

Frikyla

– En kommenterad litteraturlista

Bilaga till slutrapport för eff-Sys projekt Hs20

Torbjörn Lindholm
Institutionen för byggnadsteknologi, Installationsteknik
Chalmers tekniska högskola AB
Göteborg

Förord

Inom eff-Sys projektet " Frikyla – Analys av teknik och systemlösningar" har en omfattande litteratursökning genomförts. En delmängd av detta material har gåtts igenom mer i detalj och därefter kommenterats. I denna rapport har detta arbete dokumenterats i form av en kommenterad litteraturlista.

Vid litteratursökningen har i huvudsak sökbegreppen "free cooling", "natural cooling" samt "frikyla" använts. Sökningar har gjorts i följande databaser och e-tidskriftkällor; Byggdok, Compendex, Cambridge Scientific Abstracts (*conference paper index*, *Environmental Sciences and Pollution Mgmt*, *ERIC*, *GeoRef*, *Mechanical Engineering Abstracts*, *METADEx*, *NTIS*), EBSCO (*academic search elite*, *business source elite*), ETDE World energy base, ICONDA, Ingenta uncover, Inspec Axiom, Science Direct, Web of science samt mer generella sökningar via internet.

Göteborg 2003

Torbjörn Lindholm

Innehållsförteckning

n.n. (1982) "The application of cooling towers for free cooling"	1
n.n. (1995) "Natural cooling system designed for hospitals"	1
n.n. (1997) "Operating cooling towers in freezing weather"	1
n.n. (1999) "Integrated Comfort introduces `NightSky' system"	1
P. C. Agarwal and M. L. Mathur (1983) "Review of passive system for natural cooling of buildings"	1
G. Agas, T. Matsaggos, M. Santamouris and A. Argyriou (1991) "On the use of the atmospheric heat sinks for heat dissipation"	2
E. Albertsson (1986) "ERICOOOL för kylning av telekommunikationsanläggningar"	2
R. Alexandersson and A. Junborg (1986) "ERICOOOL system för passiv kylning"	2
R. Almquist (1986) "Drifterfarenheter av ERICOOOL för aktiv kylning"	3
O. Andersson, S. Johansson and B. Nordell (1994) "Innovative and cost-effective cold storage applications in Sweden"	3
E. A. Arens and N. S. Watanabe (1986) "Method for designing naturally cooled buildings using bin climate data"	3
D. Arnold (2000) "Thermal storage case study: Combined building mass and cooling pond"	4
J. Asrael, P. E. Phelan and B. D. Wood (2000) "Feasibility of lowering the condenser's inlet water temperature of a chiller using thermal water storage"	4
M. N. Bahadori (1984) "Natural cooling systems and an economic feasibility study of long-term storage of coolness"	5
W. P. Bahnfleth and W. S. Joyce (1995) "Stratified storage economically increases capacity and efficiency of campus chilled water system"	6
D. G. Balchin (2001) "Development of free cooling for ISP and 3G applications"	6
J. M. Barbaree (1991) "Controlling legionella in cooling towers"	6
W. J. Batty, H. Al-Hinai and S. D. Probert (1991) "Natural-cooling techniques for residential buildings in hot climates"	6
H. P. Becker (1985) "How about a fancy swamp cooler for computer rooms?"	7
R. Belarbi and F. Allard (2001) "Development of feasibility approaches for studying the behavior of passive cooling systems in buildings"	7
D. Blackhurst (1999) "Data cooling for free"	8
A. Blyth (1995) "Curtain walling provides for natural cooling"	9
J. E. Braun (1990) "Reducing energy costs and peak electrical demand through optimal control of building thermal storage"	9

W. G. Brown and P. Howell (1987) "The use of groundwater for cooling telephone exchanges"	10
M. F. Brunk (1993) "Cooling ceilings - an opportunity to reduce energy costs by way of radiant cooling"	11
D. L. Catanese (1991) "Energy analysis of low-temperature air distribution systems and reduced economizer-cycle cooling"	11
W. J. Coad (1994) "Open chilled-water systems for free cooling - a simple concept that lacks simplicity"	12
D. Coggan (1986) "Mixed air control with DDC"	13
T. De Saulles (1995) "Free cooling revisited"	13
T. De Saulles (1996) "Free cooling systems - design and application guide"	13
D. K. Dickson and S. T. Tom (1986) "Economizer control systems"	14
I. Dincer (2002) "On thermal energy storage systems and applications in buildings"	14
W. Eccleston (1991) "Challenging the design"	14
K. M. Elovitz (1993) "Can your plant benefit from free cooling?"	15
K. M. Elovitz (1994) "Can your plant benefit from free cooling?"	15
K. M. Elovitz (1994) "Can your plant benefit from free cooling?"	15
L. C. Fenster and A. J. Grantier (1981) "Natural cooling"	15
F. M. Flourentzou, J. van der; Roulet, C.A. (1998) "Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients"	15
H. Fujii and L. Lutzenhiser (1992) "Japanese residential air-conditioning: natural cooling and intelligent systems"	16
F. Gabrielli and G. Meli (1990) "Thermal simulation for power equipment using natural cooling"	16
G. Gan (1998) "A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings"	16
B. Givoni (1976) "Man, climate and architecture"	17
B. Givoni (1979) "Passive cooling of buildings by natural energies"	17
D. Goswami and C. N. Revelioty (1987) "Free cooling by cooling tower water"	18
J. A. Gray (1986) "How to make free cooling reliable"	18
V. Gupta (1985) "Natural cooling systems of Jaisalmer"	19
V. P. Gupta (1988) "Energy conservation in refrigeration systems: centrifugal chillers"	19
M. J. Hatten and T. W. Johnston (1989) "Evaporative chilling and thermal storage"	19
H. Hayama, M. Nakao and M. Sanbe (1990) "Airflow distribution in telecommunications equipment rooms"	20

J. C. Hensley (1994) "Application of cooling towers for free cooling"	20
T. Hong, S. K. Chou and T. Y. Bong (2000) "Building simulation: an overview of developments and information sources"	21
W. J. Hutzler, J. M. Carson and et al. (1998) "The Purdue experiment"	21
C. E. Janeke (1982) "Free-cooling: a total HVAC design concept"	22
D. R. Jones (1995) "Selecting cooling towers and fluid coolers"	22
S. Kavanaugh (1999) "Energy use of ventilation air conditioning options for ground-source heat pump systems"	22
V. V. N. Kishore (1988) "Assessment of natural cooling potential for buildings in different climatic conditions"	23
M. Kretz (1996) "Frikyla kyler och gas värmer i Alvik"	23
J. Laine and M. Saari (1994) "Realization of good indoor climate in low-energy office"	23
J. O. Lewis (1994) "Applications of renewable energy technologies in buildings"	24
E. J. Lizardos (1997) "Economizer cycle damper sizing"	24
J. C. Longberg (1991) "Using a central air-handling unit system for environmental control of electronic data processing centers"	24
A. Luke (2000) "Slab happy"	24
G. G. Maidment and J. F. Missenden (2002) "Evaluation of an underground railway carriage operating with a sustainable groundwater cooling system"	25
N. Malin (2000) "What? No airconditioning in this building?"	25
P. Margen (1997) "Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner"	26
H. McKeown (1986) "Free cooling keeps energy costs down (computer room air conditioning)"	26
H. McKew (1998) "Providing humidification in museums, libraries is not relatively simple"	27
G. Meckler (1989) "Unitary heat pumps plus ice storage"	27
R. A. Meierhans (1996) "Room air conditioning by means of overnight cooling of the concrete ceiling"	28
B. R. Meloy (1992) "Free cooling works for Cowlitz county hall of justice"	28
D. Murphy (1991) "Cooling-towers used for free cooling"	29
S. Nathan (1999) "Keep your cooling towers free of Legionella bacteria/Fighting the foreign legionnaires"	29
G. C. Nelson (1994) "Office building saves costs with free cooling and peak shaving systems"	30
J. Niu, J. V. D. Kooi and H. V. D. Ree (1995) "Energy saving possibilities with cooled-ceiling systems"	30

J. L. Niu, L. Z. Zhang and H. G. Zuo (2002) "Energy savings potential of chilled-ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates"	30
A. Novoselac and J. Srebric (2002) "A critical review on the performance and design of combined cooled ceiling and displacement ventilation systems"	31
M. Näslund (2000) "Fjärrkyla i Sundsvall baserad på sjövatten och lagrad snö"	31
J. Ocejo (1994) "Enhancement of free-cooling opportunities through tertiary pumping"	32
P. Oliver (2001) "Making use of free cooling"	32
H. O. Paksoy, O. Andersson, S. Abaci, H. Evliya and B. Turgut (2000) "Heating and cooling of a hospital using solar energy coupled with seasonal thermal energy storage in an aquifer"	33
J. Parsons (1997) "Reducing the costs of network power and cooling"	33
T. Peer and W. S. Joyce (2002) "Lake-source cooling"	33
P. Romagnoni, M. Scattolin and R. Zecchin (1997) "Dynamic simulation of air conditioning systems for base stations"	34
P. Romagnoni, M. Scattolin and R. Zecchin (2000) "Low energy air conditioning of shelters for telecommunication networks"	34
E. Rose (1995) "Handling the issues of adiabatic cooling"	35
B. Rosén, A. Gabrielsson, J. Fallsvik, G. Hellström and G. Nilsson (2001) "System för värme och kyla ur mark - en nulägesbeskrivning"	35
B. Rosén, A. Gabrielsson, J. Fallsvik, G. Hellström and G. Nilsson (2002) "System för värme och kyla ur mark - förslag till utvecklingsprogram"	35
E. Sandberg and P. Wickman (1996) "Kontor med naturlig kyla"	36
W. J. Schaeztle, C. E. Brett and L. H. Richey (1983) "Experience with two 'free cooling' systems using aquifer thermal energy storage"	36
P. Schmidt (1985) "New ways for the air conditioning of telecommunication systems"	37
P. Schmidt (1987) "Air-conditioning in telecom installations with lowest energy consumption"	37
E. Shaviv (1983) "Climate and building design - tradition, research and design Tools"	37
K. Skogsberg (2001) "Sesonal snow storage for cooling applications"	38
F. Sodec (1999) "Economic viability of cooling ceiling systems"	39
G. Solaini, G. Dall'O and S. Scansani (1998) "Simultaneous application of different natural cooling technologies to an experimental building"	39
K. E. Starner and R. A. Cromis (1977) "Energy savings: using high flux evaporator surface in centrifugal chillers"	39
G. E. Starr (1984) "Computer facility 'free' cooling"	40

L. A. Stump (1977) "Report on developments in use of absorption liquid chillers .1. Operating principles and free cooling systems"	40
L. Ståhl (1993) "Switch room cooling-a system concept with switch room located cooling equipment"	40
R. Stålebrant, A. Tvärne, G. Törnquist-Hedström, M. Askaner and A. Näslund (1997) "Tema: fjärrkyla"	41
G. N. Tiwari, N. Lugani and A. K. Singh (1993) "Design parameters of an non-air-conditioned cinema hall for thermal comfort under arid-zone climatic conditions"	41
M. Tucker (1987) "Reliable, energy efficient, close control environmental systems for telecommunications rooms"	41
Z. Wang (1996) "Controlling indoor climate. Passive cooling of residential buildings in hot-humid climates in China"	42
J. W. Welsh (1984) "Chilled-water free cooling"	42
T. L. White (1994) "Winter cooling tower operation for a central chilled-water system"	42
P. Wickman and E. Sandberg (1996) "Kontor med naturlig kyla: Med samarbete och framsynthet kan man eliminera dyra och miljövåliga kylanläggningar"	42
J. I. Yellott (1978) "Passive solar heating and cooling systems"	42
G. R. Zheng and M. Zaheer-Uddin (1996) "Optimization of thermal processes in a variable air volume HVAC system"	43
M. Zimmermann, Andersson J. (1998) "Low energy cooling -case study buildings"	43

n.n. (1982) "The application of cooling towers for free cooling"

En kort rapport från the Marley Cooling Tower Company vars innehåll i stora delar återanvänds av D. Murphy (1991) "Cooling-towers used for free cooling" och J.C. Hensley (1994) "Application of cooling towers for free cooling" som finns refererade och kommenterade. Båda dessa författare är knutna till the Marley Cooling Tower Company.

n.n. (1995) "Natural cooling system designed for hospitals"

En kort notis som rapporterar om ett system för ett sjukhus där inkommande kallvatten för varmvattenberedning först används för att frikyla ventilationsluften. Förutom frikylan erhålls också i detta fall en fri förvärmning av varmvattnet. För byggnader med betydande varmvattenbehov (t.ex. sjukhus) kan detta värme-/kylåtervinningssystem vara en lönsam lösning. Effekt- och tidsmässig överensstämmelse mellan tillgång och behov är två viktiga faktorer som måste beaktas. Frysrisk under den kalla delen av året måste också beaktas.

n.n. (1997) "Operating cooling towers in freezing weather"

Kort rapport från the Marley Cooling Tower Company som behandlar dimensionering och drift av kyltorn vid låga utetemperaturer med avseende på frysrisk.

n.n. (1999) "Integrated Comfort introduces 'NightSky' system"

En kort "PR-notis" angående ett system som erhållit ett regionalt omnämmande/pris från ASHRAE angående dess energieffektivitet. Systemet i fråga är ett så kallat "roof-pond system" där vatten nattetid kyls genom förångning från taket och sedan lagras för att täcka kylbehov under dagen. Kylbehovet dagtid täcks dels via ett vattenburet golvkylsystem (som vid värmebehov används för golvvärme) och fan-coils. När den naturliga evaporativa nattkylan inte räcker till kompenseras detta med en vanlig chiller.

P. C. Agarwal and M. L. Mathur (1983) "Review of passive system for natural cooling of buildings"

Denna artikel handlar om följande naturliga källor för kylning av byggnader; strålningsutbyte med atmosfären, förångning av vatten, solvärme samt nattkyla/nattvärme genom lagring i vatten ovan innertak. Denna uppdelning speglar lite att det saknas en tydlig röd tråd i denna artikel men som titeln antyder handlar det om passiv/naturlig kyla. Svårigheterna med dessa typer av passiv/naturlig kyla består i att det krävs stora ytor i "rätt" riktning samt stort utrymme för lagring av termisk energi. Storleksordningen på det värmeutbyte mellan en yta och atmosfären är omkring 50 W per m².

Evaporativ kylning nämns som en tänkbar teknik i torra klimat med tillgång till vatten. Soldrivna kylprocesser omnämns också; soldriven absorptionskylmaskin samt sorptiv kyla.

Nattkyla genom lagring i vatten ovan innertak innebär att vatten (i plast-påsar) placeras ovan ett innertak av metall. Vattnet kyls nattetid via strålningsutbyte med atmosfären och upptar värme från rummet dagtid. Dagt看id rullas då en isolering automatiskt ut över vattnet för att isolera mot höga omgivningstemperaturer och direkt solstrålning. Vitsen med denna teknik är att den även används omvänt vintertid där isoleringen rullas av dagtid och solvärme lagras i vattnet vilken sedan används nattetid för att värma rummet då isoleringen rullats ut för att hindra värmeutbyte med omgivningen/atmosfären.

G. Agas, T. Matsaggos, M. Santamouris and A. Argyriou (1991) "On the use of the atmospheric heat sinks for heat dissipation"

En artikel som behandlar "naturlig" kylning av en enplans byggnad (80 m²) lokaliserad i Aten. Simuleringar har gjorts för kylning av tilluften via; markförlagd tilluftskanal, direkt samt indirekt evaporativ kylning samt kylning via nattkyla. Alla resultat presenteras i form av hur mycket lägre inomhus-temperaturen blir i förhållande till ett fall där denna kylning inte tillämpas och därmed går det inte att få någon uppfattning om själva kylförmågan. Likaså kvantifieras olika parameterstudier i form av förändringar i luft-hastighet istället för luftflöden. Inte heller har de olika teknikerna ställts i relation till varandra. Intressant vore exempelvis att få reda på temperaturverkningsgraden och tryckfallen för den markförlagda tilluftskanalen för att kunna jämföra med fuktighetsgraden och tryckfallen vid evaporativ kylning. Kylförmågan i dessa två fall varierar även i tiden sett över dygnet vilket också vore intressant att se. Alla tekniker utom nattkylan kunde ha analyserats i form av kylförmåga istället vilket möjliggjort en jämförelse.

E. Albertsson (1986) "ERICOOOL för kylning av telekommunikationsanläggningar"

En artikel om systemet som kallas ERICOOOL. Författaren poängterar här vikten av en avbrottsfri kylfunktion för telekommunikationsapplikationer. Valet mellan aktiv och passiv teknik beror enligt författaren på lokala energikostnader, temperaturkrav och anläggningsstorlek.

R. Alexandersson and A. Junborg (1986) "ERICOOOL system för passiv kylning"

En beskrivning av enkla passiva system för att kyla stationslokaler för telekommunikation. (1) kylning via luftströmning genom egenkonvektion i en dubbelmantlad plåtvägg, (2) och (3) själv-cirkulation av vätska mellan en kylare och en kylmedelskylare "termosifon", utan respektive med ackumulatortank. Artikeln beskriver enkla men i och för sig intressanta system för kylning av elektronik.

Information om temperaturkrav inomhus och i vilka klimat systemen är tänkta att användas i saknas dock.

R. Almquist (1986) "Drifterfarenheter av ERICOOL för aktiv kylning"

En artikel om systemet som kallas ERICOOL. I artikel talas om en erforderlig framledningstemperatur på 17°C och att denna kan beredas via frikyla om utetemperaturen är lägre än 15°C via direktkylning i kylmedelskylaren. I artikeln ges också lite riktvärden om värmebelastning från telekommunikationsutrustning, 500 W/m² (1986) men också att man inom en inte alltför avlägsen framtid kommer man att nå 1000 W/m².

