



# LUND UNIVERSITY

## Inverkan av försmutsning av sprinkler

Jensen, Lars

2007

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, L. (2007). *Inverkan av försmutsning av sprinkler*. (TVIT; Vol. TVIT-7022). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# Inverkan av försmutsning av sprinkler

*Lars Jensen*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2007  
Rapport TVIT--07/7022



## Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

## Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

# Inverkan av försmutsning av sprinkler

*Lars Jensen*

© Lars Jensen, 2007

ISRN LUTVDG/TVIT--07/7022--SE(19)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

## Innehållsförteckning

1	Inledning och problemställning	5
2	Beräkning av RTI-värde med omskalning	7
3	Beräkning av RTI-värde med motståndsvärde	9
4	Beräkning av RTI-värde med motståndsmodell	13
5	Sammanfattning och slutsatser	19



# 1 Inledning och problemställning

Syftet med arbetsrapport är att undersöka hur försmutsning påverkar en sprinklers RTI-värde och därmed också en sprinklers tidskonstant. RTI-värdet är ett sätt att klassa en sprinklers termiska snabbhet. Förkortningen RTI står för Response Time Index. Den tekniska utvecklingen på sprinklerområdet har medfört att RTI-värdet har minskat från 300 till 30 genom att sprinklerbulbdiametern minskat från 12 m till 3 mm.

Det råder direkt proportionalitet mellan RTI-värde och tidskonstant och därför kan analysen likaväl genomföras med redovisning av tidskonstant som med redovisning av RTI-värde.

En problemställning är hur kan RTI-värde eller tidskonstant efter försmutsning skattas för en sprinkler med givet RTI-värde eller tidskonstant som ny, om det finns uppgifter för en annan sprinklers RTI-värde eller tidskonstant som ny och efter samma typ av försmutsning.

En enkel metod är att tillämpa omskalning, vilket redovisas i avsnitt 2.

En metod som beskriver försmutsningen som ett ökat termiskt värmemotstånd redovisas i avsnitt 3. Denna metod med ett värmemotstånd visar också att den enkla omskalningsmetodens framräknade värde i avsnitt 2 är en överskattning.

Hur försmutsningen kan påverka en sprinklers RTI-värde eller tidskonstant undersöks i avsnitt 4 med antagande om försmutsning av en cylindrisk sprinklerbulbkropp.

Analysen från avsnitt 2, 3 och 4 sammanfattas sist i avsnitt 5.





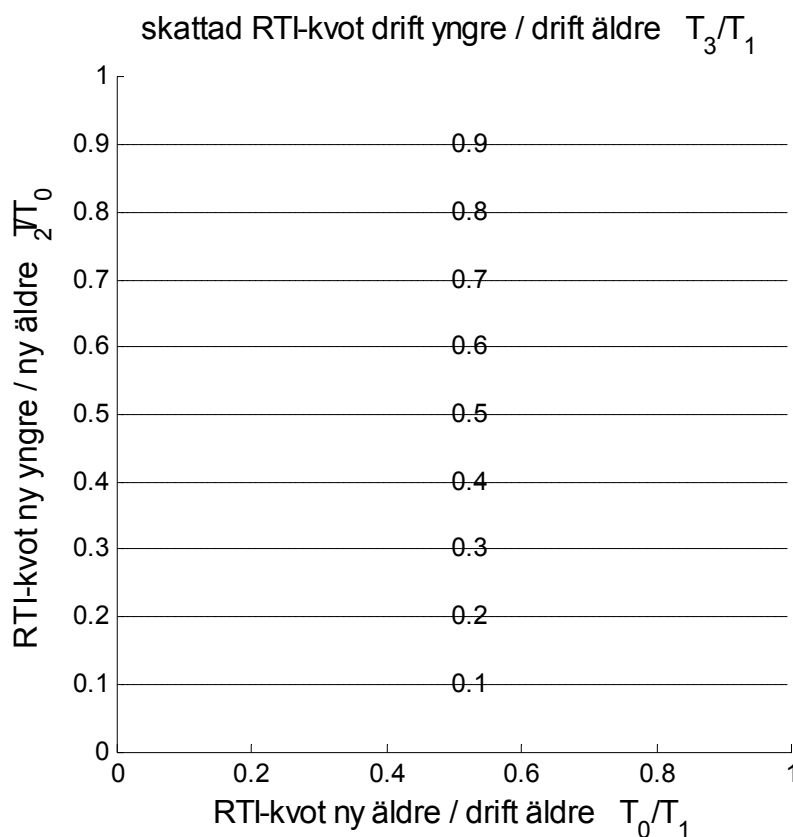
## 2 Beräkning av RTI-värde med omskalning

Många äldre sprinkleranläggningar har sprinkler med höga RTI-värden och tidskonstanter och efter försmutsning blir RTI-värdena och tidskonstanterna ännu högre. En frågeställning är hur mycket ändras ett RTI-värde och tidskonstant efter samma försmutsning om byte sker till en sprinkler med ett annat RTI-värde och tidskonstant.

Antag att försmutsningens inverkan för en ny och en försmutsad sprinkler av samma typ är känd med tidskonstanterna  $T_0$  respektive  $T_1$ . Om byte skall ske till en annan sprinkler med tidskonstanten  $T_2$  som ny, vad blir tidskonstanten efter samma försmutsning.

