



OJV SEMINAR TARTUS

Nõuded soojuspumpadele ja ERMi kogemused

Kaspar Tennokese
06.11.2015

TUTVUSTUS

Kaspar Tennokese (33a)

Haridus:

- 2010a ... TTÜ Doktorantuur
- 2000 – 2006a TTÜ Magistrikvalifikatsioon
- 1997 – 2000a Elva Gümnaasium

Töö:

- 2011a ... AS Riigi Kinnisvara (Ehituse Projektijuht)
- 2011a ... TTÜ (Külastisektor)
- 2011a... TTÜ Tallinna Kolledž (Külastisektor)
- 2010a – 2011a AS Oma Ehitaja (Keskonnaehituse objektijuht)

Organisatsioonid:

- EKVÜ (Eesti Kütte- ja Ventilatsiooninseneride Ühendus) liige
- EVKIS (Eesti Veevarustuse ja Kanalisatsiooni Inseneride Selts) liige
- TTÜ Doktorantide kogu juhatus liige 2012
- TTÜ Ehitusteaduskonna nõukogu liige 2012



Ülevaade teemadest

RKASi objektidel projekteeritud/ehitatud soojuspumba süsteemide head ja vead:

- Vesi – vesi soojuspumba süsteemid (KUMU lahendus, maasoojuspumbad, meresoojuspumbad)
- Keskonnaohutusnõuded
- Õhk-vesi soojuspumba süsteemid
- Kollektorite paigaldus
- Kollektor kaevud

RKASi OJV kogemused ERMi KVVJK ehitustööde kontrollimisel

- Seadmete ja materjalide kooskõlastamine
- Maa-alused torustikud
- Ventilatsioonisüsteemid
- Sadevee- ja kanalisatsioonitorustik
- Veetorustike paigaldus (sh sprinkler)

KÜSIMUS?

Kellel on kogemusi soojuspumpade projekteerimise/paigaldamise kontrollimisega?



Vesi-vesi soojuspumbasüsteemid – MIS ON OLULINE?!

Maa keeli rääkides on tegemist selliste soojuspumbasüsteemidega, kus mõlemal pool soojuspumba ringleb vedelik (on see siis vesi või külma ringis etanooli vesilahus, vms).

RKASil on väga mitmeid objekt, kus on kasutatud soojuspumba lahendusi:

- KUMU (täiendava soojuspumba lahenduse paigaldus).
- Vesilennukite angaar Lennusadamas (merekütte lahendus).
- Koolimajade soojuspumba lahendused (Võru, Kaagvere).
- Uute hoonete soojuspumba lahendused (Kuressaare).
- ERMi soojuspumba lahendus vs kaugkütte lahendus.
- Jne.

Selleks, et süsteemi paigaldus õnnestuks, peab olema läbi mõeldud lahendused. Lisaks tuleb ehitustööde teostamise ajal kontrollida, et töid teostataks projekti-järgselt.




Vesi-vesi soojuspumbasüsteemid – MIS ON OLULINE?!

RKAS on välja andmas uuendatud versiooni tehnilistest nõuetest ning seal oleme juba oluliselt täpsemalt lahti kirjeldanud, et milline peaks soojuspumba süsteem olema. Toaksin välja olulisemad nõuded, mida tuleb jälgida:

Soojuspumbasüsteemi parameetrid:

Küttevee parameetrid:


Radiaatorkütte süsteem	45/35°C
Põrandaküttesüsteem	35/28°C
Ventilatsiooni soojusvarustus	45/35°C
Basseiniküte	40/30°C
Soetarbevesi	55/5°C

Jahutusvee parameetrid:

Aktiivjahutus (märg jahutus)	7/12°C
Aktiivjahutus (kuiv jahutus)	14/17°C

Kõige rohkem tehakse vigu olemasolevatele hoonetele soojuspumba süsteemi paigaldamisel.

Olemasolevatel radiaatorküttesüsteemiga hoonetel on kütte graafikud 85/60 või siis 75/50. Sellises olukorras ei ole soojuspump muuks võimeline kui küttesüsteemi tagastavat vett jahutama.




