

Is i rullstensåsar – oväntade förekomster av permafrost i Mellansverige

Robert Lagerbäck

november 2013



SGU-rapport 2013:17



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Is i grovt isälvsgrus i Uppsalaåsen vid Bålsta. Foto: Robert Lagerbäck.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 9000
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning	4
Förekomster i Sverige	4
Hunneberg	4
Strängnäs	4
Kungsör	4
Bålsta	7
Förekomster i Finland och Norge	9
Åbo	9
Lahtis	10
Laukaa	10
Otta	10
Isens ålder	11
Isens bildningssätt	12
Efterord	15
Referenser	15

INLEDNING

Permafrost, eller ”evig tjäle” som företeelsen ibland brukar kallas, förknippas knappast med de mellersta eller södra delarna av Sverige, men likafullt har helt lokala förekomster av permafrost påträffats där. Definitionen av permafrost är att marktemperaturen inte kommer upp över noll grader under minst två år i rad. I Sverige förknippas permafrost nog mest med palsarna i Lapplands myrar och det brukar därför väcka viss uppmärksamhet när tjäle och is påträffas djupt nere i marken i sydligare och betydligt varmare delar av landet. Som ett brev på posten kommer då också spekulationer om huruvida det skulle kunna vara rester av den senaste inlandsisen som bevarats under årtusendena. Detta kan av olika skäl avfärdas men fenomenet är inte desto mindre intressant. Vilken eller vilka är mekanismerna för tjälens och isens uppkomst och har det möjligen något med mänsklig aktivitet att göra? Jag har haft möjlighet att se och översiktligt dokumentera is i rullstensåsar på två platser i Mälardalsområdet. Fenomenet har också uppmärksamats i våra grannländer Finland och Norge. Denna rapport redogör kortfattat för såväl de egna som några andra observationer och refererar också kort till några arbeten som kan ha relevans för förståelsen av uppkomstsättet.

FÖREKOMSTER I SVERIGE

Hunneberg

I en nyhetsartikel i Elfsborgs läns annonsblad (8 juni 1978) kan man läsa om ”is-brunnen” vid Flo, strax öster om Hunneberg vid Vänerens södra ände. Vid en brunnsborrning påträffades där frusen sand och grus på mellan 30 och 34 m djup. Borrningen fortsatte till 90 m men något vatten hittades inte. Man reflekterar också i artikeln att det knappast heller är lönt att försöka utvinna jordvärme på platsen. SGU-geologerna Curt Fredén, Per Adriellsson och Holger Timje intervjuas i artikeln och det antyds att man avser följa upp fenomenet med bl.a. seismiska undersökningar. Om detta blev gjort och vad som i så fall framkom är okänt. Fredén kommenterar i artikeln att isen är yngre än inlandsisen men äldre än föregående vinter. Han framför också en teori om att kall luft sökt sig ned genom rasblocksmassorna vid Hunneberg och vidare ner till ett vattenförande lager som frusit till.

Strängnäs

I Enköpingsposten (18 november 1993) intervjuas Ernest Magnusson, då pensionerad men tidigare avdelningsdirektör och mångårig medarbetare vid SGU, angående det nedan beskrivna fyndet av is i Uppsalaåsen vid Bålsta. Magnusson menar att det är en ovanlig företeelse. Han har tidigare, någon gång på 1960-talet, kommit i kontakt med motsvarande fenomen i ett grustag i Strängnästrakten (Malmby grustag, Magnusson pers.uppg. 1989) men kan för övrigt inte påminna sig ha hört talas om mer än tre, fyra ytterligare fall under sin tid som geolog. Var dessa skulle ha förekommit nämns inte i tidningsartikeln, men den nedan beskrivna förekomsten i Kungsör torde vara en av dem eftersom vi talades vid i samband med mitt besök där fyra år tidigare. Magnusson avfärdar att det skulle röra sig om lämningar från inlandsisen men menar att ”isen kan vara nog så gammal ändå”. Mot bakgrund av Magnussons insikter i södra och mellersta Sveriges kvartärgeologi kan man nog dra slutsatsen att fenomenet är mycket ovanligt. Personal som arbetat i grustaget i Bålsta i 30 år påpekar i tidningsartikeln att de aldrig tidigare har träffat på is djupt nere i gruset trots den omfattande grusbrytningen där.

Kungsör

Genom Börje Bergman, VD på Grus och Makadamföreningen (och tidigare planeringschef på SGU), som i sin tur blivit informerad av Stig Karlsson, VD på Kungsörs Grus AB, kom det till min kännedom att is påträffats på stort djup i Köpingsåsen i samband med täktverksamhet strax