En ytterst enkel beräkning är att skala om tidskonstanten  $T_2$  med faktorn  $T_1/T_0$  enligt (2.1) nedan.

$$T_3 = T_2 T_1 / T_0 \quad (s) \quad (2.1)$$



Figur 2.1 Beräknad kvot  $T_3/T_1$  som funktion av  $T_0/T_1$  och  $T_2/T_0$



### 3 Beräkning av RTI-värde med motståndsvärde

En sprinklers RTI-värde och tidskonstant  $T$  definieras av följand samband:

$$RTI = T v^{0.5} \quad (\text{ms})^{0.5} \quad (3.1)$$

där  $v$  anger lufthastigheten förbi sprinklern när dess tidskonstant bestäms.

Sprinklers tidskonstant  $T$  kan beräknas för antagande om en cylindrisk sprinklerbulb, vars ändar försummas, med följande uttryck:

$$T = C/Ah = C m \quad (\text{s}) \quad (3.2)$$

där

$C$	sprinklerbulbens värmelagringsförmåga, J/K
$Ah$	sprinklerbulbens värmeöverföringsförmåga, W/K
$A$	sprinklerbulbens mantelyta, $\text{m}^2$
$h$	värmeövergångstal för mantelytan, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
$m$	värmemotstånd för mantelytan, K/W

De tre parametrarna  $C$ ,  $A$  och  $h$  kan uppskattas att vara funktioner av sprinklerbulbens radie  $r$  enligt uttrycken nedan.

$$C \sim r^2 \quad (3.3)$$

$$A \sim r \quad (3.4)$$

$$h \sim r^{-0.5} \quad (3.5)$$

och sammantaget fås för själva tidskonstanten följande:

$$T \sim r^{1.5} \quad (3.6)$$

Antag att tidskonstanten är känd för och efter försmutsning som  $T_0$  respektive  $T_1$ , vilka också kan skrivas som följer med införande av värmemotstånd  $m_0$  och  $m_1$ .

$$T_0 = C_0 m_0 \quad (\text{s}) \quad (3.7)$$

$$T_1 = C_0 m_1 \quad (\text{s}) \quad (3.8)$$

Skillnaden i värmemotstånd är försmutsningens värmemotstånd  $m_m$ , vilket beräknas som:

$$m_m = m_1 - m_0 \quad (\text{K}/\text{W}) \quad (3.9)$$

$$m_m = (T_1 - T_0)/C_0 \quad (\text{K}/\text{W}) \quad (3.10)$$

Vad tidskonstanten efter försmutsning  $T_3$  blir för en sprinkler med tidskonstanten  $T_2$  skild från tidskonstanten  $T_0$  skall nu beräknas. Skillnaden i tidskonstant före försmutsning antas bero på att de två sprinklerbulberna har olika radier. Detta ger följande samband för radiekvoten  $k$ :

$$k = r_2 / r_0 = (T_2 / T_0)^{1/1.5} \quad (-) \quad (3.11)$$

Värmelagringsförmåga och värmemotstånd kan för sprinklern med tidskonstant  $T_2$  som ny nu skrivas som följer:

$$C_2 = C_0 k^2 \quad (\text{J/K}) \quad (3.12)$$

$$m_2 = m_0 k^{-0.5} \quad (\text{K/W}) \quad (3.13)$$

Den sökta tidskonstanten efter samma försmutsning kan nu skrivas som följer:

$$T_3 = C_2 (m_2 + m_m) \quad (\text{s}) \quad (3.14)$$

Efter eliminering av alla parametrar utom  $T_2$ ,  $T_1$  och  $T_0$  fås efter förenkling följande uttryck:

$$T_3 = (T_2 T_1 / T_0) [1 - (1 - (T_2 / T_0)^{1/3}) (1 - T_1 / T_0)] \quad (\text{s}) \quad (3.15)$$

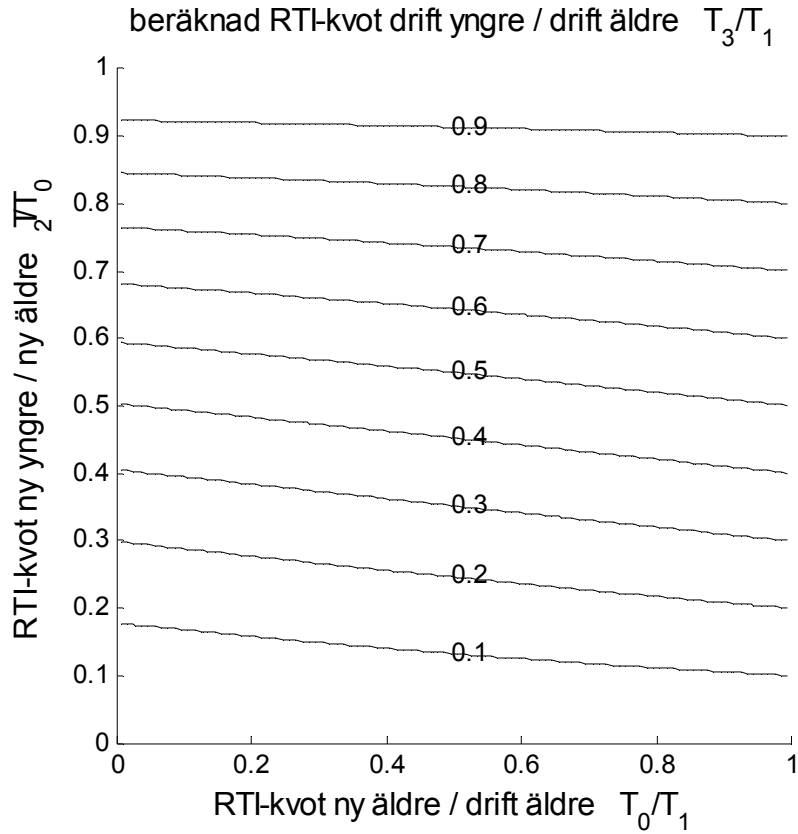
där  $T_2 T_1 / T_0$  är den enkla omskalningen från avsnitt 2 enligt (2.1) och det relativa felet  $f$  anges av den andra termen i  $[ ]$  eller som:

$$f = - (1 - (T_2 / T_0)^{1/3}) (1 - T_0 / T_1) \quad (-) \quad (3.16)$$

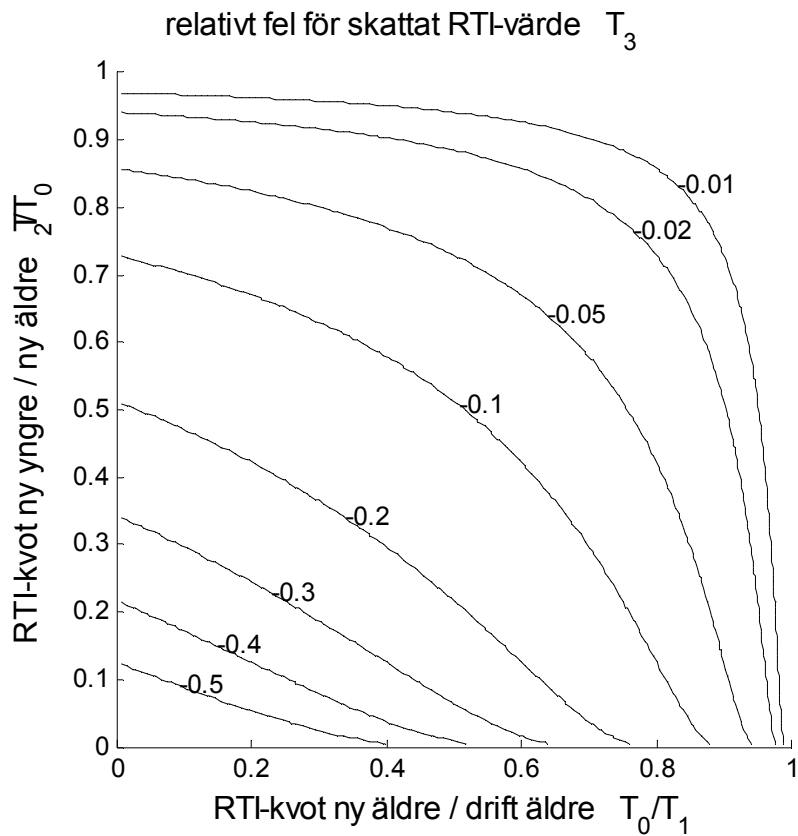
Notera att det relativa felet  $f$  alltid är negativt om  $T_2 < T_0$  och  $T_1 > T_0$ , vilket gäller för byte från ett högre RTI-värde till ett lägre RTI-värde.

Kvoten  $T_3 / T_1$  redovisas med ett isodiagram i Figur 3.1 med x-axel  $T_0 / T_1$  och med y-axel  $T_2 / T_0$ . Isokurvorna för  $T_3 / T_1$  sammanfaller nästan med y-axelns  $T_2 / T_0$ .

Felet redovisas som isodiagram i Figur 3.2 med samma axlar. Felet är alltid negativt. Detta innebär att den enkla omskalningen i avsnitt 2 inte underskattar det RTI-värde som skall beräknas.



Figur 3.1 Beräknad kvot  $T_3/T_1$  som funktion av  $T_0/T_1$  och  $T_2/T_0$



Figur 3.2 Relativt fel för  $T_3$  som funktion av  $T_0/T_1$  och  $T_2/T_0$  enligt (3.16).



## 4 Beräkning av RTI-värde med motståndmodell

Syftet med detta avsnitt är att undersöka hur försmutsning av en cylindrisk kropp kan ändra värmemotståndet. Följande antaganden görs:

- Försmutsningen har värmeledningsförmågan  $\lambda$  W/mK.
- Försmutsningen ändrar ursprungsradien  $r$  med tjockleken  $t$  m.
- Värmeövergångstalet för konvektion sätts till  $50 \text{ W/m}^2\text{K}$  för radien  $2.5 \text{ mm}$ .
- Värmeövergångstalet är proportionellt mot radien<sup>-0.5</sup>.
- Värmeövergångstalet för strålning sätts till  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Uppgifterna om värmeövergångstalet för konvektion är hämtade från ett exempel i Bejan, A. (1993) Heat Transfer sidan 268 med en mindre justering.

