



CHALMERS



Torrtoaletter i fjällen

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIK NYSTRÖM

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEX20-19-47
Göteborg, Sverige 2019

EXAMENSARBETE ACEX20-19-47

Torrtoaletter i fjällen

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

ERIK NYSTRÖM

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2019

Torrtoaletter i fjällen

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIK NYSTRÖM

© ERIK NYSTRÖM, 2019

Examensarbete ACEX20-19-47

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2019

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Vatten Miljö Teknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Storgropstoaletten vid Svenska Turistföreningens fjällstuga i Singi har just byggts ut i bakkant. Bilden förekommer i rapporten som Figur 10.

Torrtoaletter i fjällen

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Erik Nyström

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Under turistsäsongerna vistas många vandrare och turskidåkare i delarna av den svenska fjällvärlden som ligger utanför samhällets nätverk av vägar, eltillförsel samt infrastruktur för vatten och avlopp. De torrtoaletter som betjänar dem kan studeras utifrån många frågeställningar. Denna rapport beskriver dagens ”Storgropstoalletter” och ger förslag till en ny konstruktion som anpassats till att kunna tömmas och tillvarata värme från solen. För att tömningsintervallen inte skall bli för täta studeras biologisk nedbrytning, bland annat för att förstå vad som är viktigt för att denna blir framgångsrik. Då de två viktigaste faktorerna är temperatur och syresättning utförs byggnadsfysiska beräkningar på den anpassade konstruktionen. Slutsatserna är i all korthet:

- De befintliga storgropslatrinerna fungerar på många platser tillfredställande som det är och har livslängder på väl över tjugo år. Det verkar bero på kombinationen av volymreduktion och att den tillgängliga volymen succesivt byggts ut.
- På vissa välbesökta platser blir toaletterna emellertid fulla på några få år. Det bör övervägas att använda tömningsbara toaletter, snarare än att bygga nya, på de platser med hårdast användning.
- Beräkningar visar att små anpassningar av storgropstoaletten verkar kunna höja månadsmedeltemperaturen i dem med 3–5°C och med 15–20°C momentant.
- Urinseparering tycks vara mycket viktigt för att uppnå bra komfort och medge förutsättningar till biologisk nedbrytning utan att tillföra stora mängder strömmaterial. Urinseparering verkar kräva daglig tillsyn, vilket troligen utesluter platser utan fast personal.
- Tömningsbara toaletter bör tömmas i april-maj på snöföret och tömningsintervallen får inte vara mycket tätare än en befintlig storgrops livslängd. Det är en stor fördel om slutprodukten sedan kan hanteras lokalt i fjällen.

Nyckelord: torrtoaletter, biologisk nedbrytning, kompostering, solstrålning, byggnadsfysik, fjäll.

Dry Toilets in the Fells

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Water Environment Technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

During the tourist seasons, the Swedish fells are visited by large amounts of hikers and wanderers. A vast area is not connected to roads, electricity or water and sanitation. On these remote places, visiting tourists and staff rely on dry toilets. This report studies and describes the frequently used standard toilet, the so called Big-pit toilet (*Swedish "Storgropstolett"*) and it also offers an alternative design of dry toilet, which has been adapted for emptying and to collect solar heat. The intervals of emptying must not be too short and therefore the decomposing of organic materials is also studied, with the aim to understand key factors in a successful decomposing process in order to adapt the alternative design to promote decomposing. Since the two main factors are temperature and aeration, building physics calculations are conducted on the alternative dry toilet. In short, the conclusions are:

- The current Big-pit toilets are, at many sites, adequate today and have life lengths of well over twenty years. This seem to depend on the combination of volume reduction of the waste, and the fact that the available volume often has been increased over time.
- On some frequently used sites, however, the toilets are filled in only a few years. On these locations, it should be considered to build emptiable toilets, rather than constructing new.
- Calculations show that small adaptations to the Big-pit toilets may increase their temperature to 3-5 °C over the monthly mean temperature. Momentarily, the increase in temperature can be as high as 15-20 °C over the outdoor temperature.
- Urine diversion appear to be of vital importance, but also seem to demand daily supervision, unfortunately this probably excludes urine diversion on sites without staff.
- Emptying should be conducted, utilizing the snow cover, in April-May and the intervals of emptying must not be much shorter than the life length of the standard Big-pit toilets.

Key words: dry toilet, decomposing, solar radiation, building physics, fells.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	1
1.3 Målsättning	1
2 TORRTOALETTER	2
2.1	2
2.1.1 Historik	2
2.1.2 Typer av torrtoaletter	2
2.2 Situationen i fjällen	7
2.2.1 Storgropstoalletter	7
2.2.2 Andra exempel på torrtoaletter i fjällen	10
2.3 Tarfala och norra Kungsleden	11
2.3.1 Klimatdata	12
3 NEDBRYTNINGSPROCESSEN	14
3.1 Avföringens sammansättning och mängduppskattning	14
3.2 Faktorer med påverkan på nedbrytningshastigheten	15
3.2.1 Temperatur	15
3.2.2 Kol-kväveförhållandet	17
3.2.3 Syresättning och vattenhalt	17
3.3 Förändring av massa och volym	19
3.3.1 Försök på svinspillning	20
3.3.2 Försök vid strängkompostering	22
3.3.3 Uppgifter från hand- och faktaböcker samt erfarenheter	23
3.3.4 Volymstudier av storgropstoalletter på Kungsleden	23
3.4 Sanitära frågor med avseende på latrin	24
3.4.1 Hygienisering och flugproblematik	24
3.4.2 Infiltrering av lakvatten	26
3.4.3 Kommentar kring nedbrytning och sanitära frågor.	27
4 UTFORMNING AV DEN EGNA KONSTRUKTIONEN	28
4.1 Beskrivning av konstruktionen	28
4.1.1 Toalettens tank	29
4.1.2 Mängder fekalier, urin och strö	30
4.1.3 Volymer i Tarfala	32

5	BYGGNADSFYSISKA BERÄKNINGAR	33
5.1	Resultat av beräkningarna	33
5.1.1	Grafisk redovisning av beräkningarna	34
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	36
6.1	Slutsatser	37
7	REFERENSER	39
8	BILAGA, BYGGNADSFYSISKA BERÄKNINGAR	1
8.1	Beteckningar	2
8.2	Lufttemperatur	3
8.2.1	Balkong-experiment	7
8.3	Solstrålning	10
8.3.1	Solhöjd	12
8.3.2	Soltid	14
8.3.3	Att gå från globalstrålning till strålning mot en lutad yta	15
8.3.4	Skuggning och markreflektion	17
8.3.5	Resultat från solstudien	19
8.3.6	Användning av balkongförsöket	20
8.4	Luftrörelser	22
8.4.1	Luftflödesberäkningar	24
8.5	Marktemperatur	24
8.6	Tidskonstant	25
8.7	Temperaturmodell	26
8.8	Kommentarer till de byggnadsfysiska beräkningarna	29

Förord

Jag arbetade för Svenska Turistföreningen på Kebnekaise Fjällstation i Kirunafjällen under många år. Jag var på fastighetssidan, men då fjällstationer normalt har vattentoaletter hade jag inte så mycket att göra med torrtoaletterna. Administrativt låg Tarfalastugan under vår förvaltning under några år och den mångårige stugvärden Lars Häger slet för att se till att toaletterna där skulle klara nästa år utan att bli överfulla. Ibland hjälpte vi honom, men att jag kan säga att jag inte hade så mycket att göra med torrtoaletterna är tack vare Lars.

Fröet till att försöka göra någonting annorlunda med toalett och avfalls situationen i fjällen såddes i alla fall redan då och jag är glad att jag tillslut kom på idén när det var dags att göra examensarbete.

Jag måste också tacka min sambo Anna och hennes kunskaper i programmering, utan vilka jag aldrig hade kunnat behandla de meteorologiska data från SMHI. Hon visade mer prov på tjurighet än tålmod, för det var besvärligt att sammanfoga hundratusentals timmar observationer till ett Excelark som jag kunde hantera.

Slutligen vill jag tacka min opponent Madeleine Johansson och handledare Oskar Modin för bra kommentarer på rapporten.

Göteborg juni 2019
Erik Nyström

1 Inledning

Detta arbete behandlar offentliga torrtoaletter i den svenska fjällvärlden. Torrtoaletterna återfinns vid stugplatser, eller mellan dem längs vandringslederna och används av fjällvandrande turister och personal. I de allra flesta fall saknas tillgång till väg och elektricitet och tillsynen sker som bäst dagligen av stugvärdar och mer sporadiskt av fastighetsskötare. Då toaletterna är offentliga och finns på dessa avlägsna platser ställs det särskilda krav på utformningen och driften av dem.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att ge en översikt över var toaletterna finns samt hur de är utformade och hur driften av dem sköts. En del av syftet är också att ge förslag på en egen konstruktion som, förutom att vara byggbar och medge en lätthanterlig drift, även utformas för att skapa förutsättningar för biologisk nedbrytning.

Nedbrytning av organiska ämnen gynnas av förhållandevis hög temperatur och hög syresättning. Då klimatet i fjällen är bister är grundförutsättningarna inte särskilt goda och utgångspunkten i den egna konstruktionen kommer vara att med hjälp av solstrålning höja temperaturen. Därmed kan rapporten sägas ha fyra ben: ett kartläggande, ett biologiskt, ett konstruktionsmässigt och ett byggnadsfysiskt.

Författaren arbetade själv på fastighetssidan för Svenska Turistföreningen (STF) i Norrbottensfjällen under nära tio år och använder egna erfarenheter och kontaktnät som grund för beslut och antaganden i konstruktionen. Ett viktigt grundantagande är enkelhet, det vill säga att undvika teknik med delar som kan gå sönder, sluta fungera eller kräva regelbunden tillsyn.

1.2 Metod

Kartläggningen av offentliga torrtoaletter i fjällmiljö bygger på litteraturstudier samt intervjuer med personer från aktörerna Svenska Turistföreningen och Länsstyrelserna i Norrbottens län. Detaljerad kartläggning har avgränsats till området intill norra Kungsleden.

Den byggnadsfysiska delen består av beräkningar på en egen konstruktion av en torrtoalett. Dessa beräkningar utförs mot väderobservationer för en specifik plats och målet har varit att kunna modellera temperaturen och luftflödet i toalettens tank för olika utomhustillstånd. Då värmeeffekt utifrån inte tillförs genom annat än solstrålning har även ett experiment genomförts som försöker ge ytterligare ett svar på frågan hur stor del av soleffekten som kan tillvaratas vid sidan om de svar som fås genom teori.

Den biologiska delen syftar till att svara på frågan hur stor mängd avfall som genereras och hur mycket som kan antas brytas ned. Det är även av vikt att ta reda på den ungefärliga luftmängden som krävs för nedbrytningen och möjligen vilken värmeeffekt som kan antas alstras av nedbrytningen och vilka smittorisker som finns.

1.3 Målsättning

Förhoppningen är att kunna ge ett förslag på en konstruktion som ska kunna användas som standard över hela fjällvärlden, eller åtminstone avgränsade delar av den med hänsyn till besökarantal. Den ska vara tömningsbar och tömningen ska kunna utföras i slutet av april.

2 Torrtoaletter

Det finns en uppsjö av typer av torrtoaletter och benämningar för att beskriva dem. Den enklaste definitionen är kanske att med torrtoaletter avses toaletter där vatten inte används för att transportera bort avfallet. Oftast, men inte alltid, måste avfallet från torrtoaletter också föras bort och tas om hand på något sätt. Oavsett hur denna transport går till är den kostnads- eller arbetsintensiv.

Fraktionen från torrtoaletter kallas för latrin och består av fekalier, urin och ibland strömaterial. Det behandlas som hushållsavfall och hur hanteringen ska regleras av kommunerna (Holm, Evedorn, Nordberg, & Persson, 2009). Förutom risker med den manuella hanteringen vid tömning finns också farhågor att otäta behållare kan förorena både yt- och grundvatten i närområdet och bidra till övergödning av vattenområden.

2.1

2.1.1 Historik

Även om exempel på vattentoaletter finns sedan antiken och är alldeles självklara idag, har torrtoaletter långt fram i historien varit den gängse lösningen på vardagsbehoven. Vid en undersökning (Bergholm & Kjellin, 2003) av 30 000 hushåll på den svenska landsbygden från 1930-talet befanns 60 % av hushållen vara på högst två rum och kök. Av dessa mindre hushåll hade mindre än 1 % toalett inomhus och endast 20 % av samtliga hushåll hade vatten och avlopp indraget i huset.

På landsbygden har avföring från både människor och djur tagits tillvara och lagts på åkrarna som gödsel och även om installationerna många gånger varit rudimentära, en enkel stång eller sittbräda, har de verkliga problemen funnits i städerna. Den sanitära situationen i Europas städer långt in på 1800-talet var nog sådan att vi har svårt att föreställa oss den. Den miljömässiga hanteringen finner vi tveksam långt längre än så. Bergholm och Kjellin (2003) berättar att det på prov under 1950-talet dumpade avfall från Stockholm i landsortsdjupet i Östersjön.

Torrtoaletten har inte fullständigt utrotats. Den kvarlever framförallt på icke-permanenta uppehållsplatser, där det endera funnits för kostsamt att ansluta till de offentliga näten för vatten och avlopp (ibland även el) eller anlägga egna installationer för vattentoaletter: sommarstugor, fritidsbåtar, rastplatser och fjällstugor, för att nämna några typiska exempel.

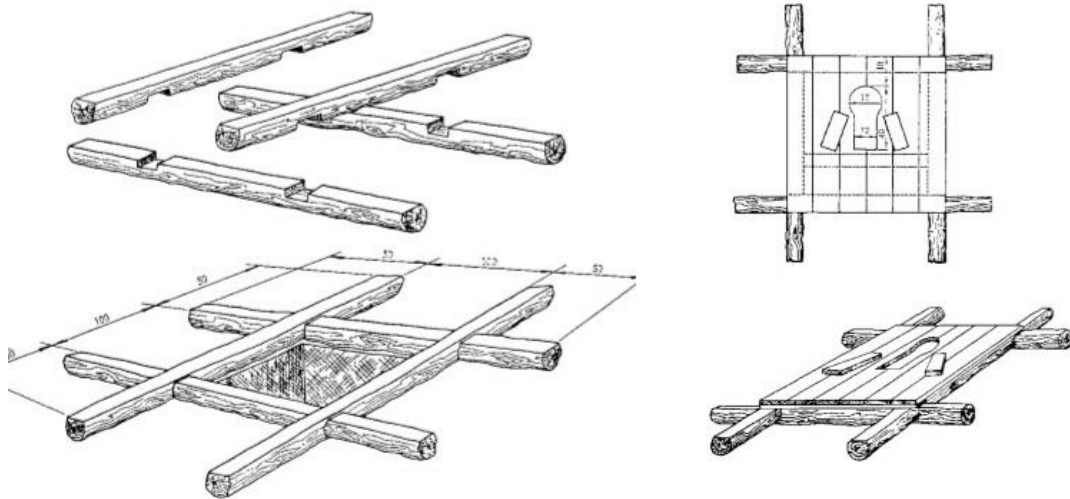
2.1.2 Typer av torrtoaletter

Det finns många namn på torrtoaletter och ofta är de kopplade till en funktion eller teknisk finess som säger något om hur de fungerar. Lika ofta namnges efter landet där de utvecklats och beskrivs i litteratur från 1900-talet. Här presenteras några typer av torrtoaletter, från boken *Sanitation Without Water* (Winblad, Kilama, & Torstensson, 1978) som har tagit mycket inspiration från World Health Organization (WHO)-rapporten *Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities* (Wagner & Lanoix, 1958), under två överkategorier som berättar om toaletterna är tömningsbara eller ej.

Skälen till att utföra toaletterna som tömningsbara kan vara både att man vill ta tillvara komposten för att använda den, eller förlänga livslängden på installationen. De icke-tömningsbara toaletterna blir förr eller senare fulla och måste då göras om. Eftersom det finns risker med hanteringen av avfall är det inte nödvändigtvis en fördel att utföra toaletter tömningsbara.

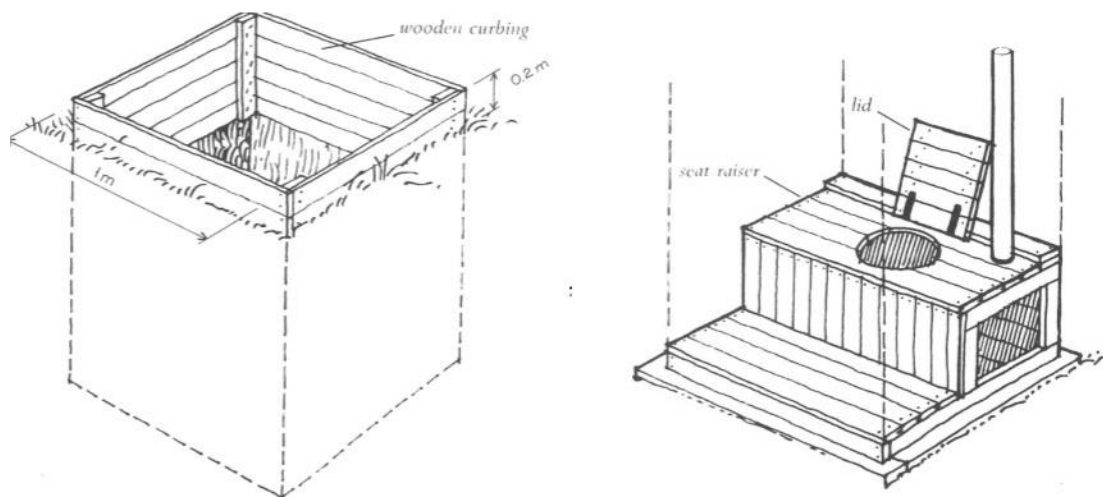
Ej tömningsbara

Grop-latrin, Figur 1: En grop grävs och förstärks om så krävs. Ovanpå kan en överbyggnad ställas.



Figur 1 Enkel grop-latrin utan överbyggnad eller upphöjd sits, men med plattor för fötterna, från Wagner och Lanoix (1958). Återgiven med tillstånd från WHO.

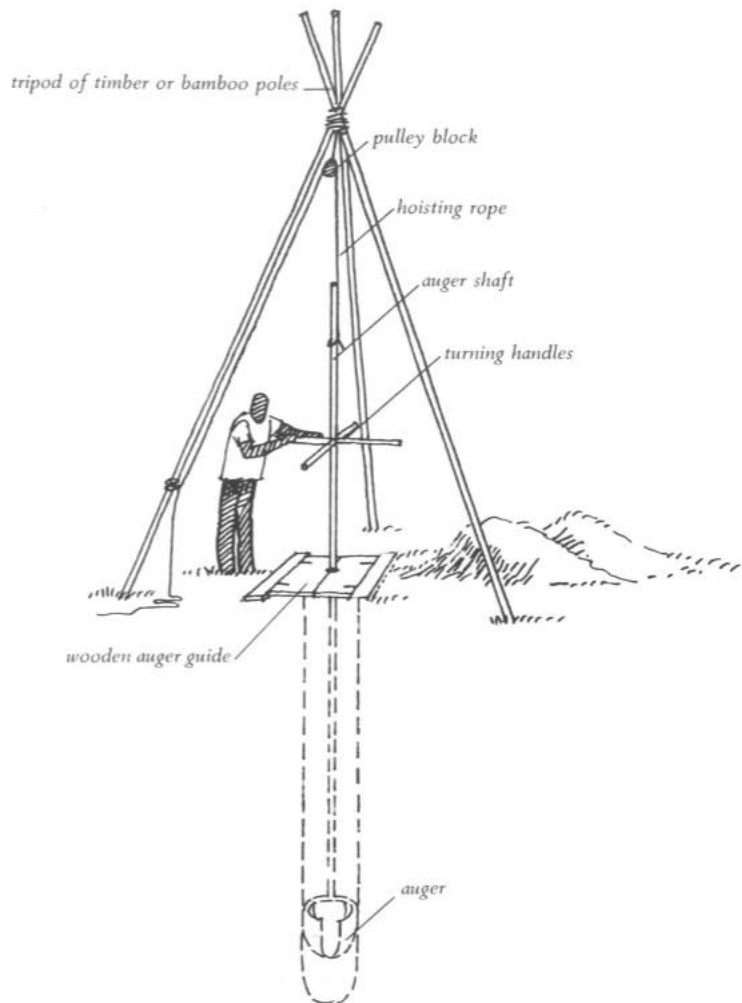
Amerikansk "dass-grop", Figur 2: En något mer genomarbetad version av grop-latrinen som presenterades 1929.



Figur 2 Till vänster visas det förstärkta hålet med upphöjda kanter och till höger interiören av den amerikanska dassgropen. Notera ventilationsröret och att det uppfällda locket ansågs kunna fungera som ryggestöd, från Winblad et al. (1978). Återgiven med tillstånd av Uno Winblad.

Borrhållslatrin, Figur 3: Ett hål med en diameter av cirka 4 dm borrar i lämplig jord och kan ibland med fördel penetrera grundvattennivån. Denna metod utvecklades i Nederländska Ostindien under 1920-talet och användes senare bland annat mycket i

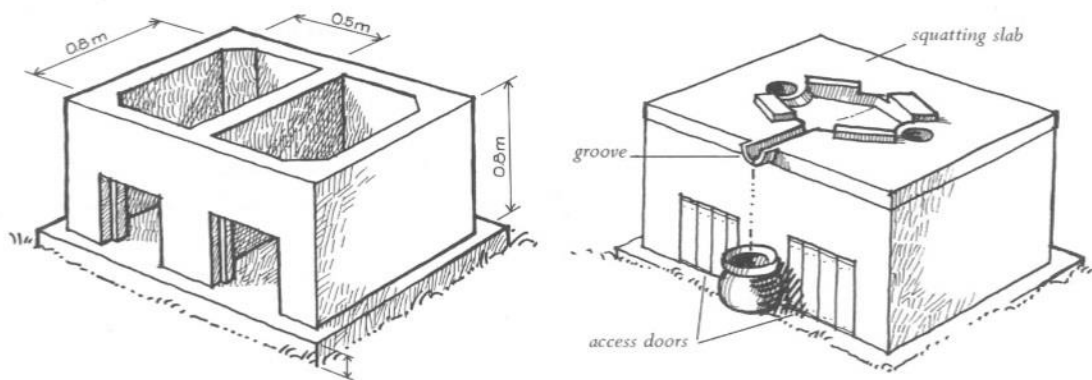
Egypten. Den beskrivs (Wagner & Lanoix, 1958) fungera särskilt väl i slättlandskap med alluviala jordar.



Figur 3 Borrhålslatrin under tillverkning, kanske i Egypten under 1900-talet, från Winblad et al. (1978). Återgiven med tillstånd av Uno Winblad.

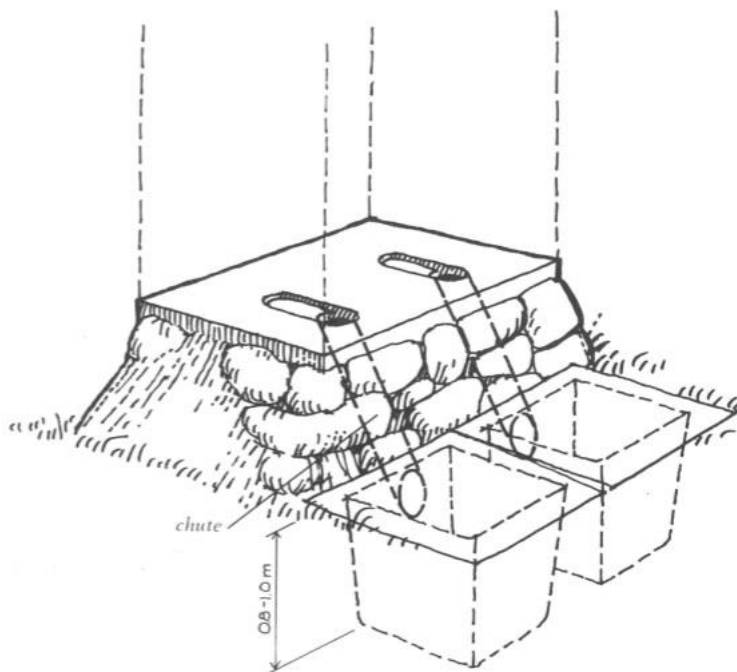
Tömningsbara

Tvåkammarslatrin, Figur 4: Exempel från Sydostasien där två kammare används växelvis där latrin blir till kompost att använda som gödsel.



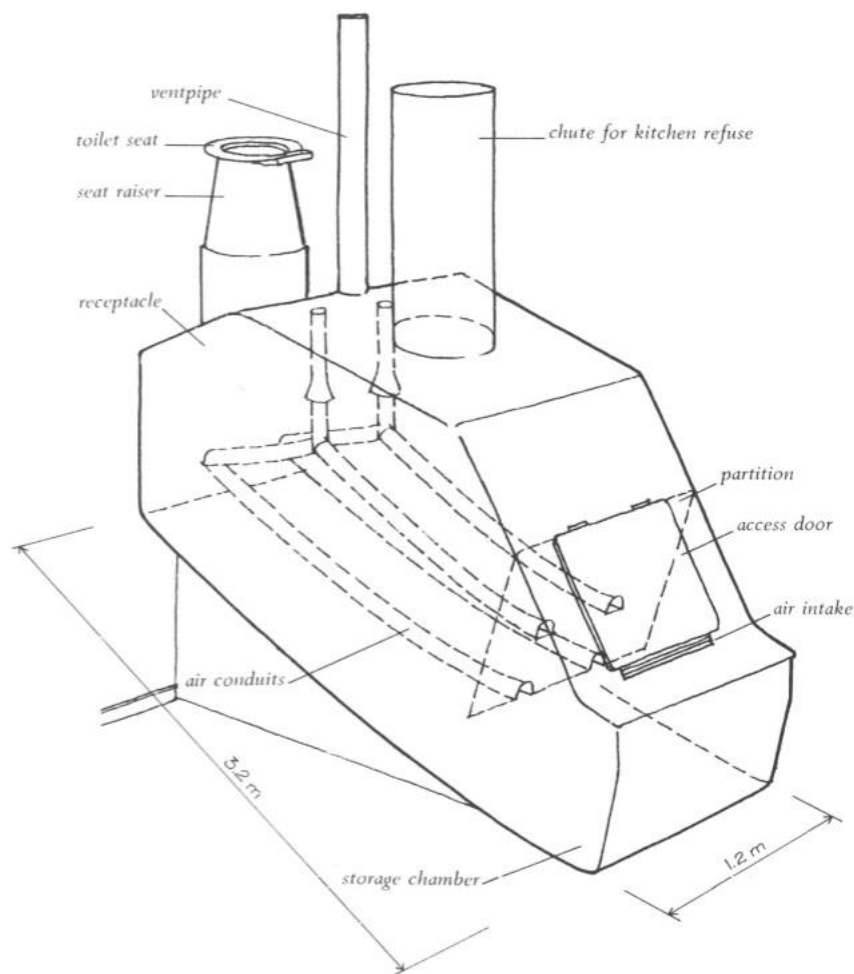
Figur 4 Tvåkammar-latrin, här med urinseparering. Från Winblad et al. (1978). Återgiven med tillstånd av Uno Winblad.

”Sopa-Sandas”, Figur 5: Indiska varianter av tvåkammar-latrinier som kan utföras med transportabla kärl.



Figur 5 Sopa-sandas där utbytbara kärl stående på marken skulle kunna ersätta nedsänkta behållare. Från Winblad et al (1978). Återgiven med tillstånd av Uno Winblad.

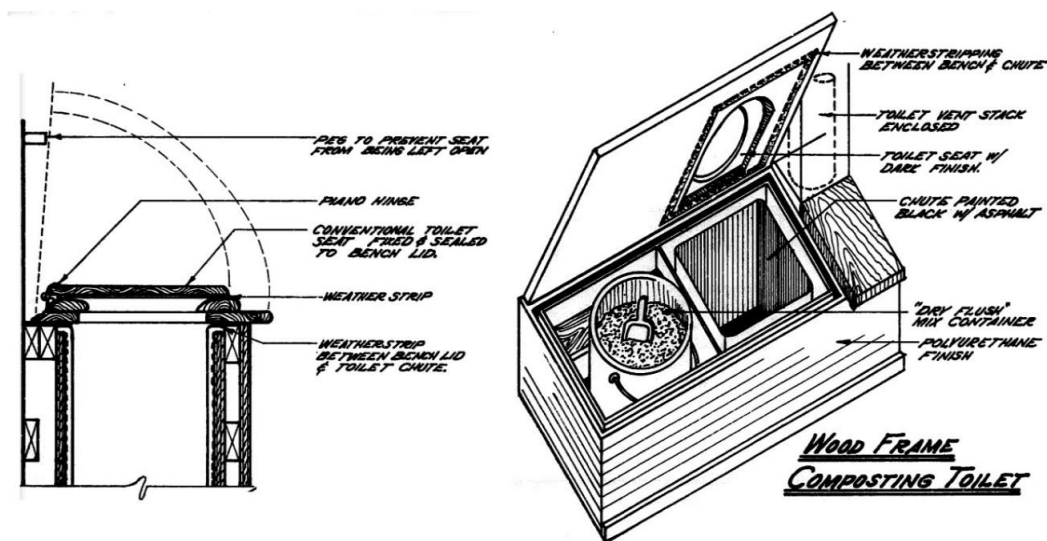
”Multrum” toalett, Figur 6: En svensk komposttoalett som marknadsförs och säljs sedan 1970 talet. Tanken är utförd i plast eller glasfiber och har tät botten. Installationerna för att ventilerat tanken är mer genomarbetade än de övriga konstruktionerna.