söder om Kungsör. Året var 1989. Isen iaktogs första gången 29 juni och enligt Stig Karlsson var det då frusna och iscementerade gruspartiet ca 2 m mäktigt och ca 3 m brett. Jag besökte tälkten 3 juli vilket var sista dagen med brytning före semesteruppehållet. Även lokalpressen var där och rapporterade. Brytningen hade då fortsatt några meter i åsens riktning och det frusna partiet var inte längre mer än ca 0,5 m mäktigt. Det frusna partiet låg relativt centralt i åsen och ca 15 m under krönet. Det fanns sandigare bankar högre upp i tälktväggen men merparten av gruset var relativt grovt och delvis av s.k. ”open work”-typ, dvs. i stort sett utan finmaterial mellan stenarna. I det frusna gruset var hålrummen i stället fyllda av is (fig. 1) och det gick att plocka ut klumpar av ren is på flera hundra gram. I ett parti var dock hålrummen inte helt fyllda av is utan tappar och draperier av is hängde ned som små stalaktiter från stenarna. Undersökningen var besvärlig på grund av ras i den ca 20 m höga tälktväggen och dokumentationen blev därför tämligen summarisk. Nedanför det frusna gruset var det mest rasmassor men enligt den maskinförare som bröt gruset var det huvudsakligen sandigt material mot djupet. Dagen efter besöket upprättades en dokumentationsrapport med de viktigaste iakttagelserna samt preliminära slutsatser om hur fenomenet skulle kunna förklaras (Lagerbäck 1989).

Åsens uppbyggnad, och då främst en bank av mycket grovt grus med stor porvolym, antogs vara av avgörande betydelse för uppkomsten av isen. Banken med det grova gruset gick att följa snett uppåt i tälktväggen (fig. 2) och såg ut att gå i dagen på åsryggens västra sida. En bank med likartat material syntes också i en äldre tåkt ca 200 m längre söderut i åsen. Vid besöket gjordes den preliminära tolkningen att fenomenet skulle kunna förklaras genom mekanismen: kallras av luft genom det grova gruset vintertid, isolering sommartid (den kalla luften stiger inte) samt tillförsel av smältvatten under våren och kanske även nederbördsvatten under höstregnen. En alternativ ”kylskåpsprocess” med temperatursänkning och isbildning genom avdunstning av vat-



Figur 1. Klump av iscementerat grus i tälkten vid Kungsör. Mellanrummen mellan de enskilda gruskornen och stenarna är uppfyllda av is. I andra partier av det frusna gruset var stenarna betydligt större. Nederst i bild en blyertspenna som skala. Foto: Robert Lagerbäck.



Figur 2. Bank av mycket grovt grus med stor porvolym i tåkten vid Kungsör. Banken gick att följa från det frusna gruset och snett uppåt i tåktväggen, mot åsryggens västra sida. Foto: Robert Lagerbäck.

ten i åsens inre lanserades också. Det bedömdes som osannolikt att det skulle vara grundvatten som frusit till is nere i backen. Grundvattenytan i tåkten låg gott och väl 4 m lägre än det frusna gruset och grundvattenytans fluktuation i höjddled hade inte varit större än ca 0,4 m under en tioårsperiod.

För att få någon uppfattning om isens ålder togs prover för tritiumanalys av isen men också ett prov av grundvattnet från kommunens vattentåkt en kilometer norr om gruståkten. Temperaturen i åsvattnet var vid detta tillfälle +7,5 °C. Temperaturen i isklumpar från det grövsta gruset uppmättes till ±0° C och temperaturen i porluften under isen stabiliserades några timmar efter övertäckning med 0,5 m grus vid +1,6 °C. Temperaturvärdena i isen och gruset under isen är att betrakta som maximivärden för naturligt tillstånd eftersom luftutbyte skett med den varma sommarluften genom tåktverksamheten. Inget fritt vatten syntes på eller i anslutning till isen vid färska brott och det förefaller troligt att isens temperatur hade legat under nollgraderstrecket innan störningen genom tåktverksamheten.

Avtäckningen av åsen (vegetationen och den översta, humusinfilttrade delen av åsmaterialet) vid brytningsområdet hade gjorts i februari–mars 1988. Den gångna vintern hade varit varm, knappt under noll sedan nyåret och sedan dess hade grusbrytningen flyttats ca 20 m söderut i åsens riktning. Det frusna partiet hade med andra ord aldrig varit i närheten av särskilt kall uteluft utan nedkylningen måste ha skett genom att kall luft på något sätt sökt sig djupt in i åsen. Att nedkylningen skulle ha skett genom direkt värmeavledning genom gruset torde vara uteslutet. Mot bakgrund av den milda vintern 1988/1989 bedömdes det som ytterst osannolikt att så stora mängder is skulle ha kunnat bildas under den senaste vintern utan troligare var det fråga om en mycket lokal, och helt oväntad, förekomst av permafrost, dvs. den låga temperaturen och även isen antogs ha existerat under flera år.



Figur 3. Grustäkten i Uppsalaåsen vid Bålsta. Det frusna partiet sticker ut ur täktväggen vid den övre änden av mätstången. Foto: Robert Lagerbäck.