KUMU näide

Brutopindala 23 861m²
 Ruumala 122 780m³
 Projektööri: Arkkitehtitoimisto Vapaaavuori OY
 Arhitekt: Pekki Vapaaavuori



Hoonel on 7 maapealset korrust ja 2 keldrikorrust, kus asuvad peamiselt tehnoruumid. Hoone ehitustööd lõpetati 2005 aasta septembris. Hoone avamisteremoonia toimus 17 veebruar 2006

iii iii Riigi Kinnisvara

KUMU ENERGIA TARBIMISED

Soojusenergia 1MWh maksab 52,6 EUR

	2010	2011	2012	2013	2014
Soojusenergia	4243	4110	4822	4549	3997
Kulu EUR	223 181.-	216 186.-	253 637.-	239 277.-	210 242.-

Elektrienergia 1MWh maksab 92 EUR

	2010	2011	2012	2013	2014
Elektrienergia	5370	5570	5448	5214	5112
Kulu EUR	494 040.-	512 440.-	501 216.-	479 688.-	470 304.-

	2010	2011	2012	2013	2014
KULUD KOKKU	717 221.-	728 626.-	754 853.-	718 965.-	680 546.-

Seega kulutused energiale tohutud ning need moodustavad ca 40% Kumu eelarvest.

iii iii Riigi Kinnisvara

KUMU tehnosüsteemide eripära

Välisõhk soojendatakse ventilatsiooni seadmes, siis toimub sisse puhutava õhu kuivatamine, uuesti ülesse kütmine ja niisutamine.

Retsirkuleerimise korral toimub sama protsess, sõltuvalt juurde võetava õhu hulgast.

iii iii Riigi Kinnisvara

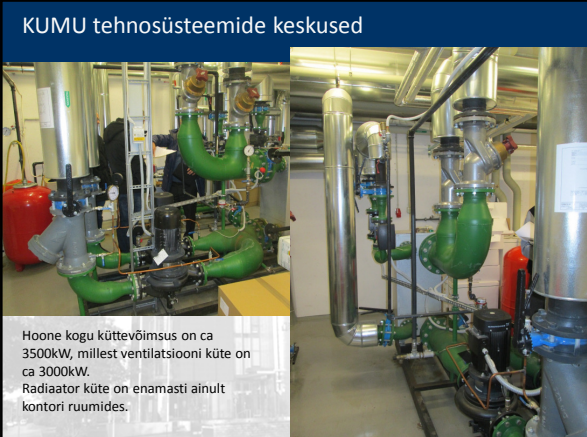
KUMU tehnosüsteemide keskused

Ventilatsiooni kogu õhuvahetus sissepuhe 56 535 l/s
 Väljapuhe 61 080 l/s



iii iii Riigi Kinnisvara

KUMU tehnosüsteemide keskused



Hoone kogu küttevõimsus on ca 3500kW, millest ventilatsiooni küte on ca 3000kW. Radiator küte on enamasti ainult kontori ruumides.

iii iii Riigi Kinnisvara

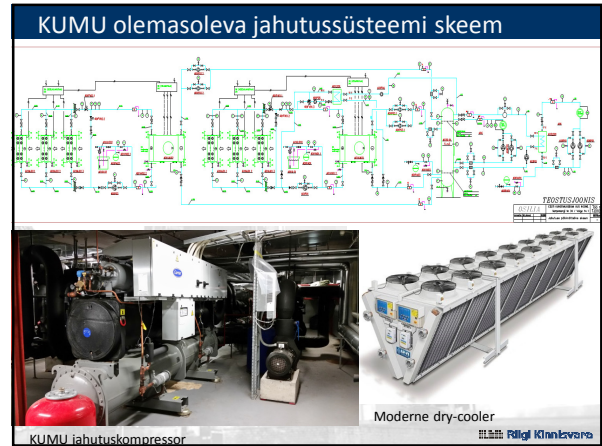
KUMU tehnosüsteemide keskused

Jahutussõlmes on kaks 750kW jahutuse kompressorit kokku võimsusega 1500kW.



Jahutust kasutatakse põhiliselt siis sisse puhutava õhu kuivatamiseks ja üldventilatsiooni ringleva õhu temperatuuri alanadamiseks. Põhikoormus on suvel, kui on vaja õhku kuivatada ja jahutada.

iii iii Riigi Kinnisvara



Energiasäästu lahenduste leidmine

TTÜ poolt esitati 2014 aasta juunis aruanne, milles viidi läbi uuring KUMU 2012-2014 aasta energiatõhususe kohta.