Den cylindriska kroppens längd sätts till  $1 \text{ m}$ , men detta har ingen betydelse eftersom kvoten mellan värmemotstånd efter försmutsning och före är av intresse. Följande samband gäller mellan RTI-värdet efter och före försmutsning enligt (3.1) och (3.2) och under förutsättning att försmutsningens värmelagringsförmåga försummas:

$$RTI(r,t) = RTI(r,0) m(r,t)/m(r,0) \quad (\text{ms})^{0.5} \quad (4.1)$$

där sprinklerbulbens värmemotstånd ges av funktionen  $m(r,t)$ .

Det totala värmeövergångstalet för en yta med radien  $r$  anges som:

$$h(r) = 5 + 50 (r/0.0025)^{-0.5} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (4.2)$$

Det värmemotståndet för mantelytan med radien  $r$ , längden  $1 \text{ m}$  och en godtycklig försmutsning med tjockleken  $t$  kan skrivas som en summa av försmutsningens och ytans värmemotstånd med funktionerna  $m_f(t/r)$  respektive  $m_s(r+t)$ :

$$m(r,t) = m_f(t/r) + m_s(r+t) \quad (\text{K/W}) \quad (4.3)$$

$$m_f(t/r) = \ln(1+t/r)/2\pi\lambda \quad (\text{K/W}) \quad (4.4)$$

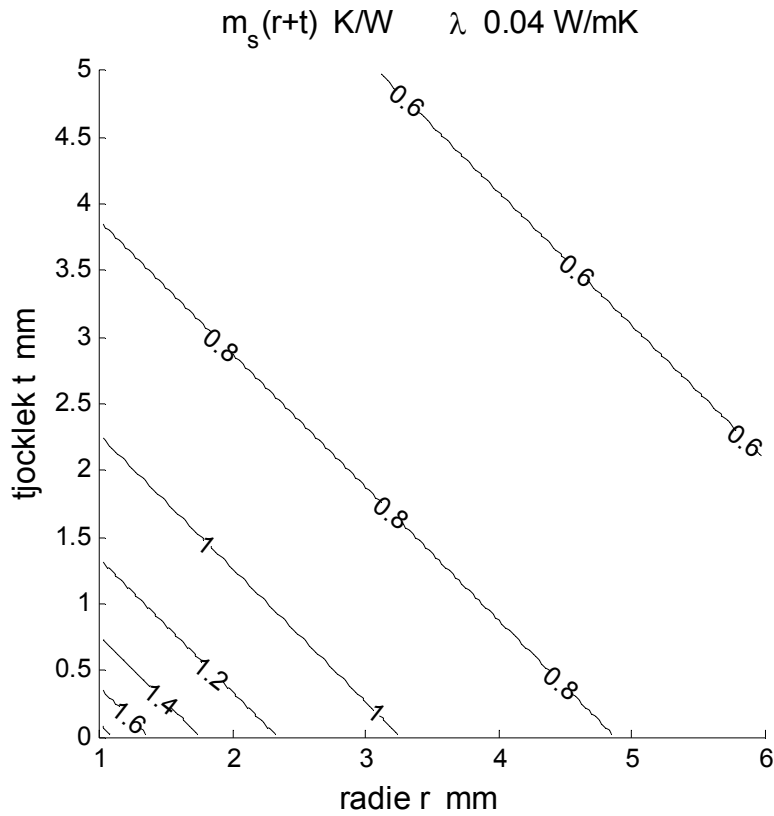
$$m_s(r+t) = 1/[2\pi(r+t) h(r+t)] \quad (\text{K/W}) \quad (4.5)$$

De två funktionerna  $m_f(t/r)$  respektive  $m_s(r+t)$  redovisas med isodiagram i Figur 4.1 respektive Figur 4.2 med radien  $r$  som x-axel och tjockleken  $t$  som y-axel.

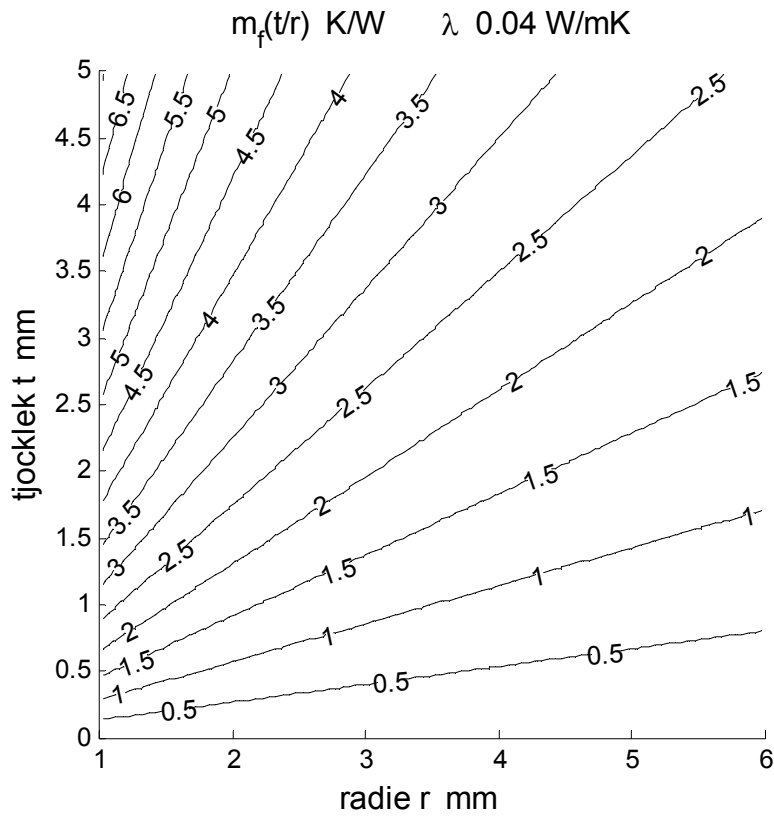
Kvoten mellan försmutsningens och ytans värmemotstånd redovisas i Figur 4.3 och försmutsningens andel av det totala värmemotståndet redovisas i Figur 4.4.