Bålsta

Fyra år efter undersökningarna i Kungsör kom ett nytt larm. Nu var det Lars Stenlid, utvecklingsledare på Skanskas väglaboratorium i Bålsta, som ringde och berättade att man stött på en bank av iscementerat grus i Uppsalaåsen vid Bålsta. Besöket gjordes 10 november 1993. Den frusna banken var som mest uppemot 2 m mäktig och mätte närmare 30 m i sidled (fig. 3). Djupet under markytan var ca 15 m och liksom i Kungsör uppfyllde isen hålrummen i ett grovt grus utan mellanmassa (fig. 4). Det iscementerade gruset underlagrades av i huvudsak sandigt material. Även de översta decimetrarna av sanden var frusna. I vissa partier var isen vackert skiktad och de enskilda skiktens tjocklek varierade mellan ca 2 mm och 3 cm (fig. 5). I dessa skikt förekom gasinneslutningar i form av små bubblor och långsmala porer. Om det var luft eller någon annan gas är okänt. Någon utpräglad lukt kunde inte märkas när isen smälte och det mesta talar för att det var luft i bubblorna.

När vatten fryser kan det inte längre lösa lika mycket luft som i flytande tillstånd och luften avskiljs i form av bubblor (jfr iskuberna i frysen som blir ogenomskinliga på grund av otaliga små luftbubblor). I andra partier av den frusna grusbanken var isen helt klar och utan vare sig skiktning eller gasinneslutningar. Detta talar för att vattnet där hade frusit till långsammare och luftbubblorna successivt trängts undan.

Brytningen hade nu fortskridit minst 10 m, kanske 15 m, sedan isen först påträffades. Detta innebär att det var minst något hundratal kubikmeter vatten som hade frusit till is nere i åsen. En temperaturmätning i ett hål som borrades ca 5 cm in i isen visade $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fig. 6) och att temperaturen låg under nollpunkten visades också av att termistorn frös fast inne i hålet. Gruspartiet där mätningen gjordes hade varit exponerat för uteluften under flera dagar så den ursprungliga temperaturen torde därför ha varit lägre.



Figur 4. Det grova, iscementerade "gruset" i Bålsta. Hållrummen mellan rullstenarna saknar i stort sett finare fraktioner men är däremot helt fyllda av is. Den synliga delen av mätstången är 1,2 m lång. Foto: Robert Lagerbäck.



Figur 5. I vissa partier av den frusna grusbanken i Bålsta var isen vackert skiktad. De enskilda skiktens tjocklek varierade mellan ca 0,2 och 3 cm och i skikten förekom gasinneslutningar i form av små bubblor (strax ovan mitten av bilden) och tunna, långsmala porer som strålade ut från stenarna (överst i bild). Vad gasen bestod av är okänt men mest sannolikt var det luft. Det avbildade partiet mäter ca 3 dm från ovan- till underkant. Foto: Robert Lagerbäck.



Figur 6. En enkel temperaturmätning i ett hål som borrats in i isen vid Bålsta visade $-0,4^{\circ}\text{C}$. Det isfyllda gruspartiet hade dock varit exponerat för uteluften under flera dagar så den ursprungliga temperaturen hade sannolikt varit lägre. Foto: Robert Lagerbäck.

Skanskas täktverksamhet i området hade pågått sedan 1965 men det var först 1986 som man började gå djupare in i åsen och sannolikt först 1988 som man kommit in i området där isen uppträdde. Liksom i Kungsör låg grundvattenytan långt under det frusna gruset, enligt Stenlid sannolikt minst 5 m, så det var knappast heller här fråga om grundvatten som frusit till is. Några vattensamlingar hade aldrig iakttagits i täktbotten. Liksom i Kungsör togs prover av isen för tritiumdatering, ett i den övre delen av den frusna grusbanken och ett från den nedre delen.

FÖREKOMSTER I FINLAND OCH NORGE

Åbo

Johan Rosberg, professor i geografi vid Helsingfors universitet, redogör i *Bygd och obygd* (1919) under rubriken *Is som trotsat årtusenden* för ett fynd av is i en rullstensås vid Nummisbacken strax utanför Åbo. Förekomsten ska ha dokumenterats mer vetenskapligt av Leiviskä (1914 a, b) men dennes arbeten har inte gått att få tag på, så vi får nöja oss med Rosbergs andrahandsredogörelse. Rosberg berättar mycket underhållande och något avundsjukt om hur den sensationella företeelsen gick hans näsa förbi. Leiviskäs beskrivning av förekomsten har refererats även av andra så det är klart att ett lager av fruset grus, ett ”iskonglomerat”, påträffades på stort djupt i åsen. Det frusna partiet, grovt rullstensgrus med is i mellanrummen, ska ha haft en genomsnittlig utbredning på ca 45 m och varit ca 3 m mäktigt. Det frusna gruset hade varit känt av arbetarna i tåkten under fem år innan det ”upptäcktes av vetenskapen” och man brukade blottlägga lagret så att isen skulle hinna smälta undan något under sommaren och därigenom underlätta brytningen. Rosberg påpekar att isen hade en egendomlig struktur med bl.a. solfjäderformigt utstrålande iskristaller och isporer, men också en skiktning (jfr Bålsta, fig. 5). Fotografier som visar detta och även flera andra av Leiviskäs fotografier återges av Rosberg. Bildningen är uppen-

barligen analog med förekomsterna i Kungsör och Bålsta och inte minst slående lik den i Bålsta vad gäller isens omfattning och utseende.