O. Andersson, S. Johansson and B. Nordell (1994) "Innovative and cost-effective cold storage applications in Sweden"

Denna rapport behandlar möjligheterna att täcka en byggnaders värme- och kylbehov med värme och kyla från ett marklager. I rapporten studeras aquiferlager och borrhålslager. I båda fallen används ingen värmepump utan kylbehovet täcks direkt via kallt vatten från marklagret under den varma delen av året och delar av värmebehovet med uppvärmt vatten under den kalla delen av året. För att inte marklagrets medeltemperatur successivt skall sjunka, sett över en längre tidsperiod, måste i detta fall årligen en del värme tillföras, marklagret måste energimässigt balanseras på årsbasis. Vid ett aquiferlager antas detta värmebehov täckas genom värmeväxling mot varm uteluft medan vid ett borrhålslager (vars årsmedeltemperatur är högre) antas att billig lågtemperaturvärme via fjärrvärmereturen används (halva priset sommartid jämfört med vinterpriset). Slutsatserna i denna mer överslagsmässiga ekonomiska jämförelse med mer konventionell teknik är att båda typerna av system med marklager inte kostar mer i investering samt att det totala energibehovet är mindre. Författarnas slutsats är att energibehovet kan reduceras med ca 40 % vid ett aquiferlager. Någon siffra när det gäller borrhålslager ges inte utan här konstaterar författarna att el kan ersättas med billig värme sommartid. Med det senare avses troligtvis att den el som kylmaskinerna skulle kräva sommartid inte längre behövs utan kylbehovet täcks via "frikyla" från marklagret. Istället krävs att värme tillförs sommartid för att inte medeltemperaturen i marklagret successivt skall sjunka. Denna värme antas vara billig värme via fjärrvärmereturen.

E. A. Arens and N. S. Watanabe (1986) "Method for designing naturally cooled buildings using bin climate data"

Artikeln beskriver en manuell metod för att bedöma om en viss typ av "naturlig" kyla kan tillämpas för en viss byggnad. Metoden bygger på s.k. "building climatic charts" vilket innebär att en viss tekniks potential grafiskt kan beskrivas som ett område i ett tillståndsdigram för fuktig luft (Mollier-diagram). Antalet timmar som uteklimatet faller inom detta område är antalet timmar som tekniken kan användas för kylning.

Artikeln i sig är ganska stökig och den behandlar mest problematiken med att använd s.k "bin-data" i detta sammanhang. "building climatic charts" innebär i princip att man utgår från ett område i mollier-diagrammet (komfortzonen). Sedan markeras områden där kyla och värme kan erhållas via olika naturliga passiva eller aktiva lösningar (tex. "kylning" utan ventilation, med ventilation, med evaporativ kylning, med konventionell AC).

I detta har hänsyn tagits till aktuellt omgivningsklimat (bla sambandet mellan dygnstemperaturens amplitud och månadsmedelvärde för absolut fuktighet), byggnadens tyngd och utformning samt människans respons på olika fuktigheter och lufthastigheter. Det senare borde väl redan ha vägts in i komfortzonen kan man tycka. Enligt min uppfattning är detta mest ett grafiskt pedagogiskt hjälpmedel för att beskriva och förklara potentialen för olika lösningar för ett specifikt objekt, vilket i och för sig är behjärtansvärt. Konceptet med "building climatic charts" är framtaget av D. Givoni och finns beskrivet i D. Givoni (1976) "man, climate and architecture".

D. Arnold (2000) "Thermal storage case study: Combined building mass and cooling pond"

En omfattande artikel som ingående beskriver tankarna bakom designen av och utförande av systemlösningar för en större kontorsbyggnad i England. Det unika i detta fall är att man valt att kombinera passiva och aktiva system. Ventilationslösningen är i grunden baserad på naturlig ventilation men det finns även ett mekaniskt tilluftssystem installerat som endast skall aktiveras när den naturliga ventilationen inte räcker till. När det gäller komfortkyla är grundtanken att lagra (naturlig eller mekanisk via tilluftssystemet vid behov) i bjälklaget under natten. I och urlagring underlättas genom att 75 % av betongtakytan i rummen "gjorts tillgänglig". Som komplement till detta finns även kylbafflar installerade som under viss del av året kan hämta frikyla, via en värmeväxlare, från en konstgjord damm vars huvuduppgift annars är för lokalt omhändertagande av dagvatten. Denna damm fungerar därmed även som lager för frikyla. När frikylan inte räcker till aktiveras kylmaskiner vars kondensorvärme då dumpas i den konstgjorda dammen istället för i ett kyltorn. Ingen frikyla kan därmed erhållas vid kylmaskindrift. Det kommer också att ta tid innan temperaturen i dammen sjunkit tillräckligt mycket efter en period med kylmaskindrift innan dammen återigen kan utnyttjas för frikyla. (Det senare nämns också i artikeln men om detta i praktiken är något problem framgår dock inte. Hur lång tid det tar att återställa temperaturen vore också intressant att få reda på). Några dimensioneringsförutsättningar som nämns för den konstgjorda dammen är; djupet måste vara minst 2.5 m för att undvika tillväxt av "water plants", volymen måste vara tillräcklig för att ta omhand dagvattnet, exponerad yta måste vara tillräckligt stor så erforderligt värmeutbyte sker med omgivningen så den kan fungera som värmesänka (för såväl frikylan som kondensorvärmets) och naturligtvis att denna lösning inte får kosta mer än en konventionell kyltornslösning.

J. Asrael, P. E. Phelan and B. D. Wood (2000) "Feasibility of lowering the condenser's inlet water temperature of a chiller using thermal water storage"

En artikel som handlar om att nattetid lagra kylvatten som kylts i ett kyltorn under natten för att sänka kylmaskinens kondenseringstemperatur dagtid. Detta görs i syfte att reducera kylmaskinens erforderliga eleffektbehov (peak demand) och elenergianvändning och därmed minska driftskostnaderna.

Det lokala klimatet, dygnsmedelvärdet och dygnsamplituden för uteluftens våta temperatur, avgör om detta är en vettig lösning. Uteluftens våta temperatur måste därmed vara så hög att kyltornet inte kan bereda tillräckligt låg temperatur som direkt kan användas för frikyla men ändå så pass låg att kylmaskinens kondenseringstemperatur verkligen kan sänkas rejält dagtid. I artikeln talas om gränsvärdet 12,8°C med avseende på den kylvattentemperatur som kan beredas och lagras på detta sätt. Kan man bereda och lagra lägre vattentemperaturer bör man överväga att istället tillämpa ordinär frikyla. Klimatet i "central western part of USA" är enligt författarna lämpligt för denna systemlösning. Tekniskt optimal storlek på ackumulatorn är ca. 1000 m³ då det dimensionerande kyleffektbehovet är 300 ton (ca. 1MW) för några studerade orter i USA (bla Las Vegas NV, Sacramento CA). I dessa fall erhålls en reduktion av erforderlig eleffekt och elenergi som uppgår till ca. 30 %. Med en mindre ackumulator minskar besparingen medan med en större ackumulator ökar besparingen endast marginellt. Hur stor ackumulator som är ekonomiskt optimal måste dock studeras från fall till fall. Viktigt är också att kylvattnet lagras på sådant sätt så att ingen omblandning sker, dvs. stratifierat.

En snabb titt på hur den våta temperaturen varierat i Stockholm 1990 indikerar att dessa värden inte skiljer sig så mycket mot de värden som anges i artikeln för "central western part of USA". Av generellt intresse är väl också det faktum att mitt i sommaren sjunker inte den våta temperaturen under +10°C under särskilt många timmar.

M. N. Bahadori (1984) "Natural cooling systems and an economic feasibility study of long-term storage of coolness"

En artikel som i huvudsak handlar om säsongslagring av (fri-)kyla i olika typer av marklager och aquifärer. De marklager som studeras är en stenbädd som luft cirkuleras genom, borrhålslager, aquifärlager, underjordiskt islager samt nedfrysning av jordlager. De olika typerna av marklager analyseras för att täcka ett fiktivt kylbehov och en "utnyttjningsfaktor" bestäms för respektive system. Utnyttjningsfaktorn är i princip ett SPF-värde för systemet dvs. hur mycket kyla som erhålls från systemet i förhållande till hur mycket drivenergi som måste uppoffras. Beräkningen av systemens utnyttjningsfaktor är tydligt redovisade men relativt schablonmässiga, men känns ändå förtroendeingivande. Ett frågetecken är angående storleken på den sk "coolness recovery factor" som förekommer i vissa ekvationer men inte i andra.

I artikeln görs sedan en ekonomisk analys av respektive system inklusive ett konventionellt system med kylmaskin. Den ekonomiska analysen tar hänsyn till investerings och driftkostnader och speciell vikt läggs vid kostnaden för den markareal som måste tas i anspråk. Markpriset ansätts i analysen till 1400 kr/m² (1982). En klassificering finns även för "natural cooling system" som kan tänkas vara intressant att utgå ifrån: A. Källor för frikyla (Uteluftens temperatur och fuktighet, atmosfären +(sjövatten etc.?) B. Lagringsmaterial (kortidsmaterial, långtidsmaterial) C. Drivkraft för fluiden (tryck/densitet, vind, påtvingad) D. Värmeöverföringsprincip (konvektion, fasomvandling, strålning, ledning).

I artikelns appendix A finns även en intressant principiell analys av hur låg temperatur man kan kyla vatten till via värmeutbyte med omgivningen och atmosfären via konvektion, förångning och strålning.

W. P. Bahnfleth and W. S. Joyce (1995) "Stratified storage economically increases capacity and efficiency of campus chilled water system"

En artikel som beskriver bakgrunden till och resultatet av att använda en stor ackumulatortank för köldbäraren till ett campusområde. Med en ackumulatortank kan en större kyleffekt tas ut utan att behöva installera fler chillers. Det mest intressanta i detta fall är att kylbehovet till stor del täcks via frikyla genom att kallt vatten hämtas från en närbelägen sjö, resterande kylbehov täcks av vanliga chillers. Några egentliga diskussioner angående frikyla förs inte i denna artikel utan fokus är på lagring. Artikeln tilldelades "1995 ASHRAE technology award". Frikyla-systemet beskrivs i en senare artikel av T. Peer och W.S. Joyce (2000) "Lake-source cooling".

D. G. Balchin (2001) "Development of free cooling for ISP and 3G applications"

En artikel som mest liknar en mindre lyckad reklambroschyr som beskriver en luftbehandlingsprodukt. Såvitt det verkar så handlar det om en rumsapparat med två driftfall, 100 % uteluft eller 100 % recirkulation, men även en mellanform är möjlig för att även vid recirkulationsdrift utnyttja kall uteluft för frikyla. Vid cirkulationsdrift kyls luften via ett dx-kylbatteri. Några aspekter omkring frikyla behandlas egentligen inte alls i denna artikel utan mellan raderna kan man läsa att med frikyla avses utnyttjande av kall uteluft. Det enda intressanta i denna artikel är att de interna värmelasterna i standard telefonväxlar sägs vara ca 350 W/m² och uppskattas stiga till ca 1000 W/m² i de nya växlarna för ISP och 3G teknik.

J. M. Barbaree (1991) "Controlling legionella in cooling towers"

En artikel som ingående går igenom förutsättningar för legionellatillväxt i kyltorn samt diskuterar olika sätt att förhindra att epidemier uppstår.

W. J. Batty, H. Al-Hinai and S. D. Probert (1991) "Natural-cooling techniques for residential buildings in hot climates"

En artikel som handlar om olika sätt att erhålla naturlig kyla, inklusive sol-driven absorbtionskyla. Författarna inleder med att konstatera att förutsättningen för att kunna nyttja någon naturlig värmesänka är att värmestillskott från solen (eg. all internvärme) reduceras. Författarna delar upp naturliga tekniker i passiva, hybrid och aktiva tekniker. Till de passiva teknikerna hör tekniker som endast nyttjar förnyelsebara energikällor för att föra bort värme från en byggnad (här ingår då även medel som tas till för att reducera internvärme tex. solavskärmning). När pumpar eller fläktar erfordras benämns detta hybridlösningar.

När det gäller aktiva tekniker avses i huvudsak soldrivna kylprocesser (nyttjar i och för sig också till stor del förnyelsebar energi men normalt även en viss mindre andel icke förnyelsebar energi (el)). Passiva och aktiva lösningar skiljs normalt åt genom hur stort det termiska lagringsbehovet är. Lagringsbehovet är relativt litet vid soldriven absorbtionskyla till följd av att kylbehov och tillgång till sol normalt är i fas med varandra medan de passiva teknikerna normalt kräver lagring från dag till natt. Författarna diskuterar också en del om begreppet termisk komfort, exempelvis adaptiv reglering (acklimatisering <-> termisk komfort) och påverkan av luft-hastigheter. Författarna nämner att enligt ASHRAE kan det övre temperaturkravet höjas med tre grader om en takfläkt installeras. I artikeln nämns också att den långvågiga värmeutstrålningen från jorden minskar till följd av att halten vattenånga och mängden stoff ökat i atmosfären. Detta minskar potentialen för en del passiva tekniker (om detta egentligen är växthuseffekten som avses framgår ej). När det gäller "roof pond system" sägs att inget enkelt och billigt sätt finns för att utföra den erforderliga flytten av det isolerande skiktet och därför finns denna teknik inte kommersiellt tillgänglig. Författaren nämner vidare att tak-konstruktionen i denna typ av system måste tåla en extra belastning på 200 - 400 kg/m² samt vara 100 % vattentät. Enligt författarens referenser hävdar [Hey] att ett rätt dimensionerat "roof pond system" kan skapa termisk komfort i envåningsbyggnader i de flesta klimat. I anslutning till evaporativ kylning nämns också möjligheten att nattetid bereda kallt vatten via förångning och strålning och sedan laga detta för att använda för sensibla kyländamål dagtid, via fan-coils. (Beredningen av kallvattnet skulle kunna ske via ett kyltorn eller en kylmedelskylare). Författaren avslutar med att diskutera några olika intermittenta och kontinuerliga solar cooling system, dvs. adsorptions- och absorptionssystem såväl tekniskt som ekonomiskt.

H. P. Becker (1985) "How about a fancy swamp cooler for computer rooms?"

En artikel som handlar om alternativa utformningar av en luftbehandlings-anläggning (100% cirkulationsluft) för ett datorrum. Författaren räknar igenom några olika alternativa systemutformningar men det är svårt att följa detta eftersom förutsättningarna inte klart framgår och inte heller hur de aktuella anläggningarna ser ut samt att det vimlar av siffror i texten. Inte heller det faktum att diskussioner i viss mån förs utgående från tillståndsdiagram för fuktig luft gör detta mer begripligt. Egentligen ingen egentlig diskussion alls om frikyla.

R. Belarbi and F. Allard (2001) "Development of feasibility approaches for studying the behavior of passive cooling systems in buildings"

En artikel som teoretiserar omkring hur stor potentialen för frikyla är beroende av ortens klimat etc. Generellt sett känns det som att författarna försöker gå lite för långt men det som är intressant är de potentialindex som definieras som verkar vara direkt tillämpbara för exempelvis evaporativ kylning.

De sensibla potentialindex som definieras är (se figur 2 i artikeln):

- *Cooling potential* = integralen $(t_{ute} - t_{ute,våt}) \partial \text{tid} [^{\circ}\text{Ch}]$

som visar potential för exempelvis evaporativ kylning som funktion av uteklimatet

- *Available cooling potential* = integralen $(t_{rum} - t_{ute,våt}) \partial \text{tid} [^{\circ}\text{Ch}]$
då $t_{rum} > t_{ute,våt}$

som visar generell potential för exempelvis evaporativ kylning som funktion av rumstemperaturkrav

- *Useful cooling potential* = integralen $(t_{rum} - t_{evap}) \partial \text{tid} [^{\circ}\text{Ch}]$
då $t_{rum} > t_{evap}$, där $t_{evap} = t_{ute} - \text{ETA} \cdot (t_{ute} - t_{ute,våt})$

som visar specifik potential för exempelvis direkt evaporativ kylning med viss verkningsgrad (ETA) som funktion av rumstemperaturkrav

- *Cooling requirement potential* = integralen $(t_{ute} - t_{rum}) \partial \text{tid} [^{\circ}\text{Ch}]$
då $t_{ute} > t_{rum}$

som generellt visar sensibelt kylbehov?

Ovanstående potentialindex förutsätter luftburen kyla och konstant luftflöde därav enheten $[^{\circ}\text{Ch}]$

Dessa index känns användbara för att karaktärisera klimatet på en viss ort samt även generellt visa potentialen för evaporativ kylning som funktion av rumstemperaturkravet och det generella kylbehovet vid luftburen kyla. Stora likheter finns även med "Ventilation Load Index", där luftflödet förkortas bort så man exempelvis erhåller enheten $[\text{kWh}/(\text{l/s})]$ istället för $[^{\circ}\text{Ch}]$. (Det vore kanske intressant att göra en studie av svenska klimatdata enligt detta tankesätt, det vill säga gå lite längre när det gäller "Ventilation Load Index")

D. Blackhurst (1999) "Data cooling for free"

En artikel som handlar om "thermosyphon cooling", dvs. direktkylning av köldbäraren mot en låg utetemperatur via kylmaskinens köldmedium utan kompressordrift ("refrigerant migration"), dvs kylmaskinen används som värmeväxlare. I systemet i fråga används en evaporativ kondensor. Författaren nämner tre förutsättningar för att erhålla ett väl fungerande och effektivt system, relativt höga erforderliga köldbärartemperaturer, någorlunda konstant kylbehov (det tar relativt lång tid att växla från frikyla till mekanisk kyla i ett termosifonsystem) samt att systemet skall delas upp i flera kylenheter som succesivt kan tas i bruk. Det mest unika med denna anläggning är att ammoniak används som köldmedium. I denna anläggning har tubförångaren försetts med en ytbehandling som förbättrar förångningen (det krävs en lägre temperaturdifferens för att förånga köldmediet?!) vilket har positiva effekter både för frikylningen och den normala driften. I denna anläggning har man också tvingats att modifiera utrustningen för oljeavskiljning (på vilket sätt framgår inte). Artikeln avslutas med angivelser av "annual average system performances" (cosp) under vissa förutsättningar, hur dessa godhetstal definieras framgår inte.