Det resulterande motståndsvärdet  $m(r,t)$  enligt (4.3) redovisas i Figur 4.5, 4.7 och 4.9 för värmeledningstalen  $\lambda$   $0.04$ ,  $0.08$  respektive  $0.16 \text{ W/mK}$ . Motsvarande motståndskvoterna  $m(r,t)/m(r,0)$  redovisas i Figur 4.6, 4.8 respektive 4.10.

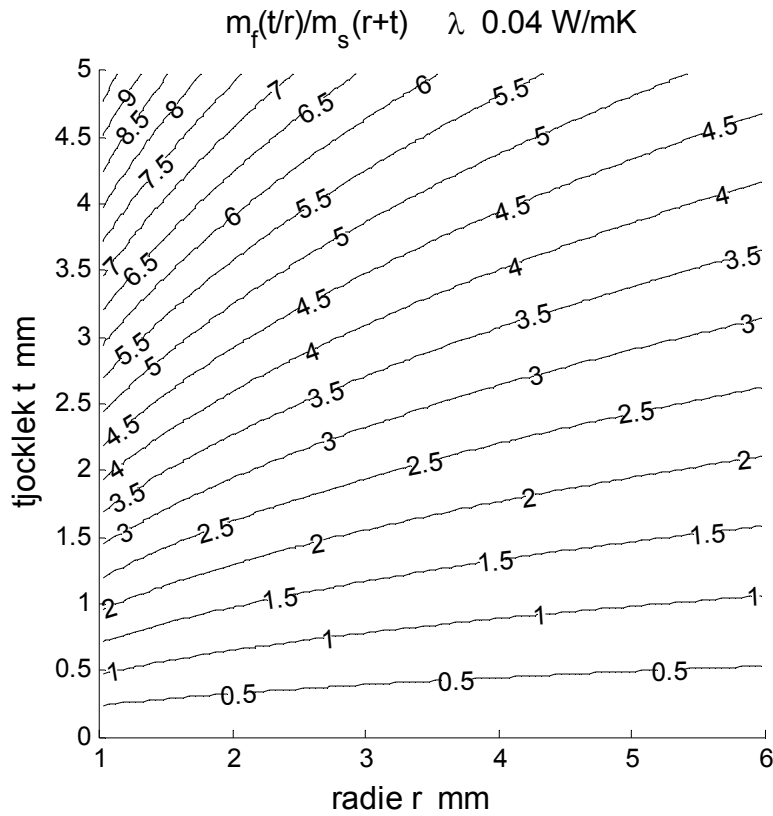




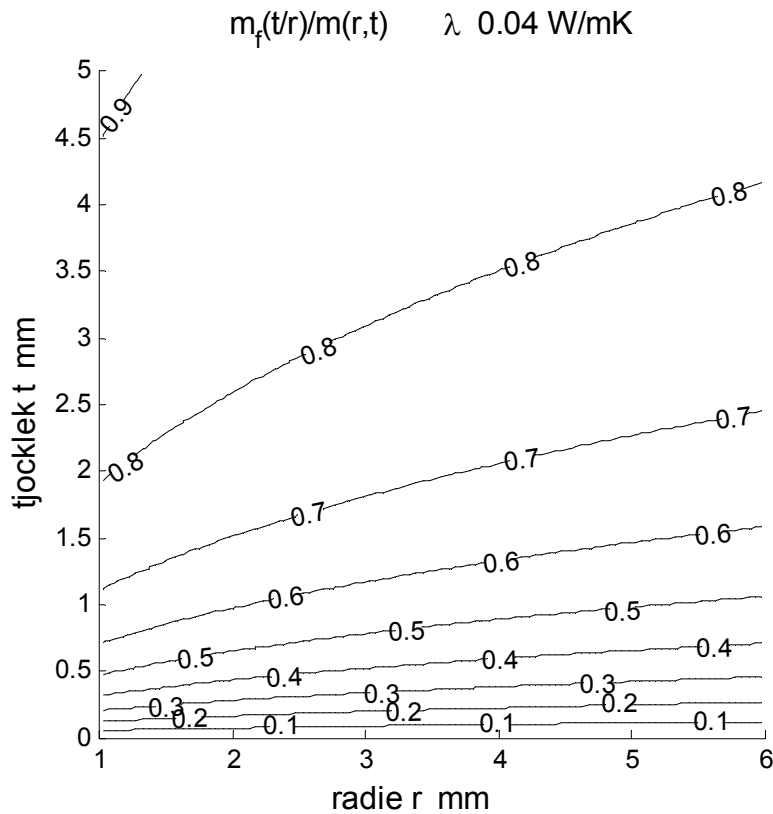
Figur 4.1 Isokurvor för värmemotstånd  $m_s(r+t)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



