



Handläggare

Stefan Cartling

Tel 010-5051054

Mobil 070-3550409

Fax 010-5051183

stefan.cartling@afconsult.com

## RAPPORT

Datum

2007-08-22

Uppdragsnr

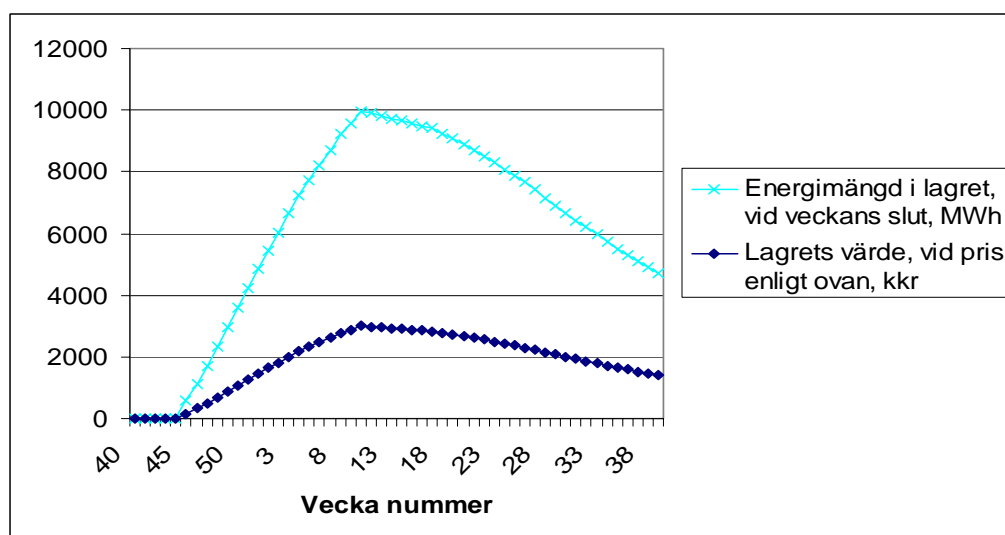
527589

1 (14)

### Rapport nr 1.0

## Stockholms hamn

## Energisimulering av snölager i bergrum



ÅF-INFRASTRUKTUR AB  
AO Installation

Stefan Cartling  
Björn Palm KTH

Uppdragsnamn:  
Skapat datum:  
Sparat datum: 2007-08-23

Umr:  
Version:  
Dokument id:

ÅF-Infrastruktur AB

Fleminggatan 7, Box 8133, 104 20 Stockholm. Telefon 010-505 00 00. Fax 08-650 91 18. www.afconsult.com  
Org nr 556185-2103. Säte i Stockholm. Certifierat enligt SS-EN ISO 9001 och ISO 14001

U-Rapport GE.dot-9



## Innehåll

1	BAKGRUND	4
2	SIMULERINGSPROGRAMMET	6
2.1	Uppbyggnad av simuleringsprogrammet	6
2.2	Resultat och indata till simuleringar	6
2.2.1	Resultat fullt lager	7
2.2.2	Resultat halvfyllt lager	9
2.2.3	Några slutsatser efter genomförda simuleringar	11
3	LITTERATURSTUDIE	12

