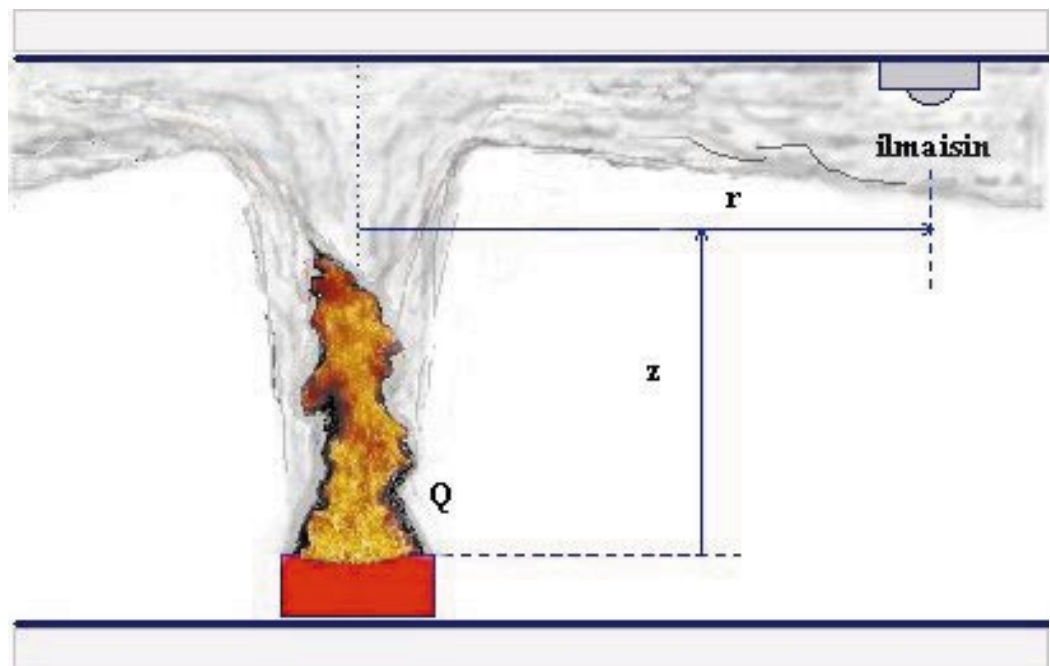


Djebar Baroudi, Matti Kokkala & Henry Weckman

Savuilmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S



Savuilmaisimien toiminta- aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S

Djebar Baroudi, Matti Kokkala & Henry Weckman
VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5620-8 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5621-6 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

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

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1999

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 1999

Baroudi, Djebar, Kokkala, Matti & Weckman, Henry. Savuilmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S [Estimating response times of smoke detectors using the computer program PALDET 2.1S]. Espoo 1999, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2005. 37 s. + liitt. 1 s.

Avainsanat smoke detectors, fire protection, response time, computer programs, software, estimating, models, operating time, temperature, flow rate, PALDET

Tiivistelmä

Paldet 2.1S on ohjelma savuilmaisimien toiminta-aikojen arvioimiseksi. Ohjelma käyttää Alperin kehittämää kattosuihkumallia lisättyä Cooperin rajakerrosmallilla. Ilmaisimen vastetta kuvataan savun tiheyden kynnyksarvon sekä ilmaisimen karakteristisen pituuden ja savuisuusindeksin 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 ainoastaan muutamilla erilaisilla laitekoonpanoilla. Esiteltävässä versiossa ei ole automaattista skaalausta näytön koon mukaan.

Ohjelman oikeudet omistaa VTT Rakennustekniikka. Ohjelmaa kehitetään jatkuvasti ja uusia korjausversioita julkaistaan tarvittaessa. Laskentamallin pätevyysalue on rajoitettu. Käyttäjän vastuulla on tapauskohtaisesti arvioida, ovatko saadut tulokset realistisia ja soveltuuko laskentamalli tarkasteltavaan tapaukseen.

Baroudi, Djebar, Kokkala, Matti & Weckman, Henry. Savuilmäsimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S [Estimating response times of smoke detectors using the computer program PALDET 2.1S]. Espoo 1999, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2005. 37 p. + app. 1 p.

Keywords smoke detectors, fire protection, response time, computer programs, software, estimating, models, operating time, temperature, flow rate, PALDET

Abstract

The program **Paldet 2.1S** is a program for estimating the response time of smoke 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 threshold smoke density and the characteristic length of the detector and the smokiness parameter.

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.

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 from case to case 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
- Baroudi, D., Kokkala, M. & Weckman, H. Lämpöilmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. 34 s. + liitt. 19 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1922.) ISBN 951-38-5328-4
- Keski-Rahkonen, O. & Björkman, J. Palotilastoja Suomesta ja ulkomailta toiminnallisten palosäädösten perusteiksi. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1999. 56 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1990.) ISBN 951-38-5497-3

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

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Symboliluettelo	9
1. Johdanto	11
2. Ohjelman teoreettinen tausta	13
2.1 Ilmaisimen vasteen malli (savuilmaisimalli)	13
2.2 Paloskenaario	15
2.2.1 Lämpötila ja virtausnopeus vapaan pistelähteen yläpuolella	15
2.2.2 Lämpötilan ja virtausnopeuden maksimiarvot katonalusvirtauksessa	16
2.2.3 Lämpötilan ja virtausnopeuden jakautumat katonalusvirtauksessa	17
2.3 Toiminta-aikojen laskenta	18
3. PALDET 2.1S -ohjelma	20
3.1 Ohjelman asennus	20
3.2 Ohjelman käynnistys	21
3.3 Ohjelman näytön valikot ja painikkeet	23
3.4 Ohjelman lähtötietojen syöttäminen	25
3.4.1 Palotehokäyrä	25
3.4.2 Muuttuja (x-akseli)	27
3.4.3 Parametri	29
3.5 Ilmaisimen toiminta-ajan laskeminen	30
3.6 Ohjelman rajoitukset ja käyttöehdot	31
4. Laskentaesimerkkejä	33
5. Yhteenveto	35
Lähdeluettelo	36

Liite A: Lämpöilmaisinohjelmaan PALDET 2.1T tehdyt muutokset

Symboliluettelo

c_p	ominaislämpökapasiteetti [J/kg K]
d	valonsäteen savussa kulkema matka [m]
c_T	kerroin yhtälössä (5), $2,75 \text{ °C kW}^{-2/3} \text{ m}^{5/3}$
c_U	kerroin yhtälössä (5), $0,179 \text{ m}^{4/3} \text{ kW}^{2/3}$
g	maan vetovoiman kiihtyvyys, $9,81 \text{ m/s}^2$
H	kattokorkeus [m]
m	optinen savuntiheys [dB/m]
m_{in}	savuntiheys ilmaisimen anturiosassa [dB/m]
m_{out}	savuntiheys ilmaisimen ulkopuolella [dB/m]
m_{cr}	hälytykseen tarvittava kynnyssavuntiheys [dB/m]
m_0	savuntiheyden alkuarvo [dB/m]
I	valon intensiteetti savua sisältävässä ilmassa
I_0	valon intensiteetti puhtaassa ilmassa
L	ilmaisimen karakteristinen pituus [m]
p_T	kerroin yhtälössä (4), $16,9 \text{ °C kW}^{-2/3} \text{ m}^{5/3}$
p_U	kerroin yhtälössä (4), $0,95 \text{ m}^{4/3} \text{ s}^{-1} \text{ kW}^{-1/3}$
Q	paloteho [kW]
r	horisontaalinen etäisyys palopatsaan keskiakselilta [m]
S	savuntiheyden ja lämpötilan välinen verrannollisuuskerroin (savuisuuskerroin) [dB/(m°C)]
T	lämpötila [°C]

