

DE FÖRSTA STEGEN MOT GRUNDANDET AV LUNDS UNIVERSITET – TÅGET ÖVER BÄLTEN

The first steps towards the foundation of Lund University –
the march over the Danish sounds

av LARS BENGTSSON, Teknisk vattenresurslära, Lunds Universitet, Box 118, 221 00 Lund.
e-post: lars.bengtsson@tvrl.lth.se



Abstract

The Swedish army marched 1658 over the ice on the Danish sounds from Jutland to Zealand. An event that led to the foundation of Lund University in 1666. From the loads involved the ice thickness can be determined to have been at least 20 cm. Using data from mid-17 hundreds and forward the ice thickness of every year is computed. Large ice thickness seems to have been more common in the period mid 17 hundreds to mid-18 hundreds than for the next 100 year period. The computations are repeated assuming colder temperatures in the 16 hundreds than for the period 1760–1860. While the probability that the ice today is 20 cm a certain year is very low, the probability in the 17th century should have been somewhat less than 20 %.

Key words – Ice thickness, ice formation, bearing capacity of ice, Danish sounds, climate, Karl X Gustav

Sammanfattning

Den svenska armén tågade 1658 över isarna på de danska sunden från Jylland till Själland. En konsekvens av isarnas bärighet var att Lunds Universitet bildades 1666. Lasten på isen var sådan att istjockleken kan beräknas ha varit minst 20 cm. Med data från mitten av 1700-talet och framåt beräknas med enkelt angreppssätt hur tjock isen bör ha varit enskilda år. Istjocklek större än 20 cm har varit vanligare under perioden mitten av 1700-talet till mitten av 1800-talet än för perioden 100 år senare. Beräkningarna upprepas med antagande om kallare klimat på 1600-talet än för perioden 1760–1860. Medan sannolikheten för att isen skall bli 20 cm under ett visst år idag är ringa, bör den under 1600-talet ha varit knappt 20 %.

Inledning

I februari 1658 ledde kung Karl X Gustav sin armé över isarna mellan de danska öarna i avsikt att krossa Danmark. Han lyckades till stor del i och med att vid freden blev de östra delarna av Danmark svenska. Östdanskarerna var inte tillfreds med detta, så för att lära dem tänka rätt bestämde Karl X Gustavs son att ett universitet skulle grundas i Lund, ett universitet vid vilket man skulle lära sig att tycka rätt. I år blir universitetet 350 år. Förhoppningsvis har man nu börjat tänka fritt igen.

Hur var det möjligt för en hel armé att marschera över de danska isarna? Skulle det gå idag? Isen brukar inte lägga sig särskilt långt ut från stranden, om det alls blir

någon is. Man kanske dock skall uppmärksamma att i gamla tider var den bästa tiden för tunga transporter vintern, eftersom man ganska lätt kunde dra slädar på snö och is. Idag finns allmänna vintervägar över älvar i norra Sverige och mellan öar i skärgårdarna.

I denna artikel uppskattas hur tjock isen måste ha varit för att kungen med sin armé skulle kunna ha gått över isarna och hur kallt det måste ha varit för att isen skulle ha uppnått nödvändig tjocklek. Sannolikheten för att en sådan marsch skulle kunna göras idag och sannolikheten för att isen skulle ha varit tillräckligt tjock under 1600-talet uppskattas. Temperaturdata från Falsterbo-Lund och Stockholm används. Korta avsnitt om isbildning och isars bärighet inleder texten.

Det kungliga tågets marschtrutt

Den svenska armén befann sig i Tyskland då Danmark förklarade Sverige krig. Man trodde att Sveriges krigsarmé var försvagad efter ständigt krigande i Tyskland. Kung Karl Gustav snarast önskade krig mot Danmark och tågade snabbt upp i Jylland. För att komma vidare mot Köpenhamn måste han gå över isen på de danska sunden. Han tvekade men efter att ha funnit att isen över Lilla Bält bar gick armén över till Fyn. Man ville sen gå till Själland över Stora Bält, men isen var för dålig. Efter några dagars uppehåll på Fyn fann man att man kunde ta sig fram till Själland mellan öarna söder om Stora Bält, såsom visas i Fig. 1, se t.ex. Ericson-Wollin (2008). Den danska kungen kapitulerade när svenskarna nått Själland. Helt utan missöden gick inte arméns marsch. Ganska många soldater gick igenom och drunknade. Självaste kungens släde gick igenom isen, men kungen hade då lämnat släden.

