

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**

Loodusteaduskond

Meresüsteemide instituut

**KUUMAINDEKSITE STATISTIKA EESTI ERI  
PIIRKONDADES**

**Magistritöö**

**Sirle Kangur**

Juhendaja: Prof Sirje Keevallik

Tallinn

2017

*Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.*

*Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.*

Sirle Kangur

*(allkiri ja kuupäev)*

Juhendaja: Sirje Keevallik

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

*(allkiri ja kuupäev)*

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

## SISUKORD

RESÜMEE .....	5
ABSTRACT.....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	8
1.1. Termilised indeksid.....	8
1.2. Kuumaindeks .....	9
1.3. Kuumaindeksite hindamisskaalad.....	10
2. MATERJAL JA MEETODID .....	11
2.1. Andmed.....	11
2.2. Metoodika .....	14
2.2.1. Kuumaindeksite valik.....	14
2.2.2. Puuduvate sisendparameetrite leidmine.....	15
2.2.3. Kuumaindeksite arvutamine.....	16
2.2.4. Hindamisskaalad ja esinemissagedused.....	16
3. TULEMUSED .....	17
3.1. Esinemissagedused.....	17
3.2. Erakordsed kuumaolukorrad .....	24
3.3. Õhutemperatuuri ja kuumaindeksite vaheline suhe .....	30
4. ARUTELU .....	34
4.1. Lihtsate kuumaindeksite kvaliteet.....	34
4.2. Eesti jaoks sobiv kuumaindeks .....	36

4.3. Otseste indeksite eelis keerukamate indeksite ees .....	38
4.4. Regionaalne esinemissagedus .....	39
4.5. Erakordsed kuumaolukorrad .....	39
4.6. Hoiatuste andmine kuuma ilma korral .....	41
KOKKUVÕTE.....	43
SUMMARY .....	45
KASUTATUD KIRJANDUS .....	46
LISAD .....	54
Lisa 1. Valik olemasolevaid kuumaindeksid .....	54
Lisa 2. Kuumaindeksite hindamisskaalad .....	57

## RESÜMEE

Käesoleva magistr töö eesmärgiks on kirjeldada kuumaindeksite väärtuste alusel, millised erakordsed kuumaolukorrad on aset leidnud Eesti erinevates piirkondades meteoroloogiliste vaatluste põhjal aastatel 1981-2003, ning anda soovitus, millist kuumaindeksit võiks Eesti tingimustes kasutada. Selleks arvutati kuumaindeksite väärtused seitsmes Eesti meteoroloogiajaamas, kasutades kuumaindekseid *Heat index* (HI), *Humidex* (HD), *Wet bulb globe temperature* (WBGT), *Discomfort index* (DI), *Apparent temperature* (AT) ja *Effective temperature* (ET). Erakordsete kuumaolukordade arvukuse poolest tuli välja 2001. aasta 16.-18. juuli, mil sellised olukorrad leidsid aset sisemaal. Välja sai tuua ka 1994. aasta 13.-14. juuli, mil erakordsed olukorrad esinesid Võrus ning 28.-30. juuli, kui erakordsed olukorrad leidsid indeksi alusel aset Kuusikul, Tartus, Võrus ja Vilsandil. Lisaks väärivad mainimist 1992. ja 1988. aasta. Lisaks selgus, et Eesti jaoks võib lugeda sobilikuks nii AT, ET kui ka DI indeksit, kuid kõigi nendega peavad alati kaasas käima ka hindamisskaalad.

Võtmesõnad: termilised indeksid, kuumaindeksid, kuum ilm, Eesti

## **ABSTRACT**

The aim of this master's thesis is to describe exceptional heat situations that have taken place in the various regions of Estonia in 1981-2003 using heat index values. Also, the thesis recommends which heat index would be suitable for Estonia. For this purpose heat index values were calculated for seven Estonian meteorological stations using heat indices such as Heat index (HI), Humidex (HD), Wet bulb globe temperature (WBGT), Discomfort index (DI), Apparent temperature (AT) and Effective temperature (ET). The results of this thesis showed that year 2001 was standing out with numerous exceptional heat situations. All these situations took place on 16-18 July and all of these occurred in the inland of Estonia. Year 1994 can also be pointed out because of heat situations that took place on 13-14 July in Võru and on 28-30 July in Kuusiku, Tartu, Võru and Vilsandi. In addition, years 1988 and 1992 deserve to be mentioned. It was found that indices AT, ET and DI are suitable for Estonia. Also, it is always important to present heat indices to the public with their assessment scales.

Key words: Thermal indices, Heat indices, Hot weather, Estonia

## SISSEJUHATUS

Termilist keskkonda, milles inimene viibib, ei ole võimalik kirjeldada vaid ühe parameetri – õhutemperatuuri abil, vaid selleks tuleb kaasata ka teisi meteoroloogilisi parameetreid (Mokhtari *et al.* 2016). Näiteks kuuma ilma tingimustes on äärmiselt olulisel kohal lisaks õhutemperatuurile ka -niiskus (Jendritzky *et al.* 2012). Soojusliku keskkonna paremaks kirjeldamiseks on viimase sajandi jooksul välja töötatud hulgaliselt erisuguseid indekseid, mis erinevad üksteisest nii sisendite arvu, tüübi kui ka kvaliteedi poolest (Freitas, Grigorieva 2015).

Termilisi indekseid, mis on mõeldud kasutamiseks kuuma ilma tingimustes, nimetatakse kuumaindeksiteks ja need kirjeldavad indiviidi poolt tajutavat temperatuuri (Steadman 1979). Lisaks tajutavale temperatuurile annavad kuumaindeksid ülevaate ka termilisest mugavusest/ebamugavusest, mida inimene antud tingimustes tunneb. Sellest tulenevalt on neil oluline tähtsus riikliku tervishoiu seisukohalt, et ilmasteenistused saaksid anda välja õigeaegseid hoiatusi olukorras, kus ilmastikutingimused hakkavad kujutama ohtu inimese tervisele (Santee, Wallace 2005). Samuti leiavad antud indekseid rakendust ka näiteks linna planeerimisel (Santamouris *et al.* 2012) ja turismi sihtkoha valikul (Matzarakis *et al.* 2004).

Käesoleva töö eesmärgiks on kirjeldada, millised erakordsed olukorrad on esinenud Eesti erinevates piirkondades meteoroloogiliste vaatluste põhjal aastatel 1981-2003 ning anda soovitus, millist kuumaindeksit võiks Eesti tingimustes kasutada.

Magistritöö koosneb neljast peatükist, millest esimeses antakse teoreetiline ülevaade uuritavast valdkonnast. Teises peatükis käsitletakse andmete päritolu ja ka töö metoodikat. Kolmandas ja neljandas peatükis esitatakse töö tulemused ning arutelu.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Termilised indeksid

Termilisi indekseid kasutatakse termilise keskkonna õigesti hindamiseks, seda nii tervishoiu, linnaplaneerimise ja turismi valdkonnas kui ka biometeorooloogiliste tingimuste prognoosimisel (Jendritzky *et al.* 2012). Samuti leiavad antud indeksid laialdast kasutust indikaatorina sellele, kuidas inimese keha reageerib keskkonna poolt avaldatud stressile ja kas ta tunneb end seal mugavalt (d'Amrosios Alfano *et al.* 2011; Nastos, Matzarakis 2012). Sellest tulenevalt on viimase 100 aasta jooksul loodud hulgaliselt termilisi indekseid kirjeldamiseks termilist keskkonda, milles inimene viibib (de Freitas, Grigorieva 2015) ja soojusvahetust keskkonna ning inimese keha vahel.

Termilisi indekseid on võimalik jagada kolme klassi (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1986; Parson 2003):

1. Otsesed indeksid (*direct indices*) – indeksid, mis põhinevad meteoroloogiliste parameetrite otsestel mõõtmistel;
2. Empiirilised indeksid (*empirical indices*) – indeksid, mis põhinevad objektiivselt ja subjektiivselt termilise stressi tunnetusel;
3. Ratsionaalsed indeksid (*rational indices*) – indeksid, mis põhinevad soojusbilansi võrrandil.

Suure osa termilistest indeksitest moodustavad otsesed indeksid, mis sageli sisaldavad vaid kahte parameetrit (Jendritzky *et al.* 2002; Morabito *et al.* 2014). Empiirilised ja ratsionaalsed indeksid seevastu hõlmavad endas oluliselt rohkem muutujaid. Näiteks sisaldavad need lisaks meteoroloogilistele parameetritele (õhutemperatuur, keskkonna kiirguslik temperatuur, õhuniiskus, õhu liikumise kiirus) veel ka meteoroloogiaväliseid muutujaid (ainevahetuse kiirus ja riietuse isolatsioon), mida otsestes indeksites ei arvestata (Błażejczyk *et al.* 2012; Mohan *et al.* 2014). Kuna empiirilised ja ratsionaalsed indeksid sisaldavad rohkem muutujaid ja mõningaid neist võib olla keerukas mõõta, ei kasutata neid indekseid igapäevaselt. Seevastu otsesed



indeksid on oluliselt kasutajasõbralikumad ja sobilikumad igapäevaseks kasutuseks (Epstein, Moran 2006). Käesolevas töös käsitletakse vaid otseseid indekseid, mida on võimalik välja arvutada, kasutades vaid meteoroloogilisi parameetreid.

Igapäevaselt kasutatakse termilisi indekseid peamiselt välitingimustes tajutava temperatuuri hindamiseks, kuid välja on töötatud ka indekseid, mis on sobilikud sisetingimuste kirjeldamiseks, kuna need ei arvesta näiteks päikesekiirgust ja eeldavad tuulevaikust (Pantavou *et al.* 2014). Välitingimustes kasutatavate indeksite hulgas leidub nii universaalseid indekseid, mis on kasutatavad laia temperatuuriamplituudi ulatuses (Błażejczyk *et al.* 2012) nagu *Universal thermal climate index* (Jendritzky *et al.* 2012), aga ka indekseid, mis on sobilikud kasutamiseks vaid teatud tingimustes, näiteks ainult soojades oludes, nagu *Humidex* (Masterton, Richardson 1979) ja indekseid, mis on sobilikud kasutamiseks külma ilma tingimustes, nagu *Wind chill index* (Siple, Passel 1945). Sealjuures sisaldavad soojades tingimustes kasutuseks mõeldud indeksid alati lisaks õhuperatuurile ka suhtelise õhuniiskuse komponenti ja külmades tingimustes kasutuseks mõeldud indeksid tuule kiiruse komponenti (Driscoll 1992; Jendritzky *et al.* 2012). Lisaks annavad erinevad indeksid, lähtuvalt indeksi eesmärgist, väga erinevaid väljundandmeid. Näiteks võib indeksi väljundiks olla temperatuur (°C), mugavustunne punktiskaalal (ASHRAE skaala, Bedfordi skaala jne), nahatemperatuur (°C) või isegi südamelöögisagedus ( $\text{min}^{-1}$ ) (de Freitas, Grigorieva 2016). Käesolevas töös pakuvad meile huvi kuumaindeksid ehk indeksid, mida on võimalik rakendada sooja ilma tingimustes ja mille väljundiks on temperatuur.

## **1.2. Kuumaindeks**

Termilisi indekseid, mis on mõeldud kasutamiseks kuuma ilma tingimustes, nimetatakse kuumaindeksiteks (*heat indices*) (lisa 1) ja need kirjeldavad seda, kuidas keskmine inimene tajub kuuma ilma erinevates niiskustingimustes (Steadman 1979). Saadud kuumaindeksi väärtuse abil on võimalik hinnata, kui mugavalt inimene end teatud termilises keskkonnas tunneb või kui suurt stressi tekitab tema kehale kuumas

ja niiskes keskkonnas viibimine (Błażejczyk *et al.* 2012; Gaffen, Ross 1998). Enamik kuumaindekseid on kaheparameetrilised, võttes arvesse õhutemperatuuri ja -niiskust, kuid leidub ka keerukamaid kuumaindekseid, mis sisaldavad lisaks eelpool nimetatud parameetritele veel ka tuule kiirust ja päikesekiirgust (Bobvos *et al.* 2014; Steadman 1979).

Nagu eelnevalt mainitud, sisaldavad kuumaindeksid alati lisaks õhutemperatuurile ka mõnda õhuniiskust väljendavat karakteristikut, kuna õhutemperatuuri ebamugav mõju inimesele suureneb niiskusesisalduse kasvuga õhus (Hass *et al.* 2016). Selleks, et inimese keha ja organism saaks normaalselt funktsioneerida, peab keha sisetemperatuur olema 37 °C ja see võib kõikuda vaid väga kitsa amplituudi ulatuses ( $\pm 1$  °C). Selleks, et taolist tasakaalu säilitada, peab toimuma keha ja keskkonna vaheline soojusvahetus (Epstein, Moran 2006). Kõrge õhuniiskuse korral väheneb higi aurustumine keha pinnalt, vähendades seeläbi ka keha loomulikku võimet end jahutada (Malchaire *et al.* 2000, Sung *et al.* 2013), millest tulenevalt tajub inimene keskkonda kuumemana, kui seda näitab mõõdetud õhutemperatuur.

### **1.3. Kuumaindeksite hindamisskaalad**

Kuna erinevate kuumaindeksite põhjal leitud indeksi väärtused on samade algandmete puhul sageli erinevad, on oluline, et igal indeksil oleks hindamisskaala, mis annaks infot selle kohta, kuidas inimene end teatud indeksi väärtuse korral tunneb ja kas taolistes oludes viibimine on tema tervisele ohtlik või mitte (Epstein, Moran 2006). Sellist laadi info on vajalik, et inimesed oskaksid neis olukordades õigesti käituda ja riietuda ning seeläbi võimaldab see teadmine vähendada kuumalainetest tingitud haigestumist ja ka suremust (Kim *et al.* 2010).

## **2. MATERJAL JA MEETODID**

### **2.1. Andmed**

Käesolevas töös on kasutatud Riigi Ilmateenistuse andmebaasist saadud õhutemperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja tuule kiiruse andmeid 23-aastase perioodi (1981-2003) kohta. Vaatamata sellele, et meteoroloogilised andmed on olemas ka pikema aegrea kohta kui 1981-2003, valiti siiski see periood, kuna 1981-2010 on aegrida, mille põhjal on arvatud praegu kasutuses olevad kliimanormid ehk pikaajalised keskmised. Kuna 2003. aastal toimus Riigi Ilmateenistuse vaatlusjaamade automatiseerimine, siis jäeti aastate 2004-2010 andmed välja, vältimaks automatiseeritud andmetega mittehomoogeensuse sissetoomist.

Töös kasutati seitsme vaatlusjaama andmeid (joonis 1), nendeks olid Jõhvi, Kuressaare, Kuusiku, Tallinn-Harku, Tartu (Tartu-Ülenurme/ Tartu-Tõravere), Vilsandi ja Võru. Jaamad valiti välja lähtuvalt nende kliimatilistest erinevustest. Nimelt iseloomustavad Jõhvi, Tartu ja Võru vaatlusjaamad hästi kontinentaalset kliimat, kuna neis puudub pea täielikult Läänemere mõju. Poolkontinentaalset kliimat, kus maa mõju on suurem kui mere oma, esindavad Kuusiku ja Tallinn-Harku jaamad ning poolkontinentaalset kliimat, kus meri domineerib maa mõju üle, esindab Kuressaare. Vilsandi vaatlusjaam on aga esindajaks merelisele kliimale. (Jaagus, Truu 2004) Lisaks on Tallinn-Harku ja Tartu jaamad valikus ka seetõttu, et tegemist on kahe Eesti suurima linnaga.