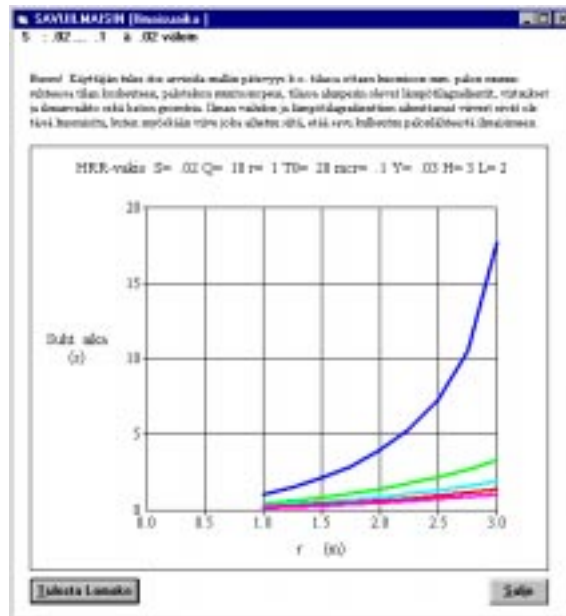
T_{cj}	lämpötila katonalusvirtauksessa [$^{\circ}\text{C}$]
T_0	ympäristön lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
T_p	lämpötila palopatsaan keskiakselilla [$^{\circ}\text{C}$]
T_{∞}	ilmaisinta ympäröivän kaasun lämpötila yhtälössä (6) [K]
t	aika [s]
t_{cr}	ilmaisimen toiminta-aika [s]
t_0	palotehon kasvuaika t^2 -tyyppisessä palossa [s]
U	maksimi virtausnopeus [m/s]
U_p	virtausnopeus palopatsaan keskiakselilla [m/s]
U_{cj}	virtausnopeus katonalusvirtauksessa [m/s]
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_{∞}	ilmaisinta ympäröivän kaasun tiheys yhtälössä (6) [kg/m^3]

1. Johdanto

VTT Rakennustekniikassa kehitetty **PALDET**-ohjelma on tarkoitettu käytettäväksi savuilmaisimien toiminta-aikojen arvioimiseksi. Ohjelman ensimmäisen versio, joka oli laadittu kokonaisuudessaan *Microsoft QuickBASIC*[®]-ohjelmointikielellä, valmistui vuonna 1989 [1]. Tässä raportissa kuvatus ohjelman kokonaan uusittu Windows-pohjainen versio 2.1S on puolestaan laadittu *Microsoft Visual Basic*[®] ja *Microsoft Fortran*[®]-ohjelmointikielillä. Ohjelma on edelleen jatkuvan kehitystyön alla ja uusia korjattuja ohjelmaversioita julkaistaan tarvittaessa.

PALDET-ohjelmasta on olemassa myös rinnakkainen lämpöilmaisimia koskeva versio, jonka uudistettu versio 2.0T valmistui vuonna 1998 [2]. Siitä on myöhemmin valmistunut päivitetty ohjelmaversio 2.1T, jonka eroavuuksia viitteessä [2] kuvattuun ohjelma-versioon 2.0T esitetään liitteessä A.

Ohjelman avulla lasketaan savuilmaisimen suhteellinen toiminta-aika halutun muuttujan funktiona. Käyttäjä voi valita parametrin, jonka valituilla arvoilla riippuvuus lasketaan. Tulos esitetään graafisena käyrästä, jonka pystyakselina on aina ilmaisisimen toiminta-aika ja vaaka-akselina käyttäjän valitsema muuttuja. Kuvassa 1 on esimerkki tapauksesta, jossa muuttujana on ilmaisisimen etäisyys palopatsaan keskiakselista r ja parametrinä savuntiheyden ja lämpötilan välistä riippuvuutta edustava savuisuuskerroin S .



Kuva 1. **PALDET 2.1S** -ohjelman laskema savuilmaisimien toiminta-ajan riippuvuus etäisyydestä r parametrin S eräillä arvoilla, esimerkki.

Ohjelman tärkein uusi ominaisuus verrattuna vuoden 1989 versioon on mahdollisuus käyttää lähtötietona mielivaltaista palotehokäyrää $Q(t)$ aikaisempien vakioehtoisten 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 (savuilmaisimimalli)

Savuilmaisimilla hälytyksen herätteenä on ympäristössä vallitseva savuntiheys. Savun tiheyttä kuvaava suure on optinen savuntiheys m , joka määritellään yhtälöllä

$$m = \frac{10}{d} \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right), \quad (1)$$

missä d on valonsäteen savussa kulkema matka, I_0 valon intensiteetti puhtaassa ilmassa ja I savun läpi kulkeneen valon intensiteetti. Optinen savuntiheys m on suoraan verrannollinen savuhiukkasten lukumäärätiheyteen [kpl/m³] ja hiukkasten vaimennusalaan, joka puolestaan on likimain verrannollinen hiukkasten läpimitan neliöön.

PALDET 2.1S -ohjelman fysikaalisissa mallissa tarkastellaan **optisen savuilmaisimen** anturiosan vastetta savukaasuvirrassa. Mallissa tehdään mm. seuraavat oletukset [3]:

1. Savun hiukkastuotto (kpl/s) ja palotehon suhde ovat ajasta riippumattomia.
2. Lämpöhäviöt konvektiivisesta virtauksesta ympäristöön ovat häviävän pieniä.
3. Savuhiukkaset eivät koaguloidu.

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

Savuilmaisimen vastetta savua sisältävässä kaasuvirrassa voidaan kuvata seuraavalla 1. kertaluvun differentiaaliyhtälöllä [3]

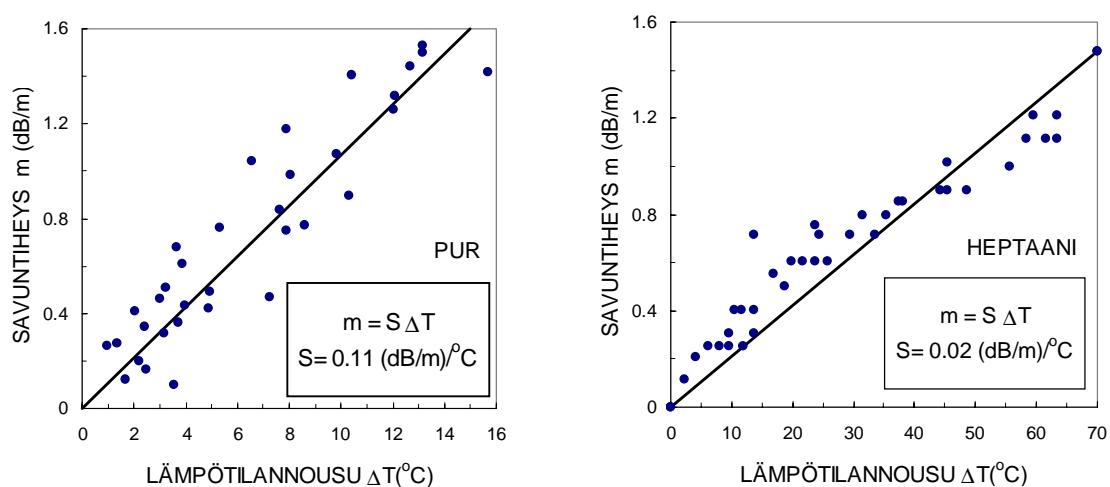
$$\frac{dm_{in}}{dt} = \left(\frac{U_{cj}}{L} \right) (m_{out} - m_{in}). \quad (2)$$

Yhtälössä m_{in} on savuntiheys ilmaisimen anturiosassa, m_{out} on savuntiheys ilmaisimen ulkopuolella, U_{cj} on ilmaisinta ympäröivän kaasuvirtauksen nopeus ja L ilmaisimen karakteristinen pituus. Karakteristinen pituus on laitevakio, johon vaikuttaa savun polku ilmaisimen anturiin. Karakteristinen pituus ei välttämättä riipu ilmaisimen fyysisistä mitoista. Suure L/U_{cj} on myös ilmaisimen aikavakio.

Alussa mainituista oletuksista seuraa, että savuntiheys on suoraan verrannollinen lämpötilannousuun, mikä voidaan ilmaista yhtälöllä

$$m_{out} = S(T_{cj} - T_0). \quad (3)$$

Tässä yhtälössä T_{cj} on ilmaisinta ympäröivän kaasuvirtauksen lämpötila ja T_0 alkulämpötila. Verrannollisuuskerroin S on kokeellisesti määritettävissä oleva ns. savuisuuskerroin, joka riippuu mm. palavasta aineesta, hapensaannista ja palavan aineen ja ilman ekvivalenssisuhteesta. VTT:llä tehdyissä standardin SFS 5179 [4] mukaisissa mittauksissa on todettu, että polyuretaanipalolla (standardin mukainen testipalo TF 4) tekijä S on 0,11 dB/(m°C) ja heptaanipalolla (testipalo TF 5) vastaavasti 0,02 dB/(m°C) [5]. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Savuntiheyden ja lämpötilannousun välinen riippuvuus täysmittaisessa savuilmaisintestissä, kun palavana aineena on polyuretaania (vasemmanpuoleinen kuva) ja heptaania (oikeanpuoleinen kuva) [5].