A. Blyth (1995) "Curtain walling provides for natural cooling"

En kort arkitektoniskt inriktad artikel som behandlar utbyte av en befintlig dubbelglasfasad på en kontorsbyggnad i England. Artikeln behandlar den fysiska utformningen men inte den tekniska funktionen. Innehållsmässigt finns inte mycket att hämta i denna artikel angående frikyla.

J. E. Braun (1990) "Reducing energy costs and peak electrical demand through optimal control of building thermal storage"

En lång artikel som handlar om nattkyla. Med begreppet frikyla avses i denna artikel användning av uteluft i ett återluftsaggregat, det vill säga så länge utetemperaturen är lägre än rumstemperaturen erhålls en viss mängd (fri-)kyla. Artikeln blir lite svårgripbar eftersom den behandlar lite väl många aspekter och variabler. Inledningsvis studeras två reglerstrategier för kylning, dels "night set-back" som sägs vara den konventionella och dels "dynamic building control" som författarna förespråkar. "night set-back" innebär att AC-systemet slås av nattetid (rumstemperaturen stiger nattetid) och att man så sent som möjligt på morgonen börjar kyla med hög effekt så att det övre temperaturkravet i rummet nås strax innan arbetsdagen börjar. Under arbetstid regleras sedan mot att hålla rumstemperaturen vid det övre temperaturkravet. "dynamic building control" däremot innebär att man tillämpar nattkyla, företrädesvis via användning av naturligt kall uteluft men med en lägre eltaxa nattetid, men kan eventuellt även kyla mekaniskt för att erhålla ekonomiska fördelar.

Vid en optimalt utformad kylning/styrstrategi når man på detta sätt det undre temperaturkravet i rummet då arbetstiden börjar på morgonen och via ett under dagen succesivt stigande börvärde för rumstemperatur når man det övre temperaturkravet då arbetstiden slutar på kvällen. Att energi-användningen kommer att minska då den senare styrstrategin tillämpas är inte en slutsats från denna simuleringsstudie som man blir så förvånad över, eftersom om inte rumstemperaturen tillåts variera under dagen kan inte heller byggnadens termiska massa utnyttjas. (Dessa två fall är egentligen inte heller direkt jämförbara eftersom olika termiska klimat erhålls under arbetstid). I arbetet studeras också inverkan av kylmaskinens dellastegenskaper, effektiviteten på flödesregleringen av fläktarna samt om byggnadsstommen är tung eller lätt. Inte heller följande slutsatser som dras är förvånande; att en tung byggnadskonstruktion i kombination med goda dellastegenskaper för systemet ger störst potential för minskning av det totala elbehovet, minskning av erforderlig installerad eleffekt (peak load) samt att driftkostnaderna minskar, speciellt om en lägre natta för el förutsätts. Författaren nämner följande incitament för att använda nattkyla; kan reducera installerad eleffekt, möjliggör att låga elpriser nattetid kan utnyttjas, det mekaniska kylbehovet kan minskas vid låga utetemperaturer (frikyla) samt att AC-systemet under nattetid kan arbeta under mer gynnsamma yttre förhållanden. Potentialen för minskade driftkostnader beror vidare på; eltaxans utformning, AC-systemets dellastegenskaper, uteklimat, hur stor del av dygnet verksamhet bedrivs samt byggnadens termiska massa.

En utetemperatur som är lägre än rådande rumstemperatur innebär en potential för frikyla ur byggnadens perspektiv. Ur kylmaskinens och kylbatteriets perspektiv finns dock ingen frikyla förrän utetemperaturen är lägre än erforderlig tilluftstemperatur vid ett luftburet kylsystem. Så länge utetemperaturen är högre än tilluftstemperaturen innebär det en kylbelastning för kylmaskinen/kylbatteriet. Ovanstående skillnad kan kanske vara intressant att studera vidare eftersom det handlar om ganska många timmar som utetemperaturen faller inom detta intervall (ca 15°C - 25°C).

W. G. Brown and P. Howell (1987) "The use of groundwater for cooling telephone exchanges"

En artikel som handlar om kylning av telefonväxelstationer i Storbritannien med kallt grundvatten från borrhål. Grundvattentemperaturen sägs vara omkring 10-11°C i Storbritannien, vilket motsvarar regnvattnets (års-?) medeltemperatur. Vanligtvis återförs vattnet också via ett borrhål som är lite grundare än det borrhål man pumpar vattnet från. Möjlighet finns att utrusta "återföringsborrhålet" med en stand-by pump så att systemet kan fungera "baklänges" om pumpen i det borrhål man normalt pumpar från skulle haverera. Att ta hänsyn till vid om man överväger ett borrhålssystem för kyla är; (1) vattenkvalitet, (2) vattenkvantitet, (3) kostnader samt (4) risk för kortslutning.

(1) Vattnet i Storbritannien har vanligtvis ett PH som är omkring 7 vilket medför att det sällan behövs rostfria värmeväxlare. Även vattnets hårdhet är viktig eftersom utfällning av Kalcium Karbonat medför en beläggning på värmeväxlarytor. Detta fenomen förstärks om vattnet uppvärms (vilket det gör om än bara några grader) eller om luft (syre?) finns löst i vattnet. Den viktigaste aspekten angående vattnets kvalitet är dock dess temperatur på olika djup. (2) Den lokala grundvattentillgången måste undersökas. Information om detta och förväntad vattentemperatur kan enkelt fås från närliggande brunnar. Möjlighet finns också att konsultera en geolog eller provborra, vattentillgången kan dock variera mycket sett bara några meter i sidled. I detta sammanhang skall man inte förringa råd från en slagruteundersökning säger författaren. (3) Kylning via vatten från borrhål skall naturligtvis endast övervägas om summan av investerings- och driftskostnaden understiger den för ett konventionellt alternativ (vad nu ett konventionellt alternativ anses vara). Författarens övergripande slutsats angående detta är att ekonomiska fördelar endast kan uppnås vid förhållandevis stora kylbehov, det vill säga vid storskaliga projekt. (4) Vid design av ett borrhålssystem måste naturligtvis en mängd studier göras omkring den förväntade prestandan, exempelvis risk för kortslutning så att kylvattentemperaturen successivt kommer att stiga. Författarens erfarenhet är att det är svårt att göra teoretiska beräkningar som överensstämmer med verkligheten enligt mätningar. Författaren avslutar med att diskutera omkring kombinerade lösningar där värme hämtas från borrhålet vintertid via en värmepump. En renodlad värmepumplösning sägs normalt sett inte gå att räkna hem i Storbritannien (1987).

För ett fall där hela borrhålskostnaden kan tillskrivas en kylapplikation enligt ovan (som då skall vara ekonomiskt fördelaktig jämfört med ett konventionellt alternativ) kan dock även en värmepumpsinstallation tänkas vara ekonomiskt fördelaktig. Författaren talar även om problem med stigande grundvattennivåer i större städer som hotar att skada byggnadernas grundläggning, vilket skulle kunna utgöra ett samhälls-ekonomiskt argument för anläggning av borrhålsanläggningar för kylning.

M. F. Brunk (1993) "Cooling ceilings - an opportunity to reduce energy costs by way of radiant cooling"

Artikeln utvärderar olika systemlösningar med kyltak. I vissa systemlösningar kan frikyla via kylmaskinens kyltorn erhållas indirekt via en värmeväxlare. Artikeln fokuserar mest på kyltakens "förträfflighet". Jämförelsen mellan de 6 olika systemlösningar som presenteras är omfattande men tyvärr svår genomtränglig. När det gäller frikyla så är de relativt höga erforderliga kylvattentemperaturerna vid kyltak fördelaktiga, författaren poängterar dock kondensrisken och eventuellt behov av att avfukta ventilationsluften. (En intressant tanke som gäller frikyla väcks dock till följd av att en av systemlösningarna innefattar ett islager. Denna lagringsmöjlighet innebär dels att det totala energibehovet för kylning i de flesta fall minskar sett på dygnsbasis men även att potentialen för frikylning av islagret är större nattetid till följd av naturligt lägre utetemperaturer. Detta gäller ju också vid exempelvis lagring i byggnadskonstruktionen och ännu mer markant vid exempelvis säsongslagring)

D. L. Catanese (1991) "Energy analysis of low-temperature air distribution systems and reduced economizer-cycle cooling"

En artikel som behandlar potentialen till att minska den totala energi-användningen genom att distribuera ventilationsluften vid en lägre temperatur (7°C istället för 13°C). (Spontant ur ett frikyl och även drift-ekonomiskt perspektiv är en sänkning av temperaturen på distributions-mediet är väl att gå åt fel håll?). Utgångspunkten i detta fall är att ett islager används i syfte att utnyttja lägre energipriser under låglastperioder (billig nattel). Luftbehandlingsanläggningen är ett återluftssystem med fläktförsedda VAV-boxar (typ fan-coil med värmebatteri) där den kalla tilluften blandas med varm rumsluft från undertaket innan den tillförs rummet. (Vintertid distribueras troligtvis tilluften vid en betydligt högre temperatur och vid behov värms den ytterligare i VAV-boxen). Den ökning av energianvändningen som är associerad till driften av kylmaskinerna (minskad möjlighet att använda frikyla, dvs direkt utnyttja kall uteluft) sägs kompenseras av ett lägre energibehov för distribution av ventilationsluften till VAV-boxarna (ett totalt sett lägre luftflöde krävs ju vid lägre temperatur på tilluften). Författaren till denna artikel väljer att enbart studera förändrade energibehov utan att studera ekonomiska konsekvenser till följd av varierande energipriser. Utgångspunkten för detta systemval har dock ändå varit baserad på ekonomi till följd av att ett islager används för att nyttja billig drivenergi under låglasttid.

(Hur det förhåller sig med relevansen av detta vid svenska förhållanden kan man fundera över. Helt klart är det så att mycket el krävs för att distribuera luft i ett luftburet system, i många fall mera än vad kylmaskinerna kräver, och därmed blir inverkan av en ökad användning av frikyla marginell med tanke på det totala (el)energibehovet.

Detta är en intressant tanke då exempelvis nattkyla övervägs, man kan tänka sig att exempelvis ett lägre elpris nattetid ger en ekonomisk vinst men detta behöver inte nödvändigtvis innebära att energianvändningen totalt sett minskat. Vid en studie är det nog viktigt att betänka detta så man inte blandar ihop minskad/ökad energianvändning med minskad/ökad driftskostnad vilka inte behöver peka åt samma håll. En minskad/ökad energianvändning eller speciellt en omfördelning mellan olika energislag kan också tänkas peka i en helt annat riktning vid en miljöanalys.

W. J. Coad (1994) "Open chilled-water systems for free cooling - a simple concept that lacks simplicity"

Artikeln handlar om användning av en öppen kyltornslösning för frikyla, vilket författaren kallar ett "okomplicerat system som är komplicerat". Författaren för fram tre olika "fenomen" som man måste ta hänsyn till; termiska, kemiska och hydrauliska. Av de termiska fenomenen är naturligtvis frysproblematiken den mest uppenbara, den erforderliga utgående vattentemperaturen är mycket närmare fryspunkten vid frikyla jämfört med vid normal användning av kyltornet för att dumpa värme från kondensorn (ca. 7°C jmf 30°C). Författaren tar upp ett antal metoder som kan reducera risken för frysning vid låga uytetemperaturer; använda "fullt" vattenflöde i kyltornet, värma ingående vatten till kyltornet, använda högre utgående köldbärartemperatur, minska eller helt stoppa luftcirkulationen. Det andra termiska fenomenet är oavsiktliga inneslutningar av vatten (mellan två ventiler etc.) som expanderar vid värmeinläckning vilket lokalt kan leda till skadligt höga tryck trots att detta är ett "öppet" system. Av de kemiska fenomenen är det dels att vattnet i kyltornet blir luftmättad vilket leder till att syre kommer att frigöras lokalt i systemet (där trycket är lägre, temperaturen är högre) och skapa korrosionsproblem. Denna korrosion kan förvärras ytterligare till följd av att även sådana ämnen som svavel och klor som finns naturligt i luften också löses ut i vattnet i kyltornet. Till de kemiska fenomenen inräknar också författaren anrikning av partiklar. Författaren säger att; kemisk behandling med korrosionsinhibitorer är absolut nödvändigt, undvik öppna kyltornslösningar i områden med höga föroreningskoncentrationer i luften, installera "corrosion coupons" (provbiter) för periodisk kontroll samt undvik komponenter i järnmaterial om möjligt. För att ta hand om partiklar måste olika typer av effektiva filter installeras. Slutligen tar författaren upp det hydrauliska fenomenet tryckslag som om det uppstår kan ställa till med skada till följd av de höga tryck som uppstår lokalt. (Det senare är väl i och för sig inget som är unikt för just öppna kyltornssystem för frikyla). Författarens slutsats är att det många gånger kan vara så svårt eller så dyrt att komma tillrätta med dessa problem att man bör överväga en annan lösning för att alstra kyla vintertid.

D. Coggan (1986) "Mixed air control with DDC"

Artikeln handlar om olika aspekter omkring inblandning av frånluft i ett återluftssystem, där bland annat en diskussion förs angående hur reglering skall göras för att erhålla frikyla. Artikeln är ganska intetsägande och av mindre intresse när det gäller frikyla.

T. De Saulles (1995) "Free cooling revisited"

Författaren diskuterar i huvudsak uppbyggnader av direkta och indirekta kyltornssystem för frikyla. Gällande direkta system tar författaren upp några problemområden; "hydraulisk stabilitet" vid sammankoppling av ett öppet och ett slutet system, svårigheter med drift och underhåll, "flytande" kylvattentemperatur (borde väl även gälla indirekta system), erforderligt vattenfilters effektivitet och tillförlitlighet. Indirekta system innebär att antalet frikylatimmar minskar relativt ett direkt system. En variant av indirekt system som författaren kallar "load shaving" system presenteras, detta innebär att en evaporativ kylmedelskylare (alt. torr kylmedelskylare) seriekopplas med förångaren för för-kylning av köldbäraren. Detta kräver en separat kylmedelskylare om inte någon eller några av flera befintliga, som dimensionerats för sommarfallet, kan användas. En kort och tydlig artikel men utan egentliga highlights. I T. De Saulles (1996) "Free cooling systems - design and application guide" finns betydligt mer information att hämta.

T. De Saulles (1996) "Free cooling systems - design and application guide"

En rapport av handbokskaraktär som behandlar olika tekniker för frikyla. Begreppet frikyla definieras i detta arbete som: "That amount of cooling which can be obtained from existing, additional or modified system components during low ambient conditions and used to partly or wholly offset the load on mechanical refrigeration plant". Fritt översatt betyder detta: "Den mängd kyla som kan erhållas från befintliga, kompletterade eller modifierade systemkomponenter som under gynnsamma omgivande förhållanden kan användas för att helt eller delvis minska behovet av kyla från en konventionell kylmaskin". Författaren redovisar även en snävare definition som ibland används: "Den mängd kyla som som kan erhållas från ett luftkonditioneringsystem utan att använda (köra) kylmaskinerna. Denna definition utesluter dock olika sätt att använda frikyla för att förkyla och på så sätt minska det reella kyleffektbehovet för en kylmaskin. Författaren har gjort en huvudsaklig uppdelning i vattenbaserade och luftbaserade system för frikyla. Vattenbaserade system innebär i princip olika sätt att direkt eller indirekt använda kyltorn för att alstra en kall köldbärare medan luftbaserade system innebär olika tekniker för att direkt eller indirekt använda låga lufttemperaturer ute för att kyla ventilationsluft. Författaren försöker att behandla såväl grundläggande generellt giltiga principiella/teoretiska aspekter såsom hur många timmar per år det finns potential för användning av frikyla enligt en viss teknik som mer praktiska aspekter som bör beaktas i ett verkligt fall såsom behovet av och teknik för en effektiv filtrering av det vatten som passerar ett kyltorn.

En avgränsning som gjorts i detta arbete är att tekniker som på olika sätt innebär lagring av kyla, tex i byggnadsstommen via nattkyla eller mark- och snölager, inte tas upp.

En sammanfattande slutsats är att detta i högsta grad är ett intressant och relevant arbete där man kan finna en hel del matnyttigt. Önskvärt vore dock att vissa delar behandlades mer utförligt och att även frikylatekniker som innefattar lagring togs upp i denna rapport. Värt att nämna är att författaren under hösten 2002 startar upp ett 2-årigt projekt som är inriktat på frikyla hos BSRIA i England. Del- och slutrapporter från detta projekt bör vara värda att bevaka för den som är intresserad av frikyla.

D. K. Dickson and S. T. Tom (1986) "Economizer control systems"

Denna artikel behandlar styr®ler-algoritmer och givare för "air-side economizer control", dvs utrustning och strategier för att blanda in rätt mängd uteluft i ett återluftssystem som frikyla. Författarna diskuterar utgående från linjer och frekvenser för områden i mollier-diagram. Vad det egentligen handlar om är att öka uteluftflödet då dess entalpi är lägre än frånluften, men författarna är tveksamma till erforderliga givares tillförlitlighet (fuktgivarna) och att de verkligen regelbundet kalibreras. (Artikeln är från 1986, dagens givare kanske är mer tillförlitliga?). Artikeln innehåller kanske inte så mycket nytt men beskriver "air-side economizer control" på ett enkelt, tydligt och pedagogiskt sätt.

I. Dincer (2002) "On thermal energy storage systems and applications in buildings"

En artikel som övergripande behandlar värmelagring ("kyllagring") i byggnader. Artikeln behandlar i princip inte något alls om frikyla utan när det gäller kyla diskuteras fördelen med lagring för att reducera "peak demands". Innehållsmässigt kan dock en del information hämtas angående is-lager samt eutektiska saltlösningar. Författaren förespråkar att såväl energi- som exergianalyser bör göras vid studier av värmelager.