Välja valitud perioodi (1981-2003) andmetest kasutati vaid soojade kuude (mai-september) andmeid, mis olid ööpäeva kohta 3-tunnise intervalliga (0:00; 3:00; 06:00; 9:00; 12:00, 15:00, 18:00 ja 21:00 UTC). Tartu puhul kasutati kuni 1996. aastani Tartu-Ülenurme vaatlusjaama andmeid ja alates 1997. aastast Tartu-Tõravere vaatlusandmeid. Jõhvi, Kuressaare, Kuusiku, Tallinn-Harku, Vilsandi ja Võru andmetes esines andmelünki (tabel 1), kuid neid ei hakatud täitma.



**Joonis 1.** Töös kasutatud meteoroloogiajaamade asukohad.

**Tabel 1.** Vaatlusjaamade andmetes esinevad andmelüngad.

Jaam	Kõrgus mere-pinnast	Vaatlus-periood	Puuduv andmestik
Jõhvi	73 m	1981-2003	31.08.2003 (21:00) 09.2003
Kuressaare	1 m	1981-2003	24.05-31.05.1983 (0:00; 21:00) 06.1983 (0:00; 21:00) 07.1983 (0:00; 21:00) 08.1983 (0:00; 21:00) 09.1983 (0:00; 21:00) 31.07.2000 (21:00) 08.2000 09.2000 2001 2002 2003
Kuusiku	53 m	1981-2003	10.05.1981 (21:00) 11.05-22.05.1981 (0:00; 21:00) 16.07-31.07.1981 (0:00; 21:00) 01.08.1981 (0:00; 3:00; 21:00)

			02.08-31.08.1981 (0:00; 21:00) 09.1981 (0:00; 21:00) 31.07.1987 (21:00) 08.1987 09.1987 31.05.1989 (21:00) 06.1989 (3:00; 9:00; 15:00; 21:00) 07.1989 (3:00; 9:00; 15:00; 21:00) 08.1989 (3:00; 9:00; 15:00; 21:00) 31.08.2003 (21:00)
Tallinn-Harku	33 m	1981-2003	31.08.2003 (21:00) - puudu õhutemperatuur
Tartu- Ülenurme	62 m	1981-1996	-
Tartu-Tõravere	70 m	1997-2003	-
Vilsandi	6 m	1981-2003	31.05.1990 (21:00) 06.1990 01.07-10.07.1990 (0:00; 3:00; 9:00; 12:00;15:00; 21:00) 11.07-31.07.1990 (0:00; 21:00) 08.1990 (0:00; 21:00) 09.1990 (0:00; 21:00) 05.1991 (0:00; 21:00) 06.1991 07.1991 08.1991 09.1991 31.08.2003 (21:00) - puudu õhutemperatuur
Võru	82 m	1981-2003	31.05.1984 (21:00) 01.06-29.06.1984 30.06.1984 (0:00; 3:00; 6:00; 9:00; 12:00; 15:00; 18:00) 31.07.1986 (21:00) - puudu suhteline õhuniiskus ja tuule kiirus 01.08.-25.08.1986 - puudu suhteline õhuniiskus ja tuule kiirus 26.08-31.08.1986

---

## 2.2. Metoodika

### 2.2.1. Kuumaindeksite valik

Käesoleva töö jaoks valiti olemasolevatest kuumaindeksitest (lisa 1) välja kuus indeksit:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1. <i>Humidex</i> (HD)              | 4. <i>Effective temperature</i> (ET)        |
| 2. <i>Heat index</i> (HI)           | 5. <i>Wet bulb globe temperature</i> (WBGT) |
| 3. <i>Apparent temperature</i> (AT) | 6. <i>Discomfort index</i> (DI)             |

Indeksite valimisel seati eelduseks, et need ei vajaks sisendparameetritena päikesekiirgust, märja termomeetri temperatuuri ega kastepunkti temperatuuri. Taoline eeldus seati, kuna päikesekiirguse andmeid ei ole võimalik saada kõigi vaatlusjaamade kohta ning märja termomeetri ja kastepunkti temperatuuri andmeid on keerukas kätte saada, kuna tegemist pole standardandmetega. Lisaks lähtuti indeksite valimisel ka nende kasutatavusest. Nii näiteks on USA mereväe poolt välja töötatud WBGT indeks üheks maailmas enim kasutatud leidvaks kuumaindeksiks (Błażejczyk *et al.* 2012, 2015) ja tegemist on ka ISO standardiga (ISO 7243) (Epstein, Moran 2006). Samamoodi on väga populaarsed kuumaindeksid ka DI indeks, mis leiab laialdast kasutust peamiselt linnade kliimauuringute tegemisel (Poupkou *et al.* 2011) ja HI indeks, mis on üks levinuim ning enim kasutatud leidev kuumaindeks USAs ja mida kasutab oma töös ka USA Riiklik Ilmateenistus (Oliver 2008). AT indeks valiti aga välja, kuna selle indeksi põhjal on välja töötatud HI indeks ehk tegemist on HI indeksi keerukama eelkäijaga, mis on sobilik kasutamiseks nii külmades kui ka kuumades oludes (Błażejczyk *et al.* 2012). HD indeks osutus aga valituks, kuna tegemist on üha enam Euroopas ja Põhja-Ameerikas populaarsust koguva indeksiga, mis leiab kasutust just eelkõige tänu oma lihtsusele (d'Abrosio Alfano *et al.* 2011), samuti on just see indeks välja toodud T. Tammetsi (2012) poolt raamatus „Eesti ilma riskid“. ET indeks võeti valikusse, kuna see on olnud laialdaselt kasutusel nii Ida-Saksamaal, Poolas kui ka Nõukogude Liidus ning on tänini kasutusel Saksamaal (Błażejczyk *et al.* 2012). ET

indeks on sarnaselt AT indeksiga samuti rakendatav nii külmades kui ka kuumades temperatuuritingimustes.

### 2.2.2. Puuduvate sisendparameetrite leidmine

Välja valitud indeksitest nelja puhul (HD, HI, WBGT ja DI) oli tarvis vaid suhtelise õhuniiskuse ja õhutemperatuuri andmeid, kahe indeksi puhul (AT, ET) oli lisaks eelpool nimetatutele vaja ka tuule kiiruse andmeid. Kui AT indeks vajab sisendina tuule kiirust 10 m kõrgusel, siis ET indeksi puhul pidi tuule kiirus olema mõõdetud 1,2 m kõrgusel maapinnast. Riigi Ilmateenistuse meteoroloogiajaamades mõõdetakse tuule kiirust aga vastavalt *World Meteorological Organizationi* (WMO) reeglitele 10 m kõrgusel (WMO 2008). Sellest tulenevalt tuli tuule kiirus tuua madalamale, kasutades logaritmilist seadust, kuna aluspinnalähedases kihis (50-100 m) tuule kiirus kasvab/kahaneb kõrguse suurenemise/vähendamise korral kiiresti. Tuule kiiruse leidmiseks 1,2 m kõrgusel kasutati valemit (Stull 2015):

$$u(z) = u_{\text{ref}} \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{\text{ref}}/z_0)},$$

kus  $z_{\text{ref}} = 10$  m ja  $u_{\text{ref}}$  tähistab tuule kiirust sellel kõrgusel.  $z = 1,2$  m ja  $z_0$  on kareduskoeffitsient, mis rohumaa korral varieerub 0,01...0,04 m (Keevallik 2004). Antud juhul võeti kareduskoeffitsiendiks 0,01 m lähtudes sellest, et meteoroloogiaväljakutel olevat muru niidetakse regulaarselt.

Valitud indeksitest kolm (HD, WBGT, AT) vajasisid ühe sisendina veeauru rõhku ( $e$ ), mis arvutati välja, kasutades järgmist eeskirja (d'Abrosio Alfano *et al.* 2011):

$$e \text{ (hPa)} = 6,112 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T}{237,7+T}\right)} \cdot \frac{r}{100},$$

kus  $T$  on õhutemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) ja  $r$  on suhteline õhuniiskus (%).

### **2.2.3. Kuumaindeksite arvutamine**

Kõik välja valitud kuumaindeksid arvutati lisas 1 olevate võrrandite põhjal. Kuna erinevatel indeksitel on aga erinev tööpiirkond, rakendati andmete võrreldavuse huvides kõiki indekseid alates õhutemperatuurist +20 °C, kuna tegemist on minimaalse õhutemperatuuriga, mille korral on võimalik rakendada kõiki kuut indeksit.

### **2.2.4. Hindamisskaalad ja esinemissagedused**

Käesolevas töös kasutatavatele kuumaindeksitele otsiti kirjanduse põhjal hindamisskaalad (lisa 2). Antud skaalad küll varieeruvad indeksitest lähtuvalt, kuid neil kõigil on ühine eesmärk – teha kindlaks, milline on termiline tunne (soe, kuum, lämbe jne), mida tajutakse või kui mugavalt/ebamugavalt inimene end antud tingimustes tunneb, ja sellest tulenevalt, kui suureks ohuks indiviidi tervisele on sellistes tingimustes viibimine.

Seejärel leiti indeksite hindamisskaalade järgi kõigis välja valitud vaatlusjaamades see, kui palju mingit hindamisskaala kategooriat on 23-aastase perioodi (1981-2003) jooksul esinenud. Sealjuures läks ühe päeva kohta kirja vaid üks esinemise kord. Juhul kui ühe päeva sisse jäi mitu erinevat hindamisskaala vahemikku, võeti neist arvesse vaid kõrgemasse hindamisskaala vahemikku kuuluv kord. Kui ühel päeval esines mitu samasse hindamisskaala kategooriasse kuuluvat olukorda, läks samuti arvesse vaid kõige kõrgema väärtusega kord. Hindamisskaala kategoorias, kus ebamugavustunne puudus täielikult, esinemiste korda ei leitud, kuna see info ei ole käesoleva töö seisukohalt oluline.

Pärast esinemissageduste väljaselgitamist otsiti kõigi indeksite puhul välja erakordsemate kuumajuhtude esinemiste kuupäevad. Üldiselt on erakordsemad kuumajuhud indeksite kõrgemates kategooriates, kus esineb väiksemal hulgal, kuid kõrgema temperatuuriga ja sellest tulenevalt ohtlikumaid olukordi.



### 3. TULEMUSED

#### 3.1. Esinemissagedused

Töös kasutatud kuumaindeksitest kõige enam kuumajuhtude esinemissagedusi kõigi hindamiskaala kategooriate peale kokku oli WBGT indeksil, millega leiti 7236 sellist olukorda (tabel 2) ehk vaatlusjaama kohta keskmiselt 1033,7 kuumajuhtu. AT indeksiga leiti kõige vähem erinevaid kuumajuhte, täpsemalt 574 (tabel 2) ehk jaama kohta keskmiselt 82 kuumajuhtu.

**Tabel 2.** Indeksite summaarne kuumajuhtude hulk.

Indeks	Erinevate kuumajuhtude hulk kokku
<i>Humidex</i> (HD)	1081
<i>Heat index</i> (HI)	763
<i>Apparent temperature</i> (AT)	574
<i>Effective temperature</i> (ET)	966
<i>Wet bulb globe temperature</i> (WBGT)	7236
<i>Discomfort index</i> (DI)	3070

Kõigi kuumaindeksite järgi oli esimeses hindamiskaala vahemikus (mõningane ebamugavustunne/ tuleb olla ettevaatlik/ alla 50% elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet) kõige enam esinemiskordi ja seda kõigis vaatlusjaamades (tabelid 3-8). Kõige suurem kuumajuhtude esinemiste hulk kõigi jaamade peale kokku, mis jäi esimesse hindamiskaala kategooriasse, saadi WBGT indeksiga ja selleks oli 4906 korda. Keskmiselt leiti selle indeksiga taolisi olukordi ühe jaama kohta 700,9. Kõige väiksem esinemiskordade arv esimeses kategoorias oli aga AT indeksiga saadud 556 korda, kus ühe jaama kohta leiti keskmiselt 79,4 kuumaolukorda.

Hindamiskaala teises vahemikus (tugev ebamugavustunne/ tuleb olla eriti ettevaatlik/ üle 50% elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet) leitud kuumaolukordade esinemiste hulk oli sõltuvalt indeksist väga erinev (tabelid 3-8). Näiteks WBGT indeksiga saadi teises kategoorias kõigi jaamade peale kokku 2132 erinevat kuumajuhtu ehk keskmiselt ühe jaama kohta leiti 304,6 kuumajuhtu. AT indeksiga saadi samas

kategoorias kõigi jaamade peale kokku 18 juhtu ehk keskmiselt ühe jaama kohta 2,6 kuumajuhtu ja HI indeksiga 17 olukorda ehk keskmiselt leiti igas jaamas 2,4 kuumaolukorda. HD indeksiga leiti teises kategoorias kõigi jaamade peale kokku vaid kaks kuumajuhtu. Hindamisskaala teine vahemik oli kõigis vaatlusjaamades esindatud vaid ET, WBGT ja DI indeksite puhul (tabelid 6-8). HD indeksi (tabel 3) puhul oli teine vahemik esindatud kahes vaatlusjaamas: Tallinnas ja Tartus, HI indeksi (tabel 4) puhul viies jaamas: Jõhvis, Kuusikul, Tallinnas, Tartus ja Võrus ning AT indeksi (tabel 5) korral neljas jaamas: Kuusikul, Tallinnas, Tartus ja Võrus.

Indeksite ülejäänud hindamisskaalade kategooriad olid kas esindatud mõnes üksikus jaamas või üldse mitte. Näiteks HD indeksi (tabel 3) kõrgeim kategooria „ohtlik, võimalik kuumarabanduse oht“ oli esindatud ühel korral Võru vaatlusjaamas. HI indeksi (tabel 4) puhul oli Võru vaatlusjaamas üks kuumajuht, mis läks kategooriasse „ohtlik“ ja Vilsandi jaamas samuti üks kuumajuht, mis läks kategooriasse „äärmiselt ohtlik“ ehk antud indeksi kõige kõrgemasse kategooriasse. Ka ET indeksiga (tabel 6) leiti kõige kõrgemas kategoorias „väga kuum (ohtlik)“ mõned kuumajuhud – nimelt oli Tartus üks ja Võrus kolm sellist olukorda. DI indeksi (tabel 8) puhul oli Tallinna vaatlusjaamas üks, Tartus kaks ja Võrus kolm sellist kuumaolukorda, mis läksid kategooriasse „enamik elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet“. Samuti oli antud indeksi puhul esindatud kategooria „väga tugev ja ohtlik ebamugavustunne“ Võru vaatlusjaamas, kus oli üks selline olukord. Ühtegi kuumaolukorra esinemist ei läinud kirja aga DI indeksi kõige kõrgemas kategoorias ehk „vajadus meditsiiniliseks hädaabiks“. WBGT indeksi (tabel 7) puhul oli hindamisskaala vahemik „väga kuum (ohtlik)“ esindatud kõigi vaatlusjaamade puhul ning vahemik „lämbe (äärmiselt ohtlik)“ kuues vaatlusjaamas ja see oli ka antud indeksi kõige kõrgem kategooria. AT indeksiga (tabel 5) ei leitud ühtegi kuumajuhtu, mis oleks läinud kategooriasse „ohtlik“ või „äärmiselt ohtlik“.