Hälytykseen vaadittava optinen savuntiheys ilmaisimen anturissa saattaa riippua savun laadusta. Yksinkertaisuuden vuoksi oletetaan kuitenkin, että kullekin ilmaisimelle voidaan määrittää yksikäsitteinen kynnyssavuntiheys $m_{in} = m_{cr}$, joka riittää aiheuttamaan hälytyksen.

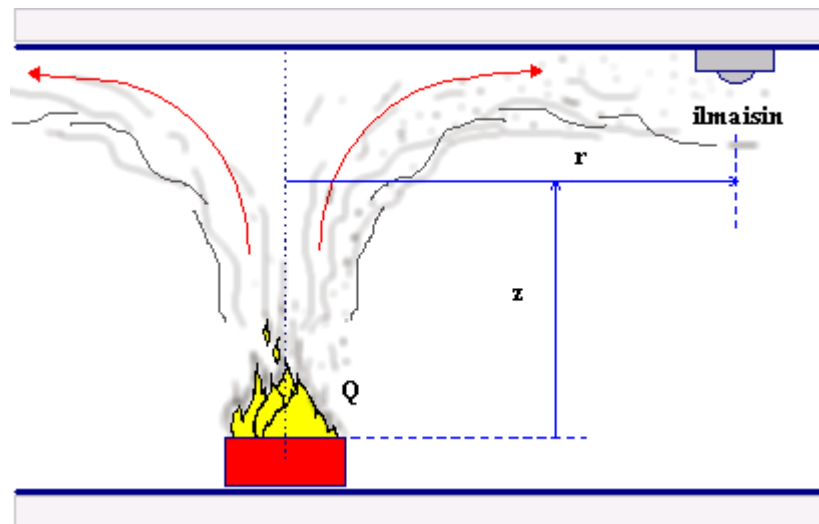
Kun otetaan huomioon edellä esitetty savuntiheyden ja lämpötilan muutoksen lineaarinen riippuvuus tietyssä pisteessä, voidaan käytännössä laskennallisesti määrittää savuilmaisimen vaste ilmaisimen ympäristön savuntiheyteen.

Optiset savuilmaisimet reagoivat yleensä savusta siroavaan valoon. Koska savuntiheys määritetään mittaamalla valon absorptiota, kynnyssavuntiheys riippuu savun tyypistä. Käytännössä tämä riippuvuus voidaan kuitenkin yleensä unohtaa. Ionisaatioilmaisimet reagoivat savuntiheyteen siten, että kriittinen suure on likimain verrannollinen hiukkasten lukumäärätiheyden ja hiukkasten läpimitan tuloon (niin sanottuun y-suureeseen). Optisesti määritetynä kynnyssavuntiheys saattaa vaihdella likimain tekijällä 10 siten, että kytevässä palossa se on suurempi ja liekehtivässä palossa pienempi. VTT:ssä mää-

ritetään paloilmaisinimen karakteristiset ominaisuudet käyttämällä aerosolia, jolle suhde m/y on likimain 1 dB/m [5]. Sovellettaessa näin saatua kriittistä savuntiheyttä ionisaation kykyyn havaita kytevä puun savua tulee kriittinen savuntiheys kertoa tekijällä, joka on liekehtivälle puulle 0,1, heptaanille 0,2, liekehtivälle polyuretaanille 0,25 ja kyteväälle puulle 1,5 [4].

2.2 Paloskenaario

Tarkastellaan kuvan 3 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 3. 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 [6, 7]:

$$T_p = p_T Q^{2/3} z^{-5/3} + T_0, \quad p_T = 16,9 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{kW}^{-2/3} \cdot \text{m}^{5/3} \quad (4)$$

$$U_p = p_U Q^{1/3} z^{-1/3}, \quad p_U = 0,95 \text{ m}^{4/3} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1/3}.$$

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.

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 [7].

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 etääntymään palopatsaan akselilta pois päin.

Maksimilämpötila T ja virtausnopeus U katon korkeuden H ja palopatsaan keskiakselilta lasketun etäisyyden r funktiona saadaan lausekkeista [8]

$$T = c_T \cdot \left(0,188 + 0,313 \frac{r}{H}\right)^{-4/3} Q^{2/3} H^{-5/3} + T_0, \quad c_T = 2,75 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{kW}^{-2/3} \cdot \text{m}^{5/3} \quad (5)$$

$$U = c_U \cdot \left(\frac{r}{H}\right)^{-0,63} \left(0,188 + 0,313 \frac{r}{H}\right)^{-2/3} Q^{1/3} H^{-1/3}, \quad c_U = 0,179 \text{ m}^{4/3} \cdot \text{kW}^{2/3}.$$

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 $0,2 < r/H < 8,0$ [7].

Edellä olevissa lausekkeissa olevat kertoimet c_T ja c_U voidaan tarvittaessa arvioida myös seuraavien lausekkeiden avulla [9] (SI-järjestelmän mukaisissa yksiköissä):

$$\tilde{c}_T = T_\infty^{1/3} (\rho_\infty c_p \sqrt{g})^{-2/3} \quad (6)$$

$$\tilde{c}_U = 0,59 \cdot (\rho_\infty c_p T_\infty)^{-1/3} g^{1/3}.$$

Yhtälöissä esiintyvät muuttujat T_∞ ja ρ_∞ ovat ympäröivän kaasun lämpötila ja tiheys kaukana ilmaisimesta. Tekijä g on maan vetovoiman kiihtyvyyks. Käyttäen esimerkiksi

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

muuttujien arvoja $T_\infty = 293$ K, $\rho_\infty = 1,204$ kg/m³, $c_p = 1\,000$ 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 mittauspisteen ja katon välinen etäisyys Y on otettu huomioon [10]. Patoalueen ulkopuolella eli, kun $r/H > 0,2$, katonalusvirtauksen virtausnopeus U_{cj} saadaan seuraavia lausekkeitä käyttäen:

$$\frac{U_{cj}}{U} = \frac{8}{7} \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/7} \left(1 - \frac{1}{8} \frac{Y}{Y_0} \right), \quad 0 \leq \frac{Y}{Y_0} \leq 1 \quad (7)$$

$$\frac{U_{cj}}{U} = \cosh^{-2} \left(0,263 \left(\frac{Y}{Y_0} - 1 \right) \right), \quad 1 < \frac{Y}{Y_0}$$

$$Y_0 = 0,023 H \left(\frac{r}{H} \right)^{0,9}.$$

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 $r/H = 0,2$ [10].

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 ilmaisimien 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

$$\frac{T_{cj} - T_0}{T - T_0} = I, \quad 0 \leq \frac{Y}{Y_0} \leq 1 \quad \text{ja} \quad (8)$$

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

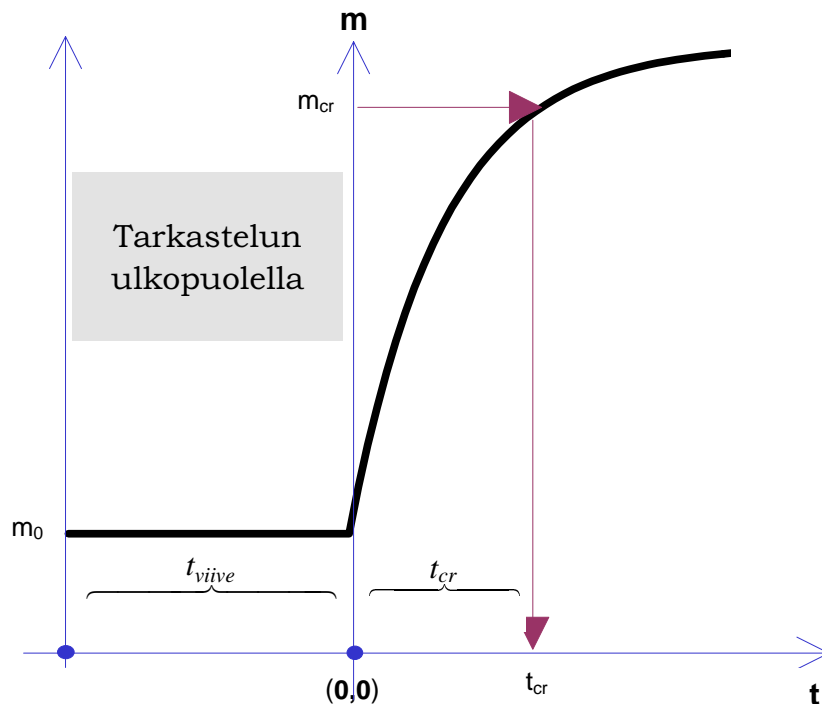
Paloalueessa $r/H < 0,2$ oletetaan, että $T = T_{\max}$ etäisyydestä Y riippumatta [10].

