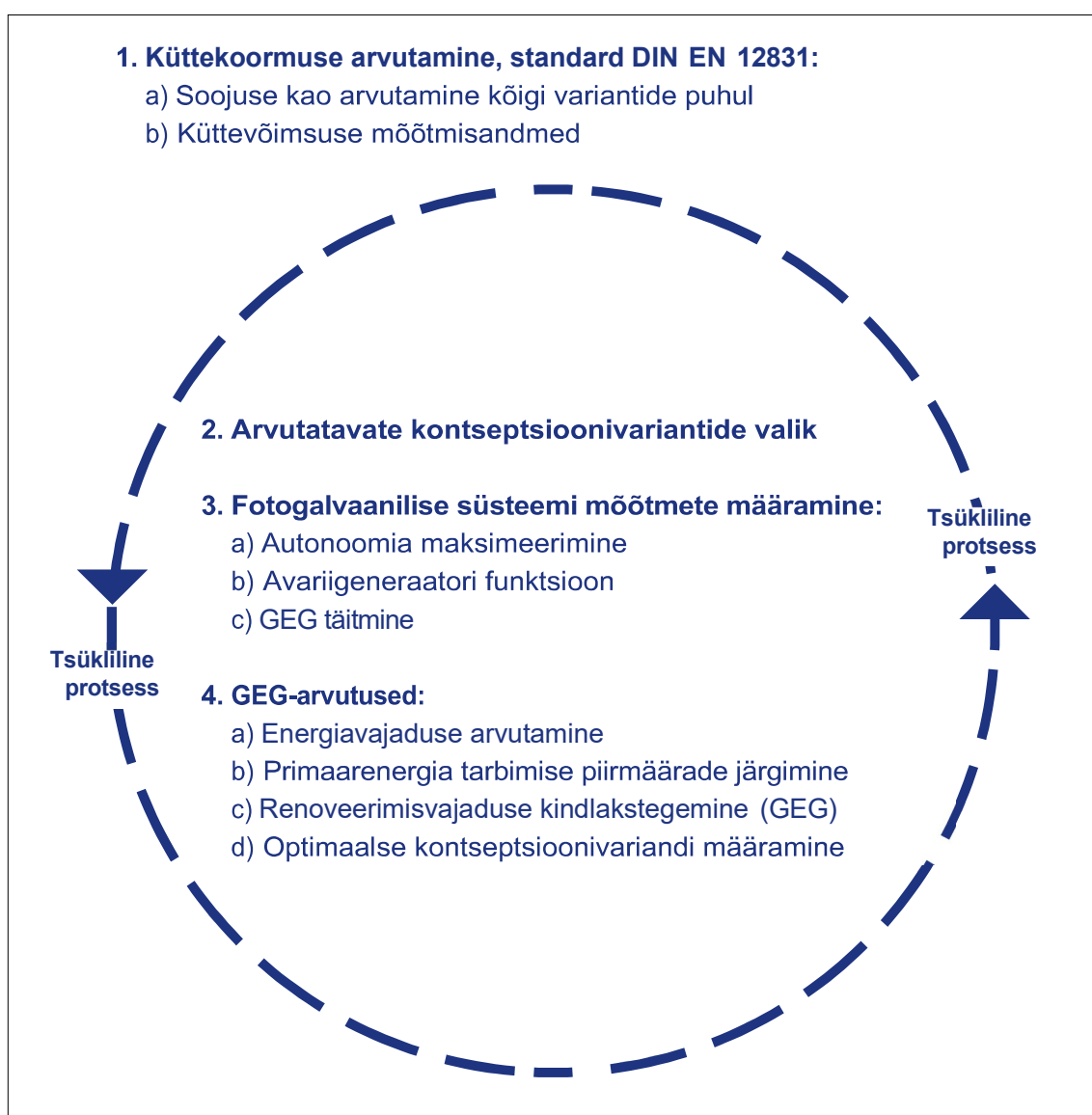
Protseduur on esilagse teabena kokku võetud järgmises peatükis.

