



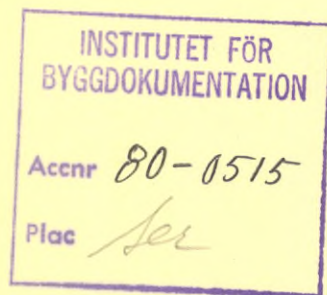
Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Snöhantering i tätort

Lars Bengtsson
Anders Johnsson
Per-Arne Malmquist
Erik Särner
Jan Hällgren



K/5
98

R27:1980

SNÖHANTERING I TATORT

Lars Bengtsson
Anders Johnsson
Per-Arne Malmquist
Erik Särner
Jan Hällgren

Rapporten har tagits fram av Byggforskningsrådets "Snögrupp".

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R27:1980

ISBN 91-540-3191-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 050849

FÖRORD

I större delen av Sverige utgör snö en dominerande del av den hydrologiska cykeln och utgör ett inslag i gemene mans liv under halva året. Trots detta vet vi förvånansvärt lite om snöproblem. Hur snabbt kan snön smälta? Behöver vi dimensionera dagvattensystem för snösmältning? Beror översvämningar på för små ledningar eller på att dessas kapacitetsförmåga är nedsatt p g a frysning? Varför fryser det i dricksvattenledningar under snösmältningen? Hur förorenad är snön? Behöver den renas? Hur skall den renas? Var skall man förlägga snötippor? Hur miljöfarliga är dessa? Fungerar reningsverk under snösmältningen? Beror deras nedsatta effekt på vattnets låga temperatur eller på det höga flödet?

För att klargöra vilka problem som finns och vilken kunskap som finns om snöproblem så bildades under våren-79 en grupp sakkunniga. Efter diskussioner inom denna grupp och efter intervjuer på några kommuner har föreliggande kunskapsöversikt sammanställts. Rapporten bör kunna ligga till grund för fortsatta diskussioner kring snöproblem och för klargörandet av forskningsbehov inom området.

I "snögruppen" har ingått

Lars Bengtsson, ordf, Tekniska Högskolan i Luleå

Örjan Eriksson, BFR

Jan Falk, SNV och Vattenresurslära, LTH

Olle Holmgren, Statens Inst f Byggnadsforskning

Anders Johnsson, Luleå Kommun (numera Nybro)

Johan Larsson, Vattenbyggnad, KTH

Rolf Magnusson, Vägverket

Per-Arne Malmquist, VA-teknik, CTH

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING AV DE OLIKA KAPITLEN.....	5
Kapitel 1: Lars Bengtsson: SNÖSMÄLTNING I TÄTORT.....	13
Kapitel 2: Anders Johnsson: DAGVATTENLEDNINGARS FUNKTION VINTERTID.....	43
Kapitel 3: Per-Arne Malmquist: FÖRORENINGAR I TÄTORTENS SNÖ....	49
Kapitel 4: Erik Särner: SNÖSMÄLTNINGENS INVERKAN PÅ RENINGSVÄRK.....	77
Kapitel 5: Jan Hällgren: NÅGRA MILJÖMÄSSIGA SYNPUNKTER PÅ SNÖHANTERING.....	89

SNÖSMÄLTNING I TÄRTORT

SAMMANFATTNING

Snönederbörden är mycket ojämnt fördelad över landet främst beroende på att vinternederbörden i södra Sverige faller omväxlande som snö och regn. I norra Sverige kan man räkna med att det vid snösmältningens början alltid finns i varje fall 15-20 cm vattnekvivalenter snö. I en tätort har denna omfördelats genom plogning och skottning så att det finns höga snövallar (10-15% av ytan) och snöfria ytor (25-85 %). Inom stadsplanebelagt område transporteras snö bort från cirka 10 % av ytan. I själva stadskärnorna kan man helt enkelt räkna med att större delen av snön helt enkelt transporterats bort till snötippar.

I motsats till avrinningen från regn är ju snösmältningensavrinningen fördelad över en relativt lång tidsperiod. Smältintensiteten är i regel långsam under smältperiodens början - 5 mm/dygn. Efterhand blir snön "smutsigare och grövre" varvid dess albedo minskar så att den kan ta upp mer solenergi och mer sensibelt värme. Smältintensiteten accelereras gradvis till upp mot 30-40 mm/dygn. Denna intensitetsökning accentueras ytterligare vad det gäller själva avrinningen eftersom det första smältvattnet åtgår till att göra snön vattenmättad. Det kan dröja flera dagar med positiv temperatur innan snöns vattnekvivalentvärde börjar reduceras. Smältvattnet hålls kvar i snön.

Observationer i olika delar av Sverige under 1979 visar att avrinning till stor del sker under halva dygnet och att den avrunna vattenmängden då motsvarar cirka 30 mm vattenpelare. I Canada har emellertid observerats 59 mm daglig avsmältning. En teoretisk analys baserad på energibalansen visar att snösmältningensintensiteten inte kan överstiga 7 mm/tim och på landsbygden knappast överstiga halva detta värde.

Man brukar göra snösmältningsprognoser baserade på den s k graddagarsmetoden som säger att snösmältningshastigheten är proportionellt mot temperaturöverskottet över en viss jämviktstemperatur. Låter man jämviktstemperaturen vara en fiktiv temperatur som beror av solintensitet och molnighet och områdestyp så kan man härleda graddagars-ekvationen ur den fullständiga energibalans-ekvationen. Regniga dagar och alltid inne i skogsområden är jämviktstemperaturen 0°C . Vanligen räknar man emellertid med 0°C -jämviktstemperatur för alla områden.

Proportionalitetsfaktorn eller graddagarskonstanten kommer då inte att vara konstant. För öppna områden kan graddagarskonstanten variera mellan 0.3 och 0.6 $\text{cm}/^{\circ}\text{C}$, dygn. Ju senare snösmältningen äger rum desto starkare är solen och desto högre blir graddagarskonstanten. För helt solskyddade områden har visats att konstanten är 0.2 $\text{cm}/^{\circ}\text{C}$, dygn.

Inne i en tätort smälter snön fortare än ute på landsbygden. Detta beror på att det är varmare inne i ett samhälle än utanför och på att snön åldras snabbare inne i samhället och då lättare tar upp energi. Dessutom mottar snön långvågig strålning från omgivande byggnader och p g a att stora områden är snöfria kan värme transporteras från dessa områden till snön. Den teoretiskt maximala snösmältningsintensiteten är som tidigare nämnts 7 mm/tim men i en stad torde snösmältningsintensiteter på 4-6 mm/tim under halva dygnet vara vanligt förekommande.

Det har visats att cirka 1/3 av smältvattnet infiltreras, men att under den sena intensivaste snösmältningen marken är så vattenmättad att ingen infiltration äger rum utan smältvattnet rinner av också från grusytor. Vid snösmältning måste man alltså räkna med avrinning från större ytor än vid regnavrinning.

Man kan räkna med att det blir vanligt i framtiden att dagvatten tas om hand i s k alternativa system. Stora perkolationsmagasin måste då dimensioneras för snösmältning eftersom två-årsregnets dygnsintensitet snarast är mindre än snösmältningens dygnsintensitet trots att snösmältningen pågår i varje fall en vecka. Dessutom bör hänsyn tas till markens nedsatta infiltrationsförmåga.

SAMMANFATTNING

Driftsproblem i ledningar uppstår vintertid p g a direkt frysning av smältvatten vid intag, i själva ledningssystemet och vid utloppet. Av intervjuundersökningar ute på olika gatukontor framgår att de helt dominerande frysproblemen uppstår vid regnvattensbrunnar, vilka måste tinas upp flera gånger per vinter. Även frysningar vid utlopp är vanligt förekommande. Ur svallissynpunkt är dikesrecipienter med lågt flöde olämpliga.

Frysningar i servisledningar för renvatten uppstår på oförklarligt stora djup. Detta kan tänkas ha sin förklaring i en kylande effekt från dagvattenledningar.

SAMMÄNFATTNING

Smältvattnet som avrinner från snön i våra tätorter är, åtminstone i början av avsmältningen, mer förorenat än dagvatten vid normala regn. Smältvattnet är emellertid olika mycket förorenat beror på dels de olika föroreningskällorna, dels hur snön har hanterats vid snöröjningen.

Smältvatten från snö som ligger på gräsytor eller andra orörda ytor i tätorten är förorenad ungefär som dagvattnet i tätorten i fråga. Detta smältvatten torde kunna naturligt infiltreras i marken eller avledas via dagvattenssystemet utan någon större ökning av de skadeeffekter dagvattnet orsakar under resten av året.

Snö som faller på trafikytor röjs i regel tämligen omgående efter ett snöfall. Om denna snö inom kort tid körs till sjötipp eller landtipp torde den där inte orsaka större skadeverkningar än vad dagvattenutsläpp respektive dagvatteninfiltration gör. Om en recipient anses tåla dagvattenutsläpp tål den också tippning av snö som inte fått ligga för länge på gatorna. Tippningen kan emellertid medföra estetiska olägenheter genom att grövre föremål medföljer vid snöröjningen.

Snö som får ligga kvar längs gatorna i snösträngar eller snöhögar och där får smälta eller transporteras bort för tippning i ett senare skede har hunnit ansamla ansevärliga föroreningsmängder. Det är detta smältvatten, antingen snön får ligga kvar på gatorna, transporteras till landtipp eller sjötippas, som kan orsaka stora skadeverkningar på recipienterna. Dessa recipienter är respektive den normala recipienten för dagvatten, mark/grundvatten/lokalt vattendrag samt vattendraget där snön tippas. För denna snö kan man alltså många gånger välja recipient, och bör då välja den recipient där föroreningsverkan blir minst. Dagvattenrecipienten, det vill säga alternativet att låta snön ligga kvar längs gatorna i största möjliga utsträckning, bör väljas om vattenomsättningen är så god att recipienten bedöms tåla större föroreningsutsläpp

än dagvattnet normalt medför. Alternativet landtipp bör väljas om marken, grundvattnet och det lokala vattendraget bedöms tåla belastningen. Denna landtipp bör då planeras, anläggas och skötas som en avfallstipp. Det kan också bli aktuellt med utjämning och rening eller överföring till avloppsreningsverk för detta smältvatten. Alternativet sjötippning medför att *alla* föroreningar i snön förs till vattendraget i fråga. I de båda övriga alternativen kan viss föroreningsreduktion påräknas genom markinfiltration och genom att de grövsta föroreningarna blir liggande kvar för borttransport genom sopbilar eller på annat sätt. Sjötippning av "gammal" snö bör alltså inte förekomma.

Extremt förorenat smältvatten, till exempel från snösträngar eller snöhögar vid stora trafikplatser, bör behandlas som spillvatten och föras till reningsverk.

Alltså:

1. Snö på andra ytor än gatuytor kan infiltreras eller avledas i dagvattenssystemet.
2. Snö som borttransporteras omgående efter snöfall kan tippas på land eller i vattendrag.
3. För snö som legat länge på gatuytor måste väljas recipient efter recipientens krav. Reningsåtgärder måste övervägas. Sjötippning är i regel det sämsta alternativet.
4. Snö som legat länge vid starkt trafikerade gator bör behandlas som spillvatten.

Saltning och sandning av gator medför extra föroreningar för smältvattnet, vilket kan medföra att den normala dagvattenrecipienten inte tål smältvattenutsläpp. Saltupplag och upplag av saltblandad sand bör övertäckas.

Till sist: De totala föroreningsmängderna från en tätort under vintersäsongen blir i stort sett lika stora antingen det regnar eller snöar och oavsett hur man hanterar snön i samband med snöröjningen. Vad man gör ibland är att man flyttar föroreningarna från ett ställe till ett annat, och därmed skaffar sig en annan recipient. Därför måste den nya recipientens krav vägas mot den normala recipienten krav, och snöhanteringen rättas därefter.

SAMMANFATTNING

Snösmältningen sker under en relativt kort tidsperiod på våren, vilket resulterar i att stora mängder smältvatten tillförs våra reningsverk med åtföljande driftsproblem. Problemen kan främst hänföras till

- kraftig flödesökning med bl a hydraulisk överbelastning som följd
- sänkt vattentemperatur, vilket orsakar processtörningar.

Flödesökningen kan - speciellt om snösmältning och regn förekommer samtidigt - resultera i att obehandlat avloppsvatten bräddas direkt ut i recipienten. Denna bräddning kan ske såväl vid olika punkter på ledningsnätet, som vid reningsverket. Samtliga reningsprocesser påverkas dessutom negativt av en kraftig flödesökning. Sedimenteringsbassängen, vilken är den vanligaste förekommande enhetsprocessen vid våra reningsverk, får en lägre avskiljningsgrad vid ett högre flöde. Detta kan resultera i en högre halt partikulära ämnen i från verket utgående vatten med åtföljande högre halter av t ex organiska ämnen och fosfor. Också de biologiska processerna påverkas negativt eftersom kontakttiden organism/substrat blir kortare vid högre flöden. Reaktionshastigheten kan också bli lägre p g a den utspädning av substratet som sker. I vissa fall får man även räkna med en högre kemikalieförbrukning vid den kemiska fällningen vid ökat flöde.

Den mest påtagliga effekten av en sänkt vattentemperatur är den ökning av viskositeten som sker. Kapaciteten för silnings- och filtreringsprocessen sjunker därmed. Sjunkegenskaperna för flockar vid sedimentering försämras vid lägre temperaturer, vilket resulterar i försämrad avskiljningsgrad. Vid den kemiska fällningen försämras såväl flockuppbyggnaden som sjunkegenskaperna. Reaktionshastigheten i de biologiska processerna sjunker med sjunkande temperatur. Mekanismerna är dock inte helt klarlagda.

Av ovanstående framgår att smältvatten om möjligt inte bör ledas till de kommunala reningsverken. Ett ytterligare skäl för detta är att risken för förgiftning av den biologiska delen av verket p g a höga halter

metaller i smältvattnet inte kan uteslutas. Möjligheten att snabbt vidta åtgärder för att förhindra smältvatten att nå reningsverken är dock små, eftersom stora delar av avloppsledningsnätet består av kombinerade system. En hydraulisk överbelastning kan dock förhindras genom att utnyttja utjämningsmagasin. En separat behandling av smältvatten från områden som är speciellt utsatta för nedsmutsning bör övervägas för att förhindra förgiftning av reningsverkens biologiska del och recipienten. Nya processer måste då utvecklas. Temperatureffekten på reningsprocesserna - och då speciellt de biologiska processerna - bör också utredas bättre. Ett annat skäl för detta är att värmeuttag från avloppsvatten med hjälp av värmepumpar har börjat diskuteras.

NÅGRA MILJÖMÄSSIGA SYNPUNKTER PÅ SNÖHANTERING

SAMMANFATTNING

Snöns smältvatten från grönytor och dyligt dvs relativt rent smältvatten kan avledas naturligt till mark eller recipient utan risk för större skador. Samma sak gäller tippning av snö från sådana ytor. Smältvatten från extremt förorenat smältvatten dvs smältvatten från snö som samlats upp från starkt trafikerade ytor som dessutom saltats, bör betraktas och behandlas som vanligt spillvatten.

1. INLEDNING

Endast litet intresse har ägnats problem kring snösmältning. Vi vet egentligen inte under vilka förhållanden vi måste ta hänsyn till snösmältningen vid dimensionering av dagvattensystem. Nedan lägger jag fram vissa tankar om hur man kan uppskatta maximal snösmältningsavrinning i tätbebyggelse.

2. SNÖMÄNGDER

2.1 Fördelning över landet

Sverige sträcker sig över mer än tio latituder, vilket naturligtvis betyder att snönederbörden är mycket ojämnt fördelad över landet. I södra Sverige kan det finnas vintrar utan någon snö alls medan däremot i norra Sverige marken är snötäckt mer än halva året. Speciellt i södra Sverige är variationerna i snömängd från ett år till ett annat mycket stora. Förutom av variationer i nederbördsmängden beror årsvariationerna av snömängd av några få graders temperaturvariation så att nederbörden kan falla såväl som regn som snö.

Även för orter som ligger nära varandra varierar snömängderna. Så var t ex det maximala snödjupen i Norrköping för hela perioden 1969-77 74 cm mot 60 cm i Linköping och det maximala snödjupet i Piteå 91 cm mot 106 cm i Luleå. Det är för vilket maximala snödjupet var minst i Luleå 1970/71 var snödjupet i Piteå endast 35 cm jämfört med 55 cm i Luleå. Av diskussionen ovan framgår att då man söker extremvärden måste man speciellt för södra Sverige använda sig av långa observationsserier och då helst från den ort på vilken valt värde skall tillämpas.

2.2 Lokala variationer

Inom en ort kan det förekomma lokala variationer av snömängd till följd av inverkan av byggnader och topografi. Nederbörd kan i själva tätorten falla som regn men däremot som snö just utanför tätorten. Snödrift flyttar lokalt om snömassorna. Detta har vi speciellt sett exempel på i Skåne, där det kan finnas barmark växelvis med meterhöga snödrivor. Snömängden på några områden i Luleå ges i Tabell 1.

Tabell 1: Snömängder (cm vattenpelare) i Luleå

	Mars-78	Mars-79
Bensbyn, skog	14	12
Bensbyn, fält	14	15
Porsön, skog	10	11
Porsön, fält	14	14
Högskolan	18	19

I en tätort omfördelar vi snön genom plogning och skottning, varvid vi åstadkommer snöfria ytor och lägger upp höga snövallar. I centrala stadsdelar kör vi dessutom bort stora snömängder. En typisk gatubild av ett villaområde i Luleå visas i Figur 1.



Figur 1. Villakvarter vintertid, Porsön, Luleå

Inom två villakvarter på Porsöberget i Luleå befanns i mars 1979 50 % av ytan vara täckt av ganska orörd snö, 25 % var snöfri (vägar, gångar, branta tak), 10 % var ytor med reducerat snötäcket (flacka tak) och på 15 % av ytan hade stora snövallar lagts upp. Ingen snö hade fraktats bort. Den totala snömängden uttryckt i vattenekvivalenter var $7\,400\text{ m}^3$. Hela områdetets yta var $65\,000\text{ m}^2$.

I mars 1979 undersöktes också snöfördelningen inne i centrala Luleå. Det undersökta området är 800 000 m². Totalt hade under vintern inom området fallit 92 000 m³ vattenequivallenter snö. Av denna snömängd hade 20 000 m³ vattenequivallenter fraktats till snötipp utanför staden. Snömängden i inne i staden upplagda snöhögar och i plogvallar uppskattades till 50 000 m³. Av den totala centrumytan var 83 % snöfri, 11 % bestod av plogvallar och snöhögar medan 6 % av ytan kunde betecknas som orörd. Cirka 15 000 m³ hade smält.

2.3 Borttransport av snö från centrala delar av städer

I stadskärnan håller man som visats för Luleå centrum i stort sett hela centrumytan snöfri. Man lägger upp stora snöhögar i centrum men man kör också bort stora mängder. Hur stora mängder man kör bort beror på hur tät stadskärnan är och i stor utsträckning på hur mycket medel som vid budgetårets början reserverats för snöhantering.

Borttransporterade snömängder från centrumdelarna i några städer redovisas i Tabell 2.

Tabell 2: Borttransporterade snömängder (m³ snö med relativ densitet cirka 0.4) 1977/78

ort	inv.centralort personer	snömängd m ³
Haparanda	6 000	52 000
Luleå	50 000	260 000
Östersund	40 000	360 000

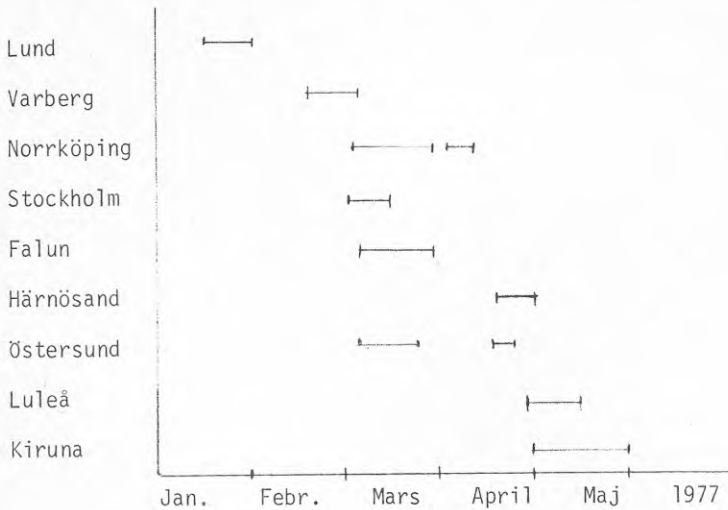
Man kan räkna med att inom ett stadsplanebelagt område transporteras snö bort från cirka 10 % av ytan, men från själva stadskärnan transporteras i en del städer så gott som all snö bort. För att kunna uppskatta smältavrinning och grundvattenbildning är det naturligtvis i första hand nödvändigt att känna till var snön finns när den börjar smälta.

3. SNÖSMÄLTNINGSHASTIGHETER

3.1 Smältperioder

I norra Sverige har man i stort sett en enda koncentrerad smältperiod per år. I landets södra delen inträffar det emellertid ofta att snön

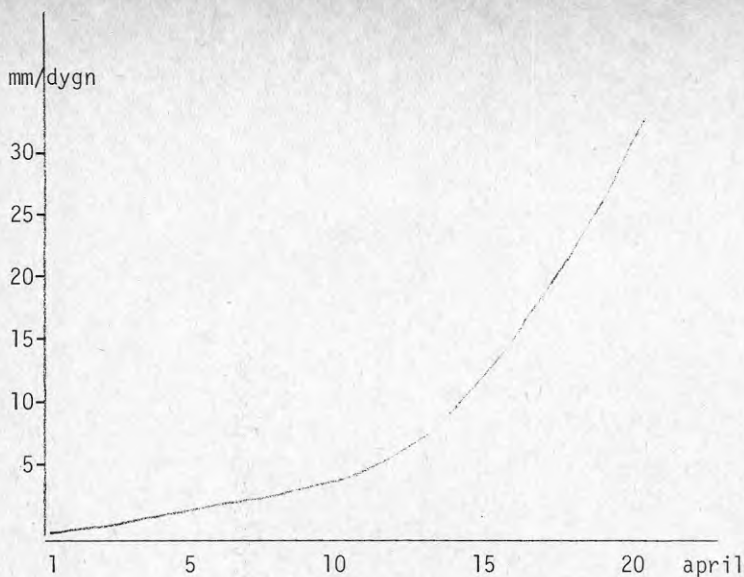
ligger en kortare tid för att sedan smälta bort varefter ny snö kanske faller någon vecka senare. I Figur 2 har markerats smältperioder våren 1977 för några svenska orter. Det är att observera att det i södra Sverige fanns ganska mycket snö detta år.