Figur 6 Multrum-toalett med många tekniska funktioner. Denna är tänkt att stå i en källare i ett småhus. Notera den lilla tömningsluckan. Från Winblad et al. (1978). Återgiven med tillstånd av Uno Winblad.

Med undantag för multrumtoaletten kommer exemplen från enklare äldre konstruktioner, ofta med sitt ursprung på landsbygden i det som förr kallades utvecklingsländer. Det finns nyare tillverkare i Nordamerika och Europa med mer elaborerade och ofta teknikintensiva varianter. I detta arbete är emellertid enkelhet en dygd och 1900-talets landsbygder ger kanske den bästa inspirationen till fjällen av idag.

Wagner och Lanoix (1958) talar en del om kulturella skillnader och det är värt att notera att i vår del av världen är det nog otänkbart att inte ha upphöjda säten likt den amerikanska dass-gropen. En bild, Figur 7, i vilken många säkert känner sig hemma i från interiören av en överbyggnad av en torrtoalett eller utedass ges i en amerikansk handbok från slutet av 1970-talet.



Figur 7 Principskiss över en torrtoaletts sits med många genomtänkta funktioner, bilden är hämtad från National Centre for Appropriate Technology (NCAT) (1979). Återgiven med tillstånd av NCAT.

2.2 Situationen i fjällen

Längs den svenska fjällkedjan, från Dalarna i söder till Lappland i norr, finns offentliga torrtoaletter för fjällturister. Länsstyrelserna och Svenska Turistföreningen är de två stora aktörerna, där enbart STF har ett 40-tal fjällstugor. Stugplatserna ligger vanligen med knappt 20 kilometers avstånd och är förbundna av vandringsleder. Länsstyrelsen förvaltar lederna och har därför många enklare vindskydd inklusive toaletter mellan fjällstugorna.

STF:s stugplatser brukar utgöras av några byggnader med enkel logi i logement, ibland med en butik försäljning av torrvaror, läsk och godis samt några förråd för ved, gasol och sopor. De mindre har endast ett tiotal bäddplatser medan den största, i Alesjaure efter norra Kungleden, har 76–100 bäddar (Svenska Turistföreningen, 2019). Runt stugplatserna bor sommartid dessutom många fjällvandrare i tält.

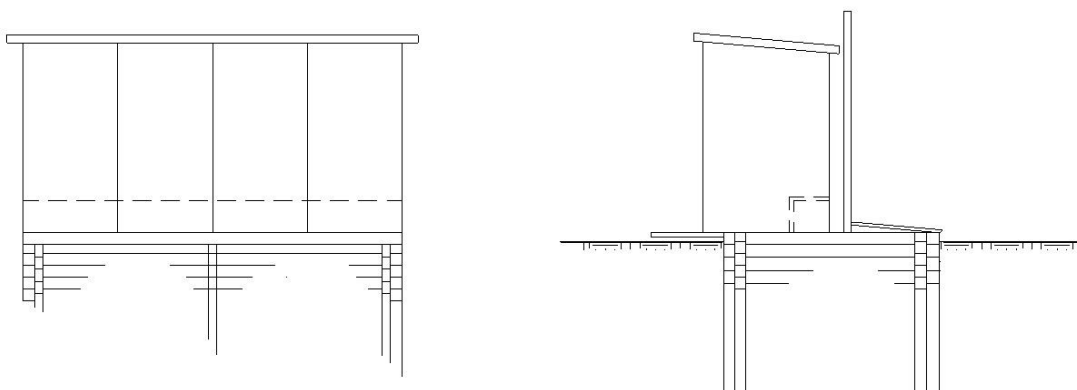
Öppettiderna är februari till början av maj samt från mitten av juni till slutet av september, med majoriteten av besökarna under sommarsäsongen. Standarden är enkel och då stugplatserna sällan är elektrifierade får de energi från ved och gasol. Vatten bärs in i hinkar eller dunkar från vattentäkter, som utgörs av närmsta lämpliga vattendrag och använt vatten hålls i stora slasktrattar av trä med öppen botten. På större stugplatser tas vatten ibland med slang. Brännbart avfall eldas i brännugnar på plats.

Stugplatserna är bemannade under turistsäsongerna av en eller flera stugvärdar. Hygien kan skötas i bastu, i de stugplatser där sådana finns och behov utförs alltså på torrtoaletter.

2.2.1 Storgropstoaletter

Under 70-talet utvecklades en typ av toalett, som i en rapport från Luleå Tekniska Högskola, *Miljöpåverkan från torrtoaletter typ storgrop* (Marklund & Hanaeus, 1985) kallas för "Storgrop", en annan benämning är "Norrländsdass" (Dynesius, 2019). Denna typ av toalett är standarden för STF och för Länsstyrelsen

åtminstone i Norrbotten (Palo, 2019). I Figur 8 ges en sektion av en storgrop med fyra toalettplatser, eller "hål".



Figur 8 Sektion av torrtoalett typ storgrop, notera inspektionssluckan, egen illustration från Marklund och Hanaeus (1985).

Dess princip är mycket lik den amerikanska dass-gropen som visades i Figur 2 och byggs i multiplar av två, det vanligaste är att de har två eller fyra hål. Många välbesökta stugplatser har två enheter och alltså uppemot åtta hål. Under vissa perioder av turistsäsongen uppkommer då en överkapacitet och rotation, av vilken toalett som primärt används det året, kan tillämpas. Praxis är att stugvärdarna har en toalettplats endast för deras bruk. Vid Länsstyrelsens obevakade vindskydd är toaletterna mindre och har vanligen endast två hål.

Ofta, men inte alltid, är storgropstoalletterna i olika grad nedsänkta i marken som i Figur 8 och de utförs med otät botten. En mindre grävmaskin, som vid behov kan lyftas med helikopter, används för att gräva en så djup grop som möjligt, vilket brukar vara ungefär 1–2 meter. Gropen förstärks sedan med timmer i den mån det behövs och ovanpå det som nu kan kallas för tank ställs en överbyggnad. Ibland har det förberetts för att kunna flytta överbyggnaden över samma grop, för att på så vis kunna sprida avfallet när det börjar bygga upp till en pyramid mot hålet.

Tankarna är inte byggda för att enkelt kunna tömmas, men de är ofta försedda med luckor för att kunna inspektera, vända runt avfallet och möjligen lägga i matavfall. Det förekommer även sporadisk tömning, se Figur 9, för att förlänga livslängden, men den är svår att utföra i någon bättre omfattning.



Figur 9 Försök till tömning av torrtoalett av typ storgrop vid STF:s stugplats i Tarfala i Kebnekaise fjällen i september 2015. Foto: Erik Nyström

Eftersom toaletterna inte är utförda för att kunna tömmas måste de efter en tid överges och nya gropar grävas där så krävs. Marklund och Hanaeus (1985) skriver att det inledningsvis räknades med en livslängd på 8–10 år, men att det snart insågs att de på många platser skulle hålla i 15–20 år, då volymen fylldes upp långsammare än vad som först befarats.

Med ytterligare perspektiv från tid som gått, kan även den siffran revideras för några stugplatser (med endast några hundra övernattningar) till att "... (de) aldrig kommer bli fulla" (Dynesius, 2019). Exempel finns från hela fjällkedjan på toaletter med livslängder på väl över 20 år, även på förhållandevis välbesökta platser.

Jesper Nilsson är mångårig fastighetsskötare i STF:s norra stugområde, längs norra Kungsleden mellan Abisko och Kaitumjaure. Han har själv byggt, eller byggt om, många toaletter på platser med hög användning. Enligt Nilsson (2019) handlar det om knappt 10 år innan de mest välbesökta är fyllda och något måste göras. Då marken på kalfjället ofta är svårgrävd och för att spara in helikopterlyft, letar han efter kullar att bygga en tank av timmer mot, se Figur 10. Tanken kan då förlängas i bakkant en, eller ibland flera, gånger när den börjar bli full.



Figur 10 Toalett vid STF:s Singi-stuga, där timmertanken just förlängts i bakkant. Foto: Birger Dynesius

Nilsson är generellt mycket nöjd med situationen och föredrar att lägga några arbetsdagar på att bygga om eller nytt var tionde år; snarare än att tömma med tätare intervall om en sådan praxis skulle tillämpas.

Ivar Palo arbetar som ledsamordnare på fältenheten på Länsstyrelsen i Norrbottens län. Palo är mer bekymrad, särskilt för toaletterna närmast Abisko Turiststation och berättar (2019) att en som byggts så sent som 2015 redan är överfull. Länsstyrelsens toaletter har ingen daglig tillsyn utan besöks av tillsyningsmän från enstaka gånger årligen till så ofta som varje eller varannan vecka. Intill norra Kungsleden har Länsstyrelsen toaletter på cirka 10 platser och de har 42 vindskydd i Norrbottens län.

2.2.2 Andra exempel på torrtoaletter i fjällen

Det finns några undantag där andra torrtoalettlösningar används i de svenska fjällen. År 2016 invigdes en ny säkerhetsstuga på 2000 meter över havet, i direkt anslutning till Kebnekaises sydtopp. Toppen bestigs av tusentals besökare årligen och toalettpapper och avföring vittnar om att många här gör sina behov i det fria, då den gamla toaletten sedan länge försumrats och fyllets över.

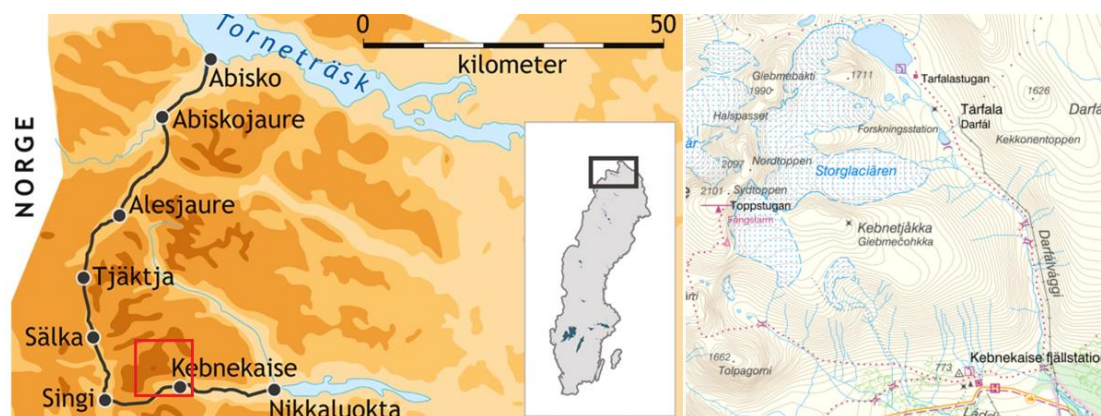
Till den nya säkerhetsstugan beslöts att använda latrintunnor vilka skulle skiftas av den personal som guidar turister till toppen. När det avsedda förrådsutrymmet för fulla kärl blivit fullt skulle kärlet flygas med helikopter till närmsta väg i Nikkaluokta och därifrån fraktas till Kiruna för omhändertagande. Denna lösning visade sig inte hållbar och toaletten stängdes redan första sommaren (Nilsson, 2019). Tunnorna fylldes upp på bara några dagar, då hundratals besökare bestiger Kebnekaise sydtopp under vissa sommardagar.

Ett annat undantag är Helags Fjällstation i södra Jämtlandsfjällen. Denna saknade avloppsreningsverk och därmed vattentoaletter fram till 2017 och förlitade sig därför på torrtoaletter. Då besökarantalet ändå är kring 7000 (exklusive tältare) årligen bedömdes att en bättre torrtoalettlösning behövdes. Vid Helags byggdes årtal en stor tank ovan jord med stora vertikala luckor för att förenkla tömningen.

2.3 Tarfala och norra Kungleden

Tarfaladalen i Kebnekaisefjällen är den specifika plats som valts ut för den egna konstruktionen och beräkningarna på den. Beräkningarna utförs mot väderobservationer och i Tarfala, vid den forskningsstation som drivs av Stockholms universitet, har Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) en mätstation. Platsen är intressant och sevärd på många sätt och därför finns här också en STF-fjällstuga. Den cirka 40 mil långa vandringsleden Kungleden löper i nord-sydlig sträckning från Abisko till Hemavan och passerar strax väster om Tarfala.

Tarfalastugan ligger långt norrut cirka 1150 meter över havet och är därmed en plats med kargt klimat, men som ändå har många besökare, ungefär 1500 övernattningar och till det skall läggas dagbesökare och tältare. Tarfalastugan ligger åtta kilometer norr om Kebnekaise Fjällstation, se Figur 11.



Figur 11 Karta över norra Kungleden till vänster och Tarfaladalen till höger. Kungleden fortsätter söder ut från Singi. Kartor hämtade från Svenska Turistföreningen (2019) och Lantmäteriet (2019).

I Tarfala finns idag två storgropstoaletter, den som syns i Figur 9 och en som byggdes 2018 och visas i Figur 12.

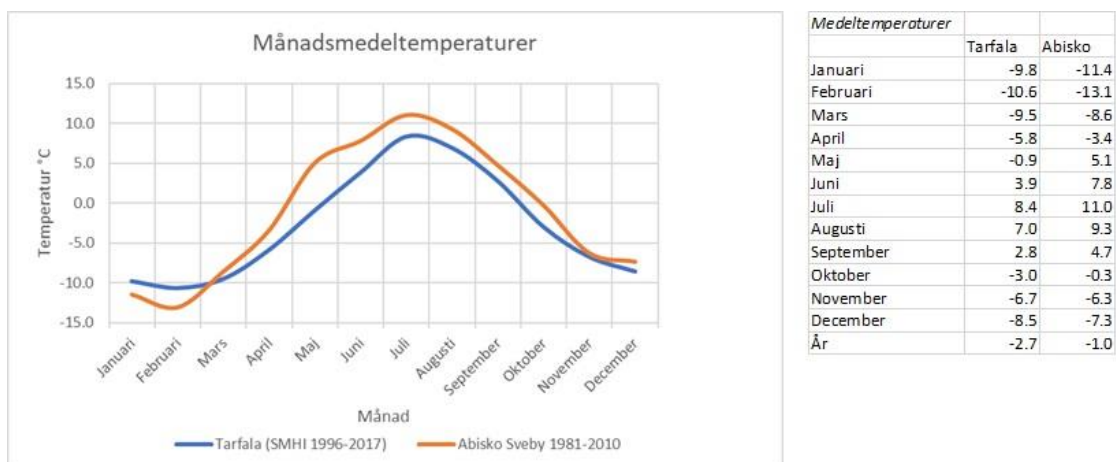


Figur 12 Bilder från mars 2019 på den nya storgropstoaletten i Tarfala. Det har blåst och snö har drivit in i båset. Överbyggnaden är ordentligt fäst i marken med vajer. Skylten vid staketet uppmanar till att använda "kisshörnet". Fotograf: Pontus Göransson.

Totalt finns det nu åtta toalettplatser i Tarfala.

2.3.1 Klimatdata

Detta avsnitt syftar till att ge läsaren en överblick över klimatförhållandena i Tarfala och närområdet. Branschprogrammet *Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader* (Sveby) har tagit fram fritt nedladdningsvara normalår för 310 orter i landet för att underlätta effekt- och energiberäkningar med timupplösning. Tarfala (cirka 1150 meter över havet) saknas, men bland annat finns filer för Abisko (cirka 385 meter över havet). Platserna ligger geografiskt nära varandra, men avviker alltså betydligt i höjd. I Figur 13 visas månadsmedeltemperaturen för Tarfala och Abisko.



Figur 13 Medeltemperatur för Tarfala och Abisko. Observera att två källor har använts.

I Tarfala har endast fyra av årets månader medeltemperaturer över fryspunkten och därtill är temperaturerna blygsamma. Från perioden 1996–2017 är den lägsta uppmätta temperaturen $-31,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ från den 5:e februari 2012 och den högsta $21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

från den 8:e augusti 2007. Verkligt extremt är Tarfala när det gäller byvind, med 11 av 12 svenska månadsrekord (SMHI, 2018). Det svenska byvindsrekordet på 81 m/s uppmättes här den 20:e december 1992. Abisko har högre medeltemperatur, men uppvisar det välkända mönstret att lägre liggande stationer har lägre temperaturer under midvintern.

Det görs inga anspråk på att i Figur 13 ge fullkomligt korrekta värden enligt de metoder och normalperioder som meteorologer använder. Medelvärdena för Tarfala är beräknade utifrån de timobservationer som SMHI lägger ut i sina öppna data (SMHI, 2019), men dessa kan innehålla långa perioder då data saknas och här görs ingen åtskillnad på om data har kvalitetskontrollerats eller ej. För Tarfala finns öppna data från november 1995 tills vidare och i Figur 13 presenteras data från perioden 1996–2017 då 2018 inte fanns komplett nåbart vid tiden då informationen samlades in. Eftersom det ändå rör sig om en förhållandevis lång tidsperiod jämnas många fel ut och det som visas ger en rimlig bild över klimatet i Tarfala. För Abisko har värden beräknats utifrån ett Sveby normalår 1981–2010 (Sveby, 2016).

Om beräkningarna på den egna konstruktionen skulle visa att bättre förutsättningar för biologisk nedbrytning går att uppnå i Tarfala, borde det medföra att det kommer att fungera på de flesta andra platser i fjällen också. Vanligtvis ligger stugplatserna betydligt lägre och mindre utsatt än i Tarfala.

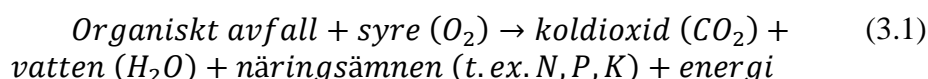
3 Nedbrytningsprocessen

Biologisk nedbrytning är en naturlig process där dött organiskt material sönderdelas. Det finns två huvudtyper: en aerobisk och en anaerobisk process. Den aeroba talar om att nedbrytningen sker i en syrerik miljö och den anaeroba sker i frånvaro av syre.

I *Kompostboken* (Alm, o.a., 1994) definieras kompostering såsom biologisk och främst mikrobiell aerob nedbrytning av organiskt material i form av fast avfall. Vidare sker det under kontrollerade former, det vill säga att människan har en hand med i spelet och har någon avsikt med komposteringen. Rötning och förruttelse syftar främst på anaerob nedbrytning.

Eftersom den aeroba processen sker med större hastighet och då föreningar med skarp lukt inte bildas i den syrerika miljön, är det den som eftersträvas i vårt fall. Motsatt gäller att den anaeroba processen skys, på grund av dess långsamhet och de illaluktande ämnen såsom olika svavelväten som bildas i. I en process som i huvudsak är aerob kommer sannolikt anaeroba förhållanden att råda bitvis eller tidvis, hur mycket man än anstränger sig.

En förenklad kemisk reaktionsformel (Eriksson, 2011) för aerob nedbrytning kan ges enligt ekvation 3.1.



I allt väsentligt är det alltså omvänd fotosyntes och reaktionen alstrar både vatten och energi varav en del blir överskott i form av värme. De viktigaste organismerna som bryter ned avfallet är bakterier och mikroskopiska svampar. Hädanefter kallas de för mikrober, med vilket menas organismer som är så små att de inte kan urskiljas med blotta ögat.

Det förekommer metoder där mikrober tillsätts, exempelvis genom matjord, döda djur eller via företag med särskilt utvecklad doserutrustning. Gotaas (1956) hävdar att mikroberna redan finns i avfallet och väntar på rätt förutsättningar och att det som tillsätts i bästa fall har en mycket liten påverkan. Mer komplexa livsformer, exempelvis insekter, maskar och larver förekommer också ofta i komposter, men de är inte alltid välkomna på grund av hygien- och komfortskäl.

3.1 Avföringens sammansättning och mängduppskattning

Litteraturen som ligger till grund för avsnittet om den biologiska nedbrytningen ger många exempel på vilka mängder fekalier och urin som produceras per person och dygn. Wagner och Lanoix (1958) redovisar uppgifter från Indien, Sydostasien och Europa/Förenta staterna. Utan att redovisa alla detaljerna, så är det lite förvånande att de europeiska och amerikanska mängderna uppges vara betydligt mindre än de asiatiska, ungefär 100–150 gram per person och dygn respektive 200–400 gram per person och dygn. Författarna hänvisar sedan till Gotaas (1956) som anger produktion enligt Tabell 1.

Tabell 1 Ungefärlig produktion av avföring per person och dygn

Fraktion	Våtvikt [g]	Torrsvikt [g]
Fekalier	135–270	35–70
Urin	1000–1300	50–70

Eriksson (2011) anger mängder som volym efter egen uppskattning till 1,5 liter urin och 0,5 liter fekalier och toalettpapper per person och dygn. Volymmåtten är också intressanta eftersom de ger viss ledning till hur stor tanken till en torrtoalett bör vara för att inte överfullas allt för tidigt. I Tabell 2 ges uppgifter om avfallets sammansättning.

Tabell 2 Tabell som visar sammansättningen av mänskliga fekalier och urin.

Mänsklig avföring exklusive urin	Andel totalt	Mänskligt urin	Andel totalt
Fuktinnehåll	66–80%	Fuktinnehåll	93–96%
Torrsubstans (TS)	20–34%	Torrsubstans (TS)	4–7%
Torrsubstans	Andel av TS	Torrsubstans	Andel av TS
Organiskt material	88–97%	Organiskt material	65–85%
Kväve	5,0–7,0%	Kväve	15–19%
Fosfor (P ₂ O ₅)	3,0–5,4%	Fosfor (P ₂ O ₅)	2,5–5,0%
Kalium (K ₂ O)	1,0–2,5%	Kalium (K ₂ O)	3,0–4,5%
Kol	40–55%	Kol	11–17%
Kalcium (CaO)	4–5%	Kalcium (CaO)	4,5–6,0%

Uppgifterna kommer från WHO (Gotaas, 1956) och det organiska materialets mängd har beräknats genom viktavgången vid förbränning av den torra substansen. Tabellen är inte helt intuitiv att avläsa, men en betydande del av latrinerna, även fekalier, utgörs av vatten. Utöver vattnet är kol, kväve och olika salter de största beståndsdelarna.

3.2 Faktorer med påverkan på nedbrytningshastigheten

Många har säkert hört eller vet att komposter skall vändas, blandas med strö, vattnas och till och med kalkas och att urinseparering är viktigt i utedasset. Eftersom målet är att få så stor nedbrytning så snabbt som möjligt ska vi uppehålla oss lite vid de faktorer med störst bäring mot nedbrytningshastigheten och som förklarar de nyss nämnda åtgärderna.

Att den aeroba processen kräver syre och nedbrytningen går snabbare vid högre temperaturer är nog korrekt att betrakta som den gyllene regeln för aerob nedbrytning, men det finns andra faktorer också. Att känna till dessa faktorer är viktigt och i viss mån går de att påverka eller åtminstone någorlunda förutse genom den egna konstruktionens utformning.

3.2.1 Temperatur

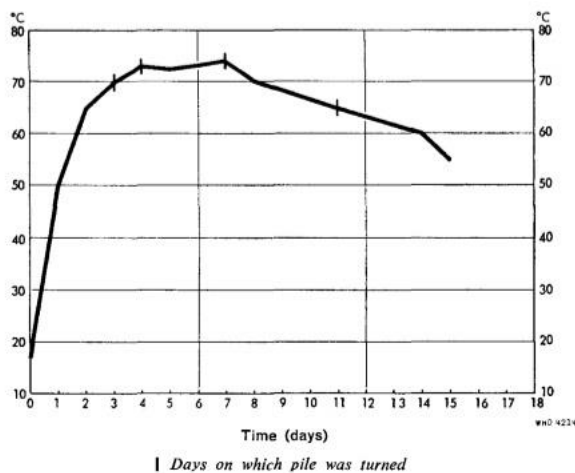
Att höga temperaturer är av godo gäller givetvis till en viss gräns innan organismerna i stället dör. Mikroberna delas in i tre huvudgrupper (Alm et al. (1994)) enligt deras temperaturoptimum:

- <math> < 20 \text{ }^\circ\text{C}</math>: psykofila mikrober. En lägsta gräns anges till $-5 \text{ }^\circ\text{C}</math> under vilken vattenlösningen inuti cellerna fryser. Viss nedbrytning förekommer alltså även vid låga temperaturer.$
- $20 - 40 \text{ }^\circ\text{C}</math>: mesofila mikrober, dessa sägs utgöra den största gruppen.$
- $>45 \text{ }^\circ\text{C}</math>: termofilernas optimum ligger över $45 \text{ }^\circ\text{C}</math> och de verkar generellt avstanna vid cirka $70 \text{ }^\circ\text{C}</math>.$$$

Mikrobernas förekomst överlappar varandra och en komposthögs temperatur varierar både i tid och i rum. Komposthögen har sig själv värmeisolerande egenskaper och ofta återfinns högre temperaturer i högens mitt och den avtar närmare ytan.

Vid studier berättar Alm et al. (1994) att man vanligen försökt ge ett mått på nedbrytningshastigheten genom att mäta syreförbrukning eller koldioxidproduktion. Den generella slutsatsen verkar vara att den optimala temperaturen ligger i intervallet $35\text{--}55 \text{ }^\circ\text{C}</math>. Det varnas även för att höga temperaturer allt för ofta ses som en förutsättning för god biologisk nedbrytning, när temperaturen i själva verket är en konsekvens av aktiviteten i komposten. Detta är sannolikt helt korrekt, men en tillverkare av komposteringstoaletter anger att nedbrytningen avstannar vid $7 \text{ }^\circ\text{C}</math> (Mårtensson, 1996). Tidigare såg vi också att medeltemperaturen i Tarfala under sommaren knappt överstiger ett vanligt kylskåps och därför görs antagandet att det ändå är viktigt att fokusera på att försöka höja temperaturen.$$

Fenomenet, med högre temperaturer i de djupare lagren i en hög med latrin, är inte helt okomplicerat. Gotaas (1956) beskriver ett försök på en cirka 3 ton tung komposthög bestående av både latrin och matavfall. I denna nås de högsta temperaturerna vid cirka 30 centimeters djup, varefter de avtar. Detta förklaras med att mer anaerobiska förhållanden råder på större djup och då kan inte höga temperaturer upprätthållas. Han ger också ett exempel på en typisk temperaturutveckling över tid i en hög bestående av blandat hushållsavfall, exemplet visas i Figur 14.



Figur 14 Temperaturutveckling i en större kompost bestående av matavfall där de svarta strecken markerar de fyra tillfällena då högen vändes, från Gotaas (1956). Återgiven med tillstånd av WHO.

Temperaturen har inte loggats med täta intervall och därför syns inte de plötsliga temperaturfallen vid vändningarna. Gotaas skriver att temperaturen efter 2–3 timmar är tillbaka på samma höga nivå som innan vändningen. Ur diagrammet går att utläsa

att temperaturen når sitt maximum efter ungefär fem dagar och börjar därefter avtaga. Möjligen skulle avtagandet vara mer markerat utan de upprepade vändningarna, som gör att mer bränsle och syre kommer i kontakt med varandra och processen tar ny fart.

3.2.2 Kol-kväveförhållandet

Kol-kväveförhållandet brukar förkortas C:N-kvoten och det talar om hur mycket kol i förhållande till kväve som finns tillgängligt i komposten. Mikroberna behöver cirka 25–30 gånger mer kol än kväve (Alm et al. (1994)). Ett underskott på kväve leder till att processen går långsammare på grund av kolbrist och ett överskott på kol gör att processen går långsammare då mikroberna försöker komma över det kväve som finns i andra mikrober, det vill säga en form av oönskad kannibalism.

Ett överskott av kol är nog ändå att föredra då brist på det samma gör att kväve i form av ammoniak kan avdunsta och sprida dålig lukt. Kol-kväveförhållandet är en av anledningarna till att strö tillsätts i komposter. I Tabell 3 visas några förekommande materials C:N-kvot.

Tabell 3 Kol-kvävekquot för några organiska material.