SISSEJUHATUS - Käesoleval hetkel on KUMU hoone kaalutud energiaerikasutus 747 kWh/m.a. Halvim kaalutud energiaerikasutuse klass toodud kasutusotstarbega hoonetele on H ehk > 491 kWh/m.a. Kuigi tegemist on moderne hoonega ületatakse sealjuures energiatõhususe miinimumnõuet 3 korda.

Hoones esineb märkimisväärne elektri-, soojus, ja veetarve igal aastast ning võib eeldatada, et kõik neist sõltuvad väliskliimast. Talvise külma ja madala niiskussisaldusega välisõhu korral kulub soojust õhu soojendamiseks ning soojuskadude kompenseerimiseks, elektrit ja vett õhu niisutamiseks auru niititega. Suvise sooja ja suure niiskussisaldusega välisõhu korral kulub elektrit õhu maha jahutamiseks ja kuivatamiseks ning soojust selle uuesti üles soojendamiseks. Lisaks esineb ka aastaringne vee tarbimine, niisutamise, kohviku ja WC-de vajaduste katmiseks.

TRV Kliima poolt tehtud ettepanek energiasäästmiseks

2014 aasta augustis esitas TRV Kliima ettepanekud KUMU tehnosüsteemide energiasäästlikumaks muutmiseks. Esitati 5 ettepanekut, millest osad olid siis eksploatatsioonist tulevad kokkuvõtu meetmed ning teised olid süsteemide täiendamiseks tulenevad kokkuvõtu meetmed.

Soojuspump

Ventilatsiooni seade

Kaugküte

Küte Jahutus Järeلكüte

Soojuspumba paigaldamise põhiprobleem on, et soojatootmisel on vaja küsile külma ära anda ja külma tootmisel on küsile vaja sooja ära anda (viimase puhul on hästi levinud sooja välja viimine drycoolertega – õues olev soojusvaheti, millel on ventilator küljes)

KÜSIMUS?

KUIDAS KUTSUTAKSE MAAILMAS KÕIGE ENAM LEVINUD SOOJUSPUMBASÜSTEEMI?

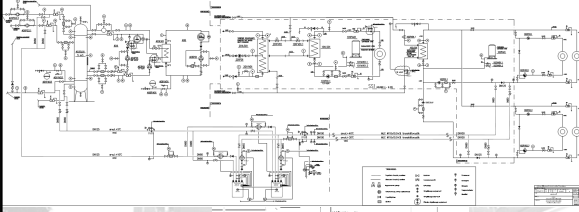
JÄRELHÄÄLESTUSE TEOSTAMINE

Tehniliselt keerukatel objektidel tuleks nõuda juba hanke dokumentides järelhäälestuse teostamist. Erinevatel aasta aegadel (välisõhu temperatuuridel) toimivad tehnosüsteemid erinevate seade arvudega ning need ei pruugi antud hoone jaoks olla õiged.

Paigaldatud soojuspumbasüsteemi järelhäälestus

Tööde mahtu kuulub soojuspumbasüsteemile järelhäälestuse teostamine kuni 15.12.2015. Järelhäälestuse teostamiseks peab töövõtja kord kuus esitama aruande paigaldatud soojuspumbasüsteemi kohta. Aruanne sisaldab minimaalselt energiaaruannet, võrdlust tootja andmetega. Lisaks peab töövõtja tegema igakülgselt koostööd KUMU tehnoloogidajaga, et tagada optimaalseim tööreežiim. Pakkuja peab tegema ettepanekuid automaatika juhtimisalgoritmide muutmiseks. Tellijaga need kooskõlastama ning need muudatused sisse viima (sh automaatika süsteemidesse), et tagada parim võimalik tulemus. Järelhäälestuse käigus tuleb teha paigaldatud süsteemi efektiivsust ning selle vastavust riigihankes esitatud nõuetele.

Soojuspumba paigaldamise lõplik lahendus ning vajalikud eeldused



- Madalad kütte temperatuurid.
- Suvel on kuivatuse järel kütte temp 40/30C);
- Talvel on kütte temperatuurid 70/40C);
- Vedeliku jahutuse temperatuurid +5/+10C.