2.3 Toiminta-aikojen laskenta

Optisen savuilmaisimen suhteellinen toiminta-aika t_{cr} määritetään yhtälön (2) differentiaaliyhtälöstä aikana, jolloin ensimmäisen kerran pätee ehto $m_{in}(t_{cr}) = m_{cr}$, jossa m_{cr} on ilmaisimen hälytykseen tarvittava kynnyssavuntiheys.

Ratkaisemalla yhtälö eri muuttujien suhteen voidaan luoda joukko parametrisoituja käyriä $t_{cr} = t_{cr}(S, Y, L, r, Q, H, m_{cr}, m_0, T_0, t_0)$, joissa x-akseli on mikä tahansa muuttuja listasta $(S, Y, L, r, Q, H, m_{cr}, m_0, T_0, t_0)$ ja joissa parametrinä on mikä tahansa toinen edellä olevan listan muuttujista. Jäljelle jäävien muuttujien arvot kiinnitetään.

Savuilmaisimen suhteellisella toiminta-ajalla t_{cr} tarkoitetaan tässä aikaa siitä hetkestä, kun palopatsaasta nouseva savukaasu saavuttaa ilmaisimen, siihen hetkeen, kun ilmaisin antaa hälytyksen. Suhteelliseen toiminta-aikaan ei siten lueta aikaa, joka kuluu savukaasun virtaamiseen palolähteestä ilmaisimeen. Kuva 4 esittää savuntiheyden ilmaisimen anturin kohdalla ajan funktiona savukaasun kohdatessa anturin. Savuntiheys anturissa alkutilanteessa on m_0 . Anturin savuntiheyden noustessa arvoon m_{cr} ilmaisin hälyttää ajan hetkellä $t = t_{cr}$.



Kuva 4. Periaatekuva, joka esittää savuntiheyden kasvua optisen savuilmamaisimen anturissa, kun palolähteestä nouseva savukaasuvirta kohtaa anturin. Merkinnyt on selostettu tekstissä.

3. PALDET 2.1S -ohjelma

Edellä esitettyjen mallien soveltamiseksi on kehitetty MS Windows -ympäristössä toimiva *Microsoft Visual Basic*[®] ja *Microsoft Fortran*[®] -ohjelmointikielinen tietokoneohjelma **PALDET 2.1S**. Ohjelma perustuu aikaisempaan, vuonna 1989 *Microsoft Quick-BASIC*[®] -ohjelmointikielillä laadittuun ohjelmaversioon [1].

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 2.1S -ohjelman käyttö vaatii vähintään *Intel 386* -tasoisien mikrotietokoneen ja SVGA-näytön. Ohjelma toimii sekä *Microsoft Windows for Workgroups 3.11*, *Windows 95*, *Windows 98* että *Windows NT* -käyttöjärjestelmien alla. Ohjelmassa ei ole automaattista skaalausta näytön koon mukaan. Ohjelman levitysdisketti sisältää seuraavat 12 tiedostoa:

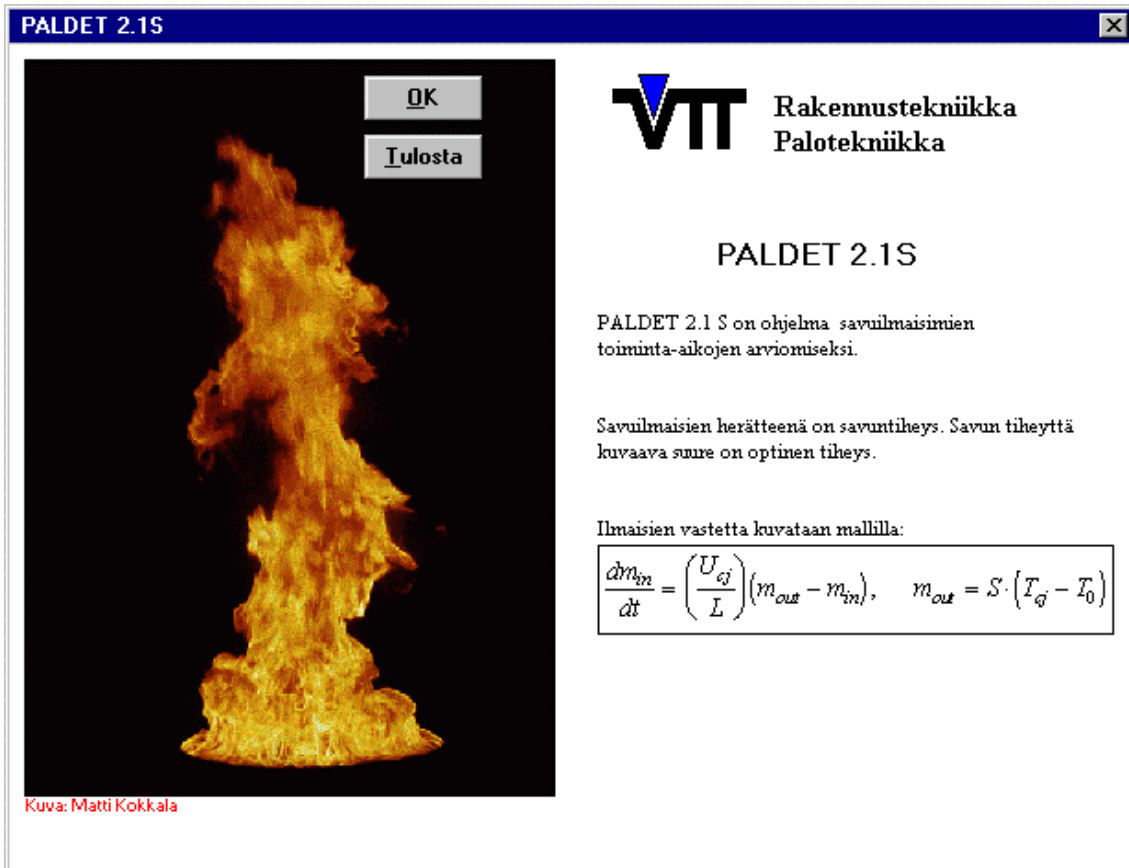
PALDET21.EXE	Pääohjelma
RHRDATIN.DLL	Aliohjelma
LIEKKI2.BMP	Alkunäytön liekinkuva
HRRCONST.DAT	Palotehokäyrien lähtötietoesimerkkejä
HRR.DAT	
HRRTYHJA.DAT	
GSW.EXE	Grafiikkakoneiston ohjelmia
GSWDLL.DLL	
GRAPH.VBX	
CMDIALOG.VBX	
THREED.VBX	
VBRUN300.DLL	

PALDET 2.1S ja **PALDET 2.1T** -ohjelmien levitysdisketit poikkeavat toisistaan ainoastaan pääohjelman osalta, muut 11 tiedostoa ovat samat molemmilla ohjelmaversioilla. Usein molemmat ohjelmat toimitetaan yhdellä levykkeellä, jolloin pääohjelmien nimen perään liitetään S- tai T-kirjain osoittamaan, kummasta versiosta on kysymys, ts. nimet ovat **PALDET21S.EXE** ja **PALDET21T.EXE**.