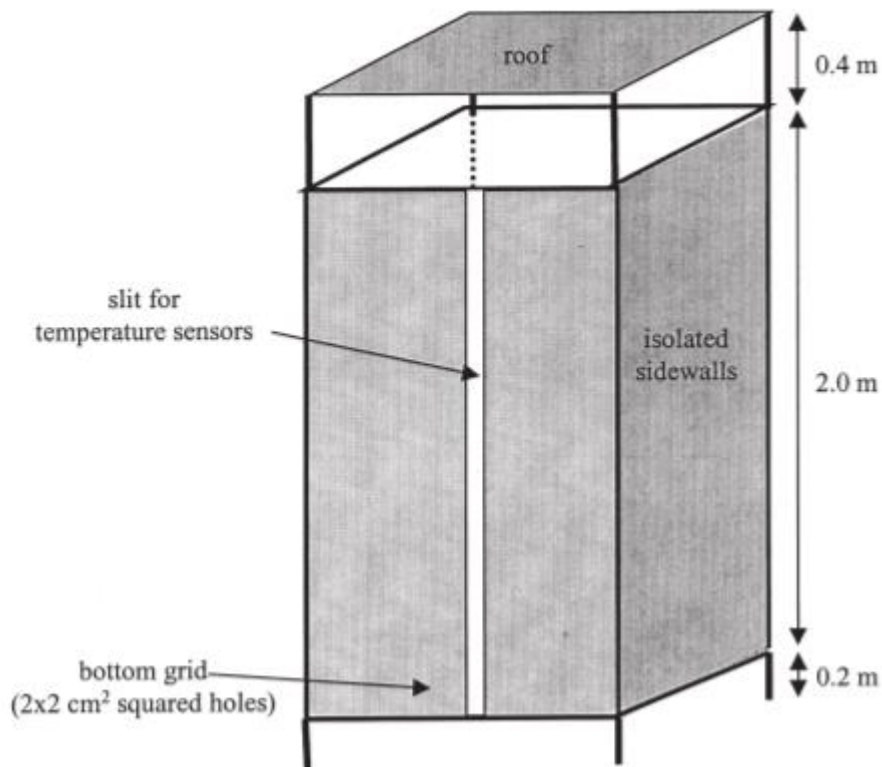
Material	C:N	Material	C:N
Urin	0,8	Löv	50
Fekalier	6–10	Bark	70–100
Exkrementer från nöt och häst	15	Papper	200
Gräsklipp	15–20	Multnat sågspån	200
Köksavfall	23	Färskt sågspån	500

Noterbart är att urin är mycket kväverikt och även om urin skulle separeras ur latrinen behöver något strömaterial tillsättas för att uppnå ett C:N på omkring 30:1.

3.2.3 Syresättning och vattenhalt

Förutom det uppenbara att syre måste finnas tillgängligt i kompostutrymmet behöver det komma i kontakt med avfallet. Avfallet bör därför vara finfördelat och inte för kompakt; det vill säga ha en tillräcklig porositet. Vatten är nödvändigt för nedbrytningsprocessen, då näringsämnen är lösta i vatten och mikrobernas celler till 90 % består av vatten (Alm et al. (1994)). Finns det för mycket vatten kommer dock högen kompakteras mer och porerna att fyllas av vatten, vilket gör att syret inte kan tränga in på djupet.

Vid ett nederländskt försök (Veeken, de Wilde, & Hamerers, 2002) studerades porositetens betydelse där svinspillning blandades med halm till olika densitet i tre reaktorer, 1100 kg/m³, 700 kg/m³ och 560 kg/m³. Reaktorerna visas i Figur 15.



Figur 15 Reaktorerna som användes i det nederländska försöket på grisspillning. Lådans botten mäter 1x1 meter. Från Veeken et al. (2002). Återgiven med tillstånd av Adrie Veeken.

Reaktorerna, eller de isolerade lådorna, med svinspillning ställdes sedan upp utomhus och temperaturen på den omgivande luften och den inuti mättes. Försöken avslutades då någon låda under en längre tid haft en temperatur nära omgivningens, varvid det antogs att aktiviteten avstannat. Massan och densiteten fastställdes då ånyo. Lådorna var utformade så att luft endast kunde tränga in genom en perforerad botten och lämna dem på ovansidan. Konvektion genom temperaturstegringen inuti lådorna var drivkraften för denna luftström.

Vi ska återkomma till detta försök senare, men konstaterar här att lådan med en densitet på 700 kg/m^3 uppvisade det bästa resultatet vad gäller massavgång och varaktighet på nedbrytningen. Slutsatsen som drogs var att 1100 kg/m^3 ger en för tät massa med anaerobiska förhållanden och vid 560 kg/m^3 var luftgenomströmningen så hög att för mycket värme transporterades bort och processen blev lidande av det.

Antaget att den omgivande utomhusluften är förhållandevis kall, vilket avgjort är fallet i Tarfala, kommer ett större luftflöde att kyla komposten. Eftersom hypotesen är att temperaturen inuti toalettens tank behöver höjas är det alltså av vikt att få ett mått på hur mycket luft (egentligen syre) som är nödvändigt för nedbrytningen och om möjligt försöka styra luftomsättningen mot denna mängd. En uppgift är 5–7 liter luft per kilo torrs substans och timma [l/kg(TS)*h] (Alm et al. (1994)) vid störst förbrukning och cirka 2,5 liter vid det de kallar för den senare delen av komposteringen. Det är oklart vad den komposten bestod av.

Vid det nederländska försöket (Veeken, de Wilde, & Hamerers, 2002) på svinspillningen blandad med halm mättes lufthastigheten genom lådan med densiteten

560 kg/m³. Det verkar som om flödet var i intervallet 36–48 m³/h under de tre veckor mätningarna pågick. Omräknat blir det ungefär 330–440 l/kg(TS)*h.

Detta är en helt annan storleksordning och det flödet bedömdes också som för stort. Vi ska minnas att de 5–7 l/kg(TS)*h Alm et al. talar om, kommer från syreförbrukningen. I det nederländska försöket vet vi ingenting om hur mycket syre som förbrukats i den genomströmmande luften och drivkraften var som tidigare nämnts konvektion. I lådan med densiteten 700 kg/m³ gjordes ingen direkt mätning, men flödet beräknades i efterhand till ungefär 9 m³/h, vilket skulle ge möjlighet till 40 l/kg(TS)*h. Eftersom processen i den lådan var lyckad och kompostens sammansättning liknar den i en torrtoalett är det kanske att betrakta som ytterligare ett riktmärke.

Som vi tidigare konstaterat finns det rikligt med vatten i fekalier och framförallt i urin och det kan tillkomma ytterligare i form av nederbörd eller snösmältning. Det är dessutom både en förutsättning för och en restprodukt av nedbrytningen. En uppgift (Winblad, Kilama, & Torstensson, 1978) är att en fuktkvot på 50–60 % är idealisk vad gäller förstöring av patogener och i en amerikansk studie (Breitenbeck & Schellinger, 2004) säkerställs en fuktkvot på 55 % genom bevattning. Gootas (1956) hänvisar till en studie där avfall som innehöll mycket strö kunde ha aerobisk nedbrytning även vid fuktkvoter på omkring 85 %, men om de istället innehöll mycket papper blev de snabbt anaerobiska när fuktkvoten närmade sig 70 %.

Komposter kan också bli för torra, där en fuktkvot på 40 % brukar sägas utgöra nedersta gräns (Anand & Apul, 2013) och behöva vattnas, men troligen har det i fallet med storgropstoletterna i fjällen varit ett större problem att de snarare blivit för blöta.

3.3 Förändring av massa och volym

Hela avsnittet om den biologiska nedbrytningen syftar till stor del att kunna svara på frågan vilken volym- och massförminskning som skulle gå att förvänta sig i toaletten i Tarfala. Egentligen är massförminskning mest intressant, även om en minskning av volymen i alla fall har den fördelen att det skjuter upp det oundvikliga; att toaletten måste tömmas eller överges. Fås massan att minska innebär det att latrinen omvandlats till koldioxid och vatten och avgått till atmosfären och i vattnets fall möjligen även infiltrerats till marken. I detta fall går det att tala om en verklig fördel, då det som återstår att hantera för verksamhetsägaren nu inte bara är mindre skrymmande utan också mindre tungt.

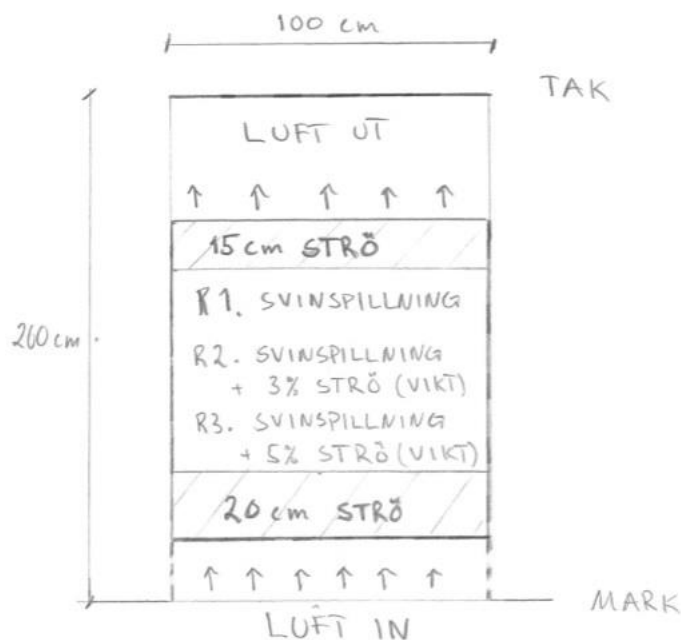
En framgångsrik kompostering beror alltså av en mängd faktorer och något exakt svar lär vara omöjligt att finna. Information som ger någon ledning mot svaret finns i hand- och faktaböcker om kompostering (som ofta behandlar även torrtoaletter och latrin), från tillverkare av så kallade biologiska toaletter samt från vetenskapliga artiklar i ämnet.

Tillverkares uppgifter bör alltid betraktas med stor skepsis; även om den inte behöver vara direkt felaktig, går det att misstänka att de beskriver något slags idealiskt fall. De, som det verkar, ofta mer erfarenhetsbaserade uppgifterna från hand- och faktaböcker har en nackdel i att de oftast endast berättar om förändringar i volym, som grovt kan fastställas med ögonmått och i sakens natur ligger att de inte alltid hänvisar till sina källor eller är särskilt specifika i sina uppgifter.

3.3.1 Försök på svinspillning

Den studie som mest berör detta avsnitts frågeställning är den tidigare nämnda nederländska studien, *Passively Aerated Composting of Straw-Rich Pig Manure: Effects of Compost Bed Porosity*, (Veeken, de Wilde, & Hamerers, 2002) som vi nu ska betrakta mer ingående.

Vid studien var reaktorerna matade med tre blandningar: Reaktor 1 endast med svinspillning, reaktor 2 med svinspillning plus 3 % av våtvikten med halm och reaktor 3 plus 5 % av våtvikten med halm. Som Figur 16 visar fanns även ett lager halm både i botten och på ovansidan.



Figur 16 Skiss som visar de tre reaktorernas uppställning och innehåll.

Luften kunde alltså endast färdas vertikalt genom reaktorerna via den perforerade botten och strölagret. Reaktor 3 var fylld till betydligt mindre grad än de övriga två reaktorerna eftersom denna hade försetts med en stos för att mäta luftflödet. Tabell 4 visar sammanställning och resultat av komposteringen.

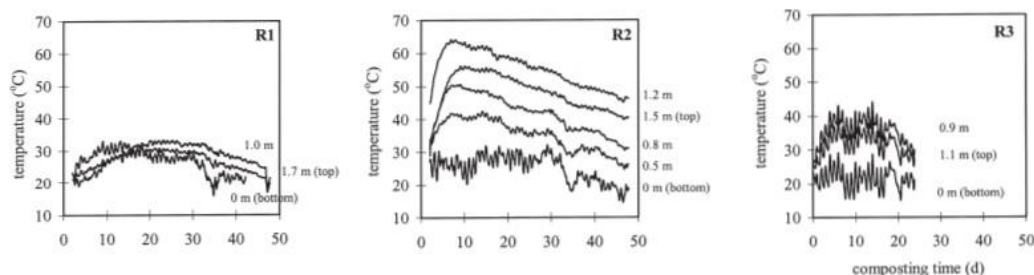
Tabell 4 Resultat av kompostering i det nederländska försöket.

Parameter	R 1		R 2		R 3	
	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut
Tid [dagar]	46		137		98	
TS [kg/kg]	0,23	0,24	0,25	0,28	0,30	0,32
VS [kg/kg(TS)]	0,71	0,69	0,74	0,73	0,79	0,76
Vikt* [kg]	1350	1281	872	508	362	242
Höjd* [cm]	122	110	124	90	65	45
Densitet [kg/m ³]	1100	1290	700	560	560	540
Volym [m ³]	1,22	0,99	1,24	0,91	0,65	0,45

*Avser spillnings- och ströblandningen, det vill säga ej lagret av strö i botten och ovanpå

Som tidigare nämnts gavs det bästa resultatet från reaktor 2, med densiteten 700 kg/m³. Notera att dess densitet avtog trots att massan minskade med hela 364 kg. Reaktor 3 uppvisar också stor viktnedgång med oförändrad densitet. Reaktor 1, som alltså bestod av ren svinspillning utan inblandat strö, verkar framförallt ha kompakterats och massan minskade endast lite.

Temperaturen mättes enligt uppgift var tjugonde centimeter i reaktorerna under de första 46 dagarna. Givaren vid nivå 0 ger den omgivande temperaturen och den stiger sedan gradvis för att nå de högsta värdena i den näst översta mätpunkten. Vi erinrar oss att kompostmassan har isolerande egenskaper och att vi tidigare noterat att de högsta temperaturerna nås på ungefär på 30 centimeters djup. Den översta mätpunkten verkar återfinnas i det övre lagret av halm. I Figur 17 visas temperaturprofilerna i de tre reaktorerna såsom Veeken et al presenterar dem:



Figur 17 Temperaturprofil för de tre reaktorerna, R1, R2 och R3. Hämtat från Veeken et al (2002). Återgiven med tillstånd av Adrie Veeken.

Det är slående att reaktor 1 knappt uppvisar någon temperaturgradient och att det är ett tecken på låg eller obefintlig aerobisk nedbrytning. Lika slående är reaktor 2:s tydligt avgränsade gradient med ett maximum efter ungefär en veckas tid. Reaktor 3 har en temperatur på 10–20 °C över omgivningens, vilket förklarades med att för mycket värme transporterades bort av det höga luftflödet.

Den omgivande temperaturen sägs ges av den kurva som alltid (undantaget reaktor 3) återfinns längst ned i diagrammen. En observation är att de tycks avvika från varandra och artikeln gav intrycket, om än inga platsspecifika uppgifter eller datum, att experimentet startade vid samma tillfälle och plats utomhus i Nederländerna.

En viktigare observation är kanske att omgivningstemperaturen är förhållandevis hög och under hela försöksperioden handlar det om temperaturer som sällan eller aldrig uppnås i Tarfala. Summa summarum uppvisades förändringar av massa och volym i de tre reaktorerna enligt Tabell 5.

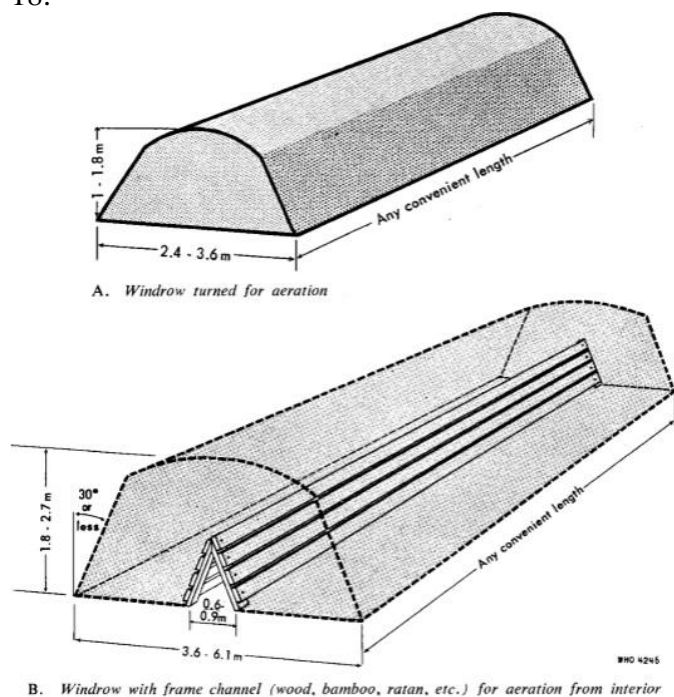
Tabell 5 Förändring i massa och volym i det nederländska försöket.

	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3
Viktminskning	5%	42%	33%
Volymminskning	19%	27%	31%

Viktminskningen återgavs specifikt i artikeln av Veeken et al., volymen har däremot beräknats efter bästa förmåga från de uppgifter om reaktorernas mått och innehållets densitet samt höjd. Att viss tvekan ändå uttrycks kommer att klarna längre fram då betydligt större tal för volymminskning kommer från andra källor. Undantaget reaktor 1 uppvisas en betydande minskning av massan under de omkring 100–150 dagar processen pågick och artikelförfattarnas slutsats, att en densitet på 560 kg/m^3 skulle vara för låg, är kanske något överdriven.

3.3.2 Försök vid strängkompostering

I en amerikansk artikel (Breitenbeck & Schellinger, 2004) studeras beräkningsmetoder för strängkompostering (engelska *windrow composting*) under bar himmel av några blandningar av fast organiskt material, bark och flis, gräsklipp, majsensilage med mera. Strängkompostering är en gammal och vanligt förekommande metod bland annat i städers stora kompostanläggningar. En principskiss ges i Figur 18.



Figur 18 Strängkompostering där den övre strängen vädras maskinellt genom vändning och den nedre är försedd med en luftkanal, bild från Gotaas (1956). Återgiven med tillstånd av WHO.

I den amerikanska studien hade de sex strängarna måtten 15*3*2 meter ($l*b*h$) och de vändes maskinellt en gång per vecka. Genom bevattning hölls fuktkvoten på 55 % och försöket pågick under 100 dagar utomhus i Louisiana. Dessvärre saknas uppgifter om årstid, väder- och temperaturdata. Tabell 6 visar i korthet resultatet av komposteringen av de sex strängarna.

Tabell 6 Procentuell förlust av massa, volym och organiskt kol efter 100 dagar.

Parameter	Medel	Intervall
Massa	19,4%	11,5 – 31,4%
Volym	40,7%	18,5 – 57,9%
Organiskt kol	28,9%	17,1 – 48,7%

I Breitenbecks och Schellingens försök ser vi liknande förluster i massa som i Veeken et al, men volymminskningen är dubbelt så stor. Enligt deras beräkningar stod förlusterna av organiskt kol för i medeltal 46,4 % av massreduceringen. Författarna noterar att massreduktionen inte var starkt korrelerad till varken den initiala C:N-kvoten eller skrymdensiteten och kommenterar att det vanligen lyfts fram som två viktiga faktorer.

De uttrycker också viss förvåning över att det totala innehållet av organiskt kol inte var starkare korrelerat till massreduceringen, som många hävdar är betydelsefullt (Gotaas, 1956). Vad gäller strängkompostering anger Gotaas vidare att volymreduceringen brukar ligga i intervallet 40–80 % och massreduceringen 20–50%.

3.3.3 Uppgifter från hand- och faktaböcker samt erfarenheter

Under tiden författaren till denna rapport arbetade i Kebnekaisefjällen provades en torrtoalett av typen Clivus Multrum M100 eller M150 i Tarfala. Två tankar i plast installerades 2011 och byggdes in med timmer, ovanpå timmerstrukturen ställdes en traditionell överbyggnad med ett hål per tank. Med instruktionerna kom ett diagram, som etsade sig fast i minnet, då det visade på en stor volymminskning vid korrekt dimensionering och installation. Den mycket stora volymförminskningen, över 90 % (Clivus multrum, 2019), låt vara över en längre tid, uppnåddes aldrig och toaletten revs 2018. Att den överlevde så länge berodde på årlig tömning, som var besvärlig att genomföra på grund av tankens utformning och på hur den var inbyggd. Den ersattes hösten 2018 (Nilsson, 2019) av en traditionell storgropstolett av typen med ett förstärkt grävt hål. Möjligen var Clivus-toaletten underdimensionerad och den lägre volymminskningen skulle också kunna bero av de låga temperaturerna i Tarfala.

I boken *Biologiska toaletter & komposter* (1996) nämns volymminskning av latrin på både 85 % och 90 %, Alm et al. (1994) säger omkring hälften och i *Kompost* (2011) står det att lite beroende på omständigheterna är det oftast inte mer än 20–25 % av den ursprungliga volymen kvar när trädgårdskomposten är färdig. Dessa uppgifter kommer som sagt från handböcker och det saknas längre utläggningar om hur de tagits fram.

3.3.4 Volymstudier av storgropstoletter på Kungsleden

Marklund och Hanaeus (1985) studerade storgropslatriner efter norra Kungsleden under åren 1983 och 1984 och utförde bland annat noggranna volymmätningar vid stugplatserna i Sälka, Alesjaure och Abiskojaure.

Volymen mättes på respektive plats i september 1983, i mars 1984 och årscykeln avslutades sedan i augusti 1984. Den äldsta toaletten hade vid tillfället varit i bruk sedan sju år och den nyaste var helt oanvänd i september 1983. Med hjälp av besöksstatistik och genom att de installerade mekaniska räkneverk i några dörrar kunde de beräkna volymökningen per besökare. De klart synliga räkneverken visade sig dessvärre opålitliga, då nyfikna besökare ofta öppnade och stängde dörren några extra gånger för att kontrollera deras funktion.

Slutsatsen drogs att intervallet 0,15–0,25 liter per besökare i grova drag bör kunna användas som mått på volymtillväxt. En toalett var som nämnts oanvänd vid försökets inledande och en annan var endast två år gammal. För dessa nyare toaletter anges intervallet 0,183 – 0,330 liter per besök. För toaletten som hade varit i bruk i sju år ligger intervallet 0,126 - 0,176 liter per besök för hela livstiden, det vill säga avgjort lägre än de nyare.

Detta är intressant och även om mätningen kommer från en enda stugplats (Sälka) måste den kunna anses vara allmän, då det är en förutsättning för den långa livstid som vi diskuterade på sida 7, att volymen succesivt minskar med tiden. Framförallt menar Marklund och Hanaeus att det kommer av en långsam uttorkningsprocess av latrin.

Författarna resonerar även om frysningens inflytande på volymen. Vid mätningarna i mars hade den totala volymen i högarna ofta ökat med drygt 10 %. Då toaletterna endast använts sporadiskt mellan september och mars är det i princip uteslutande till följd av en volymhävning och därmed densitetsminskning på grund av tjälning. Erfarenhetsmässigt (Marklund & Hanaeus, 1985) skapas linser av vatten, i exempelvis fruset avloppsslam, som vid upptining dränerar ut och kvarlämnar ett torrare material med lägre volym än innan det frös.

3.4 Sanitära frågor med avseende på latrin

I målsättningen nämndes att den egna toaletten ska vara tömningsbar. Den manuella hanteringen av latrin är förenad med risker för personalen som utför den och frågan uppstår hur den ska hanteras efter tömning. Måste den föras bort från fjället eller kan den omhändertas lokalt? För de flesta verksamhetsägare till avlägset belägna toaletter (Hill & Baldwin, 2012) är målbilden att kunna ha ett säkert, lokalt omhändertagande av ett avfall vars massa dessutom har reducerats. Det lokala omhändertagandets skall förstås som att den färdiga komposten mer eller mindre ska kunna spridas direkt i omgivningen nära toaletten.

3.4.1 Hygienisering och flugproblematik

Hygienisering innebär att patogener, det vill säga sjukdomsalstrande bakterier, avdödas. (Holm, Eveborn, Nordberg, & Persson, 2009). Fekalier kan förutom bakterier även innehålla virus och parasiter. Att hantera eller på annat sätt komma i kontakt med avföring är därför en källa till sjukdomar.

Tre faktorer brukar nämnas som viktiga för hygieniseringen: värme, bakteriell interaktion och tid. (National Center for Appropriate Technology, 1979). Bakteriell interaktion och tid är starkt sammankopplade och beror av att mikroberna, som snabbt förökar sig under komposteringen, är bättre anpassade för miljön än patogenerna och konkurrerar ut dessa.

Värme dödar många patogener på kort tid, från några minuter till en eller några timmar vid temperaturer kring 55 °C (Gotaas, 1956), men som vi sett kan det finnas delar av komposten där höga temperaturer inte råder och det är osannolikt att temperaturen någonsin blir hög nog i torrtoaletter (Hill & Baldwin, 2012).

Det figurerar olika uppgifter om hur lång tid som krävs för att en latrinkompost skall betraktas som hygieniserad och därmed förhållandevis säker att hantera. Eriksson (2011) skriver att kommuner i Sverige brukar kräva mellan 6–12 månaders vilotid sedan sista användning, National Centre for Appropriate Technology (1979) anger ett år och i *Sanitation without water* (1978) står det sex månader. Eriksson (2011) hävdar också att det krävs två separata tankar för att säkerställa att vilotiden efterlevs, det räcker alltså inte med en skiljevägg för att åtskilja två kammare.

Hill och Baldwin (2012) menar att det är osannolikt att endast lång vilotid kan anses vara tillförlitligt för att alla patogener, virus och parasiter ska avdödas. Många kommer att dö, medan andra kan överleva i årtal och de nämner särskilt rotavirus, hepatit A och vissa typer av hakmaskar. Hill och Baldwin förespråkar kompostering med hjälp av maskar (engelska *vermicomposting*), som de visar har många fördelar, även när det gäller hygienisering.

Flugor är ett annat välkänt gissel kring komposter och latriner. De upplevs av många som besvärande och det finns goda skäl därtill eftersom de också är bärare av smittor och till och med vissa parasiter (Winblad, Kilama, & Torstensson, 1978). För de väl fäste i en miljö som passar dem förökar de sig snabbt, Gotaas (1956) anger att en vanlig husflugas livscykel är på en till två veckor. Han beskriver också några specifika metoder för att kontrollera flugproblematiken, där kanske den viktigaste är vändning. Han poängterar också att välfungerande komposter är ett bra botemedel både för avdödning av patogener och för flugbekämpning, vilket även Eriksson (2011) instämmer i. Motsatt gäller att en blöt och lätt ljummen kompost; framförallt om den består av djurspillning men även mänsklig latrin, är en bra livsmiljö för flugorna och deras larver.

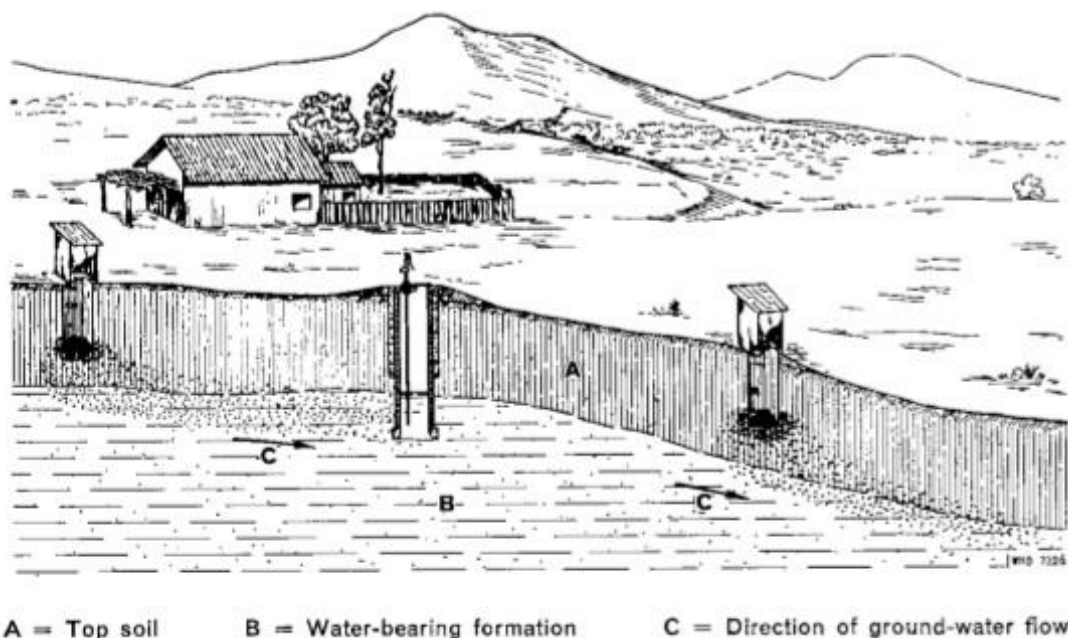
För att flugor ska få fäste i en torrtoalett behöver de ta sig in i den, vilket givetvis underlättas om den är otät. Flugornas ägg skulle också kunna komma via matavfall om det komposteras i samma tank. Flugor attraheras av ljus och det har därför påståtts att de inte förekommer i djupa groplatriner eller borrhållslatriner men detta tillbakavisas av andra (Winblad, Kilama, & Torstensson, 1978). Fluglarverna dör likt patogenerna vid temperaturer över 50 °C, men de kan av egen förmåga fly till svalare delar och klättra efter väggar eller söka skydd i marken om botten är otät. Flugornas ägg är dock immobile och dör redan vid temperaturer kring 40–43 °C (Winblad, Kilama, & Torstensson, 1978).

