

Lämpöilmaisimien toiminta- aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T

Djebar Baroudi, Matti Kokkala & Henry Weckman
VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5328-4 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5329-2 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1998

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT,
Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4815

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4815

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology,
Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4815

Toimitus Leena Ukskoski

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1998

Baroudi, Djebar, Kokkala, Matti & Weckman, Henry. Lämpöilmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T [Estimating response times of heat detectors using the computer program PALDET 2.0T]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1922. 34 s. + liitt. 19 s.

Avainsanat file protection, fire detection systems, fire detectors, computer programs, PALDET

Tiivistelmä

Paldet 2.0T on ohjelma lämpöilmaisimien toiminta-aikojen arvioimiseksi. Ohjelma käyttää Alpertin kehittämää kattosuihkumallia lisättynä Cooperin rajakerrosmallilla. Ilmaisimen vastetta kuvataan toimintalämpötilan sekä RTI- ja C-parametrien avulla.

Ohjelman tulostuksena on ilmaisimen toiminta-aika käyttäjän valitseman muuttujan funktiona. Käyttäjä voi myös valita parametrin, jonka valituilla arvoilla em. riippuvuus lasketaan. Muille parametreille ohjelma käyttää valikon ensimmäistä arvoa.

Ohjelma on laadittu Visual Basic -ohjelmointikielellä ja sen toimivuus on tarkastettu ai-noastaan muutamilla erilaisilla laitekoonpanoilla. Esiteltävässä versiossa ei ole auto-maattista skaalausta näytön koon mukaan, vaan jokaiselle näyttökoolle on olemassa oma versionsa.

Ohjelman oikeudet omistaa VTT Rakennustekniikka. Ohjelmaa kehitetään jatkuvasti ja uusia korjausversioita julkaistaan tarvittaessa. Laskentamallin pätevyysalue on rajoitet-tu. Käyttäjän vastulla on arvioida, ovatko saadut tulokset realistisia ja soveltuuko las-kentamalli tarkasteltavaan tapaukseen.

Baroudi, Djebar, Kokkala, Matti & Weckman, Henry. Lämpöilmamaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T [Estimating response times of heat detectors using the computer program PALDET 2.0T]. Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1922. 34 p. + app. 19 p.

Keywords file protection, fire detection systems, fire detectors, computer programs, PALDET

Abstract

The program **Paldet 2.0T** is a program for estimating the response time of heat detectors. The program utilises the ceiling jet model developed by Alpert supplemented by Cooper's boundary layer model. The response of the detector is characterised using the operating temperature and the RTI and C parameters.

The output of the program displays the operating time of the detector as a function of a variable selected by the user. The user can also select a parameter and compute the dependency using selected values for the parameter. For other parameters the program uses the first value of the menu.

The program has been written using Visual Basic as the programming language and its functioning has been studied using only a limited number of hardware configurations. This program version does not include automatic scaling according to the size of the display, instead there are separate versions for a number of display sizes.

All rights of the programs are the property of VTT Building Technology. The program is under constant development and new corrected versions are published when needed. The validity of the calculation model is restricted. It is the responsibility of the user to assess whether the calculated results are realistic and whether they are applicable to the case being studied.

Alkusanat

Tämä julkaisu kuuluu osana VTT Rakennustekniikassa vuosina 1996–2000 käynnissä olevaan kansalliseen tutkimusohjelmaan TOIMINNALLISTEN PALOSÄÄDÖSTEN TEKNISET PERUSTEET (TOPA-projekti). Tutkimusohjelman tavoitteena on kehittää Suomen olosuhteisiin soveltuvat menetelmät ja menettelytavat käyttäjille tarkoitettuine ohjeineen, jotta toiminnalliset palosäädökset voitaisiin ottaa hallitusti käyttöön viimeistään vuoden 2001 alussa.

Tutkimusohjelma koostuu kahdeksasta yllä mainittua tavoitetta tukevasta osaprojektista:

- A0: Toiminnallisen paloturvallisuusarvioinnin yleiset perusteet
- A1: Mitoituspalo; palon syttyminen ja kehittyminen
- A2: Savun leviäminen
- A3: Palon leviäminen; rakenteiden palonkestävyys
- A4: Palonilmaisuus ja -sammuks
- A5: Poistuminen ja pelastaminen
- A6: Palokunnan toimintaedellytykset
- A7: Sovellutusesimerkit ja kustannusvaikutukset.

Tutkimusohjelmaa rahoittavat Palotutkimusraati ry, Palosuojelurahasto, ympäristöministeriö, Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto ry, Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Suomen Puututkimus Oy, Teräsrakenneyhdistys ry ja Suomen Muoviteollisuusliitto ry sekä VTT Rakennustekniikka.

Tutkimusohjelman puitteissa ovat aikaisemmin valmistuneet seuraavat VTT:n sarjoissa julkaistut raportit:

- Weckman, H. Rakennusten poistumisteitä koskevat määräykset eri maissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1997. 54 s. + liitt. 12 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1815.) ISBN 951-38-5090-0
- Weckman, H. Rakennuksista poistumisen laskennallinen arviointi. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1997. 50 s. + liitt. 11 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1846.) ISBN 951-38-5133-8
- Weckman, H. Rakennuksista poistumisen laskeminen ja simulointi. Sovellusesimerkki. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. 50 s. + liitt. 13 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1890.) ISBN 951-38-5195-8

- Rahikainen, J. Palotilastojen analysointi toiminnallisten palosäädösten pohjaksi. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. 111 s. + liitt. 79 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1892.) ISBN 951-38-5198-2

Tämän raportin tekijöistä Djebbar Baroudi ja Matti Kokkala ovat kehittäneet edelleen **PALDET**-ohjelman aikaisempaa versiota sekä sen takana olevaa matemaattista mallia. Djebbar Baroudi on tehnyt varsinaisen ohjelmointityön ja Henry Weckman vastaa pääasiassa raportin kirjoittamisesta.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Symboliluettelo	8
1. Johdanto	10
2. Ohjelman teoreettinen tausta	11
2.1 Ilmaisimen vasteen malli (lämmönsiirtomalli)	11
2.2 Paloskenaario	14
2.2.1 Lämpötila ja virtausnopeus vapaan pistelähteen yläpuolella	14
2.2.2 Lämpötilan ja virtausnopeuden maksimiarvot katonalusvirtauksessa	15
2.2.3 Lämpötilan ja virtausnopeuden jakautumat katonalusvirtauksessa	16
2.3 Toiminta-aikojen laskenta	17
3. PALDET 2.0T -ohjelma	19
3.1 Ohjelman asennus	19
3.2 Ohjelman käynnistys	20
3.3 Ohjelman näytön valikot ja painikkeet	21
3.4 Ohjelman lähtötietojen syöttäminen	23
3.4.1 Palotehokäyrä	23
3.4.2 Muuttuja (x-akseli)	24
3.4.3 Parametri	26
3.5 Ilmaisimen toiminta-ajan laskeminen	27
3.6 Ohjelman rajoitukset	28
4. Laskentaesimerkkejä	29
5. Yhteenveto	33
Lähdeluettelo	34
LIITTEET	
Liite A: PALDET 2.0T -ohjelman pseudokoodi	
Liite B: Keskeisiä ohjelmarutiineja	

Symboliluettelo

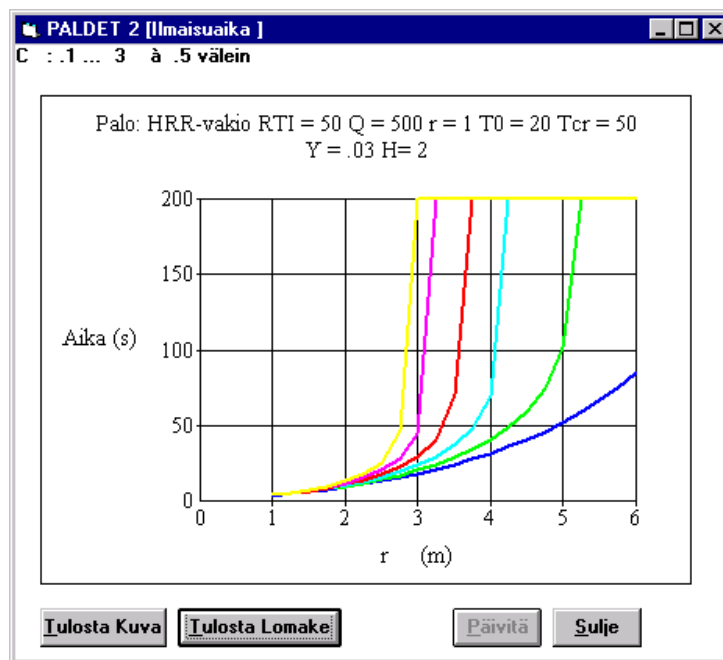
$A_{häv}$	ilmaisinelementin pinta-ala, jonka kautta lämpöhäviöt tapahtuvat [m^2]
A_{ilm}	ilmaisinelementin pinta-ala, joka on alttiina ympäröivälle kaasuvirralle [m^2]
C	lämmönjohtumisparametri [$(m/s)^{1/2}$]
c_p	ilmaisinelementin ominaislämpökapasiteetti [J/kg K]
c_T	kerroin yhtälössä (17) [$^{\circ}C kW^{-2/3} m^{5/3}$]
c_U	kerroin yhtälössä (17) [$m^{4/3} kW^{2/3}$]
H	kattokorkeus [m]
$h_{häv}$	ilmaisinelementin lämpöhäviöiden lämmönsiirtokerroin [kW/m^2K]
h_{ilm}	ilmaisinelementin konvektiivinen lämmönsiirtokerroin [kW/m^2K]
M	ilmaisinelementin massa [kg]
p_T	kerroin yhtälössä (16) [$^{\circ}C kW^{-2/3} m^{5/3}$]
p_U	kerroin yhtälössä (16) [$m^{4/3} s^{-1} kW^{-1/3}$]
Q	paloteho [kW]
r	horisontaalinen etäisyys palopatsaan keskiakselilta [m]
RTI	response time index [$m^{1/2}s^{1/2}$]
T	maksimilämpötila [$^{\circ}C$]
T_{cj}	lämpötila katonalusvirtauksessa [$^{\circ}C$]
$T_e(t)$	ilmaisinelementin lämpötila [$^{\circ}C$]
$T_g(t)$	ilmaisinta ympäröivän kaasun lämpötila [$^{\circ}C$]
T_{cr}	ilmaisimen toimintalämpötila [$^{\circ}C$]

T_0	ympäristön lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
T_p	lämpötila palopatsaan keskiakselilla [$^{\circ}\text{C}$]
t	aika [s]
t_{cr}	ilmaisimen toiminta-aika [s]
U	maksimi virtausnopeus [m/s]
U_p	virtausnopeus palopatsaan keskiakselilla [m/s]
U_{cj}	virtausnopeus katonalusvirtauksessa [m/s]
$u(t)$	ilmaisinelementtiä ympäröivän kaasun virtausnopeus [m/s]
V_{ilm}	ilmaisinelementin tilavuus [m^3]
Y	anturin ja katon välinen etäisyys [m]
Y_0	anturin ja katon välinen etäisyys, jolla virtausnopeus saavuttaa maksimiarvonsa [m]
z	etäisyys pistelähteestä palopatsaan keskiakselilla [m]
ρ	ilmaisinelementin tiheys [kg/m^3]
τ_1	aikavakio [s]
τ_2	aikavakio [s]

1. Johdanto

VTT Rakennustekniikassa kehitetty **PALDET**-ohjelma on tarkoitettu käytettäväksi lämpöilmaisimien toiminta-aikojen arvioimiseksi. Ohjelman ensimmäisen versio, joka oli laadittu kokonaisuudessaan *Microsoft QuickBASIC*[®]-ohjelmointikielellä, valmistui vuonna 1989 [1]. Tässä raportissa kuvatun ohjelman kokonaan uusittu Windows-pohjainen versio 2.0T on puolestaan laadittu *Microsoft Visual Basic*[®] ja *Microsoft Fortran*[®]-ohjelmointikielillä. Ohjelma on edelleen jatkuvan kehitystyön alla ja uusia korjattuja ohjelmaversioita julkaistaan tarvittaessa.

Ohjelman avulla lasketaan lämpöilmaisimen suhteellinen toiminta-aika halutun muuttujan funktiona. Käyttäjä voi valita parametrin, jonka valituilla arvoilla riippuvuus lasketaan. Tulos esitetään graafisena käyrästä, jonka pystyakselina on aina ilmaisimen toiminta-aika ja vaakakselina käyttäjän valitsema muuttuja. Kuvassa 1 on esimerkki tapauksesta, jossa muuttujana on ilmaisimen etäisyys palopatsaan keskiakselista r ja parametrina lämpöhäviötä kuvaava johtumisvakio C .



Kuva 1. **PALDET 2.0T** -ohjelman laskema lämpöilmaisimen toiminta-ajan riippuvuus etäisyydestä r parametrin C eräillä arvoilla, esimerkki.

Ohjelman tärkein uusi ominaisuus on mahdollisuus käyttää lähtötietona mielivaltaista palotehokäyrää $Q(t)$ aikaisempien vakiotehoisten ja t^2 -tyyppisten palotehokäyrien lisäksi. Tässä versiossa on myös kaikki edellisen version kolme erillistä ohjelmaa yhdistetty samaan ohjelmaan. Käyttäjiä kehoitetaan ottamaan huomioon se, että myös laskentamallin pätevyysalue on rajoitettu. Käyttäjän vastuulla on arvioida, ovatko saadut tulokset realistisia ja soveltuvatko ne tarkasteltavaan tapaukseen.

2. Ohjelman teoreettinen tausta

2.1 Ilmaisimen vasteen malli (lämmönsiirtomalli)

Ohjelman fysikaalisessa mallissa tarkastellaan lämpöilmaisinelementin, kuten esimerkiksi lämpöilmaisimen lämmönkeräyslevyn tai sprinklerin sulakkeen, lämpötasapainoa kaasuvirrassa. Mallissa tehdään seuraavat oletukset [2]:

1. Ilmaisinelementti lämpenee isotermisesti.
2. Ilmaisinelementin lämpeneminen aiheutuu kuljettumisesta.
3. Ilmaisinelementin sulamista ei oteta huomioon.