W. Eccleston (1991) "Challenging the design"

En artikel som presenterar en grafisk metod för att beräkna kyl/värme effekt/energi behov samt potential för frikyla. Metoden har stora likheter med användning av utetemperaturvaraktighetsdiagram men i detta fall används istället diagram med osorterade frekvenser för olika ute-temperaturer. I båda fallen utgås från att värmebehovet är en funktion av isolering, omslutningsyta och differensen mellan temperaturen inne och ute (dvs $UA \cdot \Delta T$) som justeras i proportion till utvecklad internvärme. I princip är det nog ekvivalenta metoder med samma begränsningar, exempelvis att kylbehovet i de flesta fall inte är proportionellt mot temperaturskillnaden inne och ute.

K. M. Elovitz (1993) "Can your plant benefit from free cooling?"

Den första av tre artiklar som behandlar 6 olika systemlösningar för frikyla. Denna del handlar om (1) direkt användning av kall uteluft i ett återluftsaggregat (air-side economizer) samt (2) förkylning av luft i ett för-kylbatteri (uppströms det ordinära kylbatteriet) med kyltornsvattnet innan det används för att kyla kondensorn. Artikeln innehåller en del allmänt intressant stoff men kanske inga direkta highligts.

K. M. Elovitz (1994) "Can your plant benefit from free cooling?"

Den andra av tre artiklar som behandlar 6 olika systemlösningar för frikyla. Denna del diskuterar (3) värmeväxlare, som kyls med kyltornsvatten, som parallellkopplas med kylmaskinens förångare, (4) direktanvändning av kallt kyltornsvatten samt (5) slutet glykolvatten system som frikyls via en "torr" kylmedelskylare. Författaren beskriver också i ord en alternativ systemuppbyggnad till (3) som han kallar "load sharing" vilken dock inte går att förstå. Författaren klassificerar även värmeåtervinning via kylmaskin/värmepump som frikyla eftersom kylmaskinens förångare "frikyls" mot ventilationsluften. Artikeln innehåller en del allmänt intressant stoff men kanske inga direkta highligts.

K. M. Elovitz (1994) "Can your plant benefit from free cooling?"

Den tredje av tre artiklar som behandlar 6 olika systemlösningar för frikyla. Denna del diskuterar (6) "refrigerant migration" det vill säga värmetransport från förångare till kondensorn utan att köra kompressorn, användning av kylmaskinen som värmeväxlare. Artikelserien avslutas med en del reflektioner angående design och utförande av kyltorn för frikylapplikationer. Artikeln innehåller en del allmänt intressant stoff men kanske inga direkta highligts.

L. C. Fenster and A. J. Grantier (1981) "Natural cooling"

I artikeln beskrivs ganska ingående några olika system för frikyla; air-side economizer (inblandning av kall/torr uteluft via ett återlufts-system), tower-water injection respektive "heatexchanger" (direkt och indirekt kylning via ett kyltorn). Frikyla via "refrigerant migration" vid centrifugalkompressor klassa också som indirekt kylning. I artikeln utgås från ett grundfall för att beräkna den årliga besparingen och återbetalningstiden vid implementering av de olika frikylateknikerna på olika platser i USA. Artikeln är dock från 1981 och därför är väl kanske inte siffrorna up-to-date.

F. M. Flourentzou, J. van der; Roulet, C.A. (1998) "Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients"

Artikeln behandlar matematisk modellering av naturlig ventilation (för passiv kylning av byggnader). Relevansen av denna artikel med avseende på frikyla är låg medan den som är intresserad av att kunna räkna på naturlig ventilation nog kan finna en del matnyttigt. (som kuriosa kan nämnas den intressanta inledningen angående den komplex verkligheten och modelleringen av densamma).

H. Fujii and L. Lutzenhiser (1992) "Japanese residential air-conditioning: natural cooling and intelligent systems"

En artikel som egentligen handlar om kulturella skillnader mellan Japan och USA vad gäller typ av system för värme och kyla. I Japan har traditionellt fokuserats på att tillföra värme eller kyla i anslutning till enskilda personer och inte att värme eller kyla hela rum. Det allra vanligaste systemet idag för att värma och kyla bostadshus är via reverserbara värmepumpar, med en utedel och en inredel. En enkätstudie har dock visat att de flesta föredrar "naturlig kyla", det vill säga hellre öppnar ett fönster än aktiverar kylmaskinen. Inte mycket att hämta om frikyla i denna artikel.

F. Gabrielli and G. Meli (1990) "Thermal simulation for power equipment using natural cooling"

En artikel som presenterar teoretiska modeller för att beskriva kylning av elektronikutrustning via naturlig konvektion men inget om frikyla.

G. Gan (1998) "A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings"

En artikel där författarna studerat "a tromb wall" (glasad fasad för att generera ett ventilationsluftflöde) med hjälp av CFD teknik. Dessa lösningar är oftast använda för att tillgodose värmebehov med passiv solvärme men i denna artikel diskuteras även utgående från att tillgodose kylbehov passivt med samma koncept. Författaren inleder med att säga att många byggnader har problem med stora värmeöverskott till följd av stora glasade ytor i söderläge då "tromb walls" används. En "tromb wall" innebär i grundutförandet en glasruta en bit utanför en oisolerad fasad (vägg) som inducerar en drivkraft för ett luftflöde i denna spalt via de densitetsskillnader som uppstår då luften värms. Vintertid kan man låta rumsluften självcirkulera via spalten och värma rummet. Vid utetemperaturer större än ca. +10°C kan uteluft istället tas in i spalten där denna värms och via naturliga drivkrafter kan tillföras rummet. Sommartid kan rumsluft tas in i spalten vid golvnivå och släppas ut till omgivningen vid taknivå. På detta sätt har en drivkraft för naturlig ventilation skapats, men luft måste ju även tillföras till rummet på något sätt. Hur någon egentlig ventilation, utbyte av luft i rummet, erhålls i något av dessa fall framgår dock inte i artikeln.

För att kunna nyttja en sådan här glasfasad för kylning förutsätter att fasaden (väggen) isoleras på insidan för att upplagrad värme i densamma inte skall tillföras rummet. Den upplagrade värmen skall ju endast användas i ett senare skede (på kvällen då solen gått ner) för att skapa en drivkraft för naturlig ventilation då utetemperaturen är tillräckligt låg. Författaren drar själv slutsatsen att när naturlig kylning är det primära är sk. "solar chimneys" att föredra framför en "tromb wall" till följd av den är mer flexibel och att höjden då inte är begränsade till byggnadshöjden. (troligtvis är väl också aspekten angående krav på erforderlig isolering av insidan av väggen också något som talar till en solar chimneys fördel).

Det som en "tromb wall" eller en "solar chimney" innebär är att solvärme upplagras för att (omedelbart eller i ett senare skede) inducera ett ventilationsluftflöde. Det är således ett sätt att skapa "naturlig" ventilation som i sin tur kan nyttjas för att kunna kyla en byggnad om utetemperaturen är tillräckligt låg. Om kylbehovet till stor del är en följd av solinstrålning handlar detta om (passiv) nattkyla via "naturlig" ventilation. Om kylbehovet är oberoende av solinstrålning begränsar troligtvis ändå rådande utetemperaturer, då solinstrålningen är hög, möjligheterna att använda den "naturliga" ventilationen direkt för att kyla.

B. Givoni (1976) "Man, climate and architecture"

En bok där endast två avsnitt ansetts vara relevanta: "building climatic charts" och "cooling of buildings by natural energies"

"building climatic charts" innebär i princip att man utgår från det område i mollier-diagrammet (komfortzonen). Sedan markeras områden där kyla och värme kan erhållas via olika naturliga passiva eller aktiva lösningar (tex. "kylning" utan ventilation, med ventilation, med evaporativ kylning, med konventionell AC). I detta har hänsyn tagits till aktuellt omgivningsklimat (bla sambandet mellan dygnstemperaturens amplitud och månadsmedelvärde för absolut fuktighet), byggnadens tyngd och utformning samt människans respons på olika fuktigheter och lufthastigheter. Det senare borde väl redan ha vägts in i komfortzonen kan man tycka. Enligt min uppfattning är detta mest ett grafiskt pedagogiskt hjälpmedel för att beskriva och förklara potentialen för olika lösningar för ett specifikt objekt, vilket i och för sig är behjärtansvärt.

"cooling of buildings by natural energies" behandlar lite övergripande olika tekniker för naturlig kylning. Generellt gäller att alla tekniker för naturlig kyla erfordrar ansevärliga lagringskapaciteter. Möjligheten att tillämpa en viss teknik beror dels på det lokala klimatet och den aktuella byggnadstypen. Angående soldriven absorptionskyla sägs att vatten-ammoniak maskiner är mest vanliga vid låga erforderliga temperaturer och energimässigt små anläggningar medan LiBr-vatten maskiner är mest vanliga vid högre erforderliga temperaturer och energimässigt stora anläggningar.

Ett generellt intressant resonemang förs angående temperatur-differenserna $t_{generator} - t_{kond/abs}$ och $t_{kond/abs} - t_{förångare}$. I ett idealt system är dessa lika stora medan i praktiken är oftast $t_{generator} - t_{kond/abs}$ större än $t_{kond/abs} - t_{förångare}$. Omgivningens påverkan på erforderlig generator-temperatur kan därmed principiellt ses som att om utetemperaturen stiger måste även $t_{kond/abs}$ stiga (säg 1°C) vilket medför att generator-temperaturen måste höjas relativt sett mera (säg 2,5°C).

B. Givoni (1979) "Passive cooling of buildings by natural energies"

En artikel som behandlar olika passiva tekniker för naturlig kyla på ett övergripande sätt. Utgångspunkten är dock att författaren koncentrerar sig på att beskriva "kylfunktionen" i system som oftast har som primär uppgift att med hjälp av solvärme täcka värmebehov vintertid. Författaren börjar med att göra en liten betraktelse av skillnader mellan aktiv "solar absorption cooling" och passiv kyla via lagring.

En viktig skillnad är att med den aktiva tekniken kan betydligt lägre temperaturer nås vilket även påverkar erforderligt distributionsystem. Författaren menar att för att kunna göra en meningsfull jämförelse mellan aktiva och passiva system måste två olika jämförelsekriterier användas; nyttig kylenergi per m^2 solfångararea respektive nyttig kylenergi per m^3 lagringsvolym. Överslagsmässigt kommer han fram till att 1 m^3 lagringsvolym i det passiva systemet motsvarar ca. 4 m^2 solfångare i det aktiva systemet. Om lagringsvolymen även kyls evaporativt blir relationen att 1 m^3 lagringsvolym motsvarar 9 m^2 solfångare. Underlaget för dessa beräkningar är att omvandlingseffektiviteten från solvärme till nyttig kyla är ca. 10 % i det aktiva systemet och klimatet som anläggningarna är tänkta att användas i är en torr del av Israel. Om man vänder på detta resonemang kan man konstatera att erforderlig lagringsvolym med det aktiva systemet är mycket liten till följd av kylbehovet tidsmässig överensstämmer någorlunda väl med tillgången till solvärme jämfört med det passiva systemet där dygnslagring (natt till dag) erfordras. Tre "nocturnal radiation" system, inklusive de fysikaliska grundprinciperna, beskrivs på ett enkelt och övergripande sätt i artikeln. En intressant aspekt som gäller evaporativ kylning är förutom att man principiellt alltid når en lägre temperatur nattetid (generellt sett lägre våt temperatur) är att erforderlig mängd vatten som åtgår också teoretiskt sett är mindre (mindre Δt och därmed mindre Δx). Författaren påpekar också att fasta solfångare som både används för värmebehov vintertid och kylbehov sommartid oftast får en lutning som är en kompromisslösning vilket medför att varken under sommaren eller vintern är lutningen optimal.

D. Goswami and C. N. Revelioty (1987) "Free cooling by cooling tower water"

Artikeln behandlar i huvudsak pump- och systemkaraktistik när frikyla via kyltorn skall tillämpas. Luftbaserade system anser författarna vara enkla och att de används i stor utsträckning. Problem de nämner för luftburna system är; strikta fuktkrav, smutsig uteluft samt långa luftdistributionsvägar. Författarna nämner därefter fyra typer av frikylsystem; direkta och indirekta system med öppna kyltorn, system med slutna evaporativa kyltorn samt vapor-migration (refrigerant migration) system. Huvuddelen av artikeln handlar dock om att pump- och systemkaraktistik måste matcha varandra både vid normal drift och vid frikyla. Som "hidden problems" nämns också val av "switch-over temperature" med tanke på att ett kyltorns "approach" ökar då utluftens våta temperatur minskar, dvs. "approachen" är normalt större då frikylningen skall användas jämfört med dimensionerande förhållanden för normal drift. Detta leder till högre kylvattentemperaturer är man räknat med. Ovanstående gäller också i princip för slutna evaporativa kyltorn.

J. A. Gray (1986) "How to make free cooling reliable"

En artikel som enbart behandlar korrosion, försmutsning/förkalkning, partikelhalter samt biologisk tillväxt i öppna kyltornslösningar för frikyla. Detta är naturligtvis viktiga aspekter speciellt om man har för avsikt att använda en öppen kyltornslösning.

V. Gupta (1985) "Natural cooling systems of Jaisalmer"

En artikel som beskriver hur arkitekturen använts för att skapa "naturlig kyla" i den gamla medeltida staden Jaisalmer i Indien. Innehållsmässigt är det väl inte så mycket som är användbart idag. En intressant detalj angående värmeöverföring är att en solbelyst "flänsad" yta får en lägre yttemperatur än en slät yta till följd av en större konvektiv värmetransport.

V. P. Gupta (1988) "Energy conservation in refrigeration systems: centrifugal chillers"

Artikeln handlar om 4 sätt att minska energibehovet för kylmaskiner med centrifugalkompressorer; rengöring av kondensortuber genom att reversera kylvattenflödet, förändra värme- och köldbärartemperaturer, frikyla genom "thermal cycle" (refrigerant migration) eller "strainer cycle" (direktkoppling kyltorn-last), varvtalsstyrning av kompressor. När det gäller frikyla förs bland annat följande fördel fram; längre livslängd för kompressorn eftersom kortare drifttid per år. Nackdelar som förs fram är; frysproblem i kyltornet, blandning av kyltornsvatten och köldbärare vid "strainer cycle", "limited to 1 MW(R) or above"?, "over 4000 deegre days/year"?. Energibesparingar omkring 40-50 % kan uppnås via frikylning enligt författarna. Artikeln innehåller egentligen inte så mycket när det gäller frikyla, den handlar om lite av varje.

M. J. Hatten and T. W. Johnston (1989) "Evaporative chilling and thermal storage"

En artikel som beskriver frikyla via kyltorn i kombination med ackumulator för dygnslagring av frikyla. Potentialen för frikyla i kombination med lagring tas upp på ett intressant sätt genom att studera frekvenser för uteluftens våta temperatur med data för hela dygnet respektive kontorstid. I detta fall exemplifieras med våt temperatur lägre än 4°C, vilken råder under 1398 h per år enligt data för hela dygnet medan motsvarande tid är 528 h om bara arbetstid beaktas. En erforderligt stor ackumulator möjliggör därmed att årets alla timmar då uteluftens våta temperatur är lägre än 4°C kan nyttiggöras för frikyla. Av alla tänkbara systemuppbyggnader (direkta, indirekta, vapour migration) dras slutsatsen att ett separat indirekt (via vvx) kopplat kyltorn för frikyla är att föredra, främst till följd av att kyltornsvattnet och köldbäraren inte behöver blandas men även att frikyla då vid behov kan användas för att förkyla kylvattnet som sedan kyls till erforderlig temperatur av kylmaskinen. (Vid vapour migration sägs att endast ca 25% av den nominella kylkapaciteteten kan erhållas). Hur stor ackumulator som är lämplig samt hur kyltornet och värmeväxlaren skall dimensioneras beror på de lokala förutsättningarna och är väl främst en ekonomisk fråga.

Det är då bland annat viktigt att jämföra hur kylasten varierar över dygnet och året tillsammans med rådande våt temperatur ute. När det gäller kyltornets storlek för frikylan så nämns att det i detta fall måste vara ca 4 ggr större än kyltornet för kondensorvärme, till följd av aktuella temperaturnivåer. En intressant sak som nämns är att vattenåtgången i kyltornet för frikyla inte blir så stor eftersom kylningen till stor del sker sensibelt.

Vid en ekonomisk analys erhöles den näst lägsta livscykelkostnaden och den kortaste återbetalningstiden för fallet med ackumulator av de alternativ som studerades, konventionell kylmaskin, out side air economizer, frikyla utan respektive med ackumulator. (out side air economizer=återluft med frikyla i form av inblandning av kall uteluft). Istället för lagring av enbart kallt vatten som i detta fall kan man tänka sig att använda någon form av inkapslad PCM (phase change material). I artikeln nämns eutektiska salter som sägs frysa inom temperaturområdet 0 °C - 1,5 °C (vilket skulle omöjliggöra användandet i detta fall men det finns säkert något annat lämpligt PCM med en omvandlingstemperatur som är högre).

H. Hayama, M. Nakao and M. Sanbe (1990) "Airflow distribution in telecommunications equipment rooms"

En artikel som handlar om kylning av elektronikutrustning via egenkonvektion. Innehåller egentligen ingenting om frikyla, det enda som nämns är det föga innovativa att kylmaskinens kondenseringstemperatur kan sänkas vid låga utetemperaturer.

J. C. Hensley (1994) "Application of cooling towers for free cooling"

En artikel som diskuterar och exemplifierar design, funktion och driftkostnader för frikyla via olika systemuppbyggnader med kyltorn. Artikeln behandlar öppna och slutna kyltornlösningar samt "refrigerant migration" (använda kylmaskinen som passiv värmeväxlare).