Figur 2. Snösmältningsperioder 1977 för orter i Sverige

3.2 Snösmältningsförloppet

Smältperiodens längd säger ju ingenting om själva snösmältningsförloppet. För att kunna beräkna smältavrinningen måste man känna snösmältningsintensitetens fördelning under smältperioden. Snösmältningen är i regel långsam i början för att senare, när snön blivit vattenmättad och snöns albedo reducerats, accelerera. Ett typiskt snösmältningsförlopp visas i Figur 3. Figureerna 4 och 5 är bilder från snösmältningens tidiga respektive sena skede i Luleå, april 1979.



Figur 3. Snösmältningsintensitet på öppet fält vid Bensbyn, Luleå 1976.

3.3 Teoretisk beräkning av snösmältningshastighet

Snösmältningshastigheten beror ju på nettovärmetillförseln till snömassan. Det enda helt korrekta sättet att beräkna snösmältningshastighet är med hjälp av en energibudget. Eftersom det är svårt att ens uppskatta de i en energibudget för en snömassa ingående termerna beräknas snösmältningshastighet vanligen med den så kallade graddagarsmetoden, som har utseendet

$$s = k(T - T_e) \quad (1)$$

där s = snösmältningsintensitet, k = graddagarskonstant (t ex cm vattenpelare/dygn, $^{\circ}\text{C}$), T = lufttemperatur och T_e = jämviktstemperatur för vilken snömassan är i termisk jämvikt med omgivningen. Nu är ju varken graddagarskoefficienten eller jämviktstemperaturen konstant utan beror av terräng, vegetations- och klimatologiska förhållanden. För att närmare kunna diskutera värdena på k och T_e måste energibalansen för ett snötäcke uppställas.

$$R + C + G + r = L \cdot E + \Delta M + F \cdot s \quad (2)$$

där R = strålningsbalans, C = lednings- och konvektionsvärme från atmosfären till snötäcket, G = värmefflöde från underliggande mark, r = värmestillskott från regn,



Figur 4. Snösmältningsperiodens början, Museiparken,
Luleå, 1979.



Figur 5. Snösmältningsperiodens sena skede, Porsön,
Luleå, 1979.

E = avdunstningshastighet, L = latent värme för sublimation, ΔM = ändring av värmeinhåll i snötäcket, F = smältvärme, s = snösmältningsintensitet.

Faktorerna G och r är små och kan försummas. Värmeflödet från marken är t ex 4 cal/cm^2 , dygn vilket kan förorsaka en snösmältning på 0.5 mm vattenequivalenter per dygn. Värmetillskottet från 10 mm regn med temperaturen 4°C motsvarar också 4 cal/cm^3 , dygn vilket alltså motsvaras av 0.5 mm smältvatten.

Avdunstningen är försumbar vad det gäller mängden vatten som går bort, men har viss betydelse i själva energibalansen. Förutsättningarna för att avdunstning från snötäcket skall äga rum är ju dels att den finns en ångtrycksgradient så att ångtrycket i luften är högre än ångtrycket vid snöytan och dels att det finns för avdunstningsprocessen nödvändig energi tillgänglig. Under själva vintern kan man anta att snöytan har samma temperatur som luften, men eftersom luften ju inte är vattenmättad finns en sådan ångtrycksgradient att avdunstning kan äga rum. Nu är emellertid dels ångtrycket litet vid låga temperaturer och dels framför allt finns ju ingen energi tillgänglig för avdunstningsprocessen. Under snösmältningen finns energi tillgänglig men som regel är ångtrycksdifferensen mellan snöytan och luften liten eller rentav negativ. Om luften t ex är 5°C och relativa fuktigheten 70% så är luftens ångtryck 6.05 mb men ångtrycket över smältande snö är ju 6.10 mb varför en viss kondensation och inte avdunstning måste äga rum. Våra mätningar visar att avdunstning/kondensation under snösmältningen i varje fall inte överstiger 1 mm/dygn .

"Ledningsvärmets" C beror naturligtvis på temperaturdifferensen mellan snöytan och luften. Dessutom är det ju så att ju mer det blåser desto intensivare blir värmeöverföringen. Det gäller

$$C = \text{funk}(W) (T_a - T_o) \quad (3)$$

där W = vindhastighet, T_a = lufttemperatur och T_o = snöytans temperatur. Många gånger antar man att värmeflödet ökar linjärt med såväl temperaturdifferensen som vindhastigheten. Detta kan emellertid inte vara riktigt vid relativt stora temperaturdifferenser eftersom luftskiktningen då är mycket stabil. I själva verket är funktionen $\text{funk}(W, T_a - T_o)$. Hela vindfunktionens värde är enligt Bengtsson (1975) cirka 5 cal/cm^2 , dygn, $^\circ\text{C}$. Lundberg (1979) får god överensstämmelse mellan verklig och beräknad snösmältning med vindfunktionen $(5+4W)$. Detta samband verkar högt men stämmer principiellt med andra rapporterade försöksresultat. Så rapporterar t ex Gray (1970) vindfunktionen $4W \text{ cal/cm}^2$, dygn, $^\circ\text{C}$ med W i m/sec .

Strålningsbalansen R måste uppdelas i dess komponenter

$$R = R_L - R_{LB} + (1-a) R_S \quad (4)$$

där R_L = inkommande långvågig strålning, R_{LB} = från snön utgående långvågig tillbakastrålning, a = snöns albedo, R_S = inkommande kortvågig solstrålning. Den inkommande långvågiga strålningen beror av molnighet, fuktighet och lufttemperatur. Naturligtvis gäller Stefan-Boltzmanns lag så att den inkommande långvågiga strålningen kan beräknas när himlens emissivitet är känd. Ett trädttäcke kan antas ta upp strålning och sedan själv sända ut strålning som en svart kropp med luftens temperatur. Snön sänder tillbaka strålning som en svart kropp. Eftersom lufttemperaturen relativt sett inte avviker särskilt mycket från snöytans temperatur i absoluta grader så kan strålningsbalansen tecknas

$$R = (1-a) R_S + \sigma \left(4T_0^3 (T_a - T_0) - (1-\epsilon_a) (1-d) T_0^4 \right) \quad (5)$$

där σ = Stefans konstant, T_0 = snöytetemperatur, T_a = lufttemperatur, ϵ_a = himlens emissivitet, d = "trädttäckestäthet".

Under själva snösmältningen är snön 0-gradig och snöns värmeinnehåll ändras inte. Snösmältningsintensiteten blir sedan vi försummat markvärme, regntillskott och avdunstning

$$s = \frac{R + C}{F} \quad (6)$$

Inför vi ekv (3) och (5) i ekv (6) får vi ett uttryck av samma typ som graddagarsekvationen (1)

$$s = k (T - T_e) \quad (7)$$

med

k = funktion (vindhastighet, lufttemperatur)

T_e = funktion (albedo, solintensitet, trädttäthet, molnighet, fuktighet, lufttemperatur och vindhastighet)

eller med $T_0 = 273^0$, $T_a^1 = T_a - 273^0$ och f_k = en funktion

$$k = \frac{4\sigma T_0^3}{F} + \frac{f(W_1, T_a - T_0)}{F} = 0.12 + f_k(W_1, T_a) \text{ cm/}^\circ\text{C, dygn} \quad (8)$$

$$T_e = \frac{1}{kF} (\sigma(1-\epsilon_a) (1-d) T_0^4 - (1-a) R_S) \quad (9)$$

Om vindhastigheten är liten är enligt Bengtsson (1975) $f(W_1, T_a - T_0) =$ cirka $5 \text{ cal/cm}^2, ^\circ\text{C, dygn}$. För detta värde blir $f_k = 0.06$ och graddagarskonstanten kan alltså inte bli mindre än $0.18 \text{ cm/}^\circ\text{C, dygn}$. För en tät skog blir jämviktstemperaturen 0°C . Också för öppna områden kan man för mulna dagar beräkna jämviktstemperaturen till cirka 0°C . För molnfri himmel och intensiv solstrålning blir jämviktstemperaturen flera minusgrader. Det betyder inte att snön börjar smälta vid denna låga temperatur utan jämviktstemperaturen måste ses som en fiktiv temperatur.

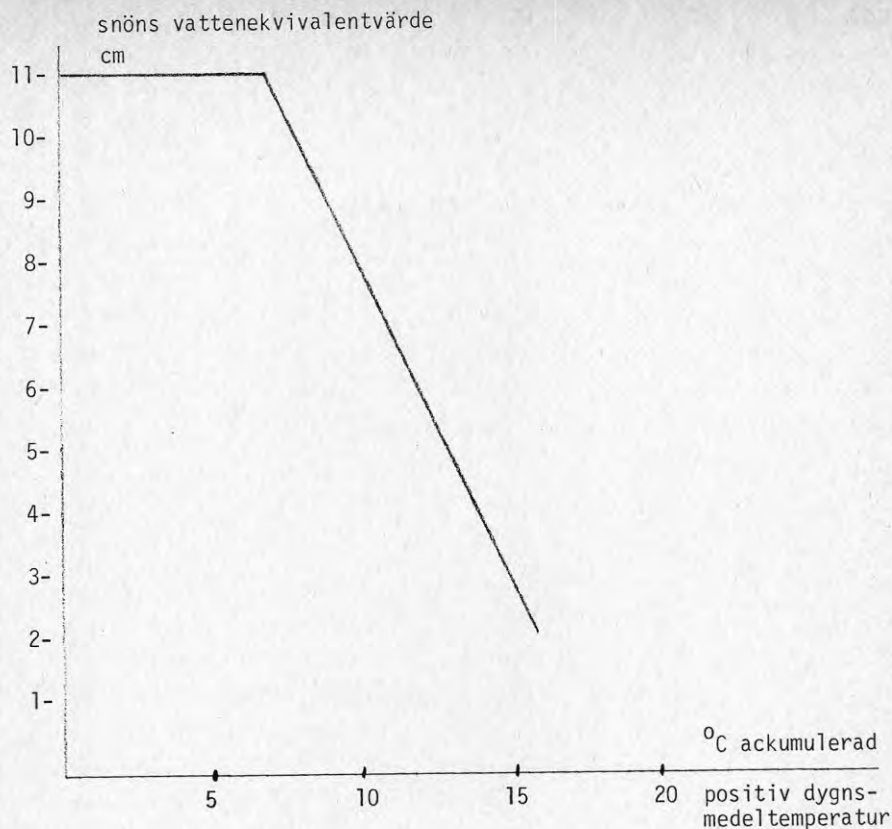
Det måste understrykas att graddagarsekvationen med koefficienter enligt ekv (8) och (9) gäller för momentana värden. Vid medelvärdesbildning över dygnet kan inte varje term medelvärdesbildas för sig. Naturligtvis kan ekvationen enbart tillämpas för den del av dygnet då snösmältning äger rum. För det enkla fallet med 0°C jämviktstemperatur blir ju snösmältningsintensiteten över ett dygn

$$s = k \bar{T}_t t \quad (10)$$

där \bar{T}_t är medeltemperaturen under den del av dygnet t då lufttemperaturen är positiv.

3.4 Graddagarskonstanter

Eftersom det är svårt att beräkna jämviktstemperaturer brukar man bestämma k -värden med antagandet att jämviktstemperaturen är 0°C . Ett typiskt samband mellan ackumulerade positiva graddagar och snömassans vatten-ekvivalenttal visas i Figur 6. Under smältperiodens första fas är snöns albedo högt och den övervägande delen av solstrålningen reflekteras. Snöytan har dessutom sådan karaktär att det sensibla värmeflödet till snön är ganska litet. Det första smältvattnet åtgår till att göra snön vattenmättad, varför den första snösmältningens mängden inte direkt kan mätas vid upprepade snötaxeringar



Figur 6. Reduktion av snömassans vattenekvivalentvärde på öppet fält i Stockholm år 1979 som funktion av antalet positiva graddagar. (personlig kommunikation Johan Larsson, Vattenbyggnad, KTH)

Medelvärdet av k-värdet i Stockholm år 1979 över hela perioden med positiv dygnsmedeltemperatur blir $0.56 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$, dygn. Snösmältningen studerades våren 1979 i Luleå, Stockholm, Göteborg och Lund. Snötaxeringar utfördes i olika typområden. K-värdena redovisas i tabell 3.

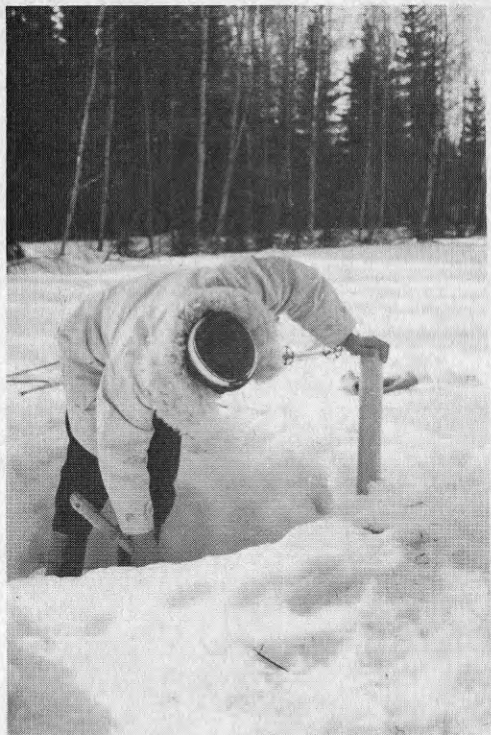
Tabell 3: Beräknade graddagarskonstanter med jämviktstemperatur 0°C , våren 1979

	$k(\text{cm}/^{\circ}\text{C}, \text{dygn})$	smältperiod
Luleå { fält skog	0.5 0.2	} 22-30/4
Stockholm { fält gård	0.5 0.4	
Göteborg { fält skog	0.2 0.16	} 26/2-9/3
Lund fält	0.5	

Observationer i Luleå under snösmältningen 1975-1979 visar att graddagarskonstanten för skog varje år är cirka $0.2 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$, dygn, vilket ju väl stämmer överens med den teoretiska analysen. För öppna områden varierar emellertid graddagarskonstanten såväl från år till år som från område till område. Även detta stämmer överens med den teoretiska analysen. Man måste för ett öppet område räkna med en jämviktstemperatur skiljd från 0°C . För öppna områden i Luleå beräknades graddagarskonstanten till år 1975 0.4; år 1976 0.3; år 1977 0.6; år 1978 0.8. Ju senare på året snösmältningen äger rum desto större blir graddagarskonstanten. Detta är egentligen ganska självklart eftersom solintensiteten då är högre. Antar man att graddagarskonstanten är 0.2 finner man att jämviktstemperaturen för de olika åren i genomsnitt blir år 1975 (-2.5), 1976 (-1.5), 1977 (-3.5) och 1978 (-4°C).

De i Tabell 3 angivna graddagarskonstanterna för t ex Stockholm motsvaras av $k = 0.2 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$, dygn och jämviktstemperaturerna -2.0°C för fältet och -1.0°C för gården.

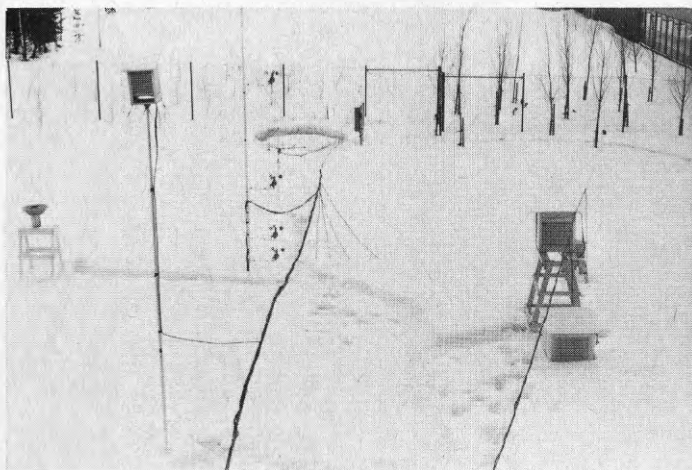
Används graddagarsekvationen på sin enklaste form med 0°C som jämviktstemperatur är graddagarskonstanten större för öppna solbelysta områden än för skog. Ju senare på året snösmältningen äger rum desto mer solenergi tas upp av snötäcket och desto högre blir alltså graddagarskonstanten. Följaktligen bör graddagarskonstanten vara högre i norra än i södra Sverige eftersom snösmältningen sker långt senare i norra än i södra Sverige. Snödjupet mäts dagligen på en mängd orter i Sverige och det borde därför vara lätt att beräkna k -värdet. Nu känner man emellertid inte snöns densitet och följaktligen inte snöns vattenekvivalentvärde. Värden från såväl Göteborg, Stockholm som Luleå visar dock att snöns relativa densitet vid smältperiodens början är 0.3 eller något mindre. Om man överslagsmässigt räknar med denna densitet kan man grovt uppskatta k -värden för olika delar av landet, vilket gjorts i Tabell 4. Man ser ur tabellen att k -värden är högre ju senare snösmältningen äger rum, utom för Skånevärdena. Dessa värdes avvikelser från de övriga värdena kan bero på att mätningarna störts av snödrift.



Figur 7. Snötaxering.



Figur 8. Typiska vägförhållanden under snösmältning.



Figur 9. Provytor vid Tekniska Högskolan i Luleå för studium av dagvattenflöden.

Tabell 4: Graddagarskonstant 1977 för orter i Sverige. Jämviktstemperaturen är satt till 0°C

<u>Ort</u>	<u>Smältperiod</u>	<u>k(cm/°C, dygn)</u>
Kiruna	maj	0.6
Luleå	maj	0.5
Härnösand	april/maj	0.4
Västerås	mars	0.3
Jönköping	mars	0.3
Västervik	mars	0.3
Kristianstad	februari	0.4
Lund	januari	0.8

Ett exempel på snösmältning fördelad över dygnet kan ges från ett fältförsök utfört i Luleå 23-24/4 1979. Dygnsmedeltemperaturen från kl 8.00 till kl 8.00 var +0.3°C. Maximitemperaturen var +5.3°C och medeltemperaturen för de 10 timmar av dygnet för vilka lufttemperaturen var positiv var +3.5°C. Maximala snösmältningsintensiteten var cirka 2.5 mm/tim och totala snösmältningen under dygnet var 14 mm. Med 0°C som jämviktstemperatur erhöles ett momentant k-värde 1.1 cm/°C, dag och som medelvärde för den del av dygnet under vilken lufttemperaturen var positiv 0.7 cm/°C, dag.

3.5 Maximal smältintensitet

Rent teoretiskt kan man beräkna maximalt möjlig graddagarskonstant och minimijämviktstemperaturen. Himlens emissivitet kan inte bli högre än 1.0, snöns albedo inte lägre än 0.4, solintensiteten vid avsmältning i mars inte över 400 cal/cm², dygn och vid avsmältning i maj inte över 700 cal/cm², dygn. Om graddagarskonstanten, som visats i den teoretiska analysen, är oberoende av solintensiteten, så kan man som graddagarskonstant använda sig av det vid mätningar i skog största erhållna k-värdet som är 0.3 cm/°C, dygn. Jämviktstemperaturerna för mars respektive maj blir då

$$T_e (\text{mars}) = -10^{\circ}\text{C}$$

$$T_e (\text{maj}) = -17.5^{\circ}\text{C}$$

vilket naturligtvis är helt fiktiva temperaturer. Antar man sedan att lufttemperaturen är 10°C så blir smältintensiteterna för mars respektive maj månad 6 respektive 8 cm/dygn. Antar man vidare att snösmältningen sker under 12 timmar så blir den absoluta maximala snösmältningsintensiteten 0.7 cm/timme.

Ur de under våren 1979 utförda snötaxeringarna kan man beräkna maximalt k-värde under en dag om man antar att jämviktstemperaturen är 0°C . För Göteborg erhålles då 0.4 cm/ $^{\circ}\text{C}$, dygn men för Stockholm hela 1.7 cm/ $^{\circ}\text{C}$, dygn. Det största värde som observerats i Luleå under perioden 1975-79 är 1.8 cm/ $^{\circ}\text{C}$, dygn. Maximal observerad snösmältningsintensitet vid snötaxeringarna i Stockholm var 2.3 cm/dygn och i Göteborg 1.0 cm/dygn. I Luleå observerades under smältperiodens sista fas år 1976 snösmältningsintensiteten 3.0 cm/dygn. Normalt observeras i Luleå på öppna gräsytor snösmältningsintensitetsmaxima som något understiger värdet ovan. Under soliga eftermiddagstimmar är smältintensiteten ungefär dubbelt så stor eller 0.3 cm/timme.

Price et.al (1976) har uppmätt 5.9 cm daglig avsmältning i maj månad nära Schefferville, Quebec. De uppmätte under en enskild timme maximalt 4.6 mm avrinning.

3.6 Återkomsttider

När man dimensionerar ledningar som skall ta hand om regnavrinningsvatten dimensionerar man för extremsituationer. I regel väljer man det regnintensitetsvärde som motsvaras av 2-års regnet och som alltså överskrids i genomsnitt en gång vart annat år. För områden i vilka översvämningar orsakar nämnvärda skador väljer man högre regnintensitetsvärde, kanske 10 års regnet. Officiella regnintensitetskurvor för olika återkomsttider finns framtagna. Motsvarande underlag finns inte att tillgå vid beräkning av snösmältningsavrinning. Vid LuH har man dock påbörjat arbetet att ta fram snösmältningsintensitetskurvor. Utifrån nederbördsdata bestämmer man hur mycket snö som finns på marken och utifrån dygnens medeltemperaturer bestäms en graddagarskonstant. Därefter analyseras snösmältningsförloppet dag för dag och maximala snösmältningen för en 12-timmars period beräknas. Med hjälp av extremvärdesanalys kan sedan olika återkomsttider beräknas.