Malliin sisältyy lisäksi erilaisia muita rajoituksia, joita käsitellään lähemmin kohdassa 3.6 "Ohjelman rajoitukset".

Tarkastelua varten otetaan käyttöön lämpötila $T_e(t)$, joka on lämpöilmaisinelementin keskimääräinen lämpötila $T_e(t) \equiv \int_{V_{ilm}} T_e(\vec{x}; t) dV$ elementin tilavuuden V_{ilm} suhteen.

Tässä tapauksessa ilmaisinelementin lämpötila $T_e(t)$ riippuu pelkästään ajasta. Lämpöilmaisinelementin energian säilymisestä seuraa lämpötasapainoyhtälö, joka voidaan esittää muodossa

$$Mc_p \dot{T}_e(t) = h_{ilm} A_{ilm} (T_g(t) - T_e(t)) - h_{häv} A_{häv} (T_e(t) - T_{häv}(t)). \quad (1)$$

Yhtälössä M on lämpöelementin massa, c_p on elementin ominaislämpökapasiteetti (oletetaan vakioksi), h_{ilm} on konvektiivinen lämmönsiirtokerroin ja A_{ilm} ilmaisinelementin pinta-ala, joka on alttiina ympäröivälle kaasuvirralle. Tekijät $h_{häv}$ ja $A_{häv}$ ovat vastavasti lämmönsiirtokerroin ja pinta-ala, jonka kautta lämpö ilmaisinelementistä johtuu rakenteisiin, joihin elementti on kiinnitetty. Yhtälössä $T_e(t)$ on elementin, $T_g(t)$ elementtiä ympäröivän kaasun (ilman) lämpötila ja $T_{häv}(t)$ kiinnitysrakenteiden lämpötila ja t aika. Lämpötasapainoyhtälöä voidaan yksinkertaistaa ottamalla käyttöön aikavakiot

$$\tau_1 \equiv \frac{Mc_p}{h_{ilm} A_{ilm}} \quad (2)$$

ja

$$\tau_2 \equiv \frac{Mc_p}{h_{häv.} A_{häv.}}. \quad (3)$$

Olettamalla, että tukirakenteiden keskimääräinen lämpötila $T_{häv}(t)$ on sama kuin alku-
lämpötila T_0 , voidaan lämpötasapainoyhtälö esittää seuraavan tavallisen differentiaaliyh-
tälön avulla:

$$\frac{dT_e(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_1(t)} \cdot (T_g(t) - T_e(t)) - \frac{1}{\tau_2(t)} \cdot (T_e(t) - T_0(t)). \quad (4)$$

Tämän yhtälön ratkaisemista varten se muunnetaan ensin muotoon

$$\frac{dT_e(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_1(t)} \left(T_g(t) - \left(1 + \frac{\tau_1(t)}{\tau_2(t)} \right) T_e(t) \right) + \frac{1}{\tau_2(t)} T_0 \equiv f(T_e(t); t) \quad (5)$$

ja

$$T_e(0) = T_e^0 \equiv T_0, \quad (6)$$

joissa aikavakiot ovat

$$\tau_1(t) = RTI / \sqrt{u(t)} \quad (7)$$

ja

$$\tau_2(t) = \tau_1(t) \frac{\sqrt{u(t)}}{C}. \quad (8)$$

Yhtälöissä (7) ja (8) esiintyvät tekijät *RTI* (Response Time Index) ja *C* (lämmönjohtumisparametri) ovat ilmaisimen toimintaa kuvaavia parametrejä, jotka voi-
daan kokeellisesti määrittää eri ilmaisintyypeille. Lämpöilmaisimilla *RTI* vaihtelee tyy-
pillisesti välillä 40–150 m^{1/2}s^{1/2} ja lämmönsiirtoa ilmaisimen tukirakenteisiin kuvaava
parametri *C* on vastaavasti noin 0,1 m^{1/2}s^{-1/2} [7].

Yhtälöissä (7) ja (8) esiintyvä muuttuja $u(t)$ on ilmaisinelementtiä ympäröivän kaasun
virtausnopeus [m/s], joka määritetään jäljempänä kohdassa 2.2 esitetyllä tavalla. Edellä
olevissa yhtälöissä $T_g(t)$ on lämpöilmaisinta ympäröivän kaasun lämpötila.

Yhtälö (4) voidaan esittää myös seuraavassa muodossa käyttäen parametrejä *RTI* ja *C*

$$\frac{dT_e(t)}{dt} = \frac{I}{RTI / \sqrt{u(t)}} \cdot (T_g(t) - T_e(t)) - \frac{1}{RTI / C} (T_e(t) - T_0(t)). \quad (9)$$

Aikavakiot τ_1 ja τ_2 sekä lämpöilmaisimen ympäröivän kaasun lämpötila $T_g(t)$ riippuvat ekspliiittisesti palotehosta $Q(t)$. Koska tässä oletetaan, että palotehon riippuvuus ajasta voi olla mielivaltainen (esimerkiksi kokeellisesti määritetty), niin yhtälöä (1) ei voi integroida analyyttisesti vaan on käytettävä numeerista aikaintegrointia. Numeeriseksi aikaintegrointimenetelmäksi valittiin A-stabiili trapetsikaava, jolloin yhtälön (1) systeemiä vastaava diskreettisyys saadaan muodon

$$T_e(t_{n+1}) = T_e(t_n) + \int_{t_n}^{t_{n+1}} f(T_e(s); s) ds \quad (10)$$

ja

$$T_e^{n+1} = \frac{I}{d} (a T_e^n + b T_0 + c), \quad (11)$$

joissa

$$a = 1 - \frac{I}{2} \frac{\left(I + \frac{\tau_1^{n-1}}{\tau_2^{n-1}} \right)}{\tau_1^{n-1}} \Delta t, \quad (12)$$

$$b = \frac{I}{2} T_0 \Delta t \left(\frac{1}{\tau_2^n} + \frac{1}{\tau_2^{n-1}} \right), \quad (13)$$

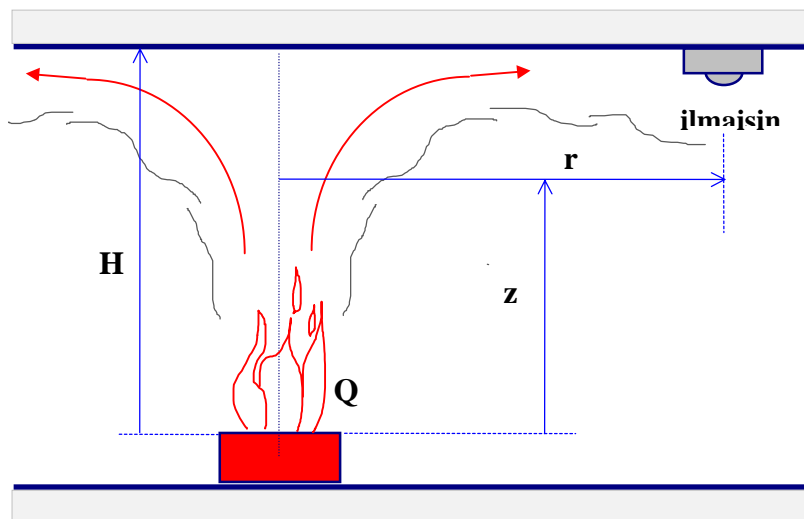
$$c = \frac{I}{2} \Delta t \left(\frac{T_g^n}{\tau_2^n} + \frac{T_g^{n-1}}{\tau_2^{n-1}} \right) \quad (14)$$

ja

$$d = 1 + \frac{1}{2} \frac{\left(1 + \frac{\tau_1^n}{\tau_2^n}\right)}{\tau_1^n} \Delta t. \quad (15)$$

2.2 Paloskenaario

Tarkastellaan kuvan 2 esittämää yksinkertaistettua palotilannetta. Huoneessa on keskellä lattiaa palo, jonka paloteho on Q . Huoneen korkeus on H ja sen kattoon on kiinnitetty paloilmaisin etäisyydelle r palopatsaan keskiakselilta. Ilmaisim oletetaan pistemäiseksi ja sen etäisyys kattopinnasta on Y . Palopatsaan törmätessä kattoon virtaus kääntyy palopatsaan keskiakselin suhteen sylinterisymmetriseksi virtaukseksi katon alla.



Kuva 2. Palotilanne. Ilmaisim on etäisyydellä r palopatsaan keskiakselilta ja korkeudella H pistelähteestä mitattuna. Pistelähteen paloteho on Q . Etäisyys pistelähteestä palopatsaan keskiakselilla on z .

2.2.1 Lämpötila ja virtausnopeus vapaan pistelähteen yläpuolella

Lämpötila T_p ja virtausnopeus U_p palopatsaan keskiakselilla korkeudella z pistelähteen yläpuolella ovat [3, 4]:

$$\begin{aligned}
T_p &= p_T Q^{2/3} z^{-5/3} + T_0, & p_T &= 16,9 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{kW}^{-2/3} \cdot \text{m}^{5/3} \\
U_p &= p_U Q^{1/3} z^{-1/3}, & p_U &= 0,95 \text{ m}^{4/3} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1/3}.
\end{aligned}
\tag{16}$$

Yhtälöissä T_0 on ympäristön lämpötila, $Q^{(1)}$ on paloteho sekä z mittauspisteen ja pistelähteen välinen etäisyys. Tekijät p_T ja p_U ovat empiirisiä verrannollisuuskertoimia.

Huom. 1). Kansainvälisen käytännön mukaisesti palotehon yksikkönä yhtälöissä on [kW].

Edellä olevissa yhtälöissä paloteho Q sisältää vain palopatsaaseen kuljettumalla siirtyvän osan kokonaispalotehosta; liekehtivässä palossa 30 % tehosta poistuu liekistä yleensä säteilemällä. Todellista paloa vastaavan pistelähteen paikka riippuu mm. palavan pinnan alasta. Heskestadin mukaan ns. virtuaalisen lähteen paikka on varsin hyvällä tarkkuudella palavan alueen läpimitan päässä palavan pinnan alapuolella [4].

2.2.2 Lämpötilan ja virtausnopeuden maksimiarvot katonalusvirtauksessa

Palopatsaan törmätessä kattoon sen virtaus kääntyy sylinterisymmetriseksi virtaukseksi katon alla. Jos katonalusvirtaus kohtaa seinät, katon alle muodostuu kuuma kerros, jossa lämpötilat ovat korkeampia mutta virtausnopeudet pienempiä kuin vapaassa virtauksessa katon alla. Tässä rajoitutaan tarkastelemaan tilannetta, jossa kuumaa kerrosta ei muodostu vaan virtaus pääsee vapaasti etäntymään palopatsaan akselilta pois päin.

Maksimilämpötila T ja virtausnopeus U katon korkeuden H ja palopatsaan keskiakselilta lasketun etäisyyden r funktiona saadaan lausekkeista [5]

$$\begin{aligned}
T &= c_T \cdot \left(0,188 + 0,313 \frac{r}{H}\right)^{-4/3} Q^{2/3} H^{-5/3} + T_0, & c_T &= 2,75 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{kW}^{-2/3} \cdot \text{m}^{5/3} \\
U &= c_U \cdot \left(\frac{r}{H}\right)^{-0,63} \left(0,188 + 0,313 \frac{r}{H}\right)^{-2/3} Q^{1/3} H^{-1/3}, & c_U &= 0,179 \text{ m}^{4/3} \cdot \text{kW}^{2/3}.
\end{aligned}
\tag{17}$$

Yhtälöissä Q on vakioksi oletettu paloteho ja tekijät c_T ja c_U empiirisiä kertoimia. Malli pätee lämpötilan osalta, kun $0 < r/H < 8$, ja virtauksen osalta, kun $0,2 < r/H < 8,0$ [4].

Edellä olevissa lausekkeissa olevat kertoimet c_T ja c_U voidaan tarvittaessa arvoida myös seuraavien lausekkeiden avulla [8] (SI-järjestelmän mukaisissa yksiköissä):

$$\begin{aligned}\tilde{c}_T &= T_\infty^{1/3} (\rho_\infty c_p \sqrt{g})^{-2/3} \\ \tilde{c}_U &= 0,59 \cdot (\rho_\infty c_p T_\infty)^{-1/3} g^{1/3}.\end{aligned}\tag{18}$$

Yhtälöissä esiintyvät muuttujat T_∞ ja ρ_∞ ovat ympäröivän kaasun lämpötila ja tiheys kaukana lämpöilmäisestä. Tekijä g on maan vetovoiman kiihtyvyys. Käyttäen esimerkiksi muuttujien arvoja $T_\infty = 293$ K, $\rho_\infty = 1,204$ kg/m³, $c_p = 1000$ J/kg ja $g = 9,81$ m/s² saadaan kertoimien arvoiksi $\tilde{c}_T = 2,741$ °C kW^{-2/3} m^{5/3} ja $\tilde{c}_U = 0,179$ m^{4/3} kW^{2/3}.