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

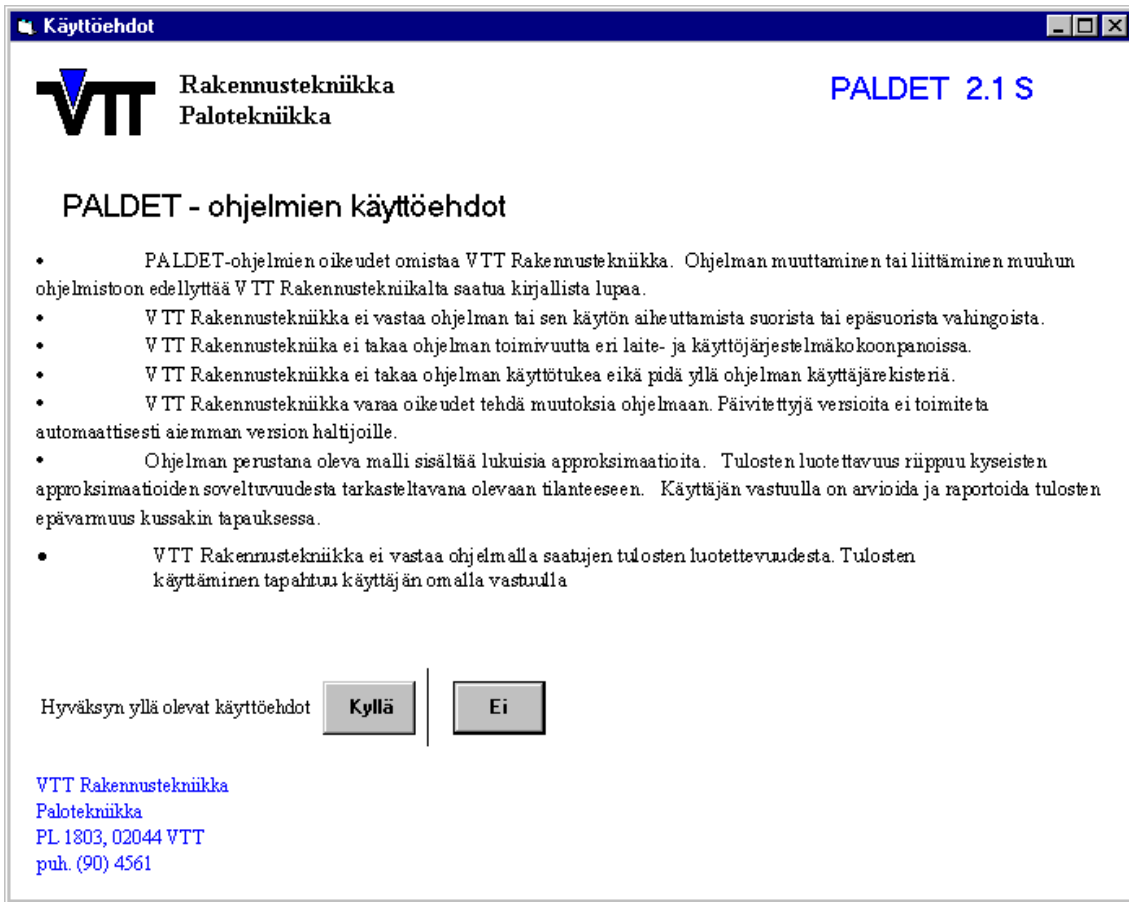
3.2 Ohjelman käynnistys

Ohjelma käynnistetään suorittamalla pääohjelma (**PALDET.EXE**). Käynnistäminen tuo näyttöön kuvan 5 mukaisen aloitusnäytön.



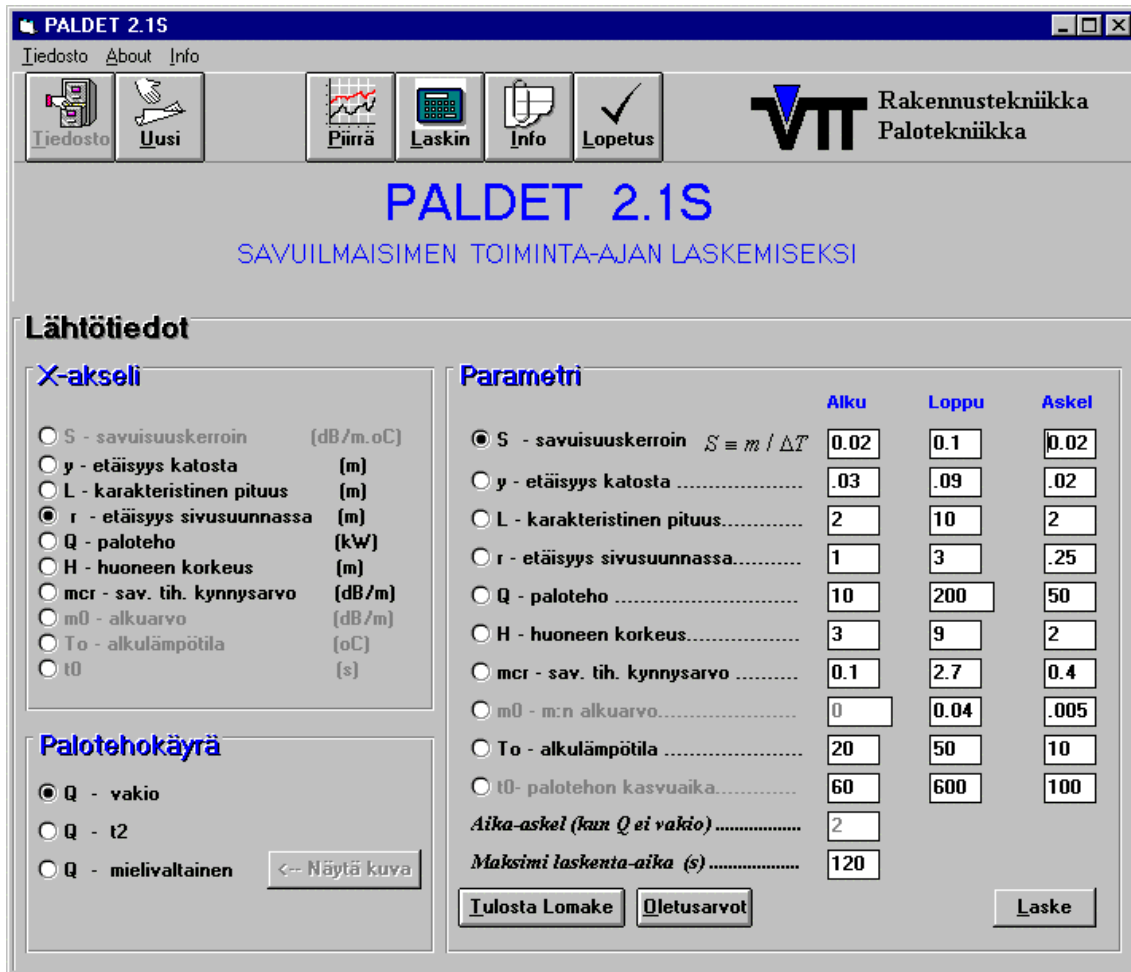
Kuva 5. *PALDET 2.1S* -ohjelman aloitusnäyttö.

Kuvan yläosassa olevan **OK**-painikkeen painaminen tuo näyttöön kuvassa 6 esitetyt ohjelman käyttöehdot, jotka esitetään myös kohdassa 3.6. Kuvan **TULOSTA**-painikkeen painallus tulostaa puolestaan tietokoneeseen liitetylle kirjoittimelle kuvassa 5 esitetyn aloitusnäytön.



Kuva 6. PALDET 2.1S -ohjelman käyttöehdot.

Kuvan 6 alaosassa esitetään kysymys, hyväksyykö käyttäjä esitetyt käyttöehdot. Kysymykseen vastataan painamalla joko **Kyllä**- tai **Ei**-painiketta. Myönteinen vastaus tuo näyttöön kuvassa 7 olevan ohjelman päänäytön. Kielteinen vastaus puolestaan lopettaa ohjelman suorituksen. Painonappien oletusarvo on **Ei**, joten pelkkä näppäimistön palautuspainikkeen (**Enter**- tai **Return**-painikkeen) painaminen tässä vaiheessa lopettaa myös ohjelman suorituksen.



Kuva 7. PALDET 2.1S -ohjelman päänäyttö.

3.3 Ohjelman näytön valikot ja painikkeet

Ohjelman toimintaa ohjataan seuraavilla, kuvassa 7 esitettyyn näyttöön kuuluvilla valikoilla ja painikkeilla:

Näytön ylälaudassa ovat seuraavat **valikot**:

Tiedosto, jossa puolestaan ovat seuraavat vaihtoehdot:

- **Hae.** Tällä tuodaan ohjelmaan (aika, paloteho)-pisteparit käytettäessä mielivaltaista palotehoa.
- **Lopeta.** Lopettaa ohjelman toiminnan.
- **Tulosta.** Tulostaa kuvan 7 mukaisen näytön.