Som en första utgångspunkt ifrågasätts det reella behovet av utgående köldbärartemperaturer ner mot 7°C. Denna låga temperatur behövs vanligtvis endast för att erhålla erforderlig avfuktning av luft vid dimensionerande förhållanden. Under en större del av året vid delast är utluftens absoluta fuktighet lägre och därmed är avfuktningens behovet mindre. En högre utgående framledningstemperatur kan då användas under en större del av året och därmed ökar även potentialen för frikyla. Det termodynamiskt sett bästa systemlösningen är den öppna varianten men rekommenderas inte till följd av försmutsningsproblematiken. (Filtreringen verkar enligt denna artikel oftast ske genom att ca 10 % av kyltornslödet filtreras och återförs till kyltornet, alternativet är att filtrera 100 % av flödet men detta innebär ju betydande tryckfall men mindre risk att smuts förs in i byggnadens system och komponenter). Inte heller "refrigerant migration" system rekommenderas på grund av den reducerade kylkapaciteten (kan normalt bara överföra ca 25-35% av max kyleffekt samtidigt som det krävs en förhållandevis stor temperaturdifferens för denna värmeöverföring. Det senare innebär att det krävs en relativt sett lägre utgående temperatur från kyltornet och båda dessa aspekter innebär att potentialen för frikyla reduceras).

Det som författaren förordar är därmed den indirekta lösningen med en värmeväxlare mellan kyltornet och kyllasten. Det krävs i och för sig en något lägre utgående kylvattentemperatur från kyltornet i detta fall jämfört med den öppna lösningen. I gengäld reduceras försmutsningsproblematiken.

Att göra en ekonomiskt optimal dimensionering av denna värmeväxlare är viktigt. För att bibehålla vätskeflödena på både kyltornssidan som sekundärsidan bör dock värmeväxlarens tryckfall på respektive sida vara lika stort som i kondensorn respektive förångaren (som förbikopplas vid frikyla). Tre aspekter som avgör i hur stor utsträckning frikyla kan utnyttjas och som kan påverkas av konstruktören är; erforderlig köldbärartemperatur och värmeväxlarens samt kyltornets kapacitet. Det som konstruktören inte kan påverka i någon större utsträckning är hur kylasten varierar över året och inte alls det lokala klimatet. Processkylaster (labblokaler, datorhallar) är oftast någorlunda konstanta över såväl dygnet som året vilket innebär en stor potential för frikyla, medan kylaster vid komfortkyla normalt innebär en relativt sett mindre potential. I båda fallen gäller dock att välja/dimensionera alla komponenter i systemet på ett energimässigt optimalt sätt. I ett räkneexempel visas exempelvis att välja ett kyltorn med en dubbelt så stor fläkt kan vara energimässigt fördelaktigt. Se även D. Murphy (1991) "Cooling-Towers Used for Free Cooling" och n.n. (1982) "The application of cooling towers for free cooling"

T. Hong, S. K. Chou and T. Y. Bong (2000) "Building simulation: an overview of developments and information sources"

En artikel som ingående behandlar byggnadssimulering i form av såväl strategier och handhavande som programvara. Innehållsmässigt inget om frikyla, men säkert en hel del att hämta angående simulering och programvara för den intresserade.

W. J. Hutzell, J. M. Carson and et al. (1998) "The Purdue experiment"

Det som avses med frikyla i denna artikel verkar vara en värmeväxling mellan zoner med kylbehov och ventilationsluften. En tänkbar tillämpning av detta vid vattenburen kyla vore att låta köldbärarreturen från kyltaket passera ett värmebatteri i tilluften för att förvärma luften vid låga utetemperaturer. Genom detta kommer köldbäraren att kylas (frikyla) men om vatten används som köldbärare finns en stor frysrisk. En vatten-glykolblandning skulle lösa detta men man vill väl normalt inte använda vatten-glykol som köldbärare till kyltaket. Därmed krävs nog att köldbäraren värmeväxlas mot en vatten/glykol-krets som står i förbindelse med förvärmningsbatteriet i tilluften. Hur som helst är detta en intressant tanke som eventuellt minskar behovet av köpt energi tvåfalt. Frikylan minskar säkerligen behovet av köpt el för drift av kylmaskinerna men om förvärmningen verkligen minskar behovet av köpt värme för eftervärmning är mer tveksamt eftersom en effektiv "vanlig" värmeåtervinning normalt medför att eftervärmning endast erfordras då utetemperaturen är som lägst. I detta fall skulle förvärmningen enligt ovan kunna komma till nytta men troligtvis existerar inget kylbehov i dessa fall och därmed finns ingen fri värme att tillgå för förvärmning.

I och för sig kan man tänka sig att det finns en central zon i en byggnad med höga interna värmelaster som innebär kylbehov året om. Om detta kylbehov tillgodoses via ett vattenburet system finns gratisvärme för att förvärma luften i ett centralt luftbehandlingsaggregat samtidigt som frikyla erhålls för att täcka kylbehovet i den centrala zonen.

C. E. Janeke (1982) "Free-cooling: a total HVAC design concept"

Denna artikel består till största delen av en matematisk beskrivning av författarens simuleringsmodell. Det bästa som skrivs i denna artikel är nog dess titel; Free cooling: a total HVAC design concept. Författarens "total HVAC design concepts" fyra byggstenar är: 1 thermal swing, 2 reverse diffusors, 3 luminar aspiration, 4 two/three stage evaporative cooling. 1 innebär att man tillåter att temperaturen variera över dygnet samt lagrar i och ur värme i en tung byggnadskonstruktion. 2 avser ett spjäll och donsysteem som under nattetid styr kyld luft i kontakt med byggnadskonstruktionen ovan undertaket för att "lagra kyla". Under dagen styrs sedan luften om så att tilluften medejekterar den kallare luften som kyla ovan undertaket. 3 innebär att all värme från belysning ventileras bort, dvs. att frånluftsdonen är integrerade med belysningsarmaturerna. 4 luftbehandlingssystemet består av i luftens strömningsriktning; ett kylbatteri som kyla via ett kyltorn, ett kylbatteri som kyla via kylmaskin, direkt evaporativ kylning i form av en "venturi evaporator". Det vore intressanta att få reda på hur författarens "reverse diffusors" fungerar, vilket inte framgår i artikeln.

D. R. Jones (1995) "Selecting cooling towers and fluid coolers"

En artikel som diskuterar olika typer av kyltorn och "fluid coolers" (evaporativa kylmedelskylare) och hur man skall dimensionera dessa. Den stora fördelen med evaporativa kylmedelskylare jämfört med kyltorn är att köld/värmebäraren inte kommer i kontakt med den omgivande luften och på så sätt elimineras behovet av filter. När det gäller frikylaapplikationer är också evaporativa kylmedelskylare att föredra i klimat där frysrisker är betydande. Detta beror på att en vatten-glykolblandning kan användas som köld/värmebärare alternativt att den evaporativa kylmedelskylaren i viss utsträckning används som "torr" kylare vid låga utetemperaturer. Någon egentlig diskussion angående frikyla förs dock inte i denna artikel. Den mest intressanta som sägs i denna artikel är att prestandan för evaporativa kylmedelskylare i många applikationer är jämförbar med motsvarande för ett kyltorn.

S. Kavanaugh (1999) "Energy use of ventilation air conditioning options for ground-source heat pump systems"

Artikeln innehåller en ingående studie av 5 olika typer luftbehandlingsaggregat med avseende på el- och värmeenergibehov. Författaren poängterar att en jämförelse vid dimensionerande förhållanden kan ge en missvisande bild av olika systems energieffektivitet. Detta exemplifieras genom att studera värmeåtervinning (eg. kylåtervinning) med en fuktöverförande värmeväxlare jämfört med en värmepump i ett CAV-system (100% uteluft). Vid dimensionerande utlufttillstånd krävs totalt sett mer el med värmepumpen för att återvinna samma mängd värmeenergi, medan vid ett mer moderat utlufttillstånd förhållandet är det omvända. Detta beror på antagandet att tryckfallen är större i fallet med värmeväxlare vilket resulterar i att fläktarnas eleffektbehov, oberoende av utlufttillståndet, är 5 kW för VVX-fallet och 2,1 för VP-fallet.

Vid dimensionerande förhållanden erfordrar värmepumpen 9,8 kW medan värmepumpen vid mer moderata förhållanden endast erfordrar 2,3 kW och därmed att $2,1+2,3=4,4 < 5$. Energimässigt slår detta hårdare eftersom det är betydligt fler drifttimmar vid icke dimensionerande förhållanden. Författaren avslutar med att bland annat påpeka att fläkt-elenergi står för en betydande del av ett luftbehandlingssystems totala energibehov. I fråga om frikyla så nämns detta bara i förbigående. Frikyla nyttjas i detta fall helt naturligt genom att luften inte behöver kylas då uttemperaturen är tillräckligt låg eftersom det handlar om luftbehandlingsaggregat med 100 % uteluft.

V. V. N. Kishore (1988) "Assessment of natural cooling potential for buildings in different climatic conditions"

Artikeln handlar om "roof sack cooling" vilket innebär att man ser till att låta en tunn vattenfilm förångas på taket för att på så sätt kyla en byggnad, evaporativ kylning av taket. Möjligheten att tillämpa detta för vanliga byggnader i Skandinavien är troligen obefintligt med tanke på rådande isolerstandarder. Bakvägen kan räknas ut att det U-värde för takkonstruktionen som använts vid beräkningar är ca $6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, dvs. motsvarar ett helt oisolerat tak.

M. Kretz (1996) "Frikyla kyler och gas värmer i Alvik"

En allmän artikel som bland annat beskriver systemet för frikyla för Alviks torg i Stockholm. Källan för frikyla är vatten från en intilliggande sjö (Mälaren) som växlas mot en brinelösning som är köldbärare till kylbafflar. (Troligtvis kyls kylmaskinens kondensator med det sjövattnet som upptagit värme i värmeväxlaren, och att köldbäraren därmed kan kylas ytterligare via kylmaskinen).

J. Laine and M. Saari (1994) "Realization of good indoor climate in low-energy office"

En artikel som beskriver en experimentbyggnad i Finland. Frikyla i detta fall innebär indirekt evaporativ kylning med direktvatten. Tappvattnet som används för den evaporativa kylningen används enligt en systemskiss först för att kyla tilluften ytterligare i ett kylbatteri. (Är det någon vits med detta?). Det årliga värmebehovet sägs vara 13 kWh/m^2 (lågt), elbehovet 16 kWh/m^2 (normalt) samt den årliga vattenförbrukningen sägs vara 80 m^3 ($0,3 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 266$ drifttimmar per år?). En intressant skrivbordkonstruktion som används i denna kontorsbyggnad är att värme från persondatorer ventileras bort om rummet har ett kylbehov medan värmets tillförs rummet om ett värmebehov föreligger.

J. O. Lewis (1994) "Applications of renewable energy technologies in buildings"

En artikel som diskuterar användning av förnyelsebar (sol) energi i byggnader. Utgångspunkten är användning av aktiv och passiv solvärme för värmning och kylning. Artikeln innehåller inte mycket matnyttigt om frikyla utan den största delen ägnas åt att redovisa ett stort antal EU projekt inom området.

E. J. Lizardos (1997) "Economizer cycle damper sizing"

En artikel som diskuterar styr- och reglertekniska aspekter för så kallad economizer drift för frikyla i ett återluftssystem. Frikyla via economizerdrift innebär att reglersystemet styr spjäll så att andelen uteluft ökas då uteluft-tillståndet är fördelaktigt för frikyla.

En intressant reflektion när det gäller luftburen kyla är att det är en betydande skillnad när det gäller frikyla mellan ett återluftssystem och ett system med 100 % uteluft. I ett återluftssystem måste anläggningen aktivt reglera spjäll för att nyttiggöra fördelaktiga uteluftstillstånd medan denna frikylning erhålls automatiskt för system med 100 % uteluft (kylbehovet för kylbatteriet minskar samtidigt som potentialen för frikyla ökar).

J. C. Longberg (1991) "Using a central air-handling unit system for environmental control of electronic data processing centers"

Artikel beskriver en jämförelse mellan ett system med en central luftbehandling och ett system med lokala fan-coils för att kyla ett större data-center. Systemet med en central luftbehandlingsanläggning sågs medföra signifikant lägre driftkostnader, kräver också mindre utrymme i rummen samt är mer lämpligt med tanke på återkommande underhåll etc.

I båda fallen tas hänsyn till möjligheten att använda frikyla (indirekt via kylmaskinens kytorn) för att bereda kallt vatten till kylbatterier och fan-coils. Troligtvis utnyttjas också låga utetemperaturer (naturlig/direkt frikyla) i så stor utsträckning som möjligt för luftbehandling då uteluftens rådande tillstånd möjliggör detta. Författaren fokuserar inte närmare på andelen frikyla och det är svårt att utläsa något om detta i artikeln. Slutsatsen är (efter några sidor beräkningar och otydliga tabeller och diagram) att den årliga driftkostnaden är \$69 195 lägre med en central luftbehandlingsanläggning jämfört med fan-coil alternativet om frikyla förutsätts användas i båda fallen.

A. Luke (2000) "Slab happy"

Artikeln beskriver ett nytt större byggnadskomplex i England vars ena del kyls via ett "Termodeck" system medan övriga delar kyls via vanliga fan-coils. Olika zoner av Termodeck delen kan kylas respektive värmas under samma 24 timmars cykel. Om en viss zon under nästa dag kommer att behöva värme eller kyla, och hur mycket, bestäms utgående från temperaturen (i rummet eller i bjälklaget?) kl. 18:00. De zoner som kommer att behöva värme värms med 30°C luft mellan 18 - 24 och de zoner som kommer att behöva kyla kyls mellan 24 - 8.

Luften leds i båda fallen till rätt zon via motorstyrda spjäll. I luftbehandlingsaggregaten som används för Termodeck delen finns möjlighet till evaporativ kylning (troligtvis indirekt?) men också kylbatterier som kyla via luftkylda kompressorkylmaskiner.

Det är författarens förhoppning att den evaporativa kylningen skall räcka till under sommaren och att ingen maskinkyla alls skall behövas då. Enligt författaren är kunden nöjd men att det är för tidigt att uttala sig om systemets energieffektivitet eftersom det nyligen tagits i drift. Artikel innehåller också en mängd annan information angående det aktuella byggnadskomplexet.

G. G. Maidment and J. F. Missenden (2002) "Evaluation of an underground railway carriage operating with a sustainable groundwater cooling system"

En artikel som behandlar termisk komfort i vagnarna i Londons tunnelbanesystem genom frikylning av luften i tunnlarna med grundvatten. Grundvattnet måste i detta fall ändå pumpas bort för att sänka grundvattennivån. Artikeln behandlar enbart vagnarnas värmeutbyte med omgivningens klimatet i tunnlarna och inte alls hur frikylsystemet skall byggas upp. Då lufttemperaturen i tunnlarna är 27°C blir temperaturen i vagnarna 32°C enligt författarnas modell (EES). Om omgivningstemperaturen sänks till 18°C blir temperaturen i vagnarna 25°C. Grundvattentemperaturen sägs vara omkring 12°C. (Ett stort frågetecken i denna artikel är beräkningsantagandet att lufttemperaturen i tunnlarna är 27°C då omgivande grundvattentemperatur är 12°C).

N. Malin (2000) "What? No airconditioning in this building?"

En artikel skriven med en arkitektonisk synvinkel som behandlar design av byggnader med naturlig eller en kombination av naturlig och mekanisk (mixed-mode) ventilation. Utgångspunkten är till viss del att människor tillskrivs egenskaper såsom att alla vill ha kontroll (kunna påverka tex. kunna öppna fönster) och generellt skulle uppskatta högre lufthastigheter. Författaren för fram att naturlig ventilation är ett medel för att erhålla energieffektiva byggnader men att i de flesta fall beror detta på att större vikt har lagts på en övergripande klimatanpassad design av själva byggnaden i denna typ av projekt. Det som avses med övergripande klimatanpassad design är exempelvis solavskärmning, tung konstruktion etc. vilket är viktiga parametrar även i konventionella projekt men helt avgörande vid design av naturligt ventilerade och kylda byggnader. Med naturlig ventilation menar författaren allt från öppningsbara fönster till avancerade ingenjörslösningar för att transportera luft till och från byggnaden med naturliga drivkrafter (vind, temperatur) och/eller mekaniska drivkrafter (fläktar). Eftersom denna artikel publicerats i en arkitekturtidning förs även fram att det är svårt att finna ingenjörer som vill befatta sig med en kombination av naturliga och mekaniska system (den eviga motsättningen mellan ingenjörer och arkitekter?). Ett påstående som förs fram är att luftkvaliteteten vanligtvis förbättras vid naturlig ventilation samt att bekymmer i form av sjukhus syndrom och avgasning från möbler minskar.

Undantaget från detta är i områden med höga koncentrationer av föroreningar eller pollen i uteluften. Nattkyla förs mot slutet fram som ett medel att erhålla energieffektiva byggnader vid såväl naturliga som mekaniska system.

P. Margen (1997) "Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner"

Detta rapport behandlar hur lönsamheten kan ökas för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner. Enligt titeln får man uppfattningen att författarnas definition av frikyla innefattar användandet av tillgänglig "billig spillvärme" för att alstra frikyla. Nu visar det sig att frikyla i denna rapport avser att man använder absorptionkylmaskinens befintliga kyltorn för att alstra frikyla under den del av året detta är möjligt (de studier som gjorts i detta arbete indikerar att ca. 25 % av kylenergiebehovet under året kan tillgodoses med frikyla). Rapporten behandlar även olika sätt att få avsättning för maskinens kondensorvärme. En slutsats som dras är att 80 – 90 % av kylbehovet under vår, höst och vinter kan täckas via frikyla och att tillägsinvesteringen för detta är återbetald inom 1 år. I rapporten nämns två "färdig kyla" projekt som Göteborg energi tittat på och kommit till slutsatsen att deras koncept endast är konkurrenskraftigt mot konventionell kompressorkyla om frikyla via kyltornen utnyttjas. För att öka andelen frikyla för kylning direkt eller för för-kylning av köldbäraren diskuteras höjning av utgående köldbärartemperatur från tex. 6 °C till 8 °C. Detta innebär även att absorptionkylmaskinens avgivna kyleffekt ökar med ca. 8 %. Generellt sett när det gäller ekonomisk lönsamhet för absorptionskylmaskiner och eventuell utnyttjning av frikyla är det hur priset på värme varierar under året som är av avgörande betydelse.