2.2.3 Lämpötilan ja virtausnopeuden jakautumat katonalusvirtauksessa

Edellä esitetyt lausekkeet virtausnopeuden ja lämpötilan laskemiseksi antavat kyseisten suureiden maksimiarvot. Aivan katon lähellä ns. rajakerroksessa savun ja katon välisen kitkan takia savun virtaus on hitaampaa kuin kauempana katosta. Cooper on johtanut katonalusvirtauksen virtausnopeus- ja lämpötilajakautumille lausekkeet, joissa mitauspisteen ja katon välinen etäisyys Y on otettu huomioon [6]. Patoalueen ulkopuolella eli, kun $r/H > 0,2$, katonalusvirtauksen virtausnopeus U_{cj} saadaan seuraavia lausekkeitä käyttäen:

$$\begin{aligned}\frac{U_{cj}}{U} &= \frac{8}{7} \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/7} \left(1 - \frac{1}{8} \frac{Y}{Y_0} \right), \quad 0 \leq \frac{Y}{Y_0} \leq 1 \\ \frac{U_{cj}}{U} &= \cosh^{-2} \left(0,263 \left(\frac{Y}{Y_0} - 1 \right) \right), \quad 1 < \frac{Y}{Y_0} \\ Y_0 &= 0,023 H \left(\frac{r}{H} \right)^{0,9}.\end{aligned}\tag{19}$$

Muuttuja Y on ilmaisimen etäisyys katosta ja Y_0 etäisyys, jolla virtausnopeus saavuttaa kohdassa 2.2.2 esitetyt maksimiarvot. Patoalueessa ylöspäin suuntautuva virtaus kääntyy vaakasuoraksi palopatsaan suhteen sylinterisymmetrisesti. Tässä alueessa virtauksen nopeusvektorissa esiintyy sekä vaaka- että pystykomponentteja. Laskentaohjelmia varten Cooper on oletanut, että patoalueessa ($r/H < 0,2$) virtausnopeus saa saman arvon kuin pisteessä $r/H = 0,2$ [6].

Ilman lämpötila T_{cj} katon alapuolella on katon pintalämpötila, kun etäisyys $Y = 0$. Kohdassa 2.2.2 esitetty maksimilämpötila saavutetaan, kun etäisyys $Y = Y_0$, jonka alapuolella lämpötilajakautuma voidaan olettaa samanmuotoiseksi kuin virtausnopeusjakautuma. Cooper on oletanut lämpötilan muuttuvan rajakerroksessa $0 \leq Y \leq Y_0$ siten, että sitä voidaan kuvata toisen asteen polynomilla, jonka derivaatta $dt/dY = 0$ etäisyydellä $Y = Y_0$. Koska tässä ei ole otettu huomioon katon pintalämpötilan aikariippuvuutta ja koska il-

maisimien tuntoelimet eivät käytännössä ole aivan katon pinnassa kiinni, on laskennan yksinkertaistamiseksi oletettu, että rajakerroksessa lämpötila on sama kuin kaasuvirtauksen maksimilämpötila. Tämä oletus kuvaa tilannetta, jossa virtaavasta kaasusta ei häviä lämpöä kattoon, ts. katto on hyvin eristetty. Lämpötilan lausekkeet alueessa $r/H \geq 0,2$ saadaan tällöin muotoon

$$\frac{T_{cj} - T_0}{T - T_0} = I, \quad 0 \leq \frac{Y}{Y_0} \leq 1 \quad \text{ja} \quad (20)$$

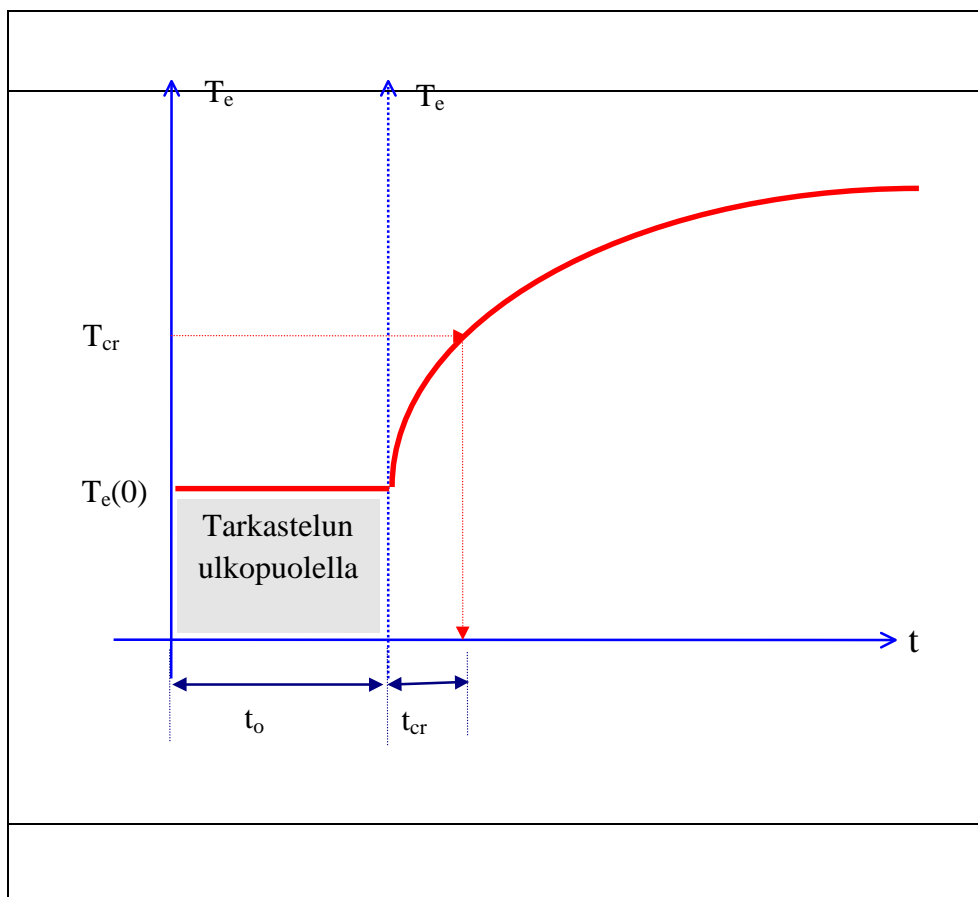
$$\frac{T_{cj} - T_0}{T - T_0} = \frac{U_{cj}}{U}, \quad 1 < \frac{Y}{Y_0}.$$

Paloalueessa $r/H < 0,2$ oletetaan, että $T = T_{max}$ etäisyydestä Y riippumatta [6].

2.3 Toiminta-aikojen laskenta

Lämpöilmaisimen suhteellinen toiminta-aika t_{cr} määritetään yhtälöstä (6) aikana, jolloin ensimmäisen kerran pätee ehto $T_e(t_{cr}) = T_{cr}$, jossa T_{cr} on ilmaisimen toimintalämpötila. Tällä tavalla luodaan joukko parametrisoituja käyriä $t_{cr} = t_{cr}(RTI, C, T_{cr}, T_0, Y, r, H, \dot{Q})$, joissa x-akseli on mikä tahansa muuttuja listasta $(RTI, C, T_{cr}, T_0, Y, r, H, \dot{Q})$ ja joissa parametrinä on mikä tahansa toinen edellä olevan listan muuttujista. Jäljelle jäävien muuttujien arvot kiinnitetään.

Lämpöilmaisimen suhteellisella toiminta-ajalla t_{cr} tarkoitetaan tässä aikaa siitä hetkestä, kun palopatsaasta nouseva kuuma kaasu saavuttaa lämpöilmaisimen, siihen hetkeen, kun ilmaisin antaa ilmoituksen. Suhteelliseen toiminta-aikaan ei siten lueta aikaa, joka kuluu kuuman kaasun virtaamiseen palolähteestä ilmaisimeen. Kuva 3 esittää lämpöilmaisimen ilmaisinelementin lämpötilan ajan funktiona kuuman kaasun kohdatessa elementin. Elementin alkulämpötila on $T_e(0)$ ja kuuma kaasu saavuttaa sen ajan hetkellä t_0 . Elementin lämpötilan noustessa arvoon T_{cr} ilmaisin hälyttää ajan hetkellä $t = t_0 + t_{cr}$.



Kuva 3. Periaatekuva, joka esittää lämpöilmaisimen ilmaisinelementin lämpenemistä palolähteestä nousevassa kuumassa kaasuvirrassa. Merkinnyt on selostettu tekstissä.

3. PALDET 2.0T -ohjelma

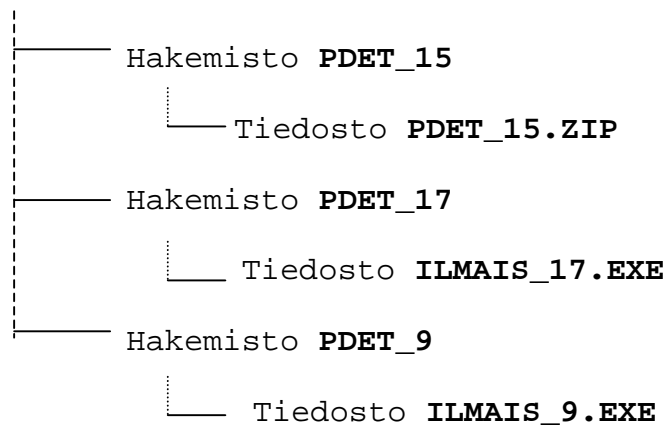
Edellä esitettyjen mallien soveltamiseksi on kehitetty MS Windows -ympäristössä toimiva *Microsoft Visual Basic*[®] ja *Microsoft Fortran*[®] -ohjelmointikielinen tietokoneohjelma **PALDET 2.0T**. Ohjelma perustuu aikaisempaan, vuonna 1989 *Microsoft Quick-BASIC*[®] -ohjelmointikielillä vuonna 1989 valmistuneeseen ohjelmaversioon [1]. Liitteessä A esitetään ohjelman yleistä rakennetta kuvaava pseudokoodi. Liite B sisältää vastaavasti ohjelman muutaman keskeisimmän ohjelmamarutiinin ohjelmakoodin.

Ohjelman avulla lasketaan ilmaisimen suhteellinen toiminta-aika käyttäjän valitseman muuttujan funktiona. Käyttäjä voi myös valita parametrin, jonka valituilla arvoilla edellä mainittu funktio lasketaan.

3.1 Ohjelman asennus

PALDET 2.0T -ohjelman käyttö vaatii vähintään *Intel 386* -tasoisien mikrotietokoneen ja SVGA-näytön. Ohjelma toimii sekä *Microsoft Windows for Workgroups 3.11*, *Windows 95* että *Windows NT* -käyttöjärjestelmien alla. Ohjelmassa ei ole automaattista skaalausta näytön koon mukaan, vaan eri näyttöko'ille on olemassa oma ohjelmaversionsa. Ohjelman levitysdisketillä on seuraavat tiedostot:

Juurihakemisto:



Ohjelman asennuksen ensimmäisessä vaiheessa puretaan tiedosto **PDET_15.ZIP** kiintolevyn haluttuun alihakemistoon esimerkiksi *PKZIP*- tai *WINZIP*-ohjelmalla. Pakattu tiedosto sisältää seuraavat 12 tiedostoa:

ILMAISIN.EXE	Pääohjelma
RHRDATIN.DLL	Aliohjelma
LIEKKI2.BMP	Alkunäytön liekin kuva

HRRCONST.DAT
HRR.DAT
HRRTYHJA.DAT

Palotehokäyrien lähtötieto-esimerkkejä

GSW.EXE
GSWDLL.DLL
GRAPH.VBX
CMDIALOG.VBX
THREED.VBX
VBRUN300.DLL

Grafiikkakoneiston ohjelmia

Edellä mainittuun alihakemistoon purkamisen yhteydessä kopioitu pääohjelma **ILMAISIN.EXE** on tarkoitettu 15" näyttöä varten. Mikäli käytössä kuitenkin on joko 17" tai 9" näyttö, voidaan myös kyseistä näyttökokoja vastaava pääohjelma (**ILMAIS_17.EXE** tai **ILMAIS_9.EXE**) kopioida samaan hakemistoon disketin asianomaisesta hakemistosta.

Ohjelman käytön helpottamiseksi kannattaa vielä luoda Windows-työpöydälle pikakuvake (ikoni), josta ohjelma käynnistetään hiiren avulla.

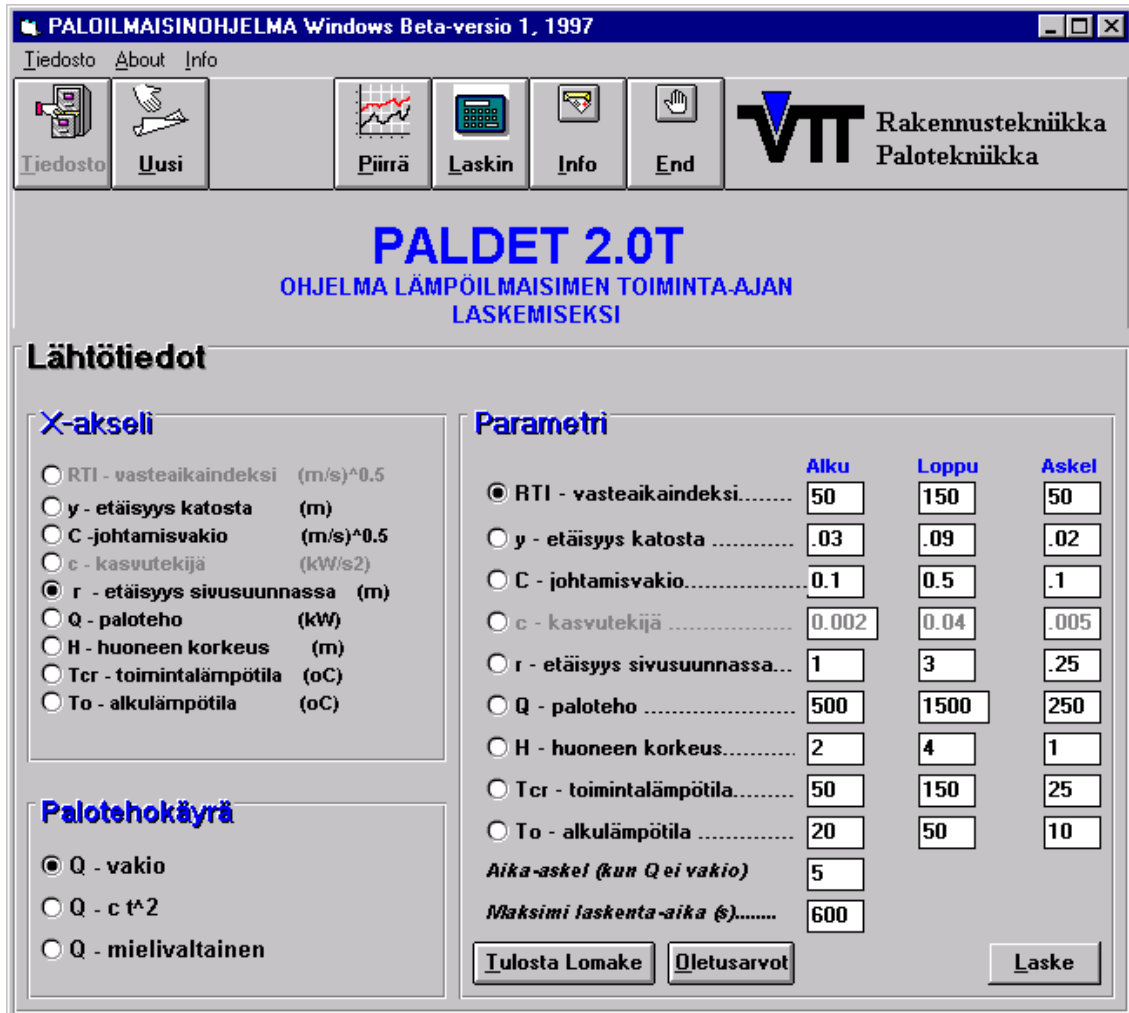
3.2 Ohjelman käynnistys

Ohjelma käynnistetään suorittamalla pääohjelma (**ILMAISIN.EXE**, **ILMAIS_17.EXE** tai **ILMAIS_9.EXE**). Käynnistäminen tuo näyttöön kuvan 4 mukaisen aloituskuvan.