Leiviskä drar tydligen slutsatsen att isen härrör från istiden och är samtida med gruset. Uppfattningen accepteras av Rosberg som försöker förklara hur detta skulle kunna vara möjligt. Man läser dock mellan raderna att han tycker att det är problematiskt, inte minst som man vid den tiden tydligen ansåg att istiden låg flera tiotal tusen år tillbaka i tiden. Rosberg menar att det nog är en märklig tillfällighet att isen bevarats så länge. Som ett mått på sannolikheten för att det skulle kunna finnas flera sådana förekomster, någon sådan är tydligen inte känd vid den tiden, gör han följande obetalbara utsvävning: ”Men liksom det finnes en möjlighet för att några av de miljoner sinom miljoner planeter, vilkas existens i världsrymden vi mera kunna än bevisa, varit kallnade lika länge som vår jord, mottaga samma mått av solvärme, ha en likadana atmosfär och för övrigt samma kemiska byggnad som vårt lilla klot och alltså möjligen ha människor, som födas och dö, älska, hata och förgöra varandra liksom vi, på samma sätt kunna vi ju föreställa oss, att några av de tusentals åskullar vi ha i vårt land, uppkommit och bevarats under fullkomligt lika förhållanden som Nummisbacken.” Rosberg menar att det mycket väl kan finnas flera sådana åskullar ”med is i magen”, men att man ännu inte lagt märke till dem. Vilken profetia hundra år före vår tids sökande efter exoplaneter med förutsättningar för liv runt andra solar i vår galax!

Lahtis

Femtio år senare rapporterar M. Okko (1969) om en annan isälvsavlagring med is på stort djup nära Lahtis i södra Finland. Liksom i Nummisbacken uppträdde isen i mellanrummen mellan block och stenar. Det frusna gruset låg ca 15 m under markytan och grundvattenytan låg ytterligare ca 30 m lägre. Inne i isen fanns stycken av skiktad (”varved”) lera (”varved clay” eller ”varvig lera” har en specifik betydelse där varje ”varv” anses vara avsatt under ett år, vilket man i det här fallet kanske inte har belägg för). Isen var dock mestadels helt ren men innehöll luftbubblor som utbildade fjäderlika mönster, dvs. som vid Nummisbacken och i Bålsta. På några ställen var isen pipig och på andra ställen uppvisade den en skiktning i form av mörka band. Det iscementerade partiets mäktighet varierade mellan 1 m och 4 m och utbredningen överskred 700 m². Högre upp på isälvsavlagringens sluttning, intill tälten där isen påträffades, uppträdde två barmarksfläckar länge efter att marken i övrigt blivit snötäckt. Författaren refererar här till ett arbete av V. Okko (1957, kommenteras nedan) angående temperaturförhållandena i åsar och antar vidare att isförekomsten är analog med den av Leiviskä (och Rosberg) beskrivna utanför Åbo (se ovan).

Laukaa

En annan förekomst av is djupt (ca 15 m) nere i en isälvsavlagring beskrivs av Tynni (1972) från Laukaa i mellersta Finland. Liksom den ovan nämnda är också denna artikel skriven på finska, men av en kort engelsk sammanfattning och översättningshjälp av Eric Welin (prof.em. vid Naturhistoriska Riksmuseet) framgår att isen uppträdde i mellanrummen mellan stenarna i ett 2 m mäktigt lager av grovt isälvsgrus, samt att isen var klar men innehöll talrika luftbubblor. Däremot påträffades inga mikrofossil vid mikroskopisk analys. Tynni framhåller att grova, steniga lager gör det lätt för luftströmmar att tränga igenom avlagringen och han anser att förekomsten är jämförbar med den som M. Okko beskriver från Lahtis. Vad gäller bildningssättet hänvisar även han till arbetet av V. Okko (1957), som refereras nedan. Han har också låtit datera isen genom tritiumanalys.

Otta

Liestøl (1965) beskriver en lokal förekomst av permafrost vid Otta i Gudbrandsdalen i mellersta Norge. Platsen ligger endast 300 m ö.h. och temperaturklimatet är alltför gynnsamt för att

motivera permafrost i området. Permafrosten uppträdde på ca 5 m djup i en flackt utformad avlagring med ett något osäkert bildningssätt. Materialet bestod huvudsakligen av större, mestadels kantiga stenar och Liestøl tror att det rör sig om ett korttransporterat isälvs”grus”. Isen uppträdde i hålrummen mellan stenarna. Uppemot 1 dm³ stora isklumpar kunde brytas loss och undersökning av isen i polariserat ljus visade att iskristallerna växt ut från de omgivande stenarnas yta. På grundval av bl.a. detta uteslöts att det skulle vara fråga om glaciäris från istiden och det bedömdes inte heller som troligt att permafrost som utbildats i samband med det bistra klimatet under 1700-talet (den s.k. ”lilla istiden”) skulle ha kunnat överleva så länge. Liestøl menar i stället att förklaringen ligger i avlagringens karaktär. Kortfattat skulle kall luft vintertid söka sig ned genom den grova, genomsläppliga jordarten och bli liggande kvar där utan att kunna trängas undan av den varmare sommarluften. Smältvatten som söker sig ned i de nedkylda jordlagren skulle på så sätt kunna frysa till is.