Winblad et al. föreslår att värme från passiva solfångare skulle kunna hetta upp det annars svalare ytskiktet till temperaturer som dödar äggen. Några andra metoder som figurerar (Gotaas, 1956) och beskrivs är att tända eld på komposten, olika typer av fällor och även bekämpningsmedel (Wagner & Lanoix, 1958) såsom det sedan länge förbjudna dikloridfenyltrikloretan (DDT). Många bekämpningsmedel förvärrade snarare problemen berättas det, då flugorna utvecklade resistans. En professor Jettmar, vilken var verksam i Kina under slutet av 1930-talet, (Winblad, Kilama, & Torstensson, 1978) drog slutsatsen att den bästa metoden att döda larver i stor skala var att använda massvis med kokhett vatten. Det lär också fungera; (Eriksson, 2011) genom att med kraftig ströinblandning göra kompostmassan för torr för fluglarverna.

Ingen av de intervjuade personerna i denna studie har upplevt några större problem med flugor i toaletter i fjällen. Författaren har dock egna erfarenheter från en kompost för matavfall vid Kebnekaise Fjällstation. Denna är i jämförbar storlek med storgropstoalletterna och kunde ha ytlagret helt bemängt med fluglarver och stora svärmar av vuxna individer inuti och intill.

3.4.2 Infiltrering av lakvatten

Lakvatten från komposter och latriner kan förorena omgivande mark- och vattenområden. Om det vill sig illa kan smittor spridas, till exempel skulle en vattentäkt kunna bli påverkad och därför finns det i många kommuner krav på utförande på slutna tankar med tät botten (Eriksson, 2011). Det rekommenderas starkt (Wagner & Lanoix, 1958) att placera torrtoaletter, vars tankar är öppna mot marken, nedströms närmsta vattentäkt. Om det ändå inte kan undvikas berättar de att beroende på markens beskaffenhet, får det iaktas säkerhetsavstånd. Dessa säkerhetsavstånd är inte längre än i intervallet 7,5–15 meter, men beror av omständigheterna. De hänvisar dock till en studie från Alaska där bakterier färdats en sträcka av 30 meter på 33 timmar, men att bakterierna snabbt minskade i antal genom avdödning och filtrering i marken. I Sverige klassificerar Livsmedelsverket (2019) 14 dagars uppehållstid i marken som en mikrobiologisk barriär. Det vilket torde innebära längre säkerhetsavstånd, men avser dricksvattenberedning. I Figur 19 visas hur lakvattnet framförallt sprids vertikalt från föroreningskällan och färdas horisontellt först när det når grundvattennivån.



Figur 19 Bilden visar hur lakvattnet framförallt sprids vertikalt från torrtoaletten tills det når grundvattnet och då transporteras horisontellt. Bild från Wagner och Lanoix (1958). Återgiven med tillstånd av WHO.

Wagner och Lanoix skriver att risken att grundvattnet i homogena jordar blir förorenat är minimal om botten på en torrtoaletts tank är mer än 1,5 meter ovanför grundvattennivån. Däremot bör försiktighet iaktas om berggrunden består av kalksten eller uppsprucket berg, där vatten i bägge fallen kan färdas i kanaler och därmed inte filtreras. Bakterier kan då snabbt färdas långa sträckor. Det har betydelse om lakvattnet infiltreras i marken eller om det avrinner på ytan. Är tanken inte nedsänkt och botten är utförd öppen kan marken i direkt anslutning bli mättad av förorenat vatten som kan föras vidare av regn, eller av vind om det skulle torka upp.

Marklund och Hanaeus (1985) studerade lakvatten och infiltration i storgropstoalletter, bland annat genom att lägga en presenning med uppvikta kanter på

vilken det nya materialet fick ansamlas. Vid nästa besök letade de efter fritt vatten på presenningen och hittade som mest en liten ansamling på 1–1,5 liter. Slutsatserna de drog av frånvaron av fritt vatten var att största delen av vattnet fanns bundet i latrinhögarna och att vattenavgången främst skedde via konvektion snarare än infiltration. De resonerar också kring att detta torde förstärkas ju äldre toaletten är och att infiltrationen kan vara betydande under det eller de första åren av en toalets livstid.

Vad gäller påverkan på omgivningen skriver Marklund och Hanaeus (1985) att den sannolikt är begränsad till den absoluta omgivningen då infiltrationen är liten och troligen avtagande med åren. Ett prov togs från en mängd lakvatten från toaletten i Abiskojaure och skickades på analys, men förvarades inte kylt under transport och förvaring i tre dygn. Det återges i Tabell 7.

Tabell 7 *Lakvattenprov från Abiskojaure 1984.*

Totalt antal	Värde
Bakterier per ml (22°C)	60 000
Coliforma bakterier per 100 ml (35°C)	<2000
Termotoleranta coliforma bakterier per 100 ml (44°C)	<2400

Författarna reserverar sig för provets behandling, men gör jämförelsen mot färskt avloppsvatten vars halter är 100–10 000 gånger högre (Marklund & Hanaeus, 1985). De tillägger att deras försök med presenning visar att toaletterna mycket väl kan utföras med tät botten och vattnet låta avledas via luftning.

3.4.3 **Kommentar kring nedbrytning och sanitära frågor.**

Det verkar vara möjligt under goda förhållanden att uppnå en stor reduktion av både massa och volym. När uppgifterna jämförs tycks volymreduktionen oftast vara betydligt större än minskningen i massa. Volymminskningen är lite av ett dubbel-eggat svärd; om den nästan uteslutande beror av kompaktering (Breitenbeck & Schellinger, 2004) kan det skada förutsättningarna för aerobisk nedbrytning, men livslängden för en tank förlängs om den ursprungliga volymen succesivt reduceras. Massreduktion betraktas här som eftersträvt i alla lägen.

En studie som redogör för och jämför olika typer av biologiska toaletter (Anand & Apul, 2013) drar slutsatsen att den konstruktiva variationen är stor, jämfört med vattentoaletter och att det är glest med fallstudier över deras utlovade funktion. Vidare saknas standardiserade metoder för dimensionering av tankarnas volym, över vilka luftflöden och strömmängder som krävs och hur hanteringen av slutprodukten ska gå till. Likaså finns betydande variation i lagstiftning mellan och inom länder. I vissa fall kan lagstiftningen stipulera att en toalett ska vara konstruerad på ett särskilt sätt (till exempel kunna spolras med vatten), vilket direkt utesluter helt torra toaletter. I andra fall är det krav på hygienisering och omhändertagande av slutprodukten som försvårar användande av tömningsbara torrtoaletter.

4 Utformning av den egna konstruktionen

Vi skiftar nu fokus till konstruktionen av en egen torrtoalett med avsnittet om biologisk nedbrytning i färskt minne. Utgångspunkten har varit att göra små förändringar av storgropstoaletten och se vilket resultat som går att uppnå vid byggnadsfysiska beräkningar på den. De två motstridiga målen hög temperatur och hög luftomsättningsgrad är vägledande liksom att försöka uppnå dem utan teknik.

Denna teknikfientlighet ter sig kanske obefogad och det är säkert möjligt att nå bättre resultat genom användande av tillgänglig och inte allt för dyr teknik. De rationella motargumenten är toaletternas otillgänglighet och större krav på kvalificerad tillsyn. I ett pilotfall är detta mindre problem; skulle toaletten användas i stor skala över hela fjällvärlden börjar det bli betydande.

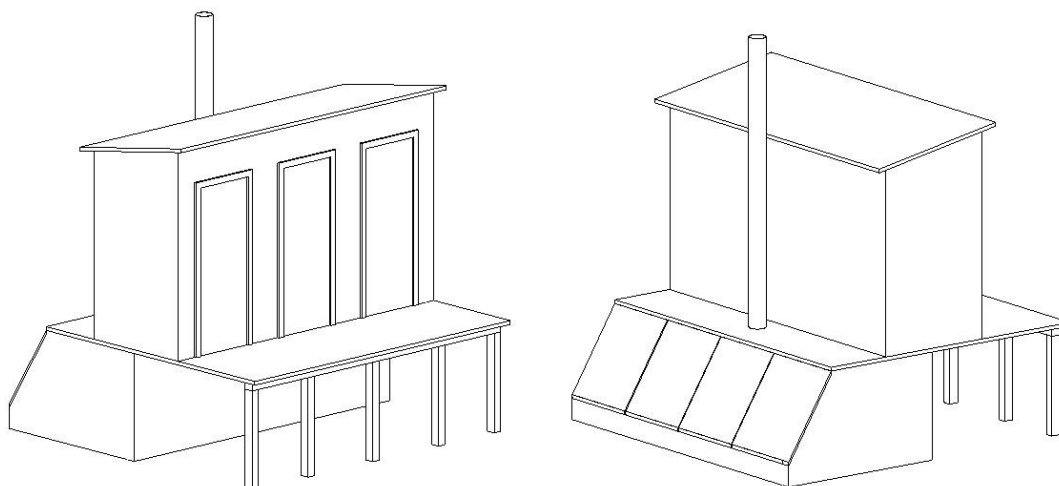
Ett mindre rationellt argument är att teknik skulle göra den byggnadsfysiska delen mindre intressant och hur småaktigt det kan te sig har byggnadsfysiken varit avgörande redan i arbetets idéstadium och borde kunna tillföra någonting även om det visar sig bättre att använda teknik. I ett större perspektiv finns beröringspunkter med den idéströmning som menar att byggbranschen i stort förlitar sig i för hög grad på installationsteknik och menar att byggnader hellre borde utformas för att fungera mer självständigt snarare än där mer och mer teknik tas till för att parera val som gjorts i utformningen. Fallerar tekniken fallerar byggnadens funktion likaså.

Teknik, som skulle kunna användas vid fjällstugplatser är gasol för att värma komposten via luft eller slingor, solceller och solpaneler med samma syfte och solceller för att driva mekanisk ventilation. Gasolhanteringen och logistiken i att få ut tunga flaskor till stugplatserna är tung som den är och argumenten för att förvärma den ytterligare, genom att förbränna ett utforslat fossilt bränsle för att värma en toalett-tank, behöver vara väl underbyggda.

Erfarenheterna av solceller för el till kassasystem och viss annan elektronik (Dynesius, 2019), (Nilsson, 2019) vid stugplatserna är generellt mycket goda och bör inte avfärdas. Aktiv solvärme kräver dock fläkt och det är framförallt haveri på denna som fruktas. Solvärmare kombinerat med solcell för mekaniskt driven frånluft skulle kunna uppfylla både förvärmning av uteluft och ett mer bestämt frånluftsflöde, där bägge är mycket eftersträvansvärda.

4.1 Beskrivning av konstruktionen

En modell av den egna konstruktionen ges av Figur 20 och den är alltså snarlik de vanliga storgropstoletterna undantaget de snedställda tömningsluckorna, vilka även agerar passiva solfångare.



Figur 20 Modell av den egna torrtoaletten som visar fram- och baksida.

Den egna toalettens tank utförs med öppen botten i huvudsak ovan jord. Detta möjliggör tömning och infångning av passiv solvärme genom stora luckor, samt förenklar syresättningen av avfallet. På grund av risk för lakvatten är det av godo att tanken längs hela sin omkrets sänks ned åtminstone en eller några decimeter, det vill säga inklusive sidan med solfångare/tömningsluckor.

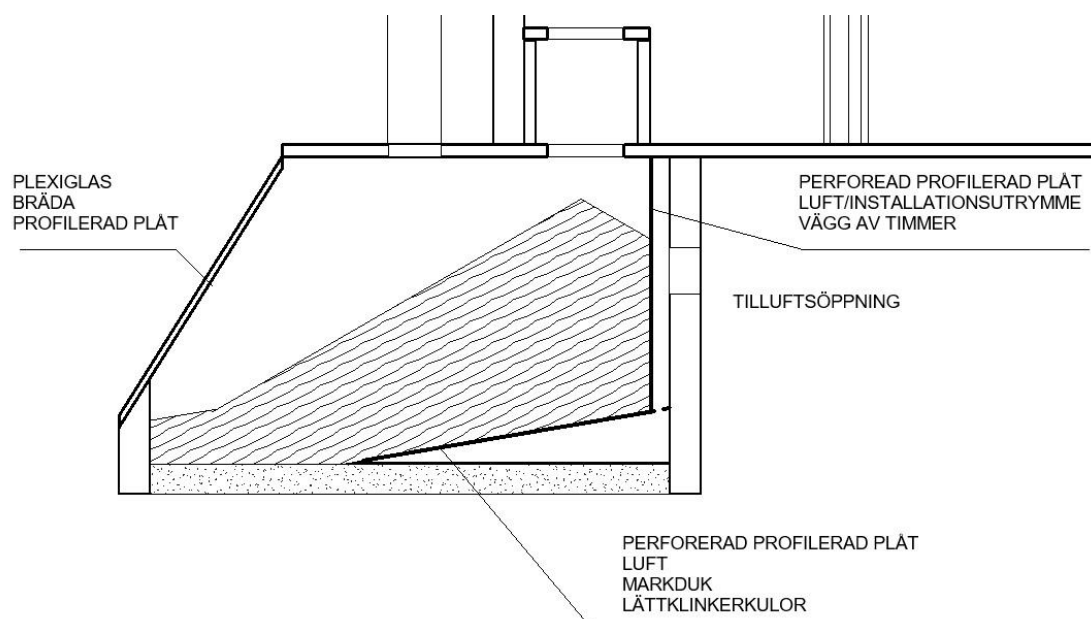
De övriga tre sidorna kan vara mer nedsänkta, men här finns både för- och nackdelar. Fördelen består framförallt i att bryggor och trappor för åtkomst till överbyggnaden kan göras mindre och lägre; nackdelen är att det blir svårare att leda in luft i tanken. Snöproblematiken vad gäller utsidan, alltså med avseende på snöröjning och åtkomst, bör förbättras desto högre profilen ovan mark är; däremot ökar troligen risken att snö driver in i tanken. En annan nackdel är att tanken torde bli mer lättillgänglig för flugor.

Den exakta platsen för torrtoaletten bör, förutom av bekvämlighetsavstånd, väljas med hänsyn så att den hamnar nedströms den vanliga vattentäkten, inte för nära ett vattendrag samt på en torr plats med permeabel jord och dessutom helst på läsidan av rådande förhärskande vindriktning. Detta är redan sedan gammalt rådande praxis (Marklund & Hanaeus, 1985). Ett krav är också att luckorna orienteras åt söder eller nära söder.

Erfarenhetsmässigt är det också en stor fördel om en gavel kan placeras mot förhärskande vindriktning och att långsidan med dörrarna vänds upp något mot vinden, vilket brukar hålla den snöfri. Arbetsmomentet med att gräva med maskin kan möjligen undvikas helt i fall där särskilt lämpliga platser står att finna: naturliga svackor med lättgrävda och permeabla jordarter.

4.1.1 Toalettens tank

Toalettens överbyggnad är av mindre intresse, dess breddmått dikterar förvisso tankens längd, men det är toalettens tank som visas i Figur 21 och som är föremål för beräkningar och djupare diskussion.



Figur 21 Sektion av toalettens tank där det vågmönstrade området med 30° lutning symboliserar latrinhögens högsta punkt.

Tankens tvärsnitt är ungefär 2 meter brett och 1,4 meter högt. Förhållandet syftar till att utnyttja den tillgängliga totala volymen och samtidigt medge lätt åtkomst att tömma. Den kan anpassas i höjd och bredd efter belastning, men man bör förhålla sig till timmertillverkarens standarder.

Latrin verkar ha en friktionsvinkel på omkring 30° i torrare delar efter beräkningar från de volymmätningar av torrtoaletter som genomfördes längs norra Kungleden på 1980-talet (Marklund & Hanaeus, 1985) och det stämmer väl överens med uppgifter från strängkompostering (Gotaas, 1956). Marklund och Hanaeus talar om "volymutflytning" i tankens botten i sin rapport och läsaren förstår att om den blir mer betydande än i Figur 21 kommer latrinen trycka mot de bräckliga luckorna.

Ett dränerande (och isolerande) lager av lättklinkerkulor skyddad med markduk och luftning via skorstenen och de perforerade plåtarna samt otätheter framförallt omkring luckorna borde medföra att latrinen inte blir för vattenmättad och flyter ut mer än skissen visar. Den effektiva volymen blir ungefär 0,8–1 m² multiplicerat med tankens längd. Vid ett centrummått mellan sittbrunnarna på 1,2 meter blir det alltså ungefär 1 m³ tillgänglig volym per toalettbas.

De perforerade profilerade plåtarna, av typen som ofta används på lantbruksbyggnader, har ca 30 % öppen yta via hål med 3 mm i diameter och syftar till att förse även de djupare lagren med luft. Ingen del av latrinen har längre än 3–4 decimeter till kontakt med luften. Den vertikala plåten kan skydda rör för avledning av urin. Förhoppningen är att den även skall ge skydd mot att tanken drivs full av snö vid hård blåst.

4.1.2 Mängder fekalier, urin och strö

För att minska latrinens densitet och tillföra kol mot en önskad C:N-kvot på cirka 25:1 behöver något strömaterial tillsättas. Träpellets, som många använder i värmepannor, är det valda materialet. Det innehåller mycket kol, C:N 330:1, enligt egna beräkningar av ett analysprotokoll utförd på en tillverkare (Eurofins environment

testing, 2016), finns att köpa i lätthanterliga säckar på 16 kg samt är torra och sväller vid fuktning. De rekommenderas även av en författare till handböcker i kompostering (Eriksson, 2019) just på grund av torrheten och svällningen, vilka torkar och luckrar upp latrinerna.

Hellre än att tillföra stora mängder vid några få tillfällen, eller använda sig av en startbädd av strö, vore att gästerna själva ”torrspolar” efter utträttat ärende för att därmed få en jämn inblandning. Torrspolandet administreras lättast genom att träpellets och ett mått finns tillgängligt i utrymmet ungefär som i Figur 7. Antaget att det som hamnar i tanken är urin, fekalier, toalettpapper och träpellets kan mängden träpellets (strömmaterial) som behöver tillsättas för önskad C:N-kvot beräknas enligt ekvation 4.1.

$$x = \frac{C:N_{\text{önskad}} * m_{\text{total}} - m_1 * C:N_1 + m_2 * C:N_2 \dots + m_n * C:N_n}{C:N_{\text{strömmaterial}} - C:N_{\text{önskad}}} \quad (4.1)$$

där x är massan av valt strömmaterial och m massan av delmaterialen. För vårt fall där träpellets används fås resultat enligt Tabell 8.

Tabell 8 Mängder urin, fekalier, toalettpapper och pellets per person och dygn.

Fraktion	C:N-kvot	Massa [g]	
Urin	0.8	500	
Fekalier	8	200	
Toalettpapper*	200	10	
Träpellets	300	x	
	Önskad C:N	Mängd pellets [g]	Volym pellets [ml]
Med urin	25	50	91
Utan urin	25	6	11

* Mängden toalettpapper kommer från Marklund och Hanaeus (1985).

På grund av urinens höga halt av kväve behöver stora mängder pellets tillsättas för att uppnå en C:N-kvot på 25:1, 50 gram eller nära 1 deciliter per person och dygn. Mängden urin har sänkts då antagandet görs att mindre än hälften av urinerandet i fjällen sker på toaletter. Trots det är det nästan en faktor tio lägre mängder, eller en knapp matsked träpellets som behöver tillföras om urinen skulle ledas bort via separering. Toalettpappret bidrar med ungefär lika mycket kol som träpelletsen vid urinseparering. ”Per person och dygn” kan med fördel approximeras till per besök och en matsked eller ett decilitermått utgöra måttstock för torrspolningen.

Urinseparering genom avskiljande i toalettsitsen kräver daglig tillsyn för att inte sätta igen (Olsson, 2019), (Dynesius, 2019). På grund av besvären med igensättning förekommer det endast på få platser. Vid Aktsestugan, strax norr om Sareks nationalpark, finns urinseparering sedan omkring 20 år och där endast under sommaren på grund av problem med frysning. Urinen avskiljs via en särskild insats i sitsen, ”Dass-Isak” och leds via rör ned i marken. Erfarenheterna härifrån, (Olsson, 2019) bland annat med avseende på lukt, är mycket positiva. Förutom den dagliga rengöringen krävs rensning genom demontering av rörledningar ungefär varannan vecka under högsäsong.

4.1.3 Volymer i Tarfala

Tarfalastugan har ungefär 1400–1500 gästnätter årligen, varav en dryg tredjedel under vintersäsongen, framförallt i april. Stugvärden finns på plats under drygt 150 dygn. Under sommaren tillkommer cirka 400–500 tältgästnätter och Tarfalastugan är ett populärt dagsutflyktsmål för gäster boendes på Kebnekaise Fjällstation. En egen uppskattning är att det rör sig om 3000–4000 dagbesök. Av dessa använder givetvis långt ifrån alla toaletten, men kvinnliga besökare (ungefär hälften) gör det troligen mangrant för att urinera. En mindre ström av gäster kommer också från Kungsleden via Koupervagge och de övre delarna av Vistasvagge.

Mängderna per person och dygn från Tabell 8 kan troligen multipliceras med ett tal mellan 3000–5000, där ungefär $\frac{3}{4}$ kan antas tillföras under sommarsäsongen, för att få en trovärdig årsbelastning. Den visas i Tabell 9.

Tabell 9 Troliga mängder latrin i Tarfala under ett år, multipel 4000.

Fraktion	Massa [kg]	Volym [m ³]
Urin	2000	
Fekalier	800	
Toalettpapper	40	
Träpellets ej urinseparering	200	
Träpellets med urinseparering	24	
Summa	3064	1–1,5

Den totala volymen är baserad på ett tillskott på 0,3 liter per person och dygn. Uppgiften kommer från undersökningarna av storgropslatrinerna i norra Kungsleden på 1980-talet (Marklund & Hanaeus, 1985) och ligger i intervallet för de jungfruliga toaletterna. 0,3 liter används också av företaget *Toilet Tech Solutions* (2018) i Seattle i USA och då förutsätts urinseparering. En observation är att 40 kg toalettpapper stämmer väl överens med den verkliga förbrukningen i Tarfala. Notera att det inte finns något enkelt samband mellan volym och massa.

Att tillsätta 200 kg träpellets årligen förefaller orimligt, oaktat om goda resultat i form av nedbrytning och förbättrad lukt skulle komma av det. Förutom logistiken tillkommer faktumet att en stor del av volymen skulle fyllas av strömaterialet vilket troligen nollställer eventuella vinster i form av bättre nedbrytning. Det är dessutom inte osannolikt att träpelletsen skulle överdoseras, särskilt om den ombesörjs av besökarna själva; kanske även om det sköts av stugvärdarna. Argumentet för att finna en mindre skötselkrävande urinseparering är alltså betydande.

Det verkar troligt att en tank, med tvärsnittsmåtten enligt Figur 21 och en längd för fyra toalettplatser, skulle klara av att användas tre eller möjligen fyra år i Tarfala innan den måste tömmas. Denna tid kan förlängas om målet med mass- och volymreduktion genom kompostering uppnås. Efter några års användande verkar den tillförda volymen avta till omkring 0,15 liter per person och dygn enligt både Marklund och Hanaeus (1985) och Anand et al (2013). Volymreduktion måste helt enkelt vara tämligen betydande i storgropstoaletterna redan i nuläget, eftersom deras livslängder inte kan förklaras utan den.

5 Byggnadsfysiska beräkningar

Beräkningarna för inomhustillståndet i tanken utförs mot utomhustillstånd som ges av väderobservationer på timnivå. De intressantaste parametrarna för inomhustillståndet är temperatur och luftflöde och för utomhustillståndet lufttemperatur, medelvind och solintensitet.

Då det inte finns Sveby-normalår för Tarfala, görs beräkningarna mot väderobservationer från ett verkligt år. Eftersom data ibland saknas under långa perioder, för en eller flera parametrar, är flera år direkt olämpliga av det skälet. För bland annat skottåret 2008 finns nära nog heltäckande observationer. Den studerade perioden är 1:a mars – 30:e september, då antagandet görs att under den kallare delen av året kommer ute- och inomhustillstånd att vara lika. Beräkningarna utförs i Excel och skulle, för att få en bättre utjämning, med fördel utföras mot något eller några fler år och sedan vägas samman.

För den studerade perioden kan inomhustemperaturens varaktighet sammanräknas i några intervall och deras avvikelser mot utomhustemperaturen jämföras. Temperaturen kan också grafiskt redovisas i diagramform. Med informationen om tillståndet i toalettens tank går det möjligen att säga något om förutsättningarna för biologisk nedbrytning av latrin.

5.1 Resultat av beräkningarna

Då beräkningarna är utrymmeskrävande finns de utförligt beskrivna i bilagorna och här redovisas resultaten. I korthet har jämviktstemperaturen beräknats för varje timma och den har sedan anpassats till en modell som tar hänsyn till att det finns en tröghet; i verkligheten sker inte förändringar momentant.

Beräkningarna gjordes utifrån ett fall när tanken är tom och ett fall när tanken är fylld med ett års latrin. I Tabell 10 redovisas en sammanfattning av beräkningarna för fallet utan latrin i tanken.

Tabell 10 Medelvärden för perioden 1:a mars – 30:e september 2008.

Månad	Temperatur ute °C	Vind [m/s]	Q_{sol} [W]	$T(t)$ °C	Skillnad °C
Mars	-11,1	2,2	226	-7,9	3,1
April	-6,5	3,3	346	-1,9	4,6
Maj	-1,5	3,8	392	3,5	5,1
Juni	4,3	2,3	296	8,5	4,3
Juli	8,6	2,9	297	12,4	3,9
Augusti	4,9	2,4	194	8,0	3,2
September	2,0	3,5	204	5,4	3,4
Hela perioden	0,1	2,9	279	4,0	3,9

För hela perioden visar beräkningarna att temperaturen i tanken är 3,9 °C högre än utomhustemperaturen. De två solintensiva månaderna april och maj uppvisar störst höjning av temperaturen. Den maximala temperaturen utan latrin var 33,2 °C respektive 28,2 °C för fallet med latrin. Förutom medelvärden är det också intressant att titta på varaktigheten i några temperaturintervall, de presenteras i Tabell 11.

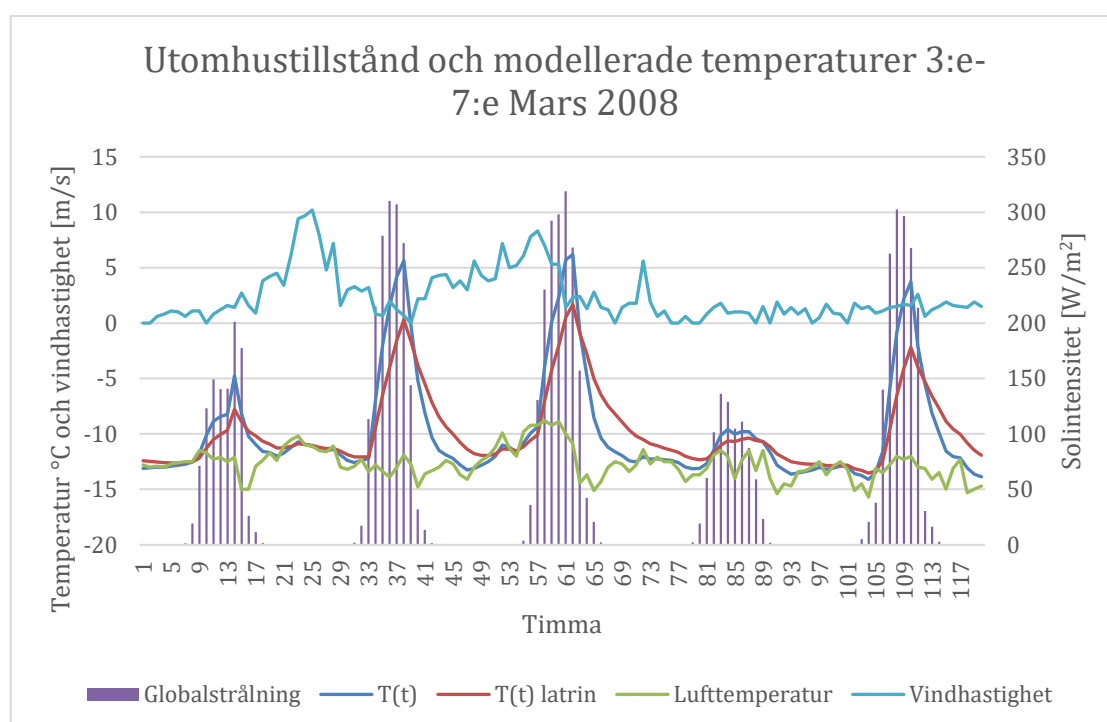
Tabell 11 Varaktighet i antal timmar för fallet utan latrin.