Kuva 4. PALDET 2.0T -ohjelman aloituskuva.

Ohjelma käynnistyy varsinaisesti, kun painetaan kuvan yläosassa olevaa **OK**-painiketta. **TULOSTA**-painikkeen painallus tulostaa puolestaan tietokoneeseen liitetulle kirjoittimelle kuvassa 4 esitetyn aloituskuvan. Ohjelman aloitusnäyttö on kuvassa 5.



Kuva 5. PALDEET 2.0T -ohjelman aloitusnäyttö.

3.3 Ohjelman näytön valikot ja painikkeet

Ohjelman toimintaa ohjataan seuraavilla, kuvassa 5 esitettyyn näyttöön kuuluvilla valikoilla ja painikkeilla:

Näytön ylälaudassa on seuraavat **valikot**:

Tiedosto, jossa puolestaan on seuraavat vaihtoehdot:

- **Hae.** Tällä tuodaan ohjelmaan (aika, paloteho)-pisteparit käytettäessä mielivaltaista palotehoa.
- **Lopeta.** Lopettaa ohjelman toiminnan.
- **Tulosta.** Tulostaa kuvan 5 mukaisen näytön.

About tuo näyttöön kuvan 4 mukaisen aloituskuvan.

Info tuo näyttöön lyhyen ohjelmakuvauksen. Kuvaus voidaan tarvittaessa tulostaa tietokoneen kirjoittimelle painamalla kuvauksen alareunassa olevaa **Tulosta**-painiketta. Painikkeen **OK** painaminen sulkee ohjelmakuvausrudun. Painamalla painiketta **Tietoja käytetystä mallista** saadaan näyttöön tiiviissä muodossa ohjelman matemaattinen malli, joka on kuvattu yksityiskohtaisemmin tämän julkaisun luvussa 2.

Valikkojen alapuolella on seuraavat **painikkeet**:

- **Tiedosto.** Tällä tuodaan ohjelmaan (aika, paloteho)-pisteparit käytettäessä mielivaltaista palotehoa (toiminta on sama kuin **Tiedosto**-valikon vaihtoehto **Hae**).
- **Uusi.** Palauttaa näyttöön lähtötietojen oletusarvot.
- **Piirrä.** Laskee lämpöilmaisimen toiminta-ajan halutun muuttujan ja valitun parametrin funktiona sekä esittää tuloksen näytössä graafisena käyrästä.
- **Laskin.** Painikkeen painaminen käynnistää Windowsin varusohjelmiin sisältyvän laskimen. Sen avulla voi tarvittaessa tehdä pienehköjä laskutehtäviä lähtötietojen muokkaamiseksi.
- **Info.** Painikkeen painaminen tuo näyttöön lyhyen ohjelmakuvauksen. Kuvaus voidaan tarvittaessa tulostaa tietokoneen kirjoittimelle painamalla kuvauksen alareunassa olevaa **Tulosta**-painiketta. **OK**-painikkeen painaminen sulkee ohjelmakuvausrudun. Painamalla painiketta **Tietoja käytetystä mallista** saadaan näyttöön tiiviissä muodossa ohjelman matemaattinen malli, joka on kuvattu yksityiskohtaisemmin tämän julkaisun luvussa 2. (**Info**-painikkeen toiminta on sama kuin **Info**-valikon).
- **End.** Lopettaa ohjelman toiminnan (toiminta on sama kuin **Tiedosto**-valikon vaihtoehto **Lopeta**).

Näytön alareunassa on vastaavasti seuraavat **painikkeet**:

- **Tulosta Lomake.** Tulostaa kuvan 5 mukaisen näytön (toiminta on sama kuin **Tiedosto**-valikon vaihtoehto **Tulosta**).
- **Oletusarvot.** Palauttaa näyttöön lähtötietojen oletusarvot (toiminta on sama kuin näytön yläreunassa oleva painike **Uusi**).
- **Laske.** Laskee lämpöilmaisimen toiminta-ajan halutun muuttujan ja valitun parametrin funktiona sekä esittää tuloksen näytössä graafisena käyrästä (toiminta on sama kuin näytön yläreunassa oleva painike **Piirrä**).

3.4 Ohjelman lähtötietojen syöttäminen

Pääosa kuvan 5 esittämästä näytöstä koskee ohjelmaan syötettäviä lähtötietoja. Kuten edellä on mainittu, laskee ohjelma paloilmalmaisimen toiminta-ajan yhden muuttujan ja yhden parametrin funktiona. Laskennan tulos esitetään käyräparvena suorakulmaisessa koordinaatistossa, jossa pystyakselina (y-akselina) on aina lämpöilmaisimen suhteellinen toiminta-aika ja vastaavasti vaakakselina (x-akselina) valittu muuttuja. Käyräparven eri käyrät vastaavat tietyillä valitun parametrin arvoilla laskettuja toiminta-aikoja valitun muuttujan suhteen. Lähtötiedot jaetaan ohjelmassa kolmeen ryhmään, jotka on koottu ohjelman näytössä omiksi lohkoikseen seuraavien otsikoiden alla: **Palotehokäyrä**, **X-akseli** (muuttuja) ja **Parametri**.

3.4.1 Palotehokäyrä

Lähtöarvojen syöttäminen aloitetaan valitsemalla haluttu palon tyyppi, jota ohjelmassa kuvataan sen lämmönluovutusnopeuden avulla. Ohjelmassa voidaan määrittellä kolme erityyppistä paloa riippuen sen lämmönluovutusnopeuden riippuvuudesta ajasta eli palotehokäyrän muodosta.

Palon tyyppin valinta tehdään tietokonen hiirellä painamalla kuvan 5 esittämän näytön **Palotehokäyrä**-ruudussa olevan kolmen palotyyppin edessä olevaa ympyrää. Valitun muuttujan edessä oleva ympyrässä on musta piste. Ohjelmassa käytetyt palotehokäyrän tyypit ovat:

- **vakio paloteho**, jota voidaan käyttää esimerkiksi silloin, kun palolähteenä on rajattu nesteallas. Haluttu palotehon arvo annetaan parametrin **Q - paloteho** ensimmäisenä arvona ("Alku") kilowatteina [kW],

- **ct²-tyyppinen palotehokäyrä**, jota voidaan yleensä käyttää rakennuspalojen kuvaamiseen. Halutun palotehokäyrän kasvutekijän arvo annetaan parametrin **c - kasvutekijä** ensimmäisenä arvona ("Alku") yksiköissä [kW/s²],
- **mielivaltainen paloteho**, joka voi olla esimerkiksi kokeellisesti määritetty. Lähtötiedot annetaan ohjelman asennushakemistossa ASCII-muotoisessa tekstitiedostossa, jonka nimen tarkentimena on aina *.dat. Tiedoston muoto on seuraava: Ensimmäinen rivi on kommenttirivi, johon voi merkitä mielivaltaista tietoa. Kaikilla seuraavilla riveillä on kaksi vähintään yhdellä välilyönnillä erotettua kokonaislukua, joista ensimmäinen on aika sekunteina [s] ja jälkimmäinen vastaava paloteho kilowatteina [kW]. Taulukossa 1 on esimerkkinä muutamia ensimmäisiä rivejä ohjelman mukana tulleesta **HRR.DAT**-tiedostosta.

Taulukko 1. Esimerkki lähtötietiedoston alusta käytettäessä palotehovaihtoehtona mielivaltaista palotehokäyrää.

HRR plywood (s,kW)	
0	0
5	0
10	0
15	0
20	120
25	100
30	100
35	50
40	30
45	690
50	1000
55	1001
60	1002
65	1000
70	1001
75	1000
80	880
85	860
90	850
95	870
100	810
105	770
...	...

3.4.2 Muuttuja (x-akseli)

Seuraavaksi valitaan muuttuja, jonka suhteen ilmaisimen toiminta-aika lasketaan. Valittavat muuttujat on koottu kuvassa 5 esitetyn näytön **x-akseli**-ruutuun. Muuttujista voidaan kerrallaan valita vain yksi. Riippuen valitusta palotehokäyrästä ja parametrista eivät kaikki muuttujat kuitenkaan aina ole valittavissa, jolloin kyseisen muuttujan teksti näkyy vaalean harmaana. Esimerkiksi, jos parametrina on RTI-arvo, ei muuttujaksi voi valita RTI-arvoa.

Muuttujan valinta tehdään tietokoneen hiirellä painamalla **X-akseli**-ruudussa olevan muuttujan edessä olevaa ympyrää. Valitun muuttujan edessä oleva ympyrässä on musta piste. Muuttujan pienin ja suurin arvo eli laskentaväli annetaan **Parametri**-kohdan **Alku**- ja **Loppu**-ruuduissa painamalla tietokoneen hiirellä kyseistä ruutua ja kirjoittamalla siihen haluttu arvo.

Valittavat muuttujat ovat:

- **RTI - vasteaikaindeksi** [$m^{1/2}s^{1/2}$]. Vasteaikaindeksi RTI (Response Time Index) on laitekohtainen vakio, jonka arvo lämpöilmaisimilla on tavallisesti 40–150 $m^{1/2}s^{1/2}$ [7]. Laskentavälin oletusarvo on 50–150 $m^{1/2}s^{1/2}$.
- **y - etäisyys katosta** [m]. Ilmaisimen tuntoelimen ja katon välinen etäisyys. Laskentavälin oletusarvo on 0,03–0,09 m.
- **C - johtumisvakio** [$(m/s)^{1/2}$]. Lämmön johtumista ilmaisimen tuntoelimestä tukirakenteisiin kuvaava johtumisvakio (Conduction Parameter). Lämpöilmaisimille tämä vakio on yleensä noin 0,1 $(m/s)^{1/2}$ [7]. Laskentavälin oletusarvo on 0,1–0,5 $(m/s)^{1/2}$.
- **c - kasvutekijä** [kW/s^2]. Muotoa $Q = ct^2$ olevan kasvavan palon kasvutekijä c. Neliöllisesti kasvavalle palolle on Yhdysvalloissa otettu käyttöön kasvutekijän mukaan neljä tyyppipaloa [1]:

hitaasti kasvava palo:	$c = 0,0029 \text{ kW/s}^2$
normaalisti kasvava palo:	$c = 0,0117 \text{ kW/s}^2$
nopeasti kasvava palo:	$c = 0,0469 \text{ kW/s}^2$
erittäin nopeasti kasvava palo:	$c = 0,1875 \text{ kW/s}^2$

Laskentavälin oletusarvo on 0,002–0,04 kW/s^2 .

- **r - etäisyys sivusuunnassa** [m]. Vaakasuora etäisyys palopatsaan keskiakselilta. Laskentavälin oletusarvo on 1–3 m.
- **Q - paloteho** [kW]. Palossa vapautuva lämpöenergia aikayksikköä kohti. Laskentavälin oletusarvo on 500–1500 kW.
- **H - huoneen korkeus** [m]. Huonetilan korkeus, jossa ilmaisin on asennettu. Laskentavälin oletusarvo on 2–4 m.
- **T_{cr} - toimintalämpötila** [$^{\circ}C$]. Ilmaisimen toimintalämpötila. Laskentavälin oletusarvo on 50–150 $^{\circ}C$.

- T_0 - **alkulämpötila** [$^{\circ}\text{C}$]. Ympäristön lämpötila. Laskentavälin oletusarvo on 20–50 $^{\circ}\text{C}$.

3.4.3 Parametri

Viimeiseksi valitaan parametri, jonka tiettyjen arvojen suhteen ilmaisimen valitusta muuttujasta riippuva toiminta-aika lasketaan. Valittavat parametrit on koottu kuvassa 5 esitetyn näytön **Parametri**-ruutuun. Kuten muuttujienkin osalta todettiin, eivät kaikki parametrit aina ole valittavissa, vaan mahdollisuus riippuu valitusta palotehokäyrästä ja käytetystä muuttujasta.

Parametrin valinta tehdään, kuten edellä, tietokonen hiirellä painamalla **Parametri**-ruudussa olevan parametrin edessä olevaa ympyrää. Valitun parametrin edessä oleva ympyrässä on musta piste. Valittavien parametrien valikoima on sama kuin valittavat muuttujatkin. Valitun muuttujan ja toiminta-ajan välinen riippuvuus lasketaan vain tietyillä valittavilla parametrin arvoilla. Parametriarvojen valinta tehdään antamalla sen maksimi- ja minimiarvot **Alku**- ja **Loppu**-ruuduissa sekä peräkkäisten parametriarvojen erotus **Askel**-ruudussa, esim. jos **Alku**-arvo on 30 ja **Loppu**-arvo 50 sekä **Askel**-arvo 5, niin laskenta tehdään parametriarvoilla 30, 35, 40, 45 ja 50.