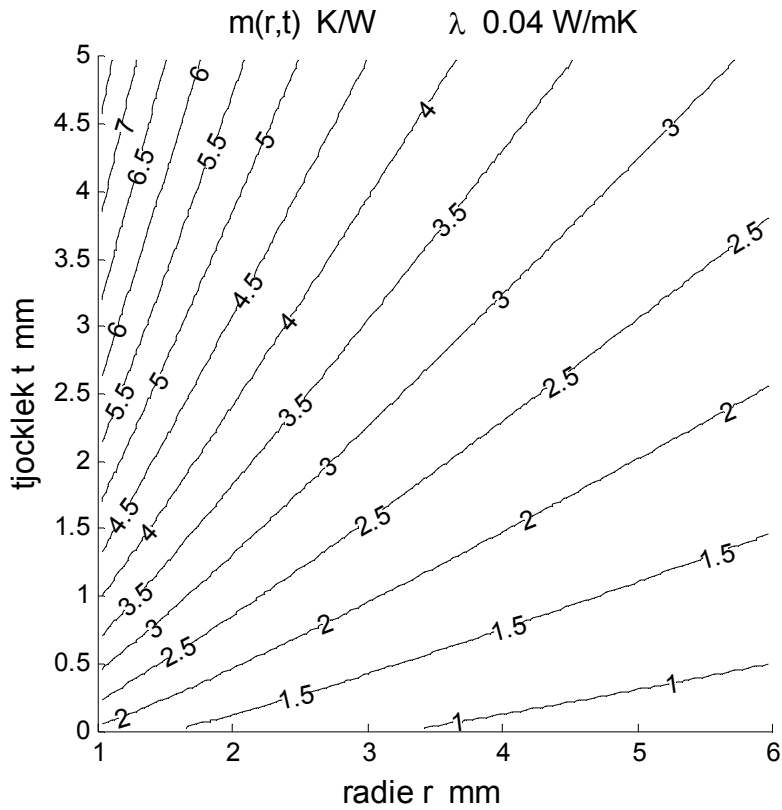
Figur 4.2 Isokurvor för värmemotstånd  $m_f(t/r)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



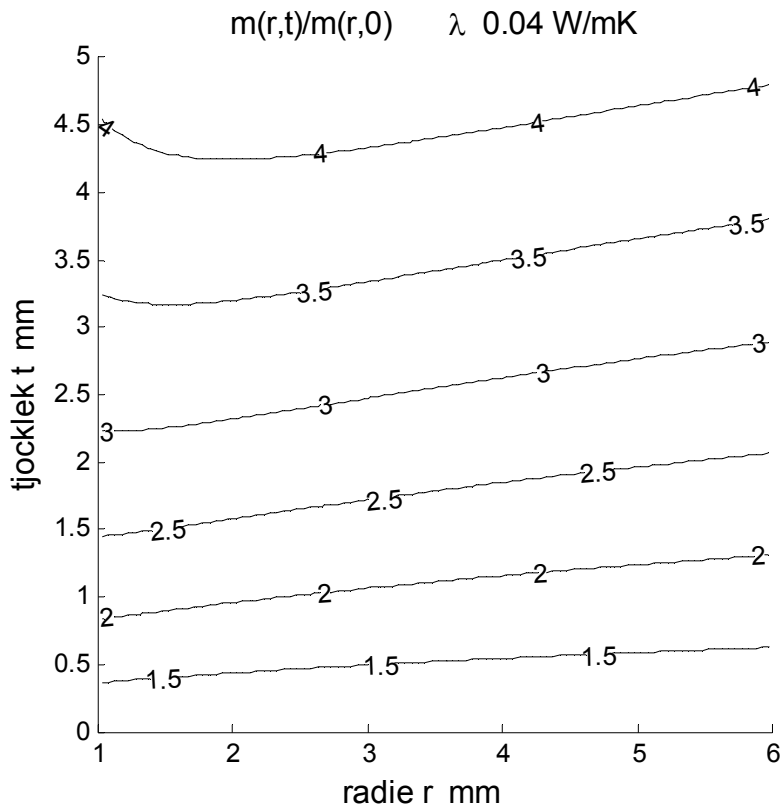
Figur 4.3 Isokurvor för kvoten  $m_f(t/r)/m_s(r+t)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