Riigi Kinnisvara

Soojuspumbasüsteemi paigaldamise keerukus



Esialgul oli plaanitud torustikega liikuda soojussõlme kuni jahutussõlmeni mööda kõrval olevaid koridore, kuid laetagused olid tihedalt torustikke täis.

Riigi Kinnisvara

Soojuspumbasüsteemi paigaldamise keerukus



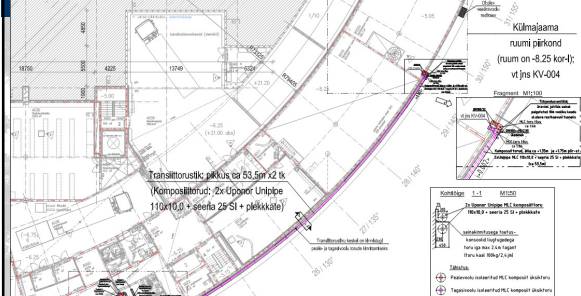
Ühe suure soojuspumba sisse toomine osutus väga keeruliseks, kuna jahutussõlme juurdepääs oli väga komplitseeritud.



Tehnoruumid asuvad hoones sees kahel viimasel keldrikorrusel. Kuhu viivad kitsad käigud.

Riigi Kinnisvara

Soojuspumba paigaldamise keerukus (torustiku paigaldus)



Transporditegelik pikkus ca 53,5m +2 m (Komplektitud, 2x U-põlv, U-põlv 110x100 + põlv 25-S1 + põlvkalle)

Soojussõlme ruum -8.25; vt Jns KVI-003

1	1000	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	1000	1000	1000
5	1000	1000	1000	1000	1000
6	1000	1000	1000	1000	1000
7	1000	1000	1000	1000	1000
8	1000	1000	1000	1000	1000
9	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	1000

Riigi Kinnisvara

Soojuspumbasüsteemi paigaldamise keerukus



Esialgul oli plaanitud torustikega liikuda mööda kõrval olevaid koridore.

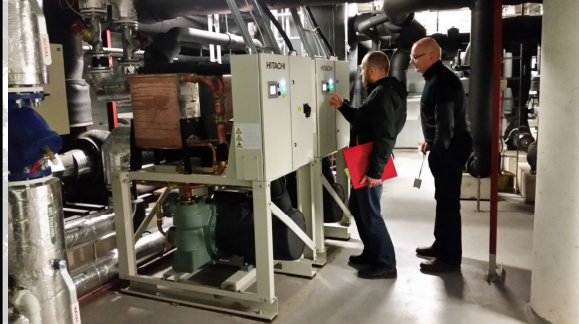
Riigi Kinnisvara

Torustiku paigalduse keerukus



Riigi Kinnisvara

Paigaldatud soojuspumbaseadmed



Soojuspumbad HITACHI RCME-50WH (vesi-vesi tüüpi kruvikompressor) – 2tk.

Tehnilised nõuded soojuspumbale

Soojuspumba valikul on lähtunud EP-s toodud ja Tellija poolt kooskõlastatud andmetest, et soojuspumba süsteemi tehnilised efektiivsuse näitajad peavad vastama alljärgnevale:

- COP soojuste „tootmisel“ ≥ 5.0 kW/kW
- EER külma „tootmisel“ ≥ 4.1 kW/kW
- ESEER külma „tootmisel“ ≥ 5.1 kW/kW

Soojuspumba valiku jaoks on võetud aluseks järgmised arvutuslikud temperatuuriparameetrid:

- Külmakandja e aurusti poolel $t_{välj\ddot{u}v} = +5^{\circ}\text{C}$; $t_{tagast\ddot{u}v} = +10^{\circ}\text{C}$
- Soojuskandja e kondensaatori poolel $t_{välj\ddot{u}v} = +40^{\circ}\text{C}$; $t_{tagast\ddot{u}v} = +30^{\circ}\text{C}$

Samuti COP ja EER-i arvutuse puhul peab olema arvestatud ka automaatika ja tsirkulatsioonipumpade elektritarbimisega. Soojuspumbasüsteemi võimsuse reguleerimisvahemik on 15% kuni 100% nominaalvõimsusest 400kW. Soojuspumpade kompressoreid on ette nähtud tarnida pehmekäivitega, et vähendada startivoolusid ja piirata starti- elektrivõimsusi.