HUOM! Muiden parametrien arvoina käytetään aina **Alku**-ruudussa olevia arvoja.

Parametrien oletusarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Parametrien oletusarvot.

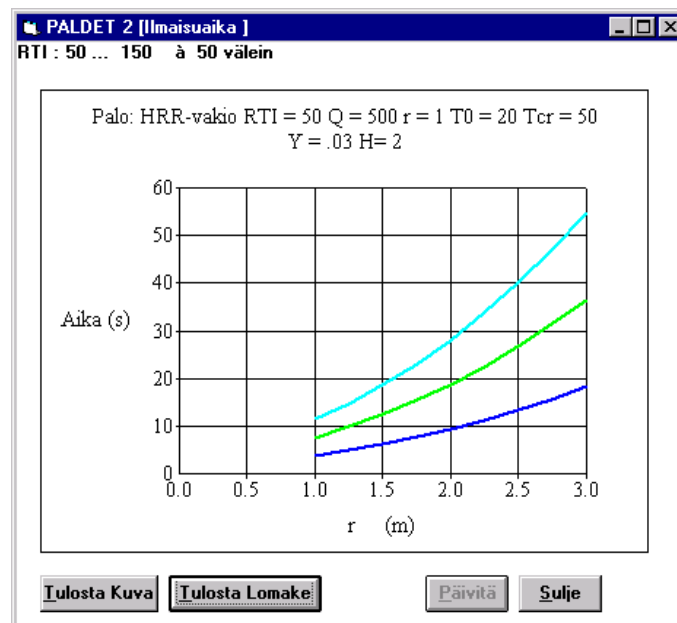
Parametri	Minimiarvo (Alku)	Maksimiarvo (Loppu)	Väli (Askel)
RTI-vasteaikaindeksi [$\text{m}^{\frac{1}{2}}\text{s}^{\frac{1}{2}}$]	50	150	50
y - etäisyys katosta [m]	0,03	0,09	0,02
C - johtumisvakio [$(\text{m}/\text{s})^{\frac{1}{2}}$]	0,1	0,5	0,1
c - kasvutekijä [kW/s^2]	0,002	0,04	0,005
r - etäisyys sivusuunn. [m]	1	3	0,25
Q - paloteho [kW]	500	1500	250
H - huoneen korkeus [m]	2	4	1
T_{cr} - toimintalämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	50	150	25
T_0 - alkulämpötila [$^{\circ}\text{C}$]	20	50	10

Parametri-ruudussa annetaan lisäksi käytettävän laskenta-aika-askelen pituus niissä tapauksissa, joissa paloteho Q ei ole vakio (**Aika-askel (kun Q ei vakio)**)

sekä laskentajakson enimmäispituus sekunteina (**Maksimi laskenta-aika (s)**). Molemmat tekijät ovat laskentateknisiä. Mikäli paloteho Q muuttuu erityisen nopeasti, voi käydä niin, että laskenta-askelen ollessa pitkä jotkin nopeat muutokset jäävät havaitsematta. Tällöin voidaan laskenta-askelta lyhentämällä lisätä laskennan tarkkuutta, jolloin kuitenkin tietokoneen laskemiseen käyttämä aika vastaavasti pitenee. Laskenta-askelen oletusarvon pituus on 5 s. Paloteho voi toisaalta olla niin pieni, että ilmaisimen toimintalämpötila saavutetaan vasta pitkän ajan kuluttua - tai ei saavuteta lainkaan, jolloin laskeminen kestää hyvin kauan. Tämän vuoksi annetaan ohjelmassa myös laskemiseen käytettävä enimmäisaika, jonka oletusarvo on 600 s.

3.5 Ilmaisimen toiminta-ajan laskeminen

Kun tarvittavat lähtöarvot on valittu, käynnistetään laskenta painamalla näytön alareunassa olevaa painiketta **Laske** tai yläreunassa olevaa painiketta **Piirrä**. Laskennan tulos esitetään graafisesti käyrästä, jossa vaaka-akselina on valittu muuttuja ja pystyakselina ilmaisimen toiminta-aika. Käyrästä erilliset käyrät vastaavat valittuja parametrien arvoja. Kuvassa 6 on esimerkki tapauksesta, jossa muuttujana on ilmaisimen vaaka-suora etäisyys palopatsaan keskiakselilta r ja parametrinä vasteaikaindeksi **RTI** (arvoilla 50, 100 ja $150 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$), ts. lasketaan kuvan 5 mukainen tilanne.



Kuva 6. Esimerkki lasketusta lämpöilmaisimen toiminta-ajasta. Muuttujana tässä on ilmaisimen sivusuuntainen etäisyys palopatsaan keskiakselista ja parametrina vasteaikaindeksi RTI arvoilla 50, 100 ja $150 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$; muut tekijät ovat ohjelman oletusarvojen mukaisia.

Kuvan 6 esittämän käyrästä alareunassa olevien painikkeiden toiminnat ovat:

- **Tulosta kuva.** Tulostaa suurikokoisen käyrästäön tietokoneeseen liitetulle kirjoittimelle.
- **Tulosta lomake.** Tulostaa kuvan 6 mukaisen käyrästäön kirjoittimelle.
- **Päivitä.** Ei toimintaa ohjelmaversiossa 2.0T.
- **Sulje.** Sulkee käyrästäön.

3.6 Ohjelman rajoitukset

Ohjelmaan on sisäänrakennettu eräitä lähtöarvojen asiallisuuden tarkistuksia, jolloin ohjelma virheellisen arvon havaitessaan ei hyväksy sitä, vaan pyytää oikeata arvoa. Kaikkia ajateltavissa olevista yhdistelmistä johtuvia lähtöarvojen tarkistuksia ei ohjelmaan kuitenkaan ole voitu sisällyttää. Sen vuoksi tulee käyttäjän aina huolellisesti tarkistaa kaikkien lähtöarvojen ja niiden dimensioiden oikeellisuus sekä saatujen lopputulosten realistisuus.

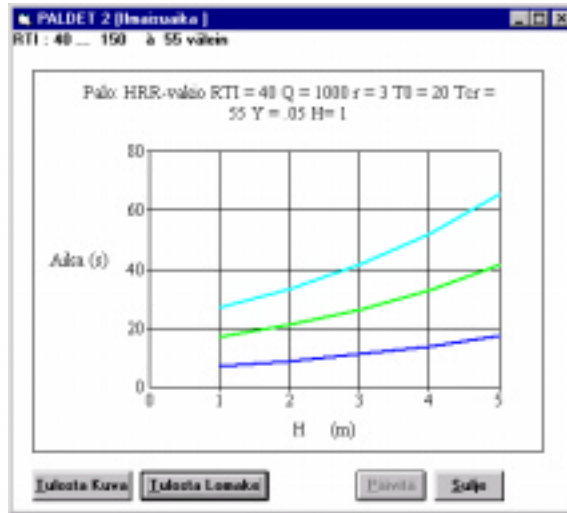
Ohjelmassa käytettyyn Alperin katonalusvirtausmalliin [3] liittyy lisäksi rajoituksia, jotka tulisi ottaa huomioon laskennan tuloksia arvioitaessa. Tärkeimmät rajoitukset ovat [9]:

- Liekin korkeus saisi olla korkeintaan 1/4 huonetilan korkeudesta.
- Katon tulisi olla sileä, ts. siinä ei saa olla palkkeja tai muita esteitä, jotka vaikuttavat katonalusvirtauksiin.
- Palolähde ei saisi sijaita lähellä huonetilan seiniä.
- Malli ei päde, jos paloteho muuttuu nopeasti.

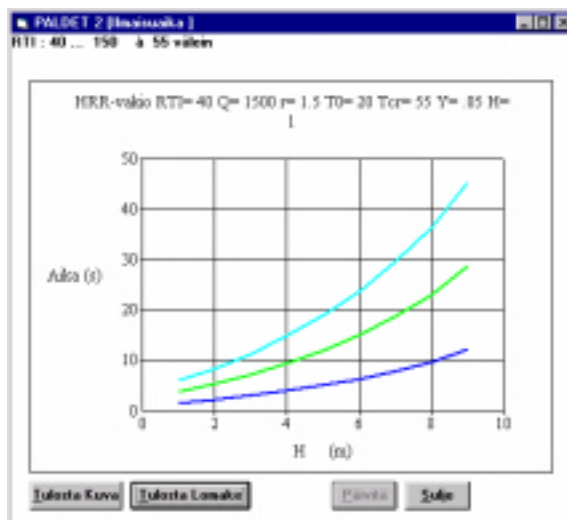
Ohjelman version 2.0T testausvaiheessa on lisäksi todettu joitakin tilanteita, joissa ohjelman suoritus pysähtyy virhetoimintaan. Nämä virheet pyritään poistamaan ohjelman tulevissa versioissa.

4. Laskentaesimerkkejä

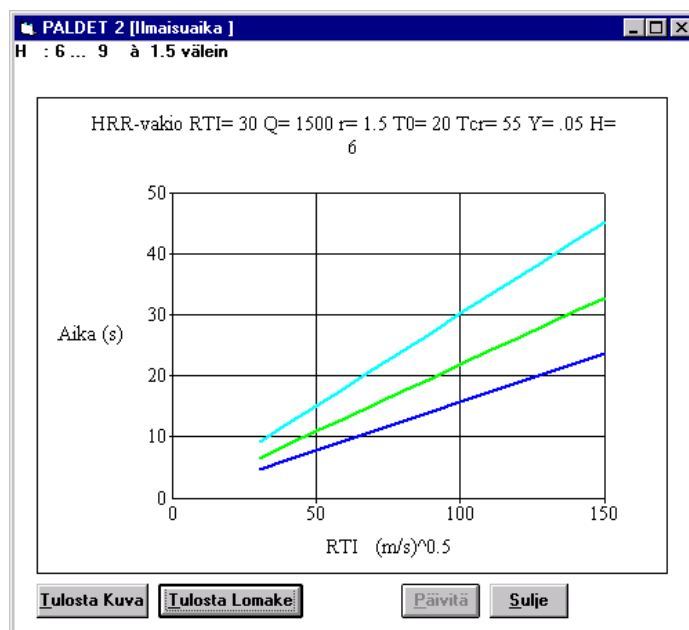
Kuvissa 7–14 esitetään **PALDET 2.0T** -ohjelmalla saadut lämpöilmaisimen toiminta-ajat viitteessä [1] käytetyissä esimerkkitapauksissa.



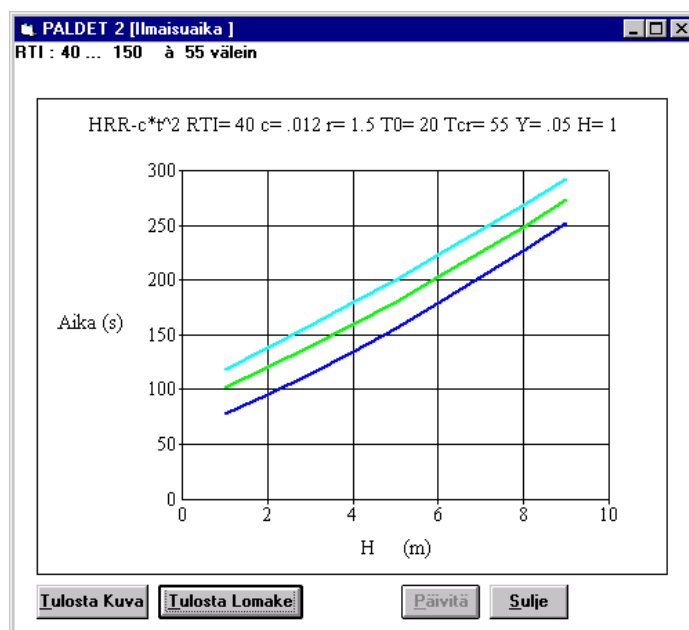
Kuva 7. Lämpöilmaisimen toiminta-aika katon korkeuden funktiona laitevakion RTI eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 50 mm, etäisyys keskiakselilta 3 m, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, nimellinen toimintalämpötilä $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ympäristön lämpötilä on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho on vakio $1\,000 \text{ kW}$.



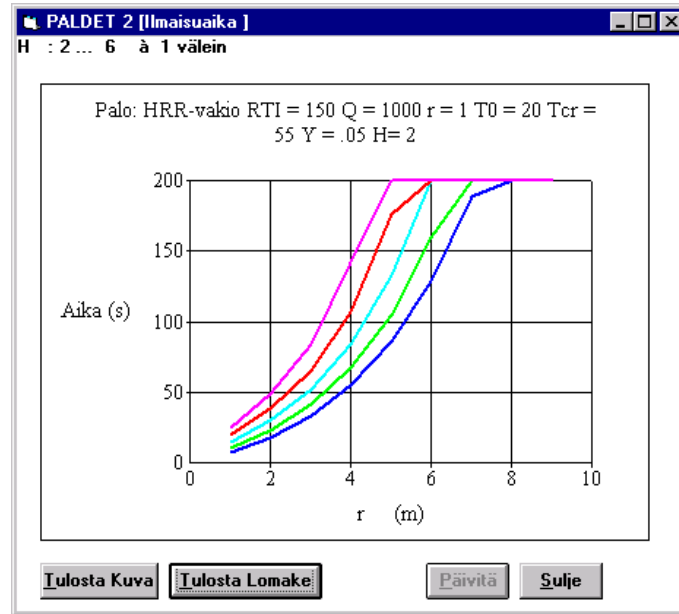
Kuva 8. Lämpöilmaisimen toiminta-aika katon korkeuden funktiona laitevakion RTI eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 50 mm, etäisyys keskiakselilta 1,5 m, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, nimellinen toimintalämpötilä $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ympäristön lämpötilä on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho on vakio $1\,500 \text{ kW}$.



