

Alternativ dagvatten- hantering i kallt klimat

Maria Viklander
Magnus Bäckström



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet.

SV-Utveckling (fd VA-Forsk) initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

SV-Utveckling styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anders Lago, ordförande	Södertälje
Olof Bergstedt	Göteborg Vatten
Roger Bergström	Svenskt Vatten AB
Per Fåhraeus	Varberg
Carina Färm	Mälarenergi
Daniel Hellström	Stockholm Vatten AB
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Marie Nordkvist Persson	Sydvatten
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Ulf Thysell	VA-verket i Malmö
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Einar Melheim, adjungerad	NORVAR, Norge
Peter Balmér, sekreterare	Svenskt Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Alternativ dagvattenhantering i kallt klimat
Title of the report:	Alternative stormwater management in a cold climate
Rapportens beteckning Nr i serien:	2008-15
Författare:	Maria Viklander och Magnus Bäckström, Institutionen för Samhällsbyggnad, Luleå tekniska universitet
Projektnr:	98-118
Projektets namn:	Alternativ dagvattenhantering i kallt klimat
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling (f.d. VA-Forsk), Formas, Kommunförbundet, Luleå tekniska universitet
Rapportens omfattning Sidantal:	30
Format:	A4
Sökord:	Dagvatten, uthållig, föroreningar, smältvatten, snöhantering
Keywords:	Snow, snowmelt, storm water, pollutants, sustainability, best management practices
Sammandrag:	Den hydrologiska cykeln blir betydligt mer komplicerad i urbana områden med kallt klimat. Konventionella system som går ut på att avleda dagvatten (via kombinerat eller duplikat ledningsnät) är inte uthålliga i sin nuvarande form i städer med kallt klimat. Alternativa metoder och anläggningar, exempelvis svackdiken och dränerande asfalt med enhetsöverbyggnad, kan ge en bättre anpassning till vintriga förhållanden och uthållighet.
Abstract:	The hydrological cycle becomes more complex in urban areas in cold climate regions. Traditional urban drainage systems consisting of buried pipes for the transport of storm water are not sustainable today. A better adaptation to cold climate conditions and sustainability can be achieved by using alternative management practises, for example swales and porous pavements.
Målgrupper:	VA-ingenjörer, Stadsplanerare, Miljöinspektörer, Landskapsarkitekter
Omslagsbild:	Det våras för diket! (Södra hamnleden, Luleå) Foto: M. Bäckström
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som pdf-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2008
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Projektet *Alternativ dagvattenhantering i kallt klimat* har finansierats av Byggnadsforskningsrådet (BFR) (nuvarande Formas), VA-Forsk (nuvarande Svenskt Vatten Utveckling), Luleå tekniska universitet samt Kommunförbundet. Projektet var ett av delprojekten i ramprogrammet VA-förnyelse i kallt klimat.

Målet med projektet var att svara på följande frågor:

- Hur påverkar ett kallt klimat de alternativa dagvattentekniker som fått en allt större spridning de senaste decennierna?
- Kan man se att vissa metoder är lämpliga och andra är direkt olämpliga i kallt klimat?
- Vad är skillnaderna i dagvattnets kvantitet och kvalitet i regioner med kallt klimat jämfört med regioner med mildare klimat?
- Hur kan man infoga alternativa tekniker i det befintliga dagvattensystemet?
- Vilka internationella erfarenheter finns?

Ett 20-tal vetenskapliga arbeten har publicerats inom aktuellt projekt. Lista över publikationer redovisas i kapitel 7. För detaljerad information om de olika delstudierna hänvisar vi till dessa redan publicerade dokument. Vår förhoppning är att denna rapport kan introducera fler i vinterstadens specifika förutsättningar när det gäller dagvattenhantering och bana väg för diskussion och reflektion kring uthålliga dagvattensystem.

Författarna

Innehåll

Förord 3	
Sammanfattning	7
Summary	8
1 Inledning	9
2 Dagvatten i kallt klimat	11
3 Dagvattenanläggningars funktion i kallt klimat	13
3.1 Kombinerat ledningsnät	13
3.2 Duplikat ledningsnät	13
3.3 Infiltration	14
3.4 Perkulationsmagasin	14
3.5 Dränerande asfalt och enhetsöverbyggnad	14
3.6 Svackdike	15
3.7 Dammar	15
4 Snöhantering	17
5 Att välja rätt – exempel på bedömningsverktyg	19
5.1 De nationella miljömålen	19
5.2 Flerfunktionsanalys	19
6 Reflektioner – uthålligt dagvattensystem	22
6.1 Olika aktörer på dagvattenscenen	22
6.2 Var hamnar föroreningarna?	23
6.3 Dagvattnet och klimatförändringen	23
7 Publikationer inom projektet	
"Alternativ dagvattenhantering i kallt klimat"	25
7.1 Avhandlingar	25
7.2 Artiklar i internationella tidskrifter (refereed journals)	25
7.3 Artiklar presenterade vid vetenskapliga konferenser	26
7.4 Övrig publicering	27
Referenser	28

Sammanfattning

De konventionella dagvattensystemen har ifrågasatts under senare år och istället har olika alternativa strategier och hanteringsmetoder lanserats. Integrerad dagvattenhantering och ekologiska dagvattensystem är några av dessa. Det gemensamma för alla dessa system är dock att de kommer att leda till ett antal förändringar för stadsliv, ekonomi och miljö. I Sverige, liksom i andra länder med kallt klimat, påverkas vårt liv och vår omgivning av snö och kyla. Den hydrologiska cykeln blir betydligt mer komplicerad i urbana områden med kallt klimat. Detta gäller hela förloppet från nederbördsbildning till avrinning. För såväl avrinning som förorenings-transport har det stor betydelse om nederbörden kommer som regn eller snö.

Ett försök till analys av dagvattensystemens viktigaste funktioner genomfördes inom projektet. Fyra funktioner bedömdes; volymkontroll, föroreningskontroll, integrering samt funktion i kallt klimat. Resultaten av flerfunktionsanalysen indikerar att dränerande asfalt med enhetsöverbyggnad, svackdiken, våt damm och perkolationsmagasin är de dagvattenanläggningar som är uthålliga i kallt klimat. Infiltrationsanläggningar, torr dam och återanvändning av dagvatten har sämre potential att fungera uthålligt i kallt klimat. När det gäller snöhanteringsmetoder är det svårt att få vägledning ur denna analys. En lämplig strategi är att hantera förorenad snö (ex. snö som legat länge intill större vägar) vid en central deponi och mindre förorenad snö lokalt. För att minimera miljöbelastningen under vinterperioden bör en helhetssyn av snöhanteringen eftersträvas, som innefattar röjning, transporter, snödeponering och omhändertagande av smältvatten och sediment.

Även om de konventionella ledningsnäten bedöms vara sämre än de alternativa systemen bör det noteras att stora resurser lagts ned på att bygga upp dessa system. Troligtvis kan det vara fördelaktigt att underhålla och vidareutveckla befintliga system. För att svara på detta krävs dock en betydligt mer ingående analys där de senaste rönen inom avloppsreningsprocesser och förnyelsestrategier för ledningsnät diskuteras. Resultaten från detta projekt kan tolkas som att de konventionella systemen som går ut på att avleda dagvatten (via kombinerade eller duplikata ledningsnät) inte är uthålliga i sin nuvarande form.

En av de kritiska faktorerna för att förverkliga uthålliga dagvattensystem är hur olika discipliner kan mötas och bryta sina föreställningar, mål och utgångspunkter i dagvattenfrågan med varandra på ett bättre sätt. Andra viktiga framtidsfrågor är var dagvattenföroreningarna hamnar på lång sikt och vilka sekundära problem kan uppstå samt hur vi hanterar den pågående och förutspådda klimatförändringen. Behovet av en dynamisk dagvattenstrategi har troligen aldrig varit större och utmaningarna för framtidens samhällsbyggare är omfattande.

Summary

The approach towards stormwater issues has changed during the last decades. The conventional approach with large-scale conveyance systems has been questioned. Today, both researchers and practitioners have a more holistic view of the urban water cycle. Alternative stormwater management concepts have been established, for example the ecological- and integrated stormwater management concepts. The integrated stormwater management concept is based on the natural processes in the water cycle and the criteria for sustainable development. Furthermore, an integrated approach to stormwater includes the aesthetic and recreational aspects of rain and snow within the urban environment.

The urban hydrological cycle during cold weather is different from that of warm-weather conditions. The complexity increases in cold climate regions for both the quantitative as well as the qualitative aspects of urban runoff. In this project an attempt was made to compare the expected performance of different stormwater system components in cold climate regions. The comparative method used was a multi-criteria analysis with four indicators; Runoff control, Pollution control, Level of Integration, and Winter performance. A stormwater management method with a low utilisation of resources that incorporates physical, chemical and biological processes occurring in natural systems has a high level of integration.

It was found that porous pavement, grassed swale, wet pond, and percolation basin were the most suitable integrated stormwater system components in cold regions whereas dry basin, stormwater infiltration facilities, and stormwater reuse seemed to be less suitable. It was difficult to discriminate between large-scale snow deposits and local snow deposits. A combination of both snow-handling practices may be the best management practice. The separated pipe system was efficient in runoff control and a combined pipe system may have the potential to remove stormwater pollutants at the WWTP. However, the conventional pipe systems had very low scores compared to alternative stormwater system components. It is important to note that there are large accumulated natural resources in the existing pipe networks. In built-up areas, it may be more advantageous to maintain and improve the installed pipe system rather than build an entirely new stormwater system.

In order to accomplish sustainable stormwater management, there must be an atmosphere of openness where different disciplines could share their perspectives and goals of stormwater management. Other important issues for the future are the fate of the stormwater pollutants in the long-term as well as how to deal with the effects of climate change. The need for a dynamic stormwater planning has probably never been greater and the challenges for civil engineers and others involved in urban planning are extensive.

1 Inledning

Olika lösningar för hantering av dagvatten har tillämpats under de senaste 50 åren. Det har skett en utveckling från kombinerade ledningssystem till duplikatsystem. Olika former av utjämning har prövats i anslutning till kombinerade ledningsnät. Man har försökt hantera dagvattnet lokalt genom infiltration och perkolation, s.k. lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD). Dammar och våtmarker har byggts. Orsaken till denna ständiga rotlöshet i valet av metod kan förklaras med att vår kunskap ständigt byggs på och därigenom måste vi ompröva vårt synsätt. Om inte annat kommer vi att tvingas till det när miljö och samhälle kräver nya lösningar.

Ett exempel på hur synen på dagvatten har förändrats är när man insåg att dagvattnet faktiskt innehöll avsevärda mängder föroreningar. Dagvattnets effekter på recipienten är dels beroende av dagvattnets egenskaper såsom mängd föroreningar, pH, redoxpotential, flöde, volym och temperatur men även av egenskaperna hos själva recipienten. De senast gjorda studierna på dagvattenkvalitet har i huvudsak fokuserats på bl.a. totalt suspenderat material, klorid (från vägsalt), organiskt material som är biologiskt nedbrytbart (BOD/COD), E-kolibakterier, tungmetaller samt polyaromatiska kolväten. De vanligaste metallerna i

vägdagvatten är bly, zink, järn, koppar, kadmium, krom och nickel (Hvitved-Jacobsen och Yousef, 1991).

Bioackumulativa ämnen har fått mest uppmärksamhet eftersom de ansamlas i näringspyramiden där vi människor befinner oss högst upp. Pesticider och andra organiska kemikalier som används i den urbana miljön och ämnen frigjorda genom korrosion eller slitage av urbana ytor har nyligen kommit i fokus. Dagens samhälle producerar tusentals nya kemikalier varje och många av dem finner sin väg till dagvattnet på ett eller annat sätt vilket innebär att listan med nyckelparametrar kommer att utökas i framtiden.

Det nya synsättet på dagvatten som började tona fram under 1990-talet har fått en rad olika benämningar, några av dessa är: integrerad dagvattenhantering, ekologiska dagvattensystem samt alternativ dagvattenhantering. Det integrerade dagvattenhanteringskonceptet baseras på naturliga processer i vattnets kretslopp och kriterier för en hållbar utveckling (Larsson och Kärppä, 1997). Exempel på naturliga processer är flödesutjämning i öppna vattendrag, infiltration, perkolation, fixering, nedbrytning av biologiskt material i markytan och föroreningsupptag av plantor. Dessutom inkluderar det integrerade konceptet en estetisk och rekreativaspekt på dagvattnet i den urbana miljön.

Det gemensamma för alla dessa system är dock att de kommer att leda till ett antal förändringar i stadslivet vad gäller ekonomi och miljö. Exempel på



Figur 1-1. Ett kantrande dagvattensystem som bör ifrågasättas?

positiva ändringar är att andelen ogenomsläppliga ytor minskar och andel grönytor ökar. Vatten blir en del av vardagen för människor som lever i stadsmiljö samt att våtmarker och parker kan användas som rekreationsområden. Det ska även påpekas att de alternativa dagvattenlösningar som på olika sätt synliggör eller hanterar dagvattnet mer lokalt kan påverka människor, lokalklimat, recipienter, mark och vegetation i en negativ bemärkelse. Exempelvis kan tungmetaller och kolväten ackumuleras i mark och vegetation vilket kan skapa ett framtida miljöproblem då marken eventuellt

måste saneras. Risker är således att en lösning på dagens problem idag skapar nya problem i framtiden.

Vid skapandet av en dagvattenstrategi för en stad är det av yttersta vikt att se till de lokala förhållandena såsom ekologi, kultur (innevånarnas acceptans), topografi, geoteknik, geohydrologi och klimat. Eftersom klimatet styr mängd och fördelning av nederbörd samt temperatur i luft och mark är klimatförhållandena något som alltid måste beaktas när dagvattenfrågor diskuteras.

2 Dagvatten i kallt klimat

I Sverige, liksom i andra länder med kallt klimat, påverkas vårt liv och vår omgivning av snö och kyla. Till att börja med blir den hydrologiska cykeln, vilken vanligtvis finns beskriven för rurala områden med varmt klimat (McPherson, 1975), betydligt mer komplicerad i urbana områden med kallt klimat. Detta gäller hela förloppet från nederbördsbildning till avrinning. För såväl avrinning som föroreningstransport har det stor betydelse om nederbörden kommer som regn eller snö. Vid regn rinner vattnet av direkt medan snö kan ackumuleras under längre eller kortare tidsperioder inom avrinningsområdet för att sedan avrinna under ett senare tillfälle (Figur 2-1).

Snösmältningen beror på ett antal faktorer som lufttemperatur, vind, solstrålning samt antropogena källor som värme, kemiska ämnen och partiklar (Oberts, 1990). Ytterligare en skillnad jämfört med regn är att snö inte bara transporteras hydrauliskt utan även genom snödrift och snöhanteringen (transporter och

deponering). Detta gör att stadens vattenbalans blir en annan under vinterperioden.

Under vinterperioden är arean som bidrar till avrinning större än under sommarperioden eftersom den frusna marken har nedsatt infiltrationskapacitet (Bengtsson och Westerström, 1992). Detta medför att den största avrinningen ofta sker under vintern/våren och då ofta vid regntillfällen under snösmältningen (Milina, 1998).

Föroreningstransporten bestäms, liksom under övriga året, dels av mängden tillgängliga föroreningar och dels av den hydrauliska kapaciteten att transportera föroreningarna. Ett flertal ämnen förekommer i större mängder under vinterperioden på grund av ökad uppvärmning, kallstarter av bilmotorer och slitage av vägbanor (Malmqvist, 1983). Beräkningar av Oberts (1990) och Zarillo (1990) visade att upp till 60 % av den årliga mängden avrinna under vinterperioden. En summering av de specifika förutsättningarna för dagvattenhantering kallt klimat redovisas i Tabell 2-1, nästa sida.



Figur 2-1. Snösmältning i april - Södra hamnleden, Luleå.

Tabell 2-1. Specifika förutsättningar för dagvattenhantering i kallt klimat.

Aspekt	Specifikt för kallt klimat
Den hydrologiska cykeln	Nederbördsbildning, avrinning, nederbörd ackumuleras i snötäcket
Generering och transport av dagvatten (inkluderar smältvatten)	Regn på snö, icke hydraulisk transport förekommer (ex. snötransporter, snödrift)
Föroreningsinnehåll	Större emissioner under vinterhalvåret, ackumulering av föroreningar i snö, höga halter i smältvatten
Anläggningars funktion	Tjäle, isbildning, svallis, vegetation inaktiv
Omhändertagande och deponering av snö	Resurskrävande transporter med lastbil, miljöpåverkan av snödeponi, lokala snöupplag i tätort, trafiksäkerhet

3 Dagvattenanläggningars funktion i kallt klimat

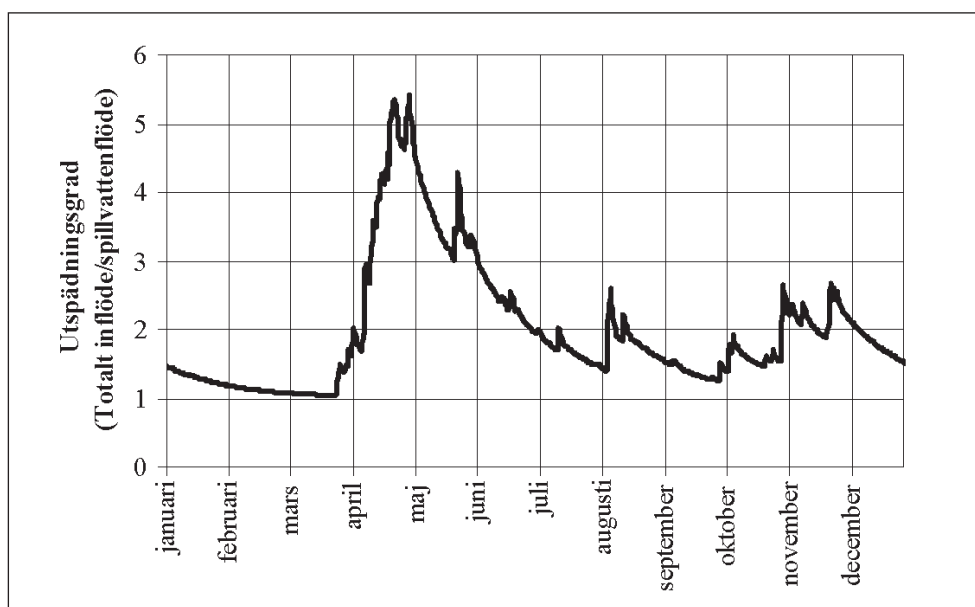
av att dagvattnet innehåller föroreningar, exempelvis tungmetaller och polyaromatiska kolväten (PAH). Avloppsslammet blir därigenom mindre lämpligt att sprida på åkermark vilket förhindrar kretslopp av näringsämnen.

3.1 Kombinerat ledningsnät

Här avleds dagvatten gemensamt med spillvatten vilket leder till att stora volymer smältvatten belastar avloppsreningsverken under senvåren (Figur 3-1). Förutom en ökad hydraulisk belastning sjunker temperaturen på avloppsvattnet som ska behandlas. Detta orsakar lägre avskiljningsgrad och försämrade driftvillkor inom avloppsreningsverket. Utöver detta försämras slamkvaliteten med kombinerade ledningsnät på grund

3.2 Duplikat ledningsnät

Med duplikata ledningsnät belastas inte avloppsreningsverken med dagvatten men istället avleds dagvattnet direkt till recipient utan föregående rening. Dagvattenledning och brunnar är dock hårt utsatta för tjälskador i regioner med kallt klimat (Figur 3-2). Kall luft dras ned i ledningar och brunnar (s.k. skorstenseffekt) vilket ökar tjälbildningen kring dessa



Figur 3-1. Exempel på avloppsvattnets utspädningsgrad i ett avrinningsområde med kombinerade avloppsledningar (Råneå ARV, Luleå kommun).



Figur 3-2. Tjälskadad regnvattenbrunn.

ledningskomponenter (Sellgren, 1983). När tjälen sedan går ur marken uppstår sättningar och beläggningsskador. Faktum är att en stor del av skadorna på de asfaltbelagda ytorna i norrländska kommuner uppstår i anslutning till dagvattensystemet. Utöver detta kan denna nedkylningseffekt och det ojämna tjälförloppet kring dagvattensystemet ge upphov till skador på dricksvattenledningsnätet (vattenläckor).

Flödena som uppstår vid snösmältning är normalt mindre än flödena vid regn (dvs. snösmältningen är lågintensiv jämfört med regn), men volymen som ska avledas är stor om man betraktar hela smältperioden. Trots att dagvattenledningarna med god marginal ska klara smältvattenflödena uppstår ändå ofta översvämningar under snösmältningen. Orsaken till detta är att isproppar i vägtrummor, brunnar och ledningar är ett vanligt problem. För att systemet ska fungera tillfredsställande krävs därför omfattande åtgärder i form av montering av värmekabel (förebyggande) eller upplösning av isproppar med ångaggregat (akut).

3.3 Infiltration

Anläggningar för infiltration av dagvatten riskerar att sättas igen av is under vintersäsongen och därigenom få en betydligt nedsatt funktion, eller ingen funktion alls, med avseende på dagvattenavledning. Gemensamt för infiltrationsanläggningar, perkolationsmagasin och dränerande asfalt med enhetsöverbyggnad är att de har en medelhög potential för att ta hand om dagvattenvolymer samt en hög potential med avseende på dagvattenrening (Bäckström och Viklander, 2000).

3.4 Perkolationsmagasin

Enligt tidigare studier i Luleå klarar perkolationsmagasin att hantera smältvatten (Stenmark, 1991). Även om temperaturen i magasinet kan sjunka avsevärt under 0 grader så visade sig risken för total nedisning vara minimal. Rekommendationen är dock att lämna markytan ovanför perkolationsmagasinet oplogad under vintern (Stenmark, 1992). Det orörda snölagret har en avsevärd isolerande effekt och minskar tjäl-nedträngningen.

3.5 Dränerande asfalt och enhetsöverbyggnad

Med denna anläggning skapas en körbar yta samtidigt som man skapar ett lokalt omhändertagande av dagvattnet. Dränerande asfalt kan också benämnas genomsläpplig asfalt eller permeabel asfalt. Asfalten läggs ovanpå ett enhetligt lager av makadam eller slagg (vägkropp). På terrassytan läggs en genomsläpplig geotextil för att separera vägkroppen från underliggande jord. Vägkroppens tjocklek bestäms av behoven av bärighet och vattenmagasineringsförmåga.

Fullskaleförsök i Luleå (Figur 3-3) har visat goda resultat när det gäller dessa anläggningars funktion i kallt klimat, både avseende avledningsförmåga och föroreningskontroll (Stenmark, 1995; Bäckström, 1999). Även under snösmältning har dränerande asfalt tillräcklig infiltrationskapacitet för att smältvattnet ska infiltrera. Anläggningen visade sig dessutom vara



Figur 3-3. Enhetsöverbyggnad och dränerande asfalt (vänster) samt konventionell villagata (höger) under snösmältning i Luleå. Bilderna är tagna med någon minuts mellanrum.

mer motståndskraftig mot tjälskador jämfört med konventionella vägkonstruktioner med tät asfalt och dagvattenbrunnar. För att få en extra säkerhet mot frysskador bör man dock lägga en dräneringsledning på terrassytan (Fujita, 1994).

3.6 Svackdike

Gräsbevuxna svackdiken har blivit alltmer uppmärksammade som en metod för synlig transport av dagvatten på ytan, dagvatteninfiltration samt fastläggning av dagvattenföroreningar. Enligt studier i Luleå kan man uppnå en avsevärd föroreningskontroll med gräsbevuxna svackdiken när det gäller suspenderat material och partikelbundna föroreningar (Bäckström, 2002). Lösta ämnen och små partiklar fastnar dock inte i någon högre utsträckning i normalutformade diken.

En av fördelarna med svackdiken i kallt klimat är att de kan nyttjas som lokala snölagringsytor (Figur 3-4). Avledningen av smältvatten fungerar tämligen väl trots att snö ligger kvar i diket, förutsatt att snön inte packats. Problem kan dock uppstå på grund av isbildning vid inlopp, utlopp och vägtrummor. Även svallisbildning där grundvatten tränger upp i diket har rapporterats. Problem med isbildning kan åtgärdas genom att installera värmekabel i kritiska punkter.

Dagvatten som hamnar i svackdiket infiltrerar i marken eller rinner av på ytan, men infiltrationsförmågan är kraftigt försämrad under vinterförhållanden då marken kan vara frusen. De positiva egenskaperna som hänger samman med vegetationen i svackdiket minskar också drastiskt under vintern och speciellt

smältperioden. Då ingen levande växtlighet finns i diket ökar erosionsrisken. Utöver detta minskar förmågan att fånga in dagvattnets innehåll av föroreningar.

3.7 Dammar

Olika typer av dagvattendammar är idag ett vanligt inslag i många städer och längs större vägar. Dammar har flera nyttiga funktioner – fördröjning av stora vattenflöden och därmed minskad översvämningrisk, avskiljning av föroreningar samt estetiska värden i stadsbilden. I vilken omfattning den förväntade funktionen överensstämmer med den verkliga är dock i många fall inte klarlagt. Dessutom är dammar inte en slutlig lösning när det gäller föroreningsfrågan, som många andra alternativa dagvattenanläggningar, eftersom ett förorenat sediment måste tömmas regelbundet och omhändertas.

Temperatur är en viktig faktor när det gäller fysikaliska, kemiska och biologiska processer i en dagvattendamm. Temperaturen påverkar exempelvis artsammansättning, vattendensitet och eventuell bildning av is. Om större mängder dagvatten rinner in dammen samtidigt som den är istäckt finns det en uppenbar risk att vatten rinner både ovanpå och under isen. Watt m.fl. (1997) undersökte vinterfunktionen för en dagvattendamm med en yta av 0,52 ha och medeldjup på 1 meter belägen i Ontario, Kanada. Studier under två vintrar visade på låg risk för sedimentflykt och låg risk för att föroreningar i sedimentet löses ut till vattenfasen. Trots detta såg man tecken på syrefria



Figur 3-4. Gräsbevuxet dike i vinterskrud.

förhållanden mot slutet av köldperioder samt skiktning på grund av densitetsskillnader i vattnet. Svenska studier av en mindre dagvattendamm i Göteborg visade tydligare tecken på att mängden löst syre i vattnet minskade då dammen var istäckt samtidigt som inget in- eller utflöde skedde (Pettersson, 1996). Mängden lösta metaller i vattenfasen ökade under samma period.

Begreppet damm inrymmer en mängd olika typer av anläggningar och utformningar. I Sverige har den

typ av damm som ständigt är vattenfylld (våt damm) rönt mest intresse, men det finns också dammar och utjämningsmagasin som under torrperioder är tomma för att fyllas till bredden under intensiva regn (torr damm). Funktionen är därmed i huvudsak utjämning av stora flöden i dagvattensystemet. Den torra dammen skulle kunna nyttjas för snöupplag, men risken är då att stora smältvattenvolymer orsakar problem under snösmältningen.

4 Snöhantering

En snöflinga både faller långsammare och har större specifik yta än en regndroppe, och har därför också förmågan att kunna samla på sig en större mängd föroreningar under sin luftfärd. Snöns kvalitet i ett område beror till stor del av två faktorer; dels trafikintensiteten i området, och dels hur länge snön får ligga på plats. Den mest intensiva snöröjningen sker idag oftast i de centrala delarna av en kommun och detta innebär ca 50-80 % av de totala kostnaderna för snöröjning. Snön röjs och transporteras sedan till någon form av deponi som kan vara land- eller vattenbaserad (Figur 4-1).

Om snön tippas direkt i vatten kommer de partikelbundna ämnena att ansamlas på botten, medan de lösta fraktionerna till stor del går in i de biologiska systemen. För snö som deponeras på land stannar så mycket som 90 till 99 % av de partikelbundna föroreningarna på markytan efter det att snön smält (Viklander, 1997). Det sediment som ligger kvar på ett snödeponiområde har visat sig vara mycket förorenat (Droste och Johnston, 1993). Den snö som lämnas kvar att smälta på plats kommer att rinna av till dagvatten-systemet, till en lokal recipient eller infiltrera i marken.

Halkbekämpning innebär att tusentals ton av salt och/eller sand årligen läggs ut på våra vägar. Sedimenten följer vid snösmältningen antingen med smältvattnet, stannar kvar på vägen eller hamnar på snödeponin. Sedimenten som blir kvar på vägytan blir antingen uppsopade, virvlas upp i luften eller sköljs bort med kommande regn.

För att minimera miljöbelastningen under vinterperioden bör en helhetssyn av snö hanteringen eftersträvas, som innefattar röjning, transporter, snö deponering och omhändertagande av smältvatten och sediment.

Idag transporteras stora delar av den röjda snön till en stor central snö deponi oftast placerad en bit utanför centrum. De stora mängderna på snödeponierna samt den väldigt varierande kvalitén på snön gör det svårt att kontrollera den egentliga föroreningsmängd som snö deponin ger upphov till. Enligt den så kallade "separeringsstrategin" (Malmqvist, 1985; SEPA, 1990) kan ett ökat användande av mindre lokala snöupplag i anslutning till upptagningsområdet vara ett sätt att omhänderta mindre förorenad snö på och på så sätt även minska de föroreningar som uppkommer i samband med transporter av snö till en central deponi. Snö som innehåller mycket föroreningar bör fortfarande transporteras till en central deponi där den kan omhändertas på ett miljöriktigt sätt.



Figur 4-1. Lokalt snöupplag i väntan på vidare transport till central deponi.



Figur 4-2. Snöprovtagning i Luleå.

5 Att välja rätt – exempel på bedömningsverktyg

5.1 De nationella miljömålen

Ett av de verktyg som kommer att användas vid dagvattenplanering är de 15 miljökvalitetsmålen som ska leda vägen för en ekologiskt hållbar samhällsutveckling. Av de femton målen kan sex stycken tillämpas på dagvatten (se tabell 5-1).

5.2 Flerfunktionsanalys

Ett försök till analys av dagvattensystemens viktigaste funktioner genomfördes inom projektet. Fyra funktioner bedömdes:

1. Volymkontroll
2. Föroreningskontroll

3. Integrering
4. Funktion i kallt klimat

De tre första funktionerna kallades här för generella funktioner eftersom de visar dagvattenanläggningens potential att möta grundläggande krav på hållbarhet. Med hög integrering menas att vattnets naturliga kretslopp efterliknas samt att resursanvändningen för anläggningens konstruktion och drift är låg.

Utvärderingen baserades på litteraturstudier samt resultat från dagvattenforskning vid Luleå tekniska universitet. Varje dagvattenanläggning bedömdes med hjälp av en 5-gradig skala med nivåerna mycket låg (--), låg (-), hög (+) och mycket hög (++) potential/funktionalitet. Varje funktion bedömdes separat, exempelvis volymkontroll bedömdes för alla anläggningar oberoende av föroreningskontroll. Dagvattenanläggningar med lägst respektive högst potential/funktionalitet definierades först och övriga anläggningar bedömdes i relation till dessa båda ytterligheter.

Tabell 5-2 (nästa sida) visar resultaten från flerfunktionsanalysen. En något tydligare grafisk presentation visas i Figur 5-1 där ett samlingsbetyg för de tre generella funktionerna jämförs med funktionen i kallt klimat. Utifrån denna figur får man således en indikation på vilka dagvattenanläggningar som är uthålliga i kallt klimat.

Tabell 5-1. Dagvattnet och de nationella miljökvalitetsmålen.

Miljömål	Tillämpning/betydelse för dagvattenhantering
Bara naturlig försurning.	Dagvatten från vissa typer av områden kan ha ett lågt (eller mycket lågt) pH. Detta gäller speciellt under våren vid snösmältningen (sur stöt).
Ingen övergödning.	Dagvatten kan föra med sig betydande mängder fosfor och kväve till recipienten men vanligtvis är det andra källor som dominerar för dessa ämnen.
Giftfri miljö.	Tillförsel av tungmetaller, PAH:er, pesticider, fenoler, ftalater, dioxiner etc. kan domineras av dagvatten jämfört med andra källor.
Grundvatten av god kvalitet.	Dagvatten kan nå grundvattnet naturligt eller genom infiltration, öppna diken etc. Eftersom den lösta delen, för speciellt tungmetaller, är hög vanligtvis mellan 20-70 % finns det en risk för förorening av grundvattnet. Å andra sidan kan infiltration av dagvatten hjälpa till att bevara den naturliga grundvatten balansen i urbana områden.
Myllrande våtmarker.	Anläggning av artificiella våtmarker för behandling av dagvatten har ökat i Sverige. Det kan diskuteras om dessa våtmarker skall ses som naturliga eller behandlingsanläggningar. Erfarenheter visar dock att de bidrar till en god biodiversitet.
God bebyggd miljö.	Detta är ett komplext miljömål som inkluderar såväl hygieniska som estetiska aspekter. Dagvatten kan medföra hygieniska risker på grund av spillning från fåglar och andra djur. Dagvattenanläggningar som dammar och våtmarker kan dock berika den estetiska utformningen av våra städer.

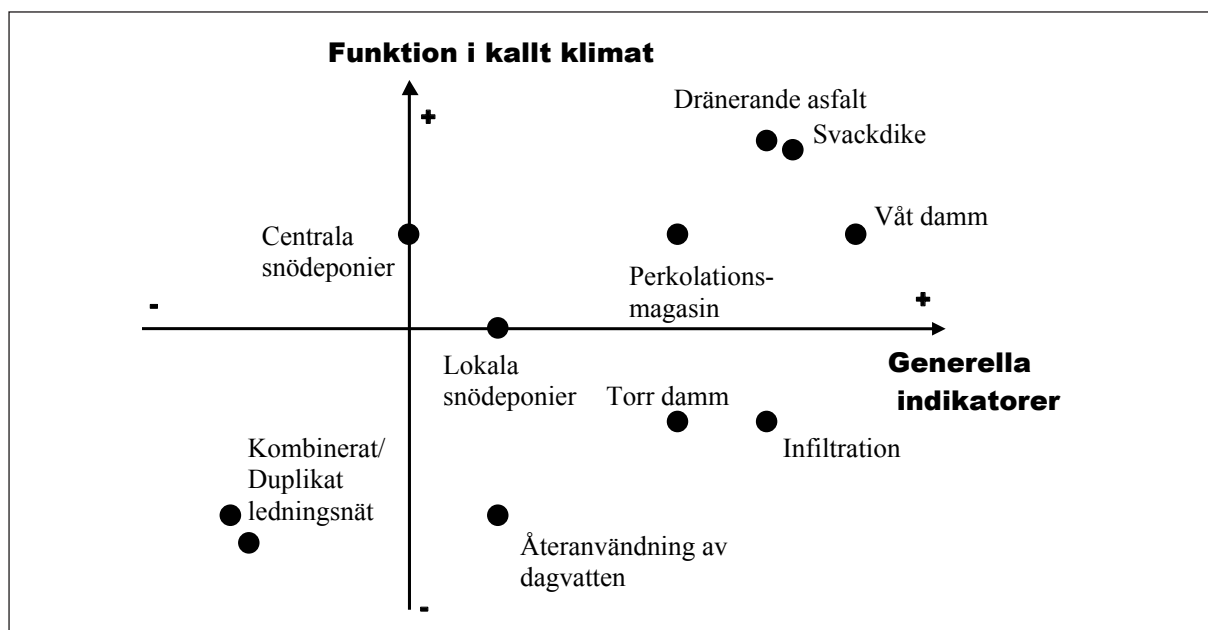
Tabell 5-2. Bedömning av dagvattenhanteringsmetoders potential/funktionalitet i intervallet mycket hög (++) till mycket låg (-).

Dagvattenhanteringsmetod	Generella funktioner			Funktion i kallt klimat
	Volym-kontroll	Förorenings-kontroll	Integrering	
Kombinerat ledningsnät	+	-	--	--
Duplikat ledningsnät (utan dagvattenrening)	++	--	--	--
Dagvatteninfiltration	+	+	++	-
Perkolationsmagasin	+	+	+	+
Dränerande asfalt med enhetsöverbyggnad	+	++	+	++
Svackdiken	+	+	++	++
Våt damm	++	++	+	+
Torr damm	+	+	+	-
Återanvändning av dagvatten (ex. tvätt och WC-spolning)	+	-	+	--
Centrala snödeponier	+	+	--	+
Lokala snödeponier	+/-	-	++	+/-

Figur 5-1 indikerar att dränerande asfalt med enhetsöverbyggnad, svackdiken, våt damm och perkolationsmagasin är de dagvattenanläggningar som är uthålliga i kallt klimat. Infiltrationsanläggningar, torr dam och återanvändning av dagvatten har sämre potential att fungera uthålligt i kallt klimat. När det gäller snöhanteringsmetoder är det svårt att få vägledning ur denna analys. En lämplig strategi är att hantera förorenad snö (ex. snö som legat länge intill större vägar)

vid en central deponi och mindre förorenad snö lokalt.

De konventionella ledningsnäten får låga betyg i denna analys, men det bör noteras att stora resurser lagts ned på att bygga upp dessa system. Det finns också en möjlighet att förbättra avloppsreningsverkens förmåga att rena vatten och slam från dagvattenföroreningar. Därför kan det vara fördelaktigt att underhålla och vidareutveckla befintliga system. För att svara



Figur 5-1. Funktion i kallt klimat och generella funktioner (volymkontroll, föroreningskontroll och integrering) för olika dagvattenhanteringsmetoder.

på detta krävs dock en betydligt mer ingående analys där de senaste rönen inom avloppsreningsprocesser och förnyelsestrategier för ledningsnät diskuteras. Resultaten från denna analys kan tolkas som att de

konventionella systemen som går ut på att avleda dagvatten (via kombinerade eller duplikata ledningsnät) inte är uthålliga i sin nuvarande form.

6 Reflektioner – uthålligt dagvattensystem

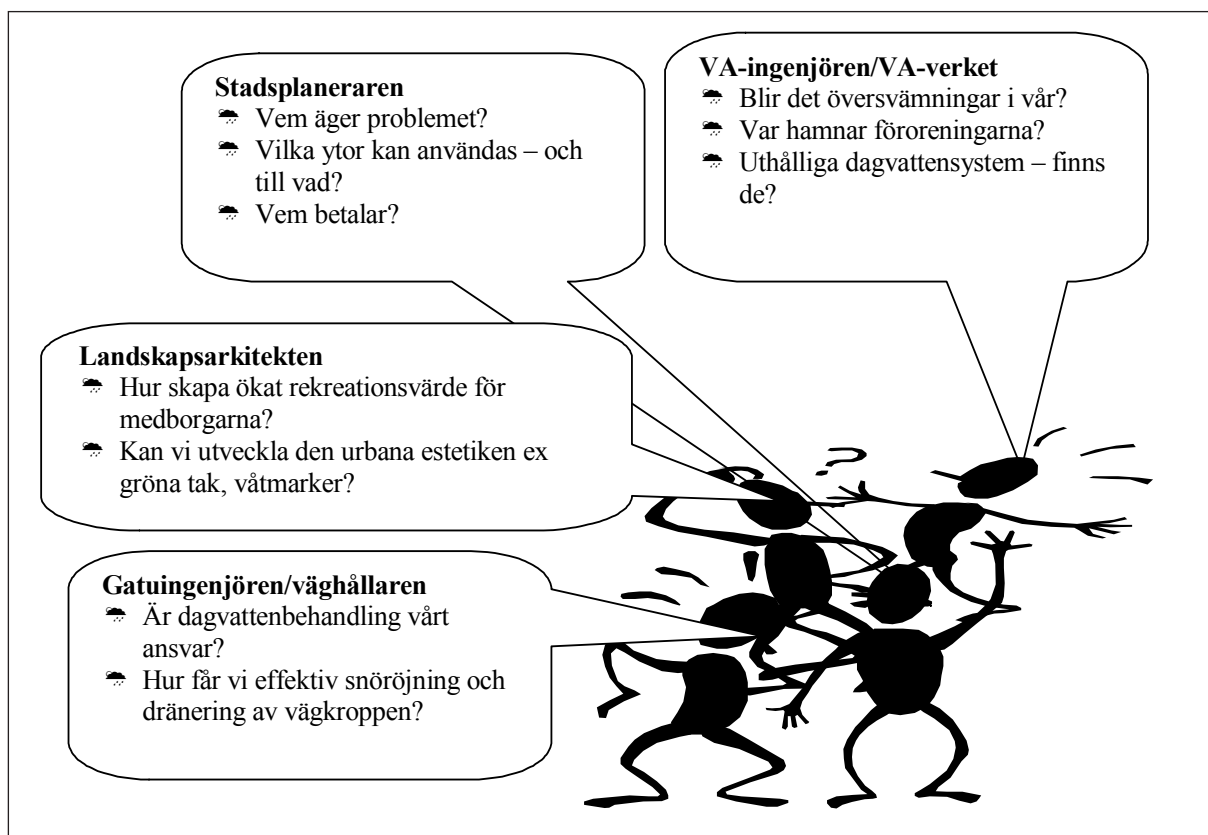
Trots ökade kunskaper om dagvattenanläggningsfunktion, klimatpåverkan, bedömningsgrunder och bedömningsverktyg finns det andra faktorer som är avgörande för om uthålliga dagvattensystem kan förverkligas. Några av de kritiska faktorerna är:

- Hur kan olika discipliner mötas och bryta sina föreställningar, mål och utgångspunkter i dagvattenfrågan med varandra på ett bättre sätt? Hur involverar vi allmänheten (politiker) i beslutsprocessen och utformningen av ”stadens vattensystem”?
- Var hamnar dagvattenföroreningarna på lång sikt och vilka sekundära problem kan uppstå (som vi har svårt att se idag)?
- Hur hanterar vi den pågående och förutspådda klimatförändringen? Vilken säkerhet ska vi bygga in dagvattensystemet så vi kan klara av det oförutsedda?

6.1 Olika aktörer på dagvattenscenen

Idag är det ett stort antal olika discipliner involverade inom dagvattenområdet, till exempel landskapsarkitekter, stadsplanerare, geotekniker, VA-ingenjörer, gatuingenjörer, parkingenjörer och politiker. Ett problem är att dessa människor har olika utgångspunkt och målsättning för dagvattensystemet på olika sätt och att de talar olika ”språk”. Detta problem illustreras i Figur 6-1.

Avgörande för en positiv utveckling är att de olika disciplinerna möts och att olika utgångspunkter, mål och ansvar diskuteras. Utifrån denna diskussion mellan olika discipliner kan dagvatten bli något kreativt och spännande.



Figur 6-1. Discipliner involverade i dagvattenfrågor på kommunal nivå.

6.2 Var hamnar föroreningarna?

Under de senaste åren har det byggts en rad dagvattenanläggningar i städer och längs vägar. Beroende på val av anläggning ändras flödesmönstret för såväl vatten som föroreningar eftersom olika dagvattenanläggningar reducerar olika typer av ämnen och fraktioner, i varierande grad.

De frågor vi bör ställa oss är: Är dessa anläggningar uthålliga? Vad händer med metaller och organiska föroreningar? Är det bättre att föroreningarna hamnar i mark, ytvatten eller grundvatten? Tabell 1-1 visar hur koppar och zink fördelas mellan nämnda recipienter i damm- eller infiltrationsanläggningar.

En studie av dagvattendammar i Sverige har visat att avskiljningsförmågan kan variera mellan 30-50 % beroende på ämne och dammens utformning (Pettersson m.fl., 1999). Trots denna avskiljning har det visats att kvalitén hos utgående vatten är så dålig att det föreligger risk för påverkan på recipientens ekosystem (German, 2001).

Under de senaste åren har en rad olika dagvattenanläggningar/system testats runt om i Sverige och Danmark, vissa i fullskala och andra i lab. Erfarenheterna från dessa anläggningar har varierat och det är inte känt vilken betydelse anläggningen har för recipienten (Mikkelsen m.fl., 2001). Utifrån detta kan slutsatsen dras att nyttan av olika anläggningar bör utredas ytterligare innan fler fullskaleanläggningar byggs.

6.3 Dagvattnet och klimatförändringen

Det allmänna medvetandet kring den pågående klimatförändringens effekter har ökat drastiskt under senare år. Hur detta berör städernas dagvattenhantering har av naturliga skäl varit en av de centrala frågeställningarna eftersom hydrologi och temperatur kommer att förändras. Sedan 2004 har institutionen för Samhällsbyggnad, Luleå tekniska universitet bedrivit forskning som kretsar kring klimatförändringens effekter på dagens VA-system (Figur 6-2, nästa sida).

Än så länge har forskningen resulterat i ett antal vetenskapliga artiklar som sammanfattats i två licentiatavhandlingar (Berggren, 2007; Olofsson, 2007). Ett delprojekt har undersökt hur en del av dagvattenledningsnätet i Kalmar kommer att fungera för två olika klimatscenarios under tre olika tidsperioder mellan 2011 och 2100. En datamodell upprättades över ett försöksområde på 54 ha där 37 % var hårdgjord yta. Resultaten pekar på att antalet ytöversvämningar samt att den geografiska spridningen av översvämningar kommer att öka under de studerade tidsperioderna fram till år 2100. Vidare kan också varaktigheten av översvämningarna komma att öka. Andra problem som kan förväntas uppstå kan kopplas till ökade dränvattenflöden. Exempel på negativa konsekvenser av detta är fler källaröversvämningar, fler bräddningstillfällen och ökad hydraulisk belastning på avloppsreningsverken.

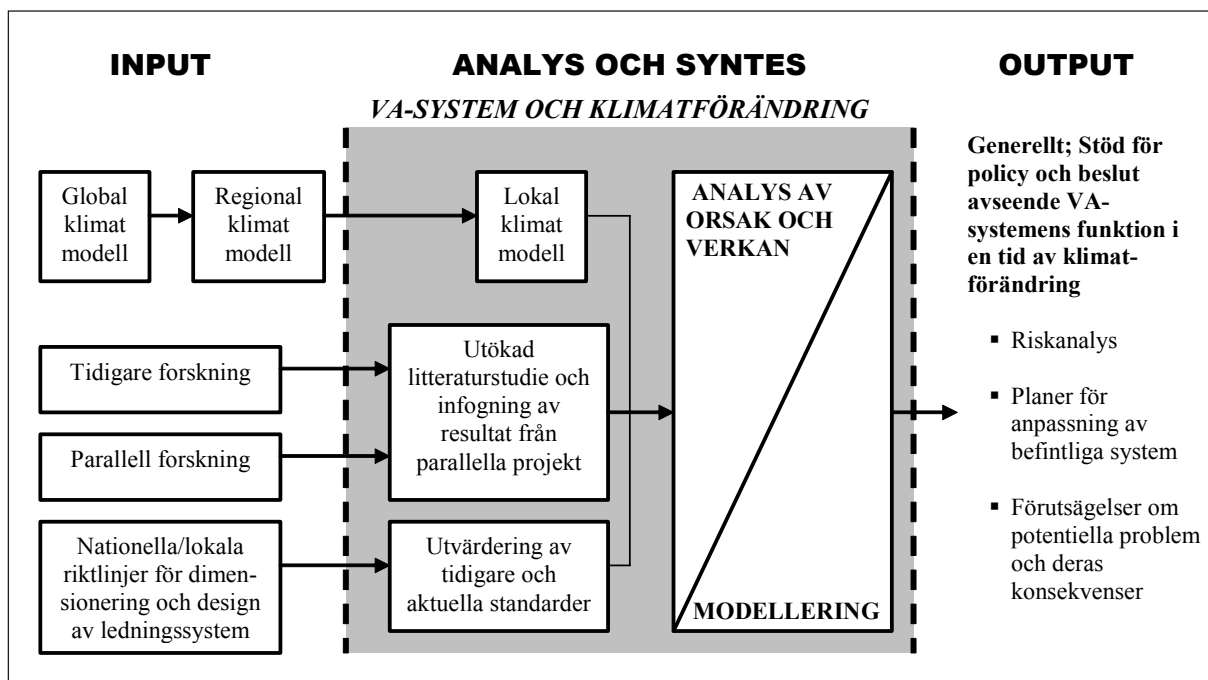
Behovet av en dynamisk dagvattenstrategi har troligen aldrig varit större och utmaningarna för framtidens VA-ingenjörer är omfattande. Med bättre förutsägelser om framtidens klimat och ett fortsatt ökat medvetande hos alla parter som är inblandade i det långsiktiga samhällsbyggandet finns det ändå hopp att strategier och åtgärder kommer att kunna hantera klimatförändringen.

Tabell 6-1. Fördelning av koppar (Cu) respektive zink (Zn) mellan olika typer av recipienter (sediment, ytvatten resp. grundvatten) för damm- alternativt infiltrationsanläggning (Bäckström m.fl., 2001).

	Till sediment el. jord		Till ytvatten		Till grundvatten	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Dammar ¹	30-75%	30-82%	25-70%	18-70%	0%	0%
Infiltration ²	43-61%	84-94	0%	0%	39-57%	6-16%

¹ Från Pettersson m.fl.,1999.

² Från Dierkes och Geiger, 1999.



Figur 6-2. Arbetsplan för forskningen kring VA-system och klimatförändring vid Luleå tekniska universitet (Berggren, 2007).

7 Publikationer inom projektet "Alternativ dagvattenhantering i kallt klimat"

7.1 Avhandlingar

Bäckström, M. (2002) Grassed swales for urban storm drainage. Doktorsavhandling 2002:06 Luleå tekniska universitet. ISSN 1402-1544 / ISRN LTU-DT--02/06--SE / NR 2002:06.

7.2 Artiklar i internationella tidskrifter (refereed journals)

Viklander, M., Marsalek, J., Malmqvist, P.-A., Watt, W.E. (2003). Urban drainage and highway runoff in cold climates: Conference overview. *Water, Science and Technology* vol. 48, issue 9, pp 1-10.

Marsalek, J., Oberts, G., Exall, K., Viklander, M. (2003). Review of operation of urban Drainage systems in cold weather: Water quality considerations. *Water, Science and Technology* vol. 48, issue 9 pp 11-20.

Reinosdotter, K., Viklander, M., Malmqvist, P.-A., (2003). Comparison of the effects of using local and central snow deposits: A case study in Luleå. *Water, Science and Technology* vol. 48 issue 9, pp 71-79.

Westerlund, C., Viklander, M., Bäckström, M. (2003). Seasonal variations in Road Runoff Quality in Luleå, Sweden. *Water, Science and Technology* vol. 48, issue 9 pp 93-101.

Bäckström, M. (2002). Sediment transport in grassed swales during simulated runoff events. *Water, Science and Technology*, Vol 45, No 7, pp 41-49.

Bäckström, M., Viklander, M., Malmqvist, P.-A. (2006). Transport and retention of stormwater pollutants in a roadside grassed swale. *Urban Water Journal*. Vol 3, No 2, pp 55-67.

Bäckström, M., Malmqvist, P.-A., and Viklander, M. (2001). Stormwater Management in a Catchbasin Perspective – Best Practices or Sustainable Strategies? *Water, Science and Technology* vol. 46, No 6-7, pp 159-166.

Oberts, G.L., Marsalek, J., Viklander, M. (2000). Review of Water Quality Impacts of winter Operation of Urban Drainage. *Water Qual. Res. J. Canada* 35(4): 781-808.

Bäckström, M., Viklander, M. (2000). Integrated storm water management in cold climates. *Journal of Environmental Science and health*. A35(8):1251-1266.

Viklander, M. (1999). Dissolved and Particle-bounded Substances in Urban Snow. *Water Science and Technology*. 39 (12), 27-32.

7.3 Artiklar presenterade vid vetenskapliga konferenser

Bäckström, M. (1998). Ditches and swales as stormwater transport system. Presented at the *11th European Junior Scientist Workshop*, 12-15 March, 1998, Eekholt, Germany.

Bäckström, M. (1998). Ditches: sustainable drainage components. Presented at the *3rd International conference Innovative technologies in urban storm drainage, NOVATECH 1998*, May 4-6 1998, Lyon, France, pp 465-473.

Viklander, M. Bäckström, M., (1998). Ecological storm water handling in cold climate. *Proc. of the 3rd International conference Innovative technologies in urban storm drainage, NOVATECH 1998*, May 4-6 1998, Lyon, France. pp 423-430.

Viklander, M. (1998). Dissolved and particle-bound substances in urban snow. *Proc. of the LAWQ 3rd International Conference on Diffuse Pollution*, 31 August - 4 September 1998, Edinburgh, Scotland.

Bäckström, M., Hellström, D. and Viklander, M. (1999). Resources utilization analysis: a comparison of different stormwater transport systems. *Proceedings of the 8th International Conference on Urban storm Drainage*, 30 August – 3 September 1999, Sydney, Australia. Vol 3, pp 1327-1334.

Bäckström, M. and Viklander, M. (1999). Integrated stormwater management in cold climates. *Proceedings of the 4th International Conference. Managing the Wastewater resource*, Ås, Norway, June 7-11, 1999.

Bäckström, M., Malmqvist, P.-M., and Viklander, M., (2001). Stormwater Management in a Catchbasin Perspective – Best Practices or Sustainable Strategies? Presented at the IWA World Water Congress in Berlin Oct 2001. *Congress CD-ROM IWA 2001 Berlin, 2nd World Water Congress, Berlin*, 15-19 October 2001, Paper no. B1429.

Mikkelsen, P.S., Viklander, M., Linde, J.J., and Malmqvist, P.A. (2001). *BMPs in stormwater management in Denmark and Sweden*. United Engineering Foundation conf. on Linking stormwater BMP designs to receiving water impacts mitigation, Snowmass/Colorado, USA, 19-24 Aug 2001.

7.4 Övrig publicering

Bäckström, M. och Viklander, M. (1999). Dagvattenhantering – igår, idag, imorgon. *VAV-nytt* nr 2 1999.

Marsalek, J., Oberts, G., Viklander, M., (1999). Chapter 4 *Urban Water Quality Issues* in *Urban Drainage in Specific Climates*, Vol 2 URBAN DRAINAGE IN COLD CLIMATE Chief Editor; Cedo Maksimovic.

Referenser

Bengtsson, L. and G. Westerström, (1992). Urban snowmelt and runoff in northern Sweden. *Hydrological Sciences Journal*, 37(3): 263-275.

Berggren, K. (2007). *Urban drainage and climate change – impact assessment*. Licentiatavhandling 2007:40 Luleå tekniska universitet. ISSN 1402-1757 / ISRN LTU-LIC--07/40--SE.

Bäckström, M. (1999). *Porous pavement in a cold climate*. Licentiatavhandling 1997:21, Luleå tekniska universitet.

Bäckström, M., Viklander, M. (2000). Integrated storm water management in cold climates, *Journal of Environmental Science and health*. A35(8):1251-1266.

Bäckström, M., Malmqvist, P.-A., and Viklander, M. (2001). Stormwater Management in a Catchbasin Perspective – Best Practices or Sustainable Strategies? *Water Science and Technology* vol. 46, No 6-7, pp 159-166.

Bäckström, M. (2002). Grassed swales for urban storm drainage. Doktorsavhandling 2002:06 Luleå tekniska universitet. ISSN 1402-1544 / ISRN LTU-DT--02/06--SE / NR 2002:06.

Dierkes C. and Geiger W. F. (1999). Pollution retention capabilities of roadside soils. *Water Science and Technology*, Vol. 39, No. 2, pp. 201-208.

Droste, R.L., and Johnston, J.C., (1993). Urban snow dump quality and pollutant reduction in snowmelt by sedimentation, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20: 9-21.

Fujita, S. (1994). Infiltration structures in Tokyo. *Water Science and Technology*, Vol. 30 (1), pp. 33-41.

German, J. (2001). *Stormwater sediments; removal and characteristics*. Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola.

Hvitved-Jacobsen, T., and Yousef, Y.A., (1991). *Highway Runoff Quality, Environmental Impacts and Control*, in Highway Pollution, Editors: Hamilton, R.S., Harrison, R.M., Elsevier, Netherlands. ISBN 0-444-88188-3.

Larsson, T. and Kärppä, P. (1997). *Integrated stormwater management in the city of Malmö, Sweden*. Proceedings of the Engineering Foundation Conference “Sustaining urban water resources in the 21st century”, September 7-12, 1997, Malmö, Sweden.

Malmqvist, P.-A., (1983). *Urban stormwater pollutant sources. An analysis of inflows and outflows of nitrogen, phosphorus, lead, zinc and copper in urban areas*. Dissertation Series, Dept. of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. ISBN 91-7032-106-X.

Malmqvist, P.-A. (1985). Environmental effects of snowdisposal in Sweden. *Proc. of workshop minimizing the environmental impacts of the snowdisposal from urban areas*, June 11-12 1984. Report EPS 2/UP/1, October 1985. ISBN 0-662-14390-6.

McPherson, M.B. (1975). Special characteristics of urban hydrology. Pages 239–255 in *Prediction in Catchment Hydrology, Australian Academy of Science, Canberra*.

Mikkelsen, P.S., Viklander, M., Linde, J.J., and Malmqvist, P.A. (2001). BMPs in stormwater management in Denmark and Sweden. United Engineering Foundation conf. on *Linking stormwater BMP designs to receiving water impacts mitigation*, Snowmass/Colorado, USA, 19-24 Aug 2001. (Accepted for book publication).

Milina, J. (1998). Runoff based flood analysis in urban catchments subject to the effects of cold climate conditions. A poster submitted to the *1998 IAWQ Biennial, Vancouver*, June 20–26, 1998.

Olofsson, M. (2007). Climate change and urban drainage: future precipitation and hydraulic impact. Licentiatavhandling 2007:20, Luleå tekniska universitet. ISSN:1402-1757.

Oberts, G.L. (1990). Design consideration for management of urban runoff in wintry conditions. *Proc. Int. Conf. on Urban Hydrology under wintry Conditions*, Narvik, Norway, March 19–21, 1990.

Pettersson, T.J.R. (1996). *Pollution reduction in stormwater detention ponds*. Licentiatavhandling 1996:3, Chalmers tekniska högskola. ISSN 1401-1859.

Pettersson, T.J.R. (1999). *Stormwater ponds for pollution reduction*. Doktorsavhandling, Dept. of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Sellgren, A. (1983). *Temperature conditions in storm water systems in cold regions*. Avdelningen för vattenteknik, Luleå tekniska universitet, Rapport A115.

Stenmark, C. (1991). The function of a percolation basin in a cold climate. *Proceedings of the 5th International conference on urban storm drainage*, Suita, Osaka, Japan, July 1990, pp. 809-814.

Stenmark, C. (1992). *Local disposal of stormwater in cold climate*. Licentiate thesis 1992:24, Luleå tekniska universitet.

Stenmark, C. (1995). An alternative road construction for stormwater management in cold climates. *Water Science and Technology*, Vol. 32 (1), pp. 79-84.

SEPA (1990). *Snöupplag, lokalisering och drift*. The Swedish Environmental Protection Board, Report 3785.

Viklander, M., (1997). *Snow Quality in Urban Areas*. Doktorsavhandling 1997:21, Luleå tekniska universitet. ISSN: 1401-1544.

Watt, W.E., Marsalek, J. and Anderson, B.C. (1997). Stormwater pond perception vs. realities: a case study. *Proceedings of the Engineering Foundation Conference "Sustaining urban water resources in the 21st century"*, September 7-12, 1997, Malmö, Sweden.

Zariello, P. (1990). Seasonal water quality trends in an urbanizing watershed in upstate New York, USA. *Proc. Int. Conf. on Urban Hydrology under Wintry Conditions*, Narvik, Norway, March 19–21, 1990.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se