## Bilagor

Bilaga 1	xxx
Bilaga 2	xxx



## Rapportshistorik

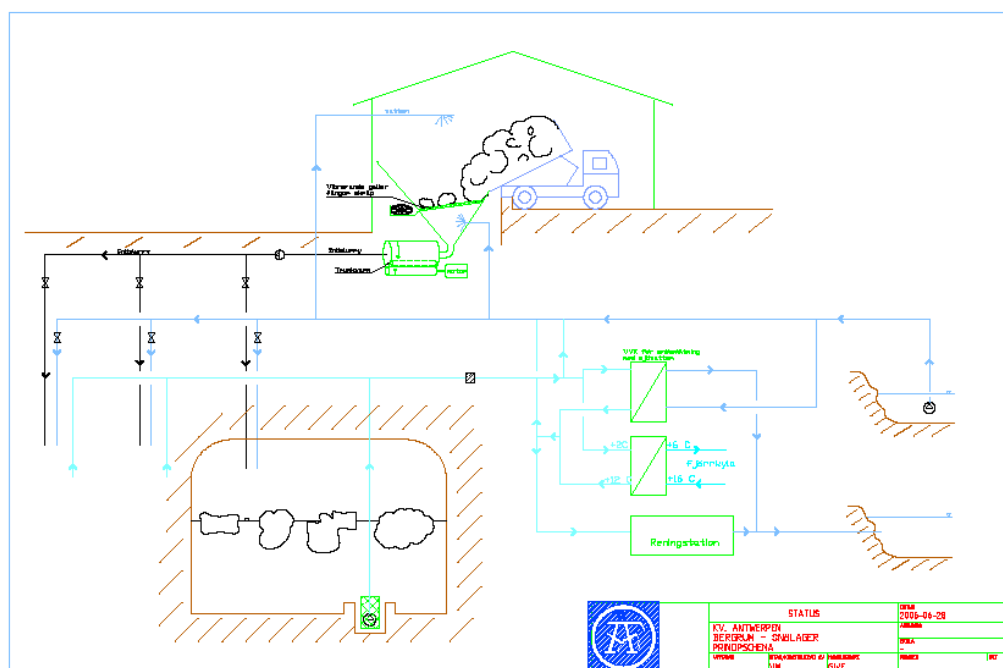
Ver.	Åtgärd	Granskad		Godkänd	
		Datum	Sign.	Datum	Sign.
1.0	Första utgåvan			20070830	

## 1 Bakgrund

På uppdrag av Stockholms hamn AB har ÅF Infrastruktur AB utfört en studie avseende energisimuleringar för ett snölager i tre sammanhängande bergtrum inom Kv Antwerpen i Stockholm. Energiinstitution på KTH med professor Björn Palm har fungerat som underkonsult i uppdraget.

ÅF har i en tidigare rapport "utredning av tekniska förutsättningar för snölagring i bergtrum, alternativ 2" daterad 2006-08-29 redovisat de tekniska förutsättningarna för att lagra snö och utvinna kyla från de tre bergtrum på c:a 130 000 m<sup>3</sup>.

Tillskillnad från den allra första rapporten (alternativ 1) bygger alternativ 2 rapporten på att snön tippas utanför fastigheten för att sedan pumpas till bergtrummen för lagring. Detta för att möjliggöra bostadsbebyggelse inom området. Se bilden nedan.



Uppdragsnamn:  
Skepat datum:  
Sparat datum: 2007-08-23

Umr:  
Version:  
Dokument id:



Hantering av snön har indelats i olika steg: Tippning, grovavskiljning med sikt, finfördelning och vattenbegjutning, sandseparering, pumpning av slurry, Återpumpning av avskilt vatten och bortförande av smältvatten samt snösmältning.

Den i alternativ 2 rapporten föreslagna tekniska systemlösningen skall i detta skede ses som ett mycket tidigt utkast. Mycket arbete, utredningar och projekteringar återstår innan det kan realiseras i verkligheten. Flera delar av lösning bör testas innan de implementeras.

För att bekräfta och säkerställa dimensionerande energidata samt erhålla en fördjupad förståelse över de parametrarna som påverkar snölagret genomfördes nu följande arbeten som presenteras i föreliggande rapport:

1. Framtagande av simuleringsmodell för snölagret där man kan variera olika indata såsom snömängder, kylbehov mm. Simuleringsmodellen baseras på systemlösningen i alternativ 2 och redovisar som resultat lagrets årstidsvariationer gällande energimängder/snömängd.
2. Den andra delen av utredningen består av en fördjupad litteraturstudie med inriktning på tekniska/mekaniska systemlösningar för snölager. Resultatet från denna del utgör underlag för inriktning på vidare utredningar/projekteringar inom området.