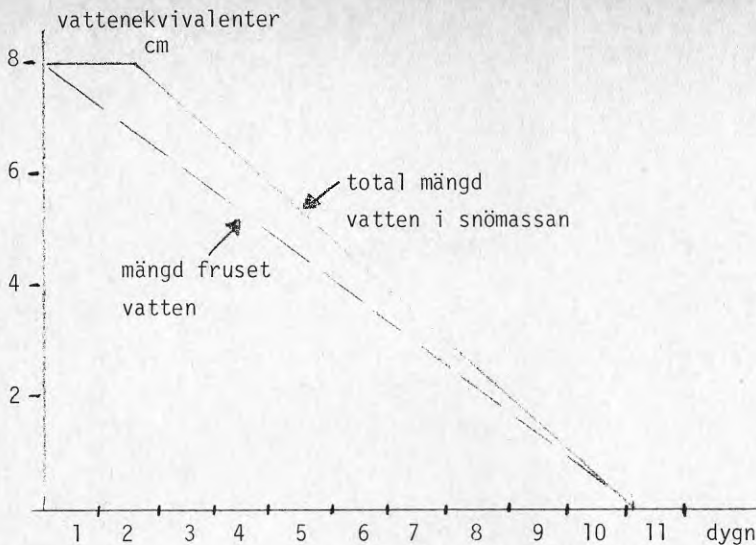
3.7 Jämförelse mellan snösmältningsintensitet och regnintensitet

Det har framgått av den tidigare förda diskussionen att snösmältningsintensiteten inte under några förhållanden kan överstiga 7 mm/tim och torde knappast överstiga 3.5 mm/tim. Detta högsta värde är inte ens hälften av det regnintensitetsvärde som är dimensionerande vid 1 timmes varaktighet. För mycket stora områden och för områden med infiltrationsanläggningar blir emellertid intensiteten över ett eller flera dygn dimensionerande. Tvåårsregnets dygnsvärde är cirka 30 mm vilket motsvarar en hög men trots allt vanlig snösmältningsintensitet. För längre perioder än 1 dygn kan man räkna med att snösmältningsintensiteten är högre än regnintensiteten. Även för varaktigheter ner mot 1 timme har snösmältningsintensiteten emellertid betydelse, ty vid samtidig regnnederbörd och snösmältning ökar ju de effektiva regnintensiteterna med ett tiotal %.

4. SMALTVATTENFÖRDELNING

4.1 Snöns vattenhållande förmåga

Vi ser i Figur 6 att trots att luften är varmare än snön så dröjer det ganska länge innan snöns uppmätta vattenekvivalentvärde sjunker. Detta beror ju dels på att snöns struktur är sådan att i smältperiodens inledningsfas blir smältningen långsam, men det beror också på att snön har förmåga att hålla en viss mängd vatten. Snöns vattenhållande förmåga är enligt Snow Hydrology (1956) cirka 8 viktsprocent. Det betyder att från ett snötäcke motsvarande 10 cm vattenekvivalenter kan smälta 0.8 cm innan man observerar någon reduktion av snöns vattenekvivalenttal. Dessa 0.8 cm fritt vatten fryser åter till is om den efterföljande natten är kall. På så vis kan varma dagar följas av kalla nätter under en ganska lång tid utan att snömassan reduceras. Att smältvattnet inte lämnar snömassan i början av smältperioden betyder att mer vatten är vad som motsvaras av smältningen lämnar snömassan i periodens slutfas. Antar vi att ett 8 cm vattenekvivalenters snötäcke avsmälter 0.8 cm/dygn, märks inte avsmältningen första dagen men väl de efterföljande dagarna eftersom snön då blivit vattenmättad. "Snösmältning" och "avrinning" är ritad dag för dag i Figur 10. Avrinningsintensiteten är alltså större än smältintensiteten.



Figur 10. Mängd fruset vatten i snömassan och total mängd vatten i snömassan vid konstant smälthastighet 0.8 cm/dygn från ett ursprungligen 8 cm vattenekvivalenter tjockt snötäcke.

4.2 Avdunstning från snö

Smältvatten kan naturligtvis rinna av som ytvatten, infiltrera eller avdunsta. Det har i tidigare kapitel visats att avdunstningen under snösmältningen är mycket liten. Eftersom ångbildningsvärmets är stort försvinner ju ändå en del värme till atmosfären. Däremot är mängden vatten som försvinner mycket liten.

4.3 Infiltration i tjälad mark

Om nu inte det sker någon avdunstning från snö vart tar då det smältvatten vägen, som inte snabbt rinner mot brunnar och bäckar? Eftersom marken i regel är tjälad tror man att allt smältvattnet måste rinna av på markytan. I själva verket infiltrerar emellertid stora mängder smältvatten genom tjälen. Infiltrationsförmågan är visserligen betydligt mindre än då marken inte är tjälad men eftersom snösmältningsintensiteten i regel är ganska låg, så kan ändå stora mängder smältvatten infiltrera. Liksom för otjälad mark så avtar infiltrationsförmågan då markvattenmagasinet ökar.

En fältstudie utförd vid Bensbyn, Luleå våren 1977, Snöhydrologiska gruppen (1978), visade att markvattenmagasinet och grundvattenmagasinet ökade under hela april månad med 55 mm respektive 15 mm, vilket motsvarade hela avsmältningen under perioden. Trots att marken var tjälad skedde alltså en påfyllning av både mark- och grundvattenmagasin. Först när markvattenmagasinet fyllts började ytavrinningen. En viss mängd av smältvattnet fortsatte att perkolera ner till grundvattnet men det mesta smältvattnet rann av på ytan efter det att markvattenmagasinet fyllts.

Man kan fastslå att i smältperiodens början infiltrerar i stort sett allt smältvattnet men i slutet av smältperioden då smältintensiteten är som intensivast rinner allt smältvattnet av som ytvatten. De maximala avrinningsvärdena påverkas alltså inte av infiltrationen. Liknande erfarenheter har rapporterats av kanadensiska och amerikanska forskare, se t ex Kane och Slaughter (1973).

Att mycket stora smältvattenmängder infiltrerar ner i marken understryks av erfarenheter från t ex Haparanda. Trots att man har separata system för dagvatten och spillvatten så ökar tillflödet mot reningsverk med 250-300 % i maj månad just efter snösmältningen, vilket tyder på att mycket vatten cirka $5\ 000\ \text{m}^3/\text{dygn}$ dräneras bort in i spillvattenledningarna. Eftersom Haparandas centralort har en yta på $3\ 000\ 000\ \text{m}^2$ motsvarar dräneringsmängden $1.7\ \text{mm}/\text{dygn}$. Det totala tillskottet av dräneringsvatten kan bli stort i såväl spillvatten- som dagvattenhuvudledningar. För Haparandas del ökar alltså flödet i spillvattenhuvudledningen från drygt 20 till närmare 60 l/sec.

5. SKILLNADER TÄTORT - GLESBYGD

5.1 Snöfördelning

I kapitel 2 diskuterades snöfördelning över hela Sverige men också lokala variationer och omfördelning av snö genom ingripande från människor. Det framgick naturligtvis då att i en tätort körs en del snö bort men framför allt omfördelar man snön inom tätorten, så att det finns växelvis barmark, höga snödrivor och orörd snö.

5.2 Snösmältningshastighet

Snön inne i en tätort smälter fortare än snön utanför tätorten. Detta beror på att det är varmare inne i ett samhälle än utanför och på att snön åldras snabbare inne i samhället och då lättare tar upp solenergi

och mottar mer sensibelt värme än utanför samhället. Albedot för ett dygn gammal nyfallen snö är cirka 0.75 men har snön fallit invid en väg så är albedot endast cirka 0.55, d v s snön invid vägen tar upp nära dubbelt så mycket solenergi som snön långt ifrån vägen. För smutsig snö inne i ett samhälle är albedot cirka 0.25. En sänkning av snöns albedo från 0.5 till 0.25 motsvarar vid solintensiteten 400 cal/cm^2 , dygn en ökad avsmältning med 1.25 cm/dygn.

Snöns karakteristiska råhet ökar när snön åldras och snön har p g a snabbare åldrande inne i ett samhälle än utanför större råhet i samhället och tar därför upp sensibilt värme snabbare inni i en stad än ute på landet.

Inne i en stad tar byggnader upp strålning och sänder i sin tur ut långvågig strålning. Byggnaderna har högre emissivitet och högre temperatur än himlen och sänder alltså ut mer långvågig strålning än vad himlen gör, vilket får till följd att snön upptar mer långvågig strålning inne i staden än ute på landet. Om hälften av den långvågiga strålning som träffar snön kommer från kroppar med 0.1 högre emissivitet än himlen så medför detta en ökad avsmältning på 0.4 cm/dygn.

En jämförelse av temperaturerna i Luleåområdet under de senaste april-månaderna visar att lufttemperaturen inne i tätorten är cirka 2°C högre än ute på landet. Någon jämförelse med själva centrum har inte gjorts. Eftersom graddagarskonstanten för öppna fält är cirka $0.6 \text{ cm}^{\circ}\text{C}$, dygn, om jämviktstemperaturen försummas d v s sätts till 0°C , så kan man räkna med att enbart på grund av temperaturhöjningen ökar avsmältningen i tätorten med 1.2 cm/dygn.

Sammanfattningsvis kan alltså den ökade avsmältningen i tätort jämfört med omgivande landsbygd uppskattas till upp mot 3 cm/dygn. Det betyder att snösmältningsintensiteten på 4-6 cm/dygn bör vara ganska vanligt förekommande. Som den teoretiskt maximala snösmältningsintensiteten kan fortfarande värdet 7 mm/tim framtaget i kapitel 3.5 gälla.

5.3 Infiltration

Inne i tätorten är ytorna till ganska stor del hårdgjorda, varför redan en stor mängd av det första smältvattnet rinner av utan att infiltrera.



Figur 11. Översvämmat område vid Sörbyn, Bodens Kommun.



Figur 12. Helt dämnd utloppsledning under snösmältning.

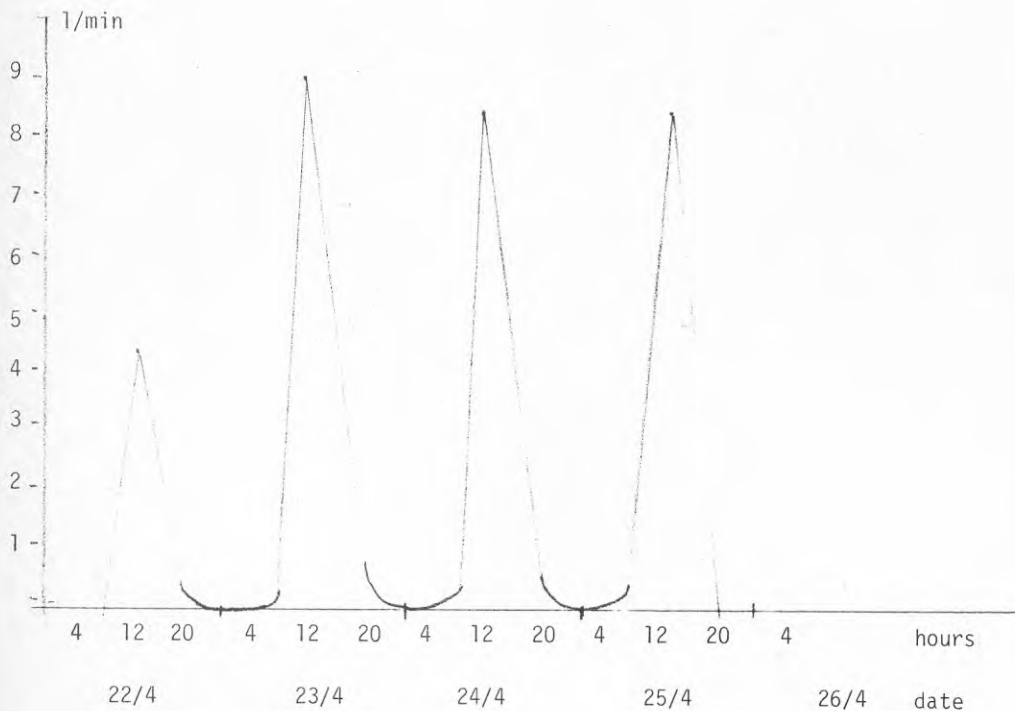
6. AVRINNING FRÅN SNÖ

6.1 Vattendrag

För avrinningsområden mindre än 5 km^2 räknar man med att den dimensionerande flodavrinningen uppgår till 1.5 l/sec,ha för åker och 1.0 för skog. Detta stämmer väl överens med de högsta vattenföringar som uppmätts i den bäck som avvattnar Bensbyområdet utanför Luleå. Vattenföringen brukar under 1-2 veckor under och strax efter snösmältningsperiodens slutskede uppgå till värden motsvarande en avrinning på mellan $1-1.5 \text{ l/sec,ha}$. Det är då vanligt att som visas på Figur 11 stora områden översvämmas och att som på Figur 12 dagvattenledningar mynnar under vattenytan.

6.2 Avrinning från asfaltyta

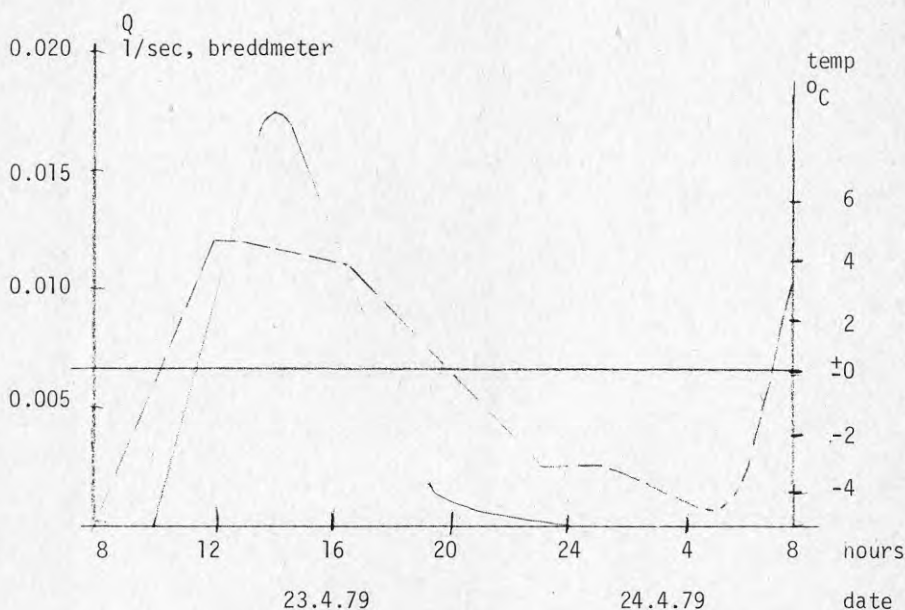
Utanför vattenlaboratoriet vid LuH finns instrumenterade provytor. Avrinningen från en sådan asfalterad yta har mätts under snösmältningen 1979. Avrinningen från den 8 m breda och 25 m långa ytan uppvisar som man kan förvänta sig en dygsperiodicitet på så sätt som visas i Figur 13.



Figur 13. Avrinningen från $8 \times 25 \text{ m}$ asfalterad yta under snösmältning i Luleå i april 1979

Analyserar vi avrinningshydrografen närmare finner vi att avrinning äger rum mellan kl 10-20. Den från ytan maximalt uppmätta avrinningen 9 l/min (ej visad i figur 13) under smältperioden 1979 motsvarar 7.5 l/sec, ha eller 2.7 mm/tim.

Det är intressant att närmare analysera snösmältningen och avrinningsförloppet för en enda dag. Avrinningen från den ovan nämnda asfalterade ytan och lufttemperaturen är för dygnet 23-24/4-79 ritade i Figur 14. Lufttemperaturen är positiv mellan kl 10-20. Avrinningen börjar just klockan 10 och ökar sedan linjärt fram till kl 13-14 varefter den avtar linjärt fram till dess lufttemperaturen blir negativ. Efter det att lufttemperaturen blivit negativ fortsätter avrinningen cirka 4 timmar.



Figur 14. Avrinning (heldragen linje) och lufttemperatur (streckad linje) från respektive vid 25 m lång asfaltyta i Luleå

6.3 Regn i samband med snösmältning

Vi har vid den hittills förda diskussionen funnit att snösmältningsintensiteten för perioder mindre än 1 dygn är mindre än regnintensiteten. Men det kan regna under själva snösmältningen. Är detta en dimensionerande situation? För att klargöra detta måste man gå igenom ett stort datamaterial och se om det under snösmältningsperioder kan

regna med hög intensitet. Detta är inte särskilt troligt eftersom marken är kall. Vidare är inte snösmältningsintensiteten maximal då det regnar. För tvåårsregnet är med 1 timmes varaktighet dimensionerande regnintensiteten för Stockholm 42 l/sec,ha. Antar vi, vilket inte är troligt, att detta regn faller under en period med intensiv snösmältning 8 l/sec,ha så blir totala avrinningen 50 l/sec,ha, vilket motsvarar 3-års-regnet.

6.4 Strömning i snötäcket

Avrinningen från en hård jämn yta med konstant lutning kan ofta beskrivas med kinematisk vågteori. Teorin är inte direkt tillämplig för att beskriva avrinningsförloppet vid snösmältning. Först skall snötäcket bli vattentätnat. Därefter skall allt smältvatten rinna vertikalt från snöyta till markyta, varefter den egentliga avrinningen äger rum. Strömningssmotståndet är mycket större då smältvatten rinner genom hålrum i snö än då regnvatten rinner av på en förhållandevis jämn yta. Eftersom smältvattnet rinner i ett fast material (på samma sätt som grundvatten rinner fram i marken) blir ju vattennivån högre än om det fasta materialet, snön, inte vore där.

När den kinematiska vågteorin, se t ex Eagleson (1970), är tillämplig gäller att då regnets varaktighet är längre än koncentrationstiden

$$t_c = \left(\frac{L}{p^{2/3}} \frac{n}{I^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (11)$$

där L = avrinningsytans längd, n = Manningtal, p = regnintensitet, I = ytans lutning, så motsvarar specifika avrinningen hela regnintensiteten. För en 25 m lång yta med 2 % lutning och Manningtalet 0.03 så blir för ett regn med intensiteten 5 mm/tim koncentrationstiden 10 minuter. Efter 10 minuter är flödet alltså maximalt och motsvarar då 5 mm/tim.

Om man betraktar avrinningen i snö som grundvattenavrinning kan man kombinera Darcys lag och kontinuitetsekvationen och i princip beskriva avrinningen med en kinematisk teori. Den teoretiska härledningen beskrivs av Bengtsson och Westerström (1979). Bortser vi först från smältvattnets vertikala rörelse så blir koncentrationstiden

$$t_{c,s} = L \frac{S}{k I} \quad (12)$$

där S = "magasinskoefficienten" för snö, k = "permeabiliteten" för snö,

Snöns relativa densitet är vid snösmältning cirka 0.35, varför porositeten kan sägas vara 0.65. Men snöns vattenhållande förmåga är några volymprocent, varför magasinskoefficienten kan antas vara 0.6. Förutsätter vi att strömningen i snön är laminär, vilket knappast är troligt mer än under snösmältningens första fas eftersom smältvattnet gräver ut kanaler, så kan permeabiliteten som beror på snökornsstorleken uppskattas till 0.001-0.05 m/sec. Det högsta permeabilitetvärdet ger för $L = 25$ m och $I = 0.02$ 4 timmars koncentrationstid.

Till koncentrationstiden skall läggas den tid under vilken smältvattnets rörelse är vertikal $d v s$ den tid det tar för smältvattnet att från snöytan sippra ner till grundvattnet. Denna tid är ju helt enkelt

$$t_v = \frac{h_s}{k_v^1} \quad (13)$$

där h_s är snötäcket djup och k_v^1 är vertikala permeabiliteten, som enligt Colbeck (1976) är flera 10-potenser lägre än permeabiliteten i den vattenmättade zonen. Om snödjupet är 0.6 m och permeabiliteten är $0.05 \cdot 10^{-4}$ m/sec så blir den vertikala transporttiden 33 timmar vilket kanske är orimligt mycket. Det framgår i varje fall att den vertikala transporttiden är minst lika lång som den horisontella transporten. Den totala koncentrationstiden är summan av t_v och $t_{c,s}$.

Om snösmältningsintensiteten är konstant så ökar vattendjupet på marken och därmed flödet linjärt med tiden, t , fram till dess koncentrationstiden uppnåtts varefter flödet är konstant.

$$q = \frac{kI}{S} \quad \text{st} \quad t \leq t_{c,s} \quad (13a)$$

$$q = sL \quad t \geq t_{c,s} \quad (13b)$$

Om snösmältningsintensiteten motsvaras av den maximala avrinningen från den i Figur 13 och Figur 14 relaterade asfaltytan så är om den ovan skisserade teorin är användbar permeabiliteten $5 \cdot 10^{-2}$ m/sec vilket ger koncentrationstiden 4 timmar.

Efterhand gräver smältvattnet ut kanaler i snön längs marken. Om dessa små kanaler är breda relativt sin höjd och om allt smältvattnet rinner fram i dessa kanaler så kan man uppskatta koncentrationstiden enligt

ekv (11) men med ett större Mannings n . Bengtsson och Westerström (1979) uppskattar att n ökar med minst en faktor 20. Koncentrationstiden för den aktuella ytan blir då minst 1 timme men till detta skall naturligtvis läggas den vertikala transporttiden.

Den ovan förda diskussionen visar att vid beräkning av avrinning till följd av snösmältning eller regnnederbörd på ett snötäcke måste hänsyn tas till nederbörd och snösmältning flera timmar bakåt i tiden även om avrinningsytorna är små.

7. DIMENSIONERING

För ett tradionellt dagvattensystem är häftiga sommarregn dimensionerande. För att ta hand om snösmältvatten är dagvattenledningarna normalt överdimensionerade. Översvämningar som ändå inträffar måste bero på att ledningarnas kapacitet blivit nedsatt p g a isbildning.

För system som avvattnar stora områden med icke hårdgjorda ytor blir snösmältningen dimensionerande. För ett område med 10 % hårdgjord yta och dimensionerande 1-timmas regnet 15 mm/tim blir specifika avrinningen 1.5 mm/tim. Snösmältningen ger bidrag till avrinningen från hela ytan eftersom någon infiltration genom tjälad mark inte äger rum efter det marken blivit vattenmättad. En rimlig dimensionerande snösmältningsintensitet är 30 mm/12 timmar, vilket ger specifika avrinningen 2.5 mm/tim.

Fördröjningsmagasin som är tillräckligt stora för att "ta hand om" ett helt dygns nederbörd/avsmältning eller mera måste dimensioneras för snösmältningsavrinning. Eftersom snösmältningen i huvudsak äger rum under dagtid halveras flödet i ledningarna relativt snösmältningsintensiteten.