Intervall °C	< 0		0 < 7		7 < 12		12 < 18		18 < 24		> 24	
Mars	659	89%	75	10%	10	1%	1	0%	0	0%	0	0%
April	487	68%	135	19%	62	9%	21	3%	12	2%	3	0%
Maj	235	32%	320	43%	98	13%	55	7%	29	4%	7	1%
Juni	31	4%	321	45%	202	28%	109	15%	37	5%	20	3%
Juli	0	0%	120	16%	324	44%	165	22%	89	12%	46	6%
Augusti	0	0%	385	52%	241	32%	78	10%	40	5%	1	0%
September	68	9%	453	63%	241	33%	78	11%	40	6%	1	0%
Hela perioden	1480	29%	1809	35%	1178	23%	507	10%	247	5%	78	2%

Endast få timmar uppvisar temperaturer över 18 °C. Tabellen redovisar fallet utan latrin och för fallet med latrin är topparna något avhyvlade och dalarna något grundare.

5.1.1 Grafisk redovisning av beräkningarna

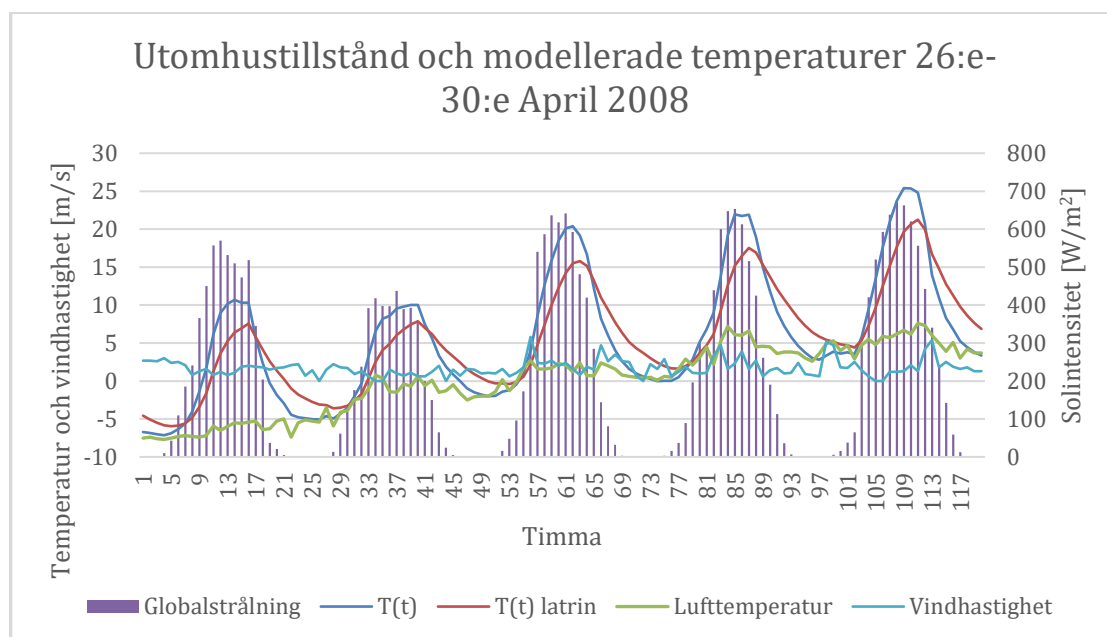
I föregående avsnitt har temperaturen presenterats på månadsmedelnivå och varaktigheten har redovisats i en tabell med några temperaturintervall. En grafisk representation av beräkningarna visar tydligt svängningarna över dygnet och trögheten det talades om i inledningen till avsnitt 5.1. I Figur 22 visas en femdagars period i början av mars.



Figur 22 Temperaturmodell för fallen utan, $T(t)$, och med, $T(t)$ latrin, latrin under en kall femdagarsperiod i mars.

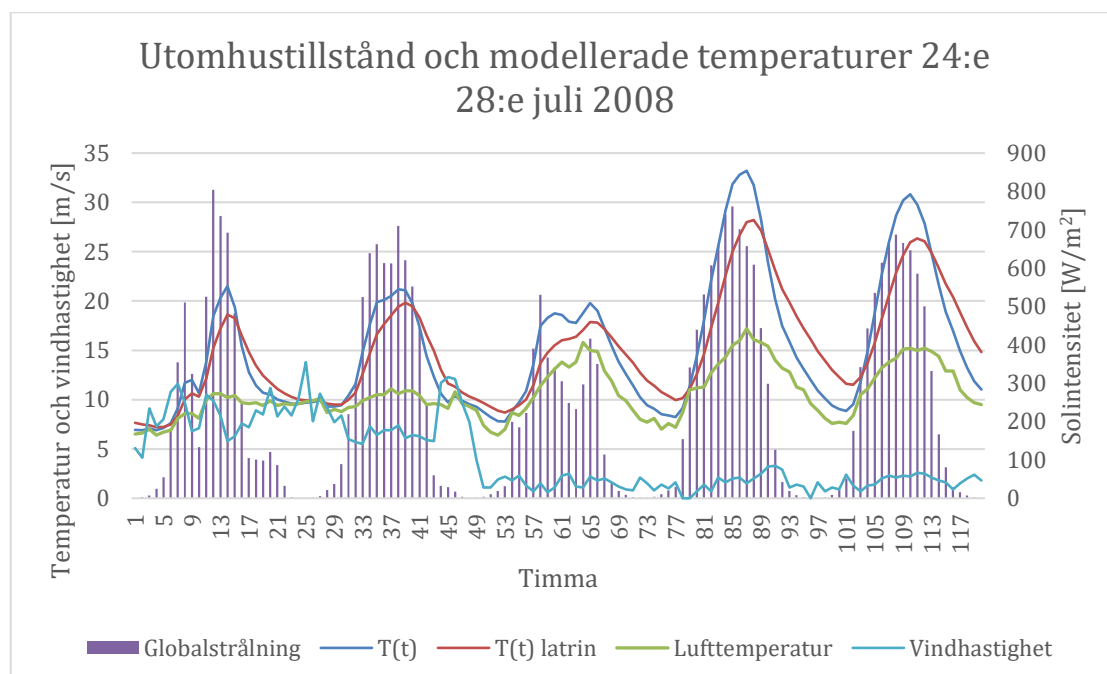
Här ser vi att trots att utomhustemperaturen endast stiger över -10 °C under en av dagarna kan plusgrader uppnås vid soligt väder. Den högre tidskonstanten i fallet med

latrin syns tydligt med lägre toppar och ett mindre kraftigt temperaturfall när solen går ned. Under den mulna dag fyra stiger temperaturen endast någon grad över utetemperaturen, trots att vinden är svag. I Figur 23 visas en period i slutet av april.



Figur 23 En period i slutet av april.

Samma mönster återkommer, men under några timmar i slutet av en solig dag har temperaturen modellerats till mellan 15 – 20 °C för fallet med latrin. Slutligen visas ett fall från högsommaren i Figur 24.



Figur 24 Högsommarperiod.

Här liknar solintensiteten den i april, men utomhustemperaturen är högre och det får genomslag. Under hela perioden var den största temperaturskillnaden mellan de modellerade och utomhustemperaturen 22,6 °C respektive 18,2 °C.

6 Diskussion och slutsatser

I detta avsnitt ska vi försöka återkoppla till inledningen där det talades om kartläggning, biologi, konstruktion och byggnadsfysik. Syftet var att använda förvärvade kunskaper inom områdena och tillämpa dem på en egen variant av storgropslatrinen med målet om att kunna få till förutsättningar för aerob nedbrytning i den.

Ett första konstaterande är att dagens storgropar oftast fungerar väl som de är och att deras livslängd i många fall är överraskande lång. De har kanske nackdelar i komfort och det riktiga är att lämna avfallet kvar i marken, eller i allt äldre timringar ovan jord, kan diskuteras. Förfarandet har dock den stora fördelen att sedan de väl byggts ska ingen behöva komma i kontakt med latrinen och ingen stor apparat med att bortföra det krävs.

I någon mån skjuter man kanske problemet framför sig; efter de mer välbesökta delarna av vandringslederna finns kanske anledning att överväga en lösning där toaletter töms snarare än att bygga nytt. Ty vid sidan av att det sker volymreducering i de befintliga storgroparna beror också deras långa livslängd av att stugplatserna under åren har kompletterats med nya storgropar eller att de gamla byggts ut, det finns helt enkelt en större total volym att fylla.

På platser där en nedgrävd storgrop har en livslängd på 15–20 år eller mer, finns dock få anledningar att pröva andra lösningar.

Framförallt volymen, men vid särskilt gynnsamma tillfällen även massan, verkar kunna reduceras märkbart vid kompostering. Genom att tillse att latrinen luftas även i de djupare lagren och höja temperaturen är förhoppningen att kunna skapa goda förutsättningar för biologisk nedbrytning. Den egna toalettens tömningsintervall får inte vara mycket tätare än storgroparnas livslängd om det ska vara attraktivt för verksamhetsägarna.

Förutom att förlänga toalettens livslängd måste även slutprodukten vara säker och inte allt för otrevlig att hantera vid tömning. Eftersom det inte går att räkna med hygienisering genom höga temperaturer i hela massan får lit sättas till tiden och tillse att toaletten inte används under ett år innan tömning. Vilotiden förutsätter alltså att det finns dubbla toaletter, vilket oftast redan är fallet på större stugplatser. Det är dock inte säkert att vilotiden gör slutprodukten säker att hantera.

När tömningen väl är genomförd finns det tre alternativ: Transportera avfallet bort från fjället för omhändertagande hos kommunen, transportera det till någon lokalt iordningställd yta i fjällen som betjänar flera stugplatser eller sprida ut det endast en kort sträcka från stugplatsen på en klokt vald plats. Har nedbrytningen varit framgångsrik vore det sistnämnda att föredra.

De andra alternativen innebär en större logistikapparat och de riskerar också att bli självuppfyllande, ty det är troligen svårare än det låter att säkerställa att toaletterna får vila ett år innan tömning. Om vetskap då finns om att avfallet kommer att "tas om hand" på något sätt blir incitamenten mindre att sköta rutinerna och arbetsmiljöriskerna blir större för dem som måste utföra tömningen. Alla alternativen kräver ett fordon och det bästa vore då att utföra tömningen i slutet av april eller början av maj och kunna använda snöskoter.

Urinseparering tycks ha många avgörande fördelar, men har alltså visat sig svår att genomföra utan regelbunden tillsyn. Det utesluter alla Länsstyrelsens obemannade toaletter och icke-säsongerna för STF. Det blir också ett extra arbetsmoment att behöva växla mellan urinseparering beroende av säsong. Mängderna strö, som

behöver tillsättas för att uppnå rätt C:N-kvot utan urinseparering, bedöms vara för stora och någon driftsäker lösning för urinseparering får sökas med ljus och lykta. Vid urinseparering behöver torrspolning med strö troligen inte utföras av gäster, utan kan utföras av stugvärdarna vid städning eller helt avvaras.

Frågan om konstruktionen i sig skulle brytas ned i högre grad än i nuläget har inte utretts. Frysnings- och tiningförloppet skulle behöva studeras bättre, liksom att det skulle vara intressant att få ett mått på den värmeeffekt som frigörs vid nedbrytningen.

De byggnadsfysiska beräkningarna i Tarfala visade att små anpassningar av storgropstoalletterna skulle kunna höja temperaturen i tanken med 3 - 5°C över månadsmedeltemperaturen och 15 - 20°C över utomhustemperaturen momentant. Beräkningar skulle behöva utföras för ett fall där toaletten isolerats. Isoleringen skulle kunna hjälpa nedbrytningen att för egen maskin generera tillräcklig värme för att fungera autonomt, sedan den initierats av solvärme.

Ett idealiskt scenario vore om den frusna latrinhögen någon gång i slutet av mars eller i april fås att tina upp och förutsättningarna dessutom blir sådana att biologisk nedbrytning igångsätts. I april tillförs nytt material av turisterna och även om det periodvis skulle vara mulet och blåsigt kanske värmen från nedbrytningen skulle kunna hålla lågan vid liv tills nästa period med soligt och stilla väder inträffar. Nedbrytningen skulle under maj kunna fortgå utan att nytt material tillförs i betydande mängder innan midsommar.

Det verkar som om det inte skulle bli tillräckligt varmt för att kunna utföra tömning i april utan isolering i Tarfala, men möjligen i gynnsammare klimat vid trädgränsen. Det borde bli upprepade tining- och frysningförlopp av latrinen under vårvintern, vilket i sig skulle kunna vara positivt för volymreduceringen.

Fuktbalanser har inte behandlats, men blir viktigare om tanken skulle isoleras. De borde också kunna ge en uppgift på hur torr komposten kan bli och därmed vilken ungefärlig massa som försvinner enkom av uttorkning. Det går också att som komplement använda en soldriven luftvärmare som via en fläkt för in varmluft i tanken.

Beräkningarna för luftflöden är dessvärre mycket ofullständiga vilket kastar en skugga över hela det byggnadsfysiska avsnittet.

Den egna konstruktionens nackdelar är framförallt att latrinen måste hanteras manuellt. Vidare blir den tillgängliga volymen mindre då latrinen till skillnad från storgroparna inte kan tillåtas fylla ut hela tanken, om tömning inte planerats in i god tid riskerar latrin att trycka ut ur toaletten. Valet av plats blir mera låst och den blir något mer arbetskrävande och kostsam att bygga. Det är också ett krav att tillräcklig kapacitet finns för att låta en toalett vila ett år innan tömning.

6.1 Slutsatser

- De befintliga storgropslatrinerna fungerar på många platser tillfredställande som det är och har livslängder på väl över tjugo år. Det verkar bero på kombinationen av volymreduktion och att den tillgängliga volymen succesivt byggts ut.
- På vissa välbesökta platser blir toaletterna emellertid fulla på några få år. Det bör övervägas att använda tömningsbara toaletter, snarare än att bygga nya, på de platser med hårdast användning.

- Beräkningar visar att små anpassningar av storgropstoaletten verkar kunna höja månadsmedeltemperaturen i dem med 3–5°C och med 15–20°C momentant.
- Urinseparering tycks vara mycket viktigt för att uppnå bra komfort och medge förutsättningar till biologisk nedbrytning utan att tillföra stora mängder strömmaterial. Urinseparering verkar kräva daglig tillsyn, vilket troligen utesluter platser utan fast personal.
- Tömningsbara toaletter bör tömmas i april-maj på snöföret och tömningsintervallen får inte vara mycket tätare än en befintlig storgrops livslängd. Det är en stor fördel om slutprodukten sedan kan hanteras lokalt i fjällen.

7 Referenser

- Aalto University. (okänt). *Mycoures@aalto*. Hämtat från https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/430671/mod_resource/content/1/Ene-58_5181_stack%20effect.pdf
- Alm, G., Eriksson, G., Ljunggren, H., Olsson, I., Palmstierna, I., Tiberg, N., & Veltman, H. (1994). *Kompostboken*. Falköping: LTs förlag.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *The ASHRAE Handbook - Fundamentals*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Anand, C. K., & Apul, D. S. (2013). Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation - A review. *Waste Management*.
- Areskoug, M. (2006). *Miljöfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Bergholm, G., & Kjellin, U. (2003). *Dass*. Rimbo: Fischer & Co.
- Breitenbeck, G. A., & Schellinger, D. (2004). Calculating the Reduction in Material Mass and Volume during Composting. *Compost Science & Utilization vol. 12*, 365-371.
- Clivus multrum. (2019). *Clivus multrum*. Hämtat från www.clivusmultrum.se
- Cook, B. (1991). *In-Depth Design and Maintenance Manual for Vault Toilets*. San Dimas, Kalifornien: United States Department of Agriculture.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- Dynesius, B. (den 29 04 2019). (E. Nyström, Intervjuare)
- Eriksson, G. (2011). *Kompost, från hushåll, trädgård och latrin*. Stockholm: Natur & Kultur.

- Eriksson, G. (Mars 2019). (E. Nyström, Intervjuare)
- Eurofins environment testing. (2016). *Bauhaus*. Hämtat från
https://www.bauhaus.se/pellets-helpall-832kg-8mm?gclid=EAIaIQobChMIwYXPwKj_4QIVCed3Ch1ZiAM9EAQYBSABEgKa0_D_BwE
- Florides, G., & Kalogirou, S. (2005). Annual ground temperature measurements at various depths. Lausanne, Switzerland: Ktisis Cyprus University of Technology.
- Gotaas, H. B. (1956). *Composting, sanitary disposal and reclamation of organic wastes*. Geneva: WHO.
- Hagentoft, C.-E. (2001). *Introduction to Building Physics*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Hagentoft, C.-E., & Sandin, K. (2017). *Byggnadsfysik-Så fungerar hus*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Hill, G. B., & Baldwin, S. A. (2012). Vermicomposting toilets, an alternative to latrine style microbial composting. 32.
- Holm, C., Eveborn, D., Nordberg, U., & Persson, L. (2009). *Latrin i kretslopp - teknik och resursanvändning vid hantering i ett våtkompostsystem*. Uppsala: Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).
- Lantmäteriet. (den 14 05 2019). *Kartutskrift*. Hämtat från Lantmäteriet:
<https://kartutskrift.lantmateriet.se/>
- Leca. (februari 2019). *Leca*. Hämtat från
https://www.leca.se/sites/default/files/dokument/projekteringsanvisningar/ProjekteringsAnvisning_LecaL%C3%A4ttklinkerAnl%C3%A4ggning.pdf

- Livsmedelsverket. (den 20 02 2019). *Mikrobiologiska säkerhetsbarriärer*. Hämtat från Livsmedelsverket:
<https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/339/mikrobiologiska-sakerhetsbarriärer>
- Marklund, S., & Hanaeus, J. (1985). *Miljöpåverkan från torrtoaletter typ storgrop*. Luleå: Högskolan i Luleå.
- Månsson, T. (april 2019). Doktorand. (E. Nyström, Intervjuare)
- Mårtensson, H. (1996). *Biologiska toaletter och komposter*. Solna: AB Svensk Byggtjänst.
- National Center for Appropriate Technology. (1979). *Compost toilets: A guide for Owners-builders*. Butte, Montana: National Center for Appropriate Technology.
- Nilsson, J. (den 13 05 2019). Fastighetsskötare fjällstugor. (E. Nyström, Intervjuare)
- Olsson, G. (den 3 Maj 2019). Stugvärd i Aktse. (E. Nyström, Intervjuare)
- Palo, I. (den 17 05 2019). Ledsamordnare.
- Pettersson, B.-Å. (2013). *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Sasic Kalagasidis, A. (2018). Biträdande professor. *Föreläsning*. Göteborg.
- Separett. (2018). *Separett*. Hämtat från
https://www.separett.com/media/1266/11844-01_torrdass500_a4_produkblad.pdf
- SMHI. (4 2007). *SMHI*. Hämtat från
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6403!/faktablad_solstralning%5B1%5D.pdf

SMHI. (2017). *SMHI*. Hämtat från

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/kall-sno-stralar-varme-1.5036>

SMHI. (den 14 12 2018). *SMHI*. Hämtat från

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/svenska-vindrekord-1.31798>

SMHI. (03 2019). *SMHI*. Hämtat från SMHI:

<https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all>

Sveby. (den 17 02 2016). *Klimatdatafiler för Sveriges kommuner*. Hämtat från

Sveby: <http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2016/02/Klimatdatafiler-f%C3%B6r-sveriges-kommuner-20160217.pdf>

Svenska Turistföreningen. (den 14 05 2019). *Signaturlad norra Kungleden*.

Hämtat från Svenska Turistföreningen:

<https://www.svenskaturistforeningen.se/leder/signaturlad-norra-kungleden/>

Svenska Turistföreningen. (den 15 05 2019). *STF Alesjaure*. Hämtat från

<https://www.svenskaturistforeningen.se/anlaggningar/stf-alesjaure-fjallstuga/>

Teknikhandboken. (okänt). *Teknikhandboken*. Hämtat från

<http://www.teknikhandboken.se/handboken/rorelser-och-rorelsefogar/temperaturrorelser/faktorer-som-paverkar-temperaturen/>

Toilet Tech Solutions. (2018). Sizing metrics.

- Wagner, E. G., & Lanoix, J. N. (1958). *Excreta disposal for rural areas and small communities*. Geneva: World Health Organization.
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Veeken, A., de Wilde, V., & Hamerers, B. (2002). Passively Aerated Composting of Straw-Rich Pig Manure: Effects of Compost Bed Porosity. *Compost Science & Utilization*, 114-128.
- Winblad, U., Kilama, W., & Torstensson, K. (1978). *Sanitation without water*. Stockholm: Sundt Offset.

8 Bilaga, Byggnadsfysiska beräkningar

I denna bilaga beskrivs de byggnadsfysiska beräkningarna utförligt och steg för steg. Beräkningarna för inomhustillståndet i tanken utförs mot utomhustillstånd som ges av väderobservationer på timnivå. De intressantaste parametrarna för inomhustillståndet är temperatur och luftflöde och för utomhustillståndet lufttemperatur, medelvind och solintensitet.

Då det inte finns Sveby-normalår för Tarfala, görs beräkningarna mot väderobservationer från ett verkligt år. Eftersom data ibland saknas under långa perioder, för en eller flera parametrar, är flera år direkt olämpliga av det skälet. För bland annat skottåret 2008 finns nära nog heltäckande observationer. Den studerade perioden är 1:a mars – 30:e september, då antagandet görs att under den kallare delen av året kommer ute- och inomhustillstånd att vara lika. Beräkningarna utförs i Excel och skulle, för att få en bättre utjämning, med fördel utföras mot något eller några fler år och sedan vägas samman.

För den studerade perioden kan inomhustemperaturens varaktighet sammanräknas i några intervall och deras avvikelser mot utomhustemperaturen jämföras. Temperaturen kan också grafiskt redovisas i diagramform. Med informationen om tillståndet i toalettens tank går det möjligen att säga något om förutsättningarna för biologisk nedbrytning av latrinerna.

8.1 Beteckningar

Byggnadsfysik

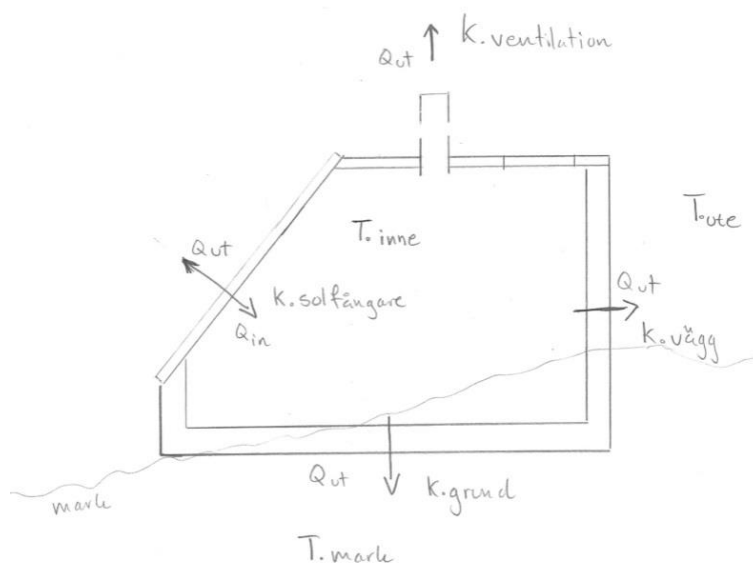
A	Area, kvadratmeter [m^2]
a	Terrängberoende koefficient, [-]
C	Termisk massa, Wattsekund per Kelvin [Ws/K]
C_d	En flödeskoefficient, [-]
c_p	Specifik värmekapacitet, Wattsekund per kilogram Kelvin [Ws/kgK]
C_v	En vindkoefficient, [-]
g	Tyngdaccelerationen, meter per kvadratsekund [m/s^2]
ΔH_{nl}	Avstånd från luftintags centrum till neutrala lagret, [m]
I	Värmefflöde, Watt [W]
K	Konduktans, Watt per Kelvin [W/K]
k	Terrängberoende koefficient, [-]
Q	Värmefflöde, Watt [W]
R_a	Luftflöde, kubikmeter per sekund [m^3/s]
R_{se}	Yttre värmeövergångsmotstånd, kvadratmeter Kelvin per Watt [$\text{m}^2\text{K/W}$]
R_{si}	Inre värmeövergångsmotstånd, kvadratmeter Kelvin per Watt [$\text{m}^2\text{K/W}$]
T	Temperatur, grad Celsius [$^{\circ}\text{C}$]
t_c	Tidskonstant, [s]
U	Värmegenomgångskoefficient, Watt per kvadratmeter Kelvin [$\text{W/m}^2\text{K}$]
U	Vindhastighet, meter per sekund [m/s]
α	Termisk diffusivitet i mark, [-]
α_{sol}	Absorbans för kortvågig strålning, [-]
α_{ute}	Yttre värmeöverföringskoefficient, $1/R_{se}$ [$\text{W/m}^2\text{K}$]
λ	Värmeledningsförmåga, Watt per meter Kelvin [W/mK]
ρ	Densitet, kilogram per kubikmeter [kg/m^3]

Solstrålning

G_{sc}	Solarkonstanten, Watt per kvadratmeter [W/m^2]
I_b	Direkt strålningskomponent, Watt per kvadratmeter [W/m^2]
I_d	Isotrop diffus strålningskomponent, Watt per kvadratmeter [W/m^2]
I_0	Strålningsintensiteten på en horisontell yta utanför atmosfären, [W/m^2]
I_L	Vinkelrät strålning mot en yta, Watt per kvadratmeter [W/m^2]
k_T	Klarhetsindex, [-]
n	Dag på året
R_b	Engelska <i>Ratio beam</i> , en faktor för den direkta strålningskomponenten, [-]
α	Solhöjd, grader [$^{\circ}$]
β	En ytas lutning, grader [$^{\circ}$]
γ	En ytas azimut, grader [$^{\circ}$]
γ_s	Solens azimut vinkel, grader [$^{\circ}$]
δ	Deklination, grader [$^{\circ}$]
δ_g	Markens reflektionsfaktor, [-]
θ	Solstrålningens infallsvinkel, grader [$^{\circ}$]
θ_z	Solens zenit vinkel, grader [$^{\circ}$]
ω	Tidvinkel, grader [$^{\circ}$]
\emptyset	Latitud, grader [$^{\circ}$]

8.2 Lufttemperatur

Ett enkelt grundantagande i byggnadsfysiken är att om ingen värme tillförs en byggnad kommer inomhustemperaturen och utomhustemperaturen tillslut att överensstämma, oavsett hur välisolerad den är och vilken termisk massa den har. Ett annat antagande är att när jämvikt råder är förlusterna genom byggnadens skal lika stora som tillskottet. I vårt fall tillkommer värme utifrån av solstrålning och inifrån genom värme som frigörs vid nedbrytningen, i den grad sådan pågår. Tills vidare lämnar vi bidraget från nedbrytningen och fokuserar på balansen från den yttre påverkan och en schematisk bild ges av Figur B.1.



Figur B.1 Värmeflöden, konduktanser och temperaturer.

I Figur B.1 är värmeflödet Q [W], konduktansen K [W/K] och T är respektive temperatur som värmeflödet strävar mot. Här kommer värmeförluster i form av ledning och konvektion att studeras, strålning utelämnas alltså. Från *Tillämpad byggnadsfysik* (Pettersson, 2013) ges värmeförlusterna uttryckt som värmeflödet genom byggnaden som

$$Q = K(T_1 - T_2) \quad (8.1)$$

där T_1 är den högre temperaturen. Konduktansen för ledning ges av

$$K = UA \quad (8.2)$$

där U är byggnadsdelens *värmegenomgångskoefficient* [W/m²K] och A byggnadsdelens *area* [m²]. För konvektion (eller ventilation) fås konduktansen som

$$K = R_a c_p \varrho \quad (8.3)$$

där R_a är luftflödet [m³/s] och c_p luftens specifika värmekapacitet [Ws/kgK] och ϱ är luftens densitet [kg/m³]. U-värdet för respektive byggnadsdel beräknas genom att

skiktens tjocklek och materialberoende värmeledningsförmåga λ [W/mK] sammanvägs enligt ekvation 8.4.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \dots + R_{si}} \quad (8.4)$$

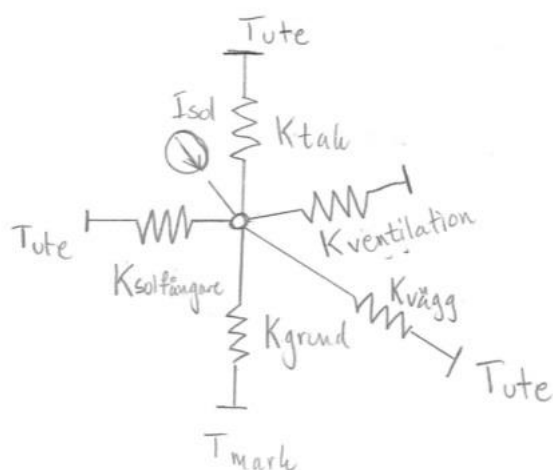
och en principiell bild ges av Figur B.2.



Figur B.2 Resistanser för byggnadsdel bestående av tre material.

där d är tjockleken [m] och R_{se} och R_{si} de yttre respektive inre värmeövergångsmotstånd [m²K/W], ett motstånd vid ytor som möter utomhus- respektive inomhusluften (Pettersson, 2013). Notera att d/λ också blir R och kallas då för resistans.