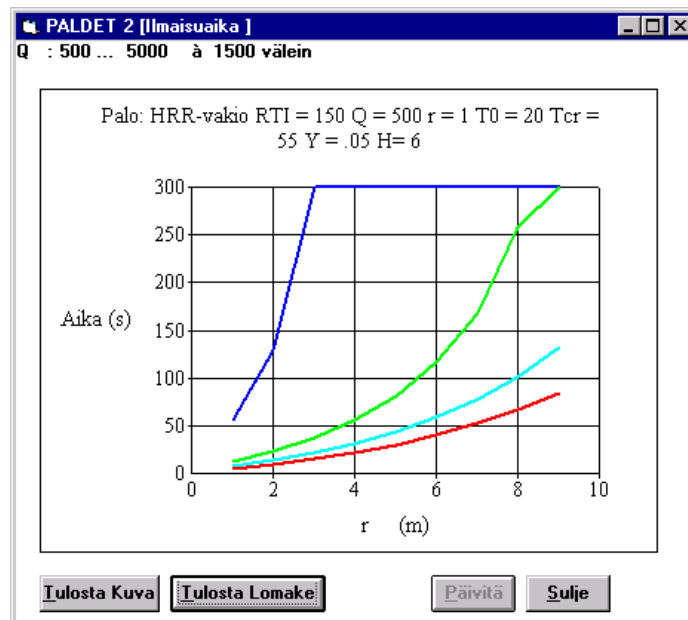
Kuva 9. Lämpöilmäisimen toiminta-aika laitevakion RTI funktiona katon korkeuden eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 50 mm, etäisyys keskiakselilta 1,5 m, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, nimellinen toimintalämpötilä $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ympäristön lämpötilä on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho on vakio $1\,500 \text{ kW}$.



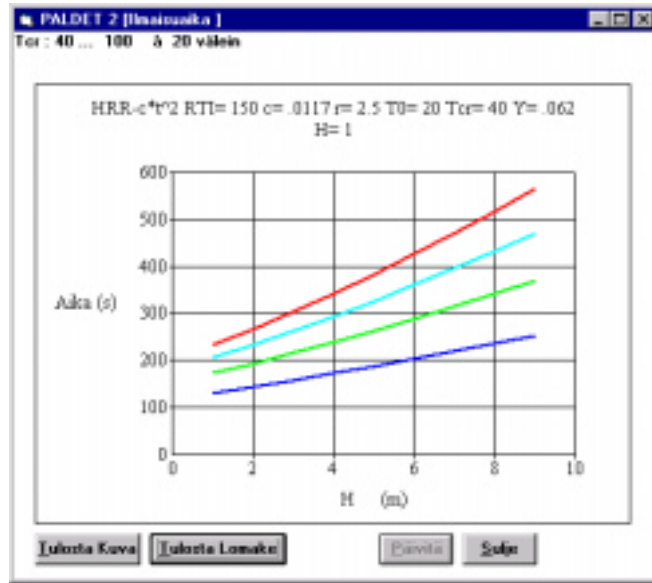
Kuva 10. Lämpöilmäisimen toiminta-aika katon korkeuden funktiona laitevakion RTI eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 50 mm, etäisyys keskiakselilta 1,5 m, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, nimellinen toimintalämpötilä $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ympäristön lämpötilä on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho kasvaa kuten t^2 , kun kasvutekijä on $0,012 \text{ kW/s}^2$.



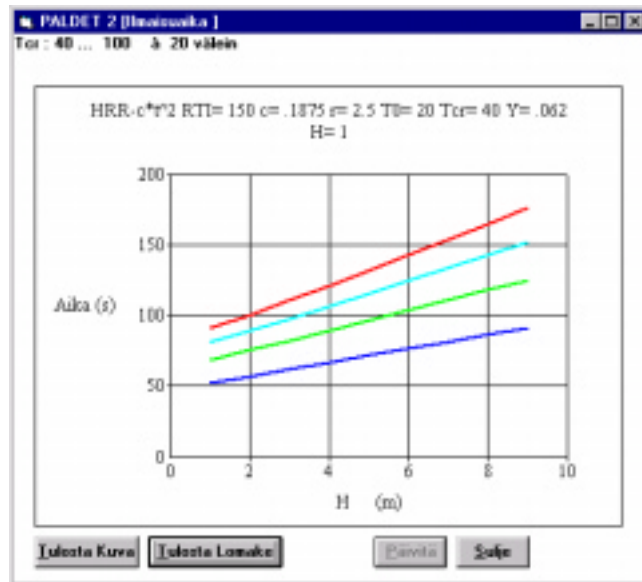
Kuva 11. Lämpöilmäisimen toiminta-aika ilmaisimen sivusuuntaisen etäisyyden funktiona katon korkeuden eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 50 mm, laitevakio RTI $150 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, nimellinen toimintalämpötila $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ympäristön lämpötila on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho on vakio $1\,000 \text{ kW}$.



Kuva 12. Lämpöilmäisimen toiminta-aika ilmaisimen sivusuuntaisen etäisyyden funktiona palotehon eri arvoilla, kun katon korkeus on 6 m, ilmaisimen etäisyys katosta 50 mm, laitevakio RTI $150 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, nimellinen toimintalämpötila $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ympäristön lämpötila on $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Kuva 13. Lämpöilmalaisimen toiminta-aika katon korkeuden funktiona nimellisen toimintalämpötilan eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 62 mm, etäisyys keskiakselilta 2,5 m, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, laitevakio $RTI 150 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ ja ympäristön lämpötila on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho kasvaa kuten t^2 , kun kasvutekijä on $0,0117 \text{ kW/s}^2$ (normaalisti kasvava palo).



Kuva 14. Lämpöilmalaisimen toiminta-aika katon korkeuden funktiona nimellisen toimintalämpötilan eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 62 mm, etäisyys keskiakselilta 2,5 m, lämmönjohtumisparametri $0,1 \text{ (m/s)}^{1/2}$, laitevakio $RTI 150 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ ja ympäristön lämpötila on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Paloteho kasvaa kuten t^2 , kun kasvutekijä on $0,1875 \text{ kW/s}^2$ (erittäin nopeasti kasvava palo).

5. Yhteenveto

Tässä työssä on kehitetty edelleen VTT:llä aikaisemmin laadittua **PALDET**-ohjelmaa [1], jolla lasketaan lämpöilmaisimen suhteellinen toiminta-aika, kun ilmaisin on kiinnitetty laajan vaakasuoran kattopinnan alapuolelle. Malli ottaa huomioon katonaluskerroksen lämpötila- ja virtausnopeusjakautumat sekä lämpöhäviöt ilmaisimen tuntoelimestä tukirakenteisiin. Tulipalon paloteho voi olla vakio tai kasvaa ajan neliönä (t^2 -palo) tai se voi olla tietyin rajoituksin myös mielivaltainen.

Tässä **PALDET**-ohjelman uudessa versiossa on otettu huomioon useimmat viitteessä [1] esitetyt parannusehdotukset. Malli antaa nykyisellään hyvät lähtökohdat lämpöilmaisimien toiminnan arviointiin. Luotettavuuden lisäämiseksi on kuitenkin pyrittävä tekemään malliin lisäyksiä ja parannuksia sekä korjaamaan havaitut virheet.

Lähdeluettelo

1. Björkman, J., Huttunen, O. & Kokkala, M. Paloilmmaisimien toimintaa kuvaavat las-kentamallit. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1989. 36 s. + liitt. 3 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1036.) ISBN 951-38-3550-2. ISSN 0358-5085
2. Heskestad, G. & Bill, R. G. Jr. Quantification of thermal responsiveness of automatic sprinklers including conduction effects. *Fire Safety Journal*, 1988. Vol. 14, nro. 1-2, s. 113-125.
3. Alpert, R. Calculation of response time of ceiling-mounted fire detectors. *Fire Technology*, 1972. Vol. 8, nro. 3, s. 181-195.
4. Beyler, L. Fire plumes and ceiling jets. *Fire Safety Journal*, 1986. Vol. 11, nro. 1-2, s. 53-75.
5. Heskestad, G. & Delichatsios, M. The initial convective flow in fire. *Proc 17th International Symposium on Combustion*. Pittsburg, PA: The Combustion Institute, 1978. S. 1113-1123.
6. Cooper, L. Y. Estimating the environment and the response of sprinkler links in com-partment fires with draft curtains and fusible link-actuated ceiling vents – Part I: Theory. Gaithersburg, MD: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Stan-dards, Center for Fire Research, 1988. 37 s. (NBSIR 88-3734.)
7. Kokkala, M. Thermal properties of heat detectors and sprinklers. Nordtest – Brand-symposium 1986. Borås, Sweden, 27.5.1986. 15 s.
8. Evans, D.D. Ceiling jet flows. In: DiNenno, P. E. *et al.* (eds.). *SFPE Handbook of Fi-re Protection Engineering*. 2nd Edition. Quincy, MA: National Fire Protection Asso-ciation. 1995. S. 2-32-2-39. ISBN 0-87765-354-2
9. Alpert, R. Yksityinen tiedonanto. Norwood, MA: Factory Mutual Research Corpora-tion, 1998.

Liite A: PALDET 2.0T -ohjelman pseudokoodi

```

%-----
% By Djebar Baroudi , 1996
% Time-integration A-stable (Trapetzi)
%
% ILMAISIN MALLI kts. VTT-julkaisu nro 1036 (tiedotteita), v. 1989
%-----
%
% INPUT:
%-----
% t = time (vector (t0,t1,...,tN))
% RTI = Response Time I?? (= 30 - 400)
% C = (= 0.1)
% H = katon korkeus (heat sourcein et.,isyys katosta)
% r = radiaaliet.,isyys (heat sourceista - ilmaisimeen)
% Y = a1 = ilmaisimen et.,isyys katosta
% Q = teho (in kW) , Q = (Q1,Q2,...,QN)
% may be a vector = (Q1,Q2,...,QN), with Qi=Q(ti)
% T0 = alkul.,mp^tila
% CT = const. (= 2.75)
% CU = const. (= 0.179)
%
% OUTPUT
%-----
% tau1 = tau1 (aikavakio nro 1)
% tau2 = tau2 (aikavakio nro 2)
% rH = r/H
% Te = vector : ilmaisim l.,mp^tilat (T1, T2, ..., TN)
% Tg = kaasun l.,mp^tilat (max.)
% Ug = virtaus nopeus (max)
% Tg = kaasun l.,mp^tilat (rajakerroksessa) at Y/Y0 katosta
% Ug = virtaus nopeus (rajakerroksessa)at Y/Y0 katosta
% Q = paloteho (kW)
%-----
% function [tau1,tau2,Te,Tgas,Ugas]= ilmaisi6(t,RTI,C,H,r,Y,Q,T0)
%-----
%
%-----
function [tau1,tau2,Te,Tgas,Ugas]= ilmaisi6(t,RTI,C,H,r,Y,Q,T0)

Ntime=length(t);
Q = Q + eps; % in order to avoid Division by Zero in tau:s

%-----
% patsasmallin parametrin:
%-----
% Case Q(t) , mutta kuulemma käy jos on (quasi-)stationaarinen tilanne! eli Q
= Q(t)! MKO:n tiedote
%-----

% Tg = kaasun l.,mp^tila,
% Ug = virtausnopeus
%-----
CT=2.75;
CU=0.179;

%-----
% Initial conditions : Time-integration Trapezoidal rule
%-----
Ugas=zeros(1,Ntime);
Tgas=zeros(1,Ntime)+T0;
Te(1)=T0;
tau1=zeros(1,Ntime);
tau2=zeros(1,Ntime);

Y0=0.023*H*(r/H)^0.9);
rH=r/H;

if (rH > 8) | (rH <= 0)
%-----
% p.,tevyysalue 0 < r/H < 8 Tg:lle ja
% p.,tevyysalue 0.4 < r/H < 8 Ug:lle
% tullaan routiinista ulos tekem.,tt., mit.,n jos ollan p.,tevyysalueen
ulkopuolella
%-----
%
rH
disp(' pätevyysalueen 0 < r/H < 8 Tg:lle tai')
disp(' 0.4 < r/H < 8 Ug:lle')
disp(' ULKOPUOLELLA! DO SOMETHING: at least think!')
return;
end

%-----
% maximirvoja : Tg ja Ug
%-----
%-----
% Case Q(t)
%-----
Tg0 = CT*((0.188+0.313*rH)^(-4/3))*(Q^(2/3))*(H^(-5/3))+T0;
Ug0 = CU*(rH)^(-0.63))*((0.188+0.313*rH)^(-2/3));
Ug0 = Ug0*(Q^(1/3))*(H^(-1/3));

Tgas = Tg0;
Ugas = Ug0;

%-----
% arvoja rajakerroksessa (katonrajalla , b = boundary layer) : Tgb ja Ug

```

```

%-----
if (rH >= 0.2)
if (Y/Y0) > 1
Ugb = Ugas ./ (cosh(0.263*(Y/Y0-1)))^2;
Tgb = T0 + (Tgas-T0) .* Ugb ./ Ugas;

Ugas = Ugb;
Tgas = Tgb;
else
Ugb = Ugas*(8/7)*((Y/Y0)^(1/7))*(1-Y/(Y0*8));
Tgb = Tgas;

Ugas = Ugb;
Tgas = Tgb;
end
end

%-----
% Time-integration Trapezoidal rule (A-Stable scheme)
%-----

```

```

%-----
% case when Q = Q(t)
%-----
for It=2:Ntime
tau1(It) = RTI / sqrt(Ugas(It));
tau2(It) = (1/C) * tau1(It) * sqrt(Ugas(It));

if (tau1(It-1) > 0) & (tau2(It-1) > 0)
Dt = t(It)-t(It-1);
alpha = 1 - 0.5 * (1/tau1(It-1)) * (1 + tau1(It-1)/ tau2(It-1)) * Dt;
beta = 1 + 0.5 * (1/tau1(It)) * (1 + tau1(It) / tau2(It)) * Dt;
gamma = 0.5 * ( 1/tau2(It) + 1/tau2(It-1) ) * Dt;
delta = 0.5 * (Tgas(It)/tau1(It) + Tgas(It-1)/tau1(It-1)) * Dt;
Te(It) = (alpha/beta) * Te(It-1) + T0 * gamma/beta + delta/beta;
else
Te(It) = T0;
end
end;

end;

```

Liite B: Keskeisiä ohjelmarutiineja

Tässä esitetään **PALDET 2.0T** -ohjelman (ohjelmoitu pääosin Visual Basicillä) muutamien keskeisten rutiinien listaukset: Rutiini **cmdLaskeKayra_Click()** (painikkeen Laske takana oleva rutiini) laskee lämpöilmaisimen toiminta-ajan kutsumalla alirutiineja **Function tcrFunQ()** (Q - mielivaltainen), **Function tcrFunc()** (Q - vakio) tai **Function tcrFunct2()** ($Q-c*t^2$).