För ett dagvattensystem i vilket man i stor utsträckning utnyttjar perkolationsmagasin blir snösmältningen dimensionerande. Marken blir snart vattenmättad. Ytavrinning eller avrinning strax under markytan äger sedan rum också från icke hårdgjorda ytor. Stora ytarealer bidrar till avrinningen. Men framför allt naturligtvis äger snösmältningen rum över en så lång period att vatten rinner ner i perkolationsmagasinet under så lång tid att tidigare nedrunnit vatten inte hinner dränera bort. Markens infiltrationsförmåga är dessutom nedsatt när marken är tjälad.

Enligt Paus, Andersson, Carlstedt (1974) är det rimligt att räkna med att ett fyllt perkolationsmagasin skall tömmas på 4 dygn. Låt oss betrakta en yta på $1\,000\text{ m}^2$ av vilken 25 % är hårdgjord yta. Tvåårsregnet med ett dygns varaktighet antas vara 30 mm. Snösmältningsintensiteten antas vara 30 mm/dygn under 7 dygn. Avrinningen per dygn från den hårdgjorda delen är 7.5 m^3 och från den icke hårdgjorda delen inget alls vid regnnederbörd men 22.5 m^3 vid snösmältningen. Magasinstömning sker genom perkolation ner i ett material med permeabiliteten $1 \cdot 10^{-5}\text{ m/sec}$, vilket alltså kommer att motsvara perkolationshastigheten. För att på 4 dygn släppa igenom allt regnvatten erfordras en area på 2.2 m^2 . Snösmältningen kan emellertid pågå så länge att man får räkna med att allt smältvatten måste infiltrera samma dag det smälter. Erforderlig magasinsyta blir då

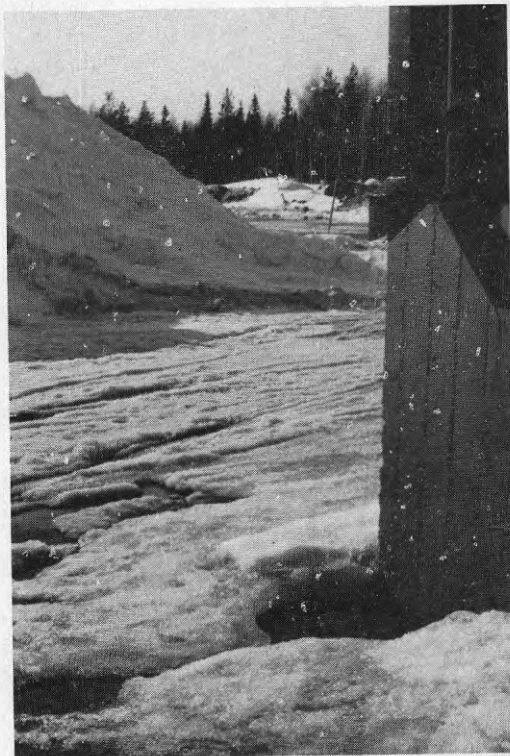
$$\frac{30}{24 \cdot 3600 \cdot 10^{-5}} = 35\text{ m}^2$$

"Regnmagasinet" vattenvolym motsvarar hela nederbördsavrinningen reducerad med den under första dygnet perkolerade regnmängden $d \cdot v$ s totalt 5.6 m^3 . Eftersom snösmältningen egentligen äger rum endast dagtid blir ju erforderlig "snösmältningsmagasinsvolym" = smältvatten under dagtid - perkolationsvatten under dagtid $d \cdot v$ s $30\text{ m}^3 - 15\text{ m}^3$.

Figur 15 visar smältavrinningen från ett plant förrådstack. Detta smältvatten skulle kunna tas om hand i ett litet perkolationsmagasin.

För mycket stora infiltrationsbäddar måste hänsyn tas till det smältvatten som under den tidiga snösmältningen infiltrerar.

Figur 15. Avrinning från förrådstack under snösmältning.



8. FORSKNINGSBEHOV

Vid dimensionering för regnnerbörd har man tillgång till regnintensitetskurvor för olika återkomsttider. Motsvarande snösmältningskurvor för olika delar av landet behöver tas fram. Skillnaderna mellan tätort och landsbygd måste klargöras liksom hur olika åtgärder som t ex saltning påverkar snösmältningshastigheten. Stora infiltrationsbäddar och perkolationsmagasin måste dimensioneras för snösmältning. Hur sådana alternativa dagvattensystem skall se ut måste undersökas och dimensioneringsnormer måste tas fram. Infiltrationshastigheter för tjälad mark med olika vattenmättnad måste bestämmas. "Flyttider" eller hellre det hydrauliska förloppet vid avrinning från stora snöytor kan behöva undersökas för att klargöra avrinningen från områden med stor del icke hårdgjorda ytor.

9. REFERENSER

- Bengtsson, L (1975) Vertikalprocesser vid en snöyta - Vattenteknik, LuH, Ser A nr 1, TULEA 1975:06
- Bengtsson, L (1976) Snowmelt estimated from energy budget studies - Nordic Hydrology 7, p3-18
- Bengtsson, L och G Westerström (1979) Runoff-processes in a snow-pack - paper presented at 3:rd Int. Work Shop on Northern Research Basins, Quebec, Canada
- Colbeck, S C (1976) An analysis of water flow in dry snow - Water Resources Research 12 (3) p 523-527
- Eagleson, P E (1970) Dynamic Hydrology - McGraw-Hill
- Gray, D M (1973) (editor) Handbook on the principles of hydrology - Water Information Center
- Kane, L K och Ch., W Slaughter (1973) Recharge of a central Alaska lake by subpermafrost - 2:nd Int Conf on Permafrost, Nat Acad. Science
- Lundberg, A (1979) Snösmältning i en punkt, rapport från mätningar i Bensbyn - Vattenteknik, LuH, Ser A nr 21 TULEA 1979:05

Snow Hydrology (1956) North Pacific Div., U S Corps of Eng., Portland
Oregon

Snöhydrologiska gruppen i Luleå (1978) Studie av infiltration i samband
med snösmältning - Med., 1978:01, Avd Vattenteknik, LuH

Paus, K, R Andersson och B Carlstedt (1974) Regnvattenavledning genom
magasinering och perkolation - BFR rapport R 23:1974

Price A J, T Dunne och S C Colbeck (1976) Energy balance and runoff
from a subarctic snowpack - Cold Region Research and Eng Lab.,
Rep. 76-27, Hanover, N.H., USA



1. INLEDNING

Denna rapport bygger i huvudsak på enkla intervjuer med en handfull olika kommuner kompletterade med egna erfarenheter. Rubrikens lydelse kommer att tolkas i vid bemärkelse och rapporten tar upp is, snösmältnings- och frostproblem i allmänhet på ledningsnätet så som de upplevs av ansvarig driftpersonal. Med hänsyn till de små resurser som stått till förfogande görs inga anspråk på fullständighet. I många fall har vid intervjuerna förutsättningarna resp orsaks-sammanhangen vid t ex källaröversvämningar varit svårdefinierade.

Kontakt har även tagits med VAV i vars regi uppföljning av drifts-störningar f n pågår. Någon redovisning med avseende på snösmältningen och dyl har ej kunnat erhållas beorende på undersökningens uppläggning.

2. FÖRSÖK TILL PROBLEMANALYS

Som privatmänniska upplever man de mest påtagliga problemen vid snösmältningen i form av slask och vattensamlingar. En och annan husägare drabbas kanske också av att en större eller mindre tillfällig bäck finner sin väg över tomten. Orsaken till ovanstående kan många gånger vara igenfrusna regnvattenbrunnar (rännstensbrunnar) i kombination med häftig snösmältning. Problemets intensitet och frekvens varierar naturligtvis såväl mellan åren som regionalt. Orsakssammanhangen kan många gånger vara svåra att klara ut - men ett är säkert - utan kylan och växlingarna kyla - värme skulle problemen ej existera.

Nedan görs ett försök att analysera driftproblemen på dagvattenledningarna medelst följande tre vinklingar:

- 1) Direkt frysning av smältvatten m m vid a) intaget, b) i själva ledningssystemet och c) vid utloppet.
- 2) Otillräcklig avbördningskapacitet i samband med snösmältningen vilket kan leda till översvämningar och dylikt.
- 3) Dagvattenledningens kylande effekt på intilliggande ledningar (spillvatten, vatten) vilket i sin yttersta konsekvens leder till driftavbrott och ev frysskador på dessa ledningar.

3. DIREKT FRYSNING

Av intervjuerna framgår att det helt dominerande frysproblemet är i intagsbrunnen vanligen en regnvattenbrunn (rännstensbrunn). Under snöperioden packas brunnen mer eller mindre med snö av trafiken. När sedan snösmältningen börjar så smått är ofta inte smältvattnets värmeinhåll tillräckligt för att öppna upp transportkanaler och av snöproppen bildas istället en ispropp. Växlingen mellan dagvärme och nattkyla spelar härvid en stor roll. Av förklarliga skäl synes regnvattenbrunnar med vattenlås vara besvärligast vilket har lett till att denna typ ej användes inom nordligare kommuner. För den mera förekommande typen utan vattenlås synes ingen skillnad i problemfrekvens råda mellan de som har resp inte har sandfång.

Omfattningen av tillsyn och tining av frusna regnvattenbrunnar varierar mellan kommunerna. Här förekommer allt från kontinuerlig översyn och flera gånger återkommande tining under snösmältningen till ingen åtgärd alls. T ex har Haparanda kommun valt att endast tina brunnarna en gång per år när den slutliga snösmältningen satt in. Underlag har saknats hos kommunerna för att kunna redovisa dessa tiningskostnader.

Beträffande frysning i själva dagvattenledningen är det mindre förekommande än i regnvattenbrunnen. Problemet uppträder huvudsakligen i regnvattenbrunnarnas anslutningsledningar (servisledning) till huvudledningen. Detta kan troligen förklaras av att anslutningsledningarna ej sällan ligger i tjälad mark. Det nollgradiga smältvattnet kyls därvid ytterligare ned och bildar isbeläggning/ispropp. Problemet accentueras vid dagsmeja följt av sträng nattkyla.

Frysningen vid utloppet är vanligt förekommande framförallt för de nordligare kommunerna. Igenfrysningen kan ha skett långt före smältavrinningen startat genom att avrinnande grund- och dräneringsvatten successivt fryser till svallis vid mynningen. Av avgörande betydelse är utloppets höjdläge i förhållande till recipientens karaktäristiska vattenstånd. Ett utlopp förlagt under LLVY har inga frysproblem vid själva mynningen däremot kan dessa uppstå längre in i ledningen. Ur svallissynpunkt synes dikesrecipienter med obetydligt flöde olämpligast. Under snösmältningsförloppet uppstår ofta snö- eller isblockering vilket kan leda till

exceptionella dämningar och högvattenytor helt oförutsedda vid projekteringen. I olyckliga fall slutar det hela med källaröversvämningar.

4. KAPACITETSPROBLEMET

Idag tas ingen eller mycket liten hänsyn till avrinningen under snösmältningsperioden vid dimensioneringen av dagvattenledningarna. Vid intervjuerna var det heller ingen som ansåg att denna avrinning kunde vara dimensionerad med avseende på maximalt flöde. Detta kan nog anses gälla i stort men vissa skillnader bör betonas. Avrinningsförloppet blir mera utdraget. Genom detta försvinner de positiva magasineringseffekter som normalt finns på avrinningsytor och i ledningssystemet. Hänsyn till ovanstående måste framförallt tas vid dimensionering av utjämnings- fördröjnings- och avsättningsbassänger. Huruvida regn i kombination med snösmältningen kan bli dimensionerande bör undersökas. Intervjuerna ger ej belägg för ett sådant förhållande och förklaringen är kanske att tillräckligt kraftiga regn sällan uppträder under denna årstid.

Vidare bör hänsyn tas till smältvattnets innehåll av is. Framförallt vid avledningssystem med öppna diken. Intagsanordningar, ofta i form av galler, blir lätt igensatta av isblock m m vilket ofta får översvämningar som följd.

Nej, det som upplevs som otillräcklig kapacitet i dagvattenledningen under snösmältningen har oftast sitt ursprung i någon form av frysning relaterade ovan t ex svallisbildning vid utloppet eller i vissa fall ispropp.

5. DAGVATTENLEDNINGENS KYLANDE EFFEKT

Att dagvattenledningarna, vilka mestadels står tomma under vintertid, kan ha en kylande effekt på omgivande mark/ledningar är lättförståeligt. Genom brunnarnas utformning och med hjälp av en kuperad terräng erhålls lätt en form av skorstensverkan varvid luftomsättningen kan bli stor och därmed den kylande effekten. Att förhållandena kan vara sådana under förvintern synes sannolikt men hur är förhållandena under senvintern när t ex betäckningarna är täckta med snö och is?

Kanske är dagvattenledningarna "boven i dramat" när det inträffar frysning av vattenledningar på oförklarligt stort djup. I en klassisk rörgrav med tre ledningar kanske värmeavgivningen från spillvattenledningen kompensera nedkylningseffekten från dagvattenledningen men i vilken grad påverkas tjäldjupet när endast vatten och dagvatten eller i extremaste fallet endast dagvatten finns i rörgraven. Att i tjälfarliga jordarter låta läggningsdjupet underskrida tjäldjupet kan leda till allvarliga skador på ledningen med konsekvenser för dess funktion. Vidare ifrågasätts idag den traditionella rörgravssektionen med dagvattenledningen överst och istället föreslås en placering underst. Vad blir konsekvensen av detta med avseende på tjäldjup, frysningsrisk o dyl förutsatt att ledningen har en kylande effekt?

Visst har forsknings- och utvecklingsarbete inom detta område har skett i BFR:s regi. En fortsättning är dock nödvändig och detta arbete bör leda till en form av projekteringsanvisningar för VA-projektören.

6. TININGSFÖRFARANDE

När dagvattenledningar frusit tinas de vanligtvis med ånga från ånggenerator eller motsvarande. Försiktighet eller stor återhållsamhet bör iaktas när lednings- och brunnsmaterialet utgörs av plast, av vilka PVC har störst användningsområde i detta sammanhang. För nordliga kommuner där frysproblemet är vanligt förekommande och där upprepade tiningar utföres bör annat lednings- och brunnsmaterial väljas förslagsvis betong.

I syfte att framförallt förhindra frysning användes ibland vanligt vägsalt. Saltet töms därvid i regnvattenbrunnarna (ev nedstigningsbrunnar) varvid koncentrerad saltlake erhålles. Denna späds sedan successivt allteftersom nytt smältvatten tillrinner. Metoden kan ifrågasätta ur recipientsynpunkt.

7. KÄLLARÖVERSVÄMMNINGAR

Av intervjuerna framgår att källaröversvämningar (vattenfuktsskador) under snösmältningensperioder ej är ovanliga. För t ex Luleås del uppges 2-4 st per år vilka kan kostnadsuppskattas till 100-150 000 kr totalt. Orsakerna till översvämningarna är i många fall oklara men oftast utgör minskad kapacitet i ledningen som följd av frysning en bidragande orsak.

När smältvattenavrinningen sker i öppna diken uppstår ofta problem med is- och snöblockering vid trummor och dyl. I värsta fall leder detta till översvämningar och extremt höga grundvattenytor inom tätbebyggelsen vilket i sin tur kan orsaka skador på källare.

8. VATTENLEDNINGAR

I samband med intervjuerna har även framkommit frysproblem m m på vattenledningsnätet. Kunskaperna och därmed motåtgärderna inom detta område är dock mera välkända och utvecklade jämfört med frysproblematiken på dagvattensidan. Vanligtvis är frysproblemen störst i ändledningar med liten förbrukning (cirkulation) t ex brandposter. En vanlig motåtgärd är att ställa brandposten "på rinn" d v s låta en viss mängd vatten kontinuerligt passera. Övriga problem som nämnts är frysning i råvattenintag i t ex älvar.

9. SLUTSATS

Av intervjuerna har framgått att snösmältningen framförallt i de nordliga kommunerna är en jättig tid för den driftspersonal som svarar för ledningsunderhållet. Visserligen är perioden relativt kort men den blir ändock relativt kostnadskrävande. Därutöver kommer skadekostnader för källaröversvämningar m m under snösmältningen vilka har visat sig vara betydande. Någon utveckling av material och metoder för att eliminera frysproblemen i dagvattenledningarna synes ej heller ha skett. Mot bakgrund av de extra kostnader snösmältningen för med sig synes ett utvecklingsarbete väl motiverat.

1. INLEDNING

Snö i tätorter kan vid smältning ge upphov till skador på ytvatten, grundvatten, mark och vegetation genom de föroreningar som transporteras med smältvattnet. Storleken av dessa föroreningsflöden beror på föroreningskoncentrationen i snön och på hur smältningen och avrinningen sker men också på hur snön har hanterats i tätorten.

Snö som faller över ett samhälle måste plogas bort från gator och gångvägar om den inte smälts direkt naturligt eller genom saltning eller uppvärmning. Snön läggs därvid i regel i snösträngar utefter gatorna. Om dessa snösträngar tar för stor del av gatubreddens i anspråk måste snön köras bort och tippas antingen på en snötipp eller i ett vattendrag. Beroende på hur snön hanteras blir den olika förorenad och kan orsaka olika slags skador.

Snö som ligger orörd kvar på gräsytor och liknande ger smältvatten som infiltrerar i marken eller avrinner till nedströms liggande hårdgjorda ytor där det avrinner genom rännstensbrunnar eller diken. Detta smältvatten ger upphov till skador av samma art och ungefär samma storlek som regnvatten, se till exempel Bucht med flera (1977).

Smältvattnet från snösträngar och snöhögar inne i tätorten avrinner under en längre tid än från snöytor, men snön har under den tid den legat hunnit samla avsevärda mängder föroreningar, särskilt invid starkt trafikerade gator. Envar kan erinra sig de kolsvarta, krympande snöhögarna invid trafikleder under vårintern. Detta smältvatten avrinner till dagvattenssystemet

och ger där skador på ytvattendragen av samma art som dagvattnet. Emellertid har smältvattnet betydligt högre föroreningskoncentrationer än dagvattnet normalt har, särskilt i början av smältperioderna. Vattendragens förmåga att tåla dessa relativt kortvariga men mycket förorenade smältvattenflöden blir då beroende av vattenföringen eller vattenomsättningen.

Snötippor, dit snö körs från tätorter, avger smältvatten som dels infiltrerar i marken, dels avrinner i diken och dräneringar till vattendrag. Skadeverkningarna blir desamma som för smältvattnet från snösträngar, men snötippens smältvatten har *lägre* föroreningskoncentrationer än snösträngens inne i tätorten. Detta beror på att den största delen av snön inte hunnit ansamla några större föroreningsmängder inne i tätorten. I regel sker ju borttransporten av snö inom några dagar efter större snöfall. De flesta snötippor innehåller emellertid en ansevärd *volym* snö och det totala föroreningsutsläppet från en snötipp kan därför bli avsevärt även om ögonblickskoncentrationerna är lägre än från snösträngar inne i tätorten.

Snö som tippas direkt i ett vattendrag, till exempel en hamnbassäng, ger vattendraget en föroreningsbelastning som motsvarar dagvattenutsläppet vid regn. Givetvis beror storleken av denna föroreningsbelastning av hur länge snön har legat innan den körs till tippning, men också dagvattnets föroreningskoncentrationer beror ju på till exempel hur lång uppehållstid det varit före regnet. Om vattendraget bedöms kunna tåla dagvattenutsläpp bör det också kunna tåla snödumpling. Mot snödumplingen talar emellertid de ibland avsevärda estetiska olägenheter som uppstår genom att en mängd föremål av olika slag medföljer snön, särskilt om snön tippas på isbelagda vattendrag.

Snöröjning kan också ske genom att gator saltas. Smältvattnets verkningar kan återigen jämföras med dagvattnets, men med den skillnaden att vattnet innehåller ibland mycket stora mängder salt. Saltet leder till korrosionsskador på motorfordon och till förhöjda salthalter i grundvatten och ytvatten. Saltets skadeverkningar på vegetation, t ex alléträd, är dokumenterade.

Vid bedömningar av snöföroreningars storlek och verkan måste man ha klart för sig att de *totala* föroreningsmängderna från en tätorts ytor blir i stort sett lika stora antingen det snöar eller regnar. Skillnaderna består i att man genom hanteringen av snön omfördelar snöns föroreningar så att man ibland får en annan mottagare för smältvattnets föroreningar än för dagvattnets. Dessutom ansamlas föroreningar i snön under den tid den ligger, varefter smältningen sker under relativt kort tid. Man får därför höga föroreningskoncentrationer i smältvattnet.

Till de "diffusa" föroreningskällor som finns för såväl smältvatten som dagvatten kommer för smältvattnets del också de föroreningar som man medvetet *tillför* snön, det vill säga sand och salt.

Konsekvenserna av en tätorts snöhantering har alltmer kommit i blickfånget, inte minst genom den i södra Sverige snörika vintern 1978/79. Sittande utredningar om miljö- och VA-lagstiftningen överväger att ta upp problemområdet snötippning. Emellertid är tätorternas snöproblem mycket litet studerade. De få kända undersökningar som finns gjorda i Sverige redovisas i denna artikel, och de slutsatser som är dragna bygger på ett magert underlag. Föroreningar i snö och smältvatten och miljökonsekvenserna av snöhanteringen måste bli föremål för ytterligare forskning.

2 SNÖNS FÖRORENINGSINNEHÅLL

2.1 Allmänt

Föroreningskoncentrationerna i snön i en tätort beror på

- 1) Snöns föroreningskällor
- 2) Hur länge snön har legat
- 3) Hur snön har hanterats

Smältvattnets föroreningskoncentrationer beror dels av snöns föroreningskoncentrationer, dels hur avsmältningen och avrinningen sker. Smältvattnets föroreningskoncentrationer varierar med tiden.

2.2 Snöns föroreningskällor

Snön har alla dagvattnets föroreningskällor, vilka är förorenad luft och nederbörd, korrosion av byggnadsmaterial, trafikallstrade föroreningar, erosion av mark samt allmän diffus förorening i en tätort, typ djurspillning, gödsling av gräsmattor, biltvätt etc. etc. Därtill kommer de föroreningar man tillför snön under snöhanteringen, det vill säga sand och salt.

Vissa föroreningskällor har större betydelse för smältvattnet än för dagvattnet, några har mindre betydelse.