**Tabel 3.** Kuumajuhtude arv *Humidex* (HD) indeksi järgi.

Kategooria	Jõhvi	Kuusiku	Tallinn	Tartu	Vilsandi	Kuressaare	Võru
Mõningane ebamugavustunne	138	207	119	215	85	60	254
Tugev ebamugavustunne, vältida füüsilist pingutust			1 (18.07.1988)	1 (11.08.1992)			
Ohtlik, võimalik kuumarabanduse oht							1 (07.06.1988)

**Tabel 4.** Kuumajuhtude arv *Heat index* (HI) indeksi järgi.

Kategooria	Jõhvi	Kuusiku	Tallinn	Tartu	Vilsandi	Kuressaare	Võru
Tuleb olla ettevaatlik	105	141	80	167	40	28	183
Tuleb olla eriti ettevaatlik	2 (15.06.1998) (18.07.2001)	4 (08.07.1989) (29.07.1994) (30.07.1994) (18.07.2001)	2 (18.07.1988) (11.08.1992)	4 (11.08.1992) (06.07.1999) (16.07.2001) (17.07.2001)			5 (11.08.1992) (30.07.1994) (16.07.2001) (17.07.2001) (18.07.2001)
Ohtlik							1 (07.06.1988)
Äärmiselt ohtlik					1 (31.08.2003)		

**Tabel 5.** Kuumajuhtude arv *Apparent temperature* (AT) indeksi järgi.

Kategooria	Jõhvi	Kuusiku	Tallinn	Tartu	Vilsandi	Kuressaare	Võru
Tuleb olla ettevaatlik	60	137	50	120	28	12	149
Tuleb olla eriti ettevaatlik		4 (28.07.1994) (29.07.1994) (30.07.1994) (18.07.2001)	1 (18.07.1988)	4 (11.08.1992) (30.07.1994) (16.07.2001) (17.07.2001)			9 (12.07.1982) (07.06.1988) (11.08.1992) (13.07.1994) (14.07.1994) (30.07.1994) (16.07.2001) (17.07.2001) (18.07.2001)
Ohtlik							
Äärmisel ohtlik							

**Tabel 6.** Kuumajuhtude arv *Effective temperature* (ET) indeksi järgi.

Kategooria	Jõhvi	Kuusiku	Tallinn	Tartu	Vilsandi	Kuressaare	Võru
Soe (tuleb olla ettevaatlik)	83	164	76	136	38	19	194
Kuum (tuleb olla eriti ettevaatlik)	24	56	19	53	10	5	85
Väga kuum (ohtlik)				1 (11.08.1992)			3 (07.06.1988)

(11.08.1992)  
(30.07.1994)

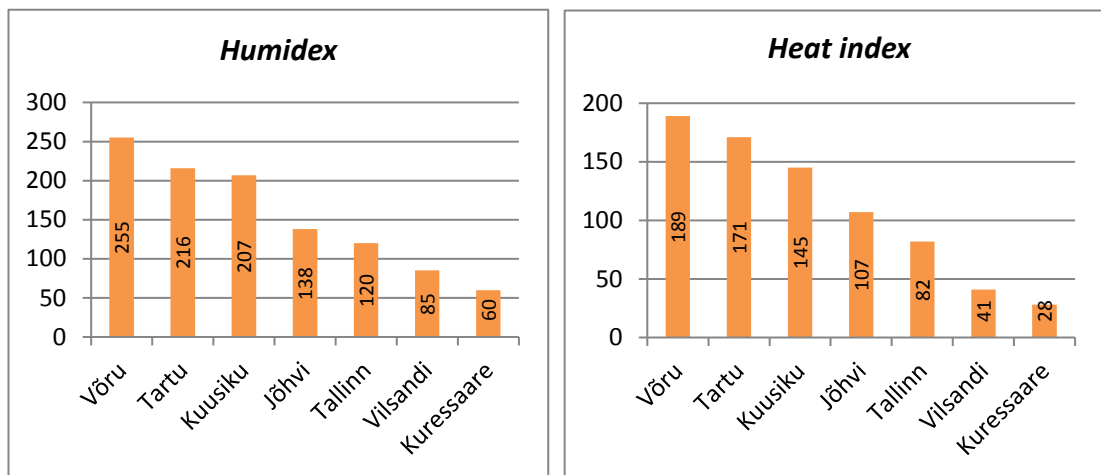
**Tabel 7.** Kuumajuhtude arv *Wet bulb globe temperature* (WBGT) indeksi järgi.

Kategooria	Jõhvi	Kuusiku	Tallinn	Tartu	Vilsandi	Kuressaare	Võru
Soe (tuleb olla ettevaatlik)	749	828	679	893	356	501	900
Kuum (tuleb olla eriti ettevaatlik)	280	370	273	377	218	191	423
Väga kuum (ohtlik)	16	39	16	39	10	7	44
Lämbe (äärmiselt ohtlik)	3 (15.06.1998) (16.07.2001) (18.07.2001)	2 (08.07.1989) (18.07.2001)	1 (18.07.1988)	6 (12.07.1982) (11.08.1992) (06.07.1999) (16.07.2001) (17.07.2001) (18.07.2001)	5 (29.07.1994) (01.07.1997) (29.07.2003) (31.07.2003) (01.08.2003)		10 (25.06.1981) (06.06.1988) (07.06.1988) (11.08.1992) (13.07.1994) (30.07.1994) (30.05.1995) (02.06.1996) (16.07.2001) (17.07.2001)

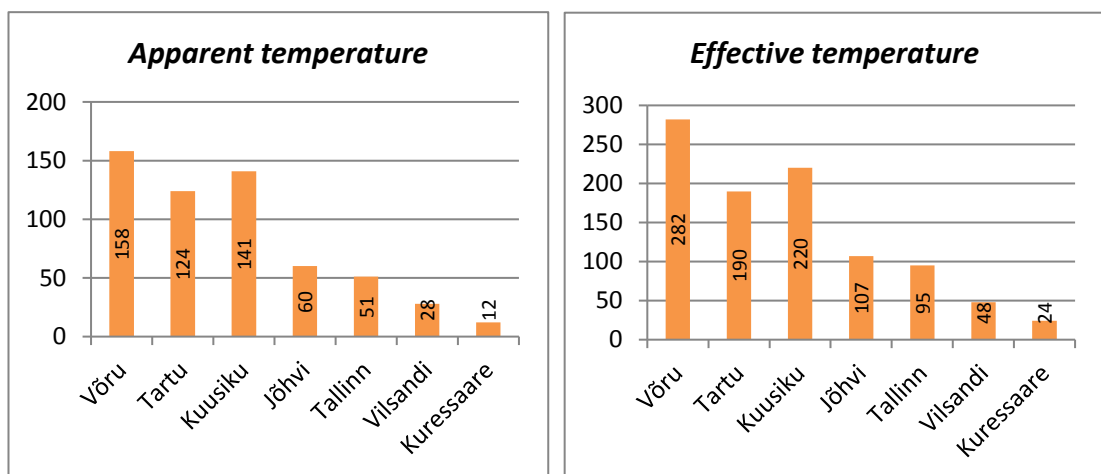
**Tabel 8.** Kuumajuhtude arv *Discomfort index* (DI) indeksi järgi.

Kategooria	Jõhvi	Kuusiku	Tallinn	Tartu	Vilsandi	Kuressaare	Võru
Vähem kui 50% elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet	375	484	348	498	203	231	548
Rohkem kui 50% elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet	50	72	39	85	23	12	95
Enamik elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet			1 (18.07.1988)	2 (17.07.2001) (11.08.1992)			3 (11.08.1992) (16.07.2001) (17.07.2001)
Väga tugev ja ohtlik ebamugavustunne							1 (07.06.1988)
Vajadus meditsiiniliseks hädaabiks							

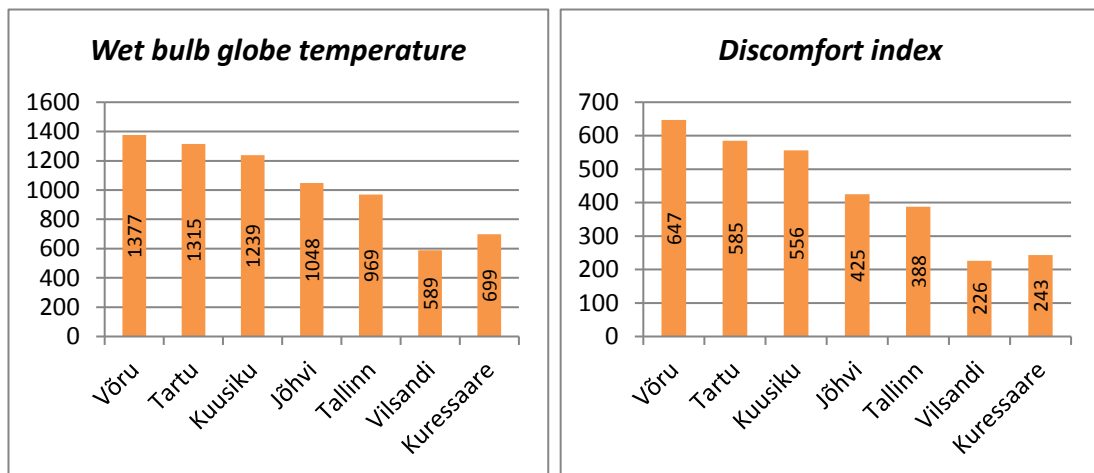
Kõikides hindamiskaala vahemikes esinenud juhtude summeerimisel (joonised 2-4) on näha, et kõigi indeksite korral leidis kõige enam kuumaolukordi aset Võrus. Võru järel oli nelja indeksi (HD, HI, WGBT, DI) alusel esinemissageduste poolest teisel kohal Tartu ning kahe indeksi (AT, ET) põhjal Kuusiku. Kõige väiksem hulk erinevate kuumaolukordade esinemisi oli nelja indeksi (HD, HI, AT ja ET) järgi Kuressaares ning WGBT ja DI indeksite alusel Vilsandis (joonised 2-4).



**Joonis 2.** Humidex (HD) ja Heat index (HI) indeksite järgi tuvastatud summaarne kuumajuhtude arv vaatlusjaamade kaupa.



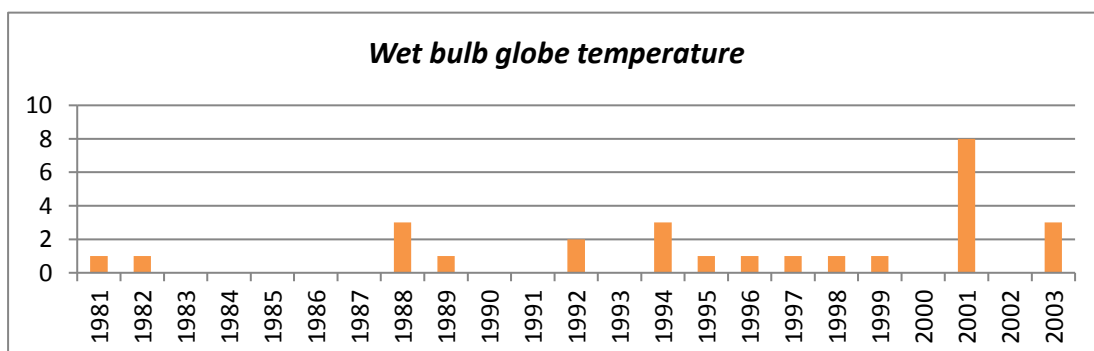
**Joonis 3.** Apparent temperature (AT) ja Effective temperature (ET) indeksite järgi tuvastatud summaarne kuumajuhtude arv vaatlusjaamade kaupa.



**Joonis 4.** *Wet bulb globe temperature* (WBGT) ja *Discomfort index* (DI) indekseid järgi tuvastatud summaarne kuumajuhtude arv vaatlusjaamade kaupa.

### 3.2. Erakordsed kuumaoalukorrad

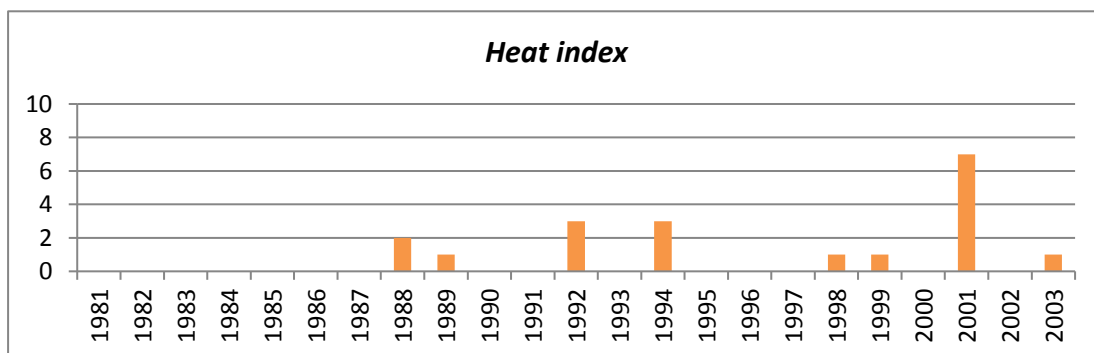
Kõige enam erakordseid kuumajuhte leiti WBGT indeksiga (tabel 7) – kokku 27 ja need kõik jäid selle indeksi kõige kõrgemasse kategooriasse „lämbe (äärmiselt ohtlik)“. Linnade lõikes kõige suurema hulga sellest andis Võru jaam – kokku kümme äärmiselt ohtlikku kuumajuhtu. Kõige väiksem erakordsete kuumajuhtude hulk leiti antud indeksi puhul Tallinnas, kus oli esinenud vaid 1 selline olukord. Kuressaare jaamas ei tuvastatud selle indeksiga mitte ühtegi erakordset olukorda. Antud indeksi 27 erakordsest kuumajuhust kaheksa leidis aset aastal 2001 (joonis 5).



**Joonis 5.** Erakordsete kuumajuhtude hulk aastate lõikes *Wet bulb globe temperature* (WBGT) indeksi järgi.

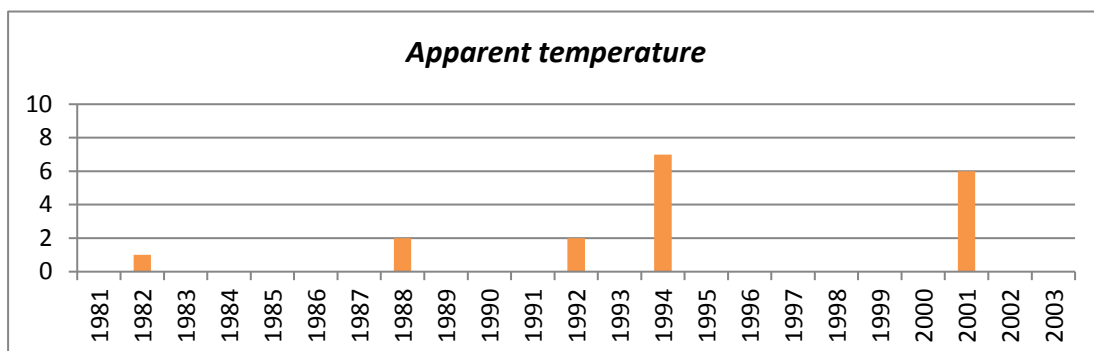


HI indeksiga leiti kokku 19 erakordset kuumajuhtu (tabel 4), millest 17 jäid kategooriasse „tuleb olla eriti ettevaatlik“, üks kategooriasse „ohtlik“ ja üks kategooriasse „äärmiselt ohtlik“. Ka HI indeksi puhul oli kõige suurem erakordsete kuumaolukordade hulk Võrus – kokku kuus kuumajuhtu, millest viis jäid kategooriasse „tuleb olla eriti ettevaatlik“ ja üks kategooriasse „ohtlik“. Kõige väiksem erakordsete kuumajuhtude esinemiste arv oli Vilsandi vaatlusjaamas, kus tuvastati üks erakordne kuumajuht, mis jäi kategooriasse „äärmiselt ohtlik“. Kuressaare jaamas ei leitud selle indeksiga uuritava perioodi jooksul ainsatki erakordset kuumaolukorda. Ka antud indeksi puhul oli kõige enam erakordseid kuumajuhte aastal 2001 – täpsemalt esines seitse sellist olukorda (joonis 6).