INFRAPUNA KÜTE KUI PÕHIKÜTE

Osa 2: samm-sammult juhend professionaalile

Et saaks otsustada, milline süsteemivariant on konkreetsel juhul õige ja kuidas üksikuid komponente dimensioneerida, läbitakse tsükliline protsess kuni optimaalse tulemuse leidmiseni.

Protseduur on skemaatiliselt näidatud alloleval joonisel:



See algab hoone küttekoormuse arvutamisega vastavalt standardile DIN EN 12831. Uute hoonete planeerimisandmed on olemas. Vana hoone renoveerimise puhul tuleb nõutavad andmed fikseerid kohapealse konsultatsiooni raames.

Teises etapis valitakse need kontseptsioonivariandid ja nende alamvariandid (nt koos elektrisalvestiga või ilma), mis on ette nähtud arvutada. Kolmandas etapis määratakse fotogalvaanilise süsteemi mõõtmed. See peaks olema võimalikult helde, et võimaldaks energia autonoomiat, vastaks avariigeneraatori kriteeriumidele ja tagaks GEG-piirväärtuste järgimise.

Neljas ja viimane samm on GEG-arvutamine. Kui kõik piirväärtused on täidetud ja tulemus on majanduslikult ja ökoloogiliselt üldiselt rahuldav, on arvutusprotsess lõppenud ja tulemust saab rakendada. Kui see nii ei ole, tuleb hüpata tagasi teise sammu juurde ja arvutada alternatiivid.

Kasutatavad arvutusprogrammid peavad suutma arvesse võtta fotogalvaanilise süsteemi tootlusi ja arvutada kahte samaaegselt kasutatavat küttekeha (siinkohal soojuspump ja infrapuna küttekeha).

Praktikas annab meetod alati hea kuni väga hea lahenduse. Senistes näidetes on infrapuna kütte ja soojuspumba projekteerimisel esile kerkinud järgmised kriteeriumid (selle kohta antakse täpsemat infot asjatundjatele mõeldud eriüritustel):

a) vajadusel võtab soojuspump variandis 1 sooja vee valmistamise üle.

Vastavalt variandile 1 võtab infrapunaküte üle kogu küttekoormuse. Variant 2 võtab infrapunaküte üle ülejäänud kolmveerand kuni neli viiendikku küttekoormusest, mida soojuspump ei kata. Selle jaotuse korral läheb variandis 2 üle kolme neljandiku küttesüsteemi elektritarbimisest soojuspumbale ja alla veerandi infrapunaküttele. Soojuspumba nõutava üldiselt madala küttevõimsuse tõttu on end tõestanud ventilatsioonisoojuspumbad, mida pakutakse soodsate kompaktsüsteemidena ja mis suudavad enda kanda võtta nii sooja vee valmistamise kui ka ruumikütte.

Paigaldamise ajal tuleb variandi 2 juhtseade seadistada nii, et soojuspump tagaks pidevalt sooja vee ja hoone põhikütte. Infrapunaküte võtab üle kõik küttevajaduse tipud, mis ületavad põhikütmist.

ÖKOLOOGIA JA CO₂-TASAKAAL

Kuna infrapunakütte kasutamine tuleks integreerida ökoloogilise süsteemi kontseptsiooni, võib positiivselt hinnata ka infrapunakütte ökoloogilist tasakaalu. Täieliku energiaautonoomia ideaaljuhul CO₂ ei teki.

Allikate all loetletud uurimisaruanetes on selle teema üksikasjad. Jooksvaid uurimistulemusi tutvustatakse regulaarselt TLÜ Kaiserslauternis toimuvates töötubades.

MAJANDUSLIK ELUJÕULISUS

Eelnevad näited on näidanud, et siin toodud süsteemilahendus toimib üldiselt paremini kui võrreldavad muud lahendused nii investeerimiskulude kui ka tarbimiskulude osas.

Infrapuna küttekehade kasuks räägivad eelkõige investeerimiskulude oluline vähenemine. Ka energiakulu ja sellega kaasnevad tarbimiskulud on tavaliselt väiksemad kui muude lahenduste puhul.

Selle teema kohta annavad teavet allikate all loetletud uurimisaranded ja TLÜ Kaiserslauternis toimuvad regulaarsed töötod.