About tuo näyttöön kuvan 5 mukaisen aloitusnäytön.

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 ovat seuraavat **painikkeet**:

- **Tiedosto**. Tällä tuodaan ohjelmaan (aika, paloteho)-pisteparit käytettäessä mieltävaltaista palotehoa (toiminta on sama kuin **Tiedosto**-valikon vaihtoehto **Hae**).
- **Uusi**. Palauttaa näyttöön lähtötietojen oletusarvot.
- **Piirrä**. Laskee savuilmasisimen 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).
- **Lopetus**. Lopettaa ohjelman toiminnan (toiminta on sama kuin **Tiedosto**-valikon vaihtoehto **Lopeta**).

Näytön alareunassa ovat vastaavasti seuraavat **painikkeet**:

- **Tulosta Lomake**. Tulostaa kuvan 7 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 savuilmaisimen toiminta-ajan halutun muuttujan ja valitun parametrin funktiona sekä esittää tuloksen näytössä graafisena käyrästönä (toiminta on sama kuin näytön yläreunassa oleva painike **Piirrä**).

3.4 Ohjelman lähtötietojen syöttäminen

Pääosa kuvan 7 esittämästä näytöstä koskee ohjelmaan syötettäviä lähtötietoja. Kuten edellä on mainittu, laskee ohjelma paloilmaisimen toiminta-ajan yhden muuttujan ja yhden parametrin funktiona. Laskennan tulos esitetään käyräparvena suorakulmaisessa koordinaatistossa, jossa pystyakselina (y-akselina) on aina savuilmaisimen 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 määritellä kolme erityyppistä paloa riippuen sen lämmönluovutusnopeuden riippuvuudesta ajasta eli palotehokäyrän muodosta.

Palon tyyppin valinta tehdään tietokoneen hiirellä painamalla kuvan 7 esittämän näytön **Palotehokäyrä**-ruudussa olevan kolmen palotyyppin edessä olevaa ympyrää. Valitun muuttujan edessä olevassa 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],
- **t²-tyyppinen palotehokäyrä**, jota voidaan yleensä käyttää rakennuspalojen kuvaamiseen. Palotehokäyrä esitetään muodossa $Q = Q_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^2$, missä Q_0 :n arvo on yleensä 1 MW [11]. Tekijä t_0 on vastaavasti palotehon kasvuaika, jonka arvo annetaan parametrin **t₀ - palotehon kasvuaika** ensimmäisenä arvona ("Alku") sekunteina [s]. Kasvuaika t_0 on toisin sanoen aika 1 000 kW:n palotehon saavuttamiseen.

Neliöllisesti kasvavalle palolle on kansainvälisesti otettu käyttöön kasvuajan mukaan neljä tyyppipaloa [11]:

hitaasti kasvava palo:	$t_0 = 600$ s
normaalisti kasvava palo:	$t_0 = 300$ s
nopeasti kasvava palo:	$t_0 = 150$ s
erittäin nopeasti kasvava palo:	$t_0 = 75$ s.

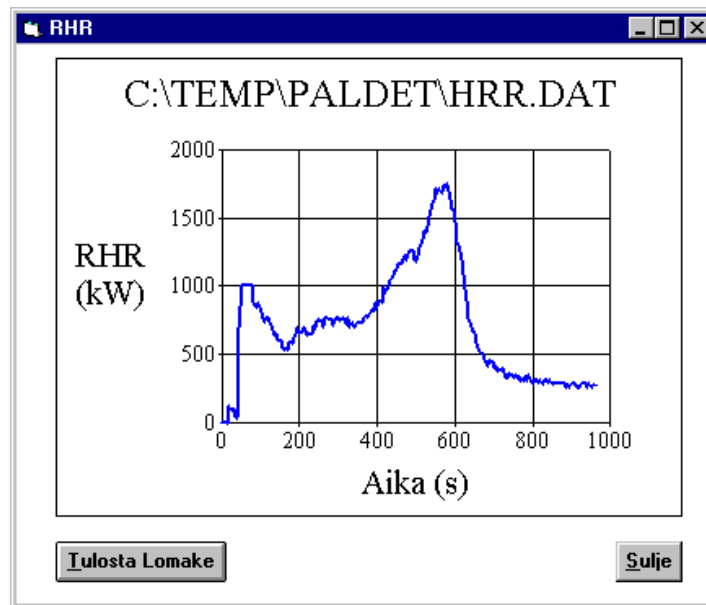
- **mielivaltainen paloteho**, joka voi olla esimerkiksi kokeellisesti määritetty. Lähtötiedot annetaan ohjelman asennushakemistossa ASCII-muotoisessa tekstitiedostossa, jonka nimen tarkentimena on aina *.dat. Tiedoston muoto on seuraava: Ensimmäinen rivi on kommenttirivi, johon voi merkitä mielivaltaista 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 lähtötietotiedoston 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
...	...

Mielivaltaisen palotehon tapauksessa voidaan palotehokäyrä esittää tietokoneen näytössä graafisessa muodossa painamalla <-- **Näytä kuva** -painiketta. Kuva 8 esittää edellä mainitun **HRR.DAT**-tiedoston sisältämän palotehokäyrän. Käyrä voidaan tarvitta-

essa tulostaa tietokoneen kirjoittimelle painamalla kuvan alareunassa olevaa **Tulosta Lomake** -painiketta. **Sulje**-painikkeen painaminen sulkee kyseisen kuvan.



Kuva 8. Esimerkki ohjelman lähtötietona annetusta mielivaltaisesta palotehokäyrästä.

3.4.2 Muuttuja (x-akseli)

Seuraavaksi valitaan muuttuja, jonka suhteen ilmaisimen toiminta-aika lasketaan. Valittavat muuttujat on koottu kuvassa 7 esitetyn näytön **x-akseli**-ruutuun. Muuttujista voidaan kerrallaan valita vain yksi. Riippuen valitusta palotehokäyrästä ja parametrinä eivät kaikki muuttujat kuitenkaan aina ole valittavissa, jolloin kyseisen muuttujan teksti näkyy vaalean harmaana. Esimerkiksi, jos parametrinä on ilmaisimen etäisyys katosta y, ei muuttujaksi voi valita samaa y-arvoa.

Muuttujan valinta tehdään tietokoneen hiirellä painamalla **x-akseli**-ruudussa olevan muuttujan edessä olevaa ympyrää. Valitun muuttujan edessä olevassa 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:

- **S** - **savuisuuskerroin** [dB/(m°C)]. Savuisuuskerroin on kokeellisesti määritettävä savuntiheyden ja lämpötilan välinen verrannollisuuskerroin, joka riippuu mm. palavasta aineesta. Laskentavälin oletusarvo on 0,02–0,1 dB/(m°C).

- **y - etäisyys katosta [m]**. Ilmaisimen anturin ja katon välinen etäisyys. Laskentavälin oletusarvo on 0,03–0,09 m.
- **L - karakteristinen pituus [m]**. Karakteristinen pituus on laitekohtainen vakio, johon vaikuttaa savun polku ilmaisimen anturiin. Arvo ei välttämättä riipu ilmaisimen fyysisistä mitoista. Laskentavälin oletusarvo on 2–10 m.
- **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 10–200 kW.
- **H - huoneen korkeus [m]**. Huonetilan korkeus, jossa ilmaisin on asennettu. Laskentavälin oletusarvo on 3–9 m.
- **m_{cr} - savuntiheyden kynnyсарvo [dB/m]**. Hälytykseen tarvittava kynnyssavuntiheys. Laskentavälin oletusarvo on 0,1–2,7 dB/m.
- **m₀ - alkuarvo [dB/m]**. Savuntiheyden alkuarvo. Laskentavälin oletusarvo on 0–0,04 dB/m.
- **T₀ - alkulämpötila [°C]**. Ympäristön lämpötila. Laskentavälin oletusarvo on 20–50 °C.
- **t₀ - (palotehon kasvuaika) [s]**. Muotoa $Q = Q_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^2$ olevan kasvavan palon kasvuaika t_0 . Neliöllisesti kasvavalle palolle on kansainvälisesti otettu käyttöön kasvuaajan mukaan neljä tyyppipaloa [11]:

hitaasti kasvava palo:	$t_0 = 600$ s
normaalisti kasvava palo:	$t_0 = 300$ s
nopeasti kasvava palo:	$t_0 = 150$ s
erittäin nopeasti kasvava palo:	$t_0 = 75$ s.