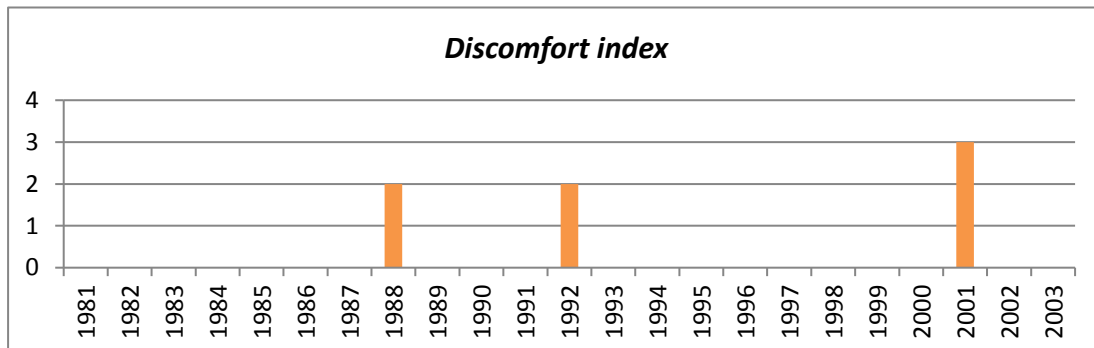
**Joonis 6.** Erakordsete kuumajuhtude hulk aastate lõikes *Heat index* (HI) indeksi järgi.

AT indeksi korral saadi 18 erakordset kuumajuhtu (tabel 5), mis kõik olid kategoorias „tuleb olla eriti ettevaatlik“ ehk antud indeksi teises kategoorias. Kõige enam erakordseid kuumajuhte esines selle indeksi puhul jaamade lõikes Võrus, kus oli üheksa sellist juhtu. Kõige väiksem arv erakordseid kuumaolukordi leiti Tallinnas, kus tuvastati üks erakordne olukord. Jõhvi, Vilsandi ja Kuressaare vaatlusjaamades ei tuvastatud aga ühtegi erakordset kuumaolukorda. AT indeksi korral esines kõige suurem erakordsete kuumajuhtude hulk aastal 1994, kui oli seitse sellist kuumajuhtu (joonis 7).



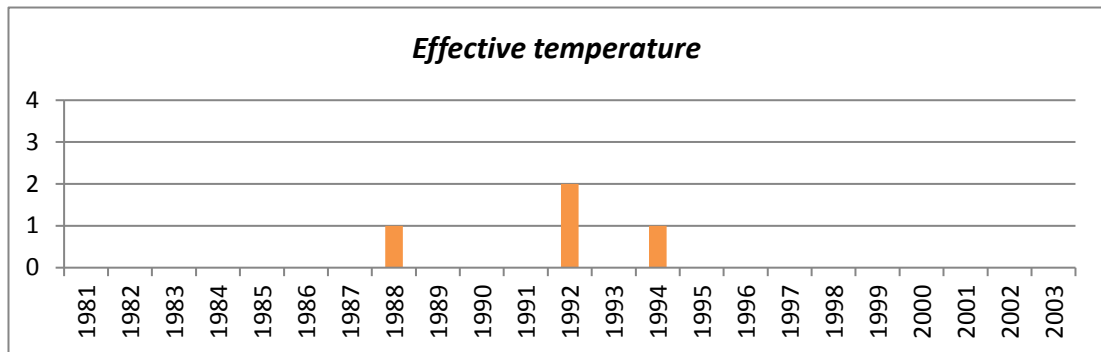
**Joonis 7.** Erakordsete kuumajuhtude hulk aastate lõikes *Apparent temperature* (AT) indeksi järgi.

DI indeksiga saadi kõigi jaamade peale kokku seitse erakordset kuumajuhtu (tabel 8). Neist kuus jäid kategooriasse „enamik elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet“ ja üks kategooriasse „väga tugev ja ohtlik ebamugavustunne“. Seitsmest erakordsest kuumajuhust neli esinesid Võrus. Jõhvi, Vilsandi ja Kuressaare jaamades ei leitud aga ühtegi erakordset kuumaolukorda. Antud indeksi puhul esines kolm erakordset kuumajuhtu aastal 2001 ning kaks aastal 1992 ja 1988 (joonis 8).



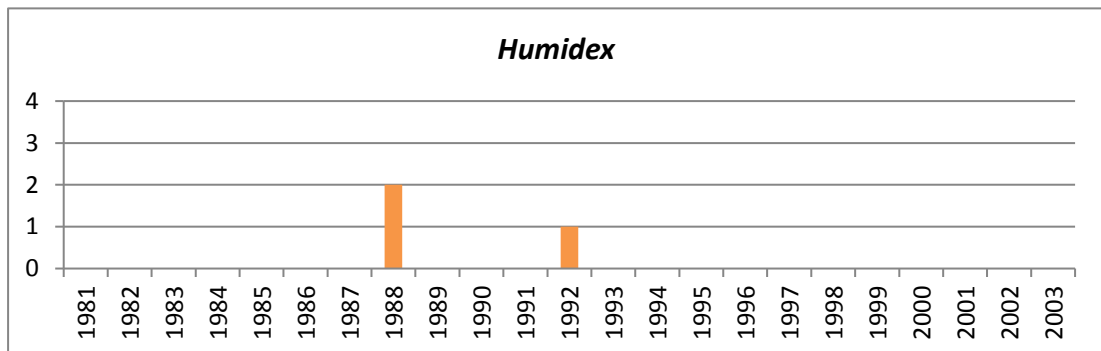
**Joonis 8.** Erakordsete kuumajuhtude hulk aastate lõikes *Discomfort index* (DI) indeksi järgi.

ET indeksiga leiti kokku neli erakordset kuumajuhtu (tabel 6), millest kõik jäid antud indeksi kõige kõrgemasse kategooriasse ehk „väga kuum (ohtlik)“. Erakordsetest kuumajuhtudest kolm leidsid aset Võrus ning üks Tartus. Neljast erakordsest kuumajuhust kaks esinesid aastal 1992 ning üks aastal 1988 ja 1994 (joonis 9).



**Joonis 9.** Erakordsete kuumajuhtude hulk aastate lõikes *Effective temperature* (ET) indeksi järgi.

Kõige vähem erakordseid kuumajuhte leiti HD indeksiga – kokku kolm kuumajuhtu (tabel 3), millest kaks jäid kategooriasse „tugev ebamugavustunne, vältida füüsilist pingutust“ ja üks kategooriasse „ohtlik, võimalik kuumarabanduse oht“. Kõik kolm erakordset kuumajuhtu leidsid aset eri linnades: Võrus, Tartus ja Tallinnas. Kolmest erakordsest kuumajuhust kaks esinesid aastal 1988 ning üks 1992. aastal (joonis 10).



**Joonis 10.** Erakordsete kuumajuhtude hulk aastate lõikes *Humidex* (HD) indeksi järgi.

Erakordsete kuumajuhtude arvukuse osas (joonised 5-10) saab esile tõsta aasta 2001, mille puhul neli indeksit (WBGT, HI, AT ja DI) leidsid rohkelt erakordseid väärtuseid. WBGT indeksiga leiti kaheksa, HI indeksiga seitse, AT indeksiga kuus ja DI indeksiga kolm erakordset kuumaolukorda. ET ja HD indeksid sel aastal ühtegi erakordset olukorda ei leidnud. Kõik 2001. aasta erakordsed kuumaolukorrad leidsid sealjuures aset sisemaal (Jõhvis, Kuusikul, Tartus ja Võrus), saartel ja rannikul ühtegi erakordset

kuumaolukorda sel aastal ei täheldatud. 2001. aastal indeksite poolt leitud erakordsed kuumaolukorrad jäid kõik perioodi 16.-18. juuli (tabelid 3-8).

Lisaks saab välja tuua ka 1994. aasta, mille korral neli indeksit (WBGT, HI, AT ja ET) leidsid erakordseid kuumaolukordi. AT indeksiga leiti seitse, WBGT ja HI indeksitega kolm ja ET indeksiga üks erakordne kuumaolukord (joonised 5-10). 1994. aastal indeksite poolt leitud erakordsed kuumaolukorrad jäid perioodidesse 13.-14. juuli ja 28.-30. juuli. 13.-14. juuli perioodi jäävad kuumaolukorrad olid leitavad vaid Võru vaatlusjaamas AT ja WBGT indeksite korral (tabelid 3-8). Perioodil 28.-30. juuli esinenud kuumaolukorrad leidsid aset Kuusiku, Tartu, Võru ja Vilsandi vaatlusjaamades.

Mainimist väärivad ka aastad 1992 ja 1988, mille korral erakordsete kuumajuhtude hulk ei olnud ühegi indeksi puhul küll kuigi suur, kuid mõlemal aastal leidsid kõik indeksid vähemalt ühe erakordse kuumaolukorra (joonised 5-10). 1992. aastal esinesid kõik indeksite poolt üles leitud erakordsed kuumaolukorrad aset 11. augustil. Erakordseid kuumaolukordi täheldati sel aastal vaid Tallinnas, Tartus ja Võrus. 1988. aastal esinesid indeksite poolt leitud erakordsed kuumaolukorrad Võrus perioodil 6.-7. juuni ja Tallinnas 18. juulil. Mujal linnades sel aastal ühtki erakordset kuumaolukorda ei leitud.

Kuude lõikes oli erakordsete kuumajuhtude hulk nelja indeksi (HI, AT, WBGT ja DI) alusel kõige suurem juulis (tabel 9). ET indeksi korral oli nende hulk suurim augustis. HD indeksiga leiti vaid kolm erakordset kuumajuhtu ja need kõik leidsid aset eri kuudel (juunis, juulis ja augustis). Vaid WBGT indeksiga leiti üks erakordne kuumaolukord ka mais, täpsemalt 30. mail 1995. Septembris ei leitud erakordseid kuumaolukordi ühegi indeksiga.

**Tabel 9.** Erakordsete kuumajuhtude esinemine kuude lõikes.

Indeks	mai	juuni	juuli	august	september
<i>Humidex (HD)</i>	0	1	1	1	0
<i>Heat index (HI)</i>	0	2	13	4	0
<i>Apparent temperature (AT)</i>	0	1	15	2	0
<i>Effective temperature (ET)</i>	0	1	1	2	0
<i>Wet bulb globe temperature (WBGT)</i>	1	5	18	3	0
<i>Discomfort index (DI)</i>	0	1	4	2	0

Indeksite erakordsemate kuumaolukordade kuupäevade (tabelid 3-8) võrdlusest eristus kolm erinevat olukorda. Esiteks võis eristada olukordi, kus teatud kuupäevadel esinenud erakordsed kuumajuhud olid leitavad samas jaamas kõigi indeksite korral. Selliseid olukordi oli kokku kaks: Tartus 11. augustil 1992 ja Võrus 7. juunil 1988. Küll aga ei olnud need kuupäevad kõigi indeksite puhul ühes ja samas kategoorias. Näiteks Tartus esinenud erakordne kuumajuht jäi HD indeksi korral kategooriasse „tugev ebamugavustunne“. HI ja AT indeksite korral jäi see kuumajuht kategooriasse „tuleb olla eriti ettevaatlik“. Nii ET kui ka WBGT indeksi puhul jäi antud kuumaolukord nende indeksite kõige kõrgemasse kategooriasse. DI indeksi järgi oli antud kuumajuht aga kategoorias „enamik elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet“. Sellest tulenevalt võib järeldada, et ET ja WBGT indeksid hindasid olukorda rangemini, kui seda tegid ülejäänud indeksid.

Teiseks eristusid olukorrad, kus teatud kuupäevadel esinenud erakordsed kuumajuhud olid osade indeksite korral leitavad vaid teatud jaamades. Selliseid olukordi oli kokku 16 (tabel 10). Näiteks HD indeksi järgi oli Tallinnas 18. juulil 1988 kuumajuht, millega kaasnes tugev ebamugavustunne. Ka HI, AT ja DI indeksite korral oli see kuumajuht Tallinnas esindatud. HI ja AT indeksite järgi jäi see kategooriasse „tuleb olla eriti ettevaatlik“ ning DI indeksi järgi kategooriasse „enamik elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet“. Ka WBGT indeksiga leiti kuumajuht üles, kuid see paigutus indeksi viimasesse kategooriasse „lämbe (äärmiselt ohtlik)“. ET indeksi korral antud kuumajuhtu aga ei leitud.

**Tabel 10.** Erakordsed kuumaolukorrad, mis olid leitavad kahe kuni viie kuumaindeksi põhjal.

Võru	Tartu	Kuusiku	Jõhvi	Tallinn
11.08.1992	06.07.1999	08.07.1989	15.06.1998	18.07.1988
13.07.1994	16.07.2001	29.07.1994	18.07.2001	
30.07.1994	17.07.2001	30.07.1994		
16.07.2001		18.07.2001		
17.07.2001				
18.07.2001				

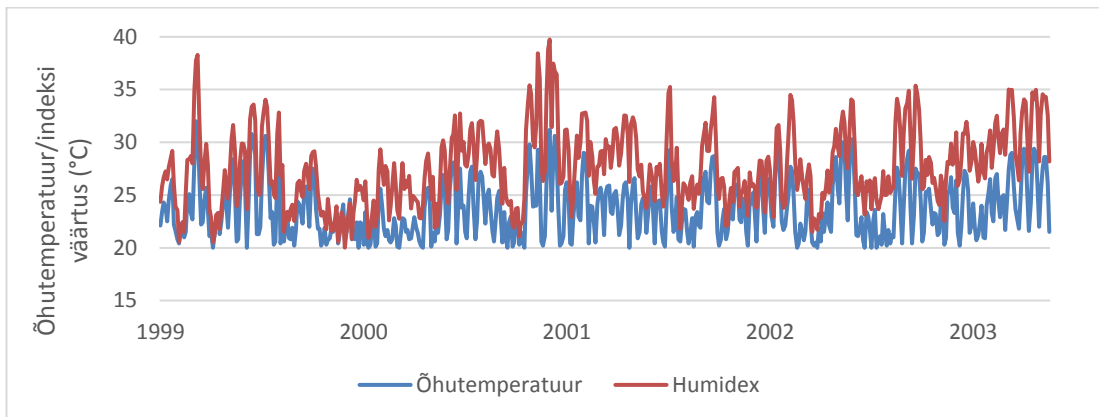
Kolmandaks võis eristada olukordi, kus teatud kuupäevadel esinenud erakordsed kuumajuhud tulid välja vaid ühe indeksi puhul. Taolisi olukordi oli kokku 18 ja seda kuues erinevas vaatlusjaamas (tabel 11).