Föroreningar som kommer med nederbörden synes inte ha någon utpräglad säsongsvariation. Koncentrationerna i nederbörden av till exempel bly, koppar, zink, kadmium, sulfat och nitrat har av A. Semb (1978) i det mycket omfattande norska projektet "Sur nedbørs virkning på skog og fisk" (SNSF) mätts under flera år på olika ställen i Norge. Halterna varierade mycket månad för månad, men de var inte genomgående annorlunda under vinter än under sommar. K. Haapala (1977) har i finska mätningar vid en mångfald provtagningsställen under sju år funnit att fosforkoncentrationerna i nederbörden är lägst under den tid marken är frusen. Såväl de norska som de finska mätningarna är gjorda vid stationer som inte påverkats av lokala utsläpp, till exempel från större tätorter. Mätningar i större städer av framför

allt svaveldioxid och sot i luften visar emellertid förhöjda halter under vintern, det vill säga under eldningssäsongen. Detta gör att nederbörden över större städer också får förhöjda föroreningshalter under vintern. Att nederbördens sammansättning beror av dels närheten till större städer eller andra större punktkällor, dels av vindriktning (från eller mot de stora industriområdena i Europa) har visats av flera forskare, bland andra av Hovmand (1977).

När nederbörden kommer som snö är den mer förorenad, åtminstone i början av ett nederbördstillfälle, än när den kommer som regn. Detta beror på att snökornen har en lägre fallhastighet och en större yta än regndropparna, och därmed kan ta upp mer av luftens föroreningar under falltiden (Gjessing & Gjessing, 1975).

Motortrafiken som föroreningskälla torde vara betydligt större under vinterhalvåret än under sommarhalvåret. Detta beror på

- ökad korrosion på grund av saltning
- ökad tomgångskörning
- ökat slitage av körbana genom däckdubbar

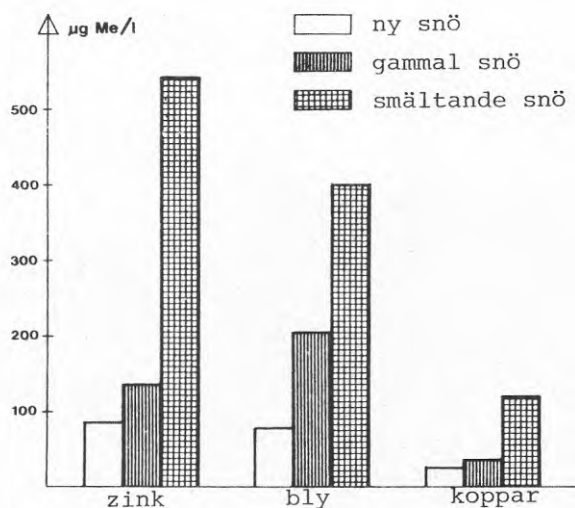
Sammanfattningsvis torde föroreningskällorna förorenad luft och motortrafik vara av större betydelse för snöns sammansättning än för dagvattnets.

2.3 Föroreningsackumulation i snö

Den snö som körs bort till tippning på land eller i vattendrag efter snöfall har inte hunnit ansamla lika mycket föroreningar som den snö som ligger kvar hela vintern inne i tätorten - på ytor eller i snösträngar. Föroreningarna ackumuleras i snön genom påverkan från näraliggande gator och genom stoftnedfall. Snön verkar också som ett mekaniskt filter för fina partiklar i luften, dels genom vindpåverkan, dels genom förändringar av lufttrycket (Gjessing & Gjessing, 1975). Snö som har legat hela vintersäsongen kan ha hunnit få mycket höga föroreningshalter, särskilt om snön inte varit utsatt för smältning under någon mellanperiod.

Stoftnedfallet under uppehållsväder har undersökts vid Kjeller (Dovland och Hansen 1975), nära Oslo. Under en tiodagarsperiod mer än fördubblades sulfatkoncentrationen och mer än tredubblades blykoncentrationen i orörd, nyfallen snö. Torravsättnings-hastigheterna beräknades också och befanns överensstämma med värdena från andra undersökningar, huvudsakligen utförda på gräsytor.

Den samlade effekten av alla de faktorer som ger förorenings-ackumulation i snön framgår av figur 1. Värdena i diagrammet har beräknats utgående från resultaten från en undersökning av dagvatten och snö vid en starkt trafikerad motortrafikled i Göteborg (Lisper 1974).



Figur 1 Tungmetallkoncentrationer i olika gammal snö från motorväg i Göteborg.

Effekten av närheten till gatan framgår av tabell 1. I tre bostadsområden i och utanför Göteborg med olika trafikbelastning togs i mars månad prover på snö dels i snösträngar utefter den genomgående gatan, dels på gräsytor inne i områdena. I medeltal visades föroreningskoncentrationerna i snösträngarna vara i storleksordningen 10 gånger mer förorenad än snön på gräsytorerna (Malmquist 1978).

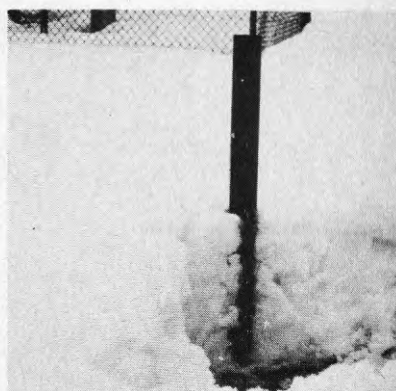
Tabell 1 Föroreningskoncentrationer i snö på gräsytor och vid gator i Göteborg.

Befolknings- täthet P/ha	Provtagnings- plats	COD	P _{tot}	N _{tot}	SO ₄	Pb	Zn	Cu
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
250	Gräsytor	80	0.41	1.70	<5	250	360	50
250	Gator, 7400 fordon/d	850	2.10	3.60	19.3	2610	1030	390
115	Gräsytor	30	0.11	1.20	<5	40	50	10
115	Gator, 3600 fordon/d	260	0.54	1.30	7.5	730	330	70
22	Gräsytor	10	0.09	0.82	<5	40	60	10
22	Gator, 1500 fordon/d	260	1.63	1.60	5.5	730	330	120

Figurerna 2 och 3 visar provtagning på gräsmatta respektive vid gata.



Figur 2 Snöprovtagning vid gata.



Figur 3 Snöprovtagning på gräsyta.

2.4 Avsmältning och avrinning

Snöns sammansättning förändras vid smältning och vid avrinning över ytor. Vid snösmältningen transporteras föroreningarna snabbare ner genom snövolymen än smältvattnet. Johannessen och Henriksen (1977) har studerat detta fenomen dels i laboratorieförsök, dels i fältundersökningar.

I laboratorieundersökningarna visades att smältvattnet i början av avrinningen från en smältande snövolym var 3-5 gånger mer

förorenat än den osmälta snön med avseende på alla undersökta ämnen, bland andra pH, sulfat, nitrat, klorid, zink, koppar, bly och kadmium.

I fältundersökningarna var motsvarande ökning av föroreningskoncentrationerna 3-6 gånger. Det beräknades också att de första 30 procenten av smältvattnet innehöll i medeltal 63% av vätejonerna (pH), 73% av zinken, 76% av blyet och 45% av kopparen. De första 10 procenten av smältvattnet har troligen ännu högre föroreningskoncentrationer. Emellertid rekommenderas av Johannessen och Henriksen att för avrinningsområden större än omkring 10 ha beräkna föroreningskoncentrationerna i smältvattnets första del som 2-2,5 gånger högre än i den osmälta snön. Exempelvis skulle därigenom avsmältningen av snö med pH 4,4 ge upphov till en "smältvattenvåg" med pH 4,1.

Sammansättningen av smältvattnet ändras också under avrinningen fram till dagvattenledningen. Lösliga ämnen som till exempel salt tas upp av vattnet medan större fasta partiklar avsätts i rännstensbrunnar och på ytor där vattenhastigheten är låg. Diken har därvid visats vara effektiva för reduktion av framför allt partiklar och till partiklarna bundna föroreningar (Söderlund G, 1972, opublicerat arbete). Å andra sidan kan smältvattenavrinningen ge så stora flöden att marken eroderas vilket medför höga slamhalter i smältvattnet. De mekanismer som medverkar vid urtvättning och transport av föroreningar är ännu inte fullt kända, men föremål för pågående forskning.

De höga föroreningskoncentrationerna i början av snösmältningen har konstaterats till exempel i *Luleå* där prov togs på det allra första smältvattnet som kom till en rännstensbrunn den 29 mars 1979 (vid Residensgatan). I provet konstaterades pH 6,6 och koncentrationerna 3,8 mg bly/l, 4,2 mg zink/l, 1890 mg COD/l och 5,5 mg totalfosfor/l, vilket är mycket höga värden.

2.5 Svenska snöundersökningar

Endast ett fåtal svenska undersökningar av föroreningsinnehållet i snö i tätorter har genomförts, och såvitt känt endast en om snöns verkan på vattendrag.

Förutom de nämnda göteborgsundersökningarna, se 2.3 ovan, har enstaka, mindre undersökningar gjorts vid olika ställen.

G.Söderlund och H.Lehtinen (1970) har studerat föroreningsinnehållet i snöhögar på olika ställen i *Stockholm*. Proverna togs vid kall väderlek fyra dagar efter snöfall. Proverna var blandprover, representativa för genomsnittet i varje snöhög. Analysresultaten framgår av tabell 2.

Tabell 2 Föroreningskoncentrationer i snö från olika provtagningsplatser i Stockholm.

Analys mg/l	Provtagningsplats					
	1	2	3	4	5	6
Torrsubstans	43	1.410	2.249	4.993	6.576	3.746
Glödningsförlust	16	90	264	243	652	1.277
Suspenderat	48	753	1.469	3.118	4.164	1.954
Glödningsförlust	19	105	256	218	617	301
Klorid	5	79	206	268	560	263
Bly*	spår	0,7	1	2	3	8
Kolväten	1	38	12	22	21	105
Agarbakt./ml 22°C/48 tim. ..	40	3.500	13.000	14.000	15.000	12.000
Termostabila koli/100 ml	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Koliforma/100 ml	<50	50	50	150	250	<50

*Extremvärden på upp till 300 ppm har uppmätts

Provtagningsplats: 1 Orörd snö i citypark.
2 Hyresgata utan genomfartstrafik, nattparkering.
3 Citygata utan genomfartstrafik, dagparkering.
4 Parkväg utan bebyggelse, genomfartstrafik, ingen parkering.
5 Hårt trafikerad citygata, bebyggelse, dag- och nattparkering.
6 Trafikplats vid motorväg (E4).

Söderlund och Lehtinen har också, utgående från dessa resultat, beräknat de totala föroreningsmängder som tippas i vattendrag från Stockholms kommun under normalvinter, se tabell 3.

Tabell 3 Beräknade föroreningsmängder tippade i sjörecipient från Stockholms stad under en normalvinter.

Föroreningstyp	Mängd i ton
Torrsubstans	700
Därav suspenderat material	350
Organiskt material	50
Därav olja	6
Koksalt	130
Bly	0,3
Agarbakterier	$2 \cdot 10^{15}$ stycken

Den via snön tillförda blymängden kan jämföras med den mängd bly som tillförs vattendragen vid utsläppen från de kommunala reningsverken i Stockholms kommun. Denna mängd har av Stockholms miljö- och hälsovårdsförvaltning (1975) beräknats till ca 3,6 ton bly per år.

Söderlund och Lehtinen menar att de beräknade resultaten måste tolkas försiktigt beroende på det ringa bakgrundsmaterialet, men att förmodligen någon annan metod än sjötippning måste övervägas för undanskaffande av snömassorna.

Föroreningar i snön i centrala *Lund* undersöktes under den snörika vintern 1979 (Hogland, 1979). I princip togs prover på nio olika ställen under sju tillfällen från januari till mars. Ett utdrag från resultaten ges nedan i tabell 4.

Tabell 4 Föroreningar i snö i Lund 1979.

	pH	klorid mg/l	fosfor mg/l	zink mg/l	koppar mg/l	bly mg/l
minsta värde	3,7	5	0,01	0,01	0,05	0,04
största värde	6,4	95	0,15	0,24	0,73	0,43

Prov togs också på snö i vägkanter vid fyra olika vägar. Föroreningskoncentrationerna låg inom de i tabell 4 angivna intervallen utom för pH, där högsta värdet uppmättes till pH 7,6.

I samband med undersökningar av dagvatteninfiltrationens verkan på grundvattnets sammansättning i ett pågående forskningsprojekt har sammansättningen hos snö från tre lokaler i *Västergötland* undersökts. De tre lokalerna var ett industritak i Vara, ett radhustak i Lidköping samt mittremsan på motorvägen E6 vid Floda. Analysresultaten framgår av tabell 5.

Proverna har tagits så att medelvärden för hela snöhöjden erhöles. Analysresultaten visar att snön från de båda taken var relativt opåverkad av andra föroreningskällor än den förorenade luften. Snön från motorvägen var påtagligt förorenad, särskilt

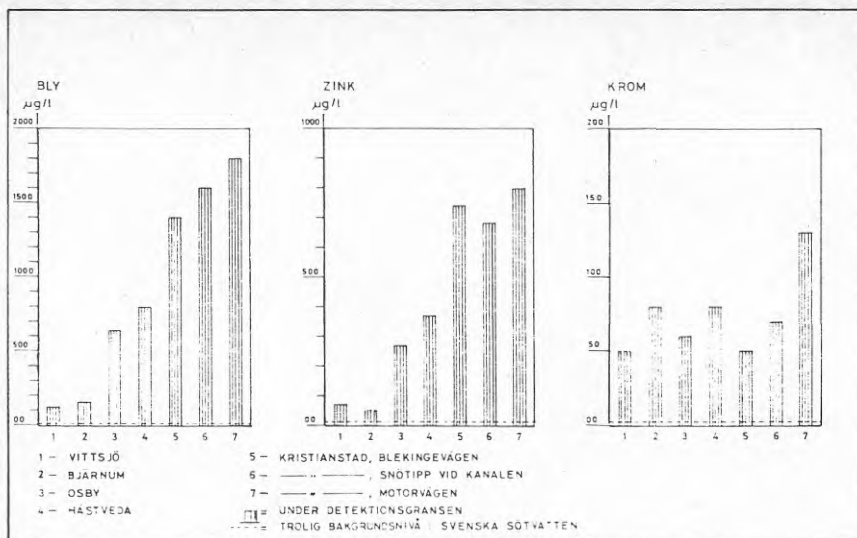
vad gäller suspenderade ämnen, COD, bly och kadmium. Variationerna i resultaten kan inte i detalj förklaras genom att det under perioden mellan provtagningarna både snöat och varit mildväder med åtföljande smältning och urlakning av snön.

Tabell 5. Föroreningskoncentrationer i snö från ett industrietak i Vara, ett radhustak i Lidköping och mittremsan på E6 vid Floda

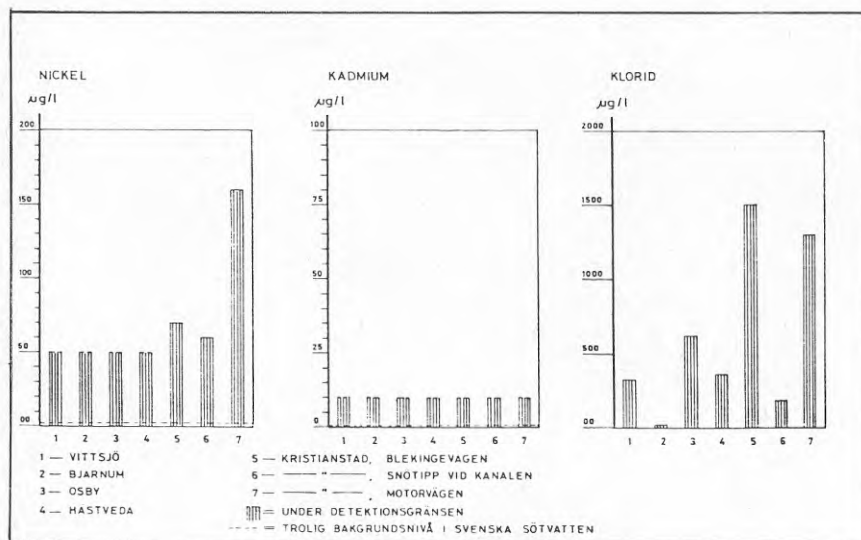
	Vara 79-01-24	Vara 79-02-16	Lidköping 79-01-24	Lidköping 79-02-16	Floda 79-02-16	Floda 79-03-07
pH	3,8	6,6	4,5	4,2	5,6	6,3
Suspenderade ämnen mg/l	17	5	62	22	2650	7200
COD mg/l	19	66	26	14	650	3700
Totalfosfor mg/l	0,14	0,02	0,17	0,05	1,07	0,66
Fosfatfosfor mg/l	0,08	0,01	0,03	0,05	0,97	0,19
Totalkväve mg/l	3,41	5,78	4,34	1,18	2,22	7,69
Nitratkväve mg/l	2,96	0,84	3,95	0,56	1,53	0,71
Kjeldahlkväve mg/l	0,45	4,94	0,39	0,62	0,64	6,95
Ammoniumkväve mg/l	0,38	0,22	0,31	0,42	0,44	0,18
Klorid mg/l	2,3	5,9	2,2	2,4	2120	9,9
Sulfat mg/l	4,7	5,1	3,8	3,8	37	<2
Zink µg/l	43	80	47	38	490	310
Koppar µg/l	4	4	8	10	130	320
Bly µg/l	19	5	30	34	1020	3100
Kadmium µg/l	<0,4	<0,4	0,6	<0,4	12	2
Totalt antal bakterier per ml	-	1	-	0	0	-
Antal coliforma bakterier per 100 ml	-	10	-	<2	14	-
Antal termostabila colibakterier per 100 ml	-	<2	-	<2	<2	-

Länsstyrelsen i *Kristianstads län* lät under januari 1979 utföra en undersökning av föroreningsinnehållet i snösträngar vid hårt trafikerade vägar och i snötippor i länet (Länsstyrelsen, 1979). En uppföljning med recipientundersökningar planeras. Prov togs på snö från snötipporna i Vittsjö, Bjärnum, Osby och Hästveda samt från snösträngar i Krstianstad. Resultaten framgår av figurerna 4a och b.

Länsstyrelsen kommenterar resultaten i sin promemoria: "Mot bakgrund av de höga föroreningsmängder som konstaterats torde snötippning utgöra miljöfarlig verksamhet om tippning sker i sjöar och vattendrag eller på annat sätt som kan medföra förorening av sjöar, vattendrag eller andra vattenområden".



Figur 4a Föroreningsinnehåll i snö från Kristianstads län.



Figur 4b Föroreningar i snö från Kristianstads län.

Snötippars föroreningsinnehåll har stickprovsmässigt undersökts också i Jönköping, Östersund och Lund.

I *Jönköping* togs vid ett tillfälle under vintern 1979 prover från två snötippor. Den ena tippen innehöll snö från gator och torg i centrala Jönköping, den andra från centrala Huskvarna. Proverna togs den 29 mars. Provtagningen utfördes så att de tagna proven speglar snötippornas genomsnittliga sammansättning. Resultaten framgår av tabell 6.

Tabell 6. Föroreningskoncentrationer i snötippor från Jönköping.

	mg/l					
	pH	COD	Bly	Zink	Koppar	Kadmium
Jönköping	7,3	340	0,6	0,48	0,13	<0,02
Huskvarna	7,2	270	0,5	0,28	0,09	<0,02

Undersökningarna har utförts av hälsovårdsbyrån i Jönköping och är opublicerade.

I *Östersund* har omfattande undersökningar av föroreningsinnehållet i tre av kommunens sju snötippor gjorts av elever vid kursen i miljövardsteknik vid AMU-centret i Östersund (1978). Undersökningarna har gjorts under fyra säsonger.

De tre snötipporna Norra tippen, Hagtippen och Zigenartippen erhåller alla snö från Östersunds tätort. Zigenartippens uppsamlingsområde är mindre trafikbelastat än de båda övriga tipporna.

Provtagningarna har skett med hjälp av grävmaskin och kan åtminstone under 1978 anses representativa för snötipporna. Resultaten framgår av tabell 7.

I en resultatdiskussion förmodar 1978 års elever att blyvärdena från de tidigare årens provtagningar blivit för höga genom användande av ett felaktigt provtagningskärl. Mot detta talar att också de andra ämnena har lägre halter under 1978 än tidigare.

Tabell 7. Föroreningskoncentrationer i snötipparna Norra tippen (N) Hagtippen (H) och Zigenartippen (Z) i Östersund, alla värden utom bakterier i mg/l.

Provtagnings- datum	Torrsubstans			Suspenderade ämnen			pH			COD			N _{tot}		
	N	H	Z	N	H	Z	N	H	Z	N	H	Z	N	H	Z
75-03	3460	-	-	1940	-	-	-	-	-	900	-	-	-	-	-
76-02	820	1620	-	580	750	-	-	-	-	220	270	-	-	-	-
76-03	3280	1020	-	2460	700	-	-	-	-	900	340	-	-	-	-
77-02	1500	1000	-	1200	1000	-	7,8	8,2	-	350	270	-	-	-	-
77-03	3210	1440	-	2830	940	-	7,1	8,2	-	910	370	-	-	-	-
77-04	7650	1230	-	8060	1370	-	9,1	8,5	-	840	540	-	-	-	-
78-04	1070	640	340	1030	590	470	8,3	7,6	8,0	240	180	150	2,9	1,7	1,8
mv	3000	1160	340	2590	890	470	8,1	8,2	8,0	620	330	150	2,9	1,7	1,8

medianvärden

Provtagn. datum	Kolväten			Bly			Totala bakterier per ml		Tot. coliformer per 100 ml		Tot. termostabila coliformer per 100 ml	
	N	H	Z	N	H	Z	N	H	N	H	N	H
75-03	-	-	-	0,7	-	-	$1 \cdot 10^3$	-	$2 \cdot 10^3$	-	$1 \cdot 10^1$	-
76-02	5,3	17	-	1,7	1,6	-	$3 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$	$>5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^0$
76-03	5,3	2,7	-	1,2	0,5	-	$>1 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	$>2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$
77-02	-	86	-	1,6	1,1	-	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
77-03	34	43	-	1,8	0,3	-	$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^2$
77-04	390	150	-	2,5	1,9	-	$>1 \cdot 10^4$	$>1 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$
78-04	16	10	21	0,3	0,3	0,2	-	-	-	-	-	-
mv	90	51	21	1,4	1,0	0,2	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^2$

medianvärden

Skillnader i provtagningsförfarandet skulle kunna förklara detta. Eleverna diskuterar också de oväntat höga pH-värdena i undersökningarna. Resultaten från analyser av ammonium har inte kunnat förklara pH-värdena. Däremot har analyser utförts på en suspension av vägsand och vatten, varvid pH-värden omkring pH 9 erhöles. Vägsanden förmodas därför kunna vara anledningen till snötipparnas höga pH-värden.