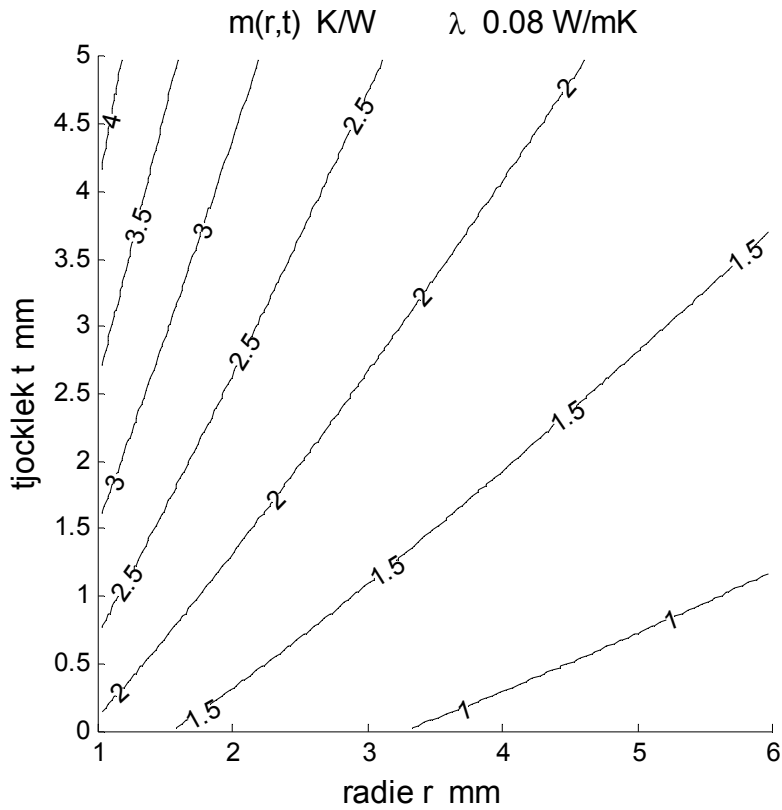
Figur 4.4 Isokurvor för kvoten  $m_f(t/r)/m(r,t)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



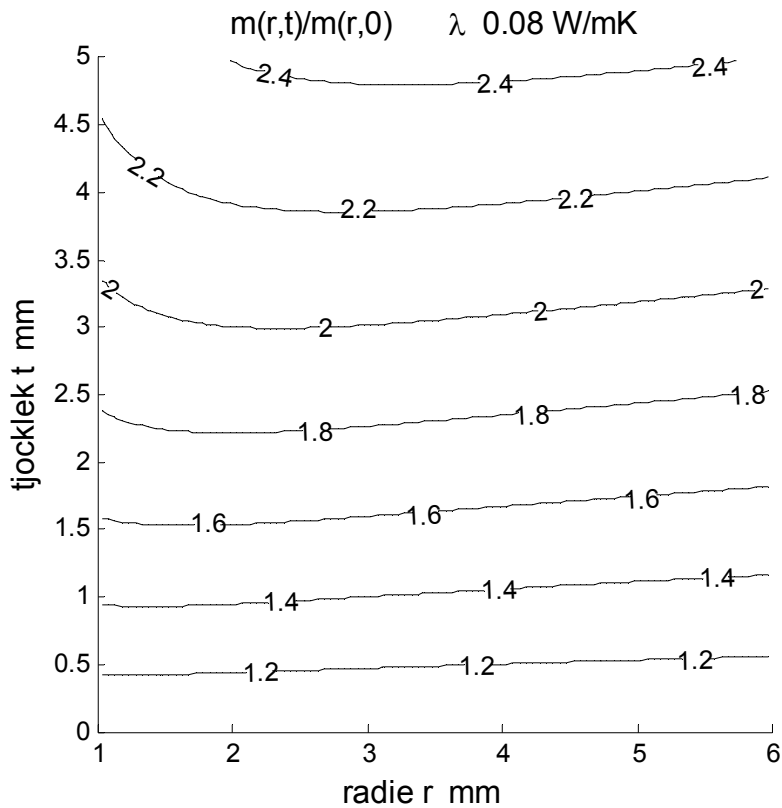
Figur 4.5 Isokurvor för värmemotstånd  $m(r,t)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



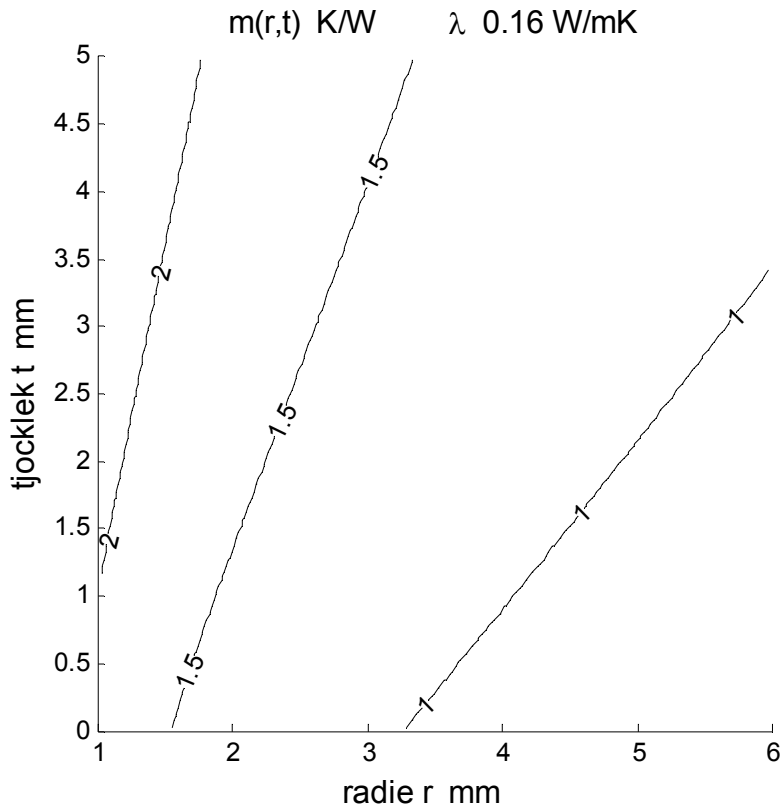
Figur 4.6 Isokurvor för kvoten  $m(r,t)/m(r,0)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