Isfakta

Is, som de flesta känner den, är is på sjöar. Sådan is bildas och tillväxer på plats, statisk istillväxt. När luften blir kallare än vattnet kyls vattnet ner. När fryspunkten nåtts kan inte vattnet kylas ner mer utan is bildas. Det är jämvikt mellan värmeledet genom isen och isproduktionen under isen. Ju tjockare isen blir desto mer reduceras värmeledet genom isen och istillväxten blir efterhand allt långsammare. Is som tillväxer från isens undersida kallas kärnis. Det finns också stöpis. Denna is bildas i snötäcket ovanpå isen då snöns tyngd är så stor att isens överyta kommer under vattenytan. Vatten kommer då



Figur 1. Arméns väg från Jylland till Själland.

upp i nedre delen av snötäcket och fryser när värme avges till atmosfären genom snötäcket. Stöpisens hållfasthet är något lägre än kärnisen.

Den stationära tillväxten av is är begränsad också i mycket kallt klimat, eftersom isen på sätt och vis isolerar sig själv (Bengtsson och Svensson, 1996). Om is bildas på ett ställe och sedan förs till en annan plats, där det redan finns is, kan istjockleken bli mycket stor. Detta kallas dynamisk istillväxt. Det bildas mycket is i forsande öppet vatten, men isen kan inte lägga sig. De bildade ispartiklarna följer med vattnet för att längre ner först fastna på någon sten eller där älvsräckningen böjer av. Nya ispartiklar eller isflak fastnar sedan på denna befintliga is. Isen kan på så sätt breda ut sig uppströms. Dynamisk istillväxt kan också förekomma nära kuster. Vind och strömmar kan hålla vattenytan öppna. Där bildas mycket is, som kan föras mot befintligt istäck. Isen blir tjock men också ojämn.

Isens bärighet

Bärförmågan för flytande is bestäms väl ur sambandet (Masterson, 2009)

$$P = \text{konst } h^2 \quad (1)$$

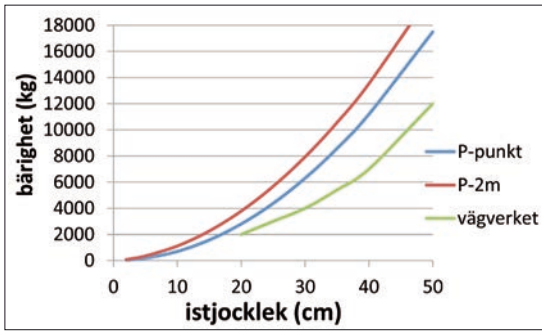
där P är punktlast och h istjocklek. Konstanten beror på isens kvalitet men ett accepterat värde är 7 kg/cm^2 om lasten är i kg och istjockleken i cm . Om lasten fördelas över en viss bred behöver isen inte vara lika tjock. Sambandet mellan möjlig last på is av viss tjocklek är då

$$P = 1.25 \sigma_f h^2 (1 + 0.84 * B/L) \quad \text{med } L = 16 h^{0.75} \quad (2)$$

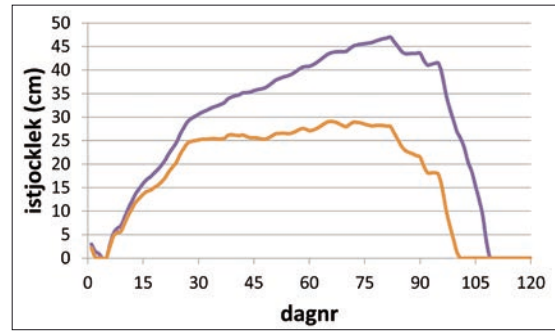
där B står för bredd och σ_f är isens hållfasthet. Med SI-enheter fås lasten i N . Koefficienten i ekvation (1) motsvarar ishållfasthet 550 kPa . En stor tung man som väger 100 kg bör kunna gå på is som är 4 cm tjock. Om han är 2 m lång och väljer att rulla fram över isen räcker det om isen är 2 cm tjock. Grafer för erforderliga istjocklekar för punktlast respektive last utbredd över 2 m visas i Fig. 2. Diagrammet visar också de krav som vägverket ställer på istjocklek. Man öppnar inga vintervägar förrän isen är 20 cm tjock.