**Tabel 11.** Erakordsed kuumaolukorrad, mis olid leitavad ühe kuumaindeksi põhjal.

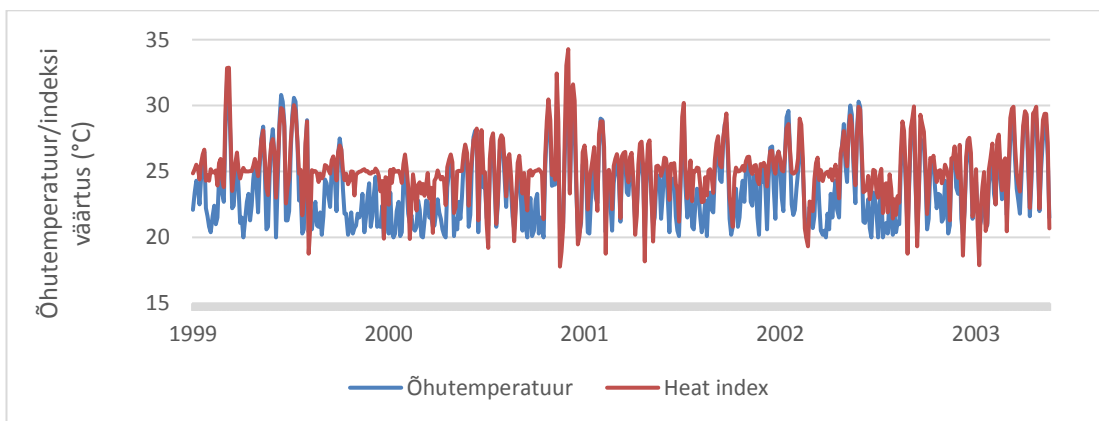
Võru	Tartu	Kuusiku	Jõhvi	Tallinn	Vilsandi
25.06.1981	12.07.1982	28.07.1994	16.07.2001	11.08.1992	29.07.1994
12.07.1982	30.07.1994				01.07.1997
06.06.1988	18.07.2001				29.07.2003
14.07.1994					31.07.2003
30.05.1995					01.08.2003
02.06.1996					31.08.2003

### 3.3. Õhutemperatuuri ja kuumaindeksite vaheline suhe

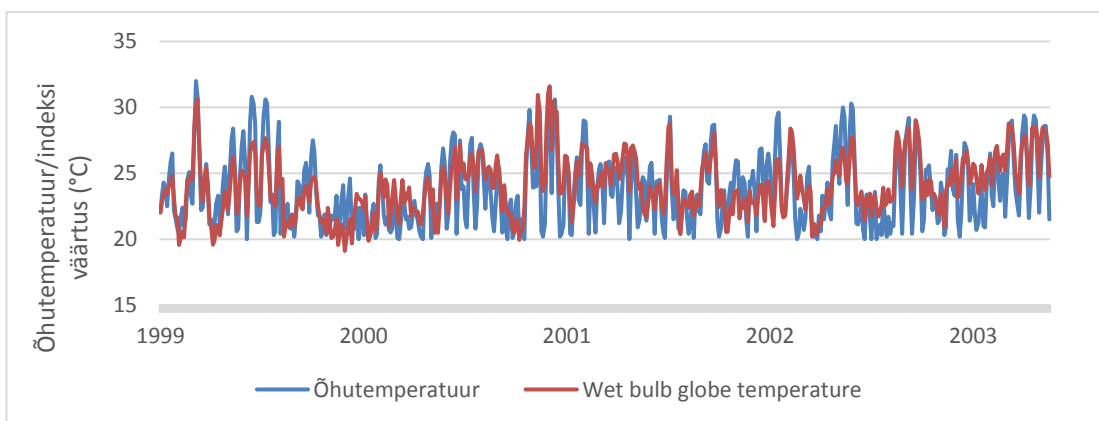
Õhutemperatuuri ja kuumaindeksite väärtuste võrdlusest selgus, et ET indeks (joonis 16) annab õhutemperatuurist oluliselt madalamaid väärtuseid, sarnaselt käitub ka DI indeks (joonis 14). Õhutemperatuurist oluliselt kõrgemaid väärtuseid annavad aga HD indeks (joonis 11) ja ka HI indeksi väärtused on üldiselt õhutemperatuurist kõrgemad (joonis 12). Kõige sarnasemad on õhutemperatuur ja kuumaindeksi väärtus AT indeksi puhul (joonis 15), sarnaselt käitub ka WBGT indeks (joonis 13).



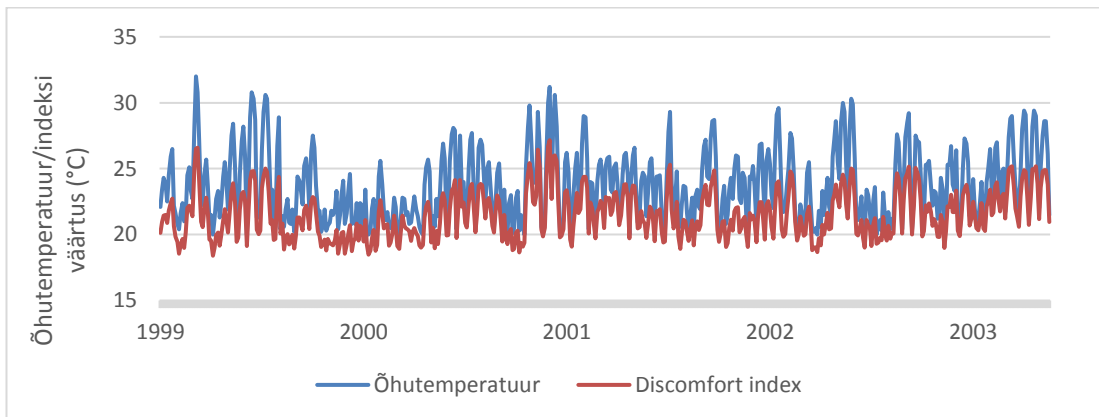
**Joonis 11.** Öhuteratuuri ja *Humidex* (HD) indeksi võrdlus Tartus juulis aastatel 1999-2003.



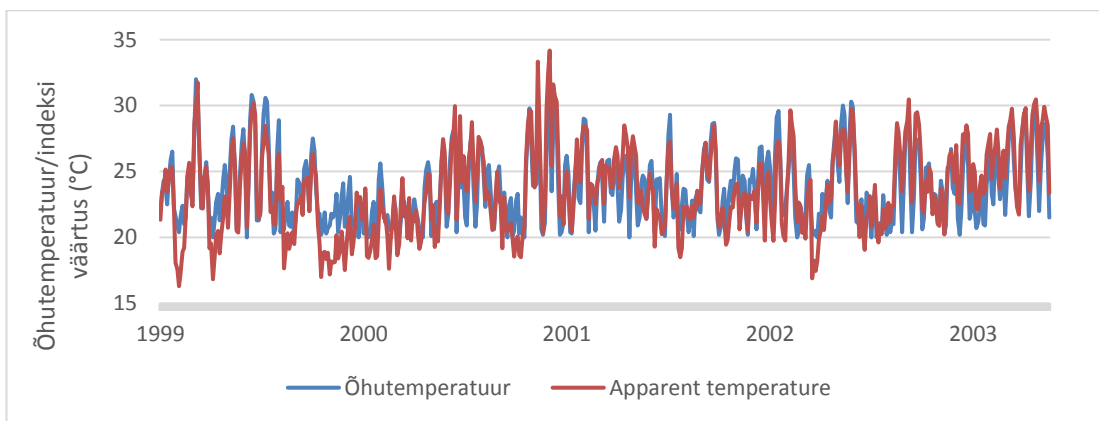
**Joonis 12.** Öhuteratuuri ja *Heat index* (HI) indeksi võrdlus Tartus juulis aastatel 1999-2003.



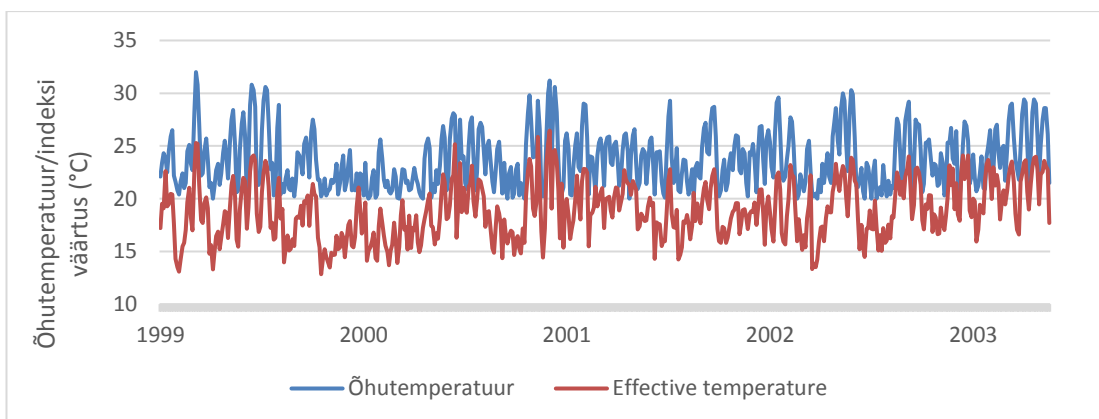
**Joonis 13.** Öhuteratuuri ja *Wet bulb globe temperature* (WBGT) indeksi võrdlus Tartus juulis aastatel 1999-2003.



**Joonis 14.** Öhutemperatuuri ja *Discomfort index* (DI) indeksi võrdlus Tartus juulis aastatel 1999-2003.



**Joonis 15.** Öhutemperatuuri ja *Apparent temperature* (AT) indeksi võrdlus Tartus juulis aastatel 1999-2003.



**Joonis 16.** Öhutemperatuuri ja *Effective temperature* (ET) indeksi võrdlus Tartus juulis aastatel 1999-2003.



Kuumaindeksite väärtused antakse teatavasti kraadides ja seda nimetatakse sageli tajutavaks temperatuuriks. Joonistelt 11-16 on aga näha, et antud termini kasutamine ei ole sageli õigustatud, kuna õhutemperatuuri ja erinevate kuumaindeksite väärtuste vaheline suhe ei ole alati samasugune, vaid varieerub lähtuvalt indeksist. See tähendab aga seda, et samade meteoroloogiliste parameetrite korral annavad erinevad indeksid erinevaid väärtusi, mistõttu ei ole antud termin üheselt mõistetav. Oluliselt parem oleks antud olukorras kasutadagi terminit „kuumaindeksi väärtus“ ning ilmtingimata peaks koos indeksi väärtusega olema esitatud ka tema hindamisskaala, milles on välja toodud ohuklassid, mis vastavad teatud olukordadele (lisa 2) ja aitavad paremini indeksi väärtust mõista. Näiteks 2003. aasta juulikuul viimastel päevadel oli Tartus päevane õhutemperatuur 28-29 °C ringis. HD indeksi väärtused jäid neil päevil 33-35 °C vahele, mis klassifitseerub mõningaseks ebamugavustundeks (lisa 2.1). Samal ajal annab ET indeks väärtuseks 23-24 °C, mille puhul tuleb olla eriti ettevaatlik (lisa 2.4).