Laskentavälin oletusarvo on 60–600 s.

3.4.3 Parametri

Viimeiseksi valitaan parametri, jonka tiettyjen arvojen suhteen ilmaisimen valitusta muuttujasta riippuva toiminta-aika lasketaan. Valittavat parametrit on koottu kuvassa 7 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, tietokoneen hiirellä painamalla **Parametri**-ruudussa olevan parametrin edessä olevaa ympyrää. Valitun parametrin edessä olevassa 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 3 ja **Loppu**-arvo 9 sekä **Askel**-arvo 2, niin laskenta tehdään parametriarvoilla 3, 5, 7 ja 9.

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

Parametrien oletusarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Parametrien oletusarvot.

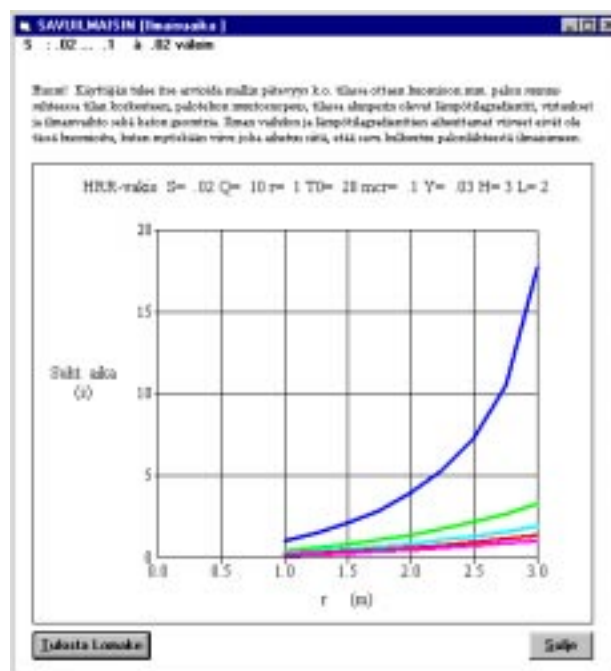
Parametri	Minimiarvo (Alku)	Maksimiarvo (Loppu)	Väli (Askel)
S - savuisuuskerroin [dB/(m°C)]	0,02	0,1	0,02
y - etäisyys katosta [m]	0,03	0,09	0,02
L - karakterist. pituus [m]	2	10	2
r - etäisyys sivusuunn. [m]	1	3	0,25
Q - paloteho [kW]	10	200	50
H - huoneen korkeus [m]	3	9	2
m_{cr} - sav.tih. kynnyks [dB/m]	0,1	2,7	0,4
m₀ - m:n alkuarvo [dB/m]	0	0,04	0,005
T₀ - alkulämpötila [°C]	20	50	10
t₀ - palotehon kasvuaika [s]	60	600	100

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 2 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 120 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 9 on esimerkki tapauksesta, jossa muuttujana on ilmaisimen vaakasuora etäisyys palopatsaan keskiakselilta r ja parametrinä savuisuuskerroin S (arvoilla 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 ja 0,1 dB/(m°C)), ts. lasketaan kuvan 7 mukainen tilanne.



Kuva 9. Esimerkki lasketusta savuilmaisimen toiminta-ajasta. Muuttujana tässä on ilmaisimen sivusuuntainen etäisyys palopatsaan keskiakselista ja parametrinä savuisuuskerroin S arvoilla 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 ja 0,1 dB/(m°C); muut tekijät ovat ohjelman oletusarvojen mukaisia.

Kuvan 9 esittämän käyrästä alareunassa olevista painikkeista **Tulosta lomake** tulostaa kuvan 9 mukaisen käyrästä kirjoittimelle ja painike **Sulje** sulkee käyrästä.

3.6 Ohjelman rajoitukset ja käyttöehdot

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 [6] liittyy lisäksi rajoituksia, jotka tulisi ottaa huomioon laskennan tuloksia arvioitaessa. Tärkeimmät rajoitukset ovat [12]:

- 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 käynnistykseen jälkeen ilmestyvät näyttöön kuvan 6 mukaiset käyttöehdot, jotka käyttäjän tulee hyväksyä painamalla **Kyllä**-painiketta ennen, kuin ohjelman suoritusta voidaan jatkaa.

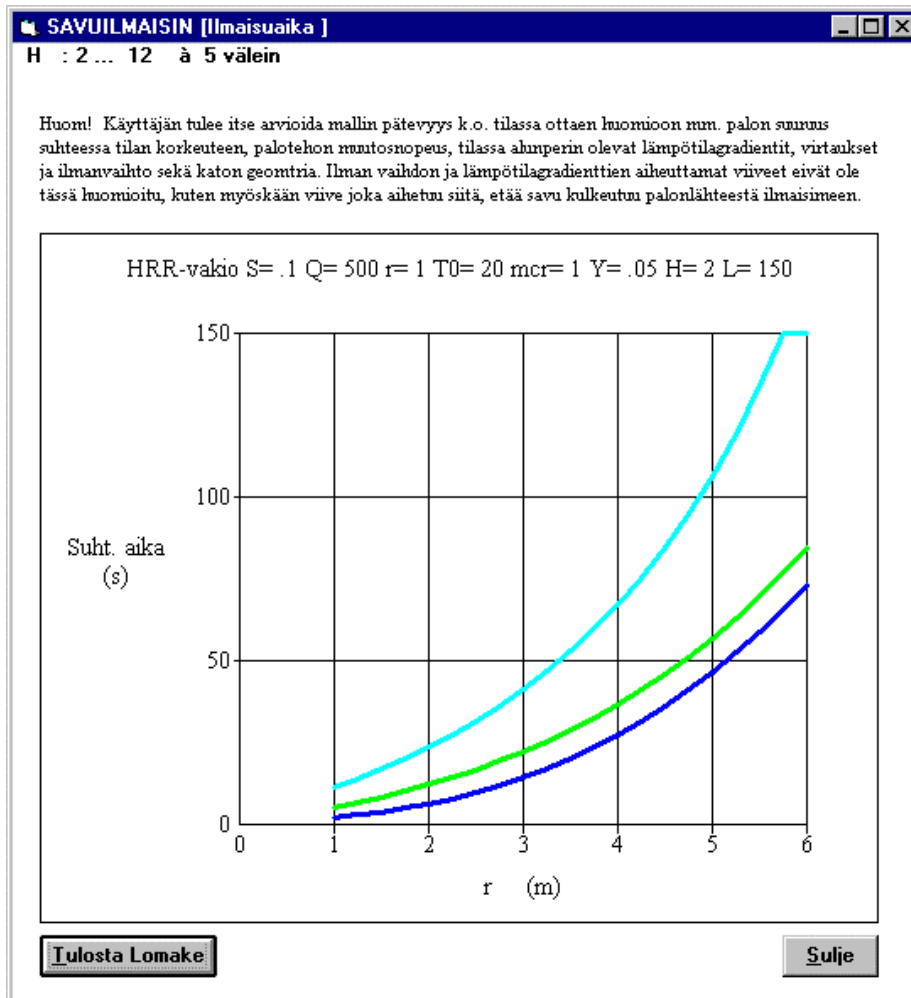
OHJELMAN KÄYTTÖEHDOT

- PALDET-ohjelmien oikeudet omistaa VTT Rakennustekniikka. Ohjelman muuttaminen tai liittäminen muuhun ohjelmistoon edellyttää VTT Rakennustekniikalta saatua kirjallista lupaa.
- VTT Rakennustekniikka ei vastaa ohjelman tai sen käytön aiheuttamista suorista tai epäsuorista vahingoista.
- VTT Rakennustekniikka ei takaa ohjelman toimivuutta eri laite- tai käyttöjärjestelmäkokoonten kanssa.
- VTT Rakennustekniikka ei takaa ohjelman käyttötukea eikä pidä yllä ohjelman käyttäjärekiä.