Kungliga släden genom isen

Ett icke ringa antal soldater gick genom isen och drunknade. Det är känt att kungen släde, dock utan kung, gick genom isen och sjönk med kusk och hästar. Släden drogs av 3 hästar och var tungt lastad. Släden eskorterades av ryttare. Hela följet fördelat över 2 m kan antas ha vägt 3000 kg . Diagrammet i Fig. 2 visar då att isen kan ha varit cirka 17 cm , då den brast. Eftersom flertalet soldater och ryttare lyckades ta sig över isen bör den ha varit något tjockare, kanske 20 cm .



Figur 2. Isbärighet för punktlast (överst), last fördelad över 2 m bredd (mellankurvan) och den bärighet vägverket utgår från med säkerhetsmarginal (nederst).



Figur 3. Istillväxt efter isläggning i stillastående vatten (översta kurvan) och i strömmande vatten med temperatur något över fryspunkten (nedersta kurvan).

Istillväxt

Vid statisk istillväxt byggs isen på från isens undersida. Värmeflödet genom isen balanseras genom isproduktion. Värmeflödet är

$$H = \gamma_i / h (T_w - T_a) \quad (3)$$

med H som värmeflödet, γ_i som värmeledningstalet, h istjocklek, T_w ytvattentemperaturen, som motsvarar fryspunkten och T_a lufttemperaturen. Isproduktionen är med ρ_i isens densitet, F isbildningsvärmets och t tid

$$dh/dt = \rho_i F \quad (4)$$

Balanserar man värmeflödet och isproduktion genom att sätta ekvation (3) och (4) lika får man graddagarekvation

$$H = C S^{1/2} \quad (5)$$

där S är negativa graddagar, vilket är summan av alla negativa graddagar sedan isen lagt sig,

$$S = \Sigma -T_a \quad (6)$$

C är $(2 \gamma_i / \rho_i F)^{1/2}$ för ren kärnis, men oftast finns snö på isen så man brukar använda sig av empiriska värden. För snötäckt is brukar istjocklek väl kunna uppskattas med $C = 2 \text{ cm}/(^{\circ}\text{C-dygn})^{1/2}$ (Bengtsson, 2012). Känner man snötjocklek och snöns värmeledningstal är det möjligt att mer noggrant bestämma värmeflödet. Utförs beräkningar dag för dag, såsom gjorts i detta arbete så fås

$$h^2 = h_0^2 - C^2 (-T_a) dt \quad (7)$$

Tidsteget dt har satts till ett dygn, index 0 anger förhållandet ett dygn tillbaka.

Isen tillväxer snabbt efter isläggning men sedan avtar tillväxthastigheten, såsom illustreras i Fig. 3. Någon bit under isens undersida är vattnet något varmare än vad som motsvarar dess fryspunkt. I lugnt vatten sker en mycket långsam transport av värme mot isens undersida.

I strömmande vatten blir värmeflödet större. Värmeflödets intensitet beror på temperaturen en bit under isen, strömshastigheten och djupet som strömningen sker över. Med vattentemperatur T_w , strömshastighet v och djup D blir värmeflödet till isen H_i

$$H_i = f(T_w, v, D) = \text{konst } T_w v^{0.8} / D^{0.2} \quad (8)$$

Isens tillväxt reduceras till följd av värmeflödet från vattnet till isens undersida. Konstanten i ekvation (8) kan (glatt turbulent strömning) uttryckt i SI-enheter sättas till 0.02 (Ashton, 1978). Då det finns strömmande vatten med temperatur över fryspunkten avstannar istillväxten och en istjocklek som balansera värmeflödet nerifrån med värmeflödet genom isen erhålls på så sätt som visas med den nedre kurvan i Fig. 3. Isen kan nå en jämviktstjocklek då värmeflödet till atmosfären motsvarar värmeflödet till isens undersida.

Vatten måste vara ganska stilla för att is skall börja lägga sig statiskt. Isen måste sedan tillväxa någon cm för att inte mekaniskt brytas sönder till följd av skjuvspänning från vind och ström. Beräkning av istillväxt vid kustområden är därför besvärligare än för sjöar.

Vattnets nedkylning

Is kan inte bildas förrän ytvattnet kylts ner till fryspunkten. Tidpunkten för när ytvattnet når fryspunkten beräknas genom att bestämma värmeutbytet mellan vatten och luft, men man måste också ta hänsyn till hur vattnet omblandas. Vid temperatur nära fryspunkten brukar man kunna uppskatta värmeflödet, H_{w-a} , linjärt utifrån temperaturdifferensen mellan vatten och luft

$$H_{w-a} = C (T_w - T_a) \quad (9)$$

Koefficientvärdet, C , varierar men vanligt värde när vattnet närmar sig fryspunkten är $25 \text{ W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$ (Ashton, 1979).