Värt att notera i detta sammanhang är att erforderlig storlek på kyltornet för en absorptionskylmaskin är ungefär dubbelt så stor som för en kompressorkylmaskin, därmed finns naturligt inbyggt en större potential för alstring av kyla via frikyla. I rapporten redovisas kylastprofiler för ett antal större byggnadskomplex där "färdig kyla" konceptet övervägs. För det speciella fallet frikyla vid ett "färdig kyla" koncept med absorptionskylmaskiner finns en hel del med information och slutsatser att hämta.

H. McKeown (1986) "Free cooling keeps energy costs down (computer room air conditioning)"

Artikeln behandlar i huvudsak system för frikylning av datorhallar. Författaren för fram att trots att specifikationen för datorutrustningen kan vara 15-30°C, 20-80% RH är nog i praktiken 18-22°C, 40-60% RH mer realistiska/lämpliga krav. Författaren poängterar också att drifttiderna i datorhallar är långa, ofta dygnet runt hela året. I artikeln beskrivs (något bristfälligt) bland annat två systemuppbyggnader. (1) förkylning av luft i ett för-kylbatteri (uppströms det ordinära kylbatteriet) med kylvatten från kylmedelskylaren innan det används för att kyla kondensorn. Ute-temperatur < 12°C 100 % frikyla via för-kylbatteriet, 12 – 22 °C förkylning via för-kylbatteriet och kylning i det ordinära kylbatteriet, >22°C vanlig kylmaskindrift. (2) av tre olika alternativ som övervägdes valdes ett system där ett kylbatteri fri-kyls via vatten/glykol som kylades i en kylmedelskylare.

När frikylan inte räcker till kyls vatten/glykolen via en separat luftkyld kylmaskin (?). Systemen beskrivs ganska bristfälligt i denna artikel, principfigurerna vore önskvärda, och de förefaller i viss mån vara "julgranar".

H. McKew (1998) "Providing humidification in museums, libraries is not relatively simple"

En artikel där snäva krav på den relativa fuktigheten i museum och bibliotek ifrågasätts (45-55 %) samt konsekvenser av dessa krav belyses. Författarens uppfattning är att det inte är viktigt att hålla den relativa fuktigheten inom snäva gränser utan det är viktigt att se till att förändringar inte sker för snabbt. Detta innebär enligt författaren att man vintertid kan acceptera att den relativa fuktigheten "naturligt" tillåts vara lägre och sommartid "naturligt" tillåts vara högre, det vill säga följer uteklimatets årstidsväxlingar. (Vilka belägg författaren har för dessa påståenden framgår inte utan det handlar nog om en ingenjörskvalificerad gissning. Dessa påståenden stämmer säkert i de flesta fall men det är inte ingenjörens uppgift att ensidigt fastställa dessa krav men det är ju helt rätt att ifrågasätta dessa. När det gäller frikyla via uteluft reduceras potentialen avsevärt om snäva krav ställs på den relativa fuktigheten.)

G. Meckler (1989) "Unitary heat pumps plus ice storage"

Beskriver en vidareutveckling av så kallade "closed water loop unitary heat pump systems". Denna typ av system innebär att varje zon i en byggnad har ett eget lokalt tilluftssaggregat med en reversibel värmepump/kylmaskin. Dessa värmepumpar/kylmaskiner står i förbindelse med varandra via en vattenkrets.

I varje tilluftssaggregat kan då luften kylas och kondensorvärme skickas ut i vattenkretsen eller luften värmas och värme hämtas från vattenkretsen. Värmepumparna/kylmaskinerna är alltså reversibla och batteriet kan vara förångare eller kondensator och värmeväxlaren som står i förbindelse med vattenkretsen är då kondensator eller förångare. På detta sätt kan exempelvis värme som avges från kylmaskinen i zoner med kylbehov återvinnas och användas som värmekälla för värmepumpar i zoner med värmebehov. I det centrala tilluftssaggregatet som förser de lokala tilluftssaggregaten med uteluft behandlas inte luften på annat sätt än att den förvärms vid behov. Frånluften från alla zoner ventileras bort via en central frånluftsfläkt. I det nya konceptet som beskrivs i denna artikel förbehandlas tilluften i ett centralt till- och frånluftssaggregat via en roterande fuktöverförande (desiccantbelagd) värmeväxlare (kylåtervinnare: både sensibelt och latent) och luften kyls sedan ytterligare via ett kylbatteri som står i förbindelse med ett islager. Vidare har varje lokalt tilluftssaggregat försetts med ett vätskebatteri som kan användas för kylning eller värme. Frikyla kan därmed erhållas via kyltornet som normalt används för den kylmaskin som används för att kyla islagret. Enligt författaren innebär denna "julgran" att flexibiliteten för ett "closed water loop unitary heat pump system" bibehålls samtidigt som systemets totala elbehov minskar.

R. A. Meierhans (1996) "Room air conditioning by means of overnight cooling of the concrete ceiling"

En artikel som handlar om ingjutna vattenslingor i en takkonstruktion av betong. Det cirkulerande vattnet kyls nattetid i en kylmedelskylare för att "ladda i kyla" i takkonstruktionen. Dagtid sägs vattnet cirkuleras under en 30 minuters period under två timmar för att "uppnå balans mellan rum med hög och låg värmebelastning". Nattetid kyls vattnet intermittent i kylmedelskylaren för att "ladda kyla i konstruktionen". Om frikylan under natten inte räcker till körs en kylmaskin igång tidigt på morgonen. Tilluftstemperaturen hålls konstant 19°C under hela året. (I hur stor utsträckning frikyla används för detta framgår ej. Något oklar är också författarens beskrivning av hur tilluften tas in i rummet, det förefaller vara som så att luften tillförs till upphängningsanordningen för lysrörsarmaturerna och därmed upptar avgiven värme från dessa). En intressant tanke som författaren för fram angående utvärdering av ett system för frikyla är att det är naturligt att jämföra energibehovet för ett konventionellt system som skapar ett likvärdigt klimat. I praktiken kanske ett konventionellt system med högre kapacitet utnyttjas i större utsträckning och därmed erhålls ett "bättre" klimat men till priset av att ännu mer energi måste uppoffras. En energijämförelse som görs på detta sätt kommer därmed relativt sett att visa att frikyla systemet är ännu "bättre". (Detta handlar naturligtvis om vilken/vilka kravnivåer och systemgränser man ansätter för en jämförande studie och vad studien avser. Samma klimat är naturligt att utgå ifrån vid en energibetraktelse medan två olika klimat kan värderas vid en jämförelse av det termiska inomhusklimatet). Artikeln är "luddig" vad gäller systembeskrivningar och godhetstal för utvärdering.

B. R. Meloy (1992) "Free cooling works for Cowlitz county hall of justice"

En artikel som beskriver en större anläggning i nordvästra USA (Washington state) där frikyla erhålls från en borrhål brunn (20 m djup). Vattnet som pumpas upp från brunnen kyler köldbäraren via en värmeväxlare och på så sätt erhålls frikyla. Om frikylan inte räcker till vid topplast kyls köldbäraren ytterligare via en (befintlig) chiller med kyltorn. I systemet finns också två värmepumpar som vid samtidigt kyl och värmebehov hämtar värme från köldbärarkretsen (kyler köldbäraren) och lämnar värme till värmebärarkretsen. Om det inte finns avsättning för all värme som värmepumparna ger kyls detta bort med vattnet som pumpas från brunnen via en värmeväxlare i värmebärarkretsen. Vattnet som hämtats från brunnen dumpas i en närliggande flod. Med detta system sägs att energianvändningen under det första året reducerades med 22% jämfört med det befintliga systemet med chillers. Även den installerade effekten kunde minskas med 30 % då den nya anläggning togs i bruk.

Författaren pekar på följande viktiga aspekter för den här typen av anläggning; erforderliga tillstånd från myndigheter måste erhållas, vattenkvalitet och naturligtvis vattnets temperatur och brunns kapacitet måste beaktas, värmeväxlare måste dimensioneras med tanke på försmutsning samt man måste se till att erforderligt utrymme finns för rengöring. Tillstånd för att uppföra brunnssystemet var inga problem i detta fall.

När det gäller vattenkvaliteten var det problem med "järn bakterier" (iron bacteria) under de första åren men problemen har successivt minskat. I brunnen finns filter för att om möjligt ta hand om den sand och andra partiklar som finns i brunnen. Utrymmet för att rengöra värmeväxlarna var inte tillräckligt stort för att detta skulle kunna ske smidigt. När det gäller vattnets temperatur så är dess temperatur är ca. 10° - 12 °C året runt. Vattentemperaturen sägs följa uteluftens (dygns, månads, årstids?) medeltemperatur men med en fördröjning på ca. 3 - 4 månader. Brunnsvattnet används för frikyla ungefärligen från den 10:e juni till den 10:e september.

D. Murphy (1991) "Cooling-towers used for free cooling"

En artikel som handlar om frikyla via kyltorn. I artikeln diskuteras övergripande för- och nackdelar med exempelvis direkt- kontra indirekt in-koppling. Det som innehållsmässigt är mest intressant är de schablonmässiga men tydliga exemplen som avser att beskriva hur stor potentialen är för frikyla med olika alternativ. Författarens utgångspunkt och argument för frikyla är ekonomiska vinster, det vill säga att en investering i komponenter för frikyla skall kunna räknas hem med hjälp av minskade driftkostnader. En intressant men samtidigt självklar sak som tas upp är att kyltornet måste bortföra ca. 1,25 ggr större värmeeffekt vid kompressorkyl-maskindrift jämfört med vid frikyladrift (2,50 ggr vid en absorptionskyl-maskin) då samma kyleffekt skall alstras eftersom vid frikyladrift behöver ej värme från kompressionsarbetet bortföras. Samtidigt är det ju så att vid frikyladrift måste vattnet från kyltornet vara betydligt lägre så man kan inte räkna med att tillgodoräkna sig dessa 25 % (150 %) i form av ökad kapacitet.

Hur som helst så är dimensioneringen av kyltornet viktigt för att erhålla en energieffektiv frikylafunktion. En överdimensionering av kyltornen jämfört med vedertagna dimensioneringskriterier för att bortföra kylmaskinens kondensorvärme förespråkas. På detta sätt kan erforderlig köldbärartemperatur beredas via frikylning under ett betydligt större antal timmar per år utan att merinvesteringen behöver bli alltför betungande. Se även J.C. Hensley (1994) "Application of cooling towers for free cooling" och n.n. (1982) "The application of cooling towers for free cooling".

S. Nathan (1999) "Keep your cooling towers free of Legionella bacteria/Fighting the foreign legionnaires"

Artikeln behandlar legionellaproblematiken och hur man förhindrar tillväxt i och spridning från kyltorn. Artikeln beskriver ganska ingående hur och under vilka förutsättningar legionellabakterien växer till och hur man idag bär sig åt för att förhindra detta. Legionellabakterier sägs trivas bra i kyltorn, speciellt beroende på den "biofilm" som bildas i form av alger och mikroorganismer. För att begränsa tillväxten används vanligtvis klor eller ozon, men "biofilmen" innebär att denna behandling försvåras. En artikel som behandlar ett viktigt område knutet till frikyla via kyltorn.

G. C. Nelson (1994) "Office building saves costs with free cooling and peak shaving systems"

En kort artikel som beskriver ett större byggnadskomplex som blivit tilldelad "1994 ASHRAE technology award". Artikeln beskriver detta byggnadskomplex övergripande och tar upp flera olika energirelaterade frågeställningar och system. Frikyla i detta fall innebär indirekt kylning av köldbäraren via kylmaskinens kyltorn men några större nyheter omkring detta presenteras inte. Det som dock kan vara intressant är slutsatsen som dras att frikyla inte innebär något extra underhåll samt möjliggör att rutinmässigt underhåll på kylmaskinerna kan utföras under den tid frikyla täcker hela kylbehovet. Vad gäller kyltornet sägs att det är "freeze resistant with an indoor sump" (?). Frikyl-investeringen sägs också i detta fall vara återbetald på 5.5 år.

J. Niu, J. V. D. Kooi and H. V. D. Ree (1995) "Energy saving possibilities with cooled-ceiling systems"

En något rörig artikel som behandlar energibesparingspotential för ett vattenburet kylsystem jämfört med ett luftburet kylsystem i Holland. Den generella slutsatsen är att räknat i primärenergi är det ingen större skillnad vid ett luftburet VAV system om inte någon form av frikyla utnyttjas. Den frikyla som avses här är att kyla köldbäraren för kyltaken via en värmeväxling mot kyltorn. Författarna föreslår också några andra typer av värmeväxling för att minska energibehovet, exempelvis använda returvattnet från kyltaket för att återvärma ventilationsluften som kylts i syfte att avfukta densamma. Författarna har även funderingar omkring att tillämpa (indirekt) evaporativ kylning i kombination med vattenburen kyla. Kondensationsrisk på kyltaken nämns i artikeln men verkar inte ha beaktas/studerats i någon större utsträckning.

(En intressant tanke när det gäller frikyla vid vattenburen kyla är att om kyltaken överdimensioneras rejält ökar potentialen för frikyla via ett kyltorn samtidigt som kondensrisken minskar, det som talar mot detta är naturligtvis den ökade investeringskostnaden. Även att kyltornets "wet-bulb approach" minskar vid dellast är intressant -> en överslagsberäkning utgående från "design wet-bulb approach" innebär att frikylpotentialen kommer att underskattas.)

Huvudförfattaren behandlar kombinationen vattenburen kyla och desiccant cooling för Hongkong klimat i artikeln J. L. Niu, L. Z. Zhang and H. G. Zuo (2002) "Energy savings potential of chilled-ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates".

J. L. Niu, L. Z. Zhang and H. G. Zuo (2002) "Energy savings potential of chilled-ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates"

En artikel som handlar om energibesparingspotential med ett vattenburet kylsystem där ventilationsluften avfuktas med ett desiccant wheel. Den avfuktade ventilationsluften förkyls via indirekt evaporativ kylning och efterkyls i ett (överdimensionerat) kylbatteri.

Den gemensamma köldbäraren för kylbatteriet och kyltaken (seriekopplade) kan enligt författarna kylas i en kylmaskin vars förångnings-temperatur är 15°C.

I artikeln jämförs med; ett luftburet CAV återluftssystem, ett luftburet CAV återluftssystem med en fuktöverförande värmeväxlare, ett vattenburet kylsystem där luften avfuktas i återluftssystemets kylbatteri. Argumenten för vattenburen kyla är; mindre energi krävs för att transportera vatten jämfört med luft, bättre termiskt klimat (?), enklare att erhålla individuell reglering. Slutsatsen är föga förvånande att författarnas föreslagna koncept är mest energieffektivt. (Artikeln innehåller egentligen inget som behandlar frikyla, men ett koncept med överdimensionerade kyltak som kyls via frikyla från kyltorn i kombination med avfuktning av ventilationsluften med en avfuktarrotor som regenereras med spillvärme vore tekniskt sett ett tänkbart koncept (som i dagsläget kanske inte skulle kunna gå att räkna hem speciellt om solvärme istället för spillvärme övervägs). Huvudförfattaren behandlar frikyla vid vattenburen kyla för Holländskt klimat i artikeln J. Niu, J. v. d. Kooi and H. v. d. Ree (1995) "Energy saving possibilities with cooled-ceiling systems".

A. Novoselac and J. Srebric (2002) "A critical review on the performance and design of combined cooled ceiling and displacement ventilation systems"

En artikel som kritiskt diskuterar kombinationen vattenburen kyla och displacerande ventilation med tanke på att inga projekteringsriktlinjer ännu finns för dessa system i USA. Till största delen diskuteras omkring luftkvalitet och termisk komfort. När det gäller energibehov relativt "konventionella" luftburna system refererar författarna bland annat till simuleringsstudier av [Sodec, Niu] och konstaterar att energibehovet kan såväl öka som minska.

Enligt författarna är de parametrar, förutom uteklimatet, som styr detta; tilluftstemperatur, ventilationsluftflöde och kylbehov. När det gäller energiformer dras slutsatsen att vid vattenburen kyla används mindre elenergi men mera kylenergi än vid ett VAV system. Gällande frikyla så sägs att: Den "naturliga" frikylan i ett VAV system kan erhållas under ett större antal timmar per år jämfört med frikyla via ett kyltorn i ett vattenburet system.

Författarna poängterar också kondensationsrisken vid vattenburen kyla och därmed behovet av lämpliga styr- och reglerstrategier.

M. Näslund (2000) "Fjärrkyla i Sundsvall baserad på sjövatten och lagrad snö"

Ett examensarbete som studerar förutsättningar för produktion av fjärrkyla via kyla från sjövatten samt ett snölager i Sundsvall. (Denna förstudierapport behandlar inte den befintliga snölageranläggningen vid Sundsvalls sjukhus). I rapporten tas överslagsmässiga värden fram för kylbehov och hur mycket kyla som kan erhållas från sjön (Sundsvallsfjärden) respektive snölagret. Olika tänkbara systemlösningar och lokalisering av anläggningen diskuteras.

Även överslagsmässiga investerings- och driftskostnader presenteras. Informationen som finns i rapporten är till stor del knutet till de lokala förutsättningarna i Sundsvall. Några intressanta axplock: (s 36) snö som framställs med snökanon kostar ungefär 4 - 8 kr/ton, vilket omräknat till kylenergi kostnad baserat på smältvärmnet blir < 10 öre/kWh.