Painikkeen **Laske** takana oleva rutiini **cmdLaskeKayra_Click()**:

```
Sub cmdLaskeKayra_Click ()
```

```
Dim TimeCrit As Double
Load frmMain
Screen.MousePointer = 11 ' Change pointer to hourglass.

' muuttujien alustus : OBS!
' tee sam kuin M-file tcrfun.m
'-----

DTime = Val(frmMain.txtDTime.Text)
If (DTime <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Dtime pitää olla > 0"
    ' Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    Exit Sub
End If

tcrInfinity = Val(frmMain.txtTimeMax.Text)
If (tcrInfinity <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox (" Maksimiaika p.o. > 0!")
    tcrInfinity = 600
    frmMain.txtTimeMax.Text = Str$(tcrInfinity)
    Exit Sub
End If

RTI1 = Val(frmMain.txtRTI1.Text)
RTI2 = Val(frmMain.txtRTI2.Text)
DRTI = Val(frmMain.txtDRTI.Text)
If (RTI1 <= 0 Or RTI2 <= 0 Or DRTI <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " RTI pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (RTI1 >= RTI2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " RTI1 pitää olla < RTI2"
    'Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    Exit Sub
```

```

End If

C1 = Val(frmMain.txtC1.Text)
C2 = Val(frmMain.txtC2.Text)
DC = Val(frmMain.txtDC.Text)
If (DC <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DC pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (C1 < 0 Or C2 < 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " C pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (C1 >= C2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " C1 pitää olla < C2"
    Exit Sub
End If

H1 = Val(frmMain.txtH1.Text)
H2 = Val(frmMain.txtH2.Text)
DH = Val(frmMain.txtDH.Text)
If (DH <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DH pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (H1 <= 0 Or H2 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " H pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (H1 >= H2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " H1 pitää olla < H2"
    'Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    Exit Sub
End If

Y1 = Val(frmMain.txtY1.Text)
Y2 = Val(frmMain.txtY2.Text)
DY = Val(frmMain.txtDY.Text)
If (DY <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DY pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (Y1 <= 0 Or Y2 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Y pitää olla > 0"

```

```

Exit Sub
End If
If (Y1 >= Y2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Y1 pitää olla < Y2"
    'Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
Exit Sub
End If

```

```

Q1 = Val(frmMain.txtQ1.Text)
Q2 = Val(frmMain.txtQ2.Text)
DQ = Val(frmMain.txtDQ.Text)
If (DQ <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DQ pitää olla > 0"
Exit Sub
End If
If (Q1 <= 0 Or Q2 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Q pitää olla > 0"
Exit Sub
End If
If (Q1 >= Q2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Q1 pitää olla < Q2"
    'Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
Exit Sub
End If

```

```

R1 = Val(frmMain.txtR1.Text)
R2 = Val(frmMain.txtR2.Text)
DR = Val(frmMain.txtDR.Text)
If (DR <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DR pitää olla > 0"
Exit Sub
End If
If (R1 <= 0 Or R2 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " R pitää olla > 0"
Exit Sub
End If
If (R1 >= R2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " R1 pitää olla < R2"
Exit Sub
End If

```

```

Tcr1 = Val(frmMain.txtTcr1.Text)
Tcr2 = Val(frmMain.txtTcr2.Text)
DTcr = Val(frmMain.txtDTcr.Text)

```

```

If (DTcr <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DTcr pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (Tcr1 <= 0 Or Tcr2 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Tcr pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (Tcr1 >= Tcr2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Tcr1 pitää olla < Tcr2"
    Exit Sub
End If

T01 = Val(frmMain.txtT01.Text)
T02 = Val(frmMain.txtT02.Text)
DT0 = Val(frmMain.txtDT0.Text)
If (DT0 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DT0 pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (T01 >= T02) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " T01 pitää olla < T02"
    Exit Sub
End If
If (T01 > Tcr1) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " T0 pitää olla < Tcr"
    Exit Sub
End If

Kasvu1 = Val(frmMain.txtKasvu1.Text)
Kasvu2 = Val(frmMain.txtKasvu2.Text)
DKasvu = Val(frmMain.txtDKasvu.Text)
If (DKasvu <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " DKasvu pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (Kasvu1 <= 0 Or Kasvu2 <= 0) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Kasvu pitää olla > 0"
    Exit Sub
End If
If (Kasvu1 >= Kasvu2) Then
    Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
    MsgBox " Kasvu1 pitää olla < Kasvu2"

```



```
Exit Sub
End If
```

```
' Taulukkojen alustus
```

```
-----
```

```
VarData(1, 1) = RTI1
VarData(1, 2) = RTI2
VarData(1, 3) = DRTI
```

```
VarData(2, 1) = Y1
VarData(2, 2) = Y2
VarData(2, 3) = DY
```

```
VarData(3, 1) = C1
VarData(3, 2) = C2
VarData(3, 3) = DC
```

```
VarData(4, 1) = Kasvu1
VarData(4, 2) = Kasvu2
VarData(4, 3) = DKasvu
```

```
VarData(5, 1) = R1
VarData(5, 2) = R2
VarData(5, 3) = DR
```

```
VarData(6, 1) = Q1
VarData(6, 2) = Q2
VarData(6, 3) = DQ
```

```
VarData(7, 1) = H1
VarData(7, 2) = H2
VarData(7, 3) = DH
```

```
VarData(8, 1) = Tcr1
VarData(8, 2) = Tcr2
VarData(8, 3) = DTcr
```

```
VarData(9, 1) = T01
VarData(9, 2) = T02
VarData(9, 3) = DT0
```

```
' texti-data
```

```
-----
```

```
txtXAxis(1) = "RTI (m/s)^0.5"
txtXAxis(2) = "Y (m)"
txtXAxis(3) = "C (m/s)^0.5"
txtXAxis(4) = "Kasvutekijä (kW/s2)"
txtXAxis(5) = "r (m)"
txtXAxis(6) = "Q (kW)"
txtXAxis(7) = "H (m)"
txtXAxis(8) = "Tcr (oC)"
```

```

txtXAxis(9) = "T0    (0C)"

txtParam(1) = "RTI    (m/s)^0.5"
txtParam(2) = "Y      (m)"
txtParam(3) = "C      (m/s)^0.5"
txtParam(4) = "Kasvutekijä    (kW/s2)"
txtParam(5) = "r      (m)"
txtParam(6) = "Q      (kW)"
txtParam(7) = "H      (m)"
txtParam(8) = "Tcr    (oC)"
txtParam(9) = "T0     (0C)"

txtLegend(1) = "RTI  :"
txtLegend(2) = "Y    :"
txtLegend(3) = "C    :"
txtLegend(4) = "Kasvutekijä  :"
txtLegend(5) = "R    :"
txtLegend(6) = "Q    :"
txtLegend(7) = "H    :"
txtLegend(8) = "Tcr  :"
txtLegend(9) = "T0   :"

'*****
' Haetaan valinta Nox = 1..9
' Sovittaa kaikille : Select Case ...1 - 9

' x-akselin valinta : Nox = x-nro
'-----
'
If (frmMain.btnRTI.Value = True) Then
    Nox = 1
    ElseIf (frmMain.btnY.Value = True) Then
        Nox = 2
        ElseIf (frmMain.btnC.Value = True) Then
            Nox = 3
            ElseIf (frmMain.btnKasvu.Value = True) Then
                Nox = 4
                ElseIf (frmMain.btnR.Value = True) Then
                    Nox = 5
                    ElseIf (frmMain.btnQ.Value = True) Then
                        Nox = 6
                        ElseIf (frmMain.btnH.Value = True) Then
                            Nox = 7
                            ElseIf (frmMain.btnTcr.Value = True) Then
                                Nox = 8
                                ElseIf (frmMain.btnT0.Value = True) Then
                                    Nox = 9
End If

' Parametrin valinta Noy-nro Parameter
'-----
If (frmMain.btnParRTI.Value = True) Then

```

```

NoxPar = 1
ElseIf (frmMain.btnParY.Value = True) Then
NoxPar = 2
ElseIf (frmMain.btnParC.Value = True) Then
NoxPar = 3
ElseIf (frmMain.btnParKasvu.Value = True) Then
NoxPar = 4
ElseIf (frmMain.btnParR.Value = True) Then
NoxPar = 5
ElseIf (frmMain.btnParQ.Value = True) Then
NoxPar = 6
ElseIf (frmMain.btnParH.Value = True) Then
NoxPar = 7
ElseIf (frmMain.btnParTcr.Value = True) Then
NoxPar = 8
ElseIf (frmMain.btnParT0.Value = True) Then
NoxPar = 9
End If

' All) - Case nro All: Case-nro ALL for the moment For RTI only
' *****
' case x --> Nox
' parameter = NoxPar
' -----

' OBS! Tämä IF poistuu, sillä Parametrit voivat olla kaikki
'
If (frmMain.btnParRTI.Value = True) Then

Unload frmCurvAll      ' päivittää kuvat Unloading kautta

' muuttujien lataus:
' -----
xQ = Q1
xC = C1
xY = Y1
xKasvu = Kasvu1
xR = R1
xTcr = Tcr1
xT0 = T01
xH = H1
xRTI = RTI1

NParameter = (VarData(NoxPar, 2) - VarData(NoxPar, 1)) / VarData(NoxPar, 3) + 1
NParameter = Int(NParameter)
Nx = (VarData(Nox, 2) - VarData(Nox, 1)) / VarData(Nox, 3) + 1
Nx = Int(Nx)

' jos Nx > MNPAR ==> ei hyväksytä (taulukon maximikoko ylitetty:
If (Nx > MNPAR - 1) Or (NParameter > MNpoint - 1) Then
Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.

```

```

MsgBox (" Nx > MNPAr: Suurena askel/pienennä ylaraja")
' Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
Exit Sub
End If

' valiaikaista
' MsgBox " NoxPar =" & Str$(NoxPar) & " NPar=" & Str$(NParameter)
' MsgBox " Nox =" & Str$(Nox) & " Nx=" & Str$(Nx)

' Loop over x- and parameters
'-----

For JPar = 1 To NParameter
ix_ok = 0
xRTI = RTI1 + (JPar - 1) * DRTI

For Ix = 1 To Nx
Select Case Nox
Case 1      ' x - RTI
Exit Sub
Case 2      ' x - Y
xY = Y1 + (Ix - 1) * DY
xx = xY
Case 3      ' x - C
xC = C1 + (Ix - 1) * DC
xx = xC
Case 4      ' x - KasvuTekija
xKasvu = Kasvu1 + (JPar - 1) * DKasvu
yy = xKasvu
' Exit Sub
Case 5      ' x - R
xR = R1 + (Ix - 1) * DR
xx = xR
Case 6      ' x - Q
xQ = Q1 + (Ix - 1) * DQ
xx = xQ
Case 7      ' x - H
xH = H1 + (Ix - 1) * DH
xx = xH
Case 8      ' x - Tcr
xTcr = Tcr1 + (Ix - 1) * DTcr
xx = xTcr
Case 9      ' x - T0
xT0 = T01 + (Ix - 1) * DT0
xx = xT0
Case Else   ' No coice done!
MsgBox "Nothing To Do!"
Exit Sub
End Select

' MsgBox "IJ = " & Str$(Ix) & " ... " & Str$(JPar)
' MsgBox "xH = " & Str$(xH)

```

```
If (frmMain.optHRRt2.Value = True) Then
    TimeCrit = tcrFunQct2(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
ElseIf (frmMain.optHRRConst.Value = True) Then
    TimeCrit = tcrFunC(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
ElseIf (frmMain.optHRRArbit.Value = True) Then
    TimeCrit = tcrFunQ(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
End If
```

```
If (TimeCrit >= 0) And (TimeCrit <= tcrInfinity) Then
    ix_ok = ix_ok + 1
    tcrTable(ix_ok, JPar) = TimeCrit ' tånnekin Case 1...9 --> xH <<-
    X(ix_ok, JPar) = xx
    H(ix_ok) = xx
Else
    ix_ok = ix_ok + 1
    tcrTable(ix_ok, JPar) = tcrInfinity ' = 1260 ' jos timeCrit ei löydy (siis = infinity := 1260)
    X(ix_ok, JPar) = xx
    H(ix_ok) = xx
End If
```

Next Ix

NOP(JPar) = ix_ok ' number of points in the curve number JRTI

Next JPar

' tcrFun(), returns the reaction time TimeCrit

' END_Loop over x- and parameters

' KÄYRIEN PIIIRTO

Load frmCurvAll

frmCurvAll.Show

Par1 = VarData(NoxPar, 1)

Par2 = VarData(NoxPar, 2)

Par3 = VarData(NoxPar, 3)

frmCurvAll.lblLegend.Caption = txtLegend(NoxPar) & Str\$(Par1) & " ... " & Str\$(Par2) & " " & Str\$(Par3) & " vä-
lein"

xData\$ = ""

For IxData = 1 To NVar

 If (IxData <> NoxPar) Then

 xData\$ = xData\$ & Str\$(VarData(IxData, 1))