SAGELI ESITATAVAD KÜSIMUSED

Kust tuli idee kasutada infrapunakiirgust kütteks ja kui kaua on infrapunaküttepaneele toodetud?

Idee on olnud sellest ajast, kui inimene tule avastas. Lahtist tuld võib pidada kõigi aegade esimeseks infrapunakiirgusega küttekehaks. Infrapunaküttepaneelid – tehniliselt õiged: lamedad madala temperatuuriga infrapunasoojendid – on olnud kasutusel umbes 20–30 aastat. Algselt kasutati neid hoonete kuivatusseadmetena.

Kõrgtemperatuurilised infrapunasoojendid on nn kiirgussoojenditena kasutusel olnud vähemalt 1950. aastatest ning nende eelkäijaid on teada isegi 1920. aastatest.

Kas infrapunakiirgusel on meditsiinilisi/terapeutilisi mõjusid? Kui jah, siis milliseid?

Vältimaks segiajamist ohtlike kiirgusliikidega, kasutavad paljud infrapunasoojendite tootjad turunduslikel põhjustel füüsiliselt õige termini infrapunakiired asemel kunstlikku sõna “kuumalained” või sarnaseid neologisme.

Tegelikult ei tohiks neid segi ajada muud tüüpi kiirgusega. Infrapunakiirgust kiirgavad kõik kehad, sealhulgas inimesed. Infrapuna C-kiired, mida kasutatakse küttepaneelides, tungivad ainult naha ülemisse kihti, nn sarvkesta, ja on ilma otsese meditsiinilise mõjuta. Oma rahustava toime tõttu on neil lõõgastav ja kaudselt stressi vähendav toime. Infrapuna A ja infrapuna B kiirgus tungib sügavamale nahka. Kui saate seda liiga palju, võib teie nahk veidi kuivada. Meditsiiniteraapia seadmeid, mis kiirgavad kiirgust infrapuna A vahemikus, tohib kasutada vaid lühikest aega ning järgida tuleb kasutusjuhendis antud ohutusjuhiseid. Madala temperatuuriga infrapunasoojendite pikaajaline kasutamine, mis ei hõõgu ja kiirgavad ainult infrapuna C-vahemikus olevat kiirgust, on kahjutu.

Teisiti on olukord UV-kiirguse, mikrolainekiirguse või radioaktiivse kiirgusega. Need võivad olla kahjulikud, kuid asuvad elektromagnetilises spektris täiesti erinevas kohas ja infrapunakiirgust ei kiirga.

Mis on tumedad ja heledad kiirgajad?

Kui soojendate keha aeglaselt, saabub punkt, kus keha hakkab hõõguma. Füüsiliselt tähendab see, et see ei kiirga mitte ainult infrapunakiiri, vaid ka nähtavat valgust. Kuna valgusspektri punane külg piirneb infrapunaspektriga, helendab keha esmalt tumepunaselt, siis punaselt, siis oranžilt jne, kuni lõpuks on nii kuum, et kiirgab välja kõik vikerkaarespektri värvid ja helendab valgena.

Kuni valgust pole näha, on tegemist tumeda kiirgajaga. Niipea kui valgust on näha, olenemata värvist, on see ere prožektor.

Mis on infrapuna küttepaneel?

Sõna kiirgusküte ja infrapuna pinnaküte kasutatakse kahes tähenduses:

Esiteks pinnaküttteks nagu põranda-, lae- või seinaküte, kus suuri alasid kuumutatakse sooja vee või sisseehitatud elektriküttetekilega madala pinnatemperatuurini alla 40°C.

Teiseks elektriliselt käitavatele madalatemperatuursetele infrapunasoojenditele, mis monteeritakse tavaliselt lamedate paneelidena seinale või lakke ja mille pinnatemperatuur võib ulatuda vähemalt 40°C kuni maksimaalselt 200°C. Infrapunasoojendite hulka kuuluvad tegelikult vaid viimased, eeldusel, et nende kiirgusefektiivsus on vähemalt 40 protsenti.

Mis vahe on kiirguskütteseadmetel ja infrapunasoojenditel?