Liestøl påpekar likheten med den av Leiviskä beskrivna förekomsten vid Nummisbacken utanför Åbo (se ovan), men ifrågasätter att isen där skulle vara en lämning från istiden. Han hänvisar också till det nedan refererade arbetet av V. Okko (1957) men hävdar att avkylningen i samband med den av Okko beskrivna processen inte är tillräckligt stark för att orsaka permafrost. Detta är dock inget som Okko uttalar sig om, så slutsatsen får stå för Liestøl (se vidare nedan angående Okkos arbete). Liestøl menar också att denna typ av lokal permafrost sannolikt är betydligt vanligare än vad man skulle kunna tro och påpekar att man på andra håll i Norge har påträffat is i talusbildningar och i tippmassor från gruvor och tunneldrivningar.

ISENS ÅLDER

Att journalister spekulerar om att det skulle kunna vara rester av inlandsisen som hittas nere i backen är väl inget att säga om. Man vill ju ha rubriker som drar uppmärksamheten till sig och innehåll i artiklarna som kittlar fantasin hos läsarna. Att isen skulle kunna vara så gammal är dock uteslutet. Sådan is skulle ha smält bort för mycket länge sedan i de aktuella områdena. Dessutom är det fråga om is som uppfyller hålrummen mellan stenarna och inte större isklumpar som ligger inbäddade i jordmassor. Större klumpar av inlandsis bäddades förvisso in i gruset längs många åsar, men de har smält bort för länge sedan och efterlämnat spår i form av s.k. åsgropar.

Men hur gammal är då isen och hur har den bildats? Som nämnts ovan togs det prover för tritiumdatering i såväl Kungsör som Bålsta, och i Finland har Tynni tritiumdaterat isen i Laukaa. Tritium är en instabil isotop av väte som bildas naturligt högt uppe i atmosfären genom att kväveatomer utsätts för kosmisk strålning. Denna process leder till att nederbördsvattnet kommer att innehålla en viss mängd tritium. Tritiumhalten i vatten uttrycks i s.k. tritiumheter (TU) där 1 TU innebär att det finns en tritiumatom på 10¹⁸ väteatomer, dvs. en ytterst låg koncentration. Den kosmiska strålningen ger nederbördsvattnet en tritiumhalt på ca 10 TU. Som en följd av kärnvapensprängningarna i atmosfären under 1950- och 1960-talen ökade dock tritiumhalten i atmosfären tämligen drastiskt och när de var som högst uppmättes på vissa håll halter på flera tusen TU i nederbörden.

Tritium har en kort halveringstid, drygt 12 år, vilket innebär att vatten som är äldre än från 1950-talet knappt har något mätbart tritium kvar i dag. Eftersom tritiumhalten i nederbördsvattnet dessutom varierat starkt sedan bombproven inleddes, att halterna i nederbörden har varierat från område till område och att markvattnet ofta är en blandning av nederbörd som fallit under flera år, får man genom att mäta tritiumhalten i ett vattenprov i stort sett endast svar på om vattnet är ”gammalt” eller ”ungt” (dvs. äldre eller yngre än från 1950-talet). Att med hjälp av tritiumanalys bestämma en absolut ålder på ett vattenprov är således i princip omöjligt. Tritiumhalten i nederbörden har nu, efter att de atmosfäriska bombproven upphört och att de förhöjda halterna efter tidigare prov klingat av, kommit tillbaka till den naturliga nivån på ca 10 TU.

Dateringarna från såväl Kungsör och Bålsta som Laukaa i Finland visar entydigt att isen på dessa platser var ”ung”, dvs. bildad efter mitten av 1950-talet. Tritiumhalterna i de två isproven från Kungsör var $22,6 \pm 0,8$ TU respektive $23,2 \pm 0,8$ TU och i grundvattenprovet från åsen $27,1 \pm 0,9$ TU. Analyserna gjordes 1991 på IAEA i Österrike. Halterna visade klart att isen inte kunde vara äldre än från 1950-talet men något förslag till närmare precisering av åldern lämnades inte. Proverna av isen från Bålsta analyserades 1994 av Frank Westman, i:e forskningsingenjör vid Uppsala universitet. I provet från den övre delen av det frusna gruset var tritiumhalten 27 TU och i den undre 30 TU, båda resultaten med en statistisk noggrannhet på ca 5 TU. I en kommentar säger Westman att vattnet (den smälta isen) inte är 21–32 år gammalt (dvs. inte från åren 1962–1973) och inte äldre än 36 år (1958). Däremot skulle det kunna vara 33–35 år (1959–1961) eller mindre än 21 år (1973). I det senare fallet sannolikt helt recent (några år) eller ca 13–20 år (1974–1981). Beräkningarna utgick ifrån nederbördens tritiumhalt i Hedesunda och under antagande att ingen omblandning ägt rum.

Med reservation för att han inte har vare sig observerade tritiumhalter hos nederbörden eller beräkningsmetoden aktuella, menar Allan Rodhe (prof.em. vid Uppsala universitet, pers. uppg. 2013), att Westmans slutsatser om ålder på Bålstaisen sannolikt gäller på ett ungefär även för Kungsörsprouven. Tynniss prov från Laukaa slutligen hade en tritiumhalt på 172 ± 9 TU, vilket enligt artikeln innebär att isen bildats någon gång efter 1954.

ISENS BILDNINGSSÄTT

Någon heltäckande förklaring till hur isen har bildats på alla ovan refererade platser är svår att ge. En gemensam nämnare för samtliga förekomster, möjligen utom den vid Hunneberg, är dock att isen uppträdde i eller i omedelbar närhet till grovt, stenigt material med stor porvolym. Detta talar för att nedkylningen skett genom att kall luft på något sätt trängt in i de djupt liggande jordlagren. Nedkylningen har knappast skett genom värmeavledning eftersom ledningsförmågan i sådana jordarter, med liten kornkontakt och stort luftinnehåll, torde vara extremt dålig. Hur har då den kalla luften kunnat komma in i jordlagren och hur har kylan kunnat hållas kvar? Och vad är det för vatten som frusit till is? Likheterna mellan isens uppträdande i Kungsör, Bålsta, Nummisbacken, Lahtis och Laukaa är så uppenbara att det rimligen är samma process som verkat. Förhållandena vid Hunneberg är dåligt kända men vad man kan utläsa av de topografiska förhållandena och jordartskartor över området så rör det sig inte om någon åsbildning. Diskussionen kommer därför att koncentrera sig på de andra avlagringarna.

I Otta uppträdde isen i en delvis avvikande typ av avlagring och betydligt grundare än på de andra platserna. Som nämnts tänker sig Liestøl att isen bildats genom en tämligen enkel mekanism. Han menar att det rör sig om kallras ner genom blockmassan på vintern och att det sedan under sommaren bildas en köldfälla på djupet eftersom den kalla luften inte har så lätt att söka sig ut. Avlagringen vid Otta är också enklare och mer enhetligt uppbyggd än rullstensåsarna genom att den består av en enda stor och för luft genomsläpplig blockmassa ända upp till markytan. Någon åldersbestämning av isen gjordes inte och Liestøl uttalar sig inte heller om åldern mer än att han hävdar att det i alla fall inte rör sig om någon fossil is från en tidigare kallperiod. Han menar att det är avlagringens uppbyggnad som är förklaringen. Intressant är att isen har växt till från stenarna och utåt i mellanrummen. Detta talar, liksom i åsarna, för att blockmassan varit starkt nedkyld innan vatten trängt ned och frusit.

Tritiumanalyserna av isen i Kungsör, Bålsta och Laukaa visar att isen på dessa platser bildats under sen tid, efter mitten av 1950-talet. Detta antyder att uppkomsten sannolikt är knuten till täktverksamheten i åsarna. I Bålsta togs prover från såväl den övre som den nedre delen av den frusna grusbanken, men analyserna påvisade inte någon signifikant åldersskillnad. Om isbild-

ningen under naturliga förhållanden hade pågått under lång tid borde man förvänta sig att något av proven, rimligen det nedre, hade varit äldre och inaktivt vad gäller tritium.

Om vi antar att isbildningen initierades då täktverksamheten påbörjades på respektive plats, på hur kort tid kan då isen ha bildats? Möjligen finns det en koppling mellan mängden is i backen och tiden som täktverksamheten pågått. Täkten i Kungsör var endast ett par år gammal när man påträffade isen, men volymen fruset grus var också jämförelsevis mycket liten. I Bålsta hade man brutit grus under 5–7 år i den aktuella täkten men täktverksamhet i området hade pågått i närmare 30 år. Här liksom i Nummisbacken, där man enligt Rosberg brutit grus under minst ett tjugotal år innan isen påträffades, var volymerna fruset grus mycket stora. I Laukaa hade täktverksamheten pågått sedan 1953 och isen påträffades första gången 1965. Hur stora volymer fruset grus som påträffades framgår inte av artikeln men enligt ett fotografi av täktväggen i Tynni (1972) kan det röra sig om betydande mängder. När täktverksamheten i Lahtis påbörjades framgår inte av den engelska sammanfattningen i M. Okko (1969). Den frusna bankens mäktighet varierade mellan 1 m och 4 m och utsträckningen i planet var minst 700 m². Dessutom uppträdde isen under minst fyra år i täkten, så även här lär det ha rört sig om ansenliga mängder.

Utan att diskutera en eventuell koppling till is i rullstensåsar, om man ens kände till fenomenet, redogör V. Okko (1957) utförligt för ett annat fenomen som mycket troligt har relevans för isens uppkomst. I mellersta och södra Finland förekommer det enligt Okko vintertid barmarksfläckar på många rullstensåsar som i övrigt är helt snötäckta. Han anger 28 olika platser, flertalet i den allra sydligaste delen av Finland. Barmarksfläckarna förklaras av att varm luft strömmar ut ur åsarna via starkt genomsläppliga lager av grovt isälvgrus och smälter snön. Den utströmmande luften håller flera plusgrader samtidigt som ”uteluften” kan vara mycket kall. En av dessa platser beskrivs lite mer utförligt. Åsen där är 400 m lång och reser sig 25 m över omgivande terräng. Tre grustäkter finns i åsen. På krönet av åsen har man grävt en 2 × 3 m stor och 1,5 m djup grop vid den största av de snöfria fläckarna. Åsmaterialet utgjordes där av rundade stenar utan mellanmassa. Den snöfria fläcken hamnade efter grävningen på botten av gropen. 3 till 8 grader varm luft strömmade hela vintern ut genom hålrummen mellan stenarna och luftströmmen var så stark att den blåste ut en tändsticka. Den utströmmande luften var helt fuktighetsmättad och bildade vid sträng kyla ett 2 till 3 m högt dimmoln när den kom ut i den kalla vinterluften. Ett tjockt lager av rimfrost bildades på de närmaste träden. Luftströmmen kom igång innan den första snön lade sig i slutet av september och pågick till april-maj. Luftströmmens styrka avtog dock under vinterns lopp. 20 m ifrån denna plats fanns ytterligare några snöfria fläckar, men antalet sådana fläckar och styrkan hos luftströmmarna på de olika platserna växlade från år till år. På samtliga undersökta platser med sådana barmarksfläckar var det ett grovt, sorterat material som såg ut att fortsätta in i åsarna.

Sommartid är luftströmmen på dessa platser den motsatta, dvs. in i åsen via samma ”ventiler”. När man tände en eld vid en sådan vintertid snöfri fläck drogs elden och röken in i åsen. Barmarksfläckarna uppträder på de högre partierna av åsarna men Okko betonar vikten av att det finns motsvarande ”ventiler” på lägre nivå längs åssidorna där luften kan strömma ut respektive in, men åt motsatt håll jämfört med uppe på åsen. Sådana ventiler kan vara brunnar eller grustäkter, men det finns också naturliga ventiler i form av genomsläppliga lager som når ända ut till markytan i de lägre delarna av åsarna. Kylig luft strömmar ut vid de nedre ventilerna under sommaren. En sommar var den utströmmande luften i en brunn så kall att man kunde frysa in mat där. Okko påpekar också att fenomenet med de snöfria fläckarna uppe på åsarna varit känt åtminstone sedan mitten av artonhundratalet. Okko framhåller vidare betydelsen av ett yttre finkornigt, tätande täcke av företrädesvis eoliskt material på åsarna och att de snöfria fläckarna uppträder där det av någon anledning finns öppningar i detta täcke, naturliga eller orsakade av människan.

Okko hävdar också övertygande att det inte är grundvattnet i åsarna som värmer upp den utströmmande luften vintertid. Han menar i stället att det sommartid skapas ett undertryck vid de nedre "ventilerna" på grund av stark insolation. Detta skulle leda till att varm sommarluft suges in genom de övre ventilerna. Den varma luften värmer därigenom upp åsens inre och skapar ett värmemagasin som sedan värmer upp den kalla luften vintertid och driver processen åt andra hållet. Här kan man tillfoga att en tillfrysning av is nere i åsens djup skulle alstra värme, vilket i sin tur bör leda till en viss avdunstning av vatten men också bidra till en uppvärmning av luften. Avdunstningen av vatten vid tillfrysningen nere i åsens djup kan då bidra till den höga fuktighetsgraden hos den utströmmande luften och uppvärmningen av luften bidra till att driva ventilationsprocessen. Luftväxlingen i åsen bör också, såväl sommar- som vintertid, leda till en allmän avdunstning av vatten från gruspartiklarnas yta och därmed en temperatursänkning av såväl grus som vatten i åsens inre.

Okko berör inte problematiken kring is nere i åsarna men presenterar onekligen en process som mycket effektivt för in stora mängder kall luft i åsen och på så vis starkt kyler ner det grova, genomsläppliga gruset. Infiltrerat nederbördsvatten skulle på så vis kunna frysa till när det når dessa starkt nedkylda lager och den observerade skiktningen hos isen kan förklaras av att vattnet kommer i omgångar. Att vattnet kyls ner av det kalla "gruset" och åtminstone delvis tillfrysar från de kalla stenarna antyds, liksom i Otta, av de från stenarna solfjäderformigt utgående luftbubblorna i isen.

Att den av V. Okko beskrivna luftgenomströmningen kan ha orsakat isbildningen i åsarna får stöd av M. Okko och även av Tynni. Det framgår inte hur lång tid täktverksamheten i Lahtis pågått, men däremot påpekar M. Okko att det i den övre delen av åsslutningen intill tåkten finns två snöfria fläckar och hon anser att det finns ett uppenbart samband mellan isförekomsten och den av V. Okko beskrivna "värmeomsättningen" (thermal behaviour) i åsarna. Hon håller också för troligt att isförekomsterna vid Lahtis och Nummisbacken är analoga företeelser. Tynni hävdar att man vintertid hade sett vattenånga stiga upp från åsen i Laukaa redan innan tåkten öppnades 1953, men det hindrar honom inte från att göra V. Okkos ventilationsprocess ansvarig för isbildningen. Måhända det fanns någon annan nedre "ventil" i åsen innan täktverksamheten påbörjades men att luftgenomströmningen intensifierades och isbildningen började först då.

Långt senare tar Kasi (2003) upp tråden med luftväxlingen i åsarna men tycks (uppsatsen på finska med ytterst kort engelsk sammanfattning, 6 rader) försöka förklara den som ett resultat av vattnets varierande förmåga att lösa luft vid olika temperaturer. Under vintern skulle det perkolera vattnet (sjunkvatten som sipprar ner genom jordlagren) värmas upp och avge delar av den lösta luften som därmed skulle ventileras uppåt och smälta snön. Sommartid skulle sjunkvattnet i stället kylas ned och därmed kunna lösa mer luft, vilket skulle resultera i en inåtgående luftström. Processen antas så vitt man kan förstå pågå utan några ventileringshål i de lägre partierna av åsen så som V. Okko föreslår och också har dokumenterat. Kasi är också medveten om att det kan förekomma is nere i åsarna och tror att den bildats genom avdunstning från djupt liggande grundvatten och sedan kondensation och isbildning i steniga, "porösa" lager högre upp. Processen känns dock knappast övertygande som förklaring till vare sig de omfattande luftströmmarna som dokumenterats av V. Okko eller isbildningen i gruset.

Med reservation för något frågetecken vad gäller de drivande mekanismerna förefaller V. Okkos ventilationsprocess onekligen som ett övertygande och synnerligen effektivt sätt att föra in stora mängder kall luft i åsarnas inre. Processen torde vara långt effektivare än att bara låta luften passivt söka sig ned genom de grovkorniga grusbankarna så som undertecknad en gång tänkte sig efter besöket i Kungsör. Mycket talar också för att isbildningen, åtminstone i Kungsör, Bålsta och Laukaa, initierats eller åtminstone kommit igång på allvar först i samband

med att man ”öppnade upp” åsarna genom täktverksamheten. Fenomenet utströmmande varmluft och snöfria fläckar på åsar är så vitt undertecknad bekant inte beskrivet från Sverige och i brist på bättre tidsfördriv kunde det vara idé att leta efter sådana längs våra större rullstensåsar. Om sådana påträffas är det av primärt intresse att notera om de förekommer i närheten av täkter eller brunnar eller om de uppträder längs mer orörda åsavsnitt. Sannolikheten för att det ska ges så många fler tillfällen att studera fenomenet ”is i rullstensåsar” närmare i Sverige är väl inte särskilt stor. Antalet naturgrustäkter har minskat radikalt under senare år och det öppnas knappast några nya i den aktuella typen av isälvsavlagringar. Om tillfälle ändå skulle ges så borde mer ingående studier av isens utseende och andra egenskaper kunna ge ledtrådar till en ytterligare förståelse av bildningssättet och tidsaspekterna på tillfrysningsförloppet.

EFTERORD

Det är snart 25 år sedan jag blev varse att våra rullstensåsar kunde ha, för att citera Rosberg, ”is i magen” och mycket av omständigheterna kring detta har fallit i glömska, men jag har i gott minne den hjälpsamhet och vänlighet som Stig Karlsson på Kungsörs Grus och Lars Stenlid på Skanska visade mig i samband med mina besök i Kungsör och Bålsta. Det var också Lars som tipsade mig om Rosbergs författarskap. Som framgår av texten har också flera andra personer på olika sätt bidragit med värdefulla upplysningar i samband med dokumentationen av isen i de två täkterna eller varit behjälpliga i samband med upprättandet av denna rapport. Ett stort tack till samtliga dessa personer.

REFERENSER

- Kasi, S., 2003. *Maan ilma ja vajovesi. Abstract: Soil gas and water percolation*. XXI Geofysiikan Päivät, 53–55.
- Lagerbäck, R., 1989: *Dokumentationsrapport 1989.07.04 avseende is i Köpingsåsen*. SGU.
- Leiviskä, I., 1914a: Kivinen jääkerros sorakukkulassa lähellä Turkua. *Suomalainen Tiedeakatemia, Esitelmät ja Pöytäkirjat 1913 II*, 73–84.
- Leiviskä, I., 1914b: Fossiles Eis in einem fluvioglazialen Hügel unweit von Åbo. *Zeitschrift für Gletscherkunde* 8, 209–226.
- Liestøl, O., 1965: Lokalt område med permafrost i Gudbrandsdalen. *Norsk polarinstitutt Aarbok 1965*, 129–133.
- Okko, M., 1969: Pysyvä jääkerros harjuaineksessa lähellä Lahtea. Summary: Perennial ice layer in glaciofluvial drift near Lahti, southern Finland. Preliminary report. *Geologi* 21 (7), 108–109.
- Okko, V., 1957: On the thermal behaviour of some Finnish eskers. *Fennia* 81 (5), 38 p.
- Rosberg, J.E., 1919: *Bygd och obygd*. Söderström & C:o Förlagsaktiebolag, Helsingfors. 231 p.
- Tynni, R., 1972: Ympärivuotisesti jäätynyt glasifluvialainen kerrostuma Laukaala. Summary: A semi-permanently frozen glaciofluvial deposit in Laukaa. *Geologi* 24 (4), 47–48.