I mycket grunda vatten eller i strömmande vatten kan omblandning antas ske över hela djupet. Det enklaste sättet att ta hänsyn till omblandning på djupare vatten är att anta fullständig omblandning över ett begränsat djup, D . Nedkylningen beräknas då rättfram som

$$dT_w/dt = C/D (T_w - T_a) \quad (10)$$

Efter det att vattentemperaturen beräknats ha nått fryspunkten beräknas istillväxten enligt ekvation (7) med hänsyn också till värmeflöde underifrån ifall vattnet är strömmande.

Isens smältning beräknas med den klassiska gradgarmetoden

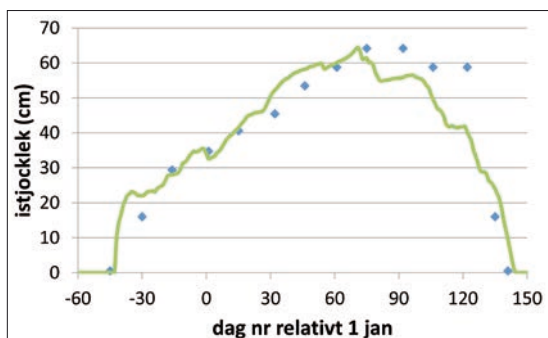
$$m = C_m T_a \quad (11)$$

där m är smälthastighet, cm vatten/dygn och C_m graddagarskoefficient som för is kan sättas till $0,4 \text{ cm}^\circ\text{C}/\text{dygn}$.

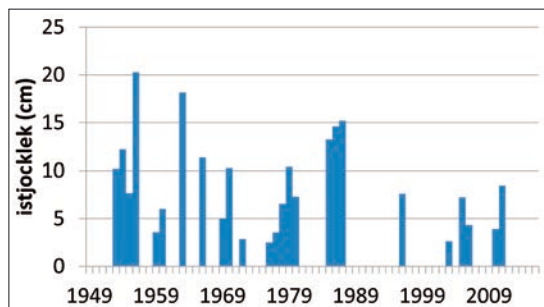
Med tre enkla ekvationer kan istillväxten beräknas dygn för dygn. Exempel på hur väl denna enkla metod fungerar för sjöar visas i Fig. 4. Istillväxten har beräknats för Stora Bygdeträsk i Västerbotten. Överensstämmelsen mellan beräkningar och mätta istjocklekar är mycket god. Avvikelsen under smältperioden kan dels bero på att endast grov hänsyn tagits till hur mycket snö som måste smälta innan isen kan börja smälta, och dels på att smältning inuti isen inte framgår av ismätningar.

Is vid den danska kusten

Vintern 2009–2010 var mycket kall. Januari–februari månaderna var bland de 20 kallaste i Skåne under de senaste 150 åren. En längre frostperiod började i mitten av december. Beräkningar enligt den ovan skisserade enkla metoden visar på isläggning i början av januari.



Figur 4. Is på Stora Bygdeträsk, Västerbotten vintern 1971–72. Dagnummer ges relativt 1 januari. Heldragen kurva är beräkningar och punkterna är mätta istjocklekar.



Figur 5. Beräknad maximal istjocklek i de danska sunden beräknat med dygnsvärden från Falsterbo.

Istjocklek för sjöar beräknad med dygnsvärden från Falsterbo blir 20 cm i mitten på februari. För beräkning av istjocklek i haven närmast de danska öarna behöver hänsyn tas till att vattnet rör sig. Med antagandet att vattnet är $0,1^\circ\text{C}$ över fryspunkten på 5 m djup och rör sig med hastighet 5 cm/s beräknas värmeflödet till isens undersida. Istjockleken beräknas då nå upp till 10 cm.

SMHI brukar redovisa issituationer. Nära land, i fjordarna och även i Lilla Bält anges istjocklek 10–20 cm i februari 2010. Söder om Själland och i Köge bukt var istjockleken 5–10 cm. Detta stämmer ganska väl med de grova beräkningarna. Valet av beräkningskoefficienter får anses ganska bra med tanke på hur komplexa isläggningsprocesserna vid kuster är. Mest is fanns just där man valde att gå fram 1658. Kanske kunde man, om man nu inte redan befunnit sig i Jylland, valt att gå direkt från Tyskland via Fehmarnsundet. SMHI-data visar på att isen år 2010 var tjockast där.

Beräkning av isförhållanden de senaste 65 åren

Efter att ha funnit att beräkningsmetodiken är tillfredsställande har dygnsvärden från Falsterbo använts för att beräkna istjocklek i kustvattnen varje år från 1949 till idag. Beräknade istjocklekar visas i Fig. 5. Det framgår att endast ett år av de senaste 65 åren torde istjockleken ha varit minst 20 cm. Sannolikheten för att isen ett visst år skall bli 20 cm är alltså drygt 1%.

Krigsvintrarna

Krigsvintrarna 1941, 1942 och 1943 är nästan mytologisk kända för sträng kyla. Med den föreslagna beräkningstekniken finner man att istjockleken alla dessa tre år bör ha varit minst 20 cm; i februari 1942 25–30 cm. Beräknad istjocklek i början på 1942 visas som Fig. 6.

Åren 1860–1950

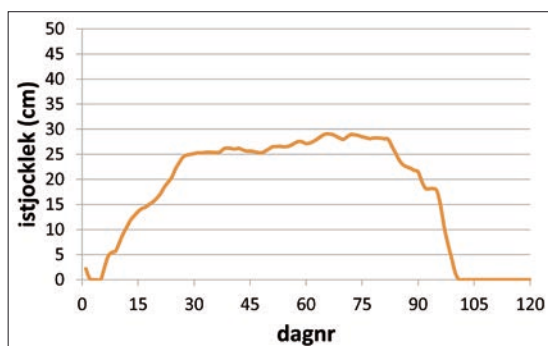
För att komma längre tillbaka i tiden än vad som finns observationer från Falsterbo så används data från Lund. Temperaturobservationer finns från 1860 och framåt.

Går man igenom alla januari–februari månader från 1860 och framåt sticker de tre krigsvintrarna ut som mycket kalla. I Tabell 1 har de 20 kallaste åren listats utifrån medeltemperaturen i januari och februari i Lund. Medeltemperaturen 1942 var -7°C och 1940 -6°C . Också tre år i mitten på 1980-talet var mycket kalla. De första månaderna 2010 hör till de 20 kallaste åren med en medeltemperatur på -3°C .

Vintertemperaturen i Lund är ungefär $0,5^{\circ}\text{C}$ kallare än i Falsterbo. Med Lund-data ökade med $0,5^{\circ}\text{C}$ beräknas istjocklek från 1860 och framåt. Antalet år med istjocklek större än 20 cm blir 8, men inga av dessa år är efter 1960. Sannolikheten för en 20 cm händelse var för perioden 1860–1960 cirka 8 %.

Stockholmsvärden för beräkning av istjocklek

För att kunna gå länge tillbaka i tiden än 1860 används data från Stockholm. Från Stockholm finns observationsdata från 1756 och framåt. Stränga vintrar i Stockholm behöver inte motsvaras av stränga vintrar i Skåne. Om man listar stränga vintrar i Stockholm på samma sätt som för Lund finner man dock att de samstämmer ytterst väl. De kalla Stockholmsvintrarna är ungefär 3°C kallare än i Lund och alltså $3,5^{\circ}\text{C}$ kallare än i Falsterbo. Därför simuleras istjocklek nu med Stockholmsdata ökade med $3,5^{\circ}\text{C}$. Antalet år med istjocklek större än 20 cm beräknas till 21 de totalt dryga 250 åren. Av dessa har flertalet, 13 år, inträffat under 100-årsperioden 1756–1860.



Figur 6. Beräknad istjocklek i de danska sunden 1942 med dagnummer relativt 1 januari.

Tabell 1. Kallaste januari–februarmånader i Lund 1860–2016, medeltemperatur $^{\circ}\text{C}$.

| | | | |
|------|------|------|------|
| 1942 | -6.9 | 1924 | -4.0 |
| 1985 | -5.9 | 1871 | -4.0 |
| 1940 | -5.9 | 1987 | -3.9 |
| 1963 | -5.8 | 1879 | -3.9 |
| 1893 | -5.4 | 1979 | -3.7 |
| 1929 | -5.4 | 1886 | -3.7 |
| 1947 | -4.8 | 1970 | -3.6 |
| 1881 | -4.6 | 1956 | -3.5 |
| 1941 | -4.6 | 1901 | -3.3 |
| 1895 | -4.3 | 2010 | -2.9 |

Historiskt kalla vintrar

Krigsvintrarna, speciellt 1941–1942 vintern, var extremt kalla. Stockholmsdata visar att vintern 1808/1809 var i paritet vad gäller kyla. Den ryska armén var på väg över Åland hav, men vände åter när man insåg att krigsslutet var nära i och med att den svenske kungen avsattes.