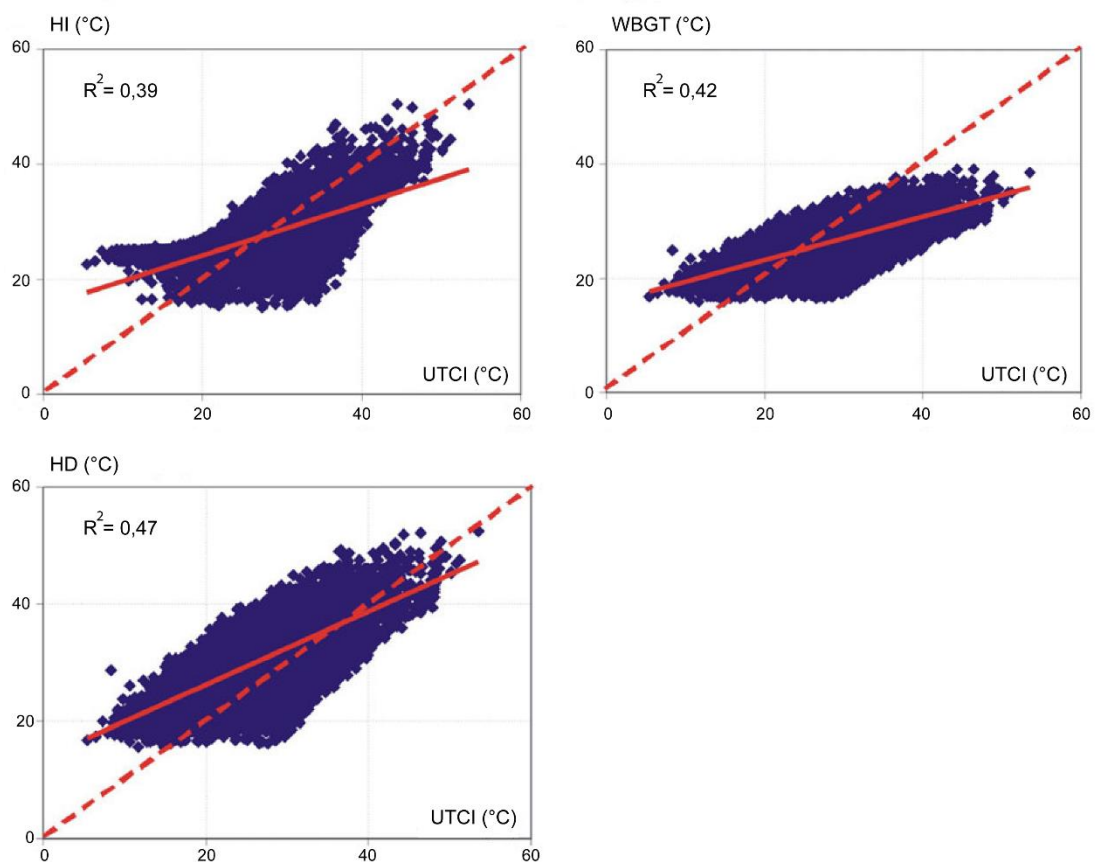
## 4. ARUTELU

### 4.1. Lihtsate kuumaindeksite kvaliteet

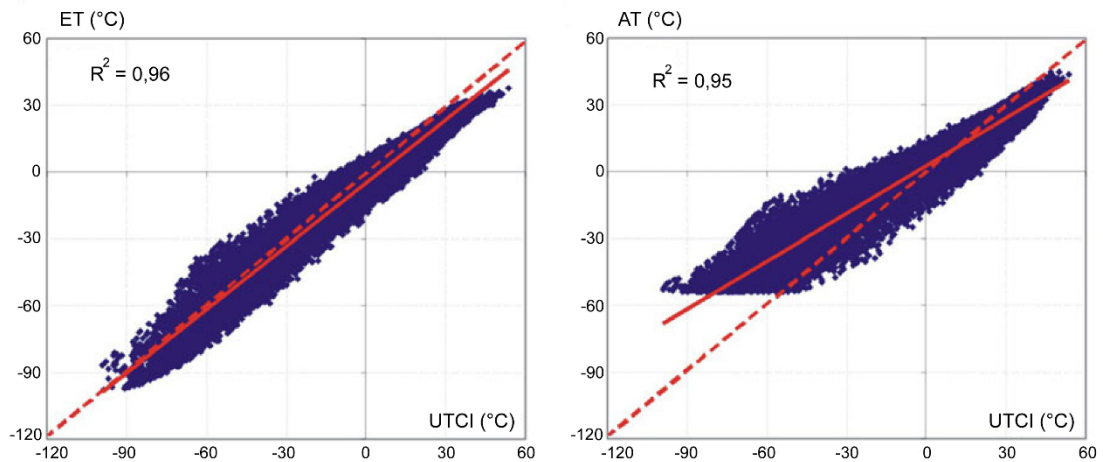
Selleks, et välja selgitada, milline antud töös kasutatud kuumaindeksitest annab kõige reaalsemaid ja paremaid tulemusi, tuleks neid võrrelda mõne teise termilise indeksiga. Käesolevas töös kasutatud kuumaindeksite näol on tegemist lihtsate otseste indeksitega, mis põhinevad vaid meteoroloogilistel parameetritel (NIOSH 1986; Parson 2003). Seetõttu oleks otstarbekas neid võrrelda mõne keerukama indeksiga, mis võtab arvesse ka soojusbilansi võrrandeid. Hetkel on üheks kõige uuemaks ja kõikehõlmavamaks soojusbilansil põhinevaks indeksiks *COST Action 730* projekti raames välja töötatud *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) (McGregor 2012), mis vajab sisendparameetritena õhutemperatuuri, veeauru osarõhku, tuule kiirust, pika- ja lühilainelist kiirgust ning lisaks veel ainevahetuse kiirust ja riietuse isolatsiooni (Jendritzky *et al.* 2002). Antud indeks on sobilik kasutamiseks laia temperatuuriamplituudi ulatuses, erinevates kliimaatilistes tingimustes ja ka erinevatel aastaegadel. Lisaks on see indeks sarnaselt inimkehale väga tundlik õhutemperatuuri, päikesekiirguse, tuule kiiruse ja õhuniiskuse muutuste suhtes (Błażejczyk *et al.* 2012).

Eelpool väljatoodust lähtudes saab teha eelduse, et lihtne indeks, mis korreleerub kõige paremini UTCIga, on kõige sobilikum. Kuna aga UTCI rakendamine nõuab lisaks olemasolevatele meteoroloogilistele parameetritele veel ka päikesekiirguse ja pikalainelise kiirgusvoo andmeid ning ka käitumuslikke muutujaid nagu riietuse isolatsiooni ja metabolismi kiirus, siis käesoleva töö raames selle indeksi väärtuseid arvutama ei hakatud. Küll aga on Błażejczyk *et al.* (2012) leidnud UTCI ja 5 autori poolt välja valitud indeksi (HI, WBGT, HD AT, ET) vahelised korreleeruvused (joonised 17-18). Błażejczyk *et al.* (2012) artiklis on kasutatud indeksite arvutamiseks üldise tsirkulatsiooni mudelist ECHAM 4 ja Saksamaalt Freiburgi meteoroloogiajaamast saadud andmeid. Üldise tsirkulatsiooni mudelist saadud andmed on 9-aastase perioodi (1971-1980) kohta ja Freiburgi vaatlusjaamast saadud andmed 19-aastase perioodi (1966-1985) kohta.

Korrelatsioonigraafikutelt (joonised 17-18) on näha, et kaheparameetriselised (õhutemperatuur, õhuniiskus) kuumaindeksid nagu HI ( $R^2 = 0,39$ ), WBGT ( $R^2 = 0,42$ ) ja HD ( $R^2 = 0,47$ ) ei korreleeru UTCIga nii hästi, kui seda teevad kolme parameetrit (õhutemperatuur, õhuniiskus, tuule kiirus) sisaldavad indeksi AT ( $R^2 = 0,95$ ) ja ET ( $R^2 = 0,96$ ). Sellest tulenevalt võib väita, et lihtsad kaheparameetriselised kuumaindeksid ei ole piisavalt head tegeliku olukorra edasi andmiseks. Mis puutub aga DI indeksisse, siis selle võrdlust UTCIga refereeritud artiklis pole.



**Joonis 17.** UTCI ja kuumaindeksite (HI, WBGT, HD) korreleeruvus. Pidevjoon on regressioonijoon, punktiirjoon kirjeldab olukorda, kus arvutatud indeksi väärtused langevad kokku UTCI väärtustega (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).



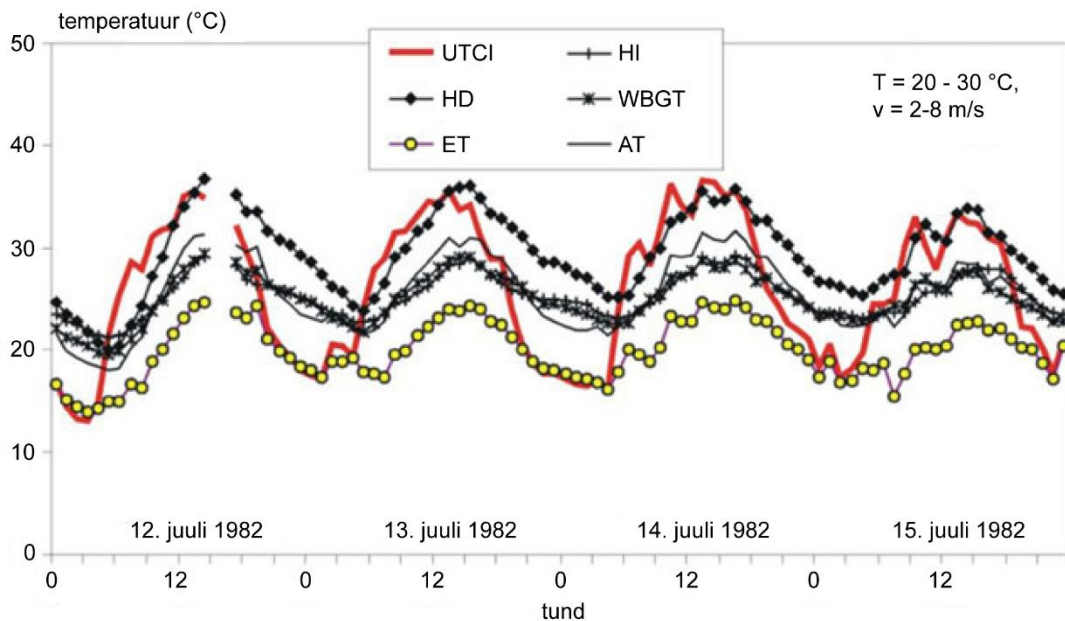
**Joonis 18.** UTCI ja indeksite (ET ja AT) korreleeruvus. Pidevjoon on regressioonijoon, punktiirjoon kirjeldab olukorda, kus arvutatud indeksi väärtused langevad kokku UTCI väärtustega (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).

#### 4.2. Eesti jaoks sobiv kuumaindeks

Käesoleva magistritöö tulemused näitavad, et WBGT indeks (tabel 7) on äärmiselt leebe ning kuulub suure hulga päevi kuumadeks ja äärmiselt kuumadeks. HD indeksi (tabel 3) puhul on tegemist aga väga range kuumaindeksiga, mis erakordseid kuumajuhte praktiliselt ei leidnudki. Et need indeksid ühtlasi korreleeruvad halvasti UTCIga, võib need Eesti puhul kindlalt kõrvale jätta. HI indeks annab Eesti oludes küll usutavaid hinnanguid eriti kuumade päevade osas, ent ka selle indeksiga pole mõistlik arvestada, sest ka selle indeksi korrelatsioon UTCIga on nõrk (joonis 17). Nagu eelnevalt öeldud, korreleeruvad UTCIga kõige paremini kolme parameetrit sisaldavad ET ja AT indeksid, mõlema puhul ulatus korrelatsioonikoefitsient üle 90%. Sealjuures andis pisut parema korreleeruvuse UTCIga ET indeks ( $R^2 = 0,96$ ).

Błażejczyk *et al.* (2012) artiklis on näidatud, et juulis Saksamaal järgivad AT väärtused UTCI väärtusi paremini kui seda teevad ET väärtused (joonis 19). Et Saksamaa suved on üsna sarnased Eesti suvedega, siis võiks pidada AT indeksit Eesti jaoks sobivaimaks kuumaindeksiks. Nii joonis 19 Saksamaa kohta kui joonis 15 Eesti olude kohta näitavad, et AT indeksi väärtus ei erine suurel määral mõõdetud

õhutemperatuurist. Et selle indeksi puhul loetakse ohtlikuks olukorda alles siis kui AT väärtus on 41 ja 54 °C vahel, siis tundub see piir Eesti seisukohast liiga kõrge – selle kriteeriumi järgi pole esinenud 23 aasta jooksul (1981-2003) ainsatki ohtlikku olukorda.



**Joonis 19.** UTCI ja kuumaindeksite (HD, ET, HI, WBGT ja AT) võrdlus valitud päevadel (12.-15. juuli 1982) Freiburgi vaatlusjaama andmete alusel (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).

ET indeks, mis samuti korreleerus UTCIga hästi (joonis 18), annab seevastu väärtusi, mis on süstemaatiliselt madalamad mõõdetud temperatuurist (joonised 19 ja 16). Samas on madalam ka ohupiir – nimelt peetakse ET indeksi puhul ohtlikuks olukordi, mil kuumaindeksi väärtus on  $>27$  °C. Selliseid olukordi on Eesti tingimustes uuritava perioodi jooksul esinenud neljal korral. DI indeks, mis samuti annab mõõdetud temperatuurist väiksemaid väärtusi, on küll vaid kaheparameetriline indeks ja tema täpsus võrreldes UTCIga pole teada, aga selle indeksi ohupiir on samuti kõlblik – enamik elanikkonnast hakkab tundma ebamugavust siis, kui DI väärtus on 27 °C. Uuritavates jaamades on seda 23 aasta jooksul ette tulnud seitsmel korral, mis tundub Eesti tingimustes sobiliku tulemusena ja mistõttu võib ka seda indeksit pidada sobivaks.

Kokkuvõttes saab öelda, et Eesti jaoks sobivateks indeksiteks võib lugeda kolme – AT, ET ja DI. Kuid kõigi nende indeksite puhul tuleks kriitiliselt üle vaadata vastavad hindamisskaalad, mis tunduvad olevat üsna subjektiivsed ja kohaspetsiifilised, kuna mitte ükski neist indeksitest ei ole välja töötatud otseselt Eesti kliima ega ka Eesti inimeste tarbeks. Nagu eelnevalt mainitud, on AT indeksi ohupiir Eesti kliimaatilisi tingimusi arvestades liiga kõrge, kuid vaatamata sellele, et antud indeksi hindamisskaala Eesti tingimustesse ei sobitu, ei tasu seda seetõttu kõrvale heita. Selle asemel tuleks koostöös meditsiini valdkonna ekspertidega töötada välja uus Eesti jaoks sobiv hindamisskaala, mis arvestaks nii meie kliima iseärasusi kui ka eestlaste taluvust erineva tasemega kuumastressi suhtes, sest on teada, et erinevates maailma regioonides elavate inimeste füsioloogiline tolerants kuuma suhtes on väga erinev (Sung *et al.* 2012). Samadel põhimõtetel tuleks ka enne teiste sobilike kuumaindeksite kasutuselevõttu üle vaadata nende hindamisskaalad.

#### **4.3. Otseste indeksite eelis keerukamate indeksite ees**

Lähtuvalt Błażejczyk *et al.* (2012) artiklist leiti, et kaheparameetriliste otseste kuumaindeksite võrdlemisel soojusbilansi võrrandil põhineva UTCI indeksiga ei olnud saadud korrelatsioonikoefitsiendid sedavõrd head, kui need olid kolmel parameetril põhinevate otseste indeksite puhul. Nõrka korreleeruvust UTCIga võib selgitada sellega, et kaheparameetrilised indeksid on äärmiselt lihtsad ja võtavad arvesse vaid õhutemperatuuri ja õhuniiskuse, samas kui kolmeparameetrilised indeksid arvestavad lisaks eelpool nimetatutele ka tuule kiirust (Błażejczyk *et al.* 2012).

Kui aga võrrelda, kas kasutusse peaks võtma keerukamad soojusbilansil põhinevad termilised indeksid, nagu seda on näiteks UTCI, või kasutada siiski lihtsaid otseseid indekseid nagu seda on tehtud käesolevas töös, siis otseste indeksite head omadused kaaluvad soojusbilansi võrranditel põhinevate omad üles. Esiteks on otseseid indekseid oluliselt lihtsam arvutada ja seetõttu ka prognoosida (World Health Organization (WHO) 2004), kuna need vajavad oma sisendparameetriteks ainult

meteoroloogilisi andmeid (Parson 2003, NIOSH 1986), mida riiklikud meteoroloogiateenistused oma igapäevase töö raames mõõdavad ja prognoosivad. Teiseks on lihtsad otsesed indeksid arusaadavamad üldsusele ja erinevatele huvirühmadele, näiteks tervishoiuteenuse osutajatele (WHO 2004). Kolmandaks, kui lihtne indeks suudab anda soojusbilansi võrrandil põhineva indeksiga võrdväärse tulemuse, nagu on näha Błażejczyk *et al.* (2012) artiklist AT ja ET indeksite puhul, ei ole otstarbekas hakata keerukamat indeksit rakendama.

#### **4.4. Regionaalne esinemissagedus**

Kõige enam esines erinevaid kuumaolukordi erinevate indeksite alusel Võrus, millele järgnesid Tartu ja Kuusiku (joonised 2-4). Saadud tulemused olid igati ootuspärased, kuna Võru, kui sisemaad esindav vaatlusjaam, on iseäranis kontinentaalse kliimaga ning sama kehtib ka Tartu ja Kuusiku jaamade kohta (Jaagus, Truu 2004). Kõige väiksem kuumaolukordade hulk saadi aga Kuressaare ja Vilsandi puhul (joonised 2-4), mis mõlemad on tüüpiliseks merelise kliima esindajaks.

#### **4.5. Erakordsed kuumaolukorrad**

Kuumaindeksite väärtuste põhjal esines hulgaliselt erakordseid kuumajuhte 16.-18. juulil 2001. aastal Eesti siseosas (Jõhvis, Kuusikul, Tartus ja Võrus). Saadud tulemus on ootustekohane, kuna just sel perioodil esines kuumalaine, mis tõi endaga kaasa olukordi, kus vähemalt kolmel järjestikusel päeval oli ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur üle 30 °C (Keevallik, Vint 2015), ehk tegemist oli Riigi Ilmateenistuse reeglite kohaselt ohtlikult kuuma ilmaga. Lisaks tuli tulemustest välja 1994. aasta 13.-14. juuli, mil erakordseid kuumaolukordi leiti vaid Võru jaamas, ja 28.-30. juuli, mil erakordseid kuumaolukordi tuvastati Kuusiku, Tartu, Võru ning Vilsandi vaatlusjaamades. See, et indeksite tulemuste alusel saab 1994. aastat esile tõsta, on taaskord ootuspärane, kuna tegemist on aastaga, mil leidis aset üks viimase poole

sajandi olulisemaid soojalaineid (Tarand *et al.* 2013). Perioodid 13.-14. juuli ja 28.-30. juuli 1994 on ka Keevalliku ja Vinti (2015) uurimuses välja toodud kui perioodid, mil on esinenud ohtlik kuumus. Lisaks eristus teistest vaatluse all olnud aastatest veel 1992. aasta 11. august, mille puhul oli taas tegemist erakordse olukorraga. Näiteks on sel päeval Võrus registreeritud Eesti absoluutne soojarekord, mil maksimaalseks õhutemperatuuriks mõõdeti 35,6 °C (Riigi Ilmateenistus 2017a). Aasta 1988 eristumine on samuti ootuspärane, kuna ka sel aastal esines erakordselt kuuma ilma. Näiteks mõõdeti 7. juunil 1988 Võrus 35,2 °C (Kallis 2009).