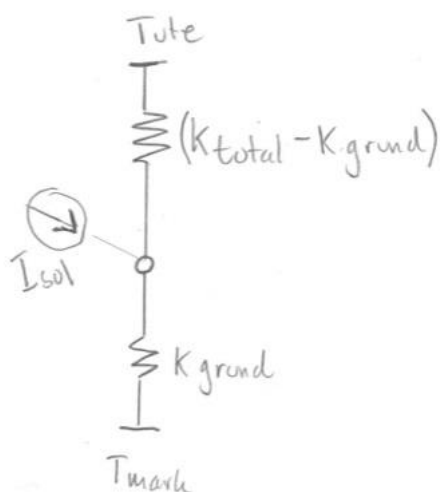
Ett annat sätt att illustrera värmebalansen från Figur B.1 är genom så kallad värmekretsanalys (Hagentoft & Sandin, 2017). En värmekrets för toalett-tankens ges av Figur B.3.



Figur B.3 Värmekrets för toalettens tank.

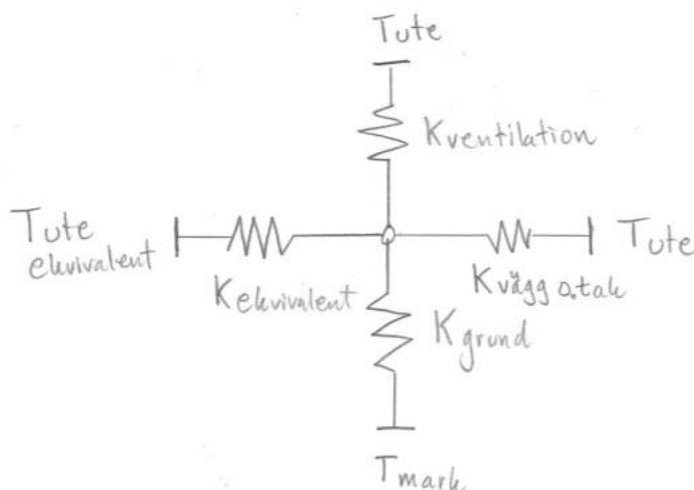
Värmekretsanalysen är ett annat sätt att åskådliggöra värmebalansen för toalett-tankens och kan vara behjälplig genom att den ger en schematisk översikt. Delkonduktanserna illustreras av de sick-sackmönstrade symbolerna och noden i mitten ger tillståndet inuti tanken. Värmeflödet kallas här I [W] och varje konduktans

går mot en randtemperatur. Värmekretsen kan förenklas så till vida att alla konduktanser som går mot samma temperatur kan adderas. Den maximalt reducerade värmekretsen visas i Figur B.4.



Figur B.4 Värmekretsen reducerad till två utetemperaturer och ett värmefflöde.

Denna krets är betydligt åskådligare och behändigare att lösa. Ett problem inställer sig emellertid; även om solstrålningens effekt mot de lutade luckorna är känd vet vi inte hur stor del av den som tar sig in i tanken. För att hantera detta kan en ekvivalent utomhustemperatur användas (Hagentoft, 2001). Kretsanalysen får då utseendet enligt Figur B.5.



Figur B.5 Krets med $T_{ekvivalent}$ och $K_{ventilation}$.

Kretsen har nu även den imaginära ekvivalenta utomhustemperaturen och är lösbar. $K_{ventilation}$ kan egentligen summeras med $K_{vägg\ och\ tak}$ eftersom bägge går mot utomhustemperaturen, men som vi ska se senare är den betydande och varierar ständigt och det finns därför en poäng i att behandla den separat. Jämviktstemperaturen för toalett-tanken, T_i , det vill säga den temperatur vid vilken summan av värmefflödet in och ut genom tanken är lika stora, kan nu beräknas enligt ekvation 8.5.

$$T_i = \frac{K_{sol\ f.} * T_{ekv.} + K_{mark} * T_{mark} + K_{vägg \ \& \ tak} * T_{ute} + K_{vent.} * T_{ute}}{K_{total}} \quad (8.5)$$

och den ekvivalenta utomhustemperaturen kan beskrivas (Pettersson, 2013) som

$$T_{ekvivalent} = T_{ute} + \frac{\alpha_{sol}}{\alpha_{ute}} * I_{sol} \quad (8.6)$$

där α_{sol} är absorptans för kortvågig strålning [-], α_{ute} yttre värmeöverföringskoefficient $1/R_{se}$ [W/m²K] och I_{sol} den kortvågiga solstrålningen mot en yta [W/m²].

En snabb blick på ekvation 8.6 ger att högre utomhustemperatur och högre solintensitet ger en högre ekvivalent utomhustemperatur, särskilt om materialet har en hög absorptions för solstrålning, exempelvis någonting svart. Vidare funderingar leder till slutsatsen att α_{ute} bör vara så litet som möjligt. Detta är skälet till varför solfångare förenklat brukar utgöras av svarta paneler täckta av glas, där glaset släpper igenom det mesta av den kortvågiga strålningen från solen. Luftspalten mellan glas och det absorberande materialet gör att R_{se} (0,04) går mot R_{si} (0,13) (Pettersson, 2013, s. 262) och därmed blir α_{ute} mindre.

Tabell B.1 redovisar egenskaperna för toalettens delar.

Tabell B.1 Byggnadsfysiska egenskaper för toalettens tank med basytan 2x4 meter. Uppgifter från Pettersson (2013).

Byggnads del	Material	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Area [m ²]	K [W/K]
Grund	Lättklinker*	0,12	0,17	0,71	1,1	8	9
Vägg	Timmer	0,095	0,14	0,68	1,2	12	14
Tak	Regel	0,045	0,14	0,32	2,0	6	12
Lucka	Plexi, luft, plåt	ca 0,045			3,3	4	13
Summa						30	49

*Lättklinkerkulornas λ -värde är hämtade från en tillverkares produktblad (Leca, 2019) och avser värdet vid högsta fuktkvot, 44 %.

Med värden från Tabell B.1 kan en test utföras om vi dessutom antar att solintensiteten mot de lutade luckorna är 800 W/m², $\alpha_{sol} = 0,93$, genomsläppligheten i plexiglas 0,9, utomhustemperaturen 0°C, temperaturen i marken -5°C och än så länge bortser från förluster via ventilation. Den ekvivalenta temperaturen blir

$$T_{ekvivalent} = T_{ute} + \frac{\alpha_{sol}}{\alpha_{ute}} * I_{sol} = 0 + \frac{0,93}{7,7} * 0,9 * 800 = 87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

och jämviktstemperaturen kan då beräknas genom

$$T_{inne.jämvikt} = \frac{13 * 87 + 9 * (-5) + (14 + 12) * 0}{49} = 22^\circ\text{C}$$

Det vill säga att jämviktstemperaturen är drygt 20 grader över utomhustemperaturen i det här specifika fallet och då utan förluster genom ventilation. Luftrörelser kommer att behandlas senare, men de blir snabbt betydande. Tankens volym är ungefär 8 m³ och i Tabell B.2 ges konduktanser för några olika luftomsättningar per timma för att redan nu få ett begrepp om storleksordningarna.

Tabell B.2 Ventilationens konduktans för några omsättningar per timma.

Omsättning n	Korresponderande flöde [l/s]	K [W/K]
1	2,2	2,7
5	11,1	13,3
10	22,2	26,7
15	33,3	40,0
20	44,4	53,3
25	55,6	66,7
30	66,7	80,0

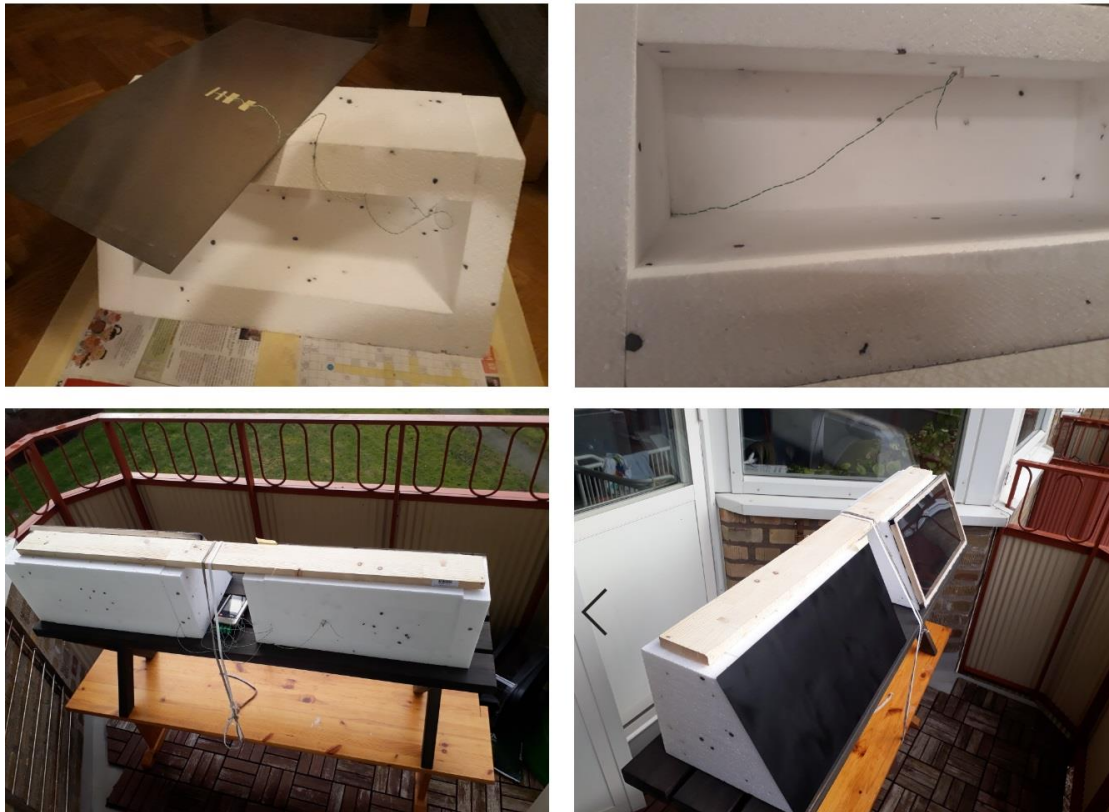
Vid ett flöde av 45 [l/s] är alltså förlusterna lika stora som genom skalet i övrigt och temperaturen skulle i det fallet höjas med cirka 10 °C i stället för drygt 20 °C. Från räkneexemplet ser vi också att eftersom $K \cdot T = W$ har solstrålningen bidragit med $13 \cdot 87 = 1131$ W. Då luckornas area är 4 m² blir det 283 W/m² eller 35% av de 800 W/m² som föll mot luckorna.

8.2.1 Balkong-experiment

När det gäller fönster eller glasytor brukar man tala om ett G-värde och att vanligt glas har 0,75 (Warfvinge & Dahlblom, 2010) och alltså släpper i genom 75 % av soleffekten. Skälet till jämförelsen är inte att argumentera för att toalett-tankens utförs i transparent glas; utan för att leda vidare till det experiment som utfördes för att ta reda på hur stor soleffekt som tar sig genom en solfångare gjord av plexiglas och svart takplåt. Det ger ett värde att jämföra mot det som fås via metoden med ekvivalent utomhustemperatur, det möjliggör att förenkla jämviktsberäkningarna till det vi såg i Figur B.4 och det borde också parera för eventuella fel i beräkningarna med solstrålning mot en lutande yta. Dessa beräkningar redogörs för senare och vad som avses med att parera fel torde då klarna.

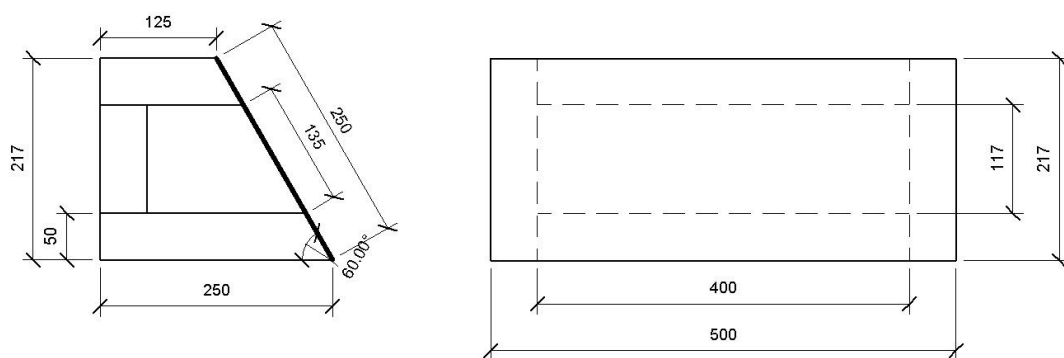
Försöket utformades efter förslag av Tommie Månsson, doktorand på Avdelningen för byggnadsteknologi vid Chalmers Tekniska Högskola och genomfördes sedan på författarens balkong under slutet av mars och början av april 2019. Efter att ha fått hjälp av Arkitekturverkstaden på Chalmers med att kapa till delarna fogades två lådor av cellplast samman med blomsterpinnar och en av deras långsidor lämnades öppen och förseddes sedan med en svartmålad aluminiumplåt (låda 1) respektive en svartmålad plåt 0,6 mm med en plexiglasskiva cirka 1 mm framför (låda 2).

En temperaturlogger av typen Testo 176 T4 installerades och loggade temperaturen varje minut inuti respektive låda samt omgivningstemperaturen på balkongen. På låda 1, utan plexiglasskiva, fästes den fjärde och sista givaren på insidan av plåten. Bilderna i Figur B.6 visar lådorna under monteringen och sedan de ställts upp på balkongen.



Figur B.6 ö.v: Låda 1 där givartråden fästs på baksidan av plåten. ö.h: Temperaturgivare för att mäta lufttemperaturen infäst centrerat i lådorna. n.v: Lådorna placerade på balkongen och givaren för att mäta omgivningstemperaturen sitter i skuggat läge på baksidan av låda 1. n.v: Lådorna sedda från sin framsida där träramen med plexiglasskivan syns på låda 2.

Lådorna orienterades åt söder med hjälp av kompass och en bräda surrades fast för att hålla dem på plats. Redan under första dagen smälte det lim (PL600) som använts för att fästa plåtarna mot cellplasten och våtrumssilikonet som hade applicerats mellan trälisterna och plåten i låda 2. Lådorna togs då in och träramen skruvades fast i plåten och bägge plåtarna tejpades sedan med vit vävtejp (tesa 4665). Samtliga fogar tejpades vid samma tillfälle för att göra lådan så lufttät som möjligt. En ritning där lådornas mått framgår ges av Figur B.7.



Figur B.7 Sektion av lådorna till vänster och elevation till höger.

Lådornas konduktanser beräknades och antagandet gjordes att luftläckaget var obefintligt. Figur B.7 visar tydligt att det blir stor skillnad om de yttre eller inre måtten används vid beräkningarna av konduktansen. På inrådan av Tommie Månsson (2019) gjordes beräkningarna, se Tabell B.3, både på de yttre och inre måtten och slutsatserna drogs bättre efteråt.

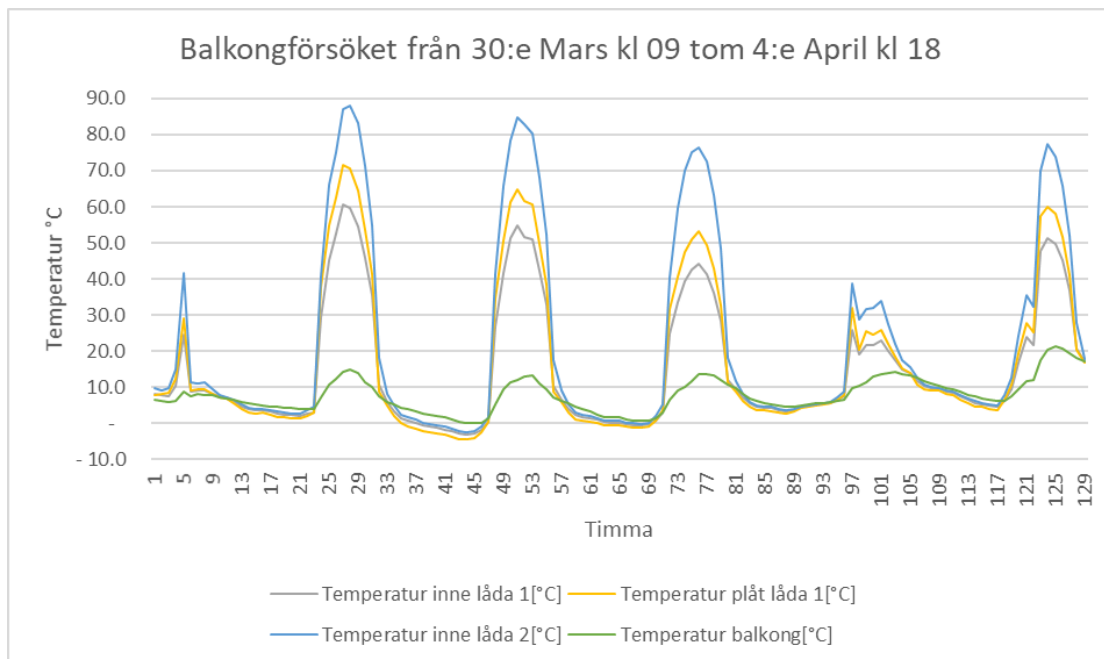
Tabell B.3 Egenskaperna för låda 1 och 2, beräknade efter inre och yttre area.

Material	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Inre area [m ²]	Yttre area [m ²]	K inre [W/K]	K yttre [W/K]
Cellplast	1,52	0,66	0,193	0,376	0,13	0,25
Plåt	R _{si} +R _{se}	5,88	0,054	0,125	0,32	0,74
Plexi/plåt	R _{si} +R _{si} +R _{se}	3,33	0,054	0,125	0,18	0,42
				Totalt		
				Låda 1	0,44	0,98
				Låda 2	0,31	0,66

För cellplasten användes ett λ -värde på 0,037 W/mK. På grund av plåtens och plexiglasets ringa tjocklek och höga λ -värden har bidragen från dem försumrats då övergångsmotståndet ändå är helt dominerande. Värmeflödet Q [W] kan nu enkelt beräknas genom ekvation 8.1 eftersom både innetemperaturen och omgivningstemperaturen på balkongen hela tiden är kända.

$$Q = K(T_{inre} - T_{balkong}) \quad (8.1)$$

Temperaturstegringen inuti lådorna uppkommer till följd av värmeflödet från solen mot de snedställda luckorna och Q utgör alltså ett direkt mått på effekten som går genom dem. Om även effekten som faller mot luckorna är känd fås ett förhållande ("G-värde") som kan användas även på luckorna i toaletten i Tarfala. Solintensiteten mot en horisontell yta [W/m²] mäts naturligtvis även i Göteborg, men den behöver räknas om för att gälla en yta orienterad åt söder med 60° lutning. Om beräkningarna för att gå från intensitet på en horisontell till en lutad yta skulle innehålla fel; kommer det felet vara det samma i Göteborg som i Tarfala. Storleken på Q borde dock inte påverkas av det. Innan beräkningarna på solstrålning inleds presenteras en graf över balkongförsöket i Figur B.8.



Figur B.8 Grafisk presentation av mätdata från de fyra givarna från balkongförsöket. Timma 1 är kl. 09 den 30:e mars och timma 129 kl. 18 den 4:e april.

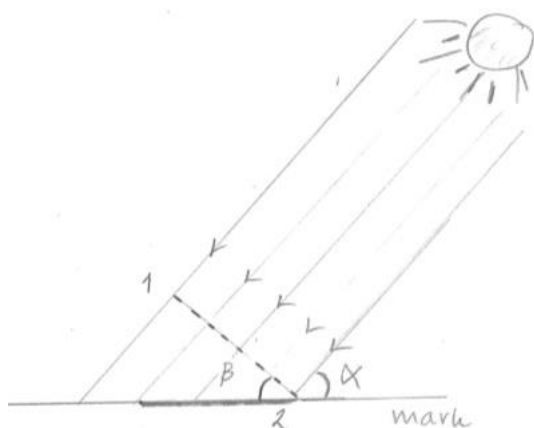
Denna sexdagarsperiod innehåller två ganska grå dagar och fyra mer eller mindre soliga. Temperaturen både stiger och faller mycket snabbt och i låda 2 noteras nära 90 °C eller 75°C över temperaturen på balkongen. Luften i låda 1 når vid samma tillfälle sin maximala temperatur, cirka 60°C eller 45°C över omgivningens. Plåten i låda 1 verkar generellt hålla ungefär 10°C över lufttemperaturen inuti låda 1. Tyvärr fanns endast fyra givare tillgängliga och plåten i låda 2 kunde därför inte mätas. Under den kalla natten mellan dag två och tre är temperaturen inuti lådorna klart lägre än omgivningstemperaturen, sannolikt på grund av utstrålningen från plåtarna.

8.3 Solstrålning

Solarkonstanten, 1367 W/m² enligt Duffie & Beckman (2013) och 1360 W/m² enligt Areskoug (2006) och 1366 W/m² enligt SMHI (2007) mot en yta vinkelrät mot solen, är storleken på solstrålningens intensitet utanför atmosfären. Vilken solintensitet som når jordytan beror av hur mycket som reflekteras tillbaka ut i rymden eller absorberas av atmosfären (eller redan från början skuggas av jorden själv).

Solens höjd över horisonten är en viktig parameter eftersom den avgör hur lång sträcka genom atmosfären solstrålarna måste färdas. En liknelse är att se atmosfären som en väg och den kortaste sträckan över blir vinkelrätt dess längd; går man parallellt med vägen blir sträckan över i stället oändligt lång. Vid klart väder blir minskningen dock betydande först vid låga solhöjder (Areskoug, 2006), men vid mulet väder blockeras mycket av strålningen även då solen står högt.

Eftersom globalstrålningen (direkt och diffus strålning i W/m² på en horisontell yta) redan mäts och presenteras av SMHI för varje timma i Tarfala behöver vi inte fundera på dess storlek. Däremot behövs en metod för att räkna om den globala strålningen från en horisontell yta till en yta med lutning, illustrerat i Figur B.9.



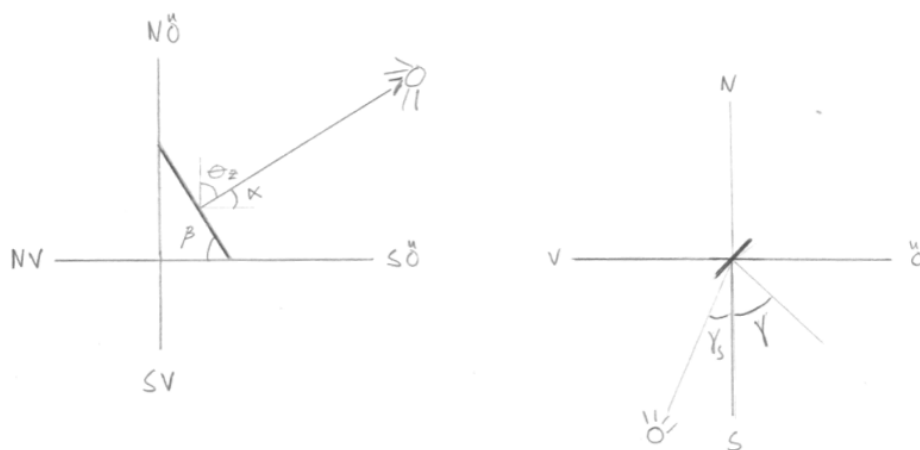
Figur B.9 En lutad yta med vinkel β (1) träffas vinkelrätt av solstrålningen och läggs sedan platt på marken (2). Inspiration från Areskoug (2006).

När ytan läggs på marken träffar samma mängd strålar en större area, det vill säga "missar" ytan så att den mottar mindre effekt. Vid lägre solhöjder α blir förlusten mer påtaglig. I sin enklaste form kan instrålningen på den lutade ytan, I_L , beräknas som

$$I_L = \frac{I}{\sin \alpha} \quad (8.7)$$

där α är solhöjden och I den direkta solstrålningen mot en horisontell yta [W/m^2].

Nu inställer sig emellertid ett antal bekymmer: En horisontell yta saknar per definition orientering, men direkt den får en lutning kommer den att vetta åt något håll, det vill säga att orienteringen gör att ytan förutom ett förhållande i höjddled, får ytterligare en vinkel mot solen, i sidled enligt Figur B.10. Problemet kan nu sägas vara tredimensionellt.



Figur B.10 Till vänster ytan med lutningen β och orientering åt söder. Till höger vinkeln γ_s mellan ytans orientering och solens position.

Vinkeln γ_s kallas för solens azimut-vinkel och beskriver solens position i förhållande till söder i horisontalplanet (Duffie & Beckman, 2013). Vi kommer framförallt att tala om den som en tidsvinkel, ω , för att inte blanda ihop det med ytans azimut, γ , som är vinkel-avvikelsen från ytans normal från söder (det som kallats

orientering) och i många fall är fast. I fall där ytan är orienterad åt söder blir $\gamma = 0$. γ_s eller tidsvinkeln ω ändras däremot med 15° per timma eftersom jorden rör sig ett varv runt solen på 24 timmar.

Den uppmätta globalstrålningen innehåller både direkt och diffus strålning (SMHI, 2007), där den diffusa delens riktning både är svårbestämd och variabel. Vid klart väder är den direkta strålningen dominerande och vid mulet väder dominerar den diffusa strålningen. Metoder som behandlar all strålning som direkt kommer att överskatta effekten mot en lutad yta.

Lyckligtvis finns metoder som delar upp globalstrålningen i sina komponenter i boken *Solar Engineering of Thermal Processes* (Duffie & Beckman, 2013). I korthet går den valda metoden ut på att den uppmätta strålningen på jordytan divideras med strålningen utanför atmosfären. Detta ger ett klarhetsindex, där höga index innebär en stor del direkt strålning och låga index innebär en stor del diffus strålning. Bidragen kan sedan, genom flitigt användande av geometri, summeras på den lutade ytan. Det första steget är att timma för timma bestämma solens position och förhållandet till den lutade ytan.

8.3.1 Solhöjd

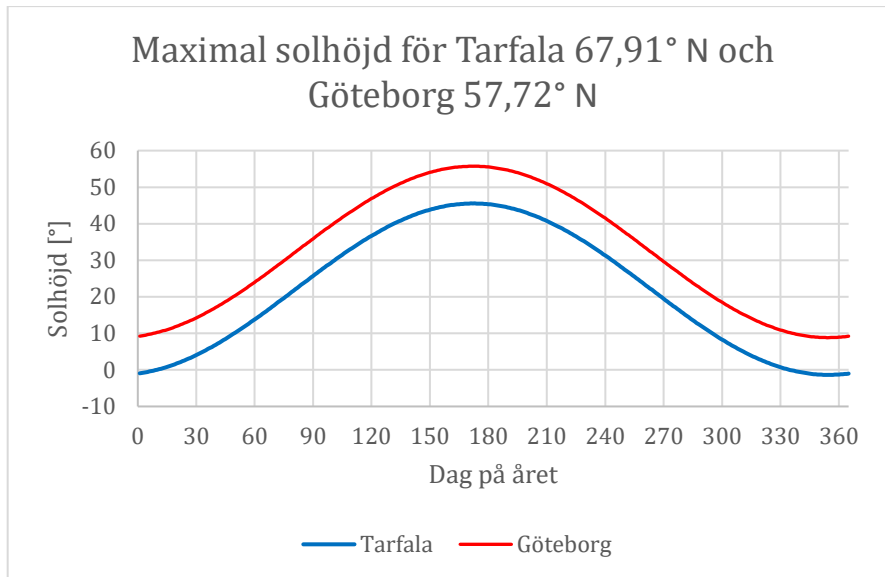
En latituds solhöjd kl. 12 soltid vid dagjämningarna kan beräknas genom $90 -$ latituden och för höjden vid solstånden läggs \pm jordaxelns lutning till. Det är trevlig kunskap, men till mindre hjälp för alla dagarna där i mellan och för variationen över dygnet. Solens höjd α för en godtycklig tidpunkt och latitud kan beräknas enligt ekvation 8.8.

$$\alpha = \arcsin(\cos \varnothing * \cos \delta * \cos \omega + \sin \varnothing * \sin \delta) \quad (8.8)$$

där \varnothing är latituden, δ deklinationen och ω tidsvinkeln definierad så att kl. 12 har $\omega = 0^\circ$ och den ökar med 15° för varje timma efter och minskar med 15° för varje timma innan (Duffie & Beckman, 2013). Deklinationen beror av jordens läge i årscykeln runt solen och jordaxelns lutning och är alltså i intervallet $-23,45^\circ$ till $23,45^\circ$. En metod för att beräkna deklinationen är genom ekvation 8.9.