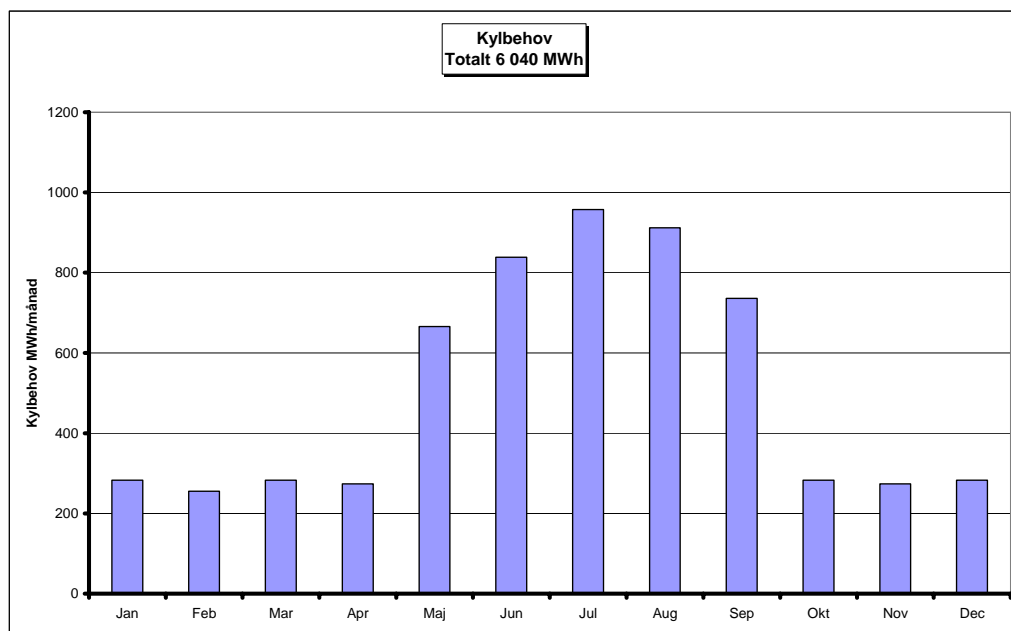
## 2 Simuleringsprogrammet

### 2.1 Uppbyggnad av simuleringsprogrammet

### 2.2 Resultat och indata till simuleringar

Det finns ett oändligt antal möjliga simuleringar som man kan genomföra med programmet. Olika parametrar kan tillåtas variera medan andra hålls konstanta. I denna rapport redovisas två simuleringar där endast snömängden har tillåtits att variera och övrig indata varit lika. Simuleringarna avser att redovisa förhållanden vid ett helt fullt lager och ett halvfullt lager.

Kylbehovet hos kringliggande fastigheter som i tankevärlden skall kylas från snölagret antas ha ett kylenergibehov på 6 000 MWh och en topplast på 5 MW. Den antagna årstidsvariationen av kylenergibehovet redovisas i bilden nedan



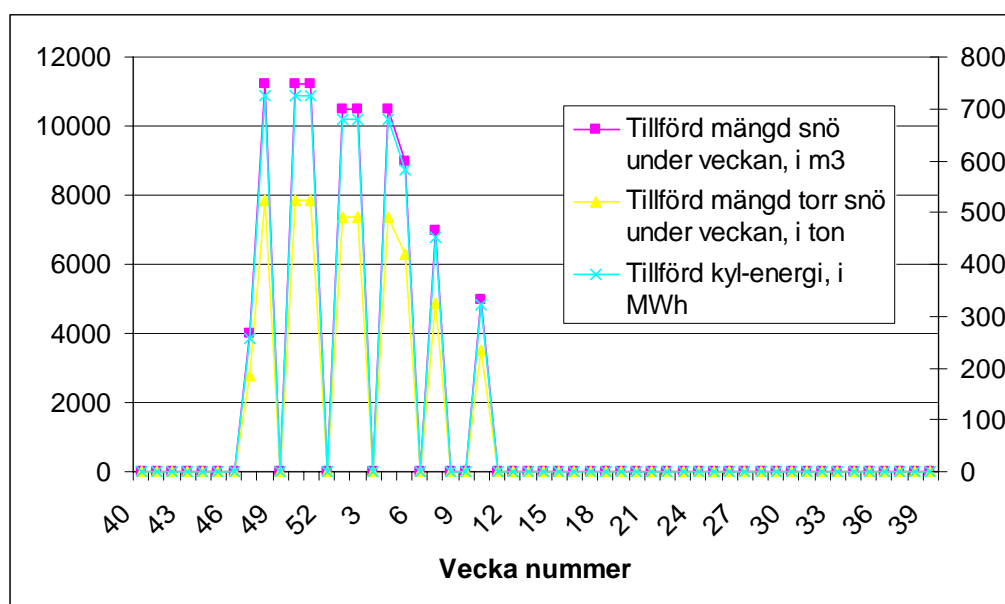
Läckvattenmängden till bergrummen har ansatts till 700 m<sup>3</sup>/vecka baserat på uppgifter i den ursprungliga rapporten.

Gällande uttagen vattenmängd för rening så anpassas mängden efter kylbehovet och så att nivån i lagret vid kylaens slut nästan är noll. I de tidigare

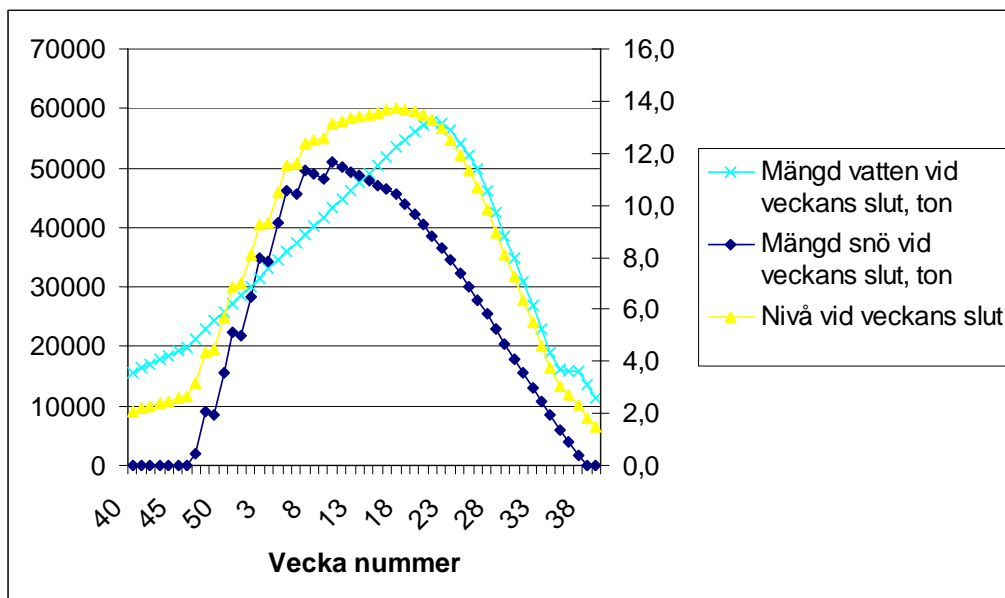
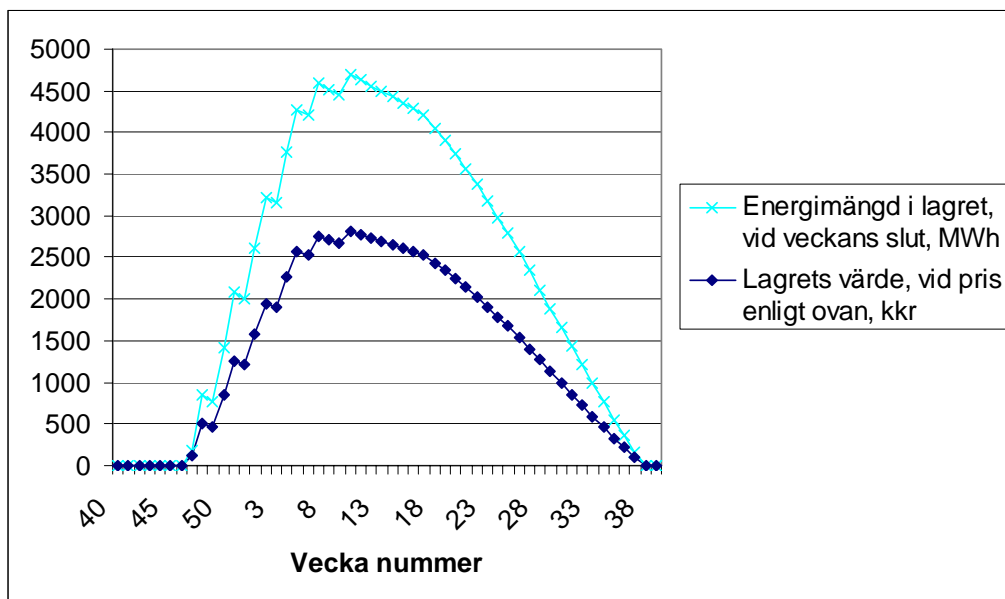
rapporterna redovisas att reningsanläggningen är tänkt att dimensioneras för 65 m<sup>3</sup>/h vilket ger ett maximalt vattenuttag på c:a 11 000 m<sup>3</sup>/vecka.

### 2.2.1 Resultat fullt lager

Enligt de tidigare utredningarna är den totala aktuella bergrumsvolymen 130 000 m<sup>3</sup>. För att erhålla en bra fördelning av snön har det antagits att 2/3 dvs 90 000 m<sup>3</sup> är maximal snövolym. Med utgångspunkt från detta och ovanstående indata erhålls resultat enligt nedanstående diagram:



Diagrammet ovan redovisar en antagen profil för påfyllnad av lagret och i nedanstående diagram visas aktuellt energiinnehåll i lagret samt värdet på lagret baserat på ett kylpris på 600 kr/MWh.



Diagrammet nedan visar vatten och snöinnehållet i lagret samt nivån .

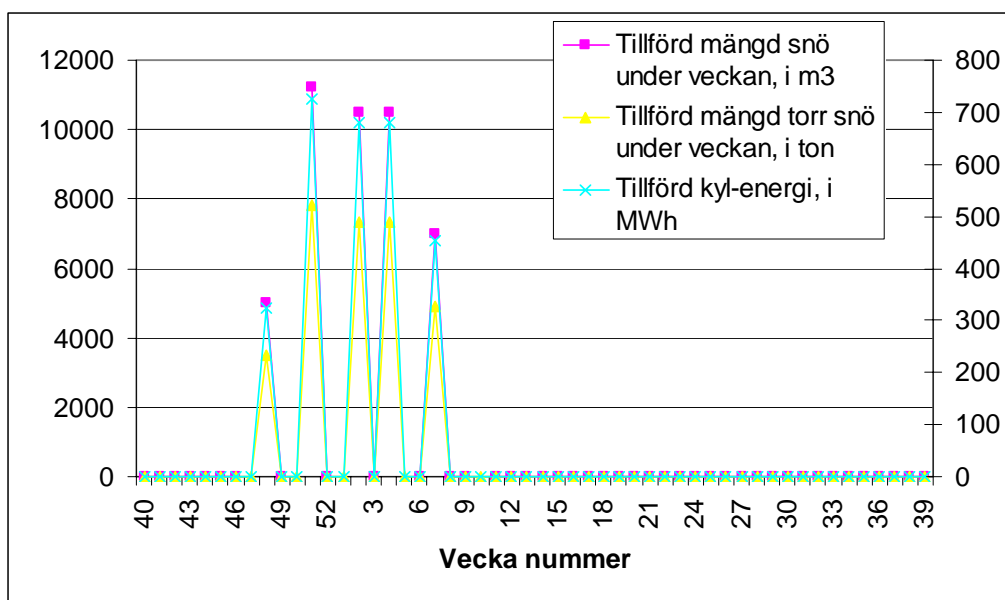
Resultatet av simulering blir att kylbehovet på 6 000 MWh nästan klaras det är under några höstveckor som lagret är tomt och som kylning av de anslutna fastigheterna inte skulle vara möjlig. Minskar det totala kylbehovet till 5 100 MWh klaras hela årsbehovet. Vilket som tidigare redovisas motsvarar c:a fem större kontorsfastigheter.

Värdet på lagret uppgår till cirka 2 700 kkr vid ett kylenergipris på 600 kr/MWh.

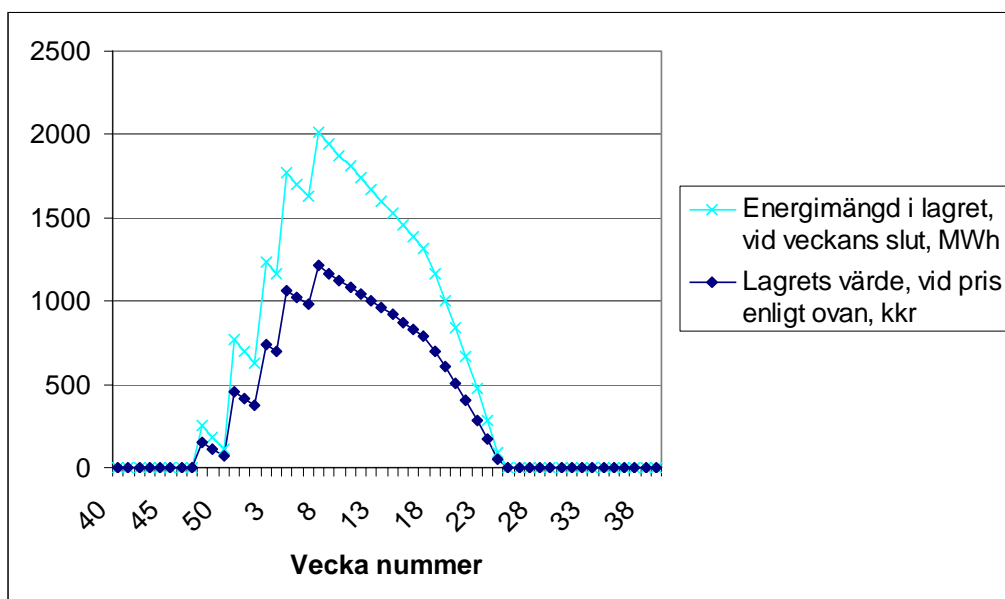
Om det istället är möjligt att fylla lagret med 120 000 m<sup>3</sup> snö ökar energiinnehållet till drygt 6 500 MWh och ytterligare fastigheter skulle kunna kylas. Snö-vattenblandningens förmåga att fördelas sig över lagret kommer att avgöra hur mycket det går att fylla.

### 2.2.2 Resultat halvfyllt lager

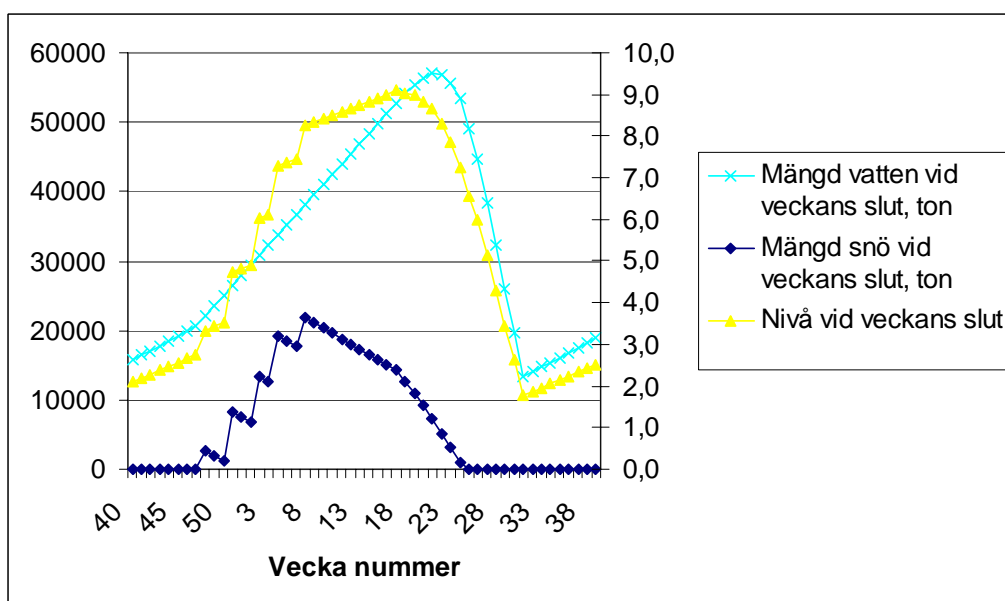
Om man antar att en snöfattig vinter endast ger möjlighet att fylla lagret med 45 000 m<sup>3</sup> snö så erhålls följande resultat vid i övrigt samma indata som i föregående simulering.



Diagrammet ovan visar en antagen profil på påfyllnad av lagret ett år då det råder brist på snö.



Diagrammet ovan visar energimängden och lagrets värde vid ett kylenerpris på 600 kr/MWh och brist på snö.



Diagrammet ovan visar vatten och snöinnehållet i lagret samt nivån vid en snöfattig vinter. Ökningen av nivån under slutet av kylsäsongen beror på inläckande grundvatten.

Resultatet av simuleringen vid en snöfattig vinter blir att snölagret endast klarar av att försörja anslutna fastigheter med kyla fram till mitten av juni. Därefter är lagret tomt. Värdet på lagret halveras också i jämförelse med första fallet.



Nederbördsstatistik och uppgifter från utredningen ”snöhanteringsstrategier” visar dock att tillgång på snö normalt inte kommer att vara ett problem.

### 2.2.3 Några slutsatser efter genomförda simuleringar

Nedan redovisas några allmänna slutsatser efter simulering och genomgång av tidigare utredningar :

- Tillgång till snö bedöms inte som något problem. Enstaka vintrar kan det bli svårt att fylla lagret.
- Tidigare bedömningar av tillgänglig kylenergi från lagret (drygt 5000 MWh) är fortfarande relevanta efter. Kan en större del av lagret utnyttjas kan detta värde öka till 6500 MWh.
- Värdet på den lagrade kylenergin uppgår uppskattningsvis till c:a 3 Mkr
- Kylenergiförluster till det omgivande berget är försumbara.
- Nivån i kylagret styrs av hur mycket smältvatten som går till rening. Bedömningen på att reningsverket skall dimensioneras för c:a 65 m<sup>3</sup>/h ligger fast.
- År med dålig snötillgång kräver tillsatskyla för anslutna fasigheter.



### 3 Litteraturstudie

Resultatet av återfunna artiklar och utredningar redovisas nedan.  
Publikationerna bifogas denna utredning på ett USB-minne.

1. Kjell Skogsberg (2005), Doctoral Thesis, Seasonal snow storage for space and process cooling, Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering.
2. Kjell Skogsberg, The Sundsvall Regional Hospital snow cooling plant-results from the first year of operation, Cold Region Science and Technology, 34 (2002) 135-142, Elsevier Science Publisher.
3. Kjell Skogsberg, Angela Lundberg, Wood chips as thermal insulation of snow, Cold Region Science and Technology, 43 (2005) 207-218, Elsevier Science Publisher.
4. Magnus Näslund (2000), Examensarbete, fjärrkyla I Sundsvall baserad på sjövattnen och lagrad snö, Luleå tekniska universitet, Institution för Samhällsbyggnadsteknik, avd. för vattenteknik.
5. Patric Wichman (2003), Examensarbete, Miljökonsekvensanalys av snökylanläggning och kylmaskin, en jämförelse mellan två alternativa kyltekniker, Luleå tekniska universitet, Inst. för samhällsbyggnadsteknik, avd för förnyelsebar energi.
6. Pirjo Estola, Maria Jonsson (2001), Examensarbete, Energianvändning och energieffektiviseringsåtgärder vid sjukhusen i Norrbottens län, Luleå tekniska universitet, Inst. för väg-och vattenbyggnad, avd för konstruktionsteknik.
7. Isaksson K, Lindström A, Nordell B. (2003). Förnyelsebar energi i Norrbottens län. Del 4 Snökyla. Avd f. Förnyelsebar energi LTU. pp.6.
8. Nordell B, Skogsberg K (2006), The Sundsvall snow storage - six years of operation. pp. 349-366. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption - Fundamentals, Case Studies and Design. NATO Science Series, Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol. 234. Ed. H Paksoy. ISBN-10 1-4020-5288-X (HB).
9. Nordell B (2006). Global warming is large-scale thermal energy storage. pp. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption - Fundamentals, Case Studies and Design. NATO Science Series, Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol. 234. Ed. H Paksoy. ISBN-10 1-4020-5288-X (HB).
10. Skogsberg K, Nordell B (2001). The Sundsvall Hospital Snow Storage. Cold Region Science and Technology, Vol. 33/1. 2001. Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam. Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam. p. 63-71.
11. Nordell B (2001). Kyls med snö hela sommaren. Formas tidning Miljöforskning för ett uthålligt samhälle. Nr.5-6.01. p.38-39.