Valitud seadmel arvutuslikel parameetritel:
COP 5,4
EER 4,3

SÜSTEEMI MONITOORMISEKS ON PAIGALDUD MITMED ARVESTID

Nii uue soojuspumbasüsteemi kui ka olemasoleva süsteemi efektiivsuse mõõtmiseks tuli paigaldada 6 soojusarvestit:

- Soojuspumba primaarpoolele (soojuspumbast jahutuse süsteemi minevatele torudele);
- Soojuspumba sekundaarpoolele (SP-st kütte süsteemi minevatele torudele);
- Olemasolevale süsteemile ventilatsiooni küttele kuluva energia mõõtmiseks;
- Olemasolevale süsteemile radiatori küttele kuluva energia mõõtmiseks;
- Olemasolevale süsteemile jahutusenergia mõõtmiseks (kuivatussüsteemid);
- Olemasolevale süsteemile jahutusenergia mõõtmiseks (üldine ruumi jahutus).

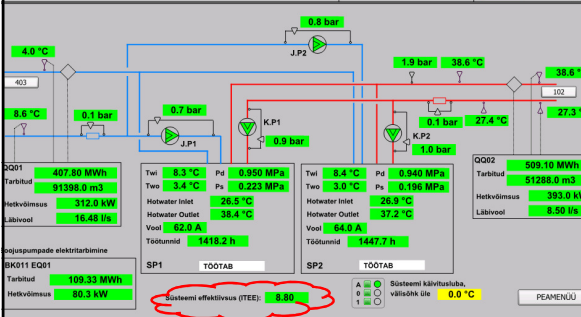
Lisaks tuli paigaldada elektriarvesteid:

- Uuele soojuspumba süsteemile;
- Olemasolevatele jahutuse kompressorsüsteemidele.



UUS SÜSTEEM ON ÜHENDATUD HOONE AUTOMAATIKAGA

SOOJUSPUMBAD ALAKESKUS VAKO5 JAOTUSKILP B.K011



„kasutegur“ – EER + COP kokku. (1 osa elektrit annab 8,8 osa energiat (soe + külma)

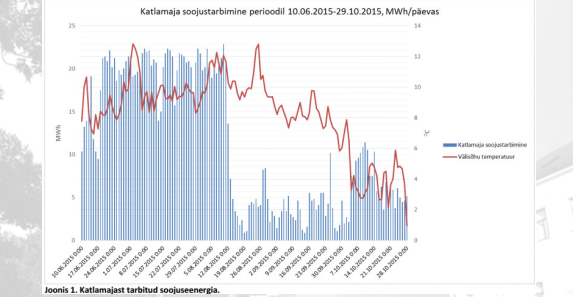
KÜSIMUS?



KUI TASUVA SÜSTEEMIGA VÕIKS TEGEMIST OLLA?

ESIALGSED TULEMUSED SOOJUSPUMBASÜSTEEMI EFEKTIIVSUSE KOHTA

Soojuspump lülitati pidevalt tööle 13.08.2015. Soojuspumba mõju katlamaja soojuste tarbimisele töötamisel iseloomustab alljärgnev graafik:



Joonis 1. Katlamajas tarbitud soojusteenergia.

Perioodil 18.08.2015-29.10.2015 on kokku hoitud:

- 506 MWh soojusteenergiat
- 19,1 MWh elektrit
- Ligi kaudu 27 000 EUR (arvutustes on kasutatud soojuste hinnana 50 EUR/MWh ja elektrit hinnana 90 EUR/MWh)

SÜSTEEMI TASUVUS

5. Tasuvusarvutus

Algandmed
 Gaasikattamajas tamitava soojuste kokkuhoid 1600...1700 MWh/a (arvutuslikuks suuruseks võetakse 1650 MWh/a)
 Gaasikattamajast tamitava soojuste hind 65 €/MWh.
 Soojuspumbasüsteemi projekteerimise, väljaehitamise, seadistamise ja üleandmise maksumus 210000 €.
 Hooldus- ja amortisatsioonikulude hinnanguline suuremine (olemasolevate kattamaja ja külmajaama kulud vähenevad, paigaldatav soojuspumpagaigaldis lisab kulusid) 8000 €/a.
Tasuvusaeg
 Vastavalt algandmetele on lihttasuvusaeg: $210000 / (1650 \cdot 65 - 8000) = 2.1$ aastat
 Kui võtta arvesse esialgsed tulemused, siis 3 kuuga on kokku hoitud ca 500MWh, siis 12 kuuga peaks olema see juba 2000 MWh.
 Seega vastavalt reaalset saadud tulemustele oleks lihttasuvusaeg: $217000 / (2000 \cdot 65 - 8000) = 1.8$ aastat ehk ca 2 aastat (mis ühtib prognoositud tasuvusega).