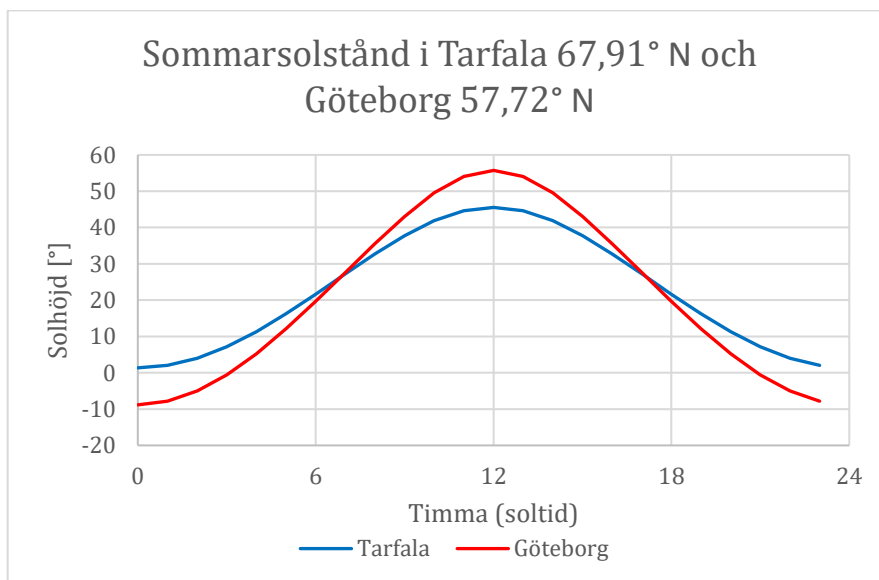
$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right) \quad (8.9)$$

där $23,45^\circ$ är jordaxelns lutning (Duffie & Beckman, 2013) och n aktuell dag på året. I Figur B.11 redovisas dygnets maximala solhöjd för Tarfalas och Göteborgs latituder.



Figur B.11 Maximal daglig solhöjd för orter på Tarfalas och Göteborgs latituder.

Under en månads tid går solen inte över horisonten i Tarfala. Det är också tydligt att skillnaden mellan orterna hela tiden är latituden. Från ungefär dag 45 till dag 120 sker snabba förändringar i solhöjd och motsvarande råder på hösten. Motsatt gäller att förändringarna sker långsammare under sommaren och vintern. Om en lutning β på solfångare orienterade åt söder väljs till 60° kommer solen infalla vinkelrätt mot den ungefär vid dag 100 och dag 245. Solens dygnscykel under dygnet för sommarsolståndet ser ut enligt Figur B.12.



Figur B.12 Solhöjden över dygnet vid sommarsolståndet för Tarfalas och Göteborgs latituder.

Här ser vi att solen aldrig går under horisonten i Tarfala och att det dröjer till sjutiden innan solen står högre i Göteborg. Eftersom kl. 06:00 och kl. 18:00 motsvarar att solen står i öster respektive väster och att solhöjden då är drygt 20° kommer en yta orienterad åt söder med en lutning $>20^\circ$ att vara skuggad förutom mellan kl. 06 och kl. 18.

8.3.2 Soltid

Alla tider har hittills varit soltider, det vill säga att kl. 12:00 är definierat som att solen står i söder och i sitt zenit för dagen. Eftersom det råder viss asymmetri är det inte alltid riktigt fallet (SMHI, 2007), men även om vi skulle välja att bortse från det måste vi ta hänsyn till att jorden av bekvämlighetsskäl är indelad i tidszoner.

Sveriges tidszon har sin meridian i 15° Ö, Tarfalas longitud är 18,61° Ö och Göteborgs 11,99° Ö. Det innebär att soltiden och svensk normaltid (UTC+1) inte stämmer överens och då SMHI:s observationer dessutom ges i koordinerad universell tid (UTC) gäller det att noga akta sig för att observationer av globalstrålning inte ställs till en solhöjd som gäller för en annan tidpunkt. Duffie & Beckman (2013) ger en ekvation för att korrigera skillnaden mellan meridianen och longituden och även för störningar i jordens rotation, som varierar över året med maximalt cirka ±15 minuter.

$$\text{Soltid} = \text{Standardtid} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (8.10)$$

Där L_{st} är standardtidens meridian, L_{loc} platsens longitud och longituderna räknas väster från Greenwich det vill säga $0^\circ < L < 360^\circ$ och 4 är antalet minuter som solen behöver för att passera 1° longitud. E kan beräknas med ekvation 8.11.

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (8.11)$$

där B talar om vilken dag på året som avses och fås som $B = \frac{(n-1)360}{365}$ och där n är dag på året. I Tabell B.4 illustreras problemet för en period under samma dygn.

Tabell B.4 Skillnader i tid, Tarfala 16:e maj 2008, $n=137$.

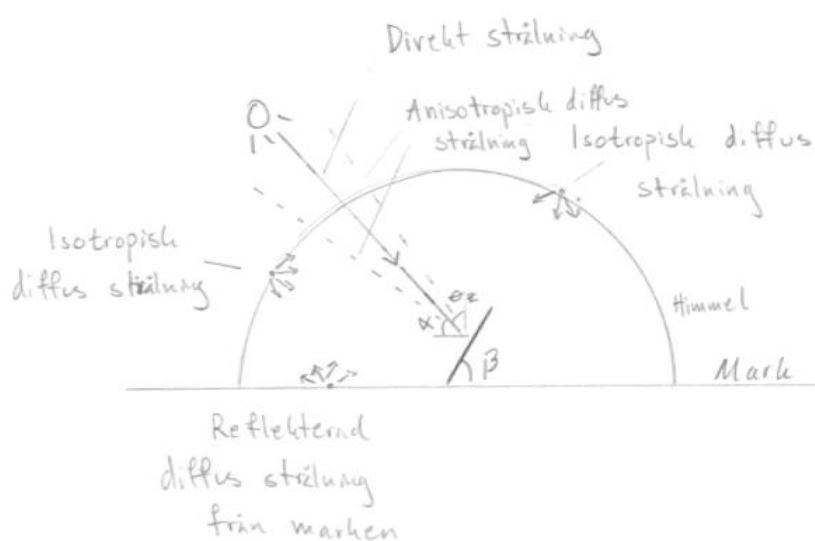
Globalstrålning [W/m ²]	UTC	UTC+1	Soltid	Medelsoltid för observation
278	06:00	07:00	07:18	06:48
409	07:00	08:00	08:18	07:48
606	08:00	09:00	09:18	08:48
658	09:00	10:00	10:18	09:48
779	10:00	11:00	11:18	10:48
758	11:00	12:00	12:18	11:48
788	12:00	13:00	13:18	12:48
792	13:00	14:00	14:18	13:48
758	14:00	15:00	15:18	14:48
463	15:00	16:00	16:18	15:48
296	16:00	17:00	17:18	16:48
306	17:00	18:00	18:18	17:48
122	18:00	19:00	19:18	18:48

De meteorologiska observationer som laddas ned från SMHI är kopplade till en tid och i det här fallet till en timma angiven i UTC. Soltiden som motsvarar tiden i UTC skiljer med 1h 18m. Dessutom är värdet på globalstrålningen för exempelvis 09:00 UTC ett integrerat medelvärde för hela den tidigvarande timman, mellan 08:00-09:00 UTC. Tiden för solhöjden bör alltså väljas till 08:30 UTC, vilket alltså

motsvarar 09:48 i soltid. Denna soltid görs sedan om till tidsvinkeln ω , -33° , för den observationen. Det går naturligtvis också bra att hela tiden hålla sig i grader. Notera också att den lokala tiden skulle vara svensk sommartid, UTC+2.

8.3.3 Att gå från globalstrålning till strålning mot en lutad yta

I *Solar Engineering of Thermal Processes* (2013) presenteras några olika modeller för situationer där olika typer av mätdata finns tillgängliga. Den valda modellen är konservativare än många andra och delar upp den globala strålningen i tre komponenter: en direkt, en isotropiskt diffus och en diffust reflekterad från marken. I Figur B.13 visas olika typer av strålning.



Figur B.13 Direkt strålning mot en lutad yta samt olika former av diffus strålning från himlen och marken. Tolkat från Duffie och Beckman (2013).

Den diffusa strålningen kan behandlas som isotropisk, det vill säga att den kommer lika mycket från alla riktningar, eller anisotropisk och i huvudsak kommer från en riktning nära solens. Den kan även reflekteras isotropiskt från marken. Den valda modellen beräknar strålningen $[W/m^2]$ på en lutad yta I_T (engelska *tilted*) enligt ekvation 8.12.

$$I_T = I_b * R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I * \delta_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (8.12)$$

där I_b är den direkta komponenten (engelska *beam*), I_d (engelska *diffuse*) är en isotrop diffus komponent från himlen och $I * \delta_g$ är en isotrop diffus komponent från marken (engelska *ground*). Uttrycken inom parantes talar om vilket synfält ytan har mot himlen respektive marken och δ_g är markens reflektionsfaktor.

För att dela upp globalstrålningen, i en diffus och direkt komponent används ett klarhetsindex $k_T [-]$ och det fås som $k_T = \frac{I}{I_0}$ där I är globalstrålningen $[W/m^2]$ på en horisontell yta och I_0 är strålningen $[W/m^2]$ på en horisontell yta utanför atmosfären. Det är alltså en kvot som talar storleken på vilken effekt som på olika sätt upptas eller reflekteras i och av atmosfären.

Det finns flera metoder där k_T används och här har valts en något förenklad metod som sägs vara tillräcklig i de flesta praktiska fall, se ekvation 8.13.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1,0 - 0,249k_T & \text{för } 0 \leq k_T \leq 0,35 \\ 1,557 - 1,84k_T & \text{för } 0,35 \leq k_T \leq 0,75 \\ 0,177 & \text{för } k_T > 0,75 \end{cases} \quad (8.13)$$

När k_T blir större kommer alltså den diffusa komponenten att minska. Ett exempel för $k_T > 0,75$ ger alltså att den diffusa komponenten av I , I_d är 17,7 % och den direkta I_b utgör resterande del. Den geometriska faktorn R_b (engelska *ratio beam*) multipliceras med den direkta komponenten av strålningen och definieras som

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (8.14)$$

och kan beräknas för godtyckliga fall genom

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (8.15)$$

där θ är den direkta strålningens infallsvinkel (engelska *angle of incidence*) mellan den lutade ytan och dess normal. Uttrycket ser ut enligt ekvation 8.16.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta * \sin \emptyset * \cos \beta - \sin \delta * \cos \emptyset * \sin \beta * \cos \gamma \\ & + \cos \delta * \cos \emptyset * \cos \beta * \cos \omega \\ & + \cos \delta * \sin \emptyset * \sin \beta * \cos \gamma * \cos \omega \\ & + \cos \delta * \sin \beta * \sin \gamma * \sin \omega \end{aligned} \quad (8.16)$$

Θ_z är zenitvinkeln, se Figur B.13 (engelska *zenith angle*) och den beräknas genom

$$\cos \theta_z = \cos \emptyset * \cos \delta * \cos \omega + \sin \emptyset * \sin \delta \quad (8.17)$$

För det vanliga specialfallet att ytan är orienterad åt söder och ytans azimut $\gamma = 0^\circ$ blir uttrycket något mer behändigt

$$R_b(\gamma = 0^\circ) = \frac{\cos(\emptyset - \beta) * \cos \delta * \cos \omega + \sin(\emptyset - \beta) * \sin \delta}{\cos \emptyset * \cos \delta * \cos \omega + \sin \emptyset * \sin \delta} \quad (5.18)$$

Vi påminner om att θ är ortens latitud, β ytans lutning från horisontalplanet, ω tidsvinkeln och δ deklinationen.

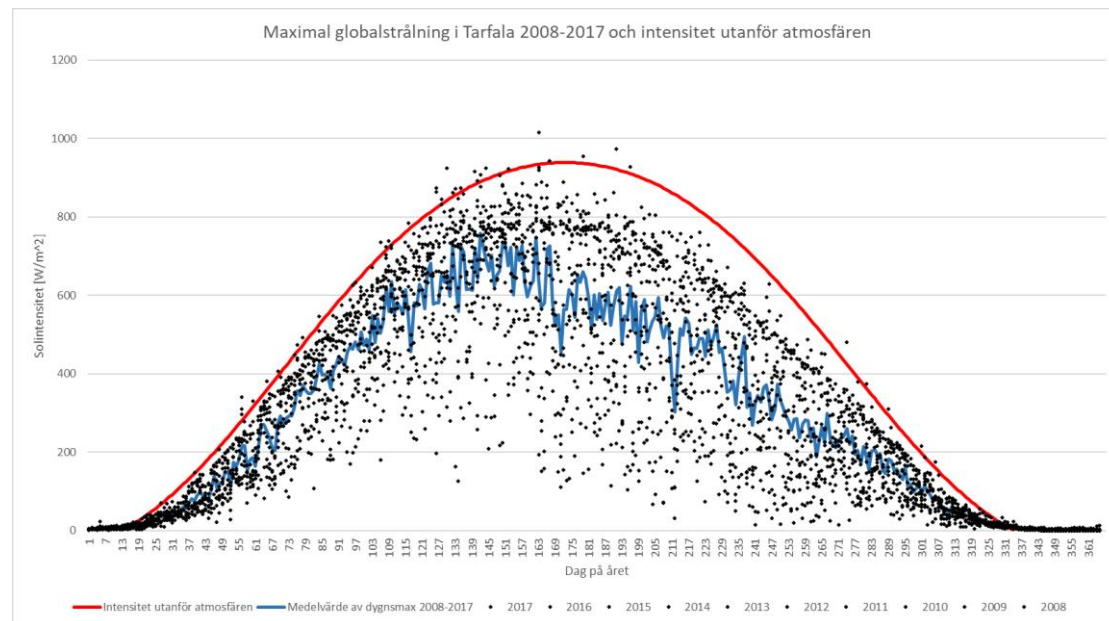
För att få klarhetsindexet k_T behövs alltså ett värde på intensiteten utanför atmosfären, I_0 , att jämföra med det som vid samma tillfälle uppmätts på marken och det kan beräknas med ekvation 8.19.

$$I_0 = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \cos \emptyset * \cos \delta * \cos \omega + \sin \emptyset * \sin \delta \quad (8.19)$$

där G_{sc} är solarkonstanten [W/m^2], n dag på året och här är det mycket viktigt att använda samma tidsvinkel, ω , som observationen gäller för.

Uttrycket inom parantes i ekvation 8.19 beskriver att solarkonstanten varierar över året med $\pm 3,3\%$ eller $\pm 45 \text{ W/m}^2$. Detta beror på att jordens bana kring solen är

elliptisk och att jordens avstånd till solen därmed varierar så att under norra halvklotets sommar är strålningen vid atmosfärens rand lägre för att vara högre under vår vinter. I Figur B.14 visas dygnets observerade maximala globalstrålning och till den har fogats en kurva som visar den maximala strålningen utanför atmosfären, I_0 .



Figur B.14 De svarta prickarna visar varje dags maximala uppmätta globalstrålning under perioden 2008–2017. Den röda kurvan visar den beräknade maximala strålningen mot en horisontell yta utanför atmosfären för Tarfalas latitud.

Ett antal av de observerade värdena för solintensiteten är alltså högre än vad beräkningarna säger att den maximalt kan vara utanför atmosfären, ett fåtal klarhetsindex kommer alltså bli > 1 och det bör givetvis ge anledning till misstänksamhet.

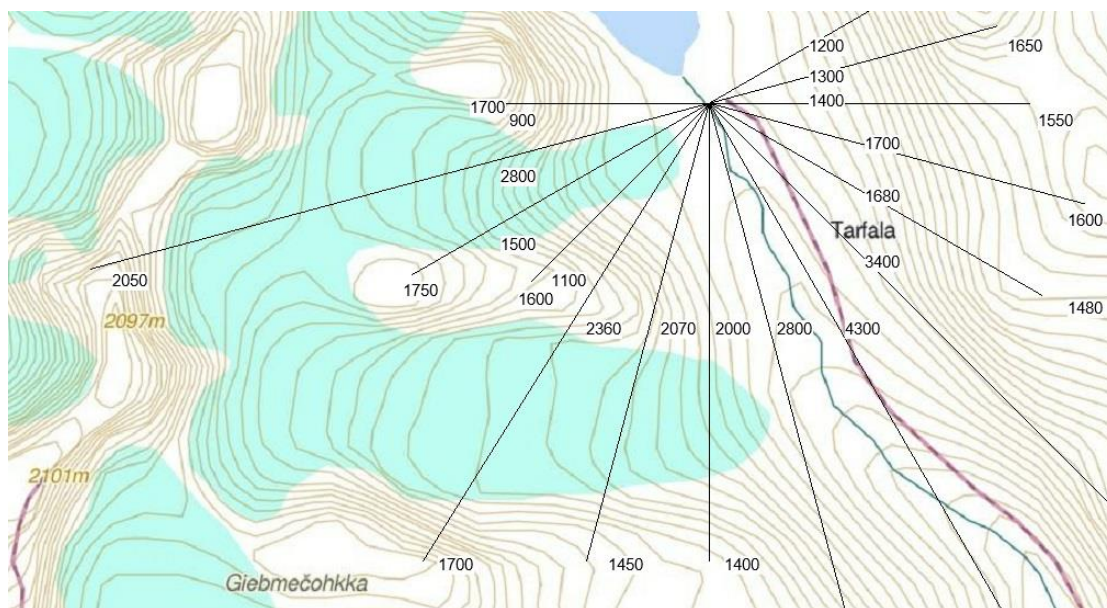
Vi ska komma ihåg att prickarna visar den maximala strålningen för respektive dygn och därför är det kanske inte så förvånande att många endast ligger strax under den extraterrestra, särskilt under våren. Andra möjliga förklaringar utan stort annat stöd än eget resonering kan vara att det är platsens höjd och faktumet att det är en förhållandevis djup dal i nord-sydlig sträckning, med glaciärer och långt in på året snötäckta sidor, som bidrar till att en del maximala värden ligger misstänkt nära de extraterrestra.

8.3.4 Skuggning och markreflektion

Innan resultaten av strålningen mot den lutade ytan tas fram ska vi förhålla oss till skuggning och markreflektion. Skuggningen har två delar, där den ena är att solen helt enkelt blockeras av något av de omkringliggande bergen. Även om STF:s fjällstuga i Tarfala och SMHI:s mätstation endast ligger en kilometer från varandra finns bergen så tätt inpå att Tarfalastugan ibland borde ligga i skugga fastän mätstationen inte gör det. Motsatsen råder säkert ibland också, men troligen i mindre omfattning och därför är det endast det första fallet som utreds och det är bara det som kan riskera att överskatta solstrålningen.

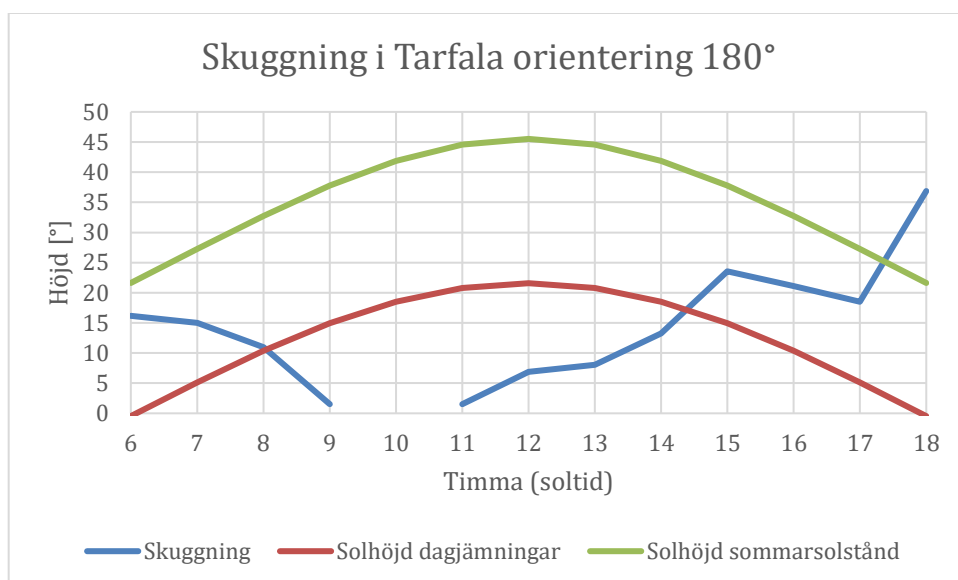
Den andra delen av skuggproblematiken är det tidigare nämnda faktumet att ytan inte kan belysas av direkt solstrålning om solen står mer än 90° grader från ytan

orientering, det vill säga bakom den. Det är tämligen enkelt åtgärdat i Excel och berörs inte djupare. En egen metod togs fram för att uppskatta om solen står bakom något berg eller ej med utgångspunkt i Figur B.15.



Figur B.15 Skuggstudie där avstånd till synfältets rand och höjd för den punkten har uppskattats med 15° täthet.

Från Tarfalastugan har avståndet mätts till den punkt som antas utgöra synfältets rand. Med ledning ur höjdkurvorna har punktens höjd sedan uppskattats. Den resulterande vinkeln blir den solen måste stiga över för att kunna belysa solfångaren på toaletten. I Figur B.16 ges en bild från stugplatsens perspektiv.



Figur B.16 Den blå linjen visar över vilken höjd solen måste stiga för att kunna belysa toalettens solfångare. De röda och gröna linjerna visar solhöjden under dagjämningarna och vid sommarsolståndet.

Den blå linjen kan sägas rita konturerna av dalgången och de andra två linjerna utgör gränserna för solens höjd under större delen av perioden 1:a mars – 30:e september. I beräkningarna görs en kontroll av att solhöjden är tillräcklig; är den inte tas den direkta strålningen bort. Metoden med att ta fram höjderna är naturligtvis grov, men den borde vara tillräckligt rättvisande för att kunna användas här.

Den valda metoden för att beräkna effekten mot solfångarna eller luckorna på toalettens tank innehåller en reflektionsfaktor för marken, δ_g , $0 < \delta_g < 1$. Då det är känt att snö i hög grad reflekterar solstrålning och att mörka ytor inte gör det, måste reflektionsfaktorn avta i takt med snötäckets. SMHI (2017) anger att nyfallen snö reflekterar mellan 80–90% av solstrålningen och enligt Pettersson (2013) har mörkgrå skiffer en absorptions på 90 %. Det går att tolka och Figur B.14 som att snötäckets börjar avta (eller åtminstone mörkna) kring dag 130 (ungefär 10:e maj) och sedan är mer eller mindre borta runt en månad senare och det stämmer erfarenhetsmässigt tämligen bra. En linjär funktion lades in i exceldokumentet som lät δ_g avta under ungefär en månads tid.

8.3.5 Resultat från solstudien

Med alla nödvändiga ekvationer och indata kan modellen för att omvandla globalstrålningen I till strålning mot en lutande yta I_T nu köras. Vi påminner att modellen ser ut enligt ekvation 8.12.

$$I_T = I_b * R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I * \delta_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (8.12)$$

Det varnas för att orimligt höga värden på faktorn R_b , för den direkta komponenten, kan fås vid låga solhöjder (Duffie & Beckman, 2013) det vill säga nära skymning och gryning. Dessa värden kan behöva redigeras manuellt eller helt tas bort för att inte få våldsamt överskattade värden på $I_b * R_b$ vid dessa tidpunkter. De två korrigeringarna för skuggning och nogsamhet i beräkningar av soltid gjorde att denna handpåläggning inte var nödvändig. Indata som användes i beräkningarna ges av Tabell B.5.

Tabell B.5 Indata använt vid effektberäkningarna.

Indata			
Markreflektion snö [-]	0,75	Solarkonstant [w/m]	1367
Markreflektion barmark [-]	0,15	Ytans lutning β [°]	60
Snötäckets avtagande n	130	Azimut γ [°]	0
Snötäckets upphörande n	160		

Resultatet återges i Tabell B.6.

Tabell B.6 Resultat av solstudien i Tarfala 1:e mars - 30:e september 2008.

Komponenter	Totalt [Wh/m]	Medelvärde [W/m]	Maximalt värde [W/m]
Direkt	654 876	128	1102
Diffus himmel	291 463	57	236
Diffus mark	78 738	15	138
Totalt lutad yta	1 025 077	200	1338
Globalstrålning	842 574	164	919
Avvikelse	22%		

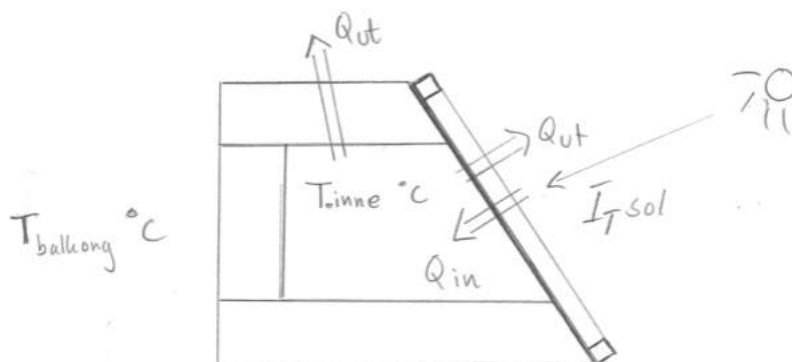
Summan av den direkta strålningen, den diffust isotropa strålningen från himlen och den diffust isotropa strålningen från marken har alltså beräknats till 1 025 077 Wh/m² eller i medeltal 200 W/m². Jämfört med den observerade globalstrålningen är det 22% mer, det vill säga att genom att låta luta ytan ökar den mottagna energin med 22%. I Figur B.11 konstaterades att solen skulle infalla vinkelrät mot en lucka med $\beta = 60^\circ$ kring dag 100, ungefär 10:e april. En kontroll för perioden dag 95 till dag 104 gav 49 % större mottagen energi.

Ett test av modellen är att sätta $\beta = 0^\circ$ och kontrollera att γ kan låtas variera fritt. Det fallet innebär att ytan ligger platt på marken och strålningen den mottar blir då globalstrålningen. När det testet genomfördes, efter att ha tagit bort den tidsberoende skuggningen, blev avvikelsen -3%, vilket får anses vara en tillräckligt liten avvikelse för att kunna lita på modellen. Den innehåller, förutom all geometri, trots allt många antaganden och förenklingar, inte minst när globalstrålningen delas upp i komponenter med hjälp av klarhetsindexet.

Eftersom modellen arbetar mot observationer är den inte helt lämplig för att ta fram den optimala storleken på β . Men när både γ och β ändras med 15° fås ännu värden kring 20 % över globalstrålningen och det gäller även om de tillåts variera med 30° var för sig.

8.3.6 Användning av balkongförsöket

Genom modellen globalstrålning \rightarrow strålning mot en lutad yta finns nu ett värde för varje timma som kan användas vid de byggnadsfysiska beräkningarna. Samma modell kan användas mot observationer för Göteborg från perioden då balkongförsöket genomfördes och därigenom få ett mått på effekten som tog sig in i försökslådorna, det som kallas "G". I Figur B.17 visas värmeflödena Q_{in} och Q_{ut} för lådan.



Figur B.17 Effektbalans för låda 2 från balkongförsöket.

Under förutsättning är att jämvikt råder, att $Q_{in} = Q_{out}$, vilket innebär att innetemperaturen, temperaturen på balkongen och solstrålningen är konstanta under en period blir $Q = K_{låda\ 2}(T_{inne} - T_{balkong})$.

Med ledning från mätdata från försöket verkar den perioden inte behöva vara mycket längre än en kvart och beräkningarna borde bli rättvisande för intilliggande timmar med liknande balkongtemperatur, temperatur inuti lådan och solintensitet. När Q [Wh] sedan beräknats för några intilliggande timmar och divideras med I_T [Wh] fås värden på G enligt Tabell B.7.

Tabell B.7 Beräknade värden på G och G_{ekv} .

Tid	31:e mars		1:a april		2:a april		3:e april		4:e april	
	G	G_{ekv}	G	G_{ekv}	G	G_{ekv}	G	G_{ekv}	G	G_{ekv}
Tidpunkt 1	0,51	0,41	0,50	0,40	0,46	0,40	0,31	0,48	0,36	0,43
Tidpunkt 2	0,45	0,41	0,45	0,40	0,40	0,39	0,37	0,51	0,34	0,44
Tidpunkt 3	0,41	0,40	0,39	0,40	0,36	0,40	0,23	0,50	0,33	0,44
Tidpunkt 4	0,37	0,40	0,37	0,39	0,33	0,40				
Medelvärde	0,44	0,40	0,43	0,40	0,39	0,40	0,31	0,50	0,34	0,44

För att kunna jämföra har även G_{ekv} beräknats. Samtliga tidpunkter kommer från timmar kring mitt på dagen, under morgon och kväll fås orimligt stora eller små värden på både G och G_{ekv} , troligen för att lådan inte är i balans med omgivningen då. Urvalet av tidpunkterna [h] har försökts att genomföras på basis av liknande temperaturer och solstrålning, men inga särskilda kriterier har ställts upp för att definiera vad det är. Det finns avgjort ett mått av godtycke.