Värdena från de tre provtagningarna i februari, mars och april 1977 visar nästan genomgående stora ökningar med tiden. Detta understöder vad som sagts under 2.3 och 2.4 ovan.

Den totala snömängden i Östersunds snötippor var under vintern 77/78 ca 300 000 m³, varav cirka 6000 m³ tippas direkt i Storsjön. Med 1978 års analysvärden för bly kan den totala blymängden i snötipporna beräknas till ca 41 kg bly, varav 1 kg tippas direkt i sjön. Med 1975-1978 års genomsnittsvärden kan snötipporna beräknas innehålla cirka 170 kg bly varav cirka 4 kg tippas direkt i Storsjön. Med en antagen blyhalt i utgående, behandlat avloppsvatten av 20 µg/l kan den utsläppta blymängden via spillvattnet (från 50 000 personer) beräknas till cirka 140 kg bly per år.

I Lund togs under februari 1979 stickprov på föroreningsinnehållet i fyra av tätortens snötippor. Resultaten framgår av tabell 8.

Tabell 8 Föroreningar i snötippor i Lund 1979.

	pH	klorid mg/l	fosfor mg/l	zink mg/l	koppar mg/l	bly mg/l
minsta värde	6,6	248	0,07	0,03	0,07	0,04
största värde	7,3	636	0,26	0,06	0,08	0,10

Länsstyrelsen i *Västernorrlands län* lät under 1978 utföra snöprovtagningar, dels på snö i landtippor, dels på snö som skulle sjötippas. Analysresultaten framgår av tabell 9.

I en sammanfattning skriver länsstyrelsen om resultaten (Länsstyrelsen, 1978): "Undersökningen...tyder på att ansamlingen av föroreningar kan bli avsevärd och ha negativ miljöpåverkan. De undersökningar som gjorts påvisar ackumulering av ett flertal ämnen och bakterier i snön som kommer till snötipporna. De högs- ta värdena uppmättes från områden där trafik och fabrikspåverkan är störst".

Tabell 9. Föreningar i snötippor i Västernorrlands län.

Tiplats	Snöns härkomst	pH	klorid mg/l	total- fosfor mg/l	total- kväve mg/l	zink mg/l	bly mg/l	kolväten mg/l	coliforma bakt/100ml	termostab. coliforma bakt/100 ml
Härnösand Strandtipp	Gatemark på Härn- ön	4,5	9	-	4,3	0,29	<0,5	15	2	8
Härnösand- Lövudden Landtipp	Gatemark i Härnö- sand	6,0	34	0,76	1,0	0,16	0,44	46	240	330
Sundsvall- Bergsåker Landtipp	Förorter och trav- bana	6,4	284	-	2,5	0,27	<0,05	-	11	11
Sundsvall- Vindskärsudde Sjötipp	Centrala Sundsvall	8,3	332	-	2,2	0,40	1,1	180	2600	240
Örnsköldsvik Sjötipp	Centrala Örns- sköldsvik	5,1	9	-	2,9	0,14	<0,5	31	<1	8
Kramfors- Bollstabruk Sjötipp	Bollsta samhälle	7,3	265	1,5	1,2	0,36	0,89	130	5	110
Sollefteå- Långsele Landtipp	Långsele samhälle	4,6	5	0,15	1,1	0,15	0,08	-	2	17
Ånge Landtipp	Gatemark i Ånge	6,3	12	0,30	3,1	0,32	0,12	16	-	-

Med *recipient* menas här mottagare av smältvattenvolymer. Såväl ytvatten och grundvatten som marken kan alltså vara recipienter för smältvattnet. Beroende på hur förorenat smältvattnet är och hur stora vattenvolymer och hur höga smältvattenflöden man får, utsätts recipienterna för olika påverkan. När vattnen och marken förorenas kan växt- och djurlivet ta skada.

Smältvattnet innehåller samma slags föroreningar som dagvattnet. Skillnaderna består dels i att smältvattnet under korta perioder kan ha högre föroreningskoncentrationer än dagvattnet normalt har, dels i att smältvattnet genom hanteringen av snön i tätorter kan tillföras recipienter som normalt inte tillförs dagvatten i större mängder. Dessutom har smältvattnet genom snöhanteringen tillförts föroreningar som inte finns i så höga koncentrationer i dagvattnet, nämligen sand och salt.

3.1 Påverkan på ytvatten

Dagvatten och smältvatten kan påverka en ytvattenrecipient genom

- uppgrumling av vattnet genom tillförsel av suspenderade ämnen
- uppbyggnad av slambankar genom avsättbart material, till exempel sand
- minskning av syrehalten genom syreförbrukande ämnen (mät till exempel som COD)
- igenväxt genom närsalterna fosfor och kväve
- förgiftning genom tungmetaller och organiska miljögifter
- försurning
- ökning av salthalterna
- hygienisk påverkan av bakterier
- estetisk påverkan genom olja och grövre föremål

Beroende på smältvattnets volymer i förhållande till andra utsläppta avloppsvolymer, till exempel från industrier och kommunala avloppsreningsverk, får smältvattenutsläppen olika allvarliga följder. I ett rinnande vattendrag är givetvis också vattenföringen av största betydelse för påverkans storlek, liksom vattenomsättningen i en sjö eller en havsvik. Vid inte alltför låg vattenföring eller vattenomsättning torde de av smältvattnets föroreningar, som har mer *långsiktiga* effekter, ha mindre betydelse, särskilt om vattendraget också tillförs dagvatten och spillvatten. Smältvattnets föroreningar kan naturligtvis ge långsiktiga effekter i och med att de adderas till de övriga föroreningsutsläppen. Förgiftning och syretäring jämte estetisk påverkan torde i allmänhet vara de största effekterna av smältvattentillförsel till ett vattendrag, särskilt om vattendraget utgör lekplats för fisk. I till exempel en sjö med liten vattenomsättning där smältvattnet från en snötipp är enda yttre föroreningskällan blir givetvis situationen annorlunda. Påverkan på vattendrag av smältvatten måste alltså bedömas från fall till fall.

Få undersökningar av dagvattens och smältvattens påverkan av vattendrag har utförts i Sverige. Några av dem finns redovisade av Bucht med flera (1977).

En undersökning av Lillsjön i Östersund har genomförts av Naturvårdsenheten vid Länsstyrelsen i Jämtlands län (Söderkvist 1979). Sjön har tidigare belastats med smältvatten från en snötipp men också av dag- och bräddvatten. År 1972 avlastades sjön dag- och bräddvattenutsläppen och 1977 vallades snötippen in och smältvattnet leddes till Storsjön. Effekterna av att smältvattentillförseln stoppades visades genom undersökningar av sjöns vattenkvalitet. Bland annat har fosforhalten i sjön minskat från 23 $\mu\text{g}/\text{l}$ 1976 till 11 $\mu\text{g}/\text{l}$ 1978. Sjöns bottenvatten visar emellertid också 1978 en klar förorening av bly. Lillsjön, som tidigare visat klar påverkan av föroreningsutsläppen och bland annat blivit avstängd för bad, bedöms av Söderkvist vara under tillfrisknande. Effekterna av de gjorda åtgärderna har kommit snabbt och visar att åtgärderna varit riktiga.

Inverkan på vattendrag av vägsaltning har bland annat studerats av G. Knutsson med flera (1974) i en litteraturöversikt. Främst amerikanska undersökningar har visat fall där klorid-tillförseln orsakat salthaltsskiktningar i mindre sjöar med försenad eller utebliven årstidsomblandning som följd. Därigenom hindras temperaturutjämnningen och försvåras syresättningen vilket ger sämre levnadsvillkor för organismer i sjön. Det rapporteras också att ökade koncentrationer av natrium och kalcium genom jonbytesprocesser kan frigöra kvicksilver och sannolikt också andra tungmetaller från bottensediment i sjöar.

Saltupplag och upplag av saltinblandad sand kan ge liknande verkningar i vattendrag om saltet tillåts läcka ut från upplagen. Sannolikt kan salttillförseln från sådana upplag i vissa fall vara allvarligare än saltspridningen på vägar genom att upplagen ger ett koncentrerat punktutsläpp, ofta under lång tid.

En pågående utredning vid Naturvårdsverket syftar till att klarlägga vägars inverkan på miljön.

3.2 Påverkan på grundvatten

Smältvattnet påverkar grundvattnet genom infiltration i marken eller genom tillförsel i särskilda perkolationsmagasin för dagvatten.

Vid infiltration på mark verkar det översta, humusrika skiktet som ett filter som absorberar eller bortfiltrerar större delen av smältvattnets föroreningar. Smältvatten som infiltrerar på vegetationsklädda ytor inne i tätorter har också relativt låga föroreningskoncentrationer varför grundvattenpåverkan blir ringa.

Infiltration i marken från snötippor och i diken där snösträngar ligger kan ge grundvattenpåverkan genom de höga föroreningskoncentrationerna. Det är därvid främst tungmetaller och organiska miljögifter, jämte vägsalt som kan ge skadlig påverkan.

Vid tillförsel av smältvatten till grundvattnet genom perkolationsmagasin ger smältvattnet liknande grundvattenpåverkan som dagvattnet gör.

I en undersökning av Andersson, Carlstedt och Paus (1979) har grundvattenpåverkan vid dikesinfiltration och perkolationsmagasin studerats. Prover på grundvattnet har tagits nedströms infiltrationspunkterna och analyserats bland annat på tungmetaller och klorid. Analysresultaten visade stora spridningar varför i tabell 10 nedan redovisas i hur många av proven som vissa föroreningskoncentrationer överskrids. I tabellen har också lagts in preliminära resultat från grundvattenprovtagningar nedströms perkolationsmagasinen i Vara och Lidköping, se 2.5 ovan.

Tabell 10 Föroreningskoncentrationer i grundvatten nedströms infiltrationspunkter för dagvatten. Tabellen anger i hur många prov som vissa koncentrationer överskrids.

ORT	OMRÅDESTYP	INFILTRATIONSSÄTT	TOTALT ANTAL PROV	PTOT ≥0,2	ANTAL PROV			
					Pb ≥0,1	Cu ≥0,1	Zn ≥0,1	Cl ⁻ ≥250 mg/l
Tullinge	Parkering	Perkolationsmagasin i lera	5	1	1	0	3	1
Tullinge	Lokaltrafik	Dikesinfiltration i lera	9	1	5	1	4	2
Södertälje	Stark trafik	Perkolationsmagasin i finsand	7	3	0	0	6	1
Snättringe	Stark trafik	Dikesinfiltration i fyllning, lera	5	1	0	0	3	1
Vara	Industritak	Perkolationsmagasin i mellansand	2	0	0	0	0	0
Lidköping	Bostadstak	Perkolationsmagasin i mo	1	0	0	1	1	0

Föroreningarna i grundvattnet är den samlade effekten av infiltration av dagvatten och av smältvatten. Huruvida grundvattenkvaliteten verkligen försämrats genom infiltrationen framgår inte av det redovisade materialet. Som jämförelse

till tabellvärdena kan nämnas att WHO rekommenderar 50 µg Cu/l, 100 µg Pb/l och 5000 µg Zn/l som högsta halt i dricksvatten. Smakgränsen för klorid i dricksvatten är i USA satt till 250 mg Cl/l och i Sverige till 300-400 mg/l. Det kan kanske också vara intressant att jämföra med Naturvårdsverkets förslag till riktvärden för fiskevatten där halterna 20 µg Cu/l, 10 µg Pb/l och 100 µg Zn/l anges som maxhalter för vatten lämpade för laxartade fiskar. För bly klassas vatten med halter högre än 10 µg/l som mindre goda fiskevatten.

Knutsson (1974) rapporterar i sin litteraturstudie att man, främst i USA, funnit många fall där vägsaltning förorenat grundvattentäkter invid vägarna. Där större kommunala vattentäkter måst överges på grund av förhöjda kloridhalter har detta främst berott på saltläckage eller -avrinning från saltupplag. Även på grund av för höga natriumhalter har besvär uppstått vid utnyttjande av grundvattentäkter.

I Sverige har ett fyrtiotal fall av otvetydig saltförorening av grundvattnet inrapporterats under en tioårsperiod. Av dessa har ungefär 2/3 inträffat i vattentäkter belägna i anslutning till saltupplag, rapporterar Knutsson. Skadorna på grundvattentäkterna till följd av saltspridning på vägar har nästan uteslutande gällt grunda brunnar belägna nära vägen och i genomträngliga jordarter.

3.3 Påverkan på mark och vegetation

Marken påverkas av snöns och smältvattnets innehåll av sand och slam, salt, sura föreningar, olja och tungmetaller. Effekterna är de samma som för dagvatten, men smältvattnets föroreningskoncentrationer kan bli högre, till exempel i snösträngarna och snöhögarna bredvid gator och vägar.

Sanden och slammet kan orsaka igensättningar av markens ytstruktur. I vilken utsträckning detta hindrar vattnets nedträngning eller ger sämre villkor för vegetationen är inte känt.

Vägsaltets skadeeffekter på vegetationen är dokumenterad, framför allt vad gäller alléträd i tätorter (Knutsson 1974, -75 och -76). Natriumjonerna i det vanligen använda koksaltet försämrar jordstrukturen så att växternas upptagning av vatten och näringsämnen försvåras. Markvattnet blir också mindre lättrörligt. Både natrium och klorid är i större mängder skadliga för växter, natriumjonernas effekt är dock allvarligare genom att de inte lakas ur jorden på samma sätt som kloridjonerna. Rapporterade skador har främst gällt träd, särskilt barrträd, belägna mycket nära vägbanan (se Rühling i Knutsson med flera 1974). De sura föreningarna (främst svavel- och kväveföreningar) orsakar främst en snabbare urlakning av näringsämnena i jorden. På lång sikt befaras en möjlig försämrad skogstillväxt. Barrträd är känsligare än lövträd, men i övrigt saknas idag samlad kunskap om försurningens effekter på mark och vegetation. Problemet undersöks vid bland andra stäl-len det norska projektet "Sur nedbörs virkning på skog og fisk", se Abrahamsen (1976).

Olja från snö och smältvatten kan ge stora problem vid infiltration på vegetationsklädd mark. Olja har en direkt giftverkan på växtligheten och förstör i koncentrerad form även marken.

Förmågan hos en mark att absorbera tungmetaller beror på markens innehåll av organiskt material och av den mineraliska sammansättningen. I humus kan stora mängder metaller absorberas. I smältvattnet föreligger också metallerna till största delen bundna till partiklar, vilka mekaniskt frånfiltreras i de översta marklagren.

De tungmetallmängder som i jonform förmår tränga ned till markvattnet kan tas upp och anrikas av växterna. Fleråriga växter är genom anrikningen mer känsliga för skador genom tungmetaller än ett- och tvååriga. Mycket litet är känt om förgiftningsriskerna på längre sikt. Giftverkan beror på vilken växt det gäller, metallens form, pH och så vidare. Tungmetaller torde medverka till sämre återväxt hos framför allt barrträd.

Tyler och Westman (1979) har genom studier vid Rönnskärsverken konstaterat att särskilt koppar och kadmium minskar nedbrytningshastigheten i barrskogsmåren. pH-värdet visades dock ha en större inverkan på markprocesserna än den samlade inverkan av tungmetallerna.

Smältvattnet som avrinner från snön i våra tätorter är, åtminstone i början av avsmältningen, mer förorenat än dagvatten vid normala regn. Smältvattnet är emellertid olika mycket förorenat berorande på dels de olika föroreningskällorna, dels hur snön har hanterats vid snöröjningen.

Smältvatten från snö som ligger på gräsytor eller andra orörda ytor i tätorten är förorenad ungefär som dagvattnet i tätorten i fråga. Detta smältvatten torde kunna naturligt infiltreras i marken eller avledas via dagvattensystemet utan någon större ökning av de skadeeffekter dagvattnet orsakar under resten av året.

Snö som faller på trafikytor röjs i regel tämligen omgående efter ett snöfall. Om denna snö inom kort tid körs till sjötipp eller landtipp torde den där inte orsaka större skadeverkningar än vad dagvattenutsläpp respektive dagvatteninfiltration gör. Om en recipient anses tåla dagvattenutsläpp tål den också tippning av snö som inte fått ligga för länge på gatorna. Tippningen kan emellertid medföra estetiska olägenheter genom att grövre föremål medföljer vid snöröjningen.

Snö som får ligga kvar längs gatorna i snösträngar eller snöhögar och där får smälta eller transporteras bort för tippning i ett senare skede har hunnit ansamla ansevärliga föroreningsmängder. Det är detta smältvatten, antingen snön får ligga kvar på gatorna, transporteras till landtipp eller sjötippas, som kan orsaka stora skadeverkningar på recipienterna. Dessa recipienter är respektive den normala recipienten för dagvatten, mark/grundvatten/lokalt vattendrag samt vattendraget där snön tippas. För denna snö kan man alltså många gånger välja recipient, och bör då välja den recipient där föroreningsverkan blir minst. Dagvattenrecipienten, det vill säga alternativet att låta snön ligga kvar längs gatorna i största möjliga utsträckning, bör väljas om vattenomsättningen är så god att recipienten bedöms tåla större föroreningsutsläpp än dagvattnet normalt medför. Alternativet landtipp bör väljas om marken, grundvattnet och det lokala vattendraget bedöms tåla

belastningen. Denna landtipp bör då planeras, anläggas och skötas som en avfallstipp. Det kan också bli aktuellt med utjämning och rening eller överföring till avloppsreningsverk för detta smältvatten. Alternativet sjötippning medför att *alla* föroreningar i snön förs till vattendraget i fråga. I de båda övriga alternativen kan viss föroreningsreduktion påräknas genom markinfiltration och genom att de grövsta föroreningarna blir liggande kvar för borttransport genom sopbilar eller på annat sätt. Sjötippning av "gammal" snö bör alltså inte förekomma.

Extremt förorenat smältvatten, till exempel från snösträngar eller snöhögar vid stora trafikplatser, bör behandlas som spillvatten och föras till reningsverk.

Alltså:

1. Snö på andra ytor än gatuytor kan infiltreras eller avledas i dagvattenssystemet.
2. Snö som borttransporteras omgående efter snöfall kan tippas på land eller i vattendrag.
3. För snö som legat länge på gatuytor måste väljas recipient efter recipientens krav. Reningsåtgärder måste övervägas. Sjötippning är i regel det sämsta alternativet.
4. Snö som legat länge vid starkt trafikerade gator bör behandlas som spillvatten.

Saltning och sandning av gator medför extra föroreningar för smältvattnet, vilket kan medföra att den normala dagvattenrecipienten inte tål smältvattenutsläpp. Saltupplag och upplag av saltblandad sand bör övertäckas.

Till sist: De totala föroreningsmängderna från en tätort under vintersäsongen blir i stort sett lika stora antingen det regnar eller snöar och oavsett hur man hanterar snön i samband med snöröjningen. Vad man gör ibland är att man flyttar föroreningarna från ett ställe till ett annat, och därmed skaffar sig en annan recipient. Därför måste den nya recipientens krav vägas mot den normala recipientens krav, och snöhanteringen rättas därefter.

Abrahamsen, G, et al., 1976. Effects of acid precipitation on coniferous forest. In Brække, F.H. (ed): Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway, SNSF-prospekt FR 6/76.

Andersson, R, Carlstedt, B, Paus, K, 1979. Dagvattenavledning genom infiltration, magasinering och perkolation. Orrje & Co Rapport 1979-07.

AMU-centrets i Östersund kurs i miljövardsteknik för ingenjörer 1977/78. Undersökning av Östersunds snötippor. Stencil.

Bucht, E, Carlsson, L, Falk, J, Hällgren, J, Malmquist, P-A, 1977. Dagvatten- resurs och belastning. Redovisning av nuvarande kunskapsläge inom dagvattenhanteringen, oktober 1977. Statens Naturvårdsverk PM 873.

Dovland, H, Hansen, J-E, 1975. Måling av törravsetning på en snöflate. SNSF Teknisk notat TN 15/75.

Gjessing, Y, Gjessing, E, 1975. Sneens kjemiske sammensetning som indikator på luftforurensninger. SNSF Teknisk notat TN 7/75.

Haapala, K, 1975. Vattenstyrelsens (i Finland) observationer 1971-1976. Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning i Röros 1977-05-02--05. Nordforsk. Miljövårdssekretariatet publikation 1977:2.

Hogland, W, 1979. Snö och snöhantering i Lund under vintern 1978-1979. Lunds tekniska högskola, institutionen för teknisk vattenresurslära. Utkast till Rapport Nr 3025.

Hovmand, M, 1977. Tungmetaller i nederbörd. Trettonde nordiska symposiet om vattenforskning i Röros 1977-05-02--05. Nordforsk Miljövårdssekretariatet publikation 1977:2.

Johannessen, M, Henriksen, A, 1977. Chemistry of Snowmelt Water: Changes in Concentration during Melting. SNSF Fagrapport FR 11/77.

Knutsson, G, Bäckman, L, Hedgren, S, Rühling, Å, Tyler, G, 1974. Vägars inverkan på omgivande natur - litteraturöversikt. Statens naturvårdsverk PM 476.

Knutsson, G med flera, 1975. Vägars inverkan på omgivande natur - forskningsredogörelse. VTI rapport nr 201.

Knutsson, G, med flera, 1976. Vägars inverkan på omgivande natur - preliminärappport. VTI rapport nr 251.

Lisper, P, 1974. Om dagvattnets sammansättning och dess variationer. Doktorsavhandling vid Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik.

Länsstyrelsen i Västernorrlands län, 1978. Snötipsundersökning i Västernorrlands län 1978. Promemoria 1978-06-30.

Länsstyrelsen i Kristianstads län, 1979. Snö som miljöfarligt avfall. Promemoria 1979-04-05.

Malmquist, P-A, 1978. Atmospheric Fallout and Street Cleaning - Effects on Urban Storm Water and Snow. Progress in Water Technology 1978, Vol 10, Nos 5/6, pp 495-505.

Semb, A, 1978. Deposition of trace elements from the atmosphere in Norway. SNSF (Prosjekt Sur nedbørs virkning på skog og fisk) Fagrapport FR 13/78.

Stockholms miljö- och hälsovårdsförvaltning, 1975. Tungmetaller. Redovisning av situationen i Stockholm. Rapport 6:1975.