Üllataval kombel ei paistnud tulemustest silma aga 2003. aasta, mida loetakse viimase saja aasta jooksul üheks kuumemaks (Tammets 2012) ning mis tõi endaga kaasa mitmel pool Euroopas suurel hulgal terviseprobleeme ja ka surmasid (Kovats, Ebi 2006). Täpsemalt leidsid erakordselt kõrge õhutemperatuuriga olukorrad 2003. aastal aset perioodil 28. juuli - 1. august, mil päevane maksimaalne õhutemperatuur oli vähemalt kolmel järjestikusel päeval üle 30 °C ning sellest lähtuvalt anti Riigi Ilmateenistuse poolt välja ka hoiatus ohtliku kuumuse kohta (Keevallik, Vint 2015). Üheks võimalikuks põhjuseks, miks indeksitel ei õnnestunud 2003. aasta erakordseid kuumaolukordi tuvastada, võib olla andmelünkade esinemine vaatlusandmetes (tabel 1). Samas puuduvad nimetatud perioodi kohta andmed täielikult vaid Kuressaare vaatlusjaamas, ülejäänud jaamades esinenud andmelüngad analüüsi tulemusi ei mõjutanud. Seetõttu ei saa antud hüpoteesi tõeseks pidada. Teiseks võimalikuks põhjuseks on madal suhteline õhuniiskus ja tuulevaikus antud perioodil. Algandmetest oli võimalik kindlaks teha, et päevasel ajal, kui õhutemperatuur oli kõrge, oli suhteline õhuniiskus tõepoolest väga madal, jäädes 30...60% vahele. Madala õhuniiskuse korral annavad kuumaindeksid aga madalamaid väärtuseid, kuna kõrge õhutemperatuuri ebamugav mõju on siis väiksem. Samuti polnud tegemist tuulevaikse olukorraga, Tartus oli päevastel tundidel tuule kiirus 2...3 m/s, Jõhvis kuni 6 m/s. Seega saab öelda, et kuumaindeksite väärtuste alusel ei olnud antud päevadel Eestis tegemist erakordsete kuumaolukordadega, mis oleks inimeste tervisele ohtlik olnud ja seetõttu ei paistnud 2003. aasta ka erakordsena silma.



Samuti tuli tulemustest välja, et kõige enam erakordseid kuumaolukordi leiab aset juulis, millele järgneb august. Taaskord on tegemist ootustekohase tulemusega, kuna palavad perioodid jäävad üldiselt just nendesse kuudesse (Tammets 2012).

#### **4.6. Hoiatuste andmine kuuma ilma korral**

Eestis peetakse Riigi Ilmateenistuse (2017b) kodulehe andmetel inimese tervisele ohtlikuks, kui ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur on +30 °C ja enam kahe ööpäeva vältel ning eriti ohtlikuks, kui ööpäeva maksimaalne õhutemperatuur on +30 °C ja enam kolme või rohkema ööpäeva vältel. Sellistel puhkudel antakse välja hoiatus. Taolisi olukordi esineb Eestis aga väga harva (Keevallik, Vint 2015), mistõttu antakse kuumast ilmast tingitud hoiatusi välja vähe. Kui vaadata aga kuumaindeksite põhjal saadud tulemusi (tabelid 3-8), on näha, et olukordi, kus inimesed ei tunne end enam mugavalt, vaid tajuvad kasvõi kergest kuumastressi, on esinenud 23-aastase perioodi (1981-2003) jooksul hulgaliselt. Õigeaegne hoiatamine on aga inimeste tervishoiu seisukohalt äärmiselt oluline, kuna kõrge temperatuur põhjustab erinevaid haigusnähte nagu kuumarabandused, minestamine ja krambid (Kilbourne 1997). Lisaks võib see põhjustada ka hingamisteede haiguseid, neeruhaiguseid (Kovats *et al.* 2004) ning koguni suurenenud suremust (Sung *et al.* 2012). Sealjuures on eriti ohustatud just väikelapsed/imikud, vanemaealised inimesed (Kovats *et al.* 2004) ja inimesed, kes töötavad välitingimustes (Vouterakos *et al.* 2012). Seetõttu oleks autori hinnangul oluline anda hoiatusi juba siis, kui inimesed hakkavad tajuma kergest ebamugavustunnet, et ennetada ja ära hoida suuremaid kuumast tingitud haigusepuhanguid ja surmajuhte ning suurendada inimeste teadlikkust võimalikest ohtudest. Sellest tulenevalt tasuks senise kahe klassi „ohtlik“ ja „eriti ohtlik“ asemel kasutada sarnaselt kuumaindeksite hindamisskaaladele rohkem erinevaid hoiatuste klasse, mis annaksid inimestele olukorrast parema ülevaate. Samuti tasuks kaaluda hoiatuste väljastamist lähtuvalt prognoosi andmetest, kuna nende järgi on võimalik

kuumaindeksi väärtused välja arvutada ja anda eelhoiatusi järgnevate päevade olukorra kohta.

Lisaks peab autor kuumaindeksi alusel hoiatuste väljastamist paremaks meetodiks kui ainult maksimaalsest õhutemperatuurist lähtuvat hoiatuste andmist. Seda peamiselt seetõttu, et kuumaindeksid arvestavad lisaks õhutemperatuurile ka teisi meteoroloogilisi parameetreid, millest tulenevalt võib tajutav olukord olla oluliselt ohtlikum juba mõnevõrra madalamate temperatuurinäitude puhul (kõrge suhtelise õhuniiskusega) või täiesti talutav hoopis kõrgemate temperatuurinäitude juures (madala suhtelise õhuniiskuse ja/või tugeva tuulega). Heaks näiteks on siinkohal jällegi 2003. aasta suvi, mil esines erakordselt kõrge õhutemperatuuriga päevi, kuid madala suhtelise õhuniiskuse tõttu ei olnud kuumaindeksite väärtuste järgi neil päevil olukord ohtlik, kuigi Riigi Ilmateenistus andis välja hoiatuse ohtliku kuumuse kohta.

Samuti soovitab autor Riigi Ilmateenistuse kodulehel tajutava temperatuuri asemel kasutada terminit „kuumaindeksi väärtus“, kuna termin „tajutav temperatuur“ desorienteerib elanikkonda. Hetkel ei anna tajutava temperatuuri väärtus inimestele piisavalt infot selle kohta, kuidas antud tingimustes käituda ja kui ohtlik olukord on. Kui avalikkusele soovitakse teatada kuumaindeksi väärtust, tuleb kindlasti lisada juurde ka indeksi hindamiskaala, mis annab edasi infot olukorra ohtlikkusest inimeste tervisele.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli kirjeldada kuumaindeksite väärtuste alusel, millised erakordsed kuumaolukorrad on aset leidnud Eesti erinevates piirkondades meteoroloogiliste vaatluste põhjal aastatel 1981-2003, ning anda soovitus, millist kuumaindeksit võiks Eesti tingimustes kasutada. Selleks leiti seitsmes Eesti vaatlusjaamas välja valitud kuumaindeksite väärtused ning analüüsiti neid.

Käesolevas töös kasutati Riigi Ilmateenistuse andmebaasist saadud õhutemperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja tuule kiiruse andmeid 23-aastase perioodi (1981-2003) kohta. Nende andmete alusel arvutati kuumaindeksite *Humidex* (HD), *Heat index* (HI), *Apparent temperature* (AT), *Effective temperature* (ET), *Wet bulb globe temperature* (WBGT) ja *Discomfort index* (DI) väärtused. Lisaks otsiti kõigi indeksi jaoks välja hindamisskaalad, mille põhjal leiti, kui palju on esinenud erinevaid olukordi, mille korral ei tunne inimesed end termiliselt mugavalt. Sealjuures toodi iga indeksi puhul välja ka erakordsemad esinenud kuumaolukorrad.

Tulemustest selgus, et kõige rohkem erinevaid olukordi, kus inimene ei tunne end termiliselt mugavalt, leiti WBGT indeksiga (7236 olukorda) ning kõige vähem selliseid olukordi saadi AT indeksi puhul (574 olukorda). Sealjuures esines kõigi indeksi korral kõige enam olukordi, mis jäid indeksi hindamisskaala esimesse vahemikku ehk kõige leebemasse ebamugavustunde vahemikku. Hindamisskaala kõrgemates vahemikes, kus ebamugavustunde on suurem, oli esinemiste hulk väiksem.

Erinevaid kuumaolukordi ja ka erakordseid kuumaolukordi leiti kõige enam kontinentaalset kliimatüüpi esindavas Võru vaatlusjaamas ning kõige väiksem oli kuumaolukordade hulk merelisele kliimale iseloomulikes Kuressaare ja Vilsandi jaamades. Kõige enam erinevaid erakordseid kuumaolukordi leiti WBGT indeksiga (27 olukorda) ja kõige vähem HD indeksiga (3 olukorda). Erakordsemate kuumaolukordade poolest tuli esile 2001. aasta 16.-18. juuli, mil erakordsed

kuumaolukorrad leidsid aset Jõhvis, Kuusikul, Tartus ja Võrus. Lisaks sai välja tuua ka 1994. aasta 13.-14. juuli, kui erakordseid kuumaolukordi leiti Võrus, ja 28.-30. juuli, mil erakordsed olukorrad leidsid aset Kuusikul, Tartus, Võrus ja Vilsandil. Samuti väärivad mainimist 1992. aasta 11. august ja 1988. aasta 6.-7. juuni ning 18. juuli.

Samuti selgus töö tulemustest, et valitud kuumaindeksitest ei ole võimalik välja tuua ühte Eesti jaoks sobilikku indeksit, vaid sobilikuks võib lugeda kolme – AT, ET ja DI indeksit. Indeksi kasutuselevõtul on aga äärmiselt oluline pöörata tähelepanu selle hindamisskaalale, sest erinevates kliimaatilistes oludes elavate inimeste tundlikkus kuuma suhtes on erinev. Lisaks sellele pole termini „tajutav temperatuur“ kasutamine õigustatud, vaid parem oleks võtta kasutusse termin „kuumaindexi väärtus“. Samuti on vajalik, et indeksi väärtus esitataks avalikkusele alati koos hindamisskaalaga, milles on välja toodud ohupiirid.

## **SUMMARY**

### **Statistics of Heat Indices in Different Regions of Estonia**

The aim of this master's thesis is to describe exceptional heat situations that have taken place in various regions of Estonia in 1981-2003 using heat index values. Also, the thesis recommends which heat index would be suitable for Estonia. For this purpose heat index values were calculated and analyzed for seven Estonian meteorological stations using heat indices such as Heat index (HI), Humidex (HD), Wet bulb globe temperature (WBGT), Discomfort index (DI), Apparent temperature (AT) and Effective temperature (ET).

The study is based on the Estonian Weather Service dataset from years 1981-2003. Air temperature, relative humidity and wind speed data was used to calculate heat index values. In addition, the assessment scales for heat indices were searched using scientific literature. Also, exceptional heat situations were pointed out for each index.

The results showed that the most situations when people did not feel thermally comfortable, were found with WBGT index (7236 situations) and the least with AT index (574 situations). The most heat situations as well as exceptional heat situations were found in Võru meteorological station that represents continental climate and the least heat situations were found in Kuressaare and Vilsandi stations that represent maritime climate. The largest number of exceptional heat situations were found with WBGT index (27 situations) and the least with HD index (3 situations). Year 2001 stood out with the number of exceptional heat situations – numerous exceptional values were found that year. Years 1994, 1992 and 1988 can also be pointed out.

It was found that it is not possible to point out only one suitable heat index. Results showed that three indices – AT, ET and DI – are suitable for Estonia, but when using these indices it is important to pay attention to their assessment scales because they are quite subjective and location specific. Also, it is always important to present heat indices to the public with their assessment scales.

## KASUTATUD KIRJANDUS

Auliciems, A., Szokolay, S. V. 1997. Thermal Comfort. (online). <http://plea-arch.org/wp-content/uploads/PLEA-NOTE-3-THERMAL-COMFORT.pdf> (29.01.2017).

Błażejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515-535.

Błażejczyk, K., Kazandjiev, V., Degórski, M., Dimitrov, P. 2015. Assessment of occupational heat stress risk among agriculture workers in Poland and Bulgaria. *EUROPA XII*, 29, 59-72.

Bobovos, J., Fazekas, B., Páldy, A. 2014. Assessment of heat-related mortality in Budapest from 2000 to 2010 by different indicators. *Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 119, 143-158.

d'Amrosios Alfano, F. R., Palella, B. I., Riccio, G. 2011. Thermal Environment Assessment Reliability Using Temperature - Humidity Indices. *Industrial Health*, 49, 95-106.

de Freitas, C. R., Grigorieva, E. A. 2015. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. *International Journal of Biometeorology*, 59, 109-120.

de Freitas, C. R., Grigorieva, E. A. 2016. A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1-26.

Driscoll, D. M. 1992. Thermal comfort indexes: current uses and abuses. *National Weather Digest*, 17, 33-38.

- Epstein, Y., Moran, D. S. 2006. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial health*, 44, 388-398.
- Gaffen, D. J., Ross, R. J. 1998. Increased summertime heat stress in the US. *Nature*, 396, 529-530.
- Giles, B. D., Balafoutis, C. H., Maheras, P. 1990. Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*. 34, 98-104.
- Hass, A. L., Ellis, K. N., Mason, L. R., Hathaway, J. M., Howe, D. A., 2016. Heat and Humidity in the City: Neighborhood Heat Index Variability in a Mid-Sized City in the Southeastern United States. *Environmental Research and Public Health*, 13, 117-136.
- Iowa State University. 2017. Energy Budget: Heat Index and Wind Chill (webpage). <http://agron-www.agron.iastate.edu/courses/Agron541/classes/541/lesson06a/6a.1.html> (04.02.2017).
- Jaagus, J., Truu, J. 2004. Climatic regionalisation of Estonia based on multivariate exploratory techniques. *Estonia. Geographical Studies* 9. Edited by Kaare, T., Punning, J.-M. Tallinn: Academy Publisher, 41-55.
- Jendritzky, G., de Dear, R., Havenith, G. 2012. UTCI – Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56, 421-428.
- Jendritzky, G., Maarouf, A., Fiala, D., Staiger, H. 2002. An update on the development of a Universal Thermal Climate Index. Conference paper. Kansas City, Missouri, 29 October.
- Kallis, A., 2009. Milline on Eestimaa kõige kõigem suvi? (online). <http://ilmajaam.postimees.ee/128126/milline-on-eestimaa-koige-koigem-suvi> (23.04.2017).
- Keevallik, S. 2004. Dünaamiline meteoroloogia. Tallinn: Eesti Mereakadeemia.