 End If

Next IxData

End If

```

' BEGIN:_LOOP_ FOR _ ALL _ Parameters
'-----
' 2-All) - Case nro All: Case-nro ALL for ALL Parameters
' *****
' case x --> Nox
' parameter = NoxPar
'-----

If (frmMain.btnParRTI.Value = False) Then

Unload frmCurvAll      ' päivittää kuvat Unloading kautta

' muuttujien lataus:
'-----
xQ = Q1
xC = C1
xY = Y1
xKasvu = Kasvu1
xR = R1
xTcr = Tcr1
xT0 = T01
xH = H1
xRTI = RTI1

NParameter = (VarData(NoxPar, 2) - VarData(NoxPar, 1)) / VarData(NoxPar, 3) + 1
NParameter = Int(NParameter)
Nx = (VarData(Nox, 2) - VarData(Nox, 1)) / VarData(Nox, 3) + 1
Nx = Int(Nx)

' jos Nx > MNPAR ==> ei hyväksytä (taulukon maximikoko ylitetty:
If (Nx > MNPAR - 1) Or (NParameter > MNpoint - 1) Then
Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
MsgBox (" Nx > MNPAR: Suurena askel/pienennä ylaraja")
' Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.
Exit Sub
End If

' valiaikaista
' MsgBox " NoxPar =" & Str$(NoxPar) & " NPar=" & Str$(NParameter)
' MsgBox " Nox =" & Str$(Nox) & " Nx=" & Str$(Nx)

' Loop The Parameters
'-----
For JPar = 1 To NParameter
ix_ok = 0
'%% xRTI = RTI1 + (JPar - 1) * DRTI

Select Case NoxPar
Case 1      ' Par - RTI
xRTI = RTI1 + (JPar - 1) * DRTI
yy = xRTI

```

```

Case 2      ' Par - Y
  xY = Y1 + (JPar - 1) * DY
  yy = xY
Case 3      ' Par - C
  xC = C1 + (JPar - 1) * DC
  yy = xC
Case 4      ' Par - KasvuTekija
  xKasvu = Kasvu1 + (JPar - 1) * DKasvu
  yy = xKasvu
'Exit Sub
Case 5      ' Par - R
  xR = R1 + (JPar - 1) * DR
  yy = xR
Case 6      ' Par - Q
  xQ = Q1 + (JPar - 1) * DQ
  yy = xQ
Case 7      ' Par - H
  xH = H1 + (JPar - 1) * DH
  yy = xH
Case 8      ' Par - Tcr
  xTcr = Tcr1 + (JPar - 1) * DTcr
  yy = xTcr
Case 9      ' Par - T0
  xT0 = T01 + (JPar - 1) * DT0
  yy = xT0
Case Else   ' No coice done!
  MsgBox "Nothing To Do!"
  Exit Sub
End Select

```

```

' Loop over the x-axes
'-----
For Ix = 1 To Nx
  Select Case Nox
    Case 1      ' x - RTI
      xRTI = RTI1 + (Ix - 1) * DRTI
      xx = xRTI
    Case 2      ' x - Y
      xY = Y1 + (Ix - 1) * DY
      xx = xY
    Case 3      ' x - C
      xC = C1 + (Ix - 1) * DC
      xx = xC
    Case 4      ' x - KasvuTekija
      Exit Sub
    Case 5      ' x - R
      xR = R1 + (Ix - 1) * DR
      xx = xR
    Case 6      ' x - Q
      xQ = Q1 + (Ix - 1) * DQ
      xx = xQ
    Case 7      ' x - H

```

```

    xH = H1 + (Ix - 1) * DH
    xx = xH
Case 8      ' x - Tcr
    xTcr = Tcr1 + (Ix - 1) * DTcr
    xx = xTcr
Case 9      ' x - T0
    xT0 = T01 + (Ix - 1) * DT0
    xx = xT0
Case Else  ' No coice done!
    MsgBox "Nothing To Do!"
    Exit Sub
End Select

' MsgBox "IJ = " & Str$(Ix) & "    ... " & Str$(JPar)
' MsgBox "xH = " & Str$(xH)

```

```

If (frmMain.optHRRt2.Value = True) Then
    TimeCrit = tcrFunQct2(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
ElseIf (frmMain.optHRRConst.Value = True) Then
    TimeCrit = tcrFunC(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
ElseIf (frmMain.optHRRArbit.Value = True) Then
    TimeCrit = tcrFunQ(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
End If

```

```

If (TimeCrit >= 0) And (TimeCrit <= tcrInfinity) Then
    ix_ok = ix_ok + 1
    tcrTable(ix_ok, JPar) = TimeCrit ' tannekin Case 1...9 --> xH <<-
    X(ix_ok, JPar) = xx
    H(ix_ok) = xx

'
' ElseIf (ix_ok > 1) Then
'     ix_ok = ix_ok + 1
'     tcrTable(ix_ok, JPar) = tcrTable(ix_ok - 1, JPar) ' jos tcr < 0 then out of region of definition
'     X(ix_ok, JPar) = X(ix_ok - 1, JPar)
'     H(ix_ok) = xx
'     ' AAA_end lisays
'
' Else
'     ix_ok = ix_ok + 1
'     tcrTable(ix_ok, JPar) = tcrTable(ix_ok - 1, JPar) ' jos tcr < 0 then out of region of definition
'     X(ix_ok, JPar) = X(ix_ok - 1, JPar)
'     H(ix_ok) = xx
'
Else
    ix_ok = ix_ok + 1
    tcrTable(ix_ok, JPar) = tcrInfinity ' =1260 ' jos timeCrit ei löydy (siis = infinity := 1260 s)
    X(ix_ok, JPar) = xx
    H(ix_ok) = xx

End If

Next Ix
NOP(JPar) = ix_ok ' number of points in the curve number JRTI
Next JPar

' tcrFun(), returns the reaction time TimeCrit

```



```

'-----
' END_Loop over x- and parameters
'-----

' KÄYRIEN PIIRTO
'-----

Load frmCurvAll
frmCurvAll.Show

Par1 = VarData(NoxPar, 1)
Par2 = VarData(NoxPar, 2)
Par3 = VarData(NoxPar, 3)
frmCurvAll.lblLegend.Caption = txtLegend(NoxPar) & Str$(Par1) & " ... " & Str$(Par2) & " à " & Str$(Par3) & " vä-
lein"

xData$ = ""
For IxData = 1 To NVar
  If (IxData <> NoxPar) Then
    xData$ = xData$ & Str$(VarData(IxData, 1))
  End If
Next IxData

End If
'
' END _ for _ all _ parameters
'-----

Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.

End Sub

```

Toiminta-ajan laskenta tapahtuu alla olevassa funktiolla **tcrFunQ()**:

```
Function tcrFunQ(xRTI, xC, xH, xY, xKasvu, xQ, xR, xTcr, xT0)
```

```

'-----
' By Djebar Baroudi , 1997
' laskee criittiset ajat th = f(.....)
'
' ILMAISIN MALLI kts. VTT-julkaisu nro 1036 (tiedotteita), v. 1989
'-----
'
' INPUT:
'-----
' t = time (vector (t0,t1,...,tN))

```

```

'% RTI = Response Time I?? (= 30 - 400)
'% C = (= 0.1)
'% H = katon korkeus (heat sourcein et,isyys katosta)
'% r = radiaaliet,isyys (heat sourceista - ilmaismeen)
'% Y = al = ilmaisimen et,isyys katosta
'% Q = teho (in kW)
'% T0 = alkul,mp"tila
'% CT = const. (= 2.75 )
'% CU = const. (= 0.179)
'%
'% OUTPUT
'%-----
'% taul = taul (aikavakio nro 1)
'% taul = tau2 (aikavakio nro 2)
'% rH = r/H
'% Te = vector : ilmaisin l,mp"tilat (T1, T2, ..., TN)
'% Tg = kaasun l,mp"tilat (max.)
'% Ug = virtaus nopeus (max)
'% Tg = kaasun l,mp"tilat (rajakeroksessa) at Y/Y0 katosta
'% Ug = virtaus nopeus (rajakeroksessa)at Y/Y0 katosta
'%-----
'% function [tcr,taul,tau2,Y0,Te,Tgas,Ugas]= tcrfunQ(RTI,C,H,r,Y,Q,T0,Tcr)
'%-----
'%
'%-----

' Screen.MousePointer = 11 ' Change pointer to hourglass.
' Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.

'*****'
' Poistetaan : TESTAUS Q(t):n anto-generointi
' Begin

For ITimes = 1 To NTimes
    tQ(ITimes) = Times(ITimes)
    QRHR(ITimes) = RHR(ITimes)
    If (QRHR(ITimes) <= 0) Then
        QRHR(ITimes) = eps
        RHR(ITimes) = eps
    End If
Next ITimes

' poista---begin--- interpolate rhr
' interpolate from RHR-arbitrary at 2 s välein anyway.
'-----
TimeMax = Times(NTimesOld) - Times(1)
' DTime = 2
DTime = Val(frmMain.txtDTime.Text)
NInterpol = TimeMax / DTime ' Dt = 2 s
aika = 0
tQ(1) = Times(1)

```

```

QRHR(1) = RHR(1) + eps
For iii = 2 To NInterpol - 1
    aika = aika + DTime
    tQ(iii) = aika
    QRHR(iii) = InterPolate(NTimes, aika)
Next iii
NTimes = NInterpol

' poista-end-interpolate rhr

' End_Generoiti_Q(t)
'*****'

'% Case Q:= Q(t)= [Q(t1) Q(t2) ... Q(tNTimes)]'
'%-----'
'% Tg = kaasun lämpötila,'
'% Ug = virtausnopeus
'%-----'
CT = 2.75
CU = .179

Y0 = .023 * xH * ((xR / xH) ^ .9)
rH = xR / xH

If (rH > 8) Or (rH <= 0) Then
'%-----'
'% p,tevyysalue 0 < r/H < 8 Tg:lle ja
'% p,tevyysalue 0.4 < r/H < 8 Ug:lle
'% tullaan routiinista ulos tekem,tt, mit,,n jos ollan p,tevyysalueen ulkopuolella
'%-----'
'%

' message etta pätevyys alue on ylitetty

MsgBox " Message from Function tcrFunQ : Pätevyysalueen ulkopuolella!: 0 < r/H < 8 "
tcrFunQ = -987654321
Exit Function

End If

' ----- Alkaa :alue r/H < 0.2 (mutta > 0)
' IF r/H < 0.2 == > Tgas = max Tg and Ugas = max. MKO:n VTT-julkaisu s. 15 ja 16
' nämä hommat on huomioitu alla, jossa lasketaan Tg:n ja Ug:n maximiarvoja.
'----- End_huomautus

'%
'% maximiarvoja : Tg ja Ug
'%-----'
TeQ(1) = xT0

```

```

For ITimes = 1 To NTimes
    xQ = QRHR(ITimes) + eps
    TgQ(ITimes) = CT * ((.188 + .313 * rH) ^ (-4 / 3)) * (xQ ^ (2 / 3)) * (xH ^ (-5 / 3)) + xT0
    UgQ(ITimes) = CU * ((rH) ^ (-.63)) * ((.188 + .313 * rH) ^ (-2 / 3))
    UgQ(ITimes) = UgQ(ITimes) * (xQ ^ (1 / 3)) * (xH ^ (-1 / 3))

    TgasQ(ITimes) = TgQ(ITimes)
    UgasQ(ITimes) = UgQ(ITimes)

'%'
'%'   arvoja rajakerroksessa (katonrajalla , b = boundary layer) : Tgb ja Ugb
'%'-----

If (rH >= .2) Then
    If (xY / Y0) > 1 Then
        Hcos = (Exp(.263 * (xY / Y0 - 1)) + Exp(-(.263 * (xY / Y0 - 1)))) / 2
        UgbQ = UgQ(ITimes) / ((Hcos) ^ 2)
        TgbQ = xT0 + (TgQ(ITimes) - xT0) * UgbQ / UgQ(ITimes)
        UgasQ(ITimes) = UgbQ
        TgasQ(ITimes) = TgbQ
    Else
        UgbQ = UgQ(ITimes) * (8 / 7) * ((xY / Y0) ^ (1 / 7)) * (1 - xY / (Y0 * 8))
        TgbQ = TgQ(ITimes)
        UgasQ(ITimes) = UgbQ
        TgasQ(ITimes) = TgbQ
    End If
End If

Next ITimes

For It = 2 To NTimes
'%'   time constants and trapezoidal integ. rule (A-stable)
'%'-----
    tau1Q(It) = xRTI / ((UgasQ(It)) ^ .5)
    tau2Q(It) = tau1Q(It) * (1 / (xC + eps)) * ((UgasQ(It)) ^ .5)

    If (tau1Q(It - 1) > 0) And (tau2Q(It - 1) > 0) Then
        Dt = tQ(It) - tQ(It - 1)
        alpha = 1 - .5 * (1 / tau1Q(It - 1)) * (1 + tau1Q(It - 1) / tau2Q(It - 1)) * Dt
        beta = 1 + .5 * (1 / tau1Q(It)) * (1 + tau1Q(It) / tau2Q(It)) * Dt
        gamma = .5 * (1 / tau2Q(It) + 1 / tau2Q(It - 1)) * Dt
        delta = .5 * (TgasQ(It) / tau1Q(It) + TgasQ(It - 1) / tau1Q(It - 1)) * Dt
        TeQ(It) = (alpha / beta) * TeQ(It - 1) + xT0 * gamma / beta + delta / beta
    Else
        TeQ(It) = xT0
    End If

Next It

'%'   Kutsutaan interplo() funktiota----> tcrQ <---

```

```

'*****
XXXX = xTcr
K = -1
NDOM = NTimes - 1

For IDOM = 1 To NDOM
  X1 = TeQ(IDOM)
  X2 = TeQ(IDOM + 1)
  If ((XXXX >= X1) And (XXXX < X2)) Then
    K = IDOM
  End If
Next IDOM

' NOT FOUND
'-----
If (K = -1) Then
  tcrFunQ = -123456789
Else
  I = K
  J = I + 1

  X2 = TeQ(J)
  X1 = TeQ(I)

  F2 = tQ(J)
  F1 = tQ(I)

  DFXIJ = (F2 - F1) / (X2 - X1)
  FX = DFXIJ * (XXXX - X1) + F1

' END_of_INTERPOL.FOR
'*****
  tcrFunQ = FX
End If

' MsgBox " tcrQ=" & Str$(FX)

' Screen.MousePointer = 11 ' Change pointer to hourglass.
' Screen.MousePointer = 0 ' Return pointer to normal.

End Function

```