Det beslöts ändå att använda ett G -värde på 0,4, det vill säga att 40 % av soleffekten på luckorna antas kunna tillgodoräknas inuti lådan eller torrtoalettens tank. Enligt uppgift (Teknikhandboken, okänt) blir temperaturen cirka 10 % lägre på ett profilerat svart plåttak jämfört med ett slätt, och därför sänks G till 0,35. Effekten från solen som tillförs toaletten, Q_{sol} , kan då beräknas som $I_T * G$.

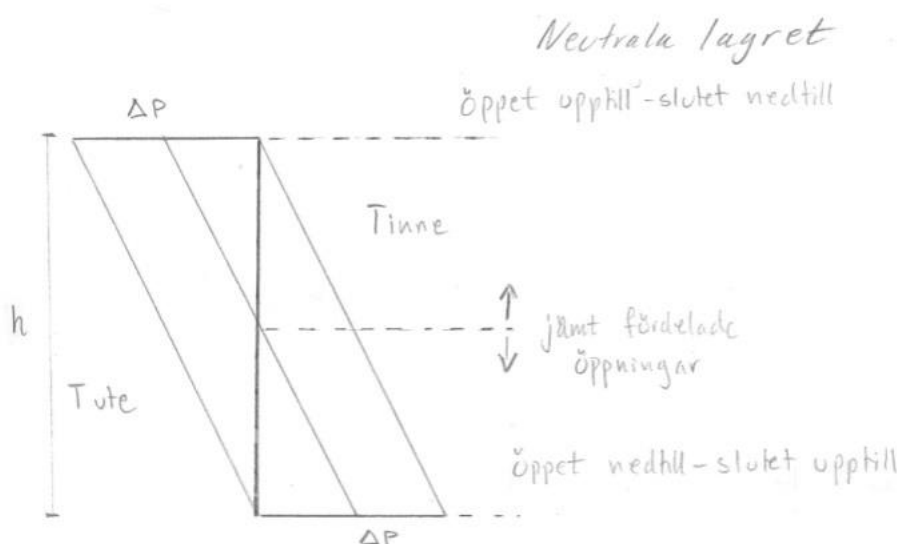
Jämviktstemperaturen i tanken kan nu förenklat beräknas som

$$T_{inne.jämvikt} = \frac{(K_{total} - K_{mark}) * T_{ute} + K_{mark} * T_{mark} + Q_{sol}}{K_{total}} \quad (8.20)$$

8.4 Luftrörelser

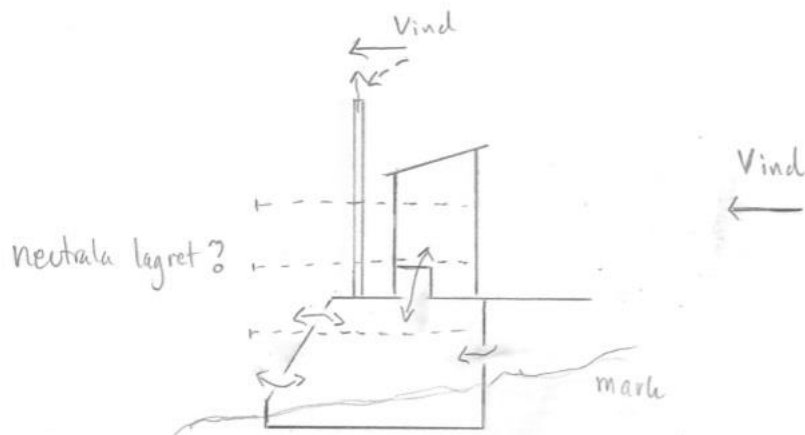
Innan temperaturen i tanken kan modelleras behöver vi förhålla oss till luftrörelserna. Som vi såg i Tabell kommer luftflödet genom tanken att ha stor påverkan på konduktansen och därmed temperaturen.

Drivkraften för luftrörelser är skillnader i tryck (Pettersson, 2013). På naturlig väg uppstår tryckskillnad på grund av termik, att varm luft expanderar och dess densitet därmed minskar och luften stiger, samt av att vinden skapar tryckskillnader. Kombinationen av vind och termisk drivkraft ger en total tryckskillnad över exempelvis en byggnad och utomhusluften. Beroende av vilka otätheter som finns kommer tryckskillnaden ge upphov till ett luftflöde. Det neutrala lagret är en viktig parameter och illustreras i Figur B.18.



Figur B.18 Neutrala lagret visas av den streckade linjen i sina extremer längst ned respektive längst upp i byggnaden. Tolkat från Hagentoft och Sandin (2017).

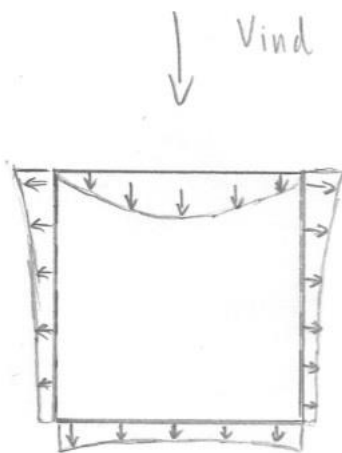
Det neutrala lagret är den höjd där summan av tryckskillnaderna ΔP är 0. Dess position flyttas alltså vertikalt beroende av öppningarnas position i höjddled och deras geometri och area, eller egentligen deras flödesmotstånd (Hagentoft, 2001). Tumregeln blir att högt placerade öppningar med lågt flödesmotstånd i förhållande till lågt placerade öppningar med högre flödesmotstånd flyttar neutrala lagret uppåt i byggnaden. Dess position är viktigt för luftflödets storlek, men varför höjdkoordinaten är av särskild vikt visas i Figur B.19.



Figur B.19 Neutrala lagrets okända position i toaletten.

Om neutrala lagret återfinns i en höjd nedanför toaletsitsen riskerar luftflödet att ta den oönskade vägen från tanken och in i toalettbåset. Ligger det däremot över sitsen bör det inte inträffa. Slutsatsen blir alltså att tanken bör vara förhållandevis tät och skorstenen förhållandevis hög.

Vinden ger också upphov till tryckskillnader beroende av dess hastighet och vilken sida av byggnaden den träffar med vilken vinkel. Vindens påverkan visas i Figur B.20.



Figur B.20 Tryckskillnad på en byggnads fyra sidor när vinden infaller vinkelrät på den övre fasaden. Illustrerat från Aaltos Universitet (okänt).

Här bildas ett övertryck på lovartsidan som vill trycka luft in i byggnaden på den sidan. På de övriga sidorna bildas ett undertryck som vill suga ut luft efter de sidorna. Här blir den generella regeln att placera luftintag lågt på lovart sidan av förhärskande vindriktning (Cook, 1991) och att ha en skorstenshöjd på minst en meter ovanför taknock. Det sistnämnda beror av att luftströmmen blir turbulent när den träffar ett hinder, men är mer laminär när den flödar fritt. Turbulensen kan medföra att vinden leds ned i skorstenen och motsatt kan det laminära flödet ovanför skorstenen förbättra draget.

8.4.1 Luftflödesberäkningar

Det är komplicerat att beräkna luftflöden som drivs av den sammanlagda tryckskillnaden av temperatur och vind. Mer avancerade beräkningar som förutsätter balans mellan luftflödet in genom en eller flera öppningar och ut genom en eller flera öppningar på grund av denna sammanvägda drivkraft har inte kunnat genomföras.

Då luftflödet har för stor betydelse för att kunna ignoreras har två enkla ekvationer från *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (2017) använts. Luftflödet på grund av temperaturskillnader för byggnader utan betydande större inre motstånd kan då beräknas enligt

$$R_a = C_d A \sqrt{2 * g * \Delta H_{nl} * \frac{(T_{inne} - T_{ute})}{T_{inne}}} \quad (8.21)$$

där R_a är flödet [m^3/s], C_d en flödeskoefficient (0,65), A luftintagets area [m^2], g tyngdaccelerationen [m/s^2], ΔH_{nl} avståndet från luftintagets medelhöjd till neutrala lagret [m] och T den absoluta temperaturen [$^{\circ}K$].

Flödet på grund av vind beräknas som

$$R_a = C_v A U \quad (8.22)$$

där U är vindhastigheten vid byggnaden [m/s] och C_v en vindkoefficient, som satts till 0,5. Vid meteorologiska stationer mäts vindhastigheten vid 10 meter ovanför marknivån och U behöver därför anpassas till att vara giltigt vid byggnadens höjd. Anpassningen (Hagentoft, 2001) kan göras genom

$$U_z = U_m * k * z^a \quad (8.23)$$

där U_z är vindhastigheten vid z meter över marken [m/s], U_m hastigheten vid 10 meter ovanför marken [m/s] och där a och k är koefficienter [-] beroende av typ av terräng. Vi ser att hastigheten då $z = 0$ är noll, det vill säga att lägre vindhastigheter råder närmare marken.

I verkligheten kommer tryckskillnaderna att ge upphov till ett balanserat sammanvägt flöde och bidragen så som de presenteras i ovanstående flödesekvationer går egentligen inte att betrakta var för sig. Adderas de överskattas flödets storlek och väljs endast ett av dem kommer flödets storlek att underskattas. Då något mått på luftflöde ändå behövs fattades ett eget beslut att vid varje tillfälle räkna med det större av de två flödena, trots att det inte är korrekt att göra så. Eftersom det termiska flödet både är en produkt av temperaturskillnader och i sig påverkar temperaturen genomförs också ett antal passningsräkningar.

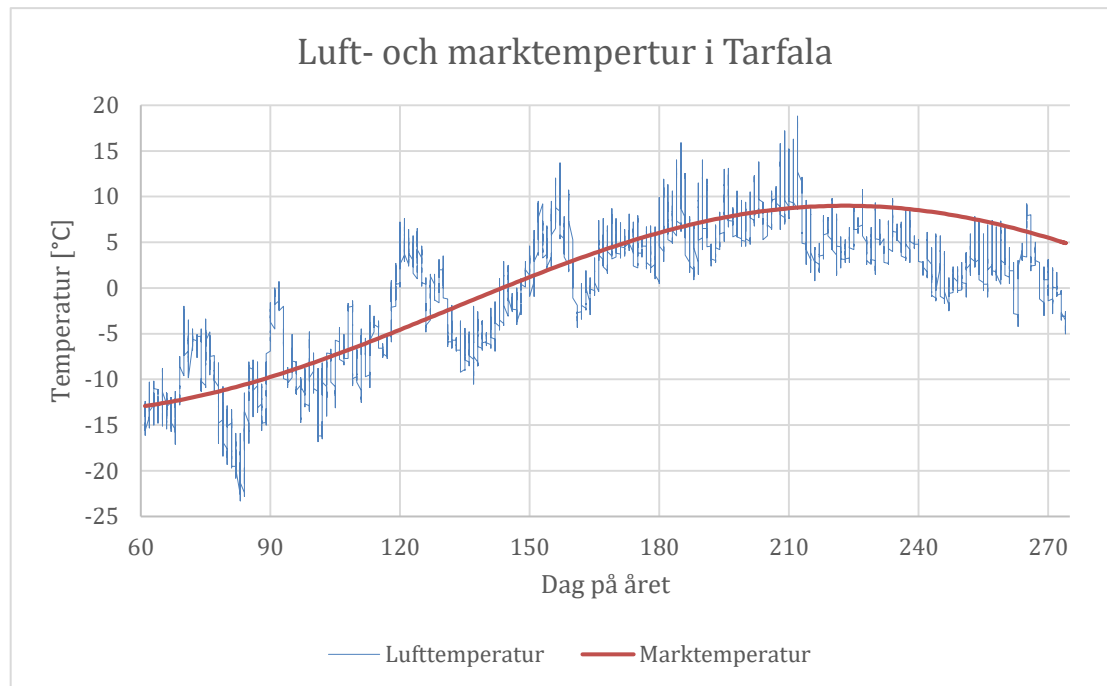
8.5 Marktemperatur

Markens temperatur är ännu okänd och förutom mot lufttemperaturen finns ett värmefflöde även mot marken. Temperaturen en bit ned i marklagren påverkas inte med samma hastighet som luften och säsongsvariationerna blir mindre och släpar mer efter med ökande djup. En ekvation (Florides & Kalogirou, 2005) för att beskriva markens temperatur vid en given dag och markdjup är

$$T_{mark(d,n)} = T_{medel} - T_{amplitud} * \exp^{-d \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}} * \cos \frac{2\pi}{365} \left(n - n_{skifte} - \frac{d}{2} * \frac{\sqrt{365}}{\pi\alpha} \right)} \quad (8.24)$$

där T_{medel} är årsmedeltemperaturen [$^{\circ}\text{C}$], $T_{amplitud}$ amplitud i lufttemperatur ($(\max - \min)/2$), d djup under ytan [-], α termisk diffusivitet hos marken, n dag på året och n_{skifte} dag med årets lägsta lufttemperatur.

Med trovärdiga data från väderobservationerna fås en graf med utseende enligt Figur B.21.



Figur B.21 Observerad luft- och beräknad marktemperatur i Tarfala under perioden 1:a mars till 30:e september 2008. Beräkningarna avser $d=0,5\text{m}$.

Diagrammet visar att temperaturen i marken uppvisar mindre variation och släpar efter lufttemperaturen, även på så grunda djup som 0,5 meter. Notera särskilt den kyliga perioden efter dag 210 (ungefär månadsskiftet juli-augusti) när lufttemperaturen faller, men marktemperaturen inte faller lika kraftigt. Motsatt gäller under en mildare period i början av maj (dag 120).

8.6 Tidskonstant

Den sista parametern innan inomhustillståndet i toalett-tankens kan modelleras är dess tidskonstant, t_c [s]. Vid jämviktsekvationerna som presenterats tidigare har alla förändringar antagits ske momentant och sådan ser verkligheten inte ut.

Jämviktstemperaturen för en kastrull med kokande vatten, som ställts på spisen, är över 100°C , men vattnet kommer inte börja koka förrän efter några minuter. Vattens specifika värmekapacitet c_p är $4\,200\text{ J/kgK}$ (Pettersson, 2013) och då J , Joule, är en Wattsekund [Ws] kommer det att dröja ett tag innan tillräcklig energi tillförts.

Tidskonstanten kan beräknas som

$$t_c = \frac{C}{K} \quad (8.25)$$

där K är konduktansen [W/K] och C är massan hos en byggnadsdel som är i kontakt med inomhusluften multiplicerat med dess specifika värmekapacitet, alltså

$$kg * c_p = kg * \frac{Ws}{kg * K} = \frac{Ws}{K} \quad (8.26)$$

Byggnader med lägre tidskonstant brukar kallas för lätta och där blir temperaturförändringar kraftiga och snabba, motsatt så ger högre tidskonstanter mindre och långsammare temperaturförändringar.

Enligt en föreläsning av Angela Sasic Kalagasidis (2018) vid Chalmers Tekniska Högskola antas den innersta decimetern hos massiva material vara i kontakt med inomhusluften och tillgodoräknas i tidskonstanten. Material som skiljs från inomhusluften av något skikt tillgodoräknas ej. I Tabell B.8 visas tidskonstanten för toalettens tank beräknat med konduktansen exklusive luftflöde, $K=49$ W/K.

Tabell B.8 Tankens tidskonstant, med och utan latrin.

Byggnadsdel	Material	m [kg]	cp [Ws/kgK]	t _c [h]
Vägg	Trä	237,5	1500	2,0
Tak	Trä	126	1500	1,1
Latrin 1 år	Latrin*	400	1800	4,1
Totalt				3,1
Totalt med latrin				7,2

* Specifika värmekapaciteten för latrin har uppskattats, uppgifter om trä är tabellvärde (Pettersson, 2013).

Noterbart är att eftersom $t_c = \frac{C}{K}$ kommer tidskonstanten att minska med ökad konduktans. Tidigare konstaterades det att luftflödet genom tanken kommer höja konduktansen och därmed sänka tidskonstanten och leda till snabbare förändringar i temperatur. Värt att nämna är också att latrinen kommer att öka tidskonstanten i takt med att den ackumuleras.

8.7 Temperaturmodell

Vi är nu framme vid resans mål vad gäller de byggnadsfysiska beräkningarna, att kunna modellera en temperatur inuti tanken mot verkliga timvärdesobservationer av vädret i Tarfala. Jämviktsekvationen för inomhustemperaturen

$$T_{inne.jämvikt} = \frac{(K_{total} - K_{mark}) * T_{ute} + K_{mark} * T_{mark} + Q_{sol}}{K_{total}} \quad (8.20)$$

behöver endast kombineras med en ekvation som beskriver de av tidskonstanten tidsberoende förändringarna. En sådan ges i *Introduction to Building Physics* (2001) som tolkats till

$$T(t) = T_{inne.jämvikt} + (T_{vid\ t-1} - T_{inne.jämvikt}) * \exp^{\frac{-t}{t_c}} \quad (8.27)$$

där $-t$ [h] har satts till 1 och $T_{vid\ t-1}$ är innetemperaturen vid innan varande timma och $T(t)$ är temperaturen i tanken.

Beräkningarna gjordes utifrån ett fall när tanken är tom och ett fall när tanken är fylld med ett års latrin. I Tabell B.9 redovisas en sammanfattning av beräkningarna för fallet utan latrin i tanken.

Tabell B.9 Medelvärden för perioden 1:a mars – 30:e september 2008.

Månad	Temperatur ute °C	Vind [m/s]	Q_{sol} [W]	$T(t)$ °C	Skillnad °C
Mars	-11,1	2,2	226	-7,9	3,1
April	-6,5	3,3	346	-1,9	4,6
Maj	-1,5	3,8	392	3,5	5,1
Juni	4,3	2,3	296	8,5	4,3
Juli	8,6	2,9	297	12,4	3,9
Augusti	4,9	2,4	194	8,0	3,2
September	2,0	3,5	204	5,4	3,4
Hela perioden	0,1	2,9	279	4,0	3,9

För hela perioden visar beräkningarna att temperaturen i tanken är 3,9 °C högre än utomhustemperaturen. De två solintensiva månaderna april och maj uppvisar störst höjning av temperaturen.

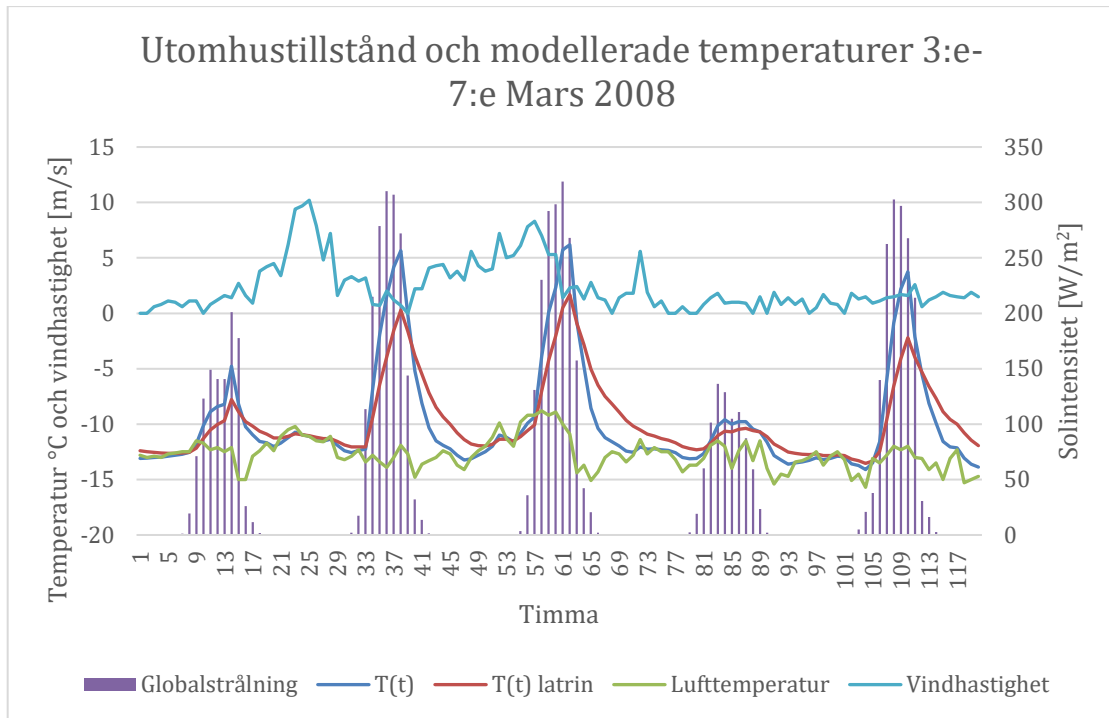
En kontroll av beräkningarna är att medelvärdet av jämviktstemperaturen och $T(t)$ är identiska, vilket de är till 0,02 °C. Skillnaden uppkommer troligen i passningsräkningen för att få fram en inomhustemperatur för att kunna uppskatta det termiska luftflödet. De två fallen uppvisar en skillnad i medeltemperatur på 0,06 °C och här kan en liten skillnad förväntas på grund av temperaturtopparnas olika höjd ger olika drivkrafter för det termiska luftflödet.

Den maximala temperaturen utan latrin var 33,2 °C respektive 28,2 °C för fallet med latrin. Förutom medelvärden är det också intressant att titta på varaktigheten i några temperaturintervall, de presenteras i Tabell B.10.

Tabell B.10 Varaktighet i antal timmar för fallet utan latrin.

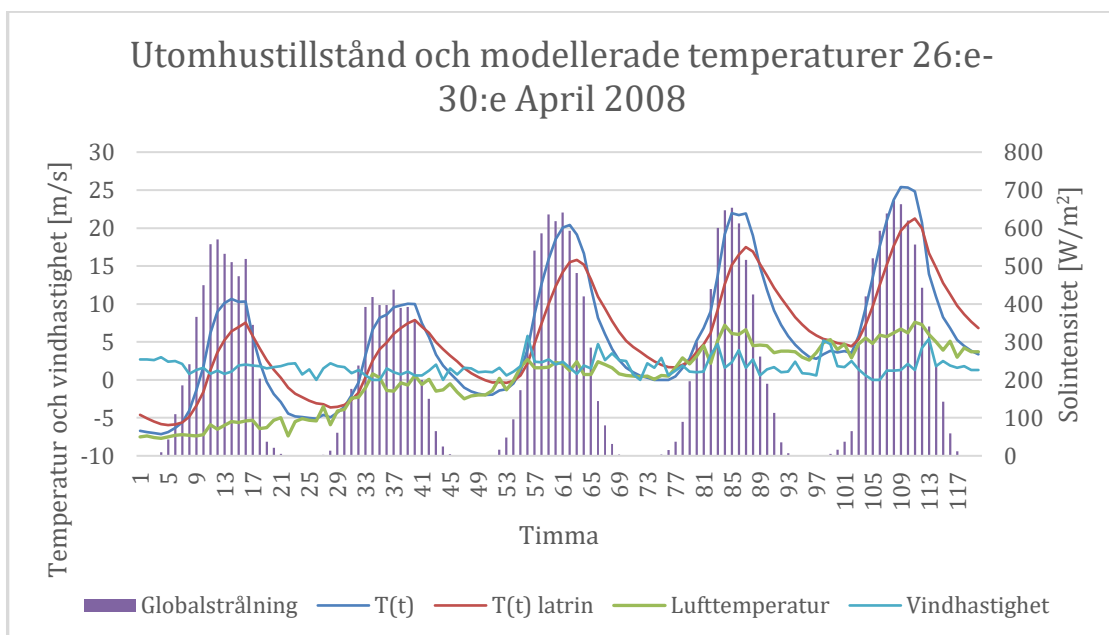
Intervall °C	< 0		0 < 7		7 < 12		12 < 18		18 < 24		> 24	
Mars	659	89%	75	10%	10	1%	1	0%	0	0%	0	0%
April	487	68%	135	19%	62	9%	21	3%	12	2%	3	0%
Maj	235	32%	320	43%	98	13%	55	7%	29	4%	7	1%
Juni	31	4%	321	45%	202	28%	109	15%	37	5%	20	3%
Juli	0	0%	120	16%	324	44%	165	22%	89	12%	46	6%
Augusti	0	0%	385	52%	241	32%	78	10%	40	5%	1	0%
September	68	9%	453	63%	241	33%	78	11%	40	6%	1	0%
Hela perioden	1480	29%	1809	35%	1178	23%	507	10%	247	5%	78	2%

Endast få timmar uppvisar temperaturer över 18 °C. Tabellen redovisar fallet utan latrin och för fallet med latrin är topparna något avhyvlade och dalarna något grundare. Det illustreras bättre grafiskt i Figur B.22.



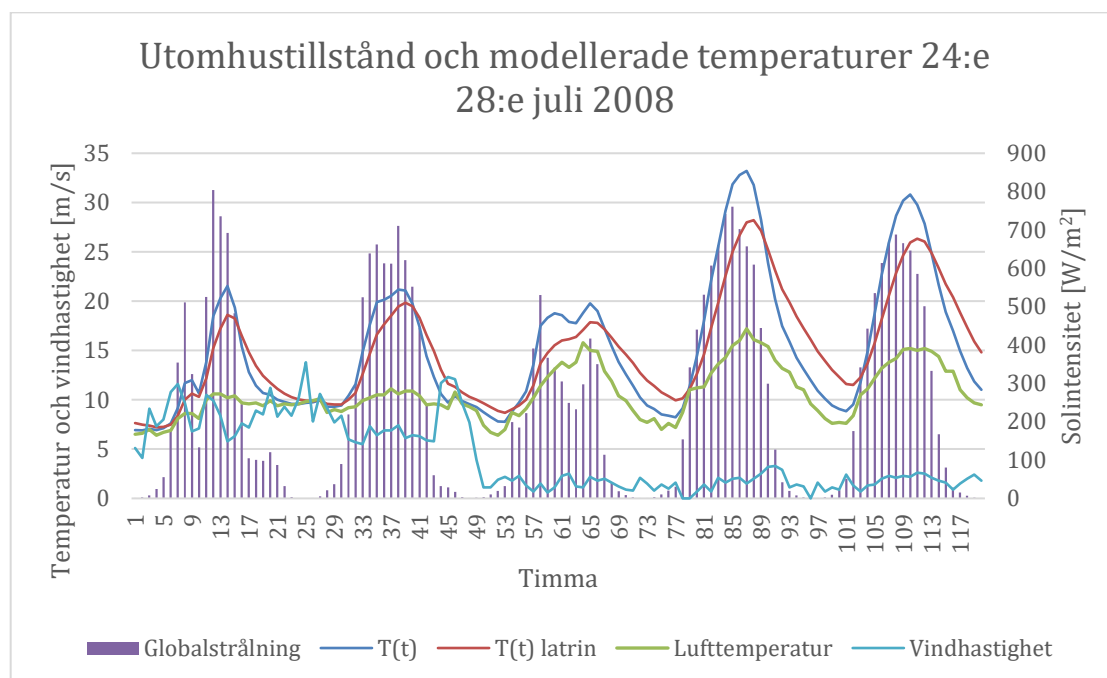
Figur B.22 Temperaturmodell för fallen utan, $T(t)$, och med, $T(t)$ latrin, latrin under en kall femdagarsperiod i mars.

Här ser vi att trots att utomhustemperaturen endast stiger över $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ under en av dagarna kan plusgrader uppnås vid soligt väder. Den högre tidskonstanten i fallet med latrin syns tydligt med lägre toppar och ett mindre kraftigt temperaturfall när solen går ned. Under den mulna dag fyra stiger temperaturen endast någon grad över utomhustemperaturen, trots att vinden är svag. I Figur B.23 visas en period i slutet av april.



Figur B.23 En period i slutet av april.

Samma mönster återkommer, men under några timmar i slutet av en solig dag har temperaturen modellerats till mellan 15 – 20 °C för fallet med latrin. Slutligen visas ett fall från högsommaren i Figur B.24.



Figur B.24 Högsommarperiod.

Här liknar solintensiteten den i april, men utomhustemperaturen är högre och det får genomslag. Under hela perioden var den största temperaturskillnaden mellan de modellerade och utomhustemperaturen 22,6 °C respektive 18,2 °C.

8.8 Kommentarer till de byggnadsfysiska beräkningarna

Det finns givetvis osäkerheter i beräkningarna och det är beklagligt att luftrörelserna inte kunde utföras mer korrekt. De har stor betydelse för temperaturen inuti toalettens tank. Beräkningarna borde också genomföras för ytterligare några år för att ge ökad säkerhet i månadsmedelvärdena. Vädret varierar som bekant från år till år. Det skulle också vara intressant att göra beräkningar i ett fall där toaletten har isolerats och se vilket utslag det ger.

Eftersom latrin innehåller mycket vatten sker en stor massavgång enkom av uttorkning, oavsett om det sker någon nedbrytning eller ej. Då relativ luftfuktighet också mäts i Tarfala skulle fuktbalanser kunna ställas upp för att se vilken fukthalt högen får via denna uttorkning. Ett rimligt antagande skulle kunna vara att använda månadsmedelvärden och fukthalten i latrinhögen under april-maj blir särskilt intressant. I ett fall där toaletten isoleras måste fuktproblematiken studeras mer ingående med avseende på konstruktionen, eftersom det skulle kunna uppstå kondens och möjliga skador till följd av den; särskilt i kombination med upprepad frysning och upptining under vårvintern.