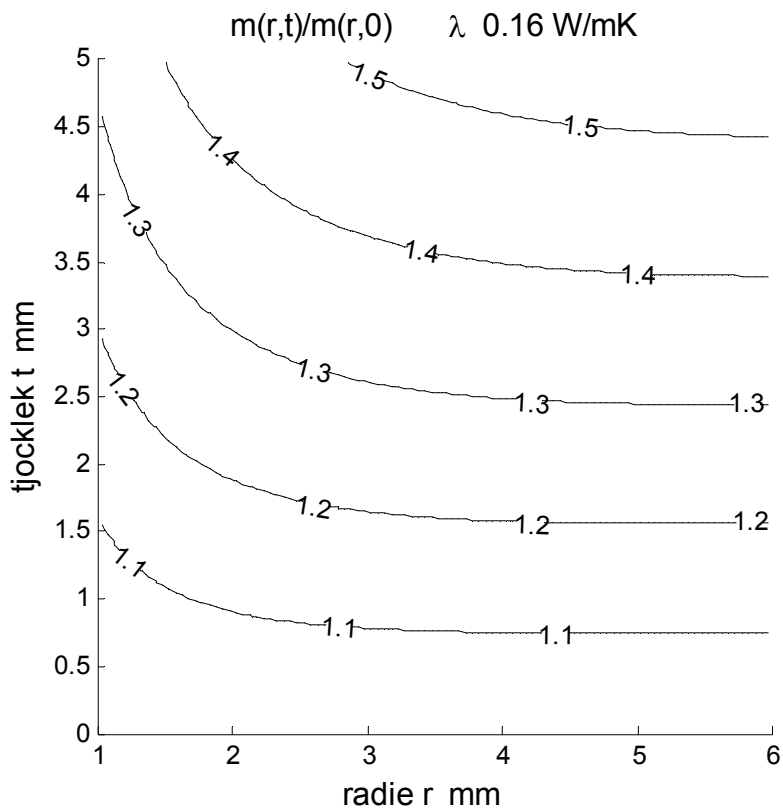
Figur 4.7 Isokurvor för värmemotstånd  $m(r,t)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



Figur 4.8 Isokurvor för kvoten  $m(r,t)/m(r,0)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



Figur 4.9 Isokurvor för värmemotstånd  $m(r,t)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .



Figur 4.10 Isokurvor för kvoten  $m(r,t)/m(r,0)$  som funktion av radie  $r$  och tjocklek  $t$ .

## 5 Sammanfattning och slutsatser

Det finns många praktiska erfarenheter för hur sprinklers RTI-värden ändras på grund av försmutsning under längre tid i olika verksamheter. Denna kunskap kan användas för att beräkna hur ett RTI-värde för en annan ny sprinkler kommer att förändras på grund av försmutsning under samma förhållanden.

Två omräkningsmetoder redovisas i avsnitt 2 och 3. En fysikalisk modell för en försmutsad sprinklers värmemotstånd används i avsnitt 4 för att skatta RTI-värdet efter en given försmutsning.

Den enkla omskalningen av ett RTI-värde enligt (2.1) är en överskattning, vilket är en bra egenskap och ger en viss säkerhetsmarginal.

En förbättrad beräkning av ett RTI-värde enligt (3.15) och med skattning av ett ökat motståndsvärde visar att felet för den enkla omskalningen enligt (2.1) har ett måttligt fel.

En fysikalisk modell används i avsnitt 4 för att skatta ändringen i RTI-värde som funktion av försmutsningens tjocklek. Försmutsningens värmelagringsförmåga försummas.

Isokurvorna i Figur 4.1 visar att ytans värmemotstånd minskar med ökande radie  $r+t$ . Detta kan tolkas som att stora sprinklerbulber är att föredra framför mindre sprinklerbulber, men samtidigt ökar sprinklerbulbens värmelagringsförmåga och därmed RTI-värdet enligt (3.1-6).

Isokurvorna i Figur 4.2 visar att försmutsningens värmemotstånd beror på kvoten  $t/r$ .

Isokurvorna i Figur 4.3 visar att värmemotståndet för försmutsning kan blir flera gånger större än värmemotståndet för ytan om försmutsningens tjocklek är mer än 1 mm. Samma sak framgår också i Figur 4.4 som visar att försmutsningens andel av det totala värmemotståndet.

Isokurvor i Figur 4.5-10 visar för olika värmeledningstal 0.04, 0.08 och 0.16 W/mK för försmutsningen att både det totala värmemotståndet ökar med försmutsningen och kvoten mellan efter och före försmutsning.

En försmutsning om 1 mm och med ett värmeledningstal 0.04 W/mK motsvarande normal isolering och luft fördubblar värmemotståndet och därmed också RTI-värdet. Högre värmeledningstal ger en mindre förändring för samma försmutsning, men högre värmeledningstal kan innebära att försmutsningen värmelagringsförmåga inte kan försummas.