

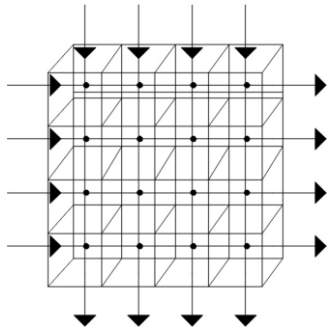
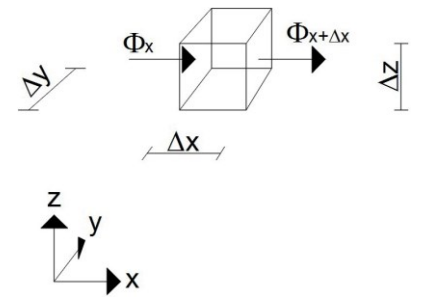
Relaxationsmetoden

Problemformulering

Er det muligt at beregne 2-dimensionelle varmestrømme i Excel?

Kontrolvolumen

Figuren til højre viser en 1-dimensionel varmestrøm gennem et kontrolvolumen. Et kontrolvolumen er et defineret område med åbne systemgrænser som energi (varme) kan strømme igennem.



2-dimensionelle varmestrømme

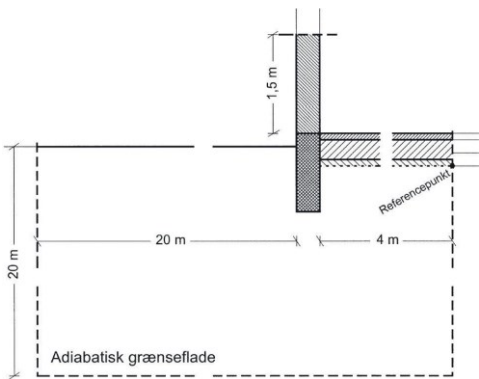
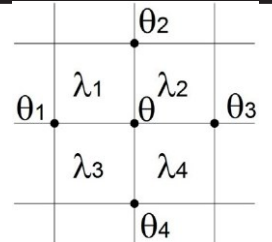
Varmestrømmen går i 2 retninger. På figuren til venstre går varmestrømmen dels vandret og dels lodret gennem de 16 kontrolvoluminer. 2-dimensionelle varmestrømme optræder fx i overgangen mellem ydervæg, terrændæk og fundament. DS418 angiver linjetabet for en række eksempler på fundamentskonstruktioner men disse eksempler dækker langt fra de i praksis anvendte konstruktioner. Linjetab er forskellen mellem 1-dimensionelle varmestrømme og 2-dimensionelle.

Beregningsområdet (fx bygningsdelen: ydervæg) opdeles i et antal ikke overlappende kontrolvolumener, som hvert omfatter et knudepunkt med en knudepunktstemperatur.

Temperatur

Temperaturforholdet i bygningsdelens kontrolvolumer beregnes efter:

$$\theta = \frac{(\lambda_1 + \lambda_3)\theta_1 + (\lambda_1 + \lambda_2)\theta_2 + (\lambda_2 + \lambda_4)\theta_3 + (\lambda_3 + \lambda_4)\theta_4}{2(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)}$$



Linjetab

Linjetab ψ [W/m/K] er forskellen mellem den endimensionale og den todimensionale varmestrøm. Der regnes ud til adiabatisk grænseflade - dvs. en flade hvor der ikke strømmer varme på tværs af fladen. Udstrækningen af adiabatisk grænseflade er givet i DS 418 Beregning af bygningers varmetab.

Krav

Bygningsreglement 2015 stiller krav til linjetab i afsnit 7.6 stk. 1 - fx i overgangen mellem ydervæg, terrændæk og fundament.

Iteration

Iteration er i matematikken en gentagen anvendelse af en funktion. Ved iterative processer kan man forbedre et resultat og på den måde nærme sig en god løsning på et problem.

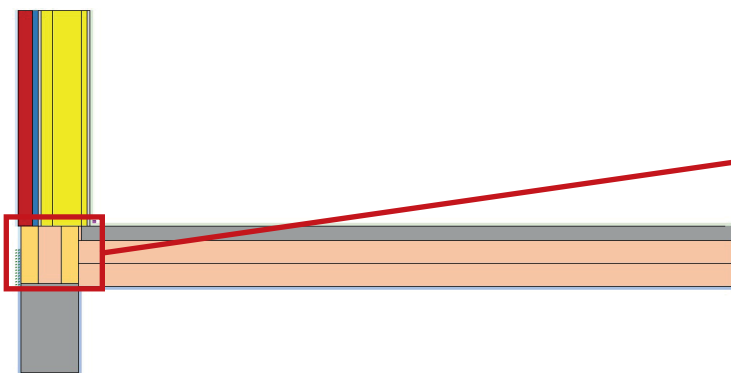
Ved relaxationsmetoden indtastes varmeledningsevnen og temperaturen estimeres i hvert kontrolvolumen.

Så startes den iterative proces - når det ønskede antal gennemregninger er gennemført beregnes linjetabet som differensen mellem det med relaxationsmetoden beregnede varmetab og det beregnede liniære varmetab.

Skønnet starttemperatur

Iteration

Slut temperatur



Material	λ [W/m/K]
1	0.02
2	0.02
3	0.02
4	0.02
5	0.02
6	0.02
7	0.02
8	0.02
9	0.02
10	0.02
11	0.02
12	0.02
13	0.02
14	0.02
15	0.02
16	0.02
17	0.02
18	0.02
19	0.02
20	0.02
21	0.02
22	0.02
23	0.02
24	0.02
25	0.02
26	0.02
27	0.02
28	0.02
29	0.02
30	0.02
31	0.02
32	0.02
33	0.02
34	0.02
35	0.02
36	0.02
37	0.02
38	0.02
39	0.02
40	0.02
41	0.02
42	0.02
43	0.02
44	0.02
45	0.02
46	0.02
47	0.02
48	0.02
49	0.02
50	0.02

Indtastninger

De i bygningsdelens indgåede materials λ -værdier [W/m/K] (varmeledningsevne) indtastes i et Excel-ark.

Randtemperaturerne samt eventuelle skønnede øvrige temperaturer indtastes i et andet Excel-ark.

Beregningsresultat

Efter indtastning af λ -værdier og randtemperaturer startes den iterative beregningsproces.

Resultatet af beregningerne er linjetabet ψ .

Beregning af linjetab ved fundament	
Fouriers varmelednings ligning	
$\Phi = -\lambda \frac{\Delta \theta}{\Delta x} A$	
Varmetab beregnes over indvendig overgangslinje:	
λ_{in}	0.250 W/mK
λ_{out}	2.000 W/mK
$\Delta x = s$	0.020 m
$A = s \cdot l$	0.020 m ²
$A/\Delta x$	1
Varmeledningsevne for sand	
λ_{sand}	0.300 W/mK (bet sand 0.3-0.5 W/mK)
λ_{sands}	0.003 W/mK
Temperaturer	
θ_1	19.99
θ_2	19.99
θ_3	19.99
θ_4	19.99
θ_5	19.99
θ_6	19.99
θ_7	19.99
θ_8	19.99
θ_9	19.99
θ_{10}	19.99
θ_{11}	19.99
θ_{12}	19.99
θ_{13}	19.99
θ_{14}	19.99
θ_{15}	19.99
θ_{16}	19.99
θ_{17}	19.99
θ_{18}	19.99
θ_{19}	19.99
θ_{20}	19.99
θ_{21}	19.99
θ_{22}	19.99
θ_{23}	19.99
θ_{24}	19.99
θ_{25}	19.99
θ_{26}	19.99
θ_{27}	19.99
θ_{28}	19.99
θ_{29}	19.99
θ_{30}	19.99
θ_{31}	19.99
θ_{32}	19.99
θ_{33}	19.99
θ_{34}	19.99
θ_{35}	19.99
θ_{36}	19.99
θ_{37}	19.99
θ_{38}	19.99
θ_{39}	19.99
θ_{40}	19.99
θ_{41}	19.99
θ_{42}	19.99
θ_{43}	19.99
θ_{44}	19.99
θ_{45}	19.99
θ_{46}	19.99
θ_{47}	19.99
θ_{48}	19.99
θ_{49}	19.99
θ_{50}	19.99
Varmetab i ydervæg	
Vægtykkelse	150 mm
Udendigt U_{out}	0.12 W/m ² K
Indetemperatur θ_i	20 °C
Udtemperatur θ_e	-12 °C
Varmetab Φ_{out}	5.824 W/m ² pr. m facade
Varmetab i gulv	
Gulvtykkelse	4 m
Udendigt U_{out}	0.18 W/m ² K
Indetemperatur θ_i	20 °C
Jordtemperatur θ_j	10 °C
Varmetab Φ_{out}	3.568 W/m ² pr. m facade
Linjetab ved fundament	
Varmetab $\Phi = \Phi_{out} - \Phi_{in}$	4.727 W/m ² pr. m facade
Indetemperatur θ_i	20 °C
Udtemperatur θ_e	-12 °C
Linjetab ψ	0.148 W/m ² K pr. m facade

Linjetab ved fundament:

Varmetab $\Phi_f =$	$\Phi - \Phi_{væg} - \Phi_{gulv} =$	4,727 W/m ²	pr. m facade
Indetemperatur $\theta_i =$		20 °C	
Udtemperatur $\theta_e =$		-12 °C	
Linjetab $\psi_f =$		0,148 W/m ² K	pr. m facade