Kiirgusküte on ajalooliselt kinnistunud koondnimetusena kõikidele küteliikidele, mille kiirgusefektiivsus on suurem kui klassikalisel konvektsioonküttel, s.o üle 15%.

Infrapunasoojenditel on minimaalne kiirgusefektiivsuse tase (uue standardi DIN EN IEC 60675-3 järgi vähemalt 40 protsenti). See nõue on eriti oluline madala temperatuuriga kütteseadmete puhul (< 200°C). See tähendab, et iga infrapunasoojendi on kiirguskütteseade, kuid mitte iga kiirguskütteseade pole infrapunakütteseade.

Kas infrapunasoojendite kasutamisel tekib elektriline sudu?

Puhtalt teoreetiliselt oleks võimalik märkimisväärtes kogustes elektrisudu, mida, kuigi need vastavad CE juhistele, võiks pidada ehitusbioloogia seisukohast küsitavaks.

Eelnimetatud uurimisprojektide käigus tehtud mõõtmised on aga seni näidanud, et vastavad väärtused on umbes 30 sentimeetri kaugusel nii madalad, et ei mängi enam ehitusbioloogias mingit rolli. Keegi pole infrapunasoojendile nii lähedal, et elektriline sudu võiks oluliseks muutuda.

Kuidas ma võhikuna infrapunasoojendi kvaliteeti/jõudlust ära tunnen?

See on võhikutele väga raske, sest mõned tootjad esitavad kahtlaseid reklaamiväiteid. Tarbijanõustajate avaldustest pole samuti suurt abi, sest nad pole teemaga tegelikult kursis.

Niipea kui jõustub uus standard DIN EN IEC 60675-3 ja infrapunasoojendid tuleb seejärel mõõta ja nende väärtused kohustuslikule andmelehele kanda, saab võhik teha järeldusi kvaliteedi ja toimivuse kohta..

Lisaks kehtivad elektriseadmetele tavapärased kvaliteedikriteeriumid ja katsemärgised, nagu CE-märgis, GS-test või CB/IEC standarditele vastavad testid.

Kuidas ma võhikuna saan kindlaks teha, kas minu maja sobib infrapunakütteks?

Kahjuks ei saa võhik seda üldse teha ja ekspert saab seda teha alles siis, kui ta on teinud selles juhendis kirjeldatud asjakohased arvutused.

Kas võhik oskab küttekoormust hinnata?

Kasutamiseks ainult lisaküttekehana vastavalt ülaltoodud juhiste. Põhiküttesüsteemi õige küttekoormuse määramiseks on vajalik professionaalne küttekoormuse arvutamine. Kõik muu põhjustab mõnikord olulisi kõrvalekaldeid ja vigu. Hinnangud seal ei aita, pigem vastupidi.

Kuidas infrapuna kütteseade on ühendatud?

Täiendava kütteseadmena kasutamisel saab enamikku infrapunasoojendeid ühendada pistikupesa kaudu – toitejuhe peab suutma tarnida vajalikku võimsust –, mille kaudu saab neid sisse ja välja lülitada radiotermostaadi abil, mis on heaks kiidetud kasutamiseks elektriliste küttekehadega. Kuid võimalikud on ka muud tüüpi elektripaigaldised. Oluline on järgida kasutuseeskirju. Vana hoone renoveerimisel ja põhiküttesüsteemina ning suurema jõudlusega seadmete kasutamisel peavad paigalduse teostama spetsialiseerunud ettevõtted ning soovitatav on elektri alamjaotus.

Kas saate kasutada programmeerimist ja öösel kehtivaid soodsamaid tariife?

See sõltub sellest, kas elektripakkuja on sellise kasutamisega nõus ja kasutada saab samu kahetariifseid arvesteid. Lisaks tuleb põhikütte puhul kinni pidada mainitud seadusandlusest. Infrapuna kütte puhul on kõige ökonoomsem pidev ühtlase temperatuuri hoidmine.

Kui kaugemale infrapunasoojendid kiirgavad?