Söderkvist M, 1979. Lillsjön - en uppföljning av förorenings-situationen. Länsstyrelsen i Jämtlands län, naturvårdsenheten.

Söderlund, G, Lehtinen, H, 1970. Är sjötippning av snö ett föroreningsproblem? VATTEN nr 2 1970, s 146-148.

Söderlund, G, 1972. Dagvattenrening i öppet dike. Undersökning genomförd vid Häggviks trafikplats under tiden maj 1971-september 1972. Stencil.

Tyler, G, Westman, L, 1979. Effekter av tungmetallförorening på nedbrytningsprocesser i skogsmark. Statens Naturvårdsverk PM 1203.

1. INLEDNING

Snösmältningen sker under en relativt kort tidsperiod på våren, vilket resulterar i att stora mängder smältvatten tillförs våra reningsverk. Effekterna på reningsverkens funktion kan dels hänföras till den kraftiga flödesökningen och dels till den sänkning av vattentemperaturen som sker. Båda dessa faktorer inverkar menligt på reningsverkens funktion.

Kunskaperna om inverkan på våra reningsverk och kvalitativa och kvantitativa variationer i inkommande avloppsvatten är bristfälliga. Bristen på grundläggande kunskaper om processens mekanismer innebär att en processteknisk och ekonomisk optimal lösning av avloppsvattenreningen inte med tillfredsställande noggrannhet kan fastställas. En ökad forskningsinsats, där processerna studeras under definierade förhållanden och under noggrann kontroll av aktuella parametrar, är således nödvändig för att klargöra vilka mekanismer som styr de olika delprocesserna. Parallellt med detta bör studier av befintliga anläggningar utföras i fullskala, eftersom de praktiska problemen enligt ovan inte heller är klarlagda. Under de senaste åren har Svenska vatten- och avloppsföreningen (VAV) initierat ett antal projekt för driftstudier av avloppsreningsverk. Avsikten var att de på verken befintliga analysresultaten till stor del skulle kunna utnyttjas. Erfarenheterna från ett par driftstudier utförda vid Lunds Tekniska Högskola visar dock att dessa analysresultat ofta inte är användbara för sådana studier. I de flesta fall finns endast analysresultat från inkommande och utgående vatten, varför en resultatförändring inte kan hänföras till någon enhetsprocess och förklaras. Vid större reningsverk med större analysresurser är bilden oftast något bättre, men inte heller här är alltid de data som erfordras för en meningsfull driftanalys kompletta.

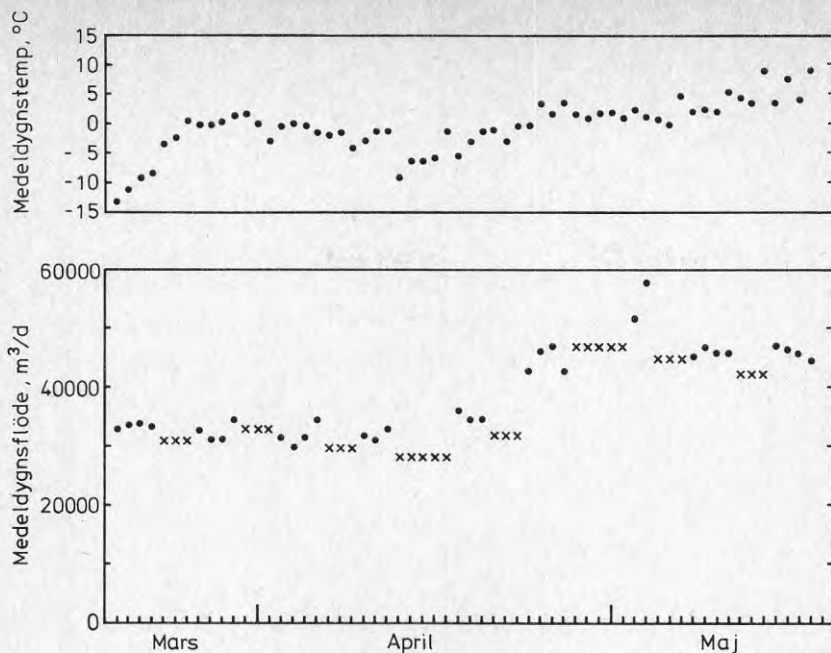
2. EFFEKT AV ÖKAD FLÖDESBELASTNING

Den ökade flödesbelastningen vid snösmältningen har en negativ effekt på samtliga processer i reningsverken. För att begränsa denna negativa effekt har i dimensioneringsnormer utgivna av Statens Naturvårdsverk (1971) angivits att reningsverkets biologiska och kemiska delar skall utformas så att dessa behandlingssteg utan väsentliga störningar och med bibehållen reningseffekt kan belastas med en vattenmängd motsvarande två gånger det dimensionerande flödet. Om reningsverket är försett med försedimenteringsbassänger skall dessa dimensioneras så att flöden motsvarande fyra

gångar det dimensionerande skall kunna avslammas utan att bassängernas funktion störs i nämnvärd grad. Om försedimenteringsbassänger saknas bör enligt Statens Naturvårdsverk regnvädersbassänger finnas för avslamning av flöden upp till två gånger det dimensionerade flödet. Flöden överstigande dessa värden skall med hjälp av bräddningsanordningar ledas förbi reningsverket. Detta innebär att recipienten vid kraftig snösmältning riskerar att få motta orenat eller endast mekaniskt renat spillvatten. Situationen förbättras i takt med utbyggnaden av duplikatsystem för avledning av spillvatten och dagvatten. Denna utbyggnad går dock av kostnadsskäl mycket långsamt, varför man för lång tid framåt måste räkna med att en stor del av ledningssystemet består av ett kombinerat system, där spillvatten och dagvatten avleds i samma ledningar.

Ett kombinerat ledningssystem innebär förutom att flödesbelastningen kraftigt ökar på reningsverket också att ofta okontrollerade bräddningar sker på flera ställen på ledningsnätet. Undersökningar i Lund visar att detta kan ge väsentliga bidrag till den totala utsläppta föroreningsmängden (Andersson-Falk, 1978).

En ökad flödesbelastning har som ovan påpekats en negativ inverkan på samtliga enhetsprocesser. Exempel på flödesökningar på upp till 300 procent vid snösmältning har rapporterats. I figur 1 visas hur inkommande flöde till Uddebo reningsverk i Luleå varierade under tiden mars-maj 1979. Dygnsmedelflödet under snösmältningsperioden ökade med ca 50 procent. Enstaka dygn var ökningen ända upp till 80 procent, då orsakad av kombinationen snösmältning-regn. Snösmältningsperioden var relativt utdragen 1979. Under den kortare snösmältningsperioden 1977 förekom flödesökningar på upp till 150 procent. Ledningssystemet i Luleå är i de äldre stadsdelarna huvudsakligen ett kombinerat system, medan nyare områden har duplikatsystem.

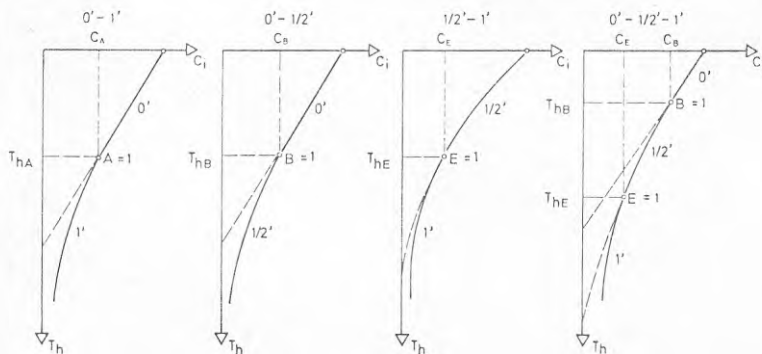


Figur 1. Dygnsmedelflöde till Uddebo reningsverk i Luleå tiden mars-maj 1979 samt luftens dygnsmedeltemperatur uppmätt i Bensbyn utanför Luleå. Punkter markerade med x utgör medelvärden över helger.

Den vanligaste processen vid avloppsreningsverk är sedimentering. En sedimenteringsbassäng dimensioneras så att den vid ett visst flöde skall kunna avskilja partiklar som har en sjunkhastighet överstigande ett visst bestämt värde (ytbelastningsteorin). Ett ökat flöde resulterar i en lägre avskiljningsgrad, eftersom partiklar med en sjunkhastighet som normalt är tillräcklig för att kunna separeras inte kan avskiljas.

Vid biologisk rening av vatten innehållande organiska ämnen antas kontakttiden mellan dessa ämnen och de aktiva organismerna vara en av de viktigaste faktorerna för resultatet. Ett ökat flöde innebär att denna kontakttid minskar med minskad reningseffekt som följd. Ett ökat flöde innebär dessutom att det "normala" spillvattnet späds ut. Om den biokemiska reaktionen kan beskrivas som

en första ordningens reaktion, vilket är ett vanligt antagande, kan denna utspädning resultera i att reaktionen övergår till att kontrolleras av substratdiffusionen från vattenfasen till biomassan. Därmed blir reaktionen beroende av substrathalten och en sänkt halt resulterar i en sänkt reduktion. Om processen kan beskrivas som en nollte ordningens reaktion kan en utspädning resultera i att den övergår till första ordningen eller blir diffusionskontrollerad, också detta med sänkt reduktion som följd (Harremoës, 1977). I figur 2 visas hur reaktionsordningen kan variera med substratkoncentrationen i en biologisk bädd. Av figuren



Figur 2. Fyra möjliga förändringar av reaktionsordningen i en biologisk bädd orsakad av förändringar i substratkoncentrationen. $1/2'$ representerar en diffusionskontrollerad reaktion för en biologisk film där endast yttre delen av filmen deltar i reaktionen. Beteckningar:

C = substratkoncentration

C_i = substratkoncentration i till processen inkommande vatten

A = övergång från $0'$ till $1'$ ordningens reaktion

B = övergång från $0'$ till $1/2'$ ordningens reaktion

E = övergång från $1/2'$ till $1'$ ordningens reaktion

T_h = uppehållstid

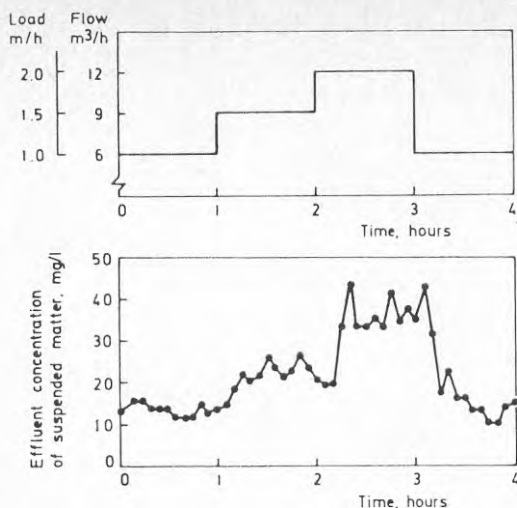
(Från Harremoës, 1977)

framgår att en förändring av C_i kan ändra hela reaktionsbilden. Liknande samband existerar för processer med suspenderade bakteriekulturer.

Kunskaperna om vilka mekanismer som styr de biologiska reaktionerna i våra reningsverk och därmed också effekterna av förändringar i inkommande flöde är små. Detta beror främst på det mycket komplicerade substrat som de organiska ämnena i ett avloppsvatten utgör.

En av de största riskerna vid en plötslig flödesökning när aktivt slam-metoden används är att det aktiva slammets delvis spolats ur den efter luftningsbassängen följande separationsprocessen. Om så sker kan inte en tillräckligt hög organismhalt upprätthållas i luftningsbassängen och reningseffekten minskar kraftigt. Effekten av en sådan slamförlust kvarstår också efter det att flödet återgått till normala värden och ända till dess en normal slamm mängd hunnit byggas upp.

Den kemiska fällningen vid våra avloppsreningsverk används främst för att minska avloppsvattnets halt av fosfor. När smältvatten tillförs avloppsvattnet minskar halten fosfor genom den utspädning som då sker. Normalt kan då doseringen av fällningskemikalier per volymenhet behandlat vatten minskas. I många fall ökar dock den totala åtgången av kemikalier. Detta beror på att man för att nå ett optimalt resultat strävar efter att nå ett visst pH-värde vid fällningen. Fällningskemikalien används således både för att fälla ut fosfor och för pH-justering och erforderlig kemikalie-mängd ökar på grund av att alkaliteten relativt sett minskar mindre än fosforhalten. En ökad flödesbelastning har som ovan nämnts också en negativ effekt på den efter den kemiska fällningen följande sedimenteringsbassängen. Effekten kan här bli mer påtaglig än vid övrig sedimentering, eftersom de kemiska flockarna ofta har relativt dåliga sjunkegenskaper. I figur 3 visas hur flock-koncentrationen förändras i utgående vatten från en konventionell sedimenteringsbassäng för avskiljning av kemsam vid ökad belastning. Försöken utfördes i halvteknisk skala.



Figur 3. Effekt av plötsliga flödesökningar på en sedimenteringsbassäng för avskiljning av kemsлам. (Från Andersson, 1976)

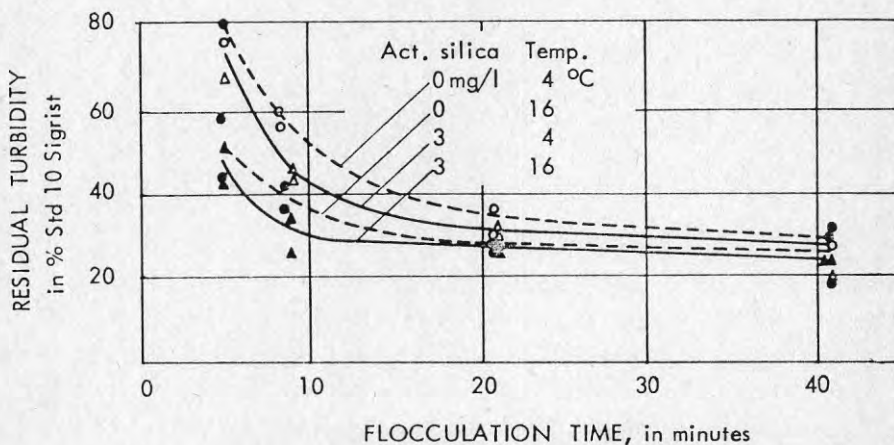
En flödesökning har som ovan nämnts en negativ effekt på funktionen hos våra reningsverk. Den mest dramatiska effekten erhålls emellertid när denna flödesökning sker under kort tid enligt figur 3, t ex vid kombinationen snösmältning - regn. Ofta resulterar en sådan snabb flödesökning i slamflykt, vilken dels ökar den utsläppta föroreningsmängden och dels - som ovan påpekats - kan resultera i en för avsevärd tid framåt nedsatt effektivitet hos den biologiska processen.

3. EFFEKT AV SÄNKT TEMPERATUR

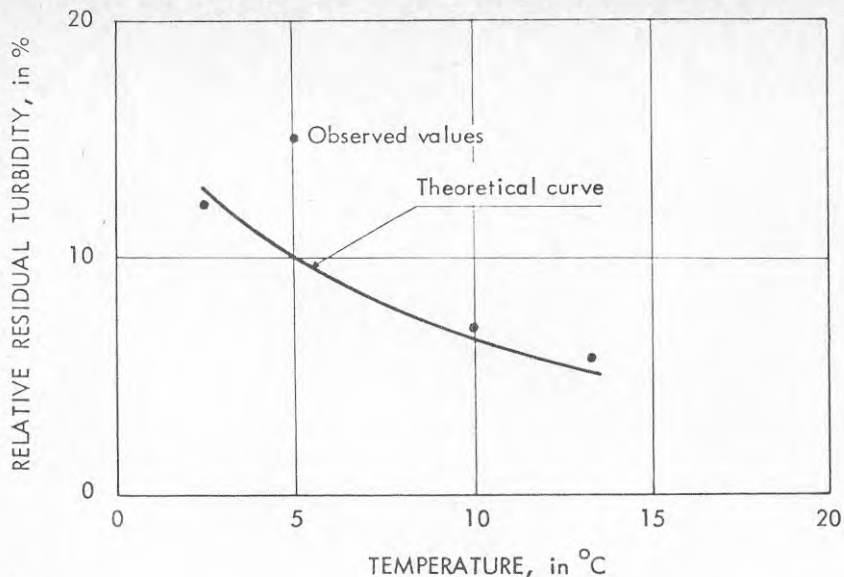
Ett kommunalt avloppsvatten har ofta en temperatur överstigande 10°C också kalla vinterdagar. Om smältvatten inleds i avloppssystemet sker dock en dramatisk temperatursänkning. Den mest påtagliga effekten av en sådan temperatursänkning är den ökning av vattnets viskositet som sker. I de reningsverk där finsilning eller sandfiltrering används resulterar en viskositetsökning i en sänkt maximal kapacitet för dessa processer. Tryckfallet antas vara direkt proportionellt mot viskositeten, varför en temperaturändring från 15°C till 5°C resulterar i en ökning av tryckfallet med över

30 procent. Vid sedimentering minskar flockarnas sjunkhastighet vid ökad viskositet, vilket resulterar i en lägre avskiljningsgrad. Enligt Stoke's lag, vilken dock endast kan användas vid låga värden på Reynold's tal, är sjunkhastigheten omvänt proportionell mot viskositeten. Effekten av temperaturen har visats minska med ökande flock-koncentration (Reed-Murphy, 1969).

Också den kemiska fällningen påverkas av en viskositetsökning. Erforderlig effekt för intensivinblandning av kemikalierna ökar. Flockningen påverkas så att de bildade flockarna blir mindre vid ökad viskositet. Därmed minskar sjunkhastigheten, vilket dels är en effekt av att flockstorleken minskar och dels - som nämnts ovan - av att viskositetsökningen minskar sedimenteringshastigheten. Orsaken till att flockstorleken minskar vid ökande viskositet är att den skärspänning som flockarna utsätts för vid flockningen ökar. Temperatureffekten vid flockningsprocessen är särskilt påtaglig vid korta flockningstider. Effekten kvarstår dock också vid längre flockningstider (Hedberg, 1976). Detta illustreras i figur 4. I figur 5 visas temperaturens totala effekt på flockningen och sedimenteringen vid försök i fullskala.



Figur 4. Effekt av flockningstid och temperatur vid sedimentering med låg belastning (flockningstid 30 minuter, sedimenteringsdjup 0,1 meter). (Från Hedberg, 1976)



Figur 5. Temperaturen effekt på flockning och sedimentering vid försök i fullskala. (Från Hedberg, 1976)

Inverkan av temperaturen på de biokemiska reaktionerna som sker i de biologiska reningsprocesserna har i allmänhet antagits kunna beskrivas med hjälp av van't Hoff-Arrhenius samband, vilket i den förenklade form det normalt används skrivs

$$k_2 = k_1 \cdot \theta^{T_2 - T_1}$$

där

k_1 = reaktionshastighet vid temperaturen T_1

k_2 = reaktionshastighet vid temperaturen T_2

θ = konstant

Värdet på θ har emellertid kunnat visas bero på belastningen av organiska ämnen så att temperatureffekten ökar vid ökande belastning (se t ex Maier-Behn-Gates, 1967 och Bruce, 1971). Någon tillfredsställande förklaring till detta har inte kunnat ges. En användning av ovanstående uttryck för beräkning av temperatureffekten förutsätter att reaktionshastigheten begränsas av de metaboliska reaktionerna. En sänkning av temperaturen kan dock

resultera i att processen i stället styrs av diffusionshastigheten. Kunskaperna om dessa förlopp är dock små. Också temperaturens inverkan på sambandet mellan adsorptionen av fina suspenderade och kolloidala partiklar och oxidationsprocessen är i stort okänd.

Inverkan av högre organismer i den biologiska reningsprocessen har - speciellt vid användande av stationära kulturer som t ex i biologiska bäddar - kunnat visas vara positiv för effektiviteten. Dessa organismer "betar" kontinuerligt av bakteriekulturen, vilken är mest aktiv när den växer. En låg temperatur påverkar emellertid de högre organismerna i högre grad än bakterierna, varför den positiva effekten av "betningen" minskar vid sänkt temperatur (Hawkes, 1960). Vid högbelastade biologiska anläggningar är dock troligen effekten av denna "betning" liten även vid högre temperatur. Kontroll av den biologiska påväxtens tjocklek kan vid användning av stationära kulturer ske hydrauliskt, vilket kan vara nödvändigt vid låga temperaturer (se t ex Hawkes-Shepherd, 1971 och Särner, 1978).

Vid flera avloppsreningsverk övervägs om den biologiska reningen skall drivas så långt att en nitrifiering erhålls. Detta kan vara motiverat av vattenvårdsskäl, eftersom oxidationen av kväve är en syrekrävande process som kan förorsaka syrebrist i recipienten. Några krav på nitrifiering finns ännu inte i Sverige. Skälet till att en nitrifiering övervägs vid en del verk - och i några fall också tillämpas - är att vattnets buffertkapacitet då minskar, varvid kemikaliedoseringen vid en efterfällningsanläggning kan minskas. Stora besparingar kan därmed göras såväl vad gäller slamhanteringen som kemikalieåtgången (se t ex Strandsäter, 1979). Nitrifieringsprocessen är dock temperaturkänslig, vilket innebär att den helt kan upphöra om smältvatten inleds i avloppsledningssystemet.

4. DISKUSSION

Av ovanstående framgår att den belastning av smältvatten som sker på våra reningsverk har flera negativa effekter på såväl reningsgraden som på den praktiska driften av verken. Utbyggnaden av ledningsnätet till duplikatsystem kommer visserligen att minska denna belastning i framtiden, men på grund av de stora kostnader som fordras för ombyggnaden kommer vi för lång tid framåt att få acceptera en belastning av smältvatten. Dessutom kommer troligen

också efter en fullständig omläggning till duplikatsystem dräneringsvattnet att avledas i spillvattenledningarna. Dräneringsvattnet utgör en icke oväsentlig del av totalflödet till reningsverken. En möjlighet att utjämna flödesbelastningen vid stora regn- och smältvattenmängder är att anordna utjämningsmagasin i avlopps nätet (se t ex Bergström, 1976) eller vid reningsverket. Effekten av temperatursänkningen kvarstår dock. Möjligheten att infiltrera dagvattnet lokalt har också diskuterats och i vissa fall genomförts. Förutsättningarna för denna metod varierar dock troligen kraftigt från plats till plats beroende på olika geotekniska och statsplanemässiga förhållanden, varför generella tekniska lösningar knappast existerar för genomförandet.