12. Nordell B (1999). Lagrad snö kyler Sundsvalls sjukhus. Energi & Miljö. Årg 70, 4/1999. p. 68.
13. Skogsberg K, Nordell B (2006). Snow cooling for Swedish conditions. ECOSTOCK'2006. The Tenth International Conference on Thermal Energy Storage. May 31 – June 2, 2006.
14. Nordell B, Skogsberg K (2002). Snow and ice storage for cooling applications. Keynote lecture. WinterCities'2002, Aomori, Japan, 7-10 Feb 2002.
15. Sundin E, Lundberg A, Semádeni-Davies A, Viklander M, Nordell B (2000). Urban Snow Research at Luleå University of Technology. Nordic Hydrological Conference 2000. Vol.2. Nordic Hydrological Programme. NHP-Report No. 46. Swedish Hydrological Council. 26-30 June 2000. Uppsala, Sweden. p. 608-615
16. Nordell B, Johansson P (2000). Snow Deposit in Rock Cavern for Seasonal Cold Storage TERRASTOCK 2000, Aug 28 - Sep 1, 2000. 8th International Conference on Thermal Energy Storage. Stuttgart, Germany. pp. 239-244.
17. Nordell B, Skogsberg K (2000). Seasonal Snow Storage for Cooling of Hospital at Sundsvall. TERRASTOCK 2000, Aug 28 - Sep 1, 2000. 8th International Conference on Thermal Energy Storage. Stuttgart, Germany. pp. 245-250.
18. Skogsberg K, Nordell B (2000). Cold Storage Applications. Proc. WinterCities'2000, Energy and Environment, 14 February 2000, Luleå Community, Sweden
19. Nordell B (1999). Seasonal Snow Storage for Cooling of the Sundsvall hospital. IEA Workshop on Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage. 3-4 June 1999, Antalya, Turkey.
20. Nordell B (1999). Underground Seasonal Storage of Cold - Measurements and Simulations. Indore, India. Int Conf on Meeting the Power Crisis.
21. Nordell B, Ritola J, Sipilä K, Sellberg B (1994). The Combined Rock Cavern/Borehole Heat Store. Proc. of 6th Int. Conf. on Thermal Energy Storage. CALORSTOCK'94, Better Economy, Environment, Technology. Aug. 22-25, 1994, Espoo, Finland. p.389-396.
22. Nordell B (1991). GLG Heating/Cooling Storage System. Proc. of IEA Workshop on Generic Configurations of Seasonal Cold Storage Applications. Utrecht, The Netherlands, Sep 18-19, 1991. pp.2.
23. Nordell B (1990). Pressure-Melting of Ice. Proc 10th Int Conf on Port and Ocean Eng under Artic Conditions, POAC 89, June 12-16, 1989. Vol. 1, Research Report TULEA 1989:08. Luleå Univ. of Technology, Sweden. p.249-258.
24. Nordell B (1999). Säsongslagring av värme och kyla. Energitinget 16-17 mars 1999. Eskilstuna.
25. Chant Verne, Nordell Bo et.al (1995). IEA Impelementing Agreement on Energy Conservation Through Energy storage. Annex 7. Innovative



- and Cost-Effective Applications of Seasonal Cold Storage. Final Experts' Report. Public Works Canada, Ottawa. PWC/RDD 125E. pp.80.
26. Backman L, Nordell B (1991). Innovative and Cost-Effective Seasonal Cold Storage Applications. State-of-the-Art-Review in Sweden. International Energy Agency (IEA) Annex 7. Oct. 1991. pp.36.
27. Nordell B, Sundin E (1998). Snöupplag för säsongslagring av kyla. Internrapport, Avd för Vattenteknik, Luleå tekniska universitet.