Nagu valguskiirtel, on ka infrapunakiirtel põhimõtteliselt lõpmatu ulatus. Kuid kiirguse intensiivsus, nagu ka lambi heledus, väheneb kauguse kasvades. Seetõttu tuleks suurtes ruumides kasutada mitut hajutatud infrapunakütteseadet.

Kui kiiresti infrapuna kütteseade soojeneb??

See sõltub infrapuna küttekeha küttejast. Põhimõtteliselt soojenevad infrapuna kütteseadmed palju kiiremini kui mis tahes muud tüüpi kütteseadmed.

Kas infrapunasoojendiga on võimalik ennast põletada?

Põhimõtteliselt jah kõrgtemperatuursete infrapunasoojenditega, eriti kui tegemist on heledate radiaatoritega. Seetõttu on seal vajalikud kaitseseadmed ja paljusid neist ei tohi tuleohu tõttu ilma järelevalveta kasutada või võib neid paigaldada ainult teatud paigalduskõrgustele.

Madala temperatuuriga infrapunasoojenditega ei saa end reeglina põletada, kui neid lühiajaliselt puudutada, kuigi pinnatemperatuur võib olla kuni 200°C. Kuni lubatud pinnatemperatuurini umbes 105°C võib madala temperatuuriga infrapunaküttekehasid paigaldada põrandast alla 1,8 meetri kõrgusele. Sel juhul on soojusvoo tihedus liiga madal. Põletamiseks ei edastata kokkupuutekohas piisavalt soojusenergiat. See sarnaneb elektrikarjaaiaga. Kuigi pinge võib olla 10 000 volti või rohkemgi, on elektrivool nii piiratud, et kuigi elektrilöök on olemas, pole kogemata puudutamisel ohtu tervisele. Siiski ei tohiks te küttepinda püsivalt puudutada, kuna see võib põhjustada kuumuse kogunemist, mis võib põhjustada põletusi või nahakahjustust. See võib juhtuda ka madala temperatuuriga infrapunasoojendite puhul, mille pinnatemperatuur on üle 105°C. Need tuleb aga paigaldada põrandast kõrgemale kui 1,8 meetrit, mis hoiab ära juhusliku kokkupuutumise. Samuti ei tohiks infrapunasoojendit katta selliste esemetega nagu rätikud või riided. See takistab kiirgusfunktsiooni ja ülekuumenemiskaitse lülitab kütteseadme täielikult välja. Halvimal juhul, kui ülekuumenemiskaitse ebaõnnestub või kehvadel toodetel puudub, võib isegi tulekahju tekkida.

Kas infrapuna küttekehasid on mõtet hämardada või kasutada nn moduleerivas töös?

Madala temperatuuriga infrapunasoojendite puhul pole sel mõtet. Kui madala temperatuuriga infrapunaküttekehasid hämardatakse või moduleeritakse pideva juhtimisega, väheneb pinnatemperatuur ja kiirgusefektiivsus väheneb oluliselt. Hämardamine või moduleerimine muudab madala temperatuuriga infrapunasoojendi tavaliseks konveksioonküttekehaks, mis ei ole rakenduse eesmärk.

Madala temperatuuriga infrapunasoojendid peaksid olema kas täielikult sisse või välja lülitatud.

Kõrge temperatuuriga infrapunasoojendite/kiirgurite puhul võib sõltuvalt rakendusest olla otstarbekas hämardamine või väljalülitamine.

Kui kaua infrapuna kütteseadmed kestavad?

See sõltub sellest, kas tegemist on kõrge või madala temperatuuriga infrapunasoojendiga. Kõrge temperatuuriga infrapunasoojendid ei ole hooldusvabad. Kütteelement vananeb ja seda tuleb teatud arvu töötundide järel regulaarselt vahetada, nagu lambipirn.

Madala temperatuuriga infrapunasoojendid on üldiselt hooldusvabad. Sagedase sisse- ja väljalülitamise ning sellega kaasneva kütmise ja jahutamise tõttu puutuvad kõik komponendid kokku aga tugeva termomehaanilise pingega, mis võib põhjustada materjali väsimist. Tootja peab komponentide valikul ja ehitamisel sellele tähelepanu pöörama. Lisaküttena kasutamisel on tööajad juhitavad ja seadmed kestavad palju aastaid. Kui samu seadmeid kasutatakse põhiküttesüsteemis, ütlevad paljud neist toodetest üles juba kahe-kolme aasta pärast. Seetõttu peaksite alati tähelepanu pöörama hea tootja üldisele tootekvaliteedile, nagu seda teevad IG Infrapuna ja BVIR assotsiatsioonid. Väga head seadmed kestavad kolm aastakümnet või kauem.

Miks on infrapunakütte ja fotogalvaanika kombinatsioon mõttekas?

Nii praegused hea soojustusega uusehitiste uuringud kui ka vanade hoonete renoveerimise uuringud on näidanud, et see parandab oluliselt ökoloogilist tasakaalu võrreldes teiste küttesüsteemidega. Tulemused on nii head, et ükski teine küttesüsteem ei suuda neid samaväärse investeeringuga küttesse ja fotogalvaanikasse saavutada. See kombinatsioon aitab täita ka GEG piirväärtusi.

Mida tuleb arvestada infrapuna kütteseadmetega ühendatavate ventilatsioonisüsteemide puhul?

Kui sooja vee valmistamiseks ja/või ruumi kütmiseks kasutatakse ventilatsiooni-soojuspumpa, ei ole edasine ventilatsioon vajalik (vt kirjeldatud süsteemi kontseptsiooni). Kui sooja vee valmistamine toimub ventilatsioonist sõltumatult, näiteks läbivooluboilerite kasutamisel, on osutunud tõhusaks soojustagastusega ruumi individuaalsed ventilatsiooniseadmed.

ALLIKAD JA LINGID

Uuringute aruanded:

Kosack, P: Bericht zum Forschungsprojekt „Beispielhafte Vergleichsmessung zwischen Infrarotstrahlungsheizung und Gasheizung im Altbaubereich“, Technische Universität Kaiserslautern, 2009; Herunterladbar unter:

<http://www-user.rhrk.uni-kl.de/~kosack/forschung/?INFRAROT-STRAHLUNGSHEIZUNG>

Oschatz, B.; Mailach, B.; Winiewska, B.: Energetische Effizienz und Wirtschaftlichkeit der elektrischen Direktheizung, Gutachten vom Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden (ITG Dresden), Fassung vom 20.11.2019

Heider, J.; Conrad, N.; Stark, T.; Abdulganiev, A.; Kosack, P.; Wagner, A.-K.: Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Wohngebäude, Projektabschlussbericht zum Forschungsprojekt „IR-Bau“, Stand: 02/2020.

Herunterladbar unter:

https://www.htwg-konstanz.de/fileadmin/pub/ou/energie/Forschung/IR-Bau/Abschlussbericht_Forschungsprojekt_IR-Bau.pdf

Tagungsband-Reihe zu den Internationalen Workshops Infrarotheizung an der Technischen Universität Kaiserslautern, geplantes Erscheinungsjahr 2021;

Siehe Information auf:

<http://www-user.rhrk.uni-kl.de/~kosack/forschung/?HOME>

Interneti lingid

<http://www.berndglueck.de/strahlungsheizung.php>

http://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz

https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzer_Körper

http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum

<http://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotstrahlung>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmestrahlung>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsaustausch>

Muud

DIN SPEC 91420, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2020

Illustratsioonide allikad

Kaas: Technische Universität Kaiserslautern

Lehekülg 6: Adobe Stock sowie CANDOR GmbH, Schlosserstraße 6, 04442

Zwenkau/Leipzig

Lehekülg 7: Min An, <https://www.pexels.com/photo/mountains-with-crepuscular-ray-1403550/>

Lehekülg 9: Adobe Stock

Lehekülg 16: primoSchwank (Hellstrahler), deltaSchwank (Dunkelstrahler) mit freundlicher Genehmigung der Schwank GmbH, Bremerhavener Str. 43, 50735 Köln

Lehekülg 17: Aquila-2664, <https://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotstrahler>

Kogu selle juhendi graafika on loodud autori teabe põhjal ja standardiseeritud:
Stefan Hofmann