I rapporten (s 41) ges även prisuppgifter för fjärrkyla för några olika orter. Kylenergi priset verkar vara ungefär detsamma som kostnaden för att driva en (eldriven) kompressorkylmaskin och anslutningsavgiften verkar motsvara priset för inköp av en kompressorkylmaskin.

J. Ocejó (1994) "Enhancement of free-cooling opportunities through tertiary pumping"

I artikeln diskuteras inkoppling av kyltorn för frikyla i slutna system. Författaren förordar vad han kallar "tertiary free cooling". Med primärkrets avses de parallellkopplade kylmaskinerna, med sekundärkrets avses de parallellkopplade lasterna och den tertiära kretsen är kretsen för frikyla som via värmeväxlare (se figur 4 i artikeln) sammanbinder sekundärkretsen med kyltornen. Fördelen med denna systemlösning sägs vara att respektive krets inte är hydrauliskt beroende av varandra, att en del frikyla kan erhållas via det ena kyltornet medan återstående behov täcks av den andra kylmaskinen, att värmeväxlarna för frikyla inte ger upphov till några tryckfall vid kylmaskindrift. Det förefaller vara så här man bör utforma frikyla vid användning av kyltorn i ett indirekt system. Det krävs dock ett betydande antal pumpar (ökad komplexitet?) men om systemet därmed blir hydrauliskt stabilt och att pumparna bara är i drift vid behov samt att tryckfallen i värmeväxlarna endast inverkar vid frikyldrift kan troligtvis denna investering räknas hem. Detta är en kort och koncis artikel som på ett pedagogiskt sätt beskriver och exemplifierar denna föreslagna systemuppbyggnaden.

P. Oliver (2001) "Making use of free cooling"

Författaren inleder med att poängtera att potentialen för minskad energianvändning via utnyttjande av frikyla är större för exempelvis datorhallar jämfört med kontor. Orsaken till detta är att eftersom kylbehovet oftast är nära nog konstant dygnet runt för en datorhall kan naturligt låga utetemperaturer nattetid nyttiggöras i större utsträckning. Hur författarens frikylakoncept är utformat är dock oklart, han talar om ett separat "frikylbatteri", bredvid det vanliga dx-batteriet, som är i drift vid låga utetemperaturer. (Om det handlar om ett luftburet system borde väl den låga utetemperaturer kunna användas direkt utan något "frikylbatteri".) Troligtvis handlar det i detta fall om ett cirkulationssystem med en liten eller ingen inblandning alls av uteluft (vill ej föra in fukt via uteluften?). En bättre teknisk beskrivning av aktuell systemlösning vore önskvärd.

H. O. Paksoy, O. Andersson, S. Abaci, H. Evliya and B. Turgut (2000) "Heating and cooling of a hospital using solar energy coupled with seasonal thermal energy storage in an aquifer"

En artikel som beskriver resultat från en förstudie av ett system där värme och kyla skall hämtas från en aquifär för att försörja en sjukhusbyggnad i Turkiet. Vattnets årsmedeltemperatur i aquifären förväntas vara +10 °C. Vintertid hämtas vatten från aquifärens "varma" sida för att förvärma ventilationsluften. Genom detta kyls vattnet några grader för att sedan kylas ytterligare via värmeväxling mot vatten från en närliggande sjö.

Detta nedkylda vatten tillförs sedan aquifärens "kalla" sida. Sommartid hämtas vatten från aquifärens "kalla" sida för att delvis täcka kylbehov i sjukhuset (återstående del av kylbehovet täcks av en chiller). Det uppvärmda vattnet tillförs sedan aquifärens "varma" sida. Ordentliga studier krävs av de lokala förhållandena för att kunna projektera en sådan här typ av anläggning. Det lokala klimatet och markens (aquifärens) beskaffenhet är därför viktiga parametrar att ta hänsyn till. När det gäller aquifärens (i detta fall 5) "varma" och (i detta fall 5) "kalla" källor är det viktigt att dessa inte interfererar med varandra (dvs säga att de termiska fronterna inte når varandra, "genomslag"). Viss "intern" interferens mellan de 5 källorna är dock accepterbart. Här är lagrad värme tänkt att användas för att förvärma ventilationsluft och lagrad kyla för att delvis täcka kylbehov (baskyla/"för-kyla") och på detta sätt kan balans erhållas, dvs. att lika mycket värme tillförs och bortförs under året så att årsmedeltemperaturen kan hållas någorlunda konstant i aquifären.

J. Parsons (1997) "Reducing the costs of network power and cooling"

En artikel som handlar om att reducera driftkostnaderna för telefonväxel-anläggningar. En byggsten i detta avseende är utnyttjande av frikyla för att täcka kylbehov, andra aspekter som diskuteras är kraftförsörjning och reservkraftaggregat. Utvecklingen av applikationer inom detta område har lett till att den specifika värmelasten ökat från 50 W/m² (1950) till 260 W/m² (1990).

Dagens krav är att rumstemperaturen inte får överstiga 35 – 40 °C och att det tillåtna intervallet vad gäller relativ fuktighet är "stort". Test har utförts vid högre temperaturer och generellt sett verkar gälla att om elektroniken är felfri (inga defekter) innan testet så ökar inte antalet fel/haverier. Erforderliga temperaturer (kravnivåer) för dessa applikationer verkar inte vara fullständigt utrett idag och tydliga kravspecifikationer verkar saknas.

T. Peer and W. S. Joyce (2002) "Lake-source cooling"

Artikeln behandlar ett frikylasystem som hämtar kallt vatten från en närbelägen sjö för att kyla ett campusområde. Enligt författarna är detta det första projektet (i USA) där frikyla hämtas från en djup insjö. Under juli 2000 alstrades 56 300 kW kyla med systemet. Jämfört med ett konventionellt alternativ (chillers) sägs energianvändningen ha minskat med 86 %. Omräknat till en säsongsköldfaktor (SPF) blir denna 36 för detta frikylsystem.

Den extra uppvärmning av sjön (som sker till följd av att kyla hämtas) motsvarar inte heller mer än den värme som totalt tillförs via normal solstrålning till sjön under två timmar. De tekniska utmaningarna i detta projekt rörde dimensionering och utformning av värmeväxlare samt distributionssystem. Författarna nämner också att den förväntade tekniska livslängden för systemet är 75-100 år jämfört med 30-40 år för ett konventionellt chillersystem. Lite data omkring de yttre förutsättningarna: sjöns djup är 76 m, campusområdet ligger 137 m över vattenytan, avstånd mellan sjöbotten-intaget och värmeväxlar/pump-stationen vid sjöstranden är 3,2 km, avståndet mellan värmeväxlar/pump-stationen och campusområdet är 3,7 km. Vattentemperaturen vid sjöbotten är +4 °C, fram- och returledningstemperatur är 7°C/16°C, vattnet som återförs till sjön 5 m under vattenytan är 9-13 °C. Angående "kyllagret" som refereras till i detta arbete återfinns information i W. P. Bahnfleth and W. S. Joyce (1995) "Stratified storage economically increases capacity and efficiency of campus chilled water system".

P. Romagnoni, M. Scattolin and R. Zecchin (1997) "Dynamic simulation of air conditioning systems for base stations"

Författarna har (med simuleringsprogrammet TRNSYS) beräknat/simulerat kylbehov och temperaturförlopp vid vissa tillgängliga kyleffekter för containers innehållande utrustning för GSM telefoni. Även inverkan av luftburen frikyla vid låga utetemperaturer har studerats. Det mest intressanta med denna artikel är att kraven utgående från elektroniken inte verkar vara särskilt svåra att uppfylla (om rätt tolkat). Temperatur [5 - 40 °C] (temperaturen får dock inte förändras snabbare än 0,5 °C per minut), Relativ fuktighet [5 - 85 %]. Temperatur brukar dock regleras mot börvärdet 24 °C i huvudsak för att temperaturen inte skall förändras för snabbt. Författarna verkar ha kommit över den först frustrationsfasen i sitt TRNSYS användandet och fått fram en del utdata men har nog inte riktigt funderat ut varför de simulerar och vad de egentligen skall studera.

P. Romagnoni, M. Scattolin and R. Zecchin (2000) "Low energy air conditioning of shelters for telecommunication networks"

Författarna har kopplat en värmeväxlarmodell med två (varvvalsstyrda) fläktar till sin simuleringsmodell (TRNSYS) för containers som innehåller elektronik för GSM telefoni. Luften inne i containern cirkuleras med en fläkt och kyls mot uteluften på ena sida av en plattvärmeväxlare. På andra sidan i värmeväxlaren cirkuleras således uteluft med den andra fläkten. Traditionellt har system för kylning av containrarna dimensionerats så att temperaturen inne inte överskrider 45 °C och systemen har sedan reglerats mot ett börvärde omkring 25 - 30 °C. Författaren säger att idag är det möjligt att dimensionera kylsystemet för att innetemperaturen inte skall överskrida 60°C. I artikeln redovisas simuleringsresultat för två olika reglerstrategier (fläktvarvtal sfa innetemperatur) som visar föga förvånande att fläktelenergibehovet minskar jämfört med om fläktarna körs on/off eller inte regleras alls (kontinuerlig drift med fullflöde).

Slutligen redovisas också, månad för månad för några olika orter, min- och maxtemperaturer inne i containern för de två reglerstrategierna (extremvärden: min ca. 20 °C och max ca. 50 °C). Motsvarande temperaturer finns dock inte redovisade för on/off drift respektive kontinuerlig drift. Innehållsmässigt inte så mycket att hämta i denna artikel men tillämpningen är intressant, rumstemperaturkrav $t < 60$ °C vilket innebär att kylning i princip kan ske under hela året med uteluft. I detta fall har man valt att göra detta via en värmeväxling för att inte behöva rena (filtrera) smutsig uteluft.

E. Rose (1995) "Handling the issues of adiabatic cooling"

En kort artikel om indirekt evaporativ kylning med dubbla plattvärmeväxlare som tillförs vatten på frånluftssidan. Innehållsmässigt inga nyheter utan författaren nämner de två vanligaste anledningarna till att evaporativ kylning ofta ifrågasätts; oro för legionella samt tillförsel av fukt till byggnaden (fuktillskott). Befuktningen sker via cirkulerande vatten som sägs filtreras i fyra steg och på så sätt hålls bakteriehalten låg.

B. Rosén, A. Gabrielsson, J. Fallsvik, G. Hellström and G. Nilsson (2001) "System för värme och kyla ur mark - en nulägesbeskrivning"

En rapport på 200 sidor som behandlar markvärmeteknik. Övergripande gäller för rapporten att dess fokus är på värmepumpsystem med marken som värmekälla, olika typer av (slutna) markvärmeväxlare, förutsättningar för utformning och teknisk funktion, installationsmetoder och kostnader samt totalekonomi behandlas. System där markvärmeväxlaren även används för att alstra (fri)kyla behandlas endast i en mindre omfattning. I rapporten kan dock mycket information hämtas angående förutsättningar och potentialen för alstring av frikyla via markvärmeväxlare.

B. Rosén, A. Gabrielsson, J. Fallsvik, G. Hellström and G. Nilsson (2002) "System för värme och kyla ur mark - förslag till utvecklingsprogram"

En rapport som redovisar bedömd utvecklingspotential för system med markvärmeväxlare baserat på rapporten B. Rosén, A. Gabrielsson, J. Fallsvik, G. Hellström and G. Nilsson (2001) "System för värme och kyla ur mark - en nulägesbeskrivning". Av de utvecklingspotentialer(?) som redovisas i rapporten återges nedan några som har nära koppling till frikyla: "ökad tillämpning av kombinationen värme och kyla för villor och kontorshus", "komplettering av befintliga markvärmepumpar för komfortkyla", "system för kostnadseffektiv återladdning av markvärmeväxlare (med värme eller kyla)", "dimensioneringsanvisningar för kompakta markvärmeväxlare för svenska förhållanden", "ekonomisk optimering av markvärmesystem, med anpassning till energilast och geologiska förutsättningar"

E. Sandberg and P. Wickman (1996) "Kontor med naturlig kyla"

En rapport som handlar om ombyggnaden av kv. Garnisonen i Stockholm. Utgångspunkten är att utröna om kylmaskiner verkligen erfordras efter ombyggnad av denna byggnad. Författarna konstaterar att P25 kravet skall kunna uppnås utan att installera kylmaskiner. I den mer generellt hållna inledningen diskuteras hur krav, värmelaster och byggnadsutformning påverkar det reella kylbehovet. En stor tonvikt läggs på hur kylbehovet beror på om en kontorsdörr är öppen eller stängd mot en svalare korridor. Som installationsrelaterade möjligheter att minska det reella kylbehovet nämns; effektivare belysningsystem och ombyggnad av ventilations-system från CAV till VAV. Bland byggnadsrelaterade möjligheter nämns; solavskärmning, värmelagring i byggnadsstommen och skärmsläckare för datorer.

Rapporten behandlar den specifika byggnadens förutsättningar och det är svårt att dra generella slutsatser av innehållet. Frikyla i detta sammanhang är nattkyla i kombination med olika sätt att minska värmebelastningarna.

W. J. Schaetzle, C. E. Brett and L. H. Richey (1983) "Experience with two "free cooling" systems using aquifer thermal energy storage"

Författarna redovisar erfarenheter från två aquifär-baserade system för fri-kyla. Aquifäreren kyls under den kalla delen av året (våt temperatur < 6 °C) via kyltorn och temperaturen på vattnet som tillförs till aquifären är 2 - 7 °C. Författarna räknar med att denna typ av system kan reducera energibehovet för kylning, exkl. luftdistribution, med 60 - 80 %. De problem som uppstått då systemen tagits i drift härrör från områden där projektörer och installatörer hade bristande erfarenhet. I båda systemen hade man problem med avskiljning av sand och lera från det cirkulerande vattnet. Strategin för laddning av aquifären var dock något olika i de båda systemen; i det ena fallet pumpades ett konstant vattenflöde genom kyltornet till aquifären då den våta utetemperaturen var lägre än 10 °C medan i det andra fallet återcirkulerades vattnet genom kyltornet tills vattnets temperatur var lägre än 9 °C innan det tillfördes aquifären.

I det första fallet hade man vissa problem till följd av påfrysning i kyltornet vid låga utetemperaturer (-18°C). Till följd av krav på avfuktning av luft (behov av så låg köldbärartemperatur som möjligt) valdes att inte använda värmeväxlare utan köldbäraren tas direkt från aquifären och tillförs till kylbatterierna i luftbehandlingsaggregatet. (med tanke på problemen med avskiljning av sand och lera kanske värmeväxlare ändå hade varit att föredra). Förutom problemen vid idrifttagandet anser författarna att systemen fungerat bra, några direkta jämförelsetal ges dock inte utan endast den volym av 7 °C vatten som laddats i respektive aquifär redovisas.

P. Schmidt (1985) "New ways for the air conditioning of telecommunication systems"

Samma innehåll som i artikeln: Schmidt, P. (1987) "Air-conditioning in telecom installations with lowest energy consumption"

P. Schmidt (1987) "Air-conditioning in telecom installations with lowest energy consumption"

En artikel som handlar om klimathållning av telecom stationer och möjligheter till och konsekvenser av att utnyttja frikyla. Utgångspunkten i denna artikel är att det existerar krav med avseende på såväl temperatur som fuktighet i rummet. Minkravet vad gäller relativ fuktighet är ansatt till 40% RH vilket gör att det under en stor del av året föreligger ett behov att fukta tilluften, vilket antas göras via ångbefuktning. I artikeln utgår från ett återlufts-system där den återcirkulerande luften vid behov värms eller kyls och därefter blandas med uteluft och därefter vid behov (ång)fuktas. Ju lägre utetemperaturen är desto mer uteluft kan användas för att erhålla sensibel frikyla, men eftersom uteluftens absoluta fuktinnehåll samtidigt sjunker nås snart en gräns då det kostar mer att ångfukta för att tillgodose fuktkravet än att kyla cirkulationsluften.

De interna värmelasterna är i detta fall rent sensibla (500 W/m^2 (1987)) men eftersom den kalla uteluften också är torr uppstår ett latent värmeunderskott i rummet. I artikeln diskuteras utgående från områden i mollierdiagrammet som beskriver ortens klimatområde, rumskrav samt erforderligt tilluftstillstånd. Författarens lösning är att cirkulationsluften kyls sensibelt mot uteluften via heat-pipes vars värmeavgivande ände inkopplas mot en kanal mellan uteluftintaget och avluften (se figur i artikeln).

Intressant vore att studera motsvarande grundfall som ovan om en evaporativ fuktare används istället för en ångbefuktare. Även andra alternativa systemuppbyggnader borde studeras, varför inte även evaporativt fukta uteluften innan den blandas in med cirkulationsluften? Orsaken till att ångfuktaren är placerad där den är i detta fall är att den också måste kompensera för den avfuktning som sker när cirkulationsluften kyls i kylbatteriet. I ett fall som detta med ett minkrav på fuktighet i kombination med ett stora och i huvudsak sensibela värmelaster innebär att potentialen för att använda den kalla uteluften som frikyla minskar betydligt.

Detta kan relativt enkelt studeras genom att anta att det sensibla kylbehovet är konstant under hela året och dygnet. Även möjligheter att använda uteluft till följd av luftrenhetskrav i denna typ av applikationer bör funderas över (jmf renrum).

E. Shaviv (1983) "Climate and building design - tradition, research and design Tools"

En artikel som behandlar utformning av passiva/naturliga lösningar för byggnader i torra och varma klimat men inte så mycket som handlar om aktiva system för frikyla. Synsättet, det vill säga en helhetssyn, som präglar dessa typer av projekt är dock relevant även i mer konventionella projekt.