SOOJUSENERGIA TOOTMISE JAGUNEMINE

Soojuspumba poolt toodetud soojusenergia perioodil 18.08-29.10.2015 on esitatud joonisel 4.

Joonis 3. Toodetud soojusenergia.
 Soojuspumba poolt on toodetud 72% kogu soojusenergiast ning kattamaja poolt 28%. Ventilatsioonisüsteemide kütte peale on kulunud 91,1%, radiaatorite kütteks 4,2 % ning soojaks tarbeveeks 4,7% kogu toodetud soojusenergiast.

JAHUTUSENERGIA TOOTMISE JAGUNEMINE

Soojuspumba ja kompressorite poolt toodetud jahutusenergia perioodil 18.08-29.10.2015 on esitatud joonisel 2.

Joonis 2. Toodetud jahutusenergia.
 Soojuspumba poolt on toodetud 51% kogu jahutusenergiast ning kompressorite poolt 49%. Ventilatsioonisüsteemide jahutuse ja kuivatuse peale on kulunud 98,2 % ning ruumi jahutite peale 1,8 % kogu toodetud jahutusenergiast.

REAALSED SOOJUSPUMBA EFEKTIIVSUSE TULEMUSED

Soojuspumba keskmised efektiivsuse näitajad on välja toodud alljärgnevas tabelis:

	18.08.15-31.08.15	01.09.15-30.09.15	01.10.15-29.10.15	18.08.15-29.10.15
COP	4.83	4.75	4.29	4.64
EER	3.89	3.82	3.40	3.72
ITEE	8.73	8.57	7.69	8.36

Maksimaalsed hetkelised efektiivsuse näitajad esinevad perioodil, kui soojuspump töötab täisvõimsusel.

Perioodil 18.08.-29.10.2015 toodetud ja tarbitud energia on välja toodud alljärgnevas tabelis:

	18.08.15-31.08.15	01.09.15-30.09.15	01.10.15-29.10.15	18.08.15-29.10.15
Toodetud soojusenergia, MWh	120.5	253.1	132.4	506.0
Toodetud jahutusenergia, MWh	97.1	203.5	104.7	405.3
Tarbitud elektrienergia, MWh	24.9	53.3	30.8	109.0

Lennusadama meresoojuspumba lahendus

Tellijä: Eesti Meremuuseum
 Projekteerija: KOKO arhitektid OÜ
 Hoone, asukohaga Tallinn, Küti tn 17 soojus- ja külmavarustuseks kasutatakse soojuspumpasid, mis võtavad soojust (talvel) ja jahutuse (suvel) mereveest.
 Hoone suletud netopind 7 529,7m²
 Hoone maht 98 450m³
 Hoone jaguneb funktsionaalselt kolmeks:
 - Suur ekspositsioonisaal 5183m²
 - Sissepääsuala kaupluse, fuajee, kohviku ja kahe nurgatorniga 1040m²
 - Kaks merepoolset nurgatorni tehniliste ruumidega 140m²

Lennusadama meresoojuspumba SÜSTEEMI PROJEKT

Arvutuslikud tarbimise koormused ja temperatuurid:
 Ventilatsiooni ja fanoolide kütte 266 kW, 45/35°C
 Põrandkütte 266 kW, 40/35°C
 Jahutus 250 kW, 7/12°C
 Primaarpoole soojaallika merevee parameetrid
 Talv kütte min 2 °C
 Suvi jahutus max 20 °C
 Soojuspumpadega saavutatav arvutuslik soojusvõimsus min 390 kW, Tipu elektrikatel min 142 kW
 Minimaalne soojuspumpade arv 2, Minimaalne soojustegur (COP) 3, vastavalt EN255 (0/50 °C)