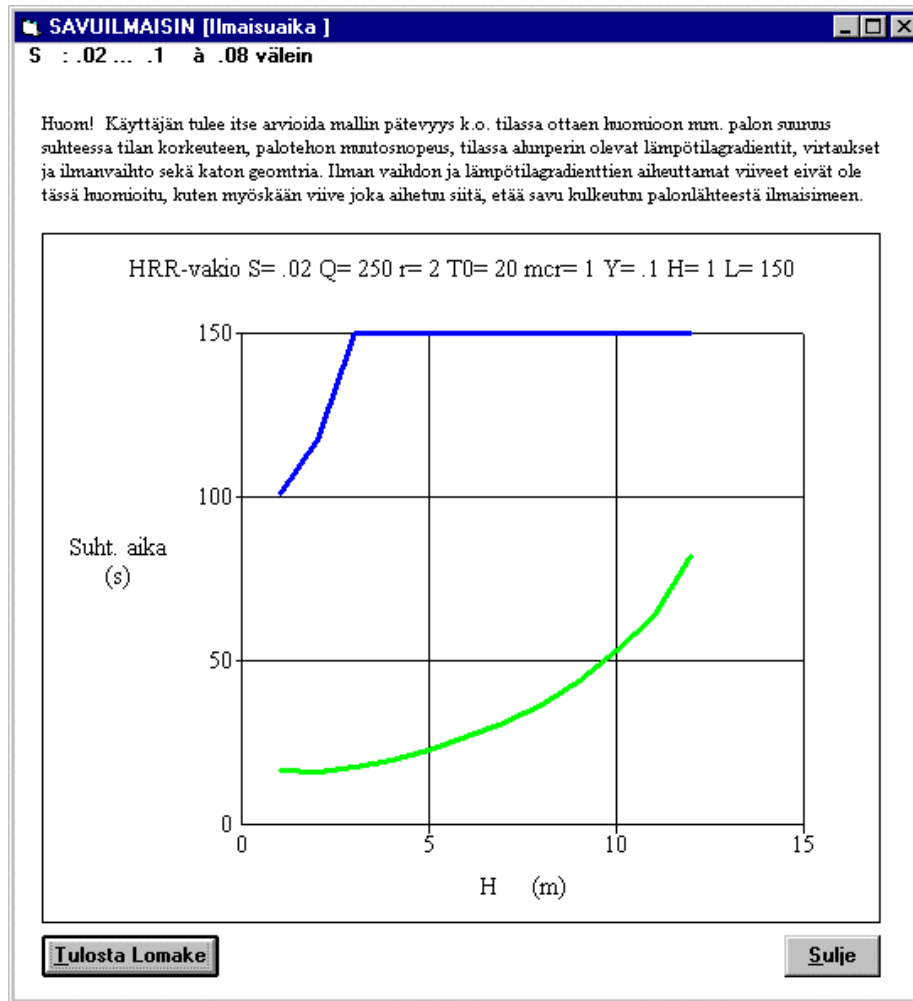
- VTT Rakennustekniikka varaa oikeudet tehdä muutoksia ohjelmaan. Päivitetyjä versioita ei toimiteta automaattisesti aiemman version haltijoille.
- Ohjelman perustana oleva malli sisältää lukuisia approksimaatioita. Tulosten luotettavuus riippuu kyseisten approksimaatioiden soveltuvuudesta tarkasteltavana olevaan tilanteeseen. Käyttäjän vastuulla on arvioida ja raportoida tulosten epävarmuus kussakin tapauksessa.
- VTT Rakennustekniikka ei vastaa ohjelmalla saatujen tulosten luotettavuudesta. Tulosten käyttäminen tapahtuu käyttäjän omalla vastuulla.

4. Laskentaesimerkkejä

Kuvissa 10 ja 11 esitetään PALDET 2.1S -ohjelmalla saadut savuilmaisimen toiminta-ajat viitteessä [1] käytetyissä esimerkkitapauksissa.



Kuva 10. Savuilmaisimen toiminta-aika sivusuuntaisen etäisyyden funktiona katon korkeuden eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 50 mm, nimellinen hälytysraja 1 dB/m, karakteristinen pituus 150 m, savuisuuskerroin 0,1 dB/(m°C) ja ympäristön lämpötila on 20 °C. Paloteho on vakio 500 kW.



Kuva 11. Savuilmalaisimen toiminta-aika katon korkeuden funktiona savuisuuskertoimen eri arvoilla, kun ilmaisimen etäisyys katosta on 100 mm, etäisyys keskiakselilta 2 m, nimellinen hälytysraja 1 dB/m, karakteristinen pituus 150 m ja ympäristön lämpötila on 20 °C. Paloteho on vakio 250 kW.

5. Yhteenveto

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

Tässä **PALDET**-ohjelman uudessa versiossa on otettu huomioon useimmat viitteessä [1] esitetyt parannusehdotukset. Malli antaa nykyisellään hyvät lähtökohdat savuilmaisimien 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 laskentamallit. 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. Baroudi, D., Kokkala, M. & Weckman, H. Lämpöilmmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. 34 s. + liitt. 19 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1922.) ISBN 951-38-5328-4. ISSN 1235-0605
3. Newman, J. S. Prediction of fire detector response. *Fire Safety Journal*, 1987. Vol. 12, s. 205-211.
4. SFS 5179:E (EN 54-9). Automaattisten paloilmmaisimien laitteet. Osa 9: Paloherkkyydesti. Helsinki; Suomen Standardisoimisliitto, 1985. 10 s.
5. Björkman, J., Baroudi, D., Latva, R. & Kokkala, M. Savunilmaisun mallintaminen. Palotutkimuksen päivät. Helsinki 25.-26.8.1999. Helsinki: Palotutkimusraati ry, 1999. 9 s.
6. Alpert, R. Calculation of response time of ceiling-mounted fire detectors. *Fire Technology*, 1972. Vol. 8, nro. 3, s. 181-195.
7. Beyler, L. Fire plumes and ceiling jets. *Fire Safety Journal*, 1986. Vol. 11, nro. 1-2, s. 53-75.
8. Heskestad, G. & Delichatsios, M. The initial convective flow in fire. *Proc. 17th International Symposium on Combustion*. Pittsburgh, PA: The Combustion Institute, 1978. S. 1113-1123.
9. Evans, D. D. Ceiling jet flows. In: DiNenno, P. E. *et al.* (eds.). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 2nd ed. Quincy, MA: National Fire Protection Association. 1995. S. 2-32-2-39. ISBN 0-87765-354-2
10. Cooper, L. Y. Estimating the environment and the response of sprinkler links in compartment fires with draft curtains and fusible link-actuated ceiling vents – Part I: Theory. Gaithersburg, MD: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Center for Fire Research, 1988. 37 s. (NBSIR 88-3734.)

11. ISO/TR 13387-2. Fire safety engineering – Part 2: Design fire scenarios and design fires. Genève, CH: International Organization for Standardization, 1999. 17 s.
12. Alpert, R. Yksityinen tiedonanto. Norwood, MA: Factory Mutual Research Corporation, 1998.

Liite A: Lämpöilmainsinohjelmaan PALDET 2.1T tehdyt muutokset

Viite [1] sisältää lämpöilmainsimien toiminta-aikojen laskentaohjelman **PALDET 2.0T** -version yksityiskohtaisen kuvauksen. Ohjelmasta on myöhemmin valmistunut uusi versio **PALDET 2.1T**, joka eräiltä osin poikkeaa versiosta 2.0T. Tärkeimmät muutokset ovat:

- t^2 -tyyppisen palotehokäyrän esitysmuotona käytetään samaa muotoa kuin **PALDET 2.1S** -ohjelmassakin, eli $Q = Q_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^2$ (vrt. tämän raportin kohta 3.4.1).
- Ohjelman päänäyttöön on tehty edellä mainitun uuden esitysmuodon edellyttämät muutokset, ts. entinen palotehon kasvutekijä c on poistettu ja korvattu palotehon kasvuajalla t_0 .
- Ohjelman käynnistys tuo näyttöön vastaavanlaisen aloitusnäytön kuin savuilmainsinohjelmakin (vrt. tämän raportin kuva 6). Ennen kuin ohjelmaa voi käyttää, on hyväksyttävä samat käyttöehdot kuin savuilmainsimilla (vrt. raportin kuva 7).
- Muutamia ohjelmointivirheitä on korjattu.

Viite

1. Baroudi, D., Kokkala, M. & Weckman, H. Lämpöilmainsimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.0T. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1998. 34 s. + liitt. 19 s. (VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1922.) ISBN 951–38–5328–4. ISSN 1235–0605