En sak som gäller oavsett om en passiv/naturlig eller aktiv frikyllösning eller en mer konventionell lösning skall användas är att reducera kylbehovet, exempelvis genom solavskärmning. En sak som nämns angående byggnadsorientering i denna artikel är att öst/väst fasader bör vara mindre än nord/syd fasader vilket verkar gälla generellt, optimalt förhållande beror dock på det lokala klimatet.

K. Skogsberg (2001) "Sesonal snow storage for cooling applications"

En licentiatuppsats (sammanläggning av 4 artiklar) som handlar om: 1. studier av naturlig och påtvingad smältning av ett snölager, 2. uppföljning av driften under första året för snökylanläggningen till Sundvalls sjukhus, 3. teoretiska och experimentella studier av isolerförmågan för ett spåntäcke ovan ett snölager samt 4. experimentella studier av "mass loss of freezing water". I artikel 1 konstateras att kyla från snö/islager har använts sedan urminnes tider fram till introduktionen av kompressorkylmaskiner i början av 1900-talet. I den korta litteraturstudien omnämns exempel på islager (Fabrikaglace, Ice pond) vars COP sägs uppgå till 95 respektive 50-2000, vad som nu egentligen avses med detta. I denna artikel sägs också att själva snölagret inte har någon effektbegränsning utan denna härrör från hur övriga systemkomponenter dimensioneras (rör, pumpar, värmeväxlare).

En intressant aspekt vad gäller isolering av snölagret med spån är att det vatten som absorberas i spånet kommer att förångas och evaporativt kyla snölagret. I artikel 2 redovisas lite driftdata från det första året i drift av snökylanläggningen till Sundvalls sjukhus. Här konstateras att generering av "extra" snö med hjälp av snökanoner kräver mycket arbete och underhåll (ca 760 mantimmar). Likaså hanteringen av spånet för isolering kräver relativt sett stora uppoffringar (10 dagars maskinarbete plus ca 270 mantimmar). Driftkostnaden som redovisas i denna artikel är 0,14 kr/kWh. Vad som ingår i denna driftkostnad framgår dock inte. Även två COP-värden redovisas för snökylanläggningen, 10, 5 respektive 8,6. I det första COP-värdet sägs att den levererade kylan relaterats till rena drivenergier (el) plus den energi som åtgår för hantering av snö och spån i snölagret. I det andra COP-värdet har även hänsyn tagits till erforderlig energi för framställning av material till komponenter etc.

Motsvarande COP-värde för en vanlig chiller sägs vara 2,2 i båda fallen. Mot slutet av artikeln konstateras att 85% av driftkostnaden härrör från hanteringen av spånet för isolering (vilket innebär att detta är medräknat i driftkostnaden 0,14 kr/kWh?). Artikel 3 handlar om experimentella studier av ett spåntäckes isolerförmåga. Artikel 4 handlar om vad författaren benämner "mass loss of freezing water" vilket avser den masstransport som sker från vatten eller is till omgivande luft om vattnets/isens ångtryck är högre än partialångtrycket i den omgivande luften.

F. Sodec (1999) "Economic viability of cooling ceiling systems"

En artikel där en jämförelse görs av totalkostnaden (drift + investering) för att kyla en byggnad via ett luftburet VAV system respektive ett vattenburet system med konstant luftflöde. Det som kan vara användbar information i denna artikel är investeringskostnader (i DM) för luftbehandlingsaggregat, kylmaskin etc. Det som gör resultaten i denna artikel lite tveksamma är hur/(om) kyleffektbehovet varierat hur/(om) rumstemperaturen tillåtit variera vid simuleringarna (inget nämns om rumstemperaturvariationer eller krav). Författaren slutsats angående totalkostnaden (drift + investering) för kyla är att den blir ca. 10-20 % lägre med ett vattenburet system under förutsättning att kylmaskinens kyltorn används för frikyla då så är möjligt samt att vinsten ökar då max kyleffektbehov ökar. Författarens slutsats angående nattkyla är att detta snarare ökar totalkostnaden för kyla (vilket troligtvis beror på att författaren inte tillåtit rumstemperaturen variera vid sina TRNSYS simuleringar). (Avsaknaden av uppgifter om/hur kyleffektbehovet och om/hur rumstemperaturen varierat gör att resultat i denna artikel inte känns tillförlitliga. En sak man också kan fundera över är när frikyla till kyltaket hämtas från kyltornet kan inte tilluften avfuktas vid den systemlösning som författaren beskriver, vid interna fuktillskott kan därmed kondensering inträffa på kyltaken).

G. Solaini, G. Dall'O and S. Scansani (1998) "Simultaneous application of different natural cooling technologies to an experimental building"

En mätteknisk studie i två likadana rum har gjorts i syfte att jämföra inomhusklimat och energibehov för följande systemlösningar; vattenburen "golvkyla" där köldbäraren kyla via värmeväxling mot marken (horisontella eller vertikala ledningar) samt fläktstyrd nattkyla via ventilation. Dagtid kyls bägge rummen via den vattenburna "golvkylan" samt utnyttjas enbart naturlig ventilation, däremot tillämpas bara nattkylan i det ena rummet (15 oms). Inomhustemperaturen blir följaktligen några grader lägre och el-energianvändningen något högre i det rum där nattkyla tillämpas. Till följd av brist på generalitet kan knappast någon användbar information hämtas från detta arbete.

K. E. Starner and R. A. Cromis (1977) "Energy savings: using high flux evaporator surface in centrifugal chillers"

Denna artikel handlar om design av "high flux" förångare. Mot slutet av artikeln förs fram att denna typ av förångare även är att föredra vid frikyla genom "refrigerant migration" vid centrifugalkompressorer. Artikeln faller till största delen innehållsmässigt utanför frikylaområdet, den behandlar i huvudsak värmeöverföringsteori.

G. E. Starr (1984) "Computer facility 'free' cooling"

Artikeln handlar om frikyla via kyltorn i ett öppet system för kylning av datorhallar. För den anläggning som projekterades sattes följande sju designkriterier upp respektive löstes på följande sätt: 1 automatiskt omslag från mekanisk kyla till frikyla: omslag utgående från uppmätt våt temperatur ute. 2 Noggrann reglering av utgående köldbärartemperatur: flera parallella kyltorn med varvtalsstyrda fläktar. 3 hög energieffektivitet både vid mekanisk kyla och frikyla: steglös reglering av alla komponenter. 4 effektiv rening av kyltornsvattnet eftersom en öppen lösning: avskiljning av partiklar via "centrifugal separators" (cyklon?) som är nästa helt underhållsfria samt "strainers" (filter). 5 kyltornet skall klara viss påfrysning: fyllmaterial av keramik istället för plast. 6 systemet skall ha hög redundans ("ha hög driftsäkerhet"): genom parallellkopplingar kan "kyla hämtas från godtycklig komponent och lämnas vid godtycklig komponent". 7 Kyltornet skall automatiskt kunna avfrostas: Kyltornsfläktarna kan köras baklänges via frekvensstyrningen. Författaren för fram tre saker som är innovativa i detta fall; användning av "centrifugal separators" samt "strainers" som är seriekopplade (sågs vara effektivt, ekonomiskt och nästan underhållsfritt), keramiskt fyllmaterial i kyltornet (håller bättre vid påfrysning), varvtalsreglering av kyltornsfläktar (noggrann temperaturreglering av utgående köldbärare). (En välstrukturerad artikel som dock har några år på nacken, idag är väl exempelvis varvtalsstyrda fläktar till kyltornet en standardlösning).

L. A. Stump (1977) "Report on developments in use of absorption liquid chillers .1. Operating principles and free cooling systems"

En artikel som beskriver möjligheter till frikyla vid användning av absorptionskylmaskiner (LiBr-H₂O). Kylvattnet som bereds i ett kyltorn för absorbatoren och kondensoren kan då utetemperaturen är lägre än 10 °C användas direkt för frikylning av köldbäraren i de fall absorbatoren och förångaren är ihopbyggda i samma skal. Absorbatoren/förångaren fungerar då som en värmeväxlare genom att köldmediet som sprayas över förångaren pumpas mellan absorbatoren och förångaren. För att inte saltkoncentrationen skall bli för hög måste dock en viss del drivvärme uppoffras, 60 % av kylkapaciteten kan dock uppnås med ca. 2 % av det nominella värmeeffektbehovet för generatoren. Förutom drivenergi för att pumpa vattnet genom kyltornet tillkommer här drivenergi för den interna köldmediepumpen samt generatorvärmets.

L. Ståhl (1993) "Switch room cooling-a system concept with switch room located cooling equipment"

Författaren beskriver ett vattenburet system för kylning av telefonväxlar. Kylbatterier är installerade i rummet ovan ett undertak och dessa kyls via en kylmaskin eller med frikylning via kylmedelskylaren. Frikylningen sker via en värmeväxlare som är installerad mellan köldbärarkretsen och kylmedelskretsen. I ett otempererat klimat (tropiskt) installeras även en separat kylmaskin för avfuktning (via kylning) av ventilationsluften. Denna kylmaskin används vid kortare driftfel för att kyla telefonväxlarna direkt via kylbatterierna i undertaket. En generellt sett ganska intetsägande artikel.

R. Stålebrant, A. Tvärne, G. Törnquist-Hedström, M. Askaner and A. Näslund (1997) "Tema: fjärrkyla"

Ett antal korta notiser i fjärrvärmetidningens temanummer om fjärrkyla. Anders Tvärne skriver kort om fyra forskningsprojekt. Gunilla Törnquist-Hedström skriver om fjärrkylan i Norrköping där frikyla i form av kallt vatten från Motala ström avses att användas under en del av året. Gunilla Törnquist-Hedström skriver vidare om fjärrkylan i Jönköping vilken hämtas från 65 meters djup i Vättern. Anna Näslund skriver om fjärrkylan i Stockholm som till stor del hämtas som frikyla i form av bottenvatten i Värtan. Inte mycket nytt att hämta i dessa korta notiser.

G. N. Tiwari, N. Lugani and A. K. Singh (1993) "Design parameters of an non-air-conditioned cinema hall for thermal comfort under arid-zone climatic conditions"

En artikel som handlar om implementering av olika passiva tekniker för att kyla en biograf i Indien. De evaporativa tekniker som tillämpats är dels att spraya vatten på taket och dels evaporativ kylning av tilluften, där ventilationsluften induceras via "wind towers". De naturliga tekniker som tillämpats är "radiative cooling" (strålningsutbyte mellan byggnadens omslutningsytor och atmosfären nattetid), "convection" (nattkyla) samt en kylning av tilluften via en tilluftskanal nergrävd i marken. Det är inte lätt att hitta något riktigt användbart i denna artikel som i huvudsak är en "teoretisk case-study" av passiv kyla.

M. Tucker (1987) "Reliable, energy efficient, close control environmental systems for telecommunications rooms"

En artikel som hävdar att det bästa systemet för klimatisering av rum med dator eller telecom utrustning är "packed air conditioning systems" (lokala cirkulationsaggregat?). Typiskt för denna typ av rum är att snäva temperatur- och fuktkrav måste tillgodoses och att det i huvudsak handlar om betydande sensibla och försumbara latent värmebelastningar. Likaså måste systemen vara flexibla, tillförlitliga och redundanta. I artikeln sägs också att i dessa applikationer krävs större (cirkulations?)luftflöden än vid vanlig komfortkyla (pga betydligt större interna värmebelastningar per m²?).

Till följd av de snäva kraven på fuktighet och renhet i rummet föreligger problem med att använda den självklara naturliga värmesänkan, kall uteluft, för frikyla. Istället förespråkas några andra typer av indirekt frikyla där den kalla uteluften utnyttjas. Här avses system där köldbäraren (vatten-glykol, vatten) kyls via en (torr) kylmedelskylare eller ett kyltorn som i sin tur kyler cirkulationsluften via ett kylbatteri. När det gäller behov av att befukta sägs att evaporativa fuktare/kylare inte är att föredra till följd av svårigheter att reglera. För befuktning är därför ångbefuktning eller "infrared water evaporation" att föredra (infrared -> vattenångan bereds via infravärme istället för via doppvärmare?).

Z. Wang (1996) "Controlling indoor climate. Passive cooling of residential buildings in hot-humid climates in China"

Denna avhandling behandlar olika tekniker för passiv kylning av byggnader i varmt/fuktigt klimat (Kina) men i huvudsak fokuseras på så kallad "cross ventilation" för bostadshus. "Cross ventilation" innebär i princip att tryckdifferensen mellan lovart- och läsidan som vinden omkring en byggnad ger upphov till används för att erhålla naturlig ventilation (kontrollerat korsdrag?). Den passiva kylningen i detta sammanhang är den "kylande" effekten som erhålls via ventilationen. (Avhandlingen behandlar detta område ingående men till följd av de randvillkor som gäller för studierna (extremt klimat, bostadshus, kinesisk byggnadsutformning etc.) är innehållet av litet generellt intresse. Sammanfattningsvis kan väl sägas att för att erhålla byggnader med väl fungerande passiva lösningar (naturlig ventilation etc.) krävs att ett långt gående helhetsperspektiv används när dessa utformas. Ett sådant helhetsperspektiv bör dock alltid användas, oavsett vilken eller vilka tekniska lösningar som används (kommer att krävas) i en viss byggnad).

J. W. Welsh (1984) "Chilled-water free cooling"

En ganska innehållslös artikel där författarna i princip bara berättar att de tillämpar frikyla via kylmaskinens kyltorn och "refrigerant migration" vid låga utetemperaturer. Ungefär 25 % av kylmaskinens max kylkapacitet sägs kunna erhållas via frikyla.

T. L. White (1994) "Winter cooling tower operation for a central chilled-water system"

En artikel som beskriver ett antal befintliga kylsystem för ett stort byggnadskomplex bestående av kontor och laboratorier. De flesta frikylsystemen bygger på "refrigerant migration" här kallad "thermosiphon free-cooling". Det som var den huvudsakliga orsaken till att man numera har övergett frikylfunktionen var att kylvattnets temperaturvariation blev för stor för kyltornen i laboratoriet vid växling mellan maskinell och frikyla.

P. Wickman and E. Sandberg (1996) "Kontor med naturlig kyla: Med samarbete och framsynighet kan man eliminera dyra och miljövåliga kylanläggningar"

En allmän artikel där en diskussion förs angående projekteringsföretsättningar såsom inomhusklimatkrav, projekteringshjälpmedel (programvara) samt att använda realistiska (korrekta) uppgifter över interna värmebelastningar från maskiner och belysning. Författarna resonerar också om vikten av att på alla tänkbara sätt reducera behovet av maskinell kyla, speciellt genom solavskärmning samt aktiv nattkyla.

J. I. Yellott (1978) "Passive solar heating and cooling systems"

En artikel som beskriver ett antal projekt med soldrivna passiva lösningar för värme och kyla. Inledningsvis diskuteras hur "passive solar heating systems" skall definieras.

Det som författaren kommer fram till är en definition som bland annat säger att systemets COP skall vara större än 50 för kunna kallas passivt (=nyttig kyla/värme från förnyelsebara källor i förhållande till uppoffrad energi från icke-förnyelsebara källor). (Eftersom de passiva lösningarna oftast är en integrerad del av en byggnad som optimerats på alla sätt för att minska kyl- och värmebehov samt att man oftast inte avser att uppfylla lika högt ställda komfortkrav som i konventionella projekt anses detta arbete falla lite utanför ramarna. Den läsare som är speciellt intresserad av soldrivna passiva lösningar kan nog finna en hel del med matnyttigt i denna artikel). I sin sammanfattning säger författaren att han inte känner till något sätt att direkt använd solenergi för kyländamål. Peltiere element kan dock i framtiden tänkas vara en sådan teknik. När det gäller soldrivna absorptionkylmaskiner så sägs de inte klara definitionen $COP > 50$, (men det borde väl de göra om man avser alstrad kyleffekt i förhållande till uppoffrad pumpeffekt?). Däremot visas att vid sprayning av vatten på ett platt tak kan man uppnå ett COP på 1 178 (kyleffekt i förhållande till pump-effekt), det vatten som förbrukas tas det dock ingen hänsyn till. Vidare nämns sk "solar chimneys" dvs. sätt att skapa ett ventilationsluftflöde med hjälp av solvärme.

G. R. Zheng and M. Zaheer-Uddin (1996) "Optimization of thermal processes in a variable air volume HVAC system"

En artikel som beskriver simuleringar som genomförts för att studera optimering av styr- och reglerstrategier för ett luftburet komfortkylsystem. Det enda som berör frikyla i denna artikel är om reglerstrategin utnyttjar möjligheten att se till att en större andel uteluft används i återluftssystemet då utlufttillståndet är lämpat för detta. (En intressant tanke angående kylbehov vid beräkningar är att man faktiskt kan definiera ett visst netto kylbehov som funktion av tiden som måste tillgodoses. Det vill säga definiera värmeöverskottet (eventuellt uppdelat sensibelt och latent) utan att specificera hur rumstemperaturen eller de interna värmelasterna varierar. Detta förutsätter indirekt också att kylbehovet inte heller påverkas av det rådande uteklimatet. Olika typer av system kan därmed kyleffekt-mässigt studeras för ett sådant fall för olika antagna uteklimatvariationer. Detta känns på något sätt vara mer verklighetstroget än att exempelvis ansätta ett konstant kylbehov för vissa applikationer. För att göra energi-beräkningar lämpar sig dock inte detta sätt).

M. Zimmermann, Andersson J. (1998) "Low energy cooling -case study buildings"

En IEA rapport från annex 28 "low energy cooling" som innehåller information om 18 olika "case study buildings" av olika typ och lokalisering. De kyltekniker som ingår är bland annat; nattkyla, "slab cooling", evaporativ kyla, sorptiv kyla samt kyla från marklager, aquifär och sjö. Beskrivningarna av varje objekt behandlar ett flertal olika aspekter som är knutna till de lokala förutsättningarna vilket medför att den givna informationens generalitetsgrad är något begränsad. De generella slutsatserna som antyds är dock att dessa tekniker i samtliga fall är mer energieffektiva än ett konventionellt alternativ.