

RAPPORT
Halkfria vägar
Solvärme och värmelagring för miljöanpassad
halkbekämpning



Non-skid winter roads
Solar heat and heat storage for environmentally sound
deicing

Dokumenttitel: Halkfria vägar - Solvärme och värmelagring för miljöanpassad halkbekämpning / Non-skid winter roads - Solar heat and heat storage for environmentally sound deicing
Skapat av: Vectura Consulting AB (Uppdragsnummer 107473)
Rapportansvarig: Jan Sundberg (Uppdragsledare Vectura)
Dokumentdatum: 2012-05-25
Dokumenttyp: Rapport
Ärendenummer: 4805
Diarienummer: TRV 2011/64259
Version: 1.0
Utgivare: Trafikverket
Kontaktperson: Åsa Jansson (Projektledare) och Olof Stenlund
Uppdragsansvarig: Urban Jonsson

Förord

Projektet har utförts av Vectura Consulting på uppdrag av Trafikverket. Jan Sundberg och Jenny Reinholdsson har författat rapporten. I arbetsgruppen har Åsa Jansson (projektledare) och Olof Stenlund ingått. Till projektet har en referensgrupp varit knuten bestående av: Karin Mehlberg, Carl-Gösta Enocksson, Martin Vinberg (alla Trafikverket) samt Johan Granlund (Vectura). Referensgruppen har lämnat värdefulla synpunkter på projektets genomförande och har även granskat rapporten tillsammans med projektledarna.

Innehåll

Förord.....	3
Innehåll.....	4
Sammanfattning.....	5
Summary	7
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte och avgränsning	9
2 Tillämpning.....	10
3 Vägytans energibalans	10
4 Halkbekämpning idag.....	12
5 Översikt av värmesystem	13
5.1 Fjärrvärme	13
5.2 Solvärme och geotermisk energi.....	14
6 Exempel - Uppvärmning för halk/snöbekämpning	15
6.1 Inledning.....	15
6.2 Serso, halkbekämpning på bro.....	15
6.3 Göteborgsbacken, halkbekämpning på väg	18
6.4 Bad Lauterberg, halkbekämpning på järnvägsplattform	19
6.5 Arlanda flygplats	20
6.6 Holzminden, Tyskland	20
6.7 Aomori, Japan	21
6.8 Andra exempel	22
7 Värdering av olika tillämpningar	23
7.1 Översikt	23
7.2 Vinster – Trafiksäkerhet, Framkomlighet och Miljö.....	24
7.3 Kostnader	26
7.4 Övriga aspekter	27
8 Typfall.....	28
8.1 Princip för uppvärmning av körbana.....	28
8.2 Bro	29
8.3 Backe	30
8.4 Gång- eller cykelbana	31
9 Slutsatser och rekommendationer	32
9.1 Slutsatser.....	32
9.2 Rekommendationer	32
Referenser	33
Bilaga 1: Vädersituationer och dess koppling till halka	

Sammanfattning

Vårt klimat medför att halkbekämpning vintertid är ett viktigt moment för att bibehålla framkomlighet och trafiksäkerhet. Syftet med föreliggande rapport är att identifiera lämpliga anläggningstyper där uppvärmning med solenergi beskrivs som ett alternativ till traditionell halkbekämpning. Projektet inriktas mot speciellt utsatta typer av anläggningsdelar eller andra typiska platser där betydande trafiksäkerhets- och framkomlighetsvinster kan erhållas.

Sverige har sedan slutet av 1970-talet varit ledande på värmelagring och naturvärmesystem. Tillämpningarna har främst varit för uppvärmning av bostäder där antalet installationer är mycket stort. En ny tillämpning skulle kunna vara att nyttja solvärme och markvärmeteknik för att bekämpa halka vid särskilt utsatta vägparter, perronger eller broar. Tanken är ursprungligen att genom ett slang/rörsystem i väg/brobanan cirkulera lagrad solvärme så att snö och is smälter och banan blir halkfri. Sommartid fungerar vägen eller bron som en solfångare och energin lagras i marken.

Följande kriterier har använts i arbetet:

- Höja säkerhet för trafikanter av olika slag
- Öka framkomlighet
- Undvika salt
- Effektivare energianvändning
- Förenkla och effektivisera halkbekämpningen

Tillämpningar för uppvärmning exemplifieras i tabellen nedan och har grupperats efter typ av fordon/trafikanter.

Målgrupp	Tillämpning
Hjulfordon	Bro utsatt för frosthalka
	Skarp utsatt kurva
	Brant backe
	Problematiske snöröjning av motorvägsmot, 3-fältsväg, ramp etc
	Väg på upptinad permafrost (frysning istället för uppvärmning)
Tåg	Nerisad spårväxel
	Trafikerad plattform
Flyg	Speciellt utsatta delar av flygplats
Gång/cykel	Frekvent använd gång- eller cykelbana
	Olycksdrabbad trottoar/övergångsställe
	Högtrafikerad hållplats, både köryta och hållplats
Natur, grundvatten	Skydd av känslig miljö

Det finns en rad internationella exempel inom området. Uppvärmning av speciellt utsatta vägvägnitt (t.ex. backar) bedöms påtagligt kunna öka framkomligheten vintertid. Som en konsekvens bör även olycksfrekvensen minska. Ett exempel på ett lyckat svenskt projekt är Göteborgsbacken i Jönköping.

Uppvärmning av broar bedöms kunna eliminera risken för frosthalka och därtill relaterade olyckor. Uppvärmningen av cykelleder och trottoar främjar året-runt cykling och gångtrafik och minskar därigenom belastningen på trafiksystemet framförallt i de centrala delarna av våra större städer.

Den samhällsekonomiska kalkylen är svår att genomföra utan ett konkret tillämpningsexempel. Det finns dock relativt omfattande generella kostnadsbedömningar av vad stopp i trafik, halkolyckor för gående etc orsakar. Bilden tycks vara att dessa summor är tillräckligt stora för att motivera insatser på särskilt utsatta avsnitt. Men man bör hålla i minnet att inte ens i ett konkret fall kommer det att vara säkert att kostnaden kan ställas i relation till nyttan i rent ekonomiska termer. Trafikantnyttan torde dock vara möjlig att beskriva i form av ökad framkomlighet och färre olyckor.

På plussidan finns ökad framkomlighet, minskad underhållskostnad, minskad olycksfrekvens, minskad miljöpåverkan genom saltning. På minus-sidan ökad investeringskostnad och driftkostnad för uppvärmningen. Uppvärmningen förutsätts i hög grad vara baserad på solvärme/geovärme. Sammanfattningsvis bedöms det finnas tillräckliga vinster för särskilt utsatta avsnitt varför det är intressant att utveckla tillämpningarna ytterligare.

Det rekommenderas att en fallstudie med tre konkreta tillämpningsexempel genomförs. I fallstudien innefattas (1) val av tillämpningsexempel, (2) dimensionering av energi- och effektbehov, (3) förprojektering av energisystem och utformning av körbanekollektorn, (4) investerings- och driftkalkyl samt (5) samhällsekonomisk EVA-kalkyl.

De tre tillämpningsexemplen föreslås vara; utsatt backe, frostkänslig bro samt central och trafikerad gång- eller cykelled.

Summary

Our climate requires that roads are deiced in winter in order to maintain accessibility and road safety. The purpose of this report is to identify suitable facilities where heating with solar energy is proposed as an alternative to traditional deicing. The project has focused on especially exposed parts of a road system or other typical places where significant traffic safety and accessibility gains can be obtained.

Since the late 1970s, Sweden has been a leader in thermal storage and natural heating systems. Applications have been primarily used to heat houses, where the number of installations is very large. A new application would be to use solar heating and heat storage technology to deice especially exposed stretches of roads, platforms or bridges. The idea is that by means of a pipe system in the roadway circulate stored solar energy so that snow and ice melt. In summer the road (or bridge) works as a solar collector and the energy is stored in the ground.

The following criteria were used to guide this study:

- Improve safety for road users of all kinds
- Increase accessibility
- Avoid salt
- Increased energy efficiency
- Simplify and rationalize deicing

Applications for heating are exemplified in the table below and are grouped by type of vehicle / road user.

Target	Application
Wheeled vehicles	Bridges prone to icing
	Sharp, dangerous curves
	Steep slopes
	Surfaces where snow removal is problematic
Trains	Roads on thawed permafrost (freezing instead of heating)
	Rail switches with snow/ice problems
Airplanes	Busy train platforms
	Especially exposed parts of airports
Pedestrians / cyclists	Frequently used pedestrian and bicycle paths
	Accident-prone pavements / pedestrian crossings
	Busy bus stops, both road surface and waiting area
Nature, ground water	Protection of sensitive environments

There are a number of international examples in this field. Heating of especially exposed sections of road (eg slopes) is considered to substantially increase accessibility in winter. As a consequence, the accident rate should be reduced. An example of a successful Swedish project is the "Gothenburg Slope" in Jönköping.

Heating of bridges is expected to eliminate the risk of icy conditions during the fall and thus reduce or eliminate related accidents. The heating of bicycle paths and pavements promotes all-season cycling and walking. This reduces the pressure on the road system, especially in the central areas of large cities.

Calculating the socioeconomic impact is difficult without a concrete application. However, there are relatively comprehensive overall assessments of the cost of traffic congestion and accidents caused by slipping for pedestrians. It would appear that these sums are large enough to justify action on particularly sensitive sections of road, for example. However, it is not certain that the cost can be related to the benefits in economic terms. The benefits for the road user should however be possible to describe in terms of increased accessibility and fewer accidents.

Advantages include increased accessibility, reduced maintenance costs, reduced accident rates and reduced environmental impact through the use of salt. Drawbacks are increased investment and operating costs for heating. Heating is assumed to be largely based on solar heat / geothermal energy. In summary, there are sufficient profits for the most exposed parts of the road system, which justifies further development of the applications.

A case study involving three specific examples of applications is recommended. The case study would include (1) selection of application examples, (2) design of energy and power demand, (3) pre-design of energy systems and design of the pipe system, (4) investment and operating costs, and (5) socioeconomic calculations.

The three application examples proposed are: an ice-prone slope, a frost-sensitive bridge and a busy central pedestrian pavement or bike path.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vårt klimat medför att halkbekämpning med salt vintertid är ett viktigt moment i vägunderhållet för att bibehålla framkomligheten och trafiksäkerheten. Halkbekämpning av något slag krävs på en mängd olika platser, så som vägar, flygplatser och gångbanor. Den vanliga metoden är att använda salt (i kombination med plogning), vilket medför negativa konsekvenser för bl.a. miljö och infrastruktur. Det finns även andra metoder, men gemensamt är att de kräver någon typ av fysisk aktivitet innan halkan är åtgärdad. Tillexempel måste vägarna saltas innan det blir någon effekt. Det innebär både att det kan dröja från det att halkan uppträder till dess att den är åtgärdad och att det krävs energi varje gång halkbekämpning görs.

Sverige har sedan slutet av 1970-talet varit ledande på värmelagring och naturvärmesystem. Tillämpningarna har främst varit för uppvärmning av bostäder där antalet installationer kan räknas i hundratusentals. En ny tillämpning skulle kunna vara att nyttja solvärme och markvärmeteknik för att bekämpa halka och snö vid särskilt utsatta vägpartier eller broar. Tanken är ursprungligen att genom ett slang/rörsystem i väg/brobanan cirkulera lagrad solvärme så att snö och is smälter och banan blir halkfri. Sommartid fungerar vägen eller bron som en solfångare och energin lagras i marken.

Sedan tidigare har returvattnet från fjärrvärmesystem utnyttjats för att hålla ytor snöfria. Många exempel finns avseende fjärrvärmeuppvärmda gångstråk, torg och gator i våra städer. Inom idrotten förlängs t.ex. säsongen genom uppvärmning av fotbollsplaner och kylning av bandybanor. Ett framgångsrikt exempel avseende väg är uppvärmning av ett körfält i Göteborgsbacken, Jönköping.

1.2 Syfte och avgränsning

Syftet är att identifiera lämpliga anläggningstyper där solvärme och värmelagring kan användas. Studien inriktas mot speciellt utsatta typer av anläggningsdelar eller andra typiska platser där betydande trafiksäkerhets- och framkomlighetsvinster kan erhållas. Följande kriterier har använts i arbetet:

- Höja säkerhet för trafikanter av olika slag
- Öka framkomlighet
- Undvika salt
- Effektivare energianvändning
- Förenkla och effektivisera halkbekämpningen

Denna rapport fokuserar på uppvärmningsmetoder som är tillämpbara i Sverige och som är resurssnåla och miljöanpassade. Uppvärmning med elkablar har således inte alls berörts. Ej heller den nog så miljövänliga uppvärmningen av gator mm från "varma underjordiska källor", dvs. äkta geotermisk energi, som förekommer på t.ex. Island. Direkt spridning av grundvatten på vägytor har inte heller studerats.

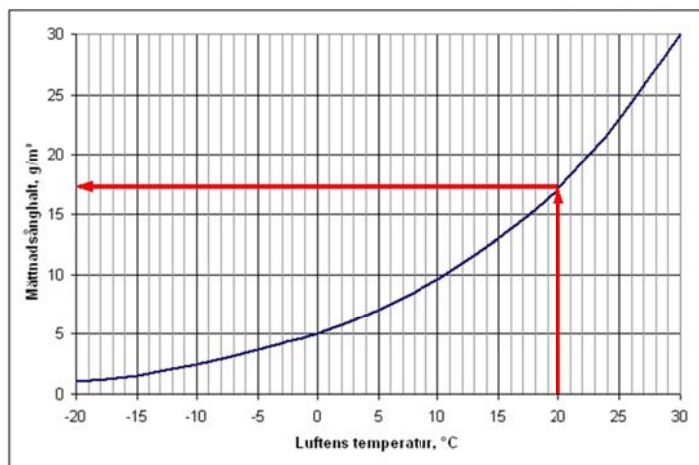
2 Tillämpning

Tillämpningar för uppvärmning har exemplifierats i tabellen nedan och har grupperats efter typ av fordon/trafikant. I tabellen beaktas inte om det är kommun eller stat som är huvudman och ansvarig för driften.

Målgrupp	Tillämpning
Hjulfordon	Bro utsatt för frosthalka
	Skarp utsatt kurva
	Brant backe
	Problematiske snöröjning av motorvägsmot, 3-fältsväg, ramp etc
	Väg på upptinad permafrost (frysning istället för uppvärmning)
Tåg	Nerisad spårväxel
	Trafikerad plattform
Flyg	Speciellt utsatta delar av flygplats
Gång/cykel	Frekvent använd gång- eller cykelbana
	Olycksdrabbad trottoar/övergångsställe
	Högtrafikerad hållplats, både köryta och hållplats
Natur, grundvatten	Skydd av känslig miljö

3 Vägytans energibalans

Frosthalka är vanlig under hösten och uppkommer när vägbanan är så kall att fukten i luften fälls ut (kondenserar) och fryser. Den relativa fuktigheten i luft är temperaturberoende och där 100 % relativ fuktighet uppnås, fälls fukt ut. Frosthalka kan således uppkomma vid plusgrader i luften om vägytan är tillräckligt kall för att vattenångans daggpunkt skall överskridas och den utfällda fukten frysa. Figur 1 åskådliggör luftens maximala innehåll av vattenånga vid olika temperaturer.



Figur 1. Luftens maximala innehåll av vattenånga vid olika temperaturer.

Ett typfall är klara nätter på hösten när utstrålningen är hög och sänker vägbansens ytemperatur. Om vägens värmeledning inte är tillräckligt stor hinner inte värme transporteras upp från underliggande mark, och kompensera för utstrålningen, utan vägbanan fryser, se Figur 2.

Mark- eller vägytans temperatur och friktion är resultatet av ett komplicerat värmeutbyte och en funktion av en rad kopplade förlopp såsom mark- och lufttemperatur, in- och utstrålning, avdunstning och kondensation, relativ fuktighet samt värmeflödet från marken.

4 Halkbekämpning idag

Snö och is försämrar framkomligheten och ökar risken för olyckor. Därför är halkbekämpning och snöröjning viktiga driftåtgärder vintertid. Vilken typ av halkbekämpning som används beror på vad det handlar om för trafikslag. När det gäller järnvägen plogas och skottas snön bort från spår och spårväxlar. För att förhindra att spårväxlarna fryser fast värms de upp med el. Flygplatser hålls rena med hjälp av plogning, sopning och kemikalier. Kemikalierna kan vara kaliumformiat eller urea. Vägar plogas och halkbekämpas med salt eller sand. På högratifierade vägar används vanligen salt och på övriga vägar används oftast sand. Fortsättningsvis kommer texten att fokusera på halkbekämpning av väg.

Trafikverket har ett väderinformationssystem (VViS), som underlättar det förebyggande halkbekämpningsarbetet. Längs vägarna i Sverige finns det över 700 väderstationer utplacerade på platser där risk för halka är som störst. De skickar information till bland annat de entreprenörer som ansvarar för halkbekämpningen. Därmed kan de vara ute i så god tid som möjligt och saltmängden kan optimeras.

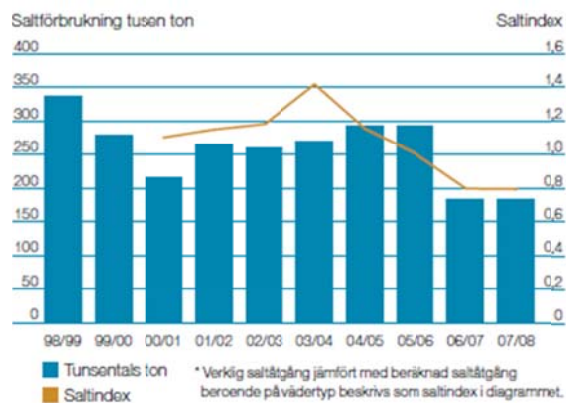


Figur 4. En av Trafikverkets 700 väderstationer (KTH, 2012). Yttemperatur, lufttemperatur och relativ luftfuktighet mäts vid alla stationer.

Användande av salt på vägarna är omstritt. Saltet hjälper till att förbereda vägen inför frosthalka, men det förhindrar även att snö fryser fast på mark och det kan användas för att snabbt få snöfritt på en plogad vägbana. Salt har därmed en rad positiva egenskaper. Kostnader för vinterdrift fördelas ca 1/3 på snöröjning, 1/3 på halkbekämpning samt 1/3 på isrivning och annat (Statens Vegvesen 2011). Exakt fördelning varierar inom landet, beroende på strategi, standard, trafik, geografi och klimat.

Saltanvändningen har även negativa effekter och Trafikverket arbetar för att minska mängden som används. Saltet påverkar såväl den omgivande miljön, som bilarna som kör på vägen. Grundvatten och växter i vägens närhet kan påverkas. Vidare fastnar modden på bilarna, vilket innebär att bilen behöver tvättas oftare. Saltet orsakar även rost på bilarna. Det finns även en opinion mot användandet av salt, framförallt i norra Sverige. En risk vid saltning är att återfrysning av saltad vägbana kan ske om saltning skett vid fel temperatur eller om saltmängden dimensionerats fel.

Trafikverket har som målsättning att reducera användandet av salt. I Figur 5 redovisas årlig saltanvändning. Per säsong sprid det mellan 180 000 och 300 000 ton salt. En långsiktig tendens finns till minskad saltanvändning. Saltindex redovisar förbrukningen men hänsyn tagen till väderlek och saltvägnätets längd. Tendensen till lägre saltindex från perioden 2006-2008 har bibehållits även på senare år och saltindex har stabiliserat sig på en nivå kring 0,8 (Trafikverket 2012b).



Figur 5. Saltförbrukning i det statliga vägnätet. Vägverket 2009.

5 Översikt av värmesystem

5.1 Fjärrvärme

I samband med att fjärrvärmens introducerades i Sverige blev det intressant att använda returvärme för uppvärmning av gator och trottoarer för snö- och halkbekämpning. Det förekommer inledningsvis främst i de tidiga fjärrvärmenäten i t.ex. Stockholm (Drottninggatan) och Göteborg (Avenyn). I nät med kraftvärme, där produktion av elkraft kombineras med värmeproduktion, används fjärrvärmenätet för kylning av ånga efter kraftturbinen. Genom att öka kylningen med rör förlagda i gata erhöll man ökad kraftproduktion till en bättre verkningsgrad än i ett kondenskraftverk. I många städer har man satsat på uppvärmning av främst gånggator och trottoarer för att öka attraktion och trivsel, förbättra framkomligheten och minska olycksrisken. Borås har exempelvis 28 000 m² uppvärmda gator och torg och Västerås ca 150 000 m².

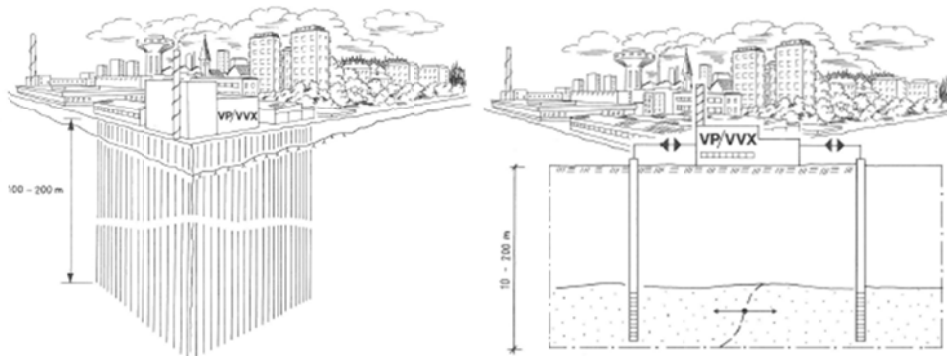
Betydligt mindre vanligt är att utnyttja fjärrvärme för uppvärmning av vägar. Endast ett exempel har hittats i Sverige och det är uppvärmning av ett körfält av Göteborgsbacken i Jönköping. Orsaken till att tekniken inte har tillämpats i större utsträckning är troligen begränsningar i fjärrvärmenätets utsträckning och kapacitet samt eventuella administrativa hinder mellan olika väghållare (TRV: vägar, kommunen: gator).

Man kan således betrakta fjärrvärmeuppvärmning av gågator i tätort som en relativt etablerad teknik. Hur miljövänlig den är beror av energislaget för produktion av fjärrvärmens (t.ex. om överskott av spillvärme föreligger) och vilka vinster som kan uppnås genom att saltning undviks.

5.2 Solvärme och geotermisk energi

Sedan 1970-talet har Sverige varit ett föregångsland avseende användning av lagrad solvärme för uppvärmning och kylning av bostäder och lokaler. I de allra flesta fall har värmepumpsteknik använts men i några fall, främst avseende kylning, har direktvärme/kyla använts. Den mest omfattande tillämpningen är berg- och jordvärme. Tekniken är principiellt relativt enkel och innebär att lagrad solvärme utvinns från marken via borrhål eller ett rörsystem vid låg temperatur. Markvärmen värmväxlas till en värmepump där temperaturen höjs genom tillsats av elenergi. Därefter sker värmväxling till husets uppvärmningssystem, normalt en radiator- eller golvvärmekrets. Eftersom en mindre del av energin som extraheras från marken även kommer från jordens inre brukar man ibland i Europa benämna berg- och jordvärmesystemen som geotermisk energi. Eftersom systemen normalt är relativt grunda så utgörs huvuddelen av den uttagna värmen av lagrad solenergi och värmeinlagringen ökar gentemot normal mark pga. temperatursänkningen i marken.

Betydligt större system finns också för större värmebehov, vilket illustreras av Figur 6. Eftersom värmelagret blir kompakt, och upptar en relativt sett liten markyta, kan man inte förlita sig på naturlig temperaturåterställning utan aktiv inlagring av värme från t.ex. solfångare är nödvändig. Vid sådana system får man också lägga större vikt vid lagrets värmeförlust, vilket är en funktion av storlek, temperaturnivå, markens värmeledningsförmåga, grundvattenrörelser samt grad av isolering. I Figur 6 illustreras också lagring av värme eller kyla i ett grundvattenmagasin.



Figur 6. Säsongslagring av energi i borrhålsvärmelager (vänster) samt akvifervärmelager (höger) (Magnusson & Sundberg, 1990)

Man kan således skilja på två huvudprinciper av värmesystem, med eller utan värmepump. Det direkta systemet utan värmepump har fördelar i enkelhet på grund av färre komponenter. För hög tillgänglighet krävs dock att systemet har tillräcklig mängd energi lagrad till en tillräckligt hög temperatur för att klara sin uppgift i slutet av säsongen det "värsta" året. System med värmepump är mer förlåtande eftersom temperaturnivån i lagret inte blir lika styrande för effektiviteten.

Själva värmelagret får också olika funktion och temperaturnivå. I det förstnämnda fallet med värmepump så har man normalt en temperatur som vintertid är under markens normala temperatur och sommartid låter man solinstrålningen till den uppvärmda ytan primärt generera temperaturen. Värmeförlusterna blir därmed låga eller negativa. Detta system kan jämföras med bergvärme för ett enfamiljshus där man sommartid nyttjar frikyla för att kyla huset och därmed återladdar lagret.

Vid system utan värmepump krävs generellt sett högre temperatur i lagret. För att inte förlusterna skall bli för stora och därmed i väsentlig grad påverka effektiviteten för systemet och temperaturnivån i lagret så måste lagret ha en viss storlek. System utan värmepump lämpar sig därför bättre för större tillämpningar.

6 Exempel - Uppvärmning för halk/snö-bekämpning

6.1 Inledning

Via litteraturstudien har konstaterats att det finns flera olika projekt som rör alternativ halkbekämpning runt om i världen. Exempel som beskriver vätskebaserade och miljövänliga system har valts ut och beskrivs lite mer utförligt. Några övriga exempel på andra utformningar och tillämpningar som hittades under litteraturstudien beskrivs därefter.

6.2 Serso, halkbekämpning på bro

I Schweiz har man ett pilotprojekt som kombinerar solenergi och geotermisk energi. Det startade 1994 och det pågår fortfarande. Under sommaren värms den asfaltsbelagda bron upp och värmen tas till vara och lagras i underjorden. Värmen används sedan vintertid för att värma upp bron. El behövs endast till cirkulationspumparna. Syftet är att hindra isbildning. Målet är att bron inte ska ha sämre "halkegenskaper" än intilliggande vägar. Figur 7 visar bron i drift.



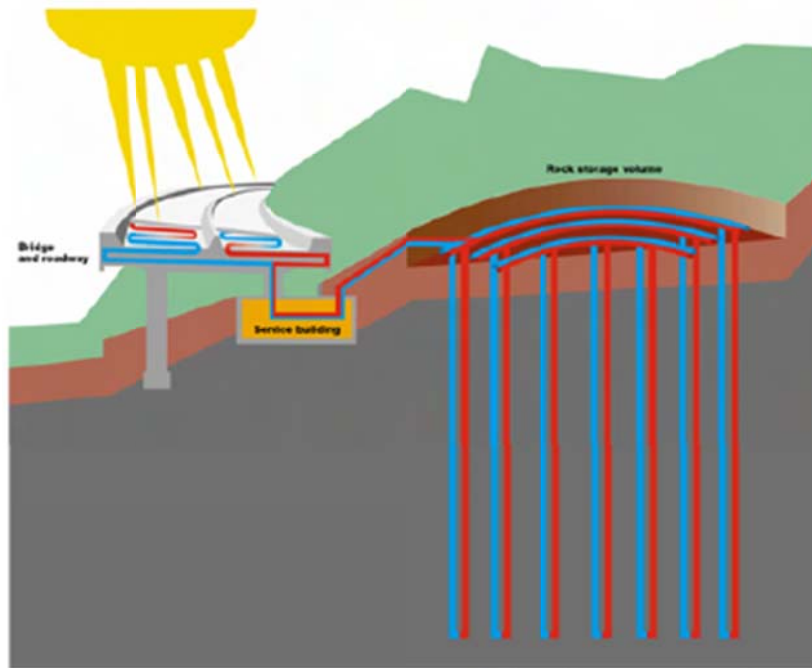
Figur 7. SERSO bron i drift (Eugster, 2007).

Rör, fyllda med en blandning av vatten och glykol, ligger inbäddade i asfalten cirka 7 centimeter under ytan, se Figur 8 från byggnationen av bron. Asfalten är stabiliserad med plast och cement. Värmelagringen sker i berget intill bron. Det elektroniska kontrollsystemet finns i en byggnad under bron.



Figur 8. SERSO bron under byggnad.

Sommartid absorberar vägytan infallande solljus, se Figur 9, och värmen transporteras kontinuerligt bort av vätskan i rören och till platsen för värmelagring. Värme lagras så länge vägen är varmare än berget. Under sommaren samlas cirka 20 % av den instrålade värmen in. Av den mängden är cirka 35 % förluster och resten kan användas till att värma bron vintertid.



Figur 9. Principschema över SERSO brovärmesystem. Vägen fungerar som en värmeväxlare. Sommartid är vägen en solkollektor och värmen lagras i ett värmelager i berg via en servicebyggnad innehållande pumpar och styrutrustning. Vintertid värmer energin från lagret vägen som i sin tur håller den snö- och halkfri. Den uppvärmda vägarean uppgår till ca 1300 m². Värmelagret i berg uppgår till ca 55000 m³ och har 91 borrhål (värmeväxlare) ner till 65 m djup (Eugster, 2007).

Vintertid sker det motsatta. När det finns risk för isbildning på bron överförs värme från lagret till rören i bron. Överföring sker oftast när lufttemperaturen ligger mellan +4°C och -8°C. Målet är att hålla en temperatur på vägbanan över +3°C. Kontrollsystemet mäter kontinuerligt temperaturen i vägbanan, i värmeackumulatoren och i det hydrauliska systemet.

Behovet av energi varierar med hur svår vintern varit och uppgår till mellan 30-100 MWh. Genomsnittlig uteffekt uppges till ca 100 W/m². Detta innebär en energimängd om ca 20-80 kWh/år/m². Drifttiden uppges till mindre än 1000 h/år vintertid.

Den totala kostnaden för SERSO pilotprojekt var cirka 2500 euro/m². En uppföljare bedöms dock ligga på halva kostnaden. Den operativa kostnaden är cirka 4 euro/m² och år, vilket beror på kostnad för el till pumpar och underhåll. Siffrorna är från 2007.

Projektet har visat att det går att samla tillräckligt mycket energi från bronns beläggning sommartid för att hålla den isfri vintertid i aktuellt klimat. Systemet kräver dock ett flexibelt och precist regelsystem.

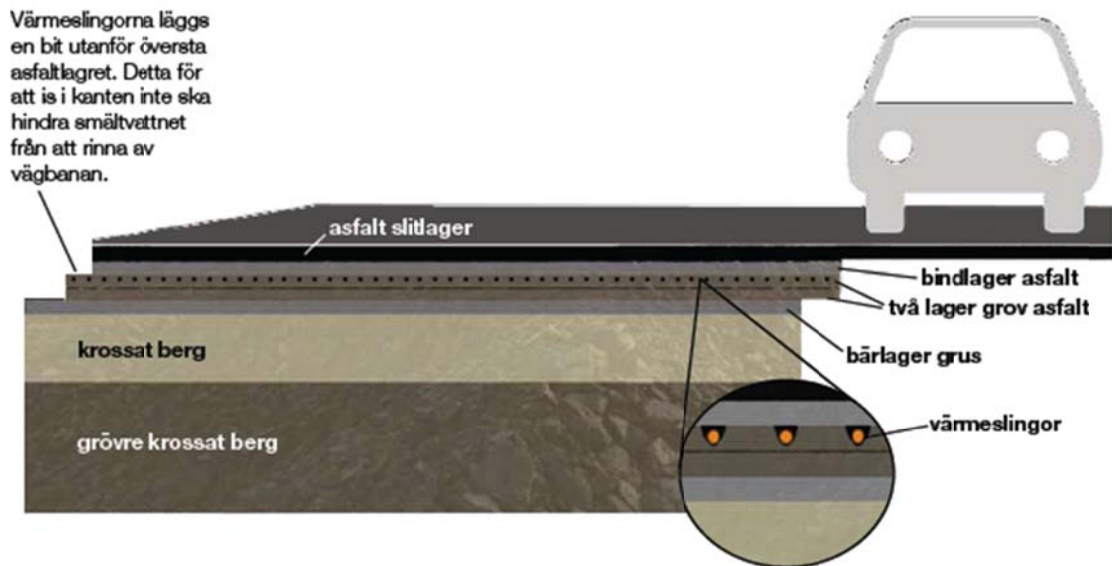
6.3 Göteborgsbacken, halkbekämpning på väg

I Jönköping finns en brant sträcka av riksväg 40, Göteborgsbacken, där det under årens lopp har varit trafikproblem på grund av den kraftiga lutningen. För att förbättra framkomligheten, t.ex. vid långa intensiva snöfall, byggdes Göteborgsbacken om år 2007. Ombyggnaden innebar att ett tredje körfält (stigningsfält) uppför backen byggdes. I den brantaste delen av backen lades värmeslingor på en sträcka om 1500 meter. Värmeslingorna är anslutna till fjärrvärmesystemet i Jönköpings kommun. Lutningen i den brantaste delen av backen är 7 %.

Värmeslingorna är 2,5 cm i diameter och de ligger i asfalten, cirka 12 cm under ytan. Slingorna ligger med cirka 25 centimeters mellanrum. För att inte is ska ansamlas i kanten på vägbanan och förhindra smältvattnet från att rinna av, läggs slingorna en bit utanför det översta asfaltslagret, se Figur 11 och Figur 10.



Figur 10. Asfaltering med synliga värmeslingor. Totalt installerades närmare 3 mil slingor (Trafikverket, 2006).



Figur 11. Uppbyggnad av det tredje körfältet i Göteborgsbacken. Uppvärmning sker i den branta delen av backen. Antalet värmeslingor är 19 st med cc 25 cm (och inte så många som man kan få intryck av i illustrationen ovan) (Trafikverket, 2006).

Värmetillförseln styrs med automatik. Styrsystemet tar hänsyn till bland annat nederbörd, lufttemperatur, temperatur på vägbanan och prognoser från SMHI.

Ombyggnaden kostade cirka 42 miljoner kronor. Uppskattad merkostnad för den uppvärmda delen är knappt 11 miljoner exkl. anslutningskostnad för fjärrvärme (Andersson/Linder, 2012). I arbetsplanen för projektet gjordes bedömningen att uppvärmningen medför att kostnaden för vinterväghållning för det nya körfältet blir cirka 300 kkr (2006) lägre. De reella besparingarna för driften uppgår till 150 kkr för en tidigare vid backen stationerad hjullastare samt saltning (Kildén, 2012). Därutöver tillkommer besparingar relaterad till ökad framkomlighet och minskade/inga trafikstopp samt potentiellt färre olyckor.

Systemet har fungerat bra. Inga snö- och halkrelaterade trafikstopp inträffade under den extrema vintern 2010/11. Vintern innan skedde ett trafikstopp men på grund av motorstopp och inte på grund av problem med anläggningen. Driftkostnaden uppgår till mellan 300-600 kkr per år och energiförbrukningen är ca 850-1700 MWh per år, eller 125-250 kWh/(m²·år).

6.4 Bad Lauterberg, halkbekämpning på järnvägsplattform

I Tyskland har man tagit fram ett system för uppvärmning av en plattform vid en järnvägsstation, Bad Lauterberg im Harz–Barbis. Systemet utnyttjar en kombination av solenergi och geotermisk energi. För att driva pumparna krävs dock el.

Uppvärmningen av plattformen togs i drift år 2005 och syftet är att hålla plattformen fri från is och snö. Plattformen är cirka 200 meter lång och under ytan finns det vätskefyllda polyetenrör, som är kopplade till ett angränsande värmelager. Uppvärmningen sker på samma vis som i Serso-projektet. Sommartid absorberas solvärmern i plattformen och värmen leds bort till värmelagret. Vintertid är processen den omvända. Värmen leds från marken till plattformen. Enligt tillgängligt underlag har inte investerings- och driftkostnaderna för projektet publicerats.

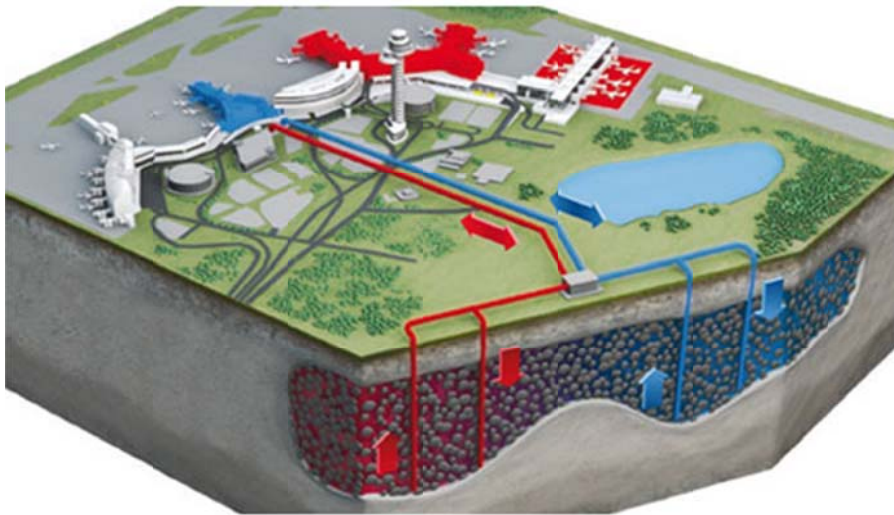


Figur 12. Perrongen i Bad Lauterberg med markvärmesystemet i drift. Perronglängden är ca 200 m (Rehau, 2007).

6.5 Arlanda flygplats

Arlanda flygplats värmer sedan år 2009 upp flygplanens uppställningsplatser vintertid med hjälp av ett närliggande grundvattenmagasin (akvifer) i en del av en rullstensås, se Figur 13.

Sommartid kyler akviferen byggnaderna vid flygplatsen genom att kallt vatten pumpas upp från akviferen till ventilationsaggregaten. Eftersom det uppvärmda returvattnet återförs till akviferen, sker en värmelagring. Akviferen finns i den närliggande rullstensåsen Brunkebergsåsen. Energin räcker till att vintertid förvärma luften in till byggnaderna och att hålla 100 000 m² mark snö- och isfri intill uppställningsplatserna. Metoden förutsätter tillgång till en akvifer av lämplig storlek.

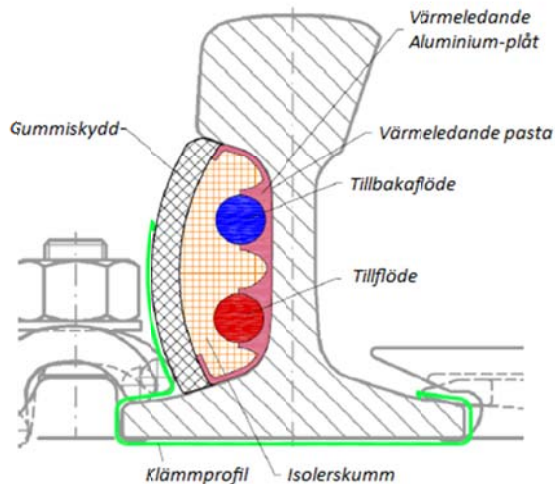


Figur 13. Lagring av värme och kyla i rullstensås (akvifer) vid Arlanda flygplats (Långåsen, del av Brunkebergsåsen) (Swedavia 2012). Vintertid pumpas varmt vatten upp från akviferen och används till förvärmning av ventilationsluft och för att hålla flygplanens uppställningsplatser snöfria, varefter det kylda vattnet återinfiltreras. Sommartid sker det omvända, dvs. ventilationsluften kyls av uppumpat kallt vatten och flygplanens uppställningsplatser fungerar som solfångare och det uppvärmda vattnet pumpas tillbaka in i akviferen.

6.6 Holzminden, Tyskland

Under litteraturstudien undersöktes även möjligheten att värma upp spårväxlar i en järnvägsanläggning.

Idag värms spårväxlar vid järnvägar upp allmänt med elektriska värmeelement. I januari 2006 togs en ny typ av anläggning i drift i Holzminden, Tyskland. Systemet utnyttjar bergvärme och består av en värmeväxlare i marken, en värmepump och en värmeväxlare vid rälerarna, se Figur 14. Den här typen av utformning är i dagsläget främst aktuell på platser där det finns flera växlar nära varandra, som till exempel vid en bangård. I annat fall blir det för kostsamt.



Figur 14. Utformning av värmeväxlaren vid rälen (växel) (Becker 2009, modifierad från Frenzel 2009).

6.7 Aomori, Japan

I staden Aomori i Japan (norra ändan av ön Honshu) värms två trottoarer upp med geotermisk energi via värmepump och borrhål i berg. Årlig snömängd uppgår till 10 m och uppges vara den snörrikaste staden i världen med befolkning över 300 000 invånare. Uppvärmd area uppgår sammanlagt ca 660 m². Projekterad effekt uppges till 170 W/m² och drifttiden till ca 500 h per år. Elkostnaden uppges till 6 euro/m²/år (ca 2004). Uppmätt medeleffekt var under åren 2002-2003 drygt 200 W/m² (Morita & Tago, 2005).



Figur 15. Trottoaren i Aomori i drift (Eugster, 2007).

Det finns flera exempel på snösmältning med geotermisk energi i Japan. Det har emellertid varit svårt att finna god dokumentation. I en översikt från 1998 uppges ett 20-tal anläggningar finnas i drift för snösmältning som använder energilagring i mark (Iwamoto et al, 1998). I en annan studie (Nagano et al, 2006) uppges nödvändig energi för snösmältning uppgå till mellan 100 och 700 W/m² beroende på årsmedeltemperatur och snöfallsintensitet. Direkta system utan värmepump uppges inte klara snöfritt alla dagar vid mindre gynnsamt belägna orter.

6.8 Andra exempel

Vid litteraturstudien framkom att det genomförts en rad olika projekt värden över för att hantera halka på vägar. Nedan beskrivs exempel på projekt som hittades och som är i olika teknikutvecklingskedan.

6.8.1 Solar Roadways , USA

I USA finns det ett företag, Solar Roadways, som har inriktat sig på att ta tillvara på solenergi med hjälp av solceller i vägbanan. Målet är att kunna lagra överskottsenergi längs vägen. Det är ett relativt nystartat företag och därmed finns ingen färdigbyggd anläggning. Man har byggt en prototyp om cirka 13 m² och den består av solpaneler, värmeelement och trådlösa LED-lampor inneslutna i slitstarkt glas. Som nästa projekt planerar företaget att bygga en parkeringsplats. Det här är ett projekt i sin linda och forskning kvarstår innan metoden kan användas i större skala.

6.8.2 Solar Road system, GB

Ett engelskt företag, ICAX, har tagit fram ett system för att använda solenergi till att värma vägar och byggnader. Systemet kallas Solar Road system och det finns i bruk vid en tillfartsväg till M1, norr om London. Ett pilotprojekt finns även i bruk i Hiroshima, Japan.

Sommartid lagras solenergi i en värmebank. Vintertid används energin till att smälta is. Solenergin absorberas med hjälp av vätskefyllda rör i vägbanan. Värmen leds vidare till värmebanken, som kan ligga både under vägen och vid sidan av. Om det inte är möjligt att ha en horisontell värmebank lagras värmen i borrhål.

6.8.3 Bro i Roca Spur , USA

I Nebraska har man belagt en bro med betong med hög elektrisk ledningsförmåga. Genom att tillföra el värms betongen upp och ytan kan hållas ren. Projektet föregicks av ett experiment som visade på en stabil och jämn värmefördelning i betongen. Experimentet visade att det är möjligt att smälta is med denna typ av metod och värmeförmågan var konstant under de tre år som testet pågick. Uppvärmning i förebyggande syfte är att föredra framför att smälta isen.

Efter ovanstående försök har man belagt en bro för biltrafik, Roca spur bridge, i Nebraska med denna typ av betong. Betonglagret på bron är 36 meter långt och 8,5 m brett, uppdelat i 52 betongplattor. Konstruktionen med betongplattor innebär att enstaka plattor kan bytas ut om det behövs. Ingen försämrad ledningsförmåga har noterats under de 5 år projektet har varit igång (Tuan, 2008). En nackdel med systemet är att det kräver tillförsel av el.

6.8.4 Hot Bridge, USA

Under 1990-talet installerades ett uppvärmningssystem på en bro över Buffalofloden. Systemet består av rör inbäddade i betongplattor. I rören finns det ammoniak. Bron har en lätt lutning, så att den ena änden av rören ligger lite högre än den andra änden. Rören är kopplade till en värmväxlare. Ammoniaken värmväxlas mot en varm blandning av vatten och propylenglykol, som värms upp med hjälp av en propangaseldad ugn.

7 Värdering av olika tillämpningar

7.1 Översikt

I tabellen nedan har tillämpningar för uppvärmning identifierats och grupperats efter typ av fordon/trafikant. I kommentarsfältet lyft vissa framträdande aspekter fram. Övergripande aspekter som trafiksäkerhet, minskad miljöpåverkan upprepas inte. I tabellen beaktas inte om det är kommun eller stat som är huvudman och ansvarig för driften.

Mål-grupp	Tillämpning	Kommentar/effekt/konsekvens
Hjul-fordon	Bro	Eliminerar risken för frosthalka. Bro blir kallare än omgivande väg på grund av flersidig avkylning vilket innebär större risk för tidig halka. Saltinträngning påverkar intervallen för större periodiskt underhåll.
	Skarp utsatt kurva	Minskar konsekvensen av frosthalka. Kurva innebär ökad risk jämfört med raksträcka.
	Brant backe	Ökar framkomligheten och stopp undviks. Medför påtagligt minskade driftkostnader för saltning och snöröjning.
	Motorvägsbot, 3-fältsväg, ramp etc	Förenklar snöröjningen där svårigheter att snöröja finns. Vid snö blir körytan mindre och snö kan behöva transporteras bort. Närliggande snövallar ökar risken för att smältvatten återfuktat vägbanan och fryser under t.ex. vårperioden.
	Väg på permafrost	Kylning/frysning av vägen eliminerar svåra sättningar när den mörka vägytan fångar värme som får torv och andra lösjordar under vägkroppen att tina och därmed försvagas dramatiskt.
Tåg	Spårväxel	Kan minska driftkostnad och effektbehov för direktverkande elektisk uppvärmning, samt öka tillgängligheten, för grupper av växlar.
	Plattform	Förenklar snöröjningen där svårigheter att röja och borttransportera snö finns. Närbkontakt fotgängare och tung trafik medför ökad risk vid halka.
Flyg	Speciellt utsatta delar av flygplats	Smälter snö som alternativ till annan snöröjning. Minskad driftkostnad och miljöpåverkan. Ökad tillgänglighet.
Gång/-cykel	Gång- och cykelbana	Främja gång- och cykeltrafik efter vissa leder som är garanterat framkomliga året runt. Eliminera negativa effekter som grusning har, i form av rullgrus, när banan är snöfri under speciellt höst och vår.
	Trottoar/övergångställen	Öka framkomligheten och trivsselfaktorn samt minska olycksrisken vid förutsättningar för ishalka.
	Hållplats, både köryta och hållplats	Öka framkomligheten och minska olycksrisken. Snövallar förekommer ofta som minskar framkomlighet och snö behöver vidare transporteras bort. Närbkontakt mellan fotgängare och tung trafik medför ökad risk vid halka. Kylning sommartid minskar vägbildning av asfalt vid tunga fordons inbromsning.
Natur, grundvatten	Skydd av känslig miljö	Minskad miljöpåverkan genom att saltning undviks. Flora, fauna och yt- och grundvatten kan alla vara skyddsobjekt. Undvikande av saltning medför förutom minskad miljöpåverkan även ökad möjlighet för byggande i en känslig miljö. Samvarierar med övriga punkter ovan.

Som framgår av tabellen ovan så kan kraven på exempelvis en vägsträcka vara av olika karaktär. Om kravet på en väg är att undvika frosthalka på hösten ställs betydligt lägre krav på ett uppvärmningssystem jämfört med att körytan skall vara 100 % snöfri under "sämsta" förhållanden (lång, kall vinter med riklig nederbörd).

7.2 Vinster – Trafiksäkerhet, Framkomlighet och Miljö

7.2.1 Inledning

Eftersom uppvärmning av vägar mm kräver investeringar och också kostar i drift kommer möjliga tillämpningar att begränsas till speciellt utsatta avsnitt där stora vinster finns att hämta avseende trafiksäkerhet, framkomlighet, miljö och minskade driftkostnader.

7.2.2 Samhällsekonomiska analyser och modeller

Trafikverket utför regelbundet samhällsekonomiska analyser och trafikprognoser inom transportområdet. För ändamålet finns en rad olika prognos- och analysverktyg. ASEK (Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder inom transportområdet) föreslår vilka samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder som bör användas vid analys av olika former av åtgärder inom transportområdet och rekommenderar viktigare indata till dessa. ASEK är en myndighetsgemensam arbetsgrupp som leds av Trafikverket.

Exempel på modeller är EVA som är det mest använda analys hjälpmedlet för att göra samhällsekonomiska kalkyler på vägsidan inom Trafikverket. EVA kan användas för att analysera både nybyggnads- och förbättringsåtgärder och för att följa upp konsekvenser av genomförda investeringar. Lill-EVA är den effektmodell för trafiksäkerhet som ingår i EVA. Verktöget kan vara enklare att använda när endast olyckseffekter ska studeras, eftersom det kräver färre indata.

För närvarande saknas en metod för beräkning av den samhällsekonomiska nyttan av vinterväghållningen. Ett intressant verktyg under utveckling är Vintermodellen som beräknas vara klar under 2012. Den är tänkt att användas för att beräkna de viktigaste effekterna av olika strategier och åtgärder inom vinterväghållningen.

7.2.3 Trafiksäkerhet

Trafiksäkerhetsvinster för uppvärmning av vägar gentemot saltning och sandning bedöms främst finnas genom att undvika överraskningshalka och sådana väderförhållanden som ger allmänt svår halka. Väderförhållanden som ger sådan halka kan vara svåra att förutse varför saltning kan vara mindre effektiv. Vid svåra väderförhållanden uppstår också resursbrist. De trafiksäkerhetsmässiga vinsterna av uppvärmning av en vägsträcka är svåra att kvantifiera och relatera till i generella termer eftersom olyckorna är förhållandevis få men konsekvenserna stora. De samhällsekonomiska kostnaderna för dödsfall, svårt skadad och lindrigt skadad i trafiken uppskattas till 23,7 miljoner kr, 4,4 miljoner kr respektive 217000 kr (Trafikverket, 2012). Vid analyser som sträcker sig mer än 10 år fram i tiden skall kostnaderna räknas upp med ca 30 % (34 % av riskvärderingsdelen). För att närmare analysera de trafiksäkerhetsmässiga vinsterna av uppvärmning av en delsträcka krävs en närmare analys av ett konkret objekt.

Avseende fotgängare finns statistik framtagen. I en rapport från VTI har kostnaden för skadade fotgängare jämförts med kostnaden för vinterväghållningen i olika kommuner (Öberg & Arvidsson, 2012). Slutsatsen är att kostnaden för skadade fotgängare är betydligt större än den totala vinterväghållningskostnaden. För kommuner där mer tillförlitlig statistik föreligger var skadekostnaden för fotgängare 4-10 gånger större än den totala vinterväghållningskostnaden.

Sedan 2008 är cyklister den största gruppen svårt skadade i vägtrafiken, huvudsakligen beroende på att antalet svårt skadade i personbilar har minskat kraftigt på senare år (Trafikanalys, 2011).

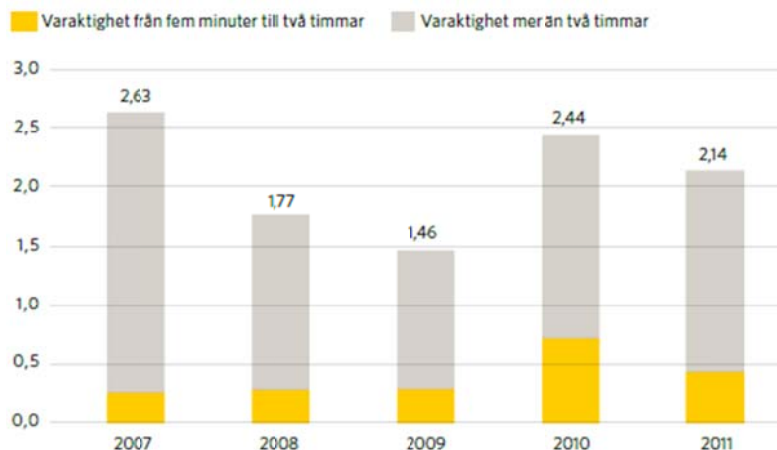
7.2.4 Framkomlighet

Framkomlighet på väg är i stor utsträckning relaterad till tidsåtgången för en resa/transport och hur den överensstämmer med den förväntade tiden. Begränsad framkomlighet för ett kortare vägvagnsnitt kan vara en avgörande för framkomligheten för en längre vägsträcka. Exempel på detta är Göteborgsbacken i Jönköping som innan det uppvärmda körfältet kom till hade stora kostnader för driften och ändå stopp i trafiken vid besvärlig väderlek. Det man inte alltid beaktar är konsekvenserna av minskad framkomlighet i trafiken. Sådana analyser utförs dock regelmässigt inför investeringar och resultaten kan utgöra motiv för byggande av nya vägar och trafikleder.

Försök har dock gjorts att uppskatta förseningskostnaderna vid totalstopp i trafiken vintertid som främst orsakas av snö och halka. (Lind et al. 2007). Den totala kostnaden för totalstopp i trafiken vintertid uppskattas till 250 miljoner kronor per år. Gränsdragningen mellan trafik- och väderrelaterade stopp är emellertid svår att göra eftersom det förra delvis är en konsekvens av det senare. Kostnaden för en enskild större händelse i anslutning till någon av våra storstäder kan uppgå till flera miljoner.

Totalstoppen inom det statliga vägnätet har beräknats till drygt 2 miljoner fordonstimmar i medeltal under perioden 2007-2011, se Figur 16. Av dessa timmar uppskattas i genomsnitt ca 980 000 (47 %) vara relaterade till stopp under vinterperioden och 630 000 (30 %) var orsakade av olyckor och bärgningsarbete (Johansson, 2012).

Totalstopp på det statliga vägnätet, miljoner fordonstimmar



Figur 16. Totalstopp inom det statliga vägnätet (Trafikverket 2012c).

Trafikverket har identifierat och förstärkt insatserna vid 115 så kallade vinterkritiska sträckor. Åtgärderna har bland annat varit att t.ex. sätta in extra resurser eller kräva kortare åtgärdstider. En kontinuerlig uppföljning planeras för att verifiera att de tidigare identifierade sträckorna varit kritiska och lägga till nya kritiska sträckor.

7.2.5 Miljö

Saltning ger upphov till miljöpåverkan på flora, fauna och grundvatten. En mindre relativ påverkan erhålls kustnära eftersom dessa områden påverkas av klorid vid storm. Saltningen kan ge skador på växtlighet närmast vägen. Framförallt är det gröna växtdelar som drabbas. Vidare är påverkan på barrträd större än på lövträd. Saltpåverkan på vårt grundvatten är ofta inte ett akut problem. Långsiktigt har man sämre kunskap och forskning pågår. Nya vägar som dras i anslutning till vattentäkter förses med olika former av skydd. Trafikverket genomför årligen ett betydande arbete avseende riskklassning och skydd av vattentäkter efter befintliga vägar. Eftersom miljöfaktorer kan samvariera med t.ex. framkomlighetsaspekter och trafiksäkerhetsfrågor så är det den sammantagna bilden som styr om uppvärmning är ett rimligt alternativ.

Den energi som i föreliggande studie är tänkt att användas vid uppvärmning av vägar är primärt solvärme vilket innebär att fossil energi som används vid normal vinterväghållning ersätts.

7.3 Kostnader

7.3.1 Investerings- och driftkostnader

De få redovisade kostnaderna för de olika projekten som beskrivits i tidigare avsnitt får generellt betraktas som osäkra. Ofta anges ingen kostnad alls och när så görs är det svårt att veta vad som ingår och om det är en mer- eller totalkostnad etc. Olika valutor och problem att relatera kostnaden i tiden gör det inte enklare. Ett undantag finns emellertid; Göteborgsbacken i Jönköping. Där har Trafikverket förtjänstfullt dokumenterat och förmedlat kostnaderna. Projektet ligger också relativt nära i tid. Följande nyckeltal för Göteborgsbacken kan ställas upp:

Objekt	Investering Kr/m ²	Drift Kr/(m ² ·år)	Energi kWh/(m ² ·år)	Kommentar
Göteborgsbacken	1600	45-90	125-250	Anslutningskostnad för fjärrvärme ej inräknad. Använd areal: 6800 m ²

För ett par andra objekt har effekt- och energibehov redovisats och dessa sammanställs i tabellen nedan. Förutsättningarna för dessa nyckeltal är dock ej klart angivna varför de kan vara svåra att relatera till andra projekt. Energiåtgången tycks emellertid vara i samma härad som för energianvändning i småhus och flerbostadshus i Sverige 2010, där genomsnittet var 127 resp. 159 kWh/m² (Energimyndigheten, 2011).

Objekt	Effekt W/m ²	Energi kWh/(m ² ·år)	Kommentar
Serso, bro	100	20-80	
Aomori, trottoar	200	100	Medeleffekt

7.3.2 Minskade driftkostnader

Grovt går det att uppskatta kostnaden för en plog- och saltresurs till ca 850 000 kr för en normal vinter. I detta inkluderas både fast och rörlig kostnad samt kostnader för saltet. Normalt handlar det om ca 30 insatser för snö och 100 saltinsatser under en underhållssäsong. Den fasta kostnaden är ca 250 000 kr och saltkostnaden ca 200 000 kr. Vid besvärliga avsnitt sätts en extra bil in för just det aktuella avsnittet varpå det inte går att använda samma kostnadsuppgifter, men för att ha en separat beredskap kan kostnaden ligga runt 400 000 kr (Vinberg 2012).

För en befintlig bro medför minskad saltbelastning en minskad påverkan på kantbalkar och betongfarbana. Det är därför rimligt att man kan öka tidsintervallet för periodiskt underhåll och kanske en fördubbling är möjlig om saltpåverkan kan elimineras. Kostnaderna för sådant periodiskt underhåll varierar beroende på trafiklast, antal körfält, brolängd etc. Grovt kan kostnaderna för byte av kantbalk och tätskikt uppskattas till 3000-6000 kr/m², varav tätskikt ca 2000 kr/m² (Thunstedt 2012).

En ny bro dimensioneras för saltbelastning varför det främst bör vara på investerings- sidan man kan göra besparingar genom att anpassa konstruktionen till uppvärmning och minskad saltbelastning.

7.4 Övriga aspekter

7.4.1 Miljöeffekter av markvärme

Lokalt inverkar en markvärmeanläggning på omgivningen. Området som påverkas kan vara alltifrån några decimeter kring en slang till några hundra meter vid till exempel grundvattenuttag. Konsekvenserna kan vara både positiva och negativa beroende på i vilken miljö påverkan sker. Generellt sett kan sägas att i jämförelse med andra energislag är påverkan på omgivningen som orsakas av markvärme liten. Risker vid akvifervärmelager eller annan direkt grundvattenpåverkan bör emellertid alltid beaktas i det konkreta fallet.

Miljöpåverkan på grund av utvinning eller lagring av värme/kyla i mark och vatten kan orsakas av (Sundberg & Magnusson, 1990):

- Temperaturförändring i mark och vatten
- Frysning av mark och vatten
- Läckage av köldbärande vätskor
- Stora grundvattenuttag
- Påverkan på grundvattenkemi
- Utsläpp av vissa grundvatten (t.ex. kloridhaltiga)
- Utsläpp av avkylt grund- eller ytvatten
- Anläggningsarbeten

Därutöver kan ett markvärmelager med vertikala rörsystem eller borrhål ha en indirekt påverkan och medföra en ökad vertikal spridning av externa föroreningar, t.ex. i anslutning till en olycka eller förorenad mark.

7.4.2 Geotekniska aspekter

Temperaturpåverkan på hållfastheten av berg eller friktionsjord är liten. För ej tidigare klimatpåverkad lera (dvs. lera som underlagrar torrskorpelera, ca 1-1,5 m under my), kan man förvänta sig en viss påverkan. Cyklisk frysning och tining av sådan lera bör

undvikas eftersom tining medför nedsatt hållfasthet och sämre kompressions-egenskaper vilket resulterar i sättningar och möjligen också nedsatt stabilitet.

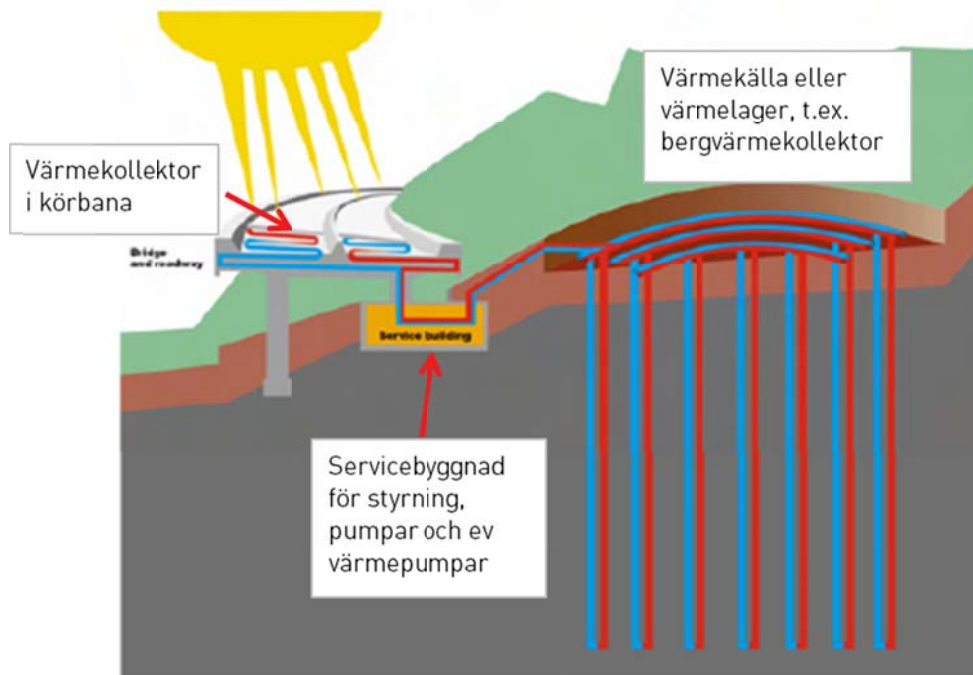
Effekter av högtemperaturlagring av värme i lera har studerats vid storskaligt fältförsök (Gabrielsson et al, 1997) i Linköping under 3 år. Slutsatserna är att de geotekniska effekterna inte medför några restriktioner för högtemperaturlagring i lera upp till 70°C. En inledande reduktion i den odränerade skjuvhållfastheten har tidigare befarats (upp till 30 % enligt Moritz (1995) baserat på laboratorieförsök), men fältförsöket visade att reduktionen i skjuvhållfasthet var temporär (Gabrielsson et al, 1997).

8 Typfall

8.1 Princip för uppvärmning av körbana

Principen för ett uppvärmningssystem för en väg eller bro etc. är liknande den för bostäder och lokaler. Systemet består av följande komponenter (se Figur 17):

- Värmekälla/värmelager med kringutrustning
- Slang- eller rörsystem i asfalt/ytbetong
- Värmepump (behövs ej om energimängden är tillräcklig vid aktuell temperatur)
- Klimatsensorer och vid behov väderprognos kopplat till ett flexibelt styrsystem



Figur 17. Princip för värmesystem. Modifierad efter Eugster (2007).

Dimensionering av energi- och effektbehov måste göras separat med avseende på varje specifikt objekt och vilka krav som systemet skall uppfylla. Således är det stor skillnad på ett system som skall förhindra frosthalka på en bro i Skåne under höstperioden gentemot en backe vid Höga kusten som dimensioneras för att vara snö-

och isfri året runt. Preliminärt kan de angivna nyckeltalen under avsnitt 7.3.1 användas, dvs. ett energibehov på 125-250 kWh/(m²·år).

Systemutformningen är viktig och kan utgöras av olika kombinationer så länge som de är resurssnåla och miljöanpassade. Fjärrvärme kan således vara ett nog så intressant i anslutning till tätort medan det utanför tätort sannolikt är lämpligt med solvärme i kombination med någon form av värmelager eller naturvärmesystem t.ex. ytjordvärme eller bergvärmesystem, med eller utan värmepump, som illustreras i Figur 17. Även luftvärmepumpar kan vara intressanta som en del i system. Systemutformningen kommer att styras av vad som är lämpligt på den aktuella platsen, t.ex. med utgångspunkt från markförhållanden och tillgänglig areal.

Utformningen av kollektorn i körbanan kan också behöva optimeras avseende avstånd mellan slangar och förläggingsdjup.

Styrningen av systemet är centralt för systemets effektivitet och påverkar drift- och investeringskostnad i form av energi- och effektbehov.

System i vägar/broar måste vara särskilt tåliga eftersom underhållsarbeten innebär trafikavstängning som medför stora olägenheter och som dessutom är dyrbara.

Exempel på speciella krav på system i körbana:

- Robusthet
- Hög tillförlitlighet/lågt underhållsbehov
- Ingen frysrisk för cirkulerande vätska

Samhällsekonomiska kalkyler är svåra att göra generellt utan sådana får avvakta ett konkret tillämpningsexempel.

8.2 Bro

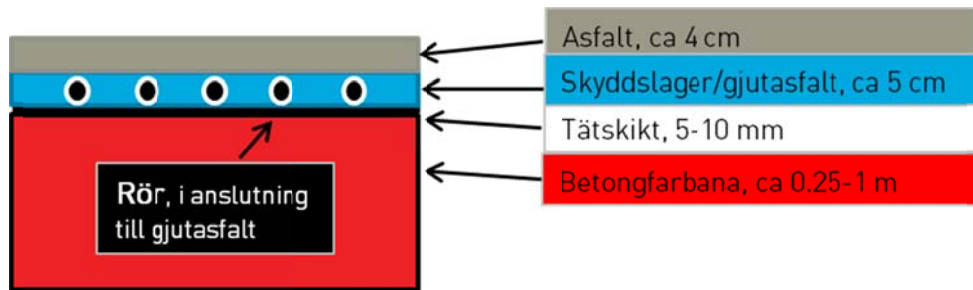
8.2.1 Behov

Uppvärmning av körbanan på en bro syftar primärt till att öka trafiksäkerheten genom att undvika överraskande frosthalka. Broar kyls generellt sett snabbare än omgivande väg under hösten vilket medför att de är mer utsatta för tidig frosthalka. Indirekt ger minskat antal olyckor också ökad framkomlighet.

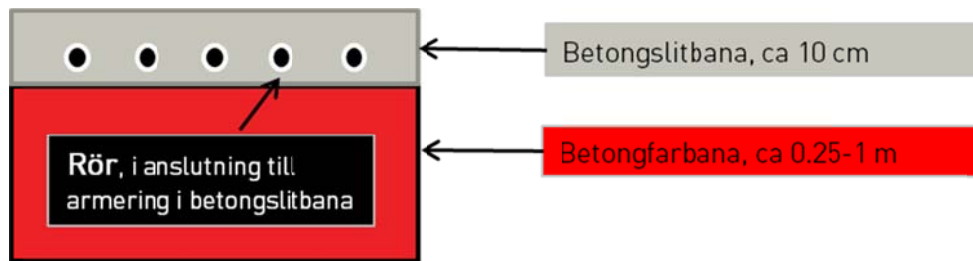
8.2.2 Teknik

Olika förläggningar av rörsystemet är tänkbara i broar. Principiellt bör förläggning av rörsystemet i den underliggande betongfarbanan undvikas eftersom den konkurrerar om utrymme med armeringen och man vill generellt undvika "avvikande" innehåll i broar såsom tomrör för el, VA etc. Om rörsystem ändå förläggs i betongfarbanan bör det troligen placeras under armeringen för att inte påverka täckskiktets tjocklek (normalt ca 5 cm). Vidare kan det ligga kvar även vid periodiskt underhåll. Avståndet mellan rörsystem och överkant beläggning blir då i storleksordningen 20 cm.

Förläggning ovanför betongfarbanan illustreras och innebär att momentet kan utföras fristående från själva brokonstruktionen vilket gör systemet tillämpligt även på befintliga broar. I Figur 18 illustreras förläggning av rörsystem i bro med körbana av asfalt medan Figur 19 visar motsvarande förläggning i bro med slitbetong.



Figur 18. Principskiss över tänkbar förläggning av rörsystem i bro med asfalt som slitbana.



Figur 19. Principskiss över tänkbar förläggning av rörsystem i bro med slitbetong.

Vid periodiskt underhåll av asfaltbeläggning tas asfalt och skyddslager bort och även tätskiktet kan behöva bytas. Detta är svårt att genomföra då rören ligger i den ovanliggande gjutasfalten.

Eftersom beläggning med slitbetong kan utföras utan tätskikt är förläggning av rörsystem i slitbetong att föredra. Vid underhåll av slitbetongen fräses endast den översta ytan ner och förnyas. Slitbetongen är ljusare än asfalt vilket påverkar värmelagringen sommartid, men även utstrålningen på vintern.

Ytligare förläggning av rören innebär sannolikt att man måste ha en större täthet mellan rören (mindre cc avstånd) för att få en heltäckande värmespridning. Ytligare förläggning jämfört med en djupare innebär en mindre tröghet i systemet och därmed kortare responstider.

8.2.3 Underhåll

Själva rörsystemet skall utformas på ett robust sätt så att driftstopp undviks och inte är dimensionerande för intervall för periodiskt underhåll. Om saltning kan elimineras på bron bör man kunna tillgodoräkna en längre intervall för normalt underhåll av skydd mot salt- och vatteninträngning i betongkörbana och kantbalkar som orsakar korrosion av armeringen. En viss belastning kommer att finnas även om aktiv saltning undviks genom att fordon drar med sig salt från angränsande väg samt naturlig saltbelastning i kustklimat. Saltmängden kommer emellertid att reduceras påtagligt.

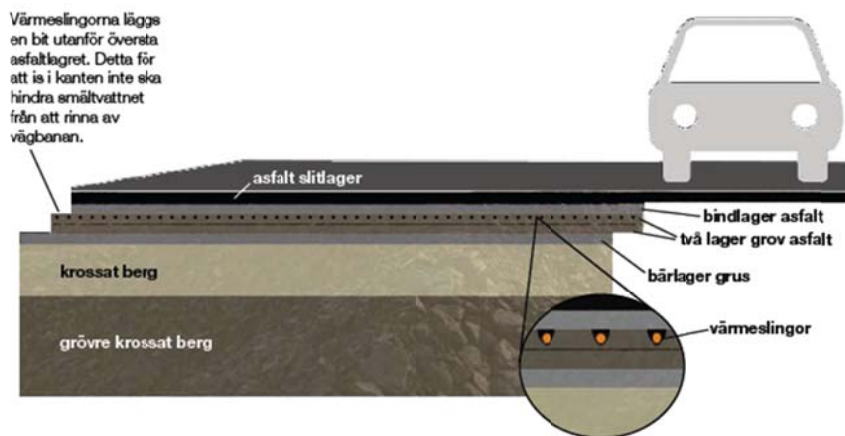
8.3 Backe

8.3.1 Behov

Uppvärmning av vägbanan i en backe avser i första hand att öka framkomligheten. Som en följd av förbättrad framkomlighet kan också trafiksäkerheten öka. Stopp i backar kräver ofta ökad beredskap och stationärt placerade extraresurser. Stopp i backar kan leda till omfattande trafikstörningar för längre vägvagnsnitt.

8.3.2 Teknik

Tänkbar förläggning av rörsystem i väg är i bundet bärlager under slitlager, se exempel från Göteborgsbacken i Figur 20. Det är väsentligt att goda värmeledande egenskaper säkerställs närmast rörsystemet så att värmeöverföring mellan rör och vägyta är tillräcklig god.



Figur 20. Tvärsektion genom Göteborgsbacken.

8.3.3 Underhåll

Själva rörsystemet skall i likhet med bro utformas på ett robust sätt så att driftstopp undviks och inte är dimensionerande för intervall för periodiskt underhåll. Extra resurser speciellt avsatta för det aktuella vägavsnittet kan elimineras.

8.4 Gång- eller cykelbana

8.4.1 Behov

Uppvärmning av en gång- eller cykelbana kan utföras för att främja gång- och cykeltrafiken och säkerställa att en framkomlig led finns tillgänglig året runt. En sådan åtgärd kan vara en del av en satsning för att minska biltrafiken i ett storstadsområde. Genom uppvärmning eliminerar man också behovet av grus som minskar friktionen efter snösmältning. I London har man satsat på byggande av höghastighetsbanor för cykel som knyter ihop centrum med förorter. Försöken har slagit väl ut och cykeltrafiken har ökat med 70% (Bygginfo 2011).

8.4.2 Teknik och underhåll

Dimensionering och underhåll liknar det för väg.

9 Slutsatser och rekommendationer

9.1 Slutsatser

Det finns en rad internationella exempel inom området. Uppvärmning av speciellt utsatta vägvägar (t.ex. backar) bedöms påtagligt kunna öka framkomligheten vintertid. Som en konsekvens bör även olycksfrekvensen minska. Ett exempel på ett lyckat projekt är Göteborgsbacken i Jönköping.

Uppvärmning av broar bedöms kunna eliminera risken för frosthalka och därtill relaterade olyckor. Uppvärmningen av cykelleder och trottoarer främjar året-runt cykling och gångtrafik och minskar därigenom belastningen på trafiksystemet framförallt i de centrala delarna av våra större städer.

Den samhällsekonomiska kalkylen är svår att genomföra utan ett konkret tillämpningsexempel. Det finns dock relativt omfattande generella kostnadsbedömningar av vad stopp i trafik, halkolyckor för gående etc orsakar. Bilden tycks vara att dessa summor är tillräckligt stora för att motivera insatser på särskilt utsatta avsnitt. Men man bör hålla i minnet att inte ens i ett konkret fall kommer det att vara säkert att kostnaden kan ställas i relation till nyttan i rent ekonomiska termer. Trafikantnyttan torde dock vara möjlig att beskriva i form av ökad framkomlighet och färre olyckor.

På plus-sidan finns ökad framkomlighet, minskad underhållskostnad, minskad olycksfrekvens, minskad miljöpåverkan genom saltning. På minus-sidan ökad investeringskostnad och driftkostnad för uppvärmningen. Uppvärmningen förutsätts i hög grad vara baserad på solvärme/geovärme.

9.2 Rekommendationer

Det rekommenderas att en fallstudie med tre konkreta tillämpningsexempel genomförs. Under det inledande arbetet med fallstudien görs ett aktivt sökarbete tillsammans med projekt- och driftansvariga för att finna objekt, planerade eller befintliga, där solenergi för halkbekämpning bedöms vara realistiskt och kunna etableras.

I fallstudien innefattas följande delar:

- Val av tillämpningsexempel (delvis med utgångspunkt från de vinterkritiska sträckor som är identifierade av Trafikverket)
- Dimensionering av energi- och effektbehov för att säkerställa frost- eller snöfri vägyta vid olika förhållanden
- Förprojektering av principiellt energisystem och koppling till körbanekollektorns utformning
- Investerings- och driftkalkyl
- Samhällsekonomisk EVA-kalkyl

De tre tillämpningsexemplen föreslås vara:

- Utsatt backe
- Frostkänslig bro
- Central och trafikerad gång- eller cykelled

Referenser

Becker, M., 2009. Växelvärme - Nulägesbeskrivning och effektiviseringspotential av järnvägens växelvärmearnlaggningar. Examensarbete. LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lunds universitet.

Bogren, J & Gustavsson, T & Ölander, J, 1999. Halkans klimatologi. Ur boken: Vinterdrift av vägar, gator, järnvägar och flygfält. CDU. Göteborg.

Bygginfo 2011. Nummer 2. Svensk Byggtjänst.

<http://bygginfo.byggtjanst.se/PageFiles/98346/PM%202%202011%20webb.pdf>

Energimyndigheten, 2011. Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2010. ES 2011:11. Statens Energimyndighet.

Eugster, J W, 2007. Road and Bridge Heating. Using Geothermal Energy. Overview and Examples. Proceedings European Geothermal Congress 2007 Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007

Frenzel 2009. Frenzel- Bau: TripleS Weichenheizungssystem, Anlagenplanung, <http://www.triplesgmbh.de/index.php?page=anlagenplanung> (hämtad 2012-03-14)

Gabrielsson A, Lehtmetts M, Moritz L, Bergdahl U, 1997. Heat storage in soft clay. Field test with heating (70°C) and freezing of the soil. Report 53. SGI. Linköping. Sweden.

Iwamoto K, Nagasaka S, Hamada Y, Nakamura M, Ochifuji K, and Nagano K, 1998. Prospects of Snow Melting System (SMS) Using Underground Thermal Energy Storage (UTES) in Japan. <http://intraweb.stockton.edu/eyos/page.cfm?siteID=82&pageID=14>

Johansson, A., 2012. Personlig kommunikation. Trafikverket.

KTH, 2012. <http://www.kth.se/aktuellt/sa-ska-vaghalkan-bekampas-1.68805> 2012-03-26

Lind G, Lindqvist E, Davidsson F och Kronborg P, 2007. Totalstopp i trafiken vintertid. Samhällsekonomiska konsekvenser. Movea, <http://www.movea.se/DUVA%20v1.0.pdf>

Linder B, 2011/2012. Personlig kommunikation ang. Göteborgsbacken. Trafikverket.

Ljungberg, M., Vinterväghållning och expertsystem – en kunskapsöversikt, VTI meddelande 902, 2000.

Magnusson C, & Sundberg J, 1990. Markvärmeteknik.Handledning för planering och projektering. Byggeforskningsrådet. Rapport T6:1990.

Morita K and Makoto T, 2005. Snow-Melting on Sidewalks with Ground-Coupled Heat Pumps in a Heavy Snowfall City Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

Moritz L, 1995. Geotechnical properties of clay at elevated temperatures. SGI, Report 47, Linköping, Sweden.

Nagano K., Y.Hiraga, T.Katsura, T.Nogawa, S.Takeda and S.Nakabayashi, 2006 : Feasibility study of snow melting system using ground thermal energy in Japan, ECOSTOCK 10th international conference on thermal energy storage.
http://intra.web.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PAPERS/14A-1.pdf

Rehau, 2007. Broschyr. http://www.rehau.co.uk/files/Bad_Lauterberg_UK.pdf

Statens Vegvesen, 2011. Laerebok "Drift og vedlikehold av vegger" VD rapport nr 53.
http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Publikasjoner/VD+rapport/_attachment/290248?ts=13423b42e10

Swedavia, 2012. <http://www.arlanda.se/sv/Information-om/Miljoarbete/Minskade-utslapp-av-koldioxid/Energi/Akvifaren/>. Hämtad 2012-03-15.

Thunstedt, Per, 2012. Trafikverket, personlig kommunikation.

Trafikanalys, 2011. Vägtrafikskadade i sjukvården 2010, Statistik 2011:23

Trafikverket, 2006a. Arbetsplan, väg 40, Borås-Jönköping, 2006-04-15

Trafikverket, 2006b. Informationsblad om "Tredje körfält i Göteborgsbacken".
http://publikationswebbutik.vv.se/upload/2436/88938_tredje_korfalt_i_goteborgsbacken.pdf

Trafikverket, 2012. Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5. Publikation: 2012:085

Trafikverket 2012b. <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-skoter-vi-vagar1/Fragor-och-svar-om-skotsel-av-vag/2-Varfor-saltar-Trafikverket-trots-alla-de-negativa-effekter-som-forknippas-med-anvandning-av-salt-som-halkbekämpningsmedel-/Darfor-behovs-saltet/Tabell/> (hämtning utförd 2012-04-16).

Trafikverket 2012c. Årsredovisning 2011.

Tuan Y C, 2008. Roca Spur Bridge: The Implementation of an Innovative Deicing Technology, mars 2008. Journal of Cold Regions Engineering, Vol. 22, No. 1, March 1, 2008

Vägverket: Kurs 526, Vinterväghållning. Vägverket, Borlänge, 1994.

Vägverket 2009. Årsredovisning 2008. Publikation 2009:10

Öberg G & Arvidsson A K, 2012. Skadade fotgängare. Kostnad för fotgängarskador jämfört med vinterväghållningskostnader. VTI rapport 735

Vädersituationer och dess koppling till halka

Följande är citerat från VTI meddelande 902, som i sin tur refererar till Bogren et al. (1999):

”Kväll och natt, lugnt och klart: Vid en allmän lufttemperatur strax över fryspunkten är denna vädersituation mycket förrädisk eftersom plötslig halka kan uppkomma. På grund av att vägytan snabbt avkyls genom utstrålning, kan den relativt fuktiga luften ovan vägen ge snabb frostbildning. Svackor i terrängen, dalgångar och ådalar är platser som är särskilt utsatta för detta fenomen.

Morgon, lugnt och klart: Överraskande halka kan uppstå vid denna situation. Vägbanan kan vara kraftigt avkyld från natten utan att rimfrost bildas. Men när solen börjar att värma luftskiktet närmast vägbanan, blir det en omrörning av luftlagren och förhållandevis fuktig luft kan komma i kontakt med vägbanan med snabb uppkomst av halka som följd. Växter i vägens närhet värms snabbt och avger fuktig luft. Morgontrafiken kan också förorsaka denna omrörning av luften. Utsatta platser är svackor och låga partier.

Uppklarnande efter mulen period: Vid uppklarnande efter mulen period med temperaturer nära 0°C ökar halkrisken. Om denna situation inträffar på kvällen, sjunker temperaturen snabbt. Eftersom luften är relativt fuktig, kan rimfrost snabbt bildas. Om den mulna väderleken varit åtföljd av regn, är det stor risk att befintligt vatten på vägbanan fryser.

Mulet och blåsigt väder: När det är mulet och blåsigt väder är temperaturen lägst på höglänta partier, och om det finns vatten på vägbanan fryser det där först. Mulet och blåsigt väder minskar skillnaderna mellan luftens temperatur och vägbanans temperatur, vilket medför minskad risk för rimfrostbildning.

Frontpassage: Kraftig rimfrostbeläggning kan uppkomma på en kall vägbanan, som utsätts för fuktig relativt varm luft. Detta kan vara relativt vanligt i anslutning till lågtryckspassager. Denna typ av halka kan uppkomma i alla terränglägen. Om kall luft kommer in kan den kyla en våt vägbanan och orsaka halka.

Nederbörd i form av snö och regn: Vid snöfall kan flera olika halksituationer uppstå beroende på luftens temperatur, vägytans temperatur och fuktighet på vägbanan. En särskilt svår situation uppstår vid underkyllt regn. Mycket snabbt kan is bildas på vägen, även om vägytans temperatur är över 0°C. En liknande situation uppstår då det regnar på en vägbanan som är kallare än 0°C.”