- Keevallik, S., Vint, K. 2015. Temperature extremes and detection of heat and cold waves at three sites in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 64, 473-479.
- Kilbourne, E. M. 1997. Heat waves and hot environments. *The Public Health Consequences of Disasters*. Edited by E. K. Noji. New York: Oxford University Press, 245-269.
- Kim, H., Ha, J.-S., Park, J. 2010. High temperature, heat index, and mortality in 6 major cities in South Korea. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 61, 265-270.
- Kovats, R. S., Ebi, K. L. 2006. Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, 16, 592-599.
- Kovats, R. S., Hajat, S., Wilkinson, P. 2004. Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK *Occupational and Environmental Medicine*, 61, 893-898.
- Lally, V. E., Watson, B. F. 1960. Humiture Revisited. *Weatherwise*, 13, 254-256. Quoted in Asimakopoulos, D. 2013. *Passive Cooling of Buildings*. London: Routledge.
- Lind, A. R., Hellon, R. F. 1957. Assessment of physiologic severity of hot climate. *Journal of Applied Physiology*, 11, 35-40. Quoted in Epstein, Y., Moran, D. S. 2006. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial health*, 44, 388-398.
- Longhurst, J. W. S., Brebbia, C.A. 2012. *Air Pollution XX*. Boston: WIT Press.
- Malchaire, J., Kampmann, B., Havenith, G., Mehnert, P., Gebhardt, G. J. 2000. Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review. 73, 215-220.



- Maloney, S. K., Forbes, C. F. 2011. What effect will a few degrees of climate change have on human heat balance? Implications for human activity. *International Journal of Biometeorology*, 55, 147-160.
- Masterton J. M., Richardson, F. A. 1979. *Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity*. Toronto: Ministere de l'Environnement. Quoted in Błażejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515-535.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, G. M. 2004. Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*. 43, 76-84.
- McGregor, G. R. 2012. Special issue: Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56, 419.
- Missenard, F. A. 1933. *Étude physiologique et technique de la ventilation*. Paris: Léon Eyrolles. Quoted in Ohno, Y. 1969. Biometeorologic Studies on Cerebrovascular Diseases : I. Effects of Meteorologic Factors on the Death from Cerebrovascular Accident. *Japanese Circulation Journal*, 33, 1285-1298.
- Mohan, M., Gupta, A., Bhati, S. 2014. A Modified Approach to Analyze Thermal Comfort Classification. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 7-19.
- Mokhtari, M., MirRokni, S. M., Yazdani, P. 2016. Investigation of apparent temperature in different climates (case study: Yazd and Coastal Bushehr). *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 28, 13-25.
- Morabito, M., Crisci, A., Messeri, A., Capecchi, V., Modesti, P. A., Gensini, G. F., Orlandini, S. 2014. Environmental Temperature and Thermal Indices: What Is the Most Effective Predictor of Heat-Related Mortality in Different Geographical Contexts? *The Scientific World Journal*, 2014, 1-15.

Moran, D. S., Epstein, Y. 2006. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for hot/dry and hot/wet climates. *Industrial Health*, 44, 399-403.

Moran, D. S., Shapiro, Y., Epstein, Y., Matthew, W., Pandolf, K. B. 1998. A modified discomfort index (MDI) as an alternative to the wet bulb globe temperature (WBGT). In: Hodgdon JA, Heaney JH, Buono MJ (eds) Environmental ergonomics VIII. Int Conf Environ Ergo, San Diego.

Nastos, P. T., Matzarakis, A. 2012. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 591-599.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1986. *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office (online). <https://www.cdc.gov/niosh/docs/86-113/86-113.pdf> (02.01.2017).

Oliver, J. E. 2008. *Encyclopedia of World Climatology*. New York: Springer Science.

Pantavou, K., Santamouris, M., Asimakopoulos, D., Theoharatos, G. 2014. Empirical calibration of thermal indices in an urban outdoor Mediterranean environment. *Building and Environment*, 80, 283-292.

Parson, K. C. 2003. *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*. 3<sup>rd</sup> ed. London and New York: CRC Press.

Poupkou, A., Nastos, P., Melas, D., Zerefos, C. 2011. Climatology of Discomfort Index and Air Quality Index in a Large Urban Mediterranean Agglomeration. *Water, Air & Soil Pollution*, 222, 163-183.

Riigi Ilmateenistus. 2017a. Rekordid (kodulehekülj). <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/rekordid/ohutemperatuur/> (24.04.2017).

Riigi Ilmateenistus. 2017b. Hoiatuste kriteeriumid (kodulehekülj). <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/kasulik-teada/hoiatuste-kriteeriumid/> (03.04.2017).

Rothfuzs, L. P. 1990. The Heat Index "Equation" (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index). Technical Attachment (online). [https://wonder.cdc.gov/wonder/help/Climate/ta\\_htindx.PDF](https://wonder.cdc.gov/wonder/help/Climate/ta_htindx.PDF) (30.01.2017).

Santamouris, M., Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Giannopoulou, K., Vasilakopoulou, K., Kardomateas, T., 2012. Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas - Design realization and results of the flisvos project. *Building and Environment*, 53, 128-136.

Santee, W., R., Wallace, R., F., 2005. Comparison of weather service heat indices using a thermal model. *Journal of Thermal Biology*, 30, 65-75.

Schoen, C. 2005. A New Empirical Model of the Temperature–Humidity Index. *Journal of Applied Meteorology*, 44, 1413-1420.

Siple, P. A., Passel, C. F. 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89, 177-199. Quoted in Błażejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515-535.

Steadman, R. G. 1984. A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1674-1687.

Steadman, R. G. 1994. Norms of apparent temperature in Australia. *Australian Meteorological Magazine*, 43, 1-16.

Steadman, R., G. 1979. The assessment of sultriness. Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 861-873.

Stull, R. B. 2015. *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science* (online). Vancouver: The University of British Columbia. [https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical\\_Meteorology/prmet/PracticalMet\\_WholeBook-v1\\_00b.pdf](https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/prmet/PracticalMet_WholeBook-v1_00b.pdf) (04.02.2017).

Sung, T., Wu, P., Lund, S., Lin, C., Chen, M., Su, H. 2013. Relationship between heat index and mortality of 6 major cities in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 442, 275-281.

Tammets, T. 2012. *Eesti ilma riskid*. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda.

Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A. 2013. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

Thom, E. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 57-60. Quoted in Paliatsos, A. G., Nastos, P. T. H. 1999. Relation between Air Pollution Episodes and Discomfort Index in the Greater Athens Area, Greece. *Global Nest: The International Journal*, 1, 91-97.

Wallace, R. F., Kriebel, D., Punnett, L., Wegman, D. H., Wenger, C. B., Gardner, J. W., Gonzalez, R. R. 2005 The Effects of Continuous Hot Weather Training on Risk of Exertional Heat Illness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, 84-90.

Winterling, G. A. 1979. Humiture-revised and adapted for the summer season in Jacksonville, Florida. *Bulletin of the American Meteorological Society* 60, 329-330. Quoted in Rosenberg, N. J., Blad, B. L., Verma, S. B. 1983. *Microclimate: The Biological Environment*. New York: John Wiley & Sons.

World Health Organization (WHO). 2004. Heat-waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change (online). <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/107552/1/E82629.pdf> (02.04.2017).

World Meteorological Organization (WMO). 2008. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO-No. 8* (online). 7<sup>th</sup> ed., Geneva: World

Meteorological

Organization.

[https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf) (09.02.2017).

Vouterakos, A. P., Moustris, P. K., Bartzokas, A., Ziomas, C. I., Nastos, T. P., Paliatsos, G. A. 2012. Forecasting the discomfort levels within the greater Athens area, Greece using artificial neural networks and multiple criteria analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 329-343.

Yaglou, C. P., Minard, D. 1957. Control of heat casualties at military training centers. A.M.A. *Archives of Industrial Health*, 16, 302-316. Quoted in Błażejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515-535.

## LISAD

### Lisa 1. Valik olemasolevaid kuumaindeksid (de Freitas, Grigorieva 2016 järgi).

Rasvaselt on välja toodud käesolevas magistritöös kasutatud kuumaindeksid.

Indeks	Allikas	Võrrand	Tööpiirkond (°C)	Sisend- parameetrid
Discomfort index (DI)	Thom (1959)	$DI_T (°C) = T - 0.55 \cdot (1 - 0.01 \cdot r) \cdot (T - 14.5)$	+20 kuni +40	T, r
Heat index (HI)	Rothfuzs (1990)	$HI (°C) = -8.784695 + 1.61139411 \cdot T + 2.338549 \cdot r - 0.14611605 \cdot T \cdot r - 1.2308094 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 1.6424828 \cdot 10^{-2} \cdot r^2 + 2.211732 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot r + 7.2546 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot r^2 - 3.582 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot r^2$	+20 kuni +60	T, r
Humidex (HD)	Masterton, Richardson (1979)	$HD (°C) = T + \frac{5}{9} \cdot (e - 10)$	+20 kuni +60	T, r
Wet bulb globe temperature (WBGT)	Yaglou, Minard (1957)	$WBGT (°C) = 0.567 \cdot T + 0.393 \cdot e + 3.94$	+10 kuni +50  -45 kuni +45	T, e  T, e, v

<b>Apparent temperature (AT)</b>	<b>Steadman (1984, 1994)</b>	$AT (^{\circ}C) = T + 0.33 \cdot e - 0.7 \cdot v - 4.0$		<b>(10 m kõrgusel)</b>
<b>Effective temperature (ET)</b>	<b>Missenard (1933)</b>	$ET (^{\circ}C) = 37 - \frac{37-T}{0.68-0.0014 \cdot r + \frac{1}{1.76+1.4 \cdot v^{0.75}}} - 0.29 \cdot T \cdot (1 - 0.01 \cdot r)$	<b>-45 kuni +45</b>	<b>T, r, v (1.2 m kõrgusel)</b>
Environmental Stress index (ESI)	Moran, Epstein (2006)	$ESI (^{\circ}C) = 0.63T - 0.03 \cdot r + 0.002 \cdot S + 0.0054 \cdot (T \cdot r) - 0.073 \cdot (0.1 + S)^{-1}$	+17 kuni +45	T, r, S
Humiture	Winterling (1979)	$Th(^{\circ}C) = Ta + (Td - 18)$	+20 kuni +45	Ta, Td
	Lally, Watson (1960)	$Hi(^{\circ}C) = T + e - 10$		T, e
Modified Discomfort Index (MDI)	Moran <i>et al.</i> (1998)	$MDI (^{\circ}C) = 0.30 \cdot Ta + 0.75 \cdot Tw$	+15 kuni +35	Ta, Tw
Oxford index (OxI)/Wet-dry index(WD)	Lind (1964)	$WD(^{\circ}C) = 0.85 \cdot Tw + 0.15 \cdot Ta$	+30 kuni +55	Ta, Tw
Relative Humidity Dry Temperature (RHDT)	Wallace et al. (2005)	$RHDT (^{\circ}C) = 0.1 \cdot r + 0.9 \cdot T$	+20 kuni +50	T, r

Summer Simmer Index (SSI)	Longhurst, Brebbia (2012)	$SSI (^{\circ}F) = 1.98 \cdot (T - (0.55 - 0.0055 \cdot r) \cdot (T - 58)) - 56.83$	+20 kuni +40	T, r
Temperature Humidity index (THI <sub>s</sub> )	Schoen (2005)	$THI_s (^{\circ}C) = T - 1.0799 \cdot e^{0.03755 \cdot T} \cdot [1 - e^{0.0801 \cdot (Td-14)}]$	0 kuni +60	T, Td
Tropical Summer index (TSI)	Auliciems, Szokolay (2007)	$TSI (^{\circ}C) = 0.3087 \cdot Tw + 0.745 \cdot Ta - 2.06 \cdot \sqrt{v + 0.841}$	+15 kuni +40	Ta, Tw, v
Wet-bulb dry temperature (WBDT)	Wallace <i>et al.</i> (2005)	$WBDT (^{\circ}C) = 0.4 \cdot Tw + 0.6 \cdot Ta$	+20 kuni +50	Ta, Tw
Natural wet bulb temperature (Tn)	Maloney, Forbes (2011)	$Tn (^{\circ}C) = 0.85 \cdot T + 0.17 \cdot r - 0.61 \cdot v^{0.5} + 0.0016 \cdot S - 11.62$	-40 kuni +30	T, r, v, S

T – õhutemperatuur (°C), Tw – märja termomeetri temperatuur (°C), Ta – kuiva termomeetri temperatuur (°C), Td – kastepunkti temperatuur (°C), r – suhteline õhuniiskus (%), v – tuulekiirus (%), S – päikesekiirgus (W/m<sup>2</sup>), e – veeauru rõhk (hPa)



## Lisa 2. Kuumaindeksite hindamisskaalad.

**Lisa 2.1.** *Humidex* (HD) indeksi hindamisskaala (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).

<i>Humidex</i> (°C)	Kategooria
20-29	Ebamugavustunne puudub
30-39	Mõningane ebamugavustunne
40-45	Tugev ebamugavustunne, vältida füüsilist pingutust
≥ 45	Ohtlik, võimalik kuumarabanduse oht

**Lisa 2.2.** *Heat index* (HI) indeksi hindamisskaala (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).

<i>Heat index</i> (°C)	Kategooria
27-32	Tuleb olla ettevaatlik
32-41	Tuleb olla eriti ettevaatlik
41-54	Ohtlik
≥ 54	Äärmiselt ohtlik

**Lisa 2.3.** *Apparent temperature* (AT) indeksi hindamisskaala (Iowa State University 2017 järgi).

<i>Apparent temperature</i> (°C)	Kategooria
27-32	Tuleb olla ettevaatlik
32-41	Tuleb olla eriti ettevaatlik
41-54	Ohtlik
≥ 54	Äärmiselt ohtlik

**Lisa 2.4.** *Effective temperature* (ET) indeksi hindamisskaala (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).

<i>Effective temperature</i> (°C)	Kategooria
17-21	Ebamugavustunne puudub
21-23	Soe (tuleb olla ettevaatlik)
23-27	Kuum (tuleb olla eriti ettevaatlik)
> 27	Väga kuum (ohtlik)

**Lisa 2.5.** *Wet bulb globe temperature* (WBGT) indeksi hindamisskaala (Błażejczyk *et al.* 2012 järgi).

<i>Wet bulb globe temperature</i> (°C)	Kategooria
< 18	Ebamugavustunne puudub
18-24	Soe (tuleb olla ettevaatlik)
24-28	Kuum (tuleb olla eriti ettevaatlik)
28-30	Väga kuum (ohtlik)
>30	Lämbe (äärmiselt ohtlik)

**Lisa 2.6.** *Discomfort index* (DI) indeksi hindamisskaala (Giles *et al.* 1990 järgi).

<i>Discomfort index</i> (°C)	Kategooria
< 21	Ebamugavustunne puudub
21-24	Vähem kui 50% elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet
24-27	Rohkem kui 50% elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet
27-29	Enamik elanikkonnast tunneb ebamugavustunnet
29-32	Väga tugev ja ohtlik ebamugavustunne
≥ 32	Vajadus meditsiiniliseks hädaabiks