Temperaturmätningar finns inte tidigare än 1756. Man kan dock finna indikationer om hur vädret varit genom att studera kyrkoböcker. Prästerna gjorde ibland anteckningar om särskilda händelser. Granrot (2003) refererar till kyrkoböcker från församlingar 10–50 km från Öresund. I församlingsböcker från Norra Vram, Kågeröd, Kävlinge, Västra Tommarp kan man läsa att vintrarna 1708/1709 och alldeles speciellt 1738/1739 var extremt kalla. De förkom ihållande transporter över isen mellan Skåne och Danmark. Speciellt förde man över ved som bränsle till frysanse Köpenhamnare. Det finns också noterat att man transporterade och sålde stora kvarnhjul av sten.

Istjocklek på 1600-talet

Det finns inga temperaturdata från 1600-talet. Det går inte att utifrån Proxy-data, som t ex träårsringar eller sedimentprofiler uppskatta vintertemperaturen särskilda år; man får uppfattning om främst sommartemperaturer och då inte om enskilda år. Man säger att mitten av 1600-talet var särskild kall också relativt övriga perioder under lilla istiden cirka 1450–1860, t.ex. Luoto (2013). Grovt finner han från studier av profiler i mossar, att temperaturen kan ha varit 2°C kallare än idag, vilket är ungefär 1°C kallare än perioden 1756–1860. Något godtyckligt väljs därför att anta att temperaturen i mitten på 1600-talet var 1°C kallare än under perioden 1756–1860. Istjockleksberäkningarna görs nu om för perioden 1759–1860, men med 1°C kallare lufttemperatur. Sannolikheten att istjockleken ett visst år under 1600-talet skall ha varit minst 20 cm beräknas då bli 18 %.

Slutsatser

Slutsatserna från denna undersökning är att isen bör ha varit minst 20 cm för att en arme som Karl X Gustavs skall ha kunnat tåga över den. Sannolikheten för att detta skall kunna ske med den vinterkyla vi har idag är ringa. För perioden mitten på 1800-talet tills mitten på 1900-talet bör sannolikheten för att isen ett visst år skall ha varit 20 cm ha varit cirka 8 %, för perioden mitten 1700-talet till mitten på 1800-talet 13 %. För Karl X Gustavs del i mitten av 1600-talet har sannolikheten för 20 cm is ett visst år uppskattats till 18 %. Det tyder på att han haft en viss tur. Han kunde fått vänta fler år på att få tåga över isarna så danskarna hade kanske kunnat få lång tid på sig att rusta. I så fall hade kanske östdanskarna kunnat förbli fritänkare.

Referenser

- Ashton, G. (1978) River Ice. *Annual Review Fluid Mech.* 10, 369–392.
- Ashton, G. (1979) Suppression of river ice by thermal effluents. CRREL Rep. 79-30, 23 pp. US Army Corps Engineers, CRREL, Hanover, N.H.
- Bengtsson, L. (2012) Ice Formation on Lakes and Ice Growth. In: *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*, eds. L. Bengtsson, R.W. Herschy and R.W. Fairbridge. Springer Verlag, Dordrecht, 365–366
- Bengtsson, L. and T. Svensson (1996) Thermal regime of ice covered Swedish lakes. – *Nordic Hydrology* 27, 39–56.
- Masterson, D.M. (2009) State of the art of ice bearing capacity and ice constructions. *Cold Regions Science and Technology*. 58, 99–112
- Granrot, P.O. (2003) Ett besvärligt år. *Släkt och Bygd, Svalöv-Ask* 03:01.
- Ericson Wollin, L. (2008) *Tåget över Bält*. Historiska Media 220 s. ISBN 928-91-85873-03-06.
- Luoto, T.P. (2013) How cold was the little ice age. A proxy-based reconstruction from Finland applying analogous of fossil midge assemblages, *Environment Earth Sciences* 68, 1321–1329.