

En ny algoritm för att beräkna
tjälinträngning
under periodiskt varierande
klimatförhållanden

Stephen Burke
Jesper Arfvidsson
Johan Claesson

En ny algoritm för att beräkna tjälinträngning under periodiskt varierande klimatförhållanden

Stephen Burke, Jesper Arfvidsson, Johan Claesson
Byggnadsfysik, Lunds universitet

NYCKELORD: Tjälinträngning, Kirchhoff potential.

SAMMANFATTNING:

Rapporten presenterar en metod för att beräkna tjälinträngning under platta på mark. Metoden är implementerad i ett nyutvecklat datorprogram, Thermoground - LTH. Som indata till programmet anges klimatdata samt snötäcke. Programmet beräknar temperaturen under och vid sidan av plattan. Modellen tar hänsyn till att markens termiska egenskaper ändras då den fryser samt även latent värme vid frysning och upptining. Resultaten jämförs med termiska simuleringar gjorda med beräkningsprogram utan dessa egenskaper. Slutsatsen är att skillnaderna kan vara stora om variabel värmeledningsförmåga och effekten försummas, speciellt i norra Sverige.

Inledning

De flesta grunder som byggs i Sverige är idag betongplatta på mark med underliggande isolering. Av fuktsäkerhetsskäl isoleras idag hela plattan och på grund av ökade krav på energieffektivitet har tjockleken på värmeisolering ökat mycket under det senaste decenniet.

Sverige har ganska kalla vintrar med temperaturer under noll även i södra delen av landet. I norra delen kan det vara mycket kallt, så lågt som minus -10 till -20°C . Kombinationen av kalla vintrar och ökad tjocklek av värmeisolering gör att risken för tjälinträngning under grunden är större än tidigare, och risken för skador i samband med tjällyftning måste därför beaktas.

För att beräkna tjälinträngning på ett korrekt sätt är det nödvändigt att hantera temperaturer och värmeflödet i marken. Det är viktigt att ta hänsyn till att den termiska ledningsförmågan och värmekapaciteten i marken är olika för olika jordar och att de förändras när marktemperaturen sjunker under noll grader. Effekterna av latent värme kan också vara viktigt.

Det finns för närvarande ett kommersiellt verktyg tillgängligt som är en del av ett geologiskt verktygspaket som kan simulera effekten av latent värme under byggnader och runt rörledningar (GEO-sluttning, 2008), dock är detta verktyg dyrt. Branschen efterfrågar ett beräkningsverktyg till rimligt pris som hanterar just detta problem. (Hien et al., 2000, Ellis och Mathews, 2001)

Det näst bästa instrument som finns tillgängligt för konsulter att lösa denna typ av problem är HEAT2 och HEAT3 (Blomberg, 1996). De är populära program, kommersiellt tillgängliga, utvecklade för att lösa två- och tredimensionella termiska problem och är inte orimligt dyra.

Roots och Hagentoft (2006) har utvecklat en enkel att använda modell som bygger på formen av tjälinträngsisotermen. De visar att genom att placera isolering under marken utanför byggnaden, är det möjligt att flytta tjälinträngningsisotermen så att den inte går under grunden. Det är dock okänt om denna modell har tagit hänsyn till snötäcke. Enligt Roots och Hagentoft, har enbart utetemperaturen används som drivkraft för att bestämma tjälinträngningen.

Beräkningsmodell

Den modell som här presenteras använder Kirchhoff potentialen för att beskriva olinjär värmeöverföring. Detta förenklar modellen avsevärt. En kort beskrivning av Kirchhoff potentialen ges nedan.

Kirchhoffpotentialen

Låt q beteckna värmeflödet och T temperaturen. I det endimensionella fallet har vi:

$$q = -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Här beror flödeskoefficient λ på T . Denna flödespotential, då flödeskoefficienten är en funktion av tillståndet, presenterades ursprungligen av Kirchhoff (Carslaw & Jaeger, 1959, s. 11). Potentialen definieras av:

$$T_\lambda(T) = \frac{1}{\lambda_{ref}} \cdot \int_{T_{ref}}^T \lambda(T) dT \quad (2)$$

Referensvärdena λ_{ref} och T_{ref} kan väljas godtyckligt för varje material. Vi sätter normalt, av bekvämlighet, värde på T_λ till noll för en referensnivå T_{ref} för materialet: $T_\lambda(T_{ref}) = 0$.

Värmeflöde (1) blir nu:

$$q = -\lambda_{ref} \frac{\partial T_\lambda}{\partial x} \quad (3)$$

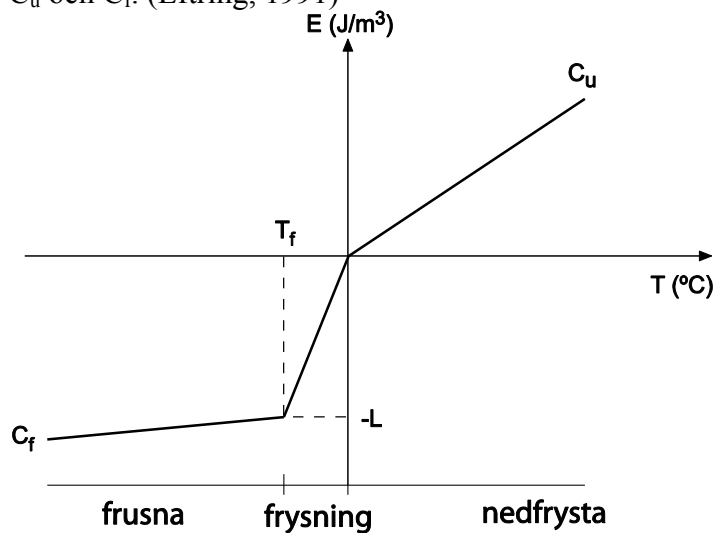
Den variabla termiska koefficienten $\lambda(T)$ skall ersättas med en konstant λ_{ref} .

Teori i Thermoground - LTH för bestämning av tjälinträngning

Ett tvådimensionellt datorprogram har utvecklades för ändamålet. Koden har ursprungligen utvecklats för fuktberäkningar med olinjära transporterkoeficienter och kunde därför med fördel användas för att beräkna tjälinträngning. Programmet löser värmebalansen numeriskt med en explicit framårdifferensmetod. I programmet delas byggnaden och marken upp i ett antal beräkningsceller. Varje material anges geometriskt. Materialdata i form av värme konduktivitet, λ (W/m•K), och värmekapacitet, C (J/m³•K), ges för materialen som funktioner av temperaturen.

I beräkningarna antages homogen jord och dess värmeinhåll E (J/m³) som en funktion av temperaturen. Vid en temperatur av 0°C är värmeinhållet, per definition, noll. Marken antas frusen inom ett intervall $T_f \leq T \leq 0$. I varje beräkningscell i marken finns det tre möjligheter: helt ofrusen, under frysning och helt nedfryst. Den nedre gränsen för frysning T_f kan väljas fritt. I dessa beräkningar är T_f lika med -1°C. Om marken från början är helt fryst och tinar upp till helt ofruset tillstånd frisläpps latent värme L (J/m³). Värmeinhållet har sjunkit till L när temperaturen når undre frysgränsen T_f . Figur 1 visar värmeinhållet (E) som en funktion

av temperaturen. Fasövergångar sker över ett temperaturintervall där värmekapacitet är väsentligt större i ofrusen mark jämfört med frusen mark. Värmekapacitet $-L/T_f$ är lutningen på kurvan under frysning. För helt frusen eller helt ofrusen mark är värmekapaciteten konstant C_u och C_f . (Efring, 1991)



Figur 1: Temperaturberoende termisk kapacitetsmodell för Thermoground - LTH.

Beräkna en platta på mark grunden

Programmet Thermoground - LTH har utvecklats för att beräkna tjälinträngning under platta på mark för olika platser i Sverige. Nedan testas programmet för tre orter och resultatet jämförs med resultatet från ett traditionellt termiskt simuleringsverktyg, HEAT2. Samma klimat och materialdata användes som indata i de båda programmen.

Utetemperaturen antages variera sinusformat:

$$T_{ute} = T_{medel} + T_{amplitud} \cdot \sin \left[\frac{2\pi(t_{dag} - t_{fas})}{t_{period}} \right] \quad (8)$$

där:

T_{ute}	beräknad utomhustemperatur för aktuell dag
T_{medel}	årlig medeltemperatur temperatur
$T_{amplitud}$	årstidsvariation av utetemperaturen
t_{dag}	aktuell dag
t_{fas}	fasförskjutning i tiden
t_{period}	periodtiden

Under vintern finns en kall period med extra låg temperatur T_- under 5 dagar inlagd (se figur 2).

Följande uppgifter om väderleksförhållandena förutsätts i beräkningsfallen:

Södra Sverige

$$T_{ute} = 7 + 8.5 \cdot \sin\left(\frac{2\pi(t_{dag}-113.5)}{365}\right) \quad T_- = -15 \text{ °C}$$

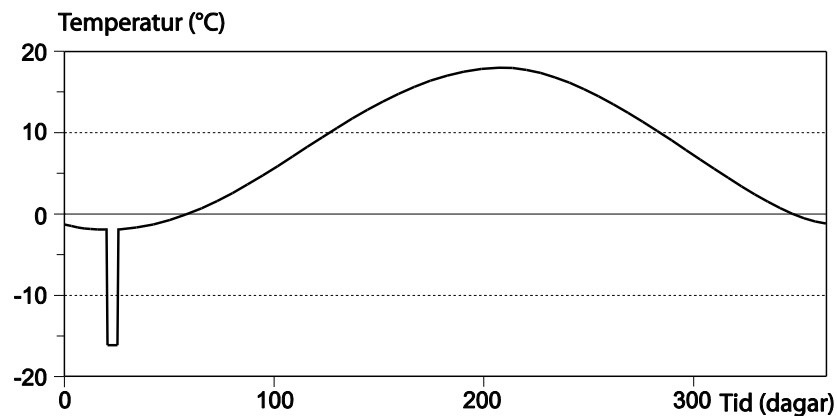
Mellansverige

$$T_{ute} = 6 + 10 \cdot \sin\left(\frac{2\pi(t_{dag}-113.5)}{365}\right) \quad T_- = -15 \text{ °C}$$

Norra Sverige

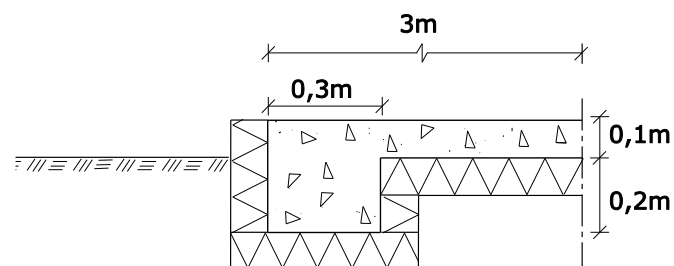
$$T_{ute} = -1 + 13 \cdot \sin\left(\frac{2\pi(t_{dag}-113.5)}{365}\right) \quad T_- = -15 \text{ °C}$$

Ett exempel på hur utetemperaturen varierar visas i figur 2.



Figur 2: Temperaturen för Södra Sverige.

Figur 3 visar måtten på den platta på mark som används i simuleringarna. Byggnaden är 6 m bred, har en 0,1 m tjock betongplatta med 0,1 m isolering under plattan. Inomhustemperaturen antages till 22 ° C.



Figur 3: Konstruktion som användes i beräkningsjämförelsen.

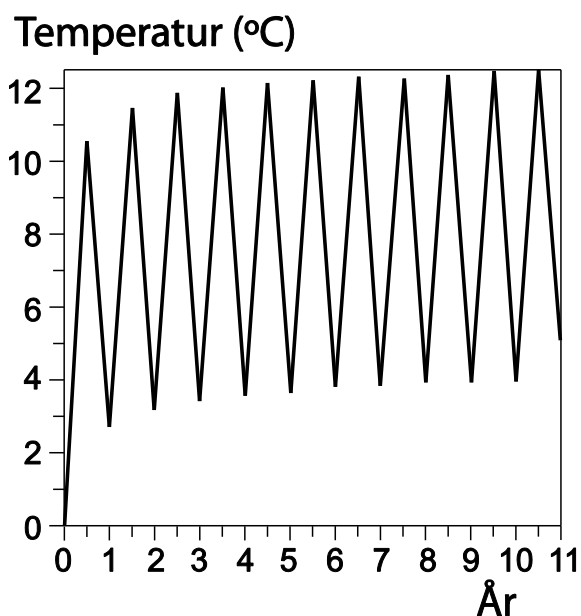
Tabell 1 visar materialegenskaperna som används i simuleringarna. I tabellen är λ_u värmeledningsförmågan för ofrusen mark, λ_f är värmeledningsförmågan för frusen mark, C_u är värmekapaciteten för ofrusen mark och C_f är värmekapaciteten för frusen mark. En simulering gjordes med en konstant värmeledningsförmåga och begränsad latentvärme för smältning/frysning i syfte att fastställa effekten av en temperaturberoende värmeledningsförmåga jämfört med en konstant värmeledningsförmåga.

Tabell 1: Data som användes i simuleringarna. *HEAT2 har bara använt ofrusen värden.

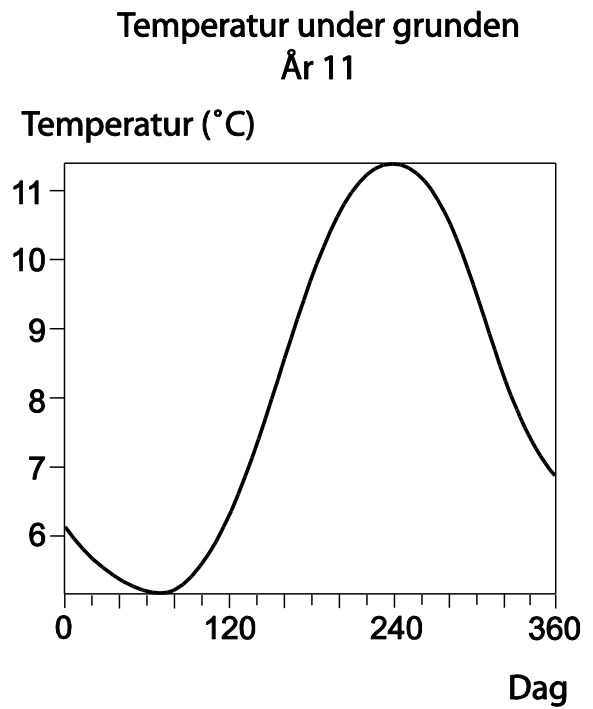
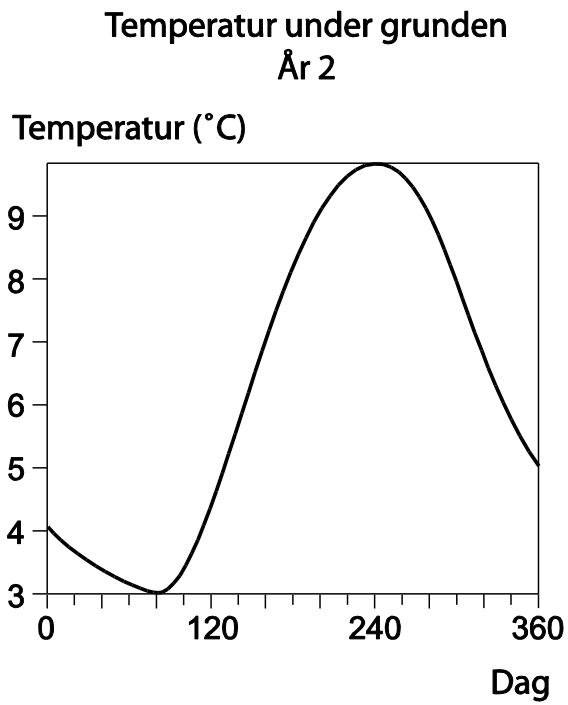
Material	λ_u (W/m·K)	C_u (J/m ³ ·K)	λ_f (W/m·K)	C_f (J/m ³ ·K)
Betong	1.7	2208000	1.7	2208000
EPS30	0.033	37500	0.033	37500
Torr lerskorpa med silt.	1.4	2700000	2.6	1850000

Resultat och Diskussion

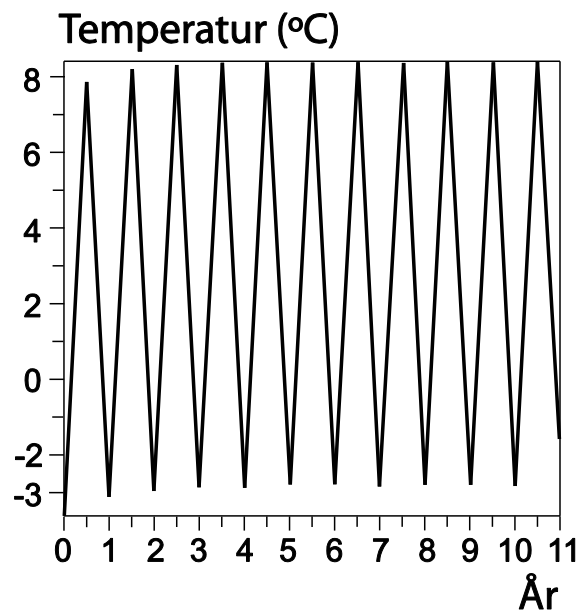
Resultaten, med den beskrivna metoden, visas i figurerna 4 till 10. Diagrammen visar temperaturen under ytterkanten av betongen. I samtliga fall är isoleringens tjocklek tunt nog för att förhindra tjälinträngning under grunden, även under 2:a året efter anläggning. Anledningen till att vi fokuserar på år två är att en platta på mark har den största risken för tjälinträngning under det första året. Eftersom vi inte vet den verkliga tidpunkten för byggandet är det andra året som registreras. Resultaten för år 11 används också, efter denna tid har en värmekudde utvecklats under byggnaden och denna bör vara stabil i denna tidpunkt. Resultaten från HEAT2 visar max- och min- temperaturer under ytterkanten av betongen. Resultaten från HEAT2 ger ett resultat med lägre temperaturer jämfört med Thermoground. Om vi t.ex. ser på resultaten från HEAT2 för Kiruna efter 11år visar dessa permafrost i marken. Enligt geologiska undersökningar av tjäldjup i denna region, tränger tjälen in bara 1,5 till 2 meter och det finns således ingen permafrost i detta geografiska område. Resultatet från Thermoground – LTH stämmer väl överens med resultaten från geologiska undersökningar.



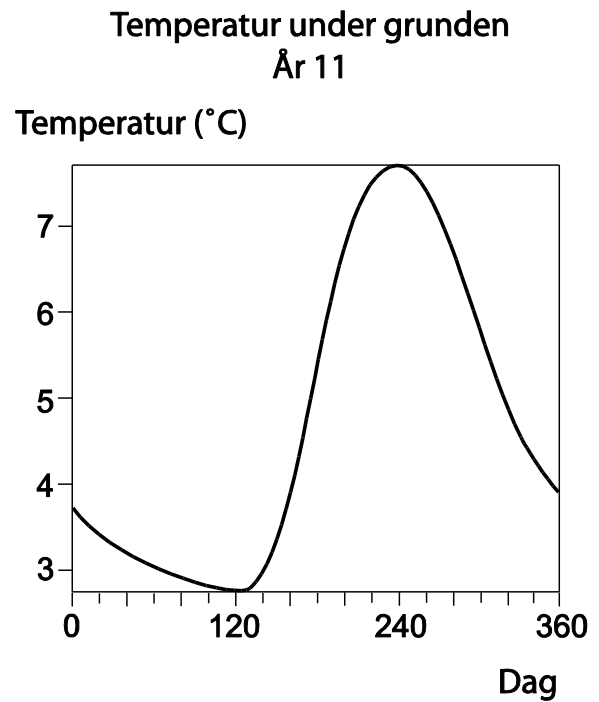
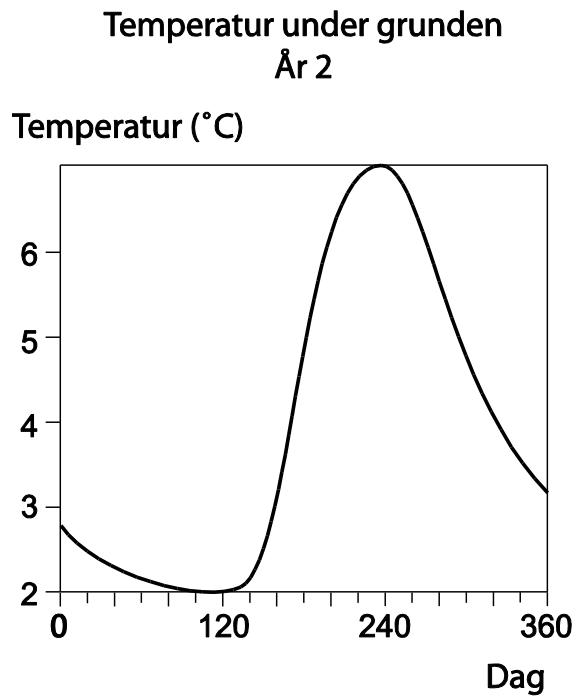
Figur 4: Resultat från HEAT 2 för klimat från Stockholm (Mellansverige).



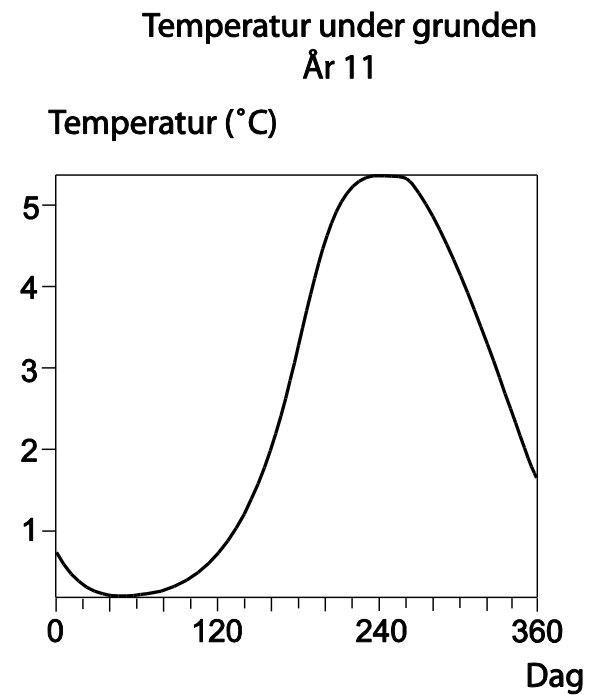
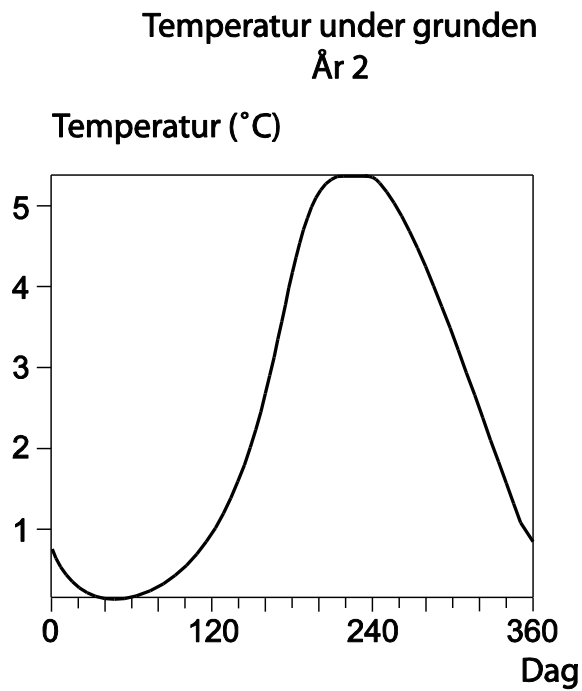
Figur 5: Resultat från Thermoground - LTH med klimat för Stockholm (Mellansverige) för år 2 och 11.



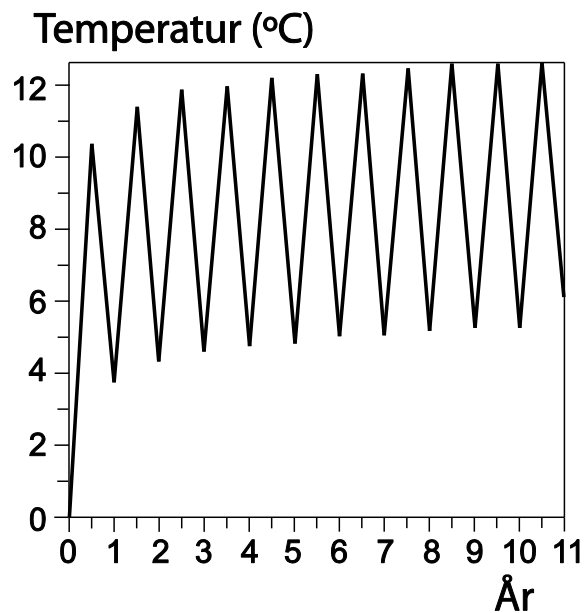
Figur 6: Resultat från HEAT 2 med klimat för Kiruna (Norra Sverige).



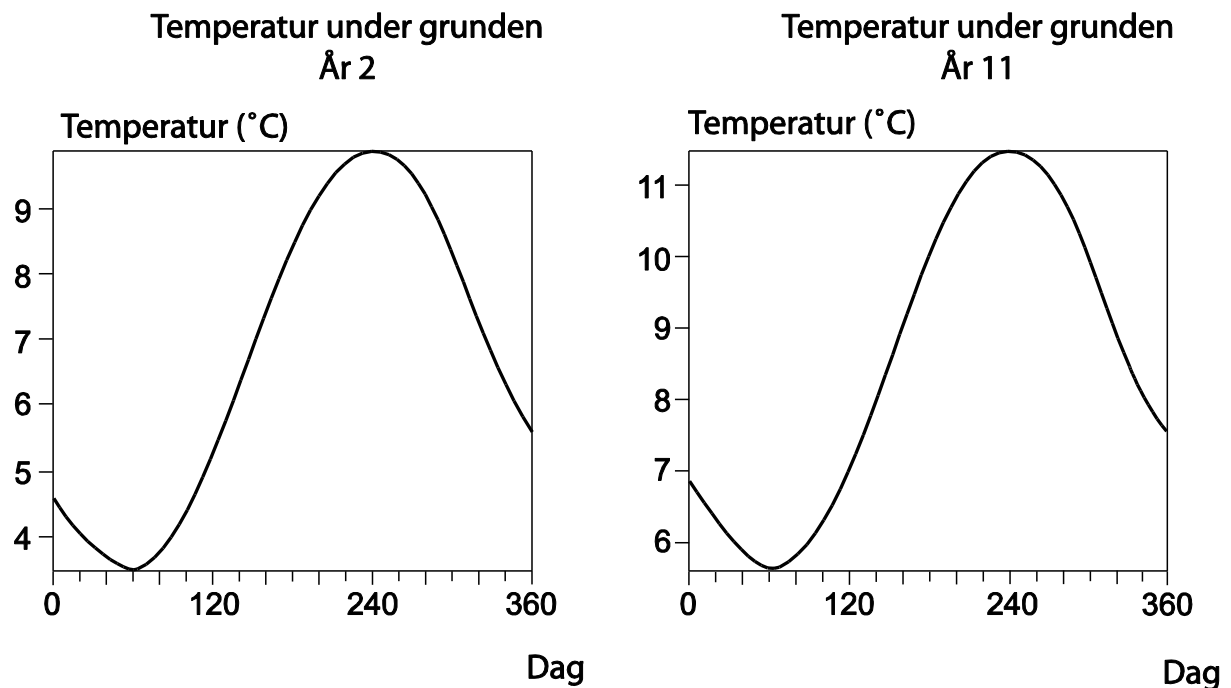
Figur 7: Resultat från Thermoground - LTH med klimat från Kiruna (Norra Sverige) för år 2 och 11.



Figur 8: Resultat från Thermoground-LTH med klimat från Kiruna med konstant värmeledningsförmåga i marken.



Figur 9: Resultat från HEAT 2 med klimat från Malmö (Södra Sverige).



Figur 10: Resultat från Thermoground - LTH med klimat från Malmö (Södra Sverige) för år 2 och 11.

Orsaken till skillnader i resultaten är att Thermoground - LTH tar hänsyn till snötäcke i beräkningen. Det finns ingen simuleringsmodell för snö i programmet men klimatfilen har månadsmedelvärden för snödjupet angivet. Detta översätts till ett värmemotstånd i gränsen mellan marken och utomhusklimatet. Denna yta motstånd beräknas med den genomsnittliga tjockleken på snö för månaden med en genomsnittlig värmeledningskoefficient för snö, i detta fall $0,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Den version av HEAT 2 vi jämfört med kan inte hantera ett ytmotstånd som varierar med tiden och därmed kan snötäcket inte representeras på ett bra sätt.

Det är också möjligt att fastställa den effekt temperaturberoende värmeledningsförmåga har på det slutliga resultatet genom att definiera markens värmeledningsförmåga som konstant, Figur 8. Resultaten visar att genom att beakta varierande värmeledningsförmåga, ökar den lägsta temperaturen under kanten för plattan med 2°C i Kiruna.

Det viktigaste resultatet från denna studie är att snötäcket måste beaktas vid fastställandet av tjälinträngningen under byggnader med hjälp av termisk simulering. Om detta inte är möjligt med det valda termiska simuleringsprogrammet, kommer resultaten att vara felaktiga och en optimal mängd isolering kommer inte att användas, vilket resulterar i en byggnad som använder mer energi än nödvändigt.

Slutsatser

En teknik för bestämning av tjälinträngning under en byggnad har presenterats. Det kan konstateras att de varierande termiska egenskaperna hade en inverkan på resultaten genom att öka temperaturen i grunden. Det kan också konstateras att snötäcket runt en byggnad måste beaktas då man simulerar tjälinträngning under en byggnad. Om ett simuleringsverktyg används för att bestämma tjälinträngning och det kan inte ta hänsyn till snö eller ett variabelt ytmotstånd, blir resultatet felaktiga.

Referenser

- Blomberg, T. (1996) Heat conduction in two and three dimensions - computer modelling of building physics applications. Department of Building Technology, Building Physics. Lund, Lund University.*
- Efring, B. (1991) Numerical calculation of thermal processes. A physical approach (In Swedish). Lund, Building Science.*
- Ellis, M. W. & Mathews, E. H. (2001) A new simplified thermal design tool for architects. Building and Environment, 36, 1009-1021.*
- Geo-Slope (2008) Thermal Analysis with TEMP/W. Calgary, Alberta, Canada, GEO-SLOPE International Ltd.*
- Hien, W. N., Pho, L. K. & Feriadi, H. (2000) The use of performance-based simulation tools for building design and evaluation - a Singapore perspective. Building and Environment, 35, 709-736.*
- Roots, P. & Hagentoft, C.-E. (2006) New design model for frost protection of a slab on grade. IN FAZIO, P., GE, H., RAO, J. & DESMARAIS, G. (Eds.) Research in Building Physics and Building Engineering. London, Taylor & Francis Group.*