Vid avloppsreningsverken finns registrerande flödesmätare, vilket innebär att flödesökningen på grund av snösmältningen relativt enkelt kan beräknas. Tyvärr saknas i de allra flesta fallen analysresultat som visar effekten av smältvattnet på reningsgraden. I de fall där sådana analysresultat finns är dessa i allmänhet utförda på till verket inkommande och från verket utgående vatten, varför inverkan på varje delprocess är okänd och effekten av flödesökningen resp temperatursänkningen inte kan särskiljas och kvantifieras. Behovet av ökade kunskaper om inverkan av låga vattentemperaturer på våra reningsverk har på senare tid aktualiserats genom att planer på värmeutvinning ur avloppsvatten med värmepumpar diskuterats. Denna värmeutvinning är effektivast ute på ledningsnätet (d v s före reningsverket), dels därför att värmeförlusten till omgivande mark inte hunnit bli alltför stor och dels på grund av närheten till konsumenterna. Om ett sådant värmeuttag skall ske måste emellertid effekten på reningsverket vara känd, vilket inte helt är fallet.

Behovet av ökade kunskaper om när föroreningarna i snön frigörs är stort. Studier av eventuella gifteffekter i reningsverkets biologiska del liksom i recipienten under snösmältningen bör utföras för att bättre kunna bedöma behovet av separat rening av smältvatten från vissa utsatta ytor och snötappar. Smältvattnets sammansättning skiljer sig väsentligt från ett "normalt" kommunalt avloppsvatten, t ex vad gäller halter av organiska ämnen och vissa metaller. Avskiljningsgraden för de flesta metaller är låg (normalt mindre än 50 procent) i de kommunala avloppsreningsverken (Nilsson, 1977), varför smältvattnet av detta skäl - förutom tidigare nämnda - i minsta möjliga utsträckning bör ledas till

reningsverket. I vissa fall kan en separat förbehandling av smältvattnet för avskiljning av vissa metaller före rening i avloppsreningsverket tänkas vara lämplig, speciellt om smältvattnet innehåller organiska ämnen. Nya enkla processer för rening av förorenat smältvatten skulle i så fall behöva utvecklas.

5. REFERENSER

Andersson, B "Optimering av enhetsprocesskombinationer; System för efterfällning", Avd för VA-teknik, Lunds Tekniska Högskola, Bulletin Serie VA nr 10, Lund 1976.

Andersson, B, J Falk "Vattenomsättning för tätoren Lund", Vatten, nr 4, 1978.

Bergström, T "Utjämningsmagasin i avloppsnät", Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, Publikation VAV P31, Stockholm 1976.

Bruce, A M "Some factors affecting the efficiency of high-rate biological filters", 5th International Water Pollution Research Conference, July-August 1970, Pergamon Press, Oxford 1971.

Harremoës, P "Half-order reactions in biofilm and filter kinetics", Vatten, nr 2, 1977.

Hawkes, H A "Ecology of activated sludge and bacteria beds", Waste Treatment (Ed. Isaac), Pergamon Press, Oxford 1960.

Hawkes, H A, M R N Shepherd "The seasonal accumulation of solids in percolating filters and attempted control at low frequency dosing", 5th International Water Pollution Research Conference, July - August 1970, Pergamon Press, Oxford 1971.

Hedberg, T "Flocculation, sedimentation and filtration; A technical and economic analysis of water treatment", Inst för VA-teknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1976.

Maier W J, V C Behn "Simulation of the trickling filter process", Journal Sanitary Engineering Division, No SA4 1967.

Nilsson, P "Materialbalans- och funktionsstudier vid reningsverk", Avd för VA-teknik, Lunds Tekniska Högskola, Bulletin Serie VA nr 18, Lund 1977.

Reed, S C, S R Murphy "Low temperature activated sludge settling", Journal Sanitary Engineering Division, NO SA4 1969

Statens Naturvårdsverk "Dimensionering av kommunala avloppsreningsverk", Solna 1971.

Strandsäter, W "Driftövervakning och mätteknik vid VA-anläggningar; Styrning av nitrifikation vid Huskvarna reningsverk", Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, Meddelande VAV M26, Stockholm 1979.

Särner, E "Plastic-packed trickling filters; A study of high-rate plastic-packed trickling filters in a post-precipitation system", Avd för VA-teknik, Lunds Tekniska Högskola, Bulletin Serie VA nr 21, Lund 1978.

I Sverige fördelar sig mängden snönederbörd på ett annat sätt än den totala nederbörds mängden. I södra Sverige kan vissa år mindre än 10 % falla som snö medan motsvarande procentandel för norra Sverige kan uppgå till 50 %. Detta förhållande innebär att de ansmältande snömängderna kan variera avsevärt mellan olika regioner. Även inom en tätort är snömängderna ojämnt fördelade till följd av plogning och bortforsling.

Smältvattnet från tätorternas snö är i regel mer förorenat än dagvatten vid regn. Föroreningshalterna i smältvattnet varierar med olika föroreningskällor och med hur snön hanterats vid snöröjningen.

Snö från grönytor och andra orörda ytor har ungefär samma sammansättning som dagvatten. *Detta smältvatten kan avledas naturligt till mark eller via dagvattensystem till recipient utan någon större ökning av de skadeeffekter dagvattnet eljest förorsakar.*

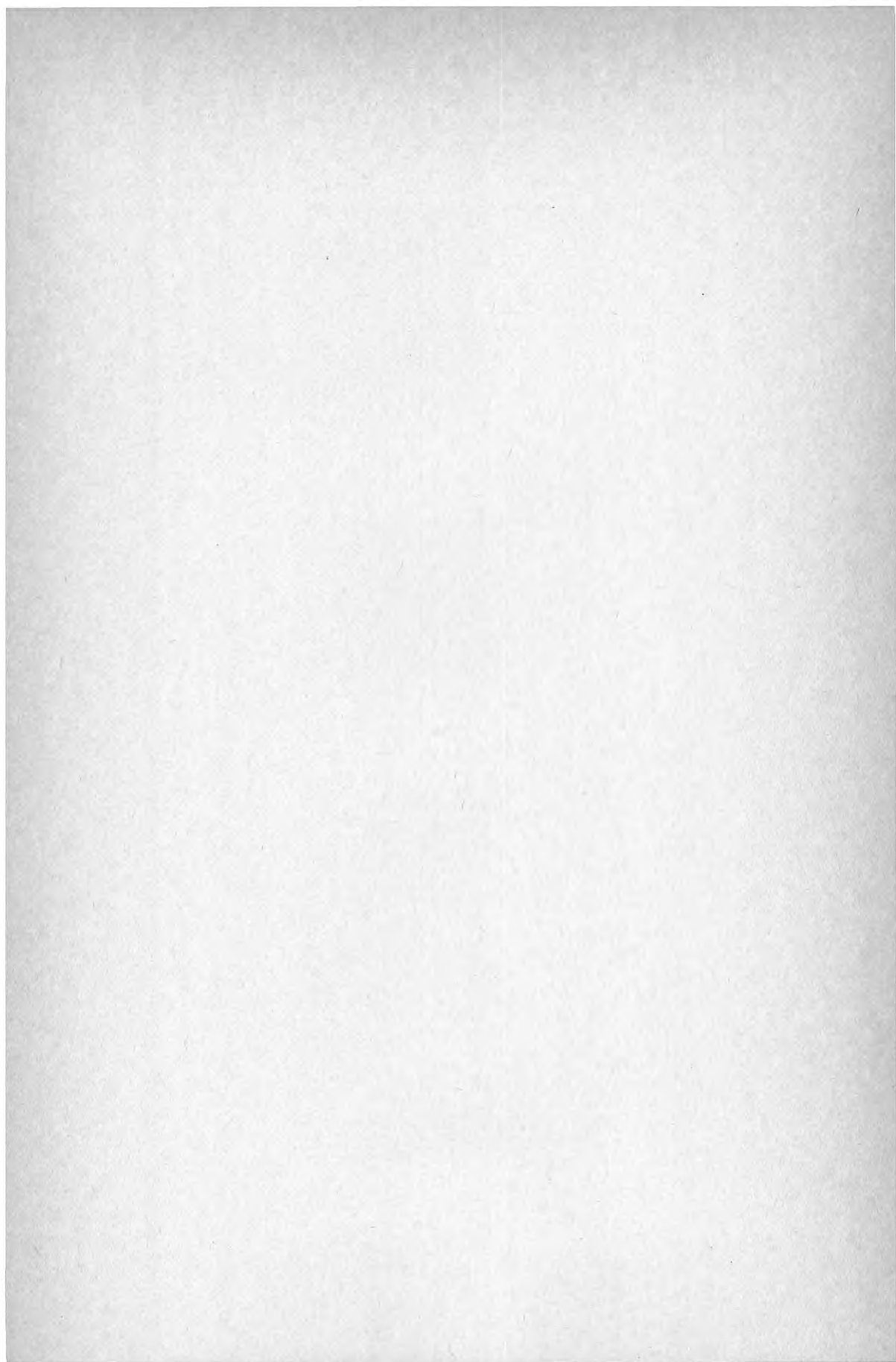
Snö som transporteras bort omedelbart efter ett snöfall innehåller i allmänhet inte mer föroreningar än motsvarande mängd dagvatten. *Denna snö kan tippas på land eller i vattendrag om recipienten normalt kan anses ta emot dagvatten. Det skall observeras att grövre föremål medföljer snön vilket också kan utgöra en estetisk olägenhet.*

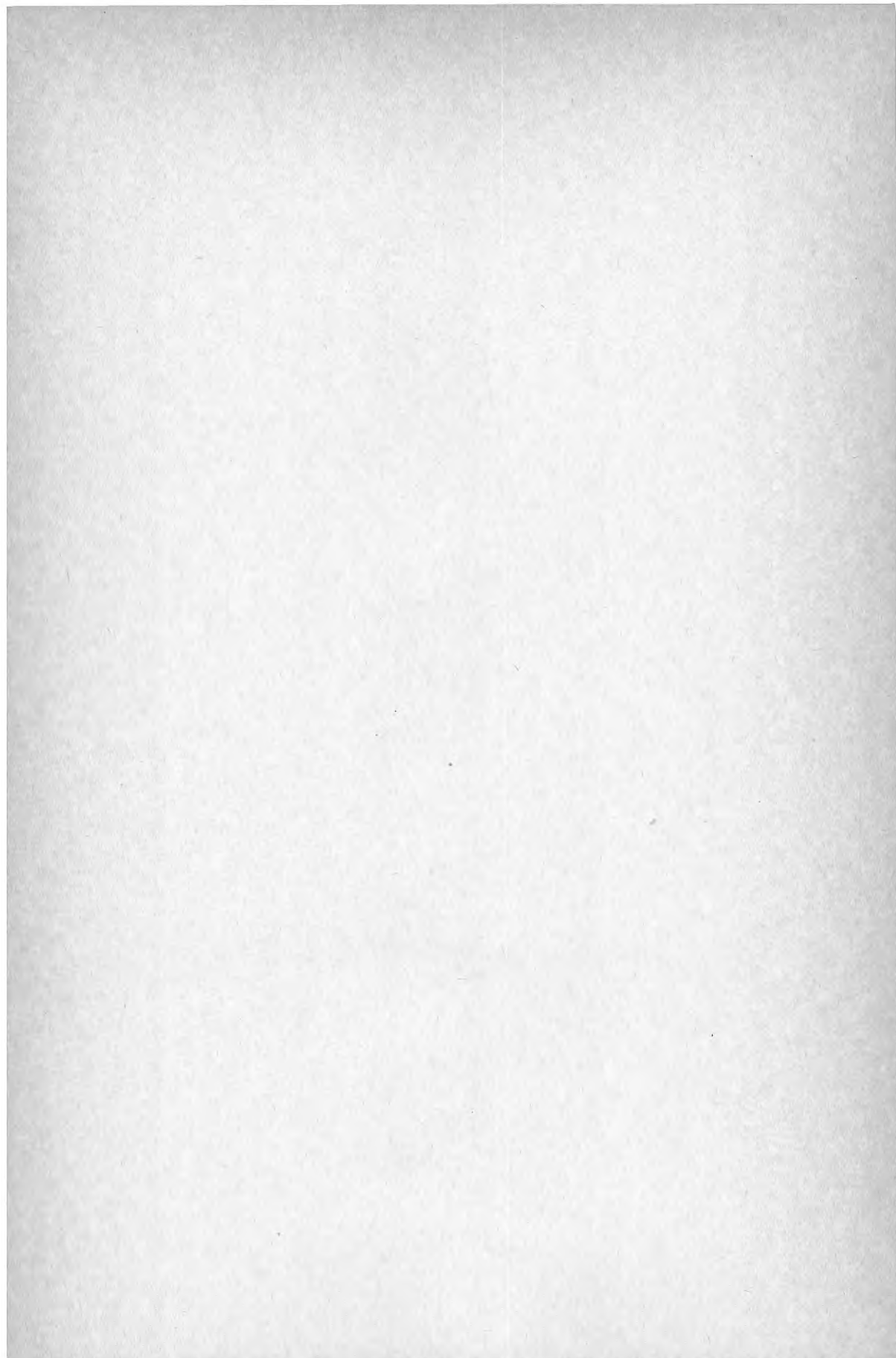
Även snö som fått ligga kvar länge vid mindre trafikerade gator i snösträngar och snöhögar kan vara relativt förorenad. Smältvattnet kan ha orsaka skador på recipienten. *Denna snö bör dock få ligga kvar om recipientförhållandena medger en något större föroreningsbelastning än normalt dagvatten. Om så ej är fallet bör en plats för landtippning väljas och åtgärder vidtas så att mark, grundvatten och ytvatten kan klara den ökade föroreningsbelastningen. Landtippen bör därför planeras och skötas lika omsorgsfullt som en avfallstipp. Utjämning och rening eller överföring till reningsverk bör övervägas för smältvattnet.*

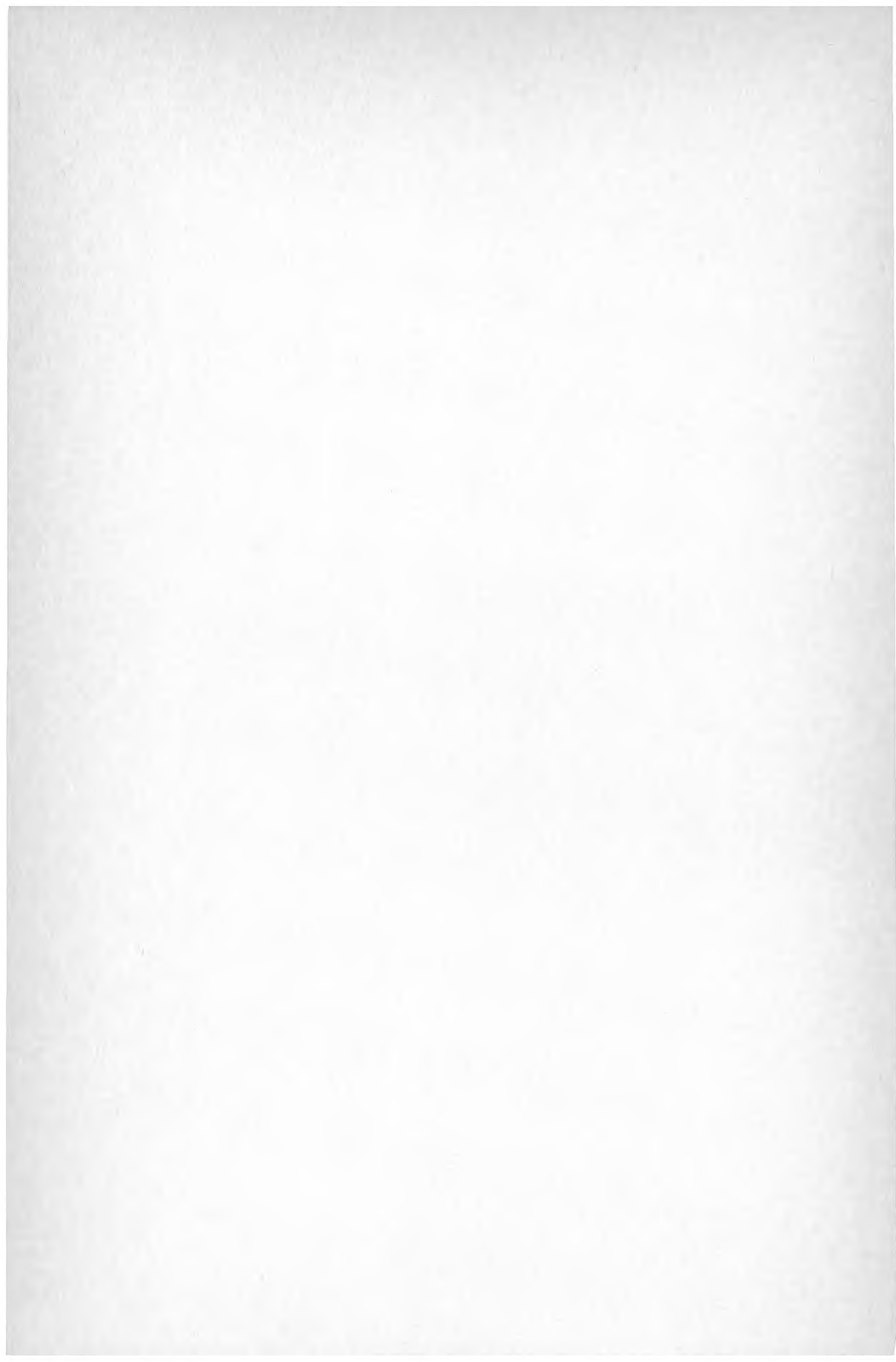
Snö som legat länge vid starkt trafikerade stråk är extremt förorenad. *Detta smältvatten bör behandlas som spillvatten och föras till reningsverk.*

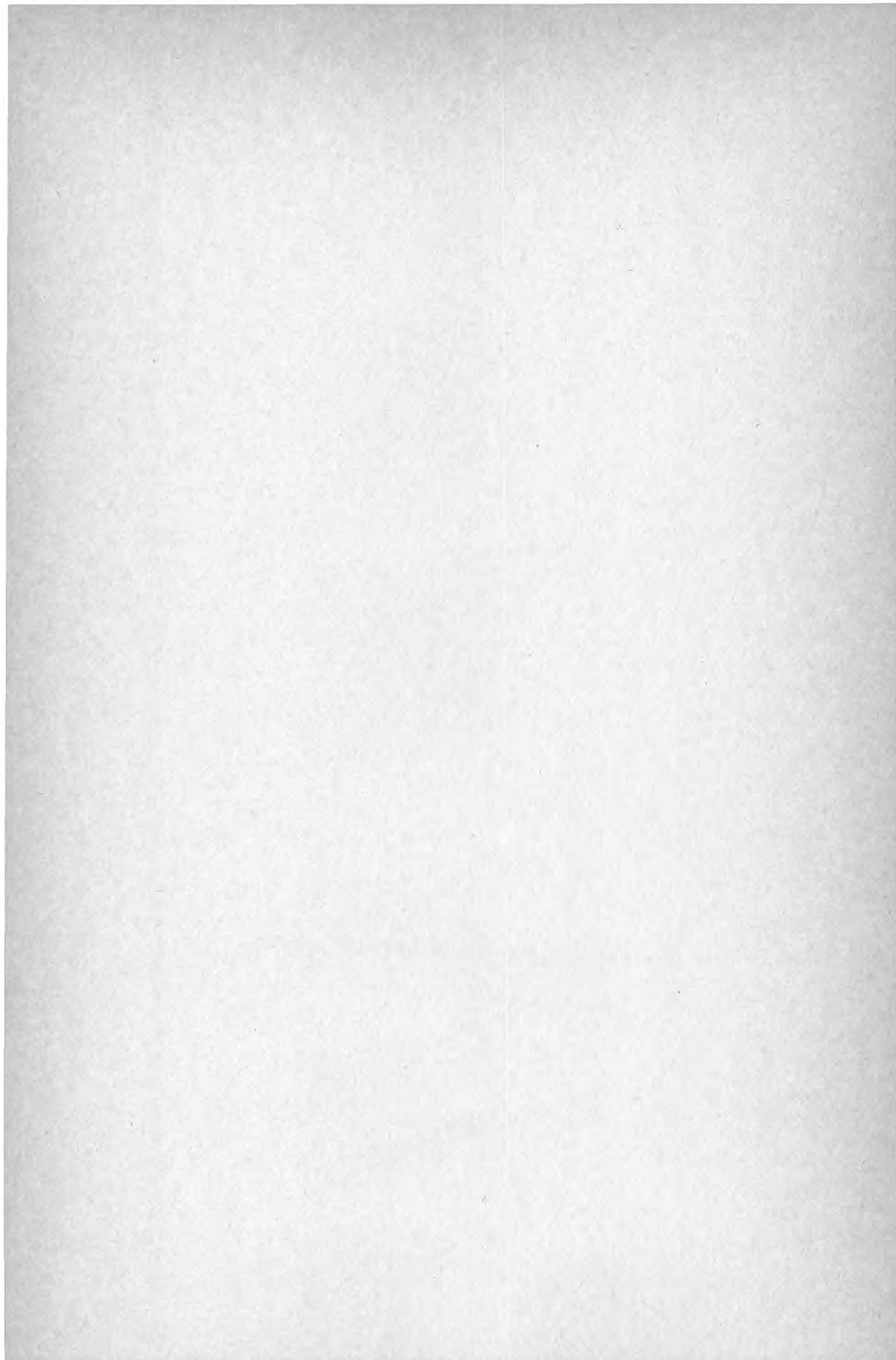
Saltning och sandning medför ytterligare föroreningar för smältvattnet vilket kan medföra att den normala recipienten inte tål smältvattenutsläppet. *Saltupplag och upplag av saltblandad sand bör övertäckas för att minska risken för urlakning.*

Snösmältningen medför en kraftig hydraulisk belastning på reningsverken med försämrat reningsresultat som följd. Anläggande av utjämningsmagasin kan förbättra denna situation. Kraftigt förorenat smältvatten kan genom höga metallhalter eventuellt störa eller tom förgifta den biologiska delen av verket. För speciellt nedsmutsad snö bör därför en separat förbehandling av smältvattnet övervägas om detta är tekniskt möjligt.









Rapporten har tagits fram av Byggforskningsrådets "Snögrupp"

R27: 1980

ISBN 91-540-3191-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr:6700127

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms