

Vattenomsättning i några svenska städer

Lars Bengtsson
Janusz Niemczynowicz



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

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

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

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

Ola Burström, ordförande
Roger Bergström
Bengt Göran Hellström
Staffan Holmberg
Pär Jönsson
Peeter Maripuu
Stefan Marklund
Peter Stahre
Jan Söderström

Skellefteå
Svenskt Vatten AB
Stockholm Vatten AB
Haninge
Östersund
Vaxholm
Luleå
VA-verket Malmö
Sv kommunförbundet

Asle Aasen, adjungerad
Thomas Hellström, sekreterare

NORVAR, Norge
Svenskt Vatten AB

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

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

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Vattenomsättning i några svenska städer
Title of the report:	Water cycles in some Swedish cities
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2003-33
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-97-9
Författare:	Lars Bengtsson och Janusz Niemczynowicz, Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola
VA-Forsk projekt nr:	99-125
Projektets namn:	Vattenbalans i svenska städer
Projektets finansiering:	VA-Forsk
Rapportens omfattning Sidantal:	24
Format:	A4
Sökord:	Vattenbalans, dagvatten, läckage, dränering
Keywords:	Water balance, storm water, leakage, drainage
Sammandrag:	Den inre och yttre vattenomsättningen i sex svenska städer har studerats. Dagvatten från hårda ytor till kombinerade system har beräknats liksom dränering av mark och grundvatten till detta system. Diffus avrinning utanför spill- och dagvattensystem har också beräknats. Inläckage till spillvattensystem är ganska lika i de sex städerna. Det diffusa flödet till recipienter beror på klimatfaktorer.
Abstract:	The inner and outer water balance in six Swedish cities has been studied. Direct stormwater contribution to the combined system has been determined, as has drainage of soil and groundwater to this system. Diffuse runoff not being in the sewerage or stormwater systems has also been determined. The leakage into the sewerage system is almost the same in all cities. The diffuse runoff depends on climatic factors.
Målgrupper:	Kommuner, konsultföretag
Omslagsbild:	Hyllie vattentorn, foto Krister Carlsson, Svenskt Vatten AB
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2003
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Sammanfattning

Den inre och yttre vattenomsättningen i sex svenska städer, från Lund till Luleå, har studerats. Direkt dagvattentillskott till kombinerade system har beräknats, liksom dränering av mark och grundvatten till detta system. Diffus avrinning utanför spill- och dagvattensystem har också beräknats. Stadsplaneringsfaktorer som vattenproduktion, ledningslängder per person, snabb urban avrinning från hårda ytor, är ganska lika för städerna. Inte heller inläckage till spillvattensystem är särskilt annorlunda i städerna. Det diffusa flödet till recipienter beror emellertid nästan helt på klimatfaktorer.

Summary

The inner and outer water balance in six Swedish cities, from Lund to Luleå, has been studied. Direct stormwater contribution to the combined system has been determined, as has drainage of soil and groundwater to this system. Diffuse runoff not being in the sewerage or stormwater systems has also been determined. Urban planning factors, such as water production, pipe length per person, quick runoff from impermeable surfaces, are similar for all the cities. Also the leakage into the sewerage- or combined system is almost the same. However, the diffuse runoff is very much dependent on climatic factors.

Förord

Vattenbalansen i staden är olika den i naturliga områden främst beroende på snabb ytavrinning från hårdgjorda ytor och reducerat antal ytor från vilka avdunstning kan ske. Vatten förs in till staden för vattenförsörjning. Genom direkt avledning av regnvatten till kombinerat spillvattensystem och genom läckage och dränering förs vatten mellan det inre vattenförsörjning – spillvattensystemet och det yttre naturliga systemet, vilket till del utgörs av det separata dagvattensystemet. Urbaniseringens inverkan på vattenbalansen var föremål för en rad studier på 70- och 80- talen, men inriktningen var mest omhändertagande av dagvatten och bestämning av dimensionerande flöden. Stadens vattenbalans är därför fortfarande ganska oklar.

I föreliggande arbete har den inre och yttre vattenomsättningen beräknats för sex svenska städer. Arbetet har utförts med bidrag från VAVFORSK till Janusz Niemczynowicz. Lars Bengtsson har slutfört arbetet, sedan Janusz Niemczynowicz pensionerats. Uppgifter om flöden har erhållits från reningsverken i Helsingborg, Halmstad, Borås och Sundsvall. Dessutom hade författarna tillgång till gamla data från Lund och Luleå. Vattenförbrukningen har tagits fram utifrån uppgifter från DRIVA Statistik och VAV Statistik (statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk). Uppgifter om hårdgjorda ytor kopplade till kombinerade system har till stor del erhållits från svenska DHI. Författarna tackar Dr. Claes Hernebring för hjälp med kompletterande uppgifter om de studerade städerna

Lund i maj 2003

Lars Bengtsson och Janusz Niemczynowicz

Professor Lars Bengtsson
Teknisk vattenresurslära, LTH
Box 118, 221 00 LUND
Lars.Bengtsson@TVRL.LTH.se

Professor Janusz Niemczynowicz
Teknisk vattenresurslära, LTH
Box 118, 221 00 LUND
Janusz.Niemczynowicz@TVRL.LTH.se

Innehåll

Inledning	1
Vattenflöden i staden	1
Beräkningsmetodik	4
Schablonberäkningar	6
Vattenbalansstudie för Lund	8
Vattenbalansstudie för Luleå	8
Vattenbalans för andra städer	8
Vattenbalans för Helsingborg	12
Vattenbalansen för Halmstad	12
Vattenbalans för Borås	14
Vattenbalans för Sundsvall	16
Syntes	17
Referenser	19

Inledning

Vattenbalansen i en stad är drastiskt annorlunda än i ett naturligt område. I stort sett allt regnvatten från hårdgjorda ytor leds bort endera tillsammans med spillvattnet i kombinerade system eller i separata dagvattensystem. Sommar och vinterförhållanden är olika. Snö som faller på hårdgjorda ytor, t.ex. gator, parkeringsplatser och torg, röjs i regel undan och läggs upp intill ytorna eller, om det rör sig om mycket centrala områden, körs till stora snödeponier utanför staden.

Den yttre vattenbalansen för staden borde egentligen bara vara balansen mellan nederbörd, avdunstning och avrinning. Emellertid samverkar oftast den inre och yttre vattenomsättningen med varandra. Den inre vattenbalansen är den som styrs av vattenkonsumtion i staden. I princip skall vatten som förs till staden och via dricksvattenledningar efter användande föras till reningsverk och ut till recipient. Den inre vattenbalansen är då separerad från den yttre vattenbalansen. Det förekommer emellertid ett stort läckage av dricksvatten, 25 % är inte ovanligt i vissa städer. Detta läckagevatten går från det inre till det yttre systemet. Spillvattenledningar kan fungera som dräneringsledningar. Inläckande vatten överförs från det yttre naturliga systemet till det inre systemet. Andra möjligheter till överföring mellan system är när kombinerade ledningssystem bräddar och när husdräneringsvatten förs till spillvattnet. Den allra tydligaste sammankopplingen mellan inre och yttre balans är emellertid då dagvattnet förs till ett kombinerat ledningssystem och tillsammans med spillvattnet förs till reningsverk.

I föreliggande arbete har det vid reningsverk uppmätta spillvattenflödet jämförts med nederbörden i några svenska städer med avsikt att upprätta grova vattenbalanser. Vattenförbrukningen var känd så det var möjligt att uppskatta mängden ovidkommande vatten i spillvattenledningarna. Genom att beräkna tillskottet av nederbördsvatten från hårdgjorda ytor till spillvattnet, kunde inläckaget uppskattas som restterm. De städer som valts att studeras är Helsingborg, Halmstad, Borås och Sundsvall. Jämförelse görs dessutom med Lund och Luleå. För Helsingborg används 1998 års flöden till Öresundsverken, för Halmstad 1998 års flöden till Västra Strandens reningsverk, för Borås 1996 års flöden till Gasslösa reningsverk och för Sundsvall 1993 års flöde till Tivoliverken. Vattenförbrukningen har tagits fram utifrån uppgifter från DRIVA Statistik och VAV Statistik (statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk). Uppgifter om hårdgjorda ytor kopplade till kombinerade system har till stor del erhållits från svenska DHI. Nedan behandlas först de olika städerna var för sig, varefter övergripande syntes och analys görs. Allra först ges dock en allmän beskrivning av flödesvägar och en beskrivning av den beräkningsmetod som utnyttjas i detta arbete.

Vattenflöden i staden

Den naturliga vattenbalansen utan vattenuttag eller tillförsel av vatten utgörs av balans mellan nederbörd, avdunstning och avrinning. Över kortare tidsperioder än år påverkas avdunstning och avrinning av magasinering i form av snö, markvatten, grundvatten och ytvatten. I en stad är magasinen i form av snö och markvatten viktigast. I den sydligaste staden, Lund, och den nordligaste staden, Luleå, som tagits med i denna undersökning, är årsvattenbalansen i mycket grova siffror för Lund, $650 = 450 + 200$ mm och för Luleå $600 = 300 + 300$ mm, där första värdet anger nederbörd, andra värdet avdunstning och tredje värdet avrinning. I Luleå faller 40 % av nederbörden, 250 mm, som snö. Avrinningen är för naturliga områden ganska koncentrerad till snösmältning.

Dagvattnet kan tas om hand i speciella dagvattenledningar eller tillsammans med spillvattnet i kombinerade ledningar. Dagvattnet kan också tas om hand lokalt varvid man låter det infiltrera. När dagvattnet behandlas lokalt, blir det en del av det naturliga systemet även om det rinner av från hårdgjorda ytor. Om avrinnande vatten från hårda ytor leds till ledningar, som leder till recipienter, så blir i stort sett all nederbörd på dessa hårda ytor avrinning. Avrinningen ökar då med andelen hårdgjord yta i staden. Den enkla principiella skillnaden mellan hydrologin i ett hårt urbaniserat område och ett naturligt område visas i Figur 1. Allt regnvatten rinner av från asfaltytor, vilket leder till låg grundvattennivå. I ett naturligt område infiltrerar regnvattnet, varefter det endera avdunstar eller bildar grundvatten, som sedan rinner mot ett vattendrag.

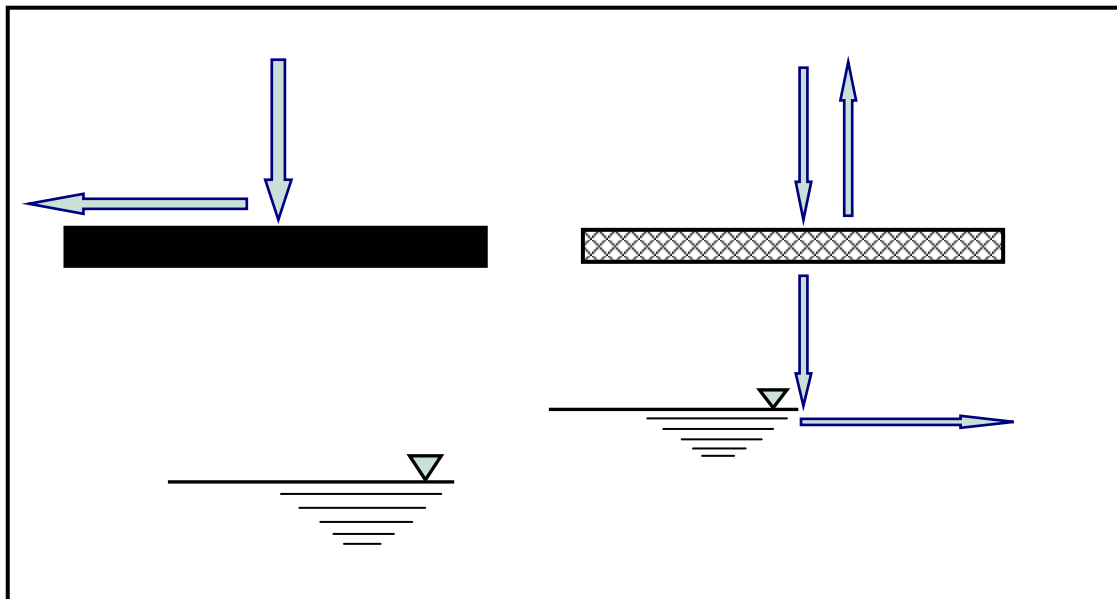


Fig. 1. Vattenbalans och regnavrinning från helt urbaniserat område (vänster) respektive naturligt område (höger) med avdunstning och grundvattenflöde. Grundvattennivån är lägre i det urbaniserade området.

När dagvatten tillförs ett kombinerat system med spillvatten, samverkar den naturliga vattenomsättningen med stadens inre vattensystem. Flöden som finns i den inre och yttre vattenomsättningen visas i Figur 2, som också visar samverkan mellan systemen. Det inre vattensystemet utgörs av konsumtionsvatten, som transporteras i dricksvattenledningar från vattenverk i regel via vattentorn till konsument och som sedan förs till reningsverk. Om konsumtionsvatten används för bevattning, förs detta vatten till det naturliga systemet och det mesta avdunstar. Gatuspolning i områden med separat dagvattensystem är ett annat exempel, men då går allt vattnet ut i en recipient. När dagvatten förs till ett kombinerat system går det från det naturliga yttre vattensystemet till det inre. Vid kraftig nederbörd, pumpstopp eller hydraulisk nedsättning av en lednings kapacitet kan ledningens kapacitet vara för låg för det framrinnande vattenflödet. Det kombinerade dag- och spillvattnet bräddar till en recipient. Vatten från stadens inre vattensystem tillförs det yttre systemet.

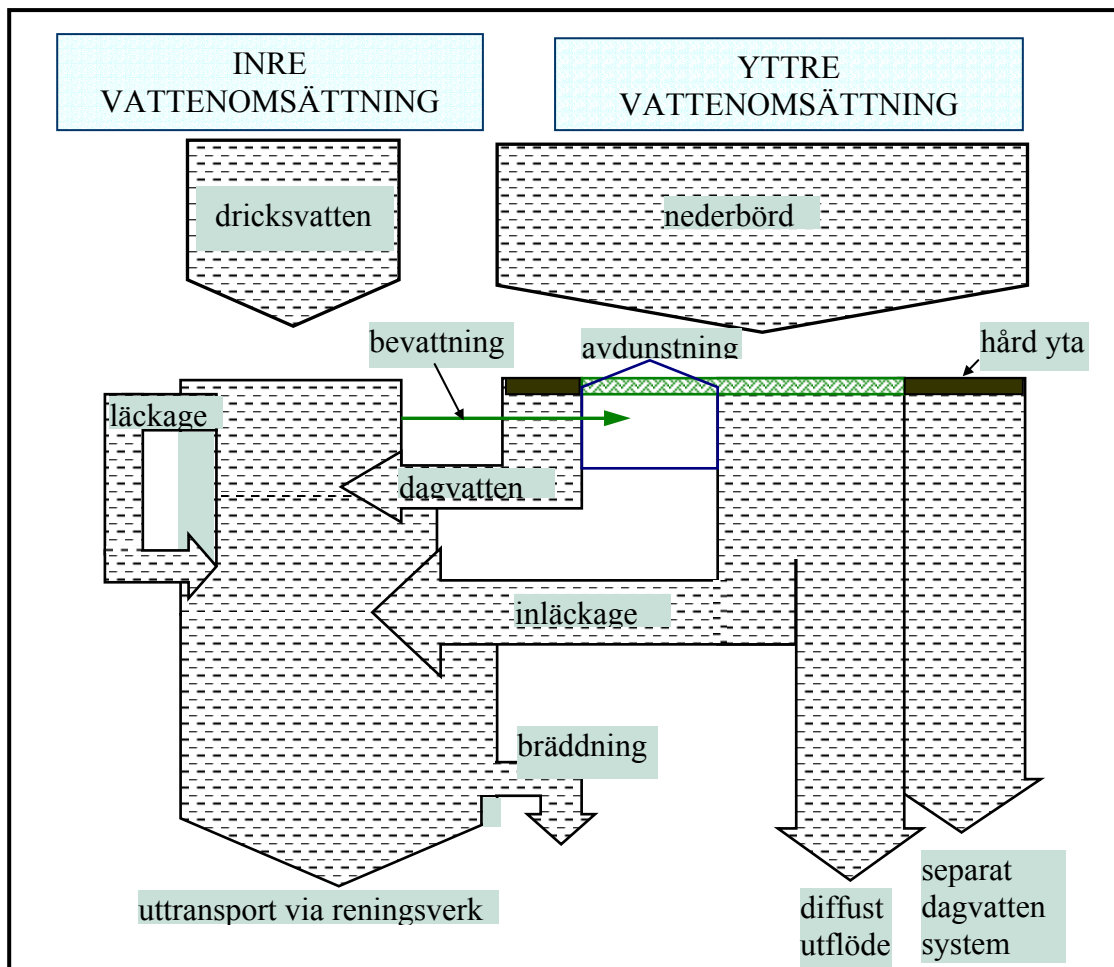


Fig. 2. Vattenflöden i stadens inre och yttre vattensystem.

I de flesta svenska städer läcker ganska mycket vatten ut från dricksvattennätet. Vatten flyttas från det inre till det yttre systemet. Läckaget är ofta ganska diffust; det finns många små läckor. Läckage kan också uppstå genom större eller mindre rörbrott. I sådana fall vidtar man åtgärder så fort som möjligt.

Där grundvatten står högt, eller där det tillfälligt i samband med snösmältning eller långvariga regn stiger, fungerar spillvattenledningarna ofta som dränering. Husdräneringar brukar dessutom vara kopplade till spillvattnet. Inläckande grundvatten till spillvattnet är en överföring från stadens yttre naturliga system till det inre. Eftersom spillvattenledningen ligger under dagvatten- och dricksvattenledningarna, kan vatten från dessa båda ledningar nästan direkt läcka in i spillvattenledningen. Mängden inläckande vatten under och månaden efter snösmältningen motsvarar i en rad Norrlandskommuner hela det normala spillvattenflödet. I andra områden än där inläckage sker kan visst läckage ut från spillvattenledningar förekomma, speciellt om dessa står under tryck vid pumpning.

Snöns roll i tätortens vattenomsättning är annorlunda än regnets. Snö på gator, parkeringsplatser, torg och andra liknande ytor, skottas bort och läggs upp på närbelägna ytor eller bortforslas helt ut ur staden. När snön smälter kommer därför endast en liten del av smältvattnet att direkt tillföras ledningssystemen. Smältvattnet brukar emellertid orsaka förhöjda grundvattennivåer, vilket resulterar i stort inläckage i spillvattensystemen, vilket i sin tur medför att mycket vatten måste bräddas innan det når reningsverken.

Beräkningsmetodik

Avsikten är att först bestämma de olika flödena i och mellan de båda vattensystemen. Inom hydrologin brukar man ange flöden per ytenhet. Så görs också här, vilket innebär att inte bara nederbörd utan också avrinning och dricksvattenflöden uttrycks i mm/tidsenhet, där tidsenheten i regel är år. Mängden producerat vatten i en stad med 100 000 innevånare kan vara 10 miljoner m³/år. Stadens yta kan vara upp mot 50 km². Den producerade vattenmängden skulle i så fall vara 200 mm/år. Denna siffra kan då jämföras med årsnederbörden, som t.ex. för Helsingborg är 800 mm/år.

Om uppgifter finns på producerad mängd vatten, V_{prod} , och konsumerad mängd vatten, V_{kons} , kan man bestämma läckningsmängden, $L_{\text{ut, drick}}$

$$L_{\text{ut, drick}} = V_{\text{prod}} - V_{\text{kons}} \quad (1)$$

Det från dricksvattensystemet utläckande vattnet dräneras i ganska stor utsträckning in i nedanförliggande spillvattenledning, såvåda läckaget inte är från större tillfälliga läckor. Det läckande vattnet återfås alltså till det inre systemet.

Mängden vatten som används för bevattning, och således förs från det inre till det yttre systemet, kan vara ganska stort i områden med mycket villabebyggelse i södra Sverige. Om 20 % av ett område bevattnas under 2 månader med mängder som motsvarar den potentiella avdunstningen under två sommarmånader i södra Sverige, så motsvarar detta cirka 50 mm. Såväl vald bevattningsintensitet som bevattnad ytandel är stort, men siffrorna visar ändå att bevattningsuttag vid jämförelse med vattenförbrukning är ganska stort och kan påverka stadens vattenbalans.

Uppgifter om vattenuttag för spolning av ledningar och gator finns att tillgå för vissa orter. För städer kring 100 000 personer verkar spolmängderna inte väsentligt överstiga 50 000 m³/år, vilket inte är mer än cirka 0,5 % av vattenförbrukningen. Om spolning görs i områden med kombinerade system återfås allt vattnet till det inre systemet. Spolningsförluster kan bortses från i balansräkningar.

Vid reningsverken mäts mängden inkommande vatten och också mängderna som bräddas just före reningsverken. Jämförelse mellan vattentillförseln till reningsverk, V_{ut} , och konsumerat vatten visar hur mycket vatten som tillförts det kombinerade ledningssystemet utöver spillvatten. Man måste dock beakta förluster till det yttre systemet genom bevattning. Man bör särskilja läckvatten från dricksvattenledningar, vilket sedan läcker in i spillvattensystemet från spillvattenledningarnas dräneringsverkan på mark- och grundvatten. Tillskott av dagvatten från hårdgjorda ytor, D_{komb} , till det kombinerade systemet kan uppskattas som nederbörds mängden på ytorna ($D_{\text{komb}} = p \cdot A_{\text{komb}}$, där p är regnnederbörd och A_{komb} är hårdgjord yta kopplad till det kombinerade systemet) eventuellt med hänsyn till ytmagasin, från vilka vatten kan avdunsta sommartid. Enkel balansräkning visar då att inläckaget till spillvattensystemet, L_{in} , är

$$L_{\text{in}} = V_{\text{ut}} - V_{\text{kons}} + \text{bevattning} - D_{\text{komb}} + \text{brädd} \quad (2)$$

Hänsyn måste, som framgår av ekvationen, tas till att en del vatten i det kombinerade systemet bräddas. I såväl Borås som Halmstad bräddas cirka 1 % av vattnet i det kombinerade ledningssystemet. Bräddning i samband med snösmältning är vanligt i nordligaste Sverige. Antar man att hälften av spillvattnet bräddas under två smältperiodsveckor, motsvarar det 1 % årsmängden spillvatten. Bräddning har ändå ganska liten inverkan på stadens vattenbalans.

Inläckaget härrör dels från läckande dricksvattenledningar, $L_{in,drick}$, och dels från dränering av grundvatten, inkluderande också husdränering, $L_{drän}$. Från dricksvattenledningar läckande vatten rinner inte direkt in i spillvattenledningar, så den gjorda uppdelningen är något hypotetisk. Den hypotetiska uppdelningen ger i alla fall

$$L_{in} = L_{in,drick} + L_{drän} \quad (3)$$

Om utläckaget från dricksvattenledningar, $L_{ut,drick}$, motsvarar $L_{in,drick}$ så kan $L_{drän}$ bestämmas. $L_{drän}$ kan fås direkt ur ekv (2) genom att ersätta vattenkonsumtionen med vattenproduktionen. Enheterna i ekvationerna (1–3) kan vara $m^3/år$ eller om man väljer att dividera med stadens yta $mm/år$. I det senare fallet blir angivna ytor fraktioner av totalytan.

Den enklaste delen av den yttre vattenomsättningen är regnvatten som faller på hårdgjorda ytor och rinner av i dagvattenledningar, som leder till recipient. Det kan förekomma viss läckning ut från dagvattenledningar och också visst inläckage. Dagvattenflödet fås som $D_{sep} = p \cdot A_{sep}$, där A_{sep} är hårdgjord yta kopplad till separat dagvattensystem. Snö som faller på dessa ytor röjes normalt och ger ringa bidrag till avrinningen i dagvattensystemet.

Större delen av nederbörden som faller på icke-hårdgjorda ytor, infiltrerar, varefter vattnet endera avgår via evapotranspiration eller perkolerar till grundvattnet. Den del som inte evapotranspirerar rör sig med grundvattnet till diken och rinner av mot en recipient. En del kan emellertid dränera till spillvattensystemet. Den del, som ganska diffust når recipienten via diken eller som grundvatten, D_{diff} , blir

$$D_{diff} = (p - e) A_{perm} - L_{drän} - S_{trspt} \quad (4)$$

där e är evapotranspiration, A_{perm} är permeabel yta och $L_{drän}$, som tidigare, är dränering till spillvattensystemet. Ekv (4) innehåller också termen S_{trspt} , vilket är mängden snö, som transporteras bort från staden. Bräddat vatten kan tas med i ekv (4), men tas i detta arbete istället med separat i vattenbalansberäkningarna.

Det totala flödet till recipienten är

$$Q = V_{ut} + \text{brädd} + D_{diff} + D_{sep} \quad (5)$$

Ekvationerna (4–5) kan uttryckas som $m^3/år$ eller som $mm/år$ efter division med stadens yta.

Ekv (5) är den form som används i det fortsatta arbetet, men ekvationen kan skrivas på en klarare form genom insättande av de olika termerna i de föregående ekvationerna. Man får, om borttransporterad snömängd kan bortses från,

$$Q = V_{prod} + p A_{tot} - e A_{perm} \quad (6)$$

där A_{tot} är total area, som är $A_{perm} + A_{komb} + A_{sep}$.

För att tydliggöra att ekvationen inte bara kan skrivas som flöde/tid utan också som flöde/yta,tid, införs $q = Q/A_{tot}$ och delytor a med olika index för att beteckna ytfraction. Ekv (6) blir då

$$Q = V_{prod}/A_{tot} + p - e a_{perm} \quad (7)$$

Schablonberäkningar

Många av termerna i stadens vattenbalans är ganska lika för städer av samma storlek och man känner termernas storlek någorlunda väl, även om omfattande mätningar inte gjorts. Här behandlas en hypotetisk stad i södra Sverige. Staden har 100 000 innevånare och täcker en yta på 40 km². Den hypotetiska staden beskrivs i Tabell 1. Vattenproduktionen efter verkets egen användning är 10 miljoner m³/år. Vattenförlusten är 15 %, dvs. 1,5 miljon m³. Den sammanlagda impermeabla ytan är 36 % fördelat som 6 % avrinning till kombinerat system och 30 % med avrinning till separat dagvattensystem. Årsnederbörden är 700 mm och avdunstningen 500 mm. All nederbörd faller som regn. Den totala avdunstningen från staden motsvarar 500 mm multiplicerat med andelen icke hårdgjord yta (1–0,36) och är 320 mm. Den totala regnavrinningen är (700–500) mm, från icke hårdgjord yta (1–0,36) och 700 mm från hårdgjord yta (0,36) och är 380 mm. Till det kommer avrinningen av det införda producerade vattnet. Produktionen 10 miljoner m³ motsvarar 250 mm. En del av konsumtionsvattnet används för bevattning och förloras ur systemet genom evaporation. Noggrannare beräkning visas i Tabell 1. Vattenförlusterna 15 % motsvarar 37 mm fördelat över staden.

Tabell 1. Värden för principberäkning av vattenomsättning i en stad.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
100 000	40 km ²	10,0 milj. m ³	14,0 milj. m ³	500 km
		250 mm	350 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,06	0,30	0,64	700 mm	-----	500 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattning	Bräddning	Utflöde
250 mm	42 mm	65 mm	5 mm	2 mm	350 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
37 mm	102 mm	8,2 m ³	5,2 m ³		
15 %					

YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
700 mm	42 mm	325 mm	210 mm	5 mm	65 mm	63 mm
Snö					Dränarea	Diffarea
-----					0,33	0,31

Mängden dagvatten som tillförs spillvattnet är nederbörden på 6 % av stadens yta, vilket motsvarar jämnt fördelat över staden 42 mm. Avrinning direkt till dagvattensystemet sker från 30 % av ytan och motsvarar då 210 mm. Bräddningen antas vara mindre än 1 % av spillvattenflödet och motsvarar då 2 mm.

Bevattning antas ske på 5 % av stadens yta med 100 mm per bevattnad ytenhet, vilket utjämnat över hela staden blir 5 mm. Detta vatten blir del av den yttre vattenbalansen genom ökad evapotranspiration.

För att fortsätta beskrivningen av den hypotetiska staden antas hälften av det vatten, som normalt skulle runnit av ganska diffust via diken, istället läcka in i spillvattenssystemet. Detta motsvarar fördelat över hela staden 65 mm. Om det finns 1000 km, se Tabell 1, spillvattenledning i staden är inläckaget 3 m³/m,år. Vattenmängden till recipient via reningsverk, V_{ut} i ekv (2) blir cirka 320 mm, vilket, eftersom stadens yta är 40 km², är knappt 13 milj. m³. Avrinningen diffust i dike blir enligt ekv (4) 63 mm. Fördelningen av avrinnande vatten från staden blir då 42 mm i kombinerad dag- och spillvattenledning, 210 mm i separat dagvattenledning, 2 mm bräddning och 63 mm i diken eller som annat diffust flöde.

Beräkningarna sammanfattas i Tabell 1 och i Figur 3. När beräkningarna senare utförs för verkliga städer är V_{ut} uppmätt värde vid reningsverk och L_{in} respektive $L_{drän}$ beräknas enligt ekv (2) och ekv (3).

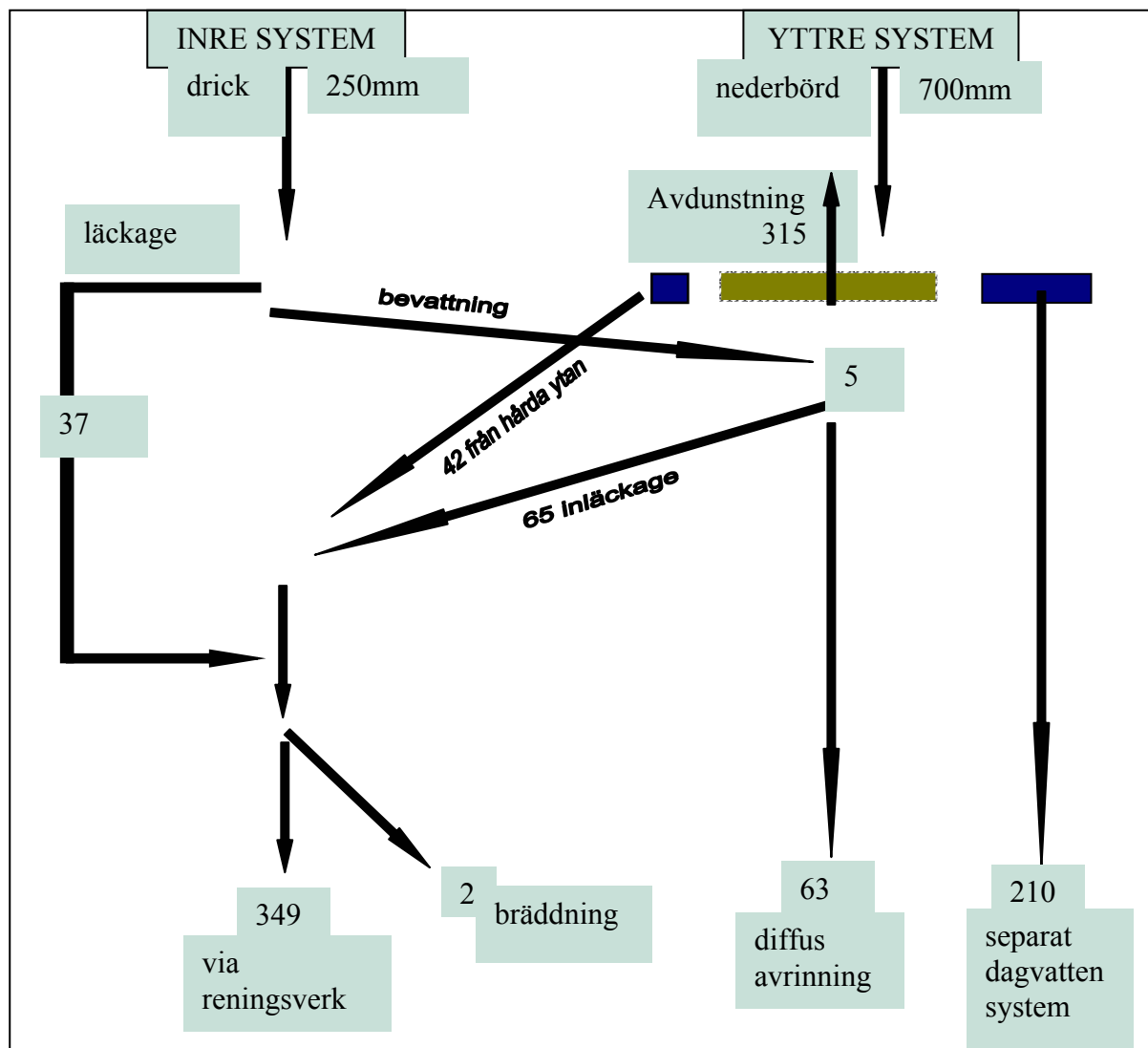


Fig. 3. Vattenomsättning i inre och yttre system i en hypotetisk stad med 100 000 innevånare.

Vattenbalansstudie för Lund

För mer än 20 år sedan beräknade Niemczynowicz och Falk (1981) de årliga vattenflödena i Lund. Deras resultat sammanfattas i Tabell 2 uttryckt i flöden per ytenhet, alltså mm/år. Befolkningen i Lunds tätort var i slutet av 70-talet cirka 60 000. Nederbörden är cirka 650 mm. Vattenproduktionen fördelad per ytenhet var cirka 433 mm. Andelen hårdgjorda ytor inom tätorten var 0,43; 0,19 var kopplade till det kombinerade systemet och 0,24 till det separata dagvattensystemet. Dricksvattenläckaget var 14 %. Spillvattenledningarnas dräneringsinverkan utöver detta vattenläckage motsvarade drygt 30 mm, vilket var 5 % av spillvattenflödet. Bräddning var försumbar i vattenbalansberäkningarna. Flödena ut ur Lund var per ytenhet och år 588 mm i spillvattensystemet, 155 mm i dagvattensystemet, 62 mm avrinning utanför ledningssystemen, 270 mm avdunstning. Flödena visas i Figur 4.

Vattenbalansstudie för Luleå

En grov vattenbalansstudie för Luleå har presenterats av Semádemi-Davis och Bengtsson (1999). I Luleå faller ungefär 40 % av nederbörden som snö, vilket inverkar på de olika flödena i staden. Snö röjs från hårdgjorda ytor, så årsavrinningen från dessa ytor blir mindre, än om all nederbörden föll som regn. Vid snösmältning blir marken mycket våt, grundvattnet stiger och inläckaget i ledningssystemet blir stort. Det kan förekomma ytavrinning från sommartid permeabla ytor speciellt där markytor lutar. De beräkningar som presenterats av Davies och Bengtsson har ändrats något för att presentation skall vara i överensstämmelse med de beräkningssteg som presenterats i föreliggande arbete.

Den totala urbana ytan i Luleå är cirka 30 km², varav cirka 43 % schablonmässigt uppskattats som hårdgjord yta. Hårdgjord yta kopplad till det kombinerade systemet är 0,65 km², dvs. inte mer än 2 % av hela ytan. Hernebring (1996) har uppskattat att ledningssystemen dränerar cirka 8 km² av staden, alltså drygt 25 %. Beräkningarna sammanfattas i Tabell 3. Flödena ut är 338 mm via spillvattennätet, 5 mm bräddning, 152 mm i dagvattennätet, 214 mm som diffus avrinning, 3 mm borttransport av snö och 171 mm avdunstning. Nederbörden i Lund, 650 mm, och Luleå, 615 mm, är ganska lika. Vattenproduktionen efter verkets uttag motsvarade i Lund 433 mm och i Luleå 268 mm. Vattenförlusten i Lund var 14 %, men man uppskattar i Luleå kommun förlusterna till endast 5 %. Inläckaget i Lund var 30 mm utöver dricksvattenläckaget, vilket var cirka 60 mm (totalt alltså 90 mm inläckage). I Luleå var inläckaget i spillvattensystemet så mycket som 70 mm utöver läckaget 13 mm från dricksvattnet (totalt alltså 83 mm).

De ganska komplicerade flödena i Luleå mellan yttre och inre system visas i Figur 5. Den största skillnaden mellan flödesfördelningen i Luleå och Lund är att vattenmängden som lämnar staden utanför ledningssystemet är större i Luleå än i Lund.

Vattenbalans för andra städer

Förutom reda analyserade data från Lund och Luleå har beräkningar gjorts för data från Helsingborg, Halmstad, Borås och Sundsvall. Städerna är ganska lika i storlek. Dygnsvärden från nederbörd och för tillrinnande vatten till reningsverk har använts. Vattenförbrukningsuppgifter finns endast som årsvärde. Inre och yttre vattenbalans har beräknats på sätt som visats tidigare i detta arbete. Dessutom analyseras samband mellan nederbörd och avrinning. Beräkningar redovisas för städerna var för sig i olika kapitel. Därefter görs en syntes inkluderande också Lund och Luleå.

Tabell 2. Inre och yttre vattenomsättning i Lund, 1978–80.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
60 000	25 km ²	9,1 milj. m ³	12,4 milj. m ³	500 km
		433 mm	588 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,19	0,24	0,57	650 mm	-----	484 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattning	Bräddning	Utflyde
433 mm	123 mm	32 mm	-----	-----	588 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
61 mm	93 mm	4,6 m ³	1,6 m ³		
14 %					

YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagvsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
650 mm	123 mm	278 mm	155 mm	-----	32 mm	63 mm
Snö					Dränarea	Diffarea
-----					0,22	0,42

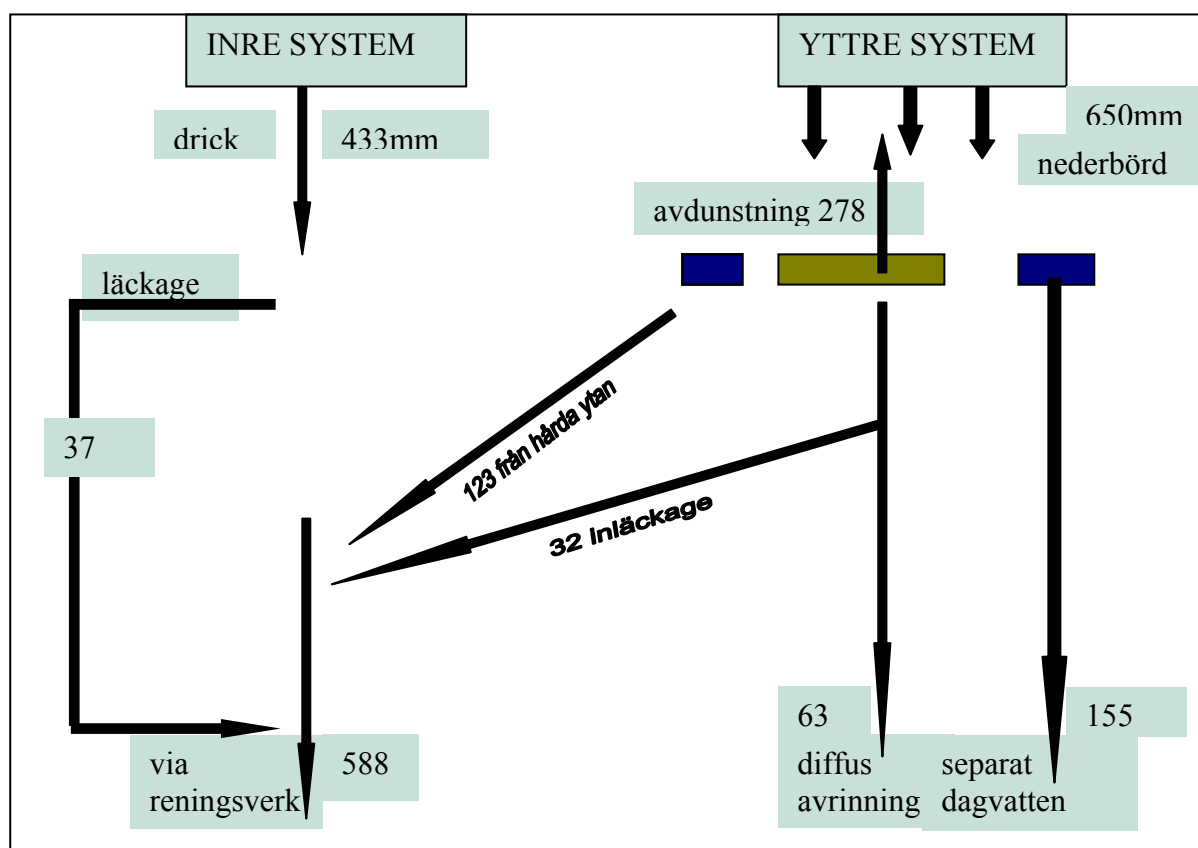


Fig. 4. Inre och yttre vattenflöden (mm/ytenhet, år) i Lund, 1978–80.

Tabell 3. Inre och yttre vattenomsättning i Luleå stad, 1992–96.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
60 000	30 km ²	8,0 milj. m ³	10,1 milj. m ³	350 km
		268 mm	338 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,02	0,41	0,57	370 mm	245 mm	300 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattning	Bräddning	Utflöde
268 mm	7 mm	68 mm	-----	5 mm	338 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
13 mm	81 mm	6,9 m ³	5,8 m ³		
5 %					

YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagvsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
370 mm	7 mm	171 mm	152 mm	-----	68 mm	214 mm
Snö	Snö bort	Snöomförd	Snö perm		Dränarea	Diffarea
245 mm	3 mm	102 mm	140 mm		0,14	0,43

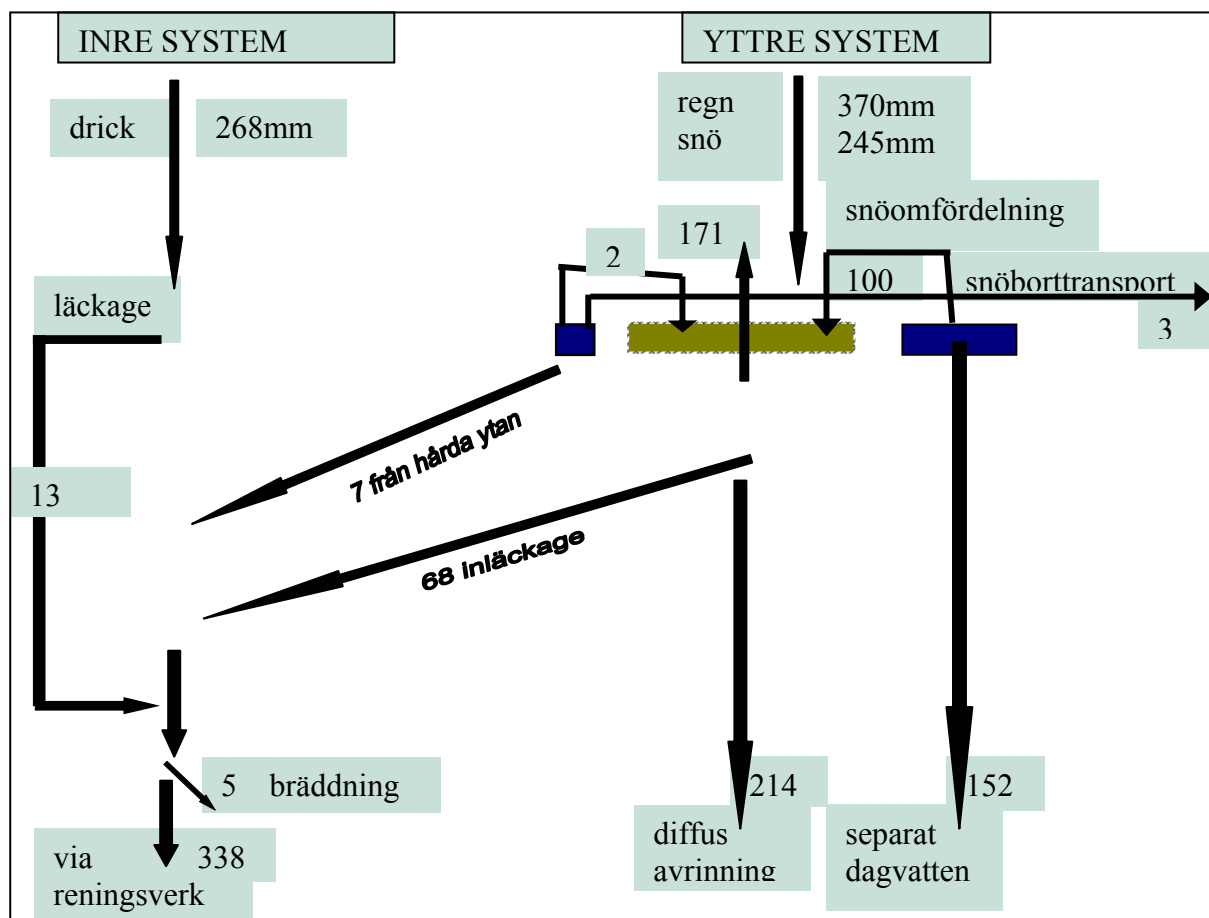


Fig. 5. Inre och yttre vattenflöden (mm/ytenhet, år) i Luleå, 1992–96. Snötransport bort från staden, 3 mm, och överföring av snö från hård till permeabel yta, 102 mm, är med.

Tabell 4. Inre och yttre vattenomsättning i Helsingborg, 1998.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
110 000	50 km ²	14,5 milj. m ³	23,0 milj. m ³	600 km
		290 mm	460 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,07	0,40	0,53	890 mm	-----	550 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattning	Bräddning	Utflöde
290 mm	59 mm	121mm	-----	-----	460 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
38 mm	161mm	13,4 m ³	10,2 m ³		
13 %					

YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagvsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
890 mm	59 mm	299 mm	356 mm	5	123 mm	60 mm
Snö					Dränarea	Diffarea
-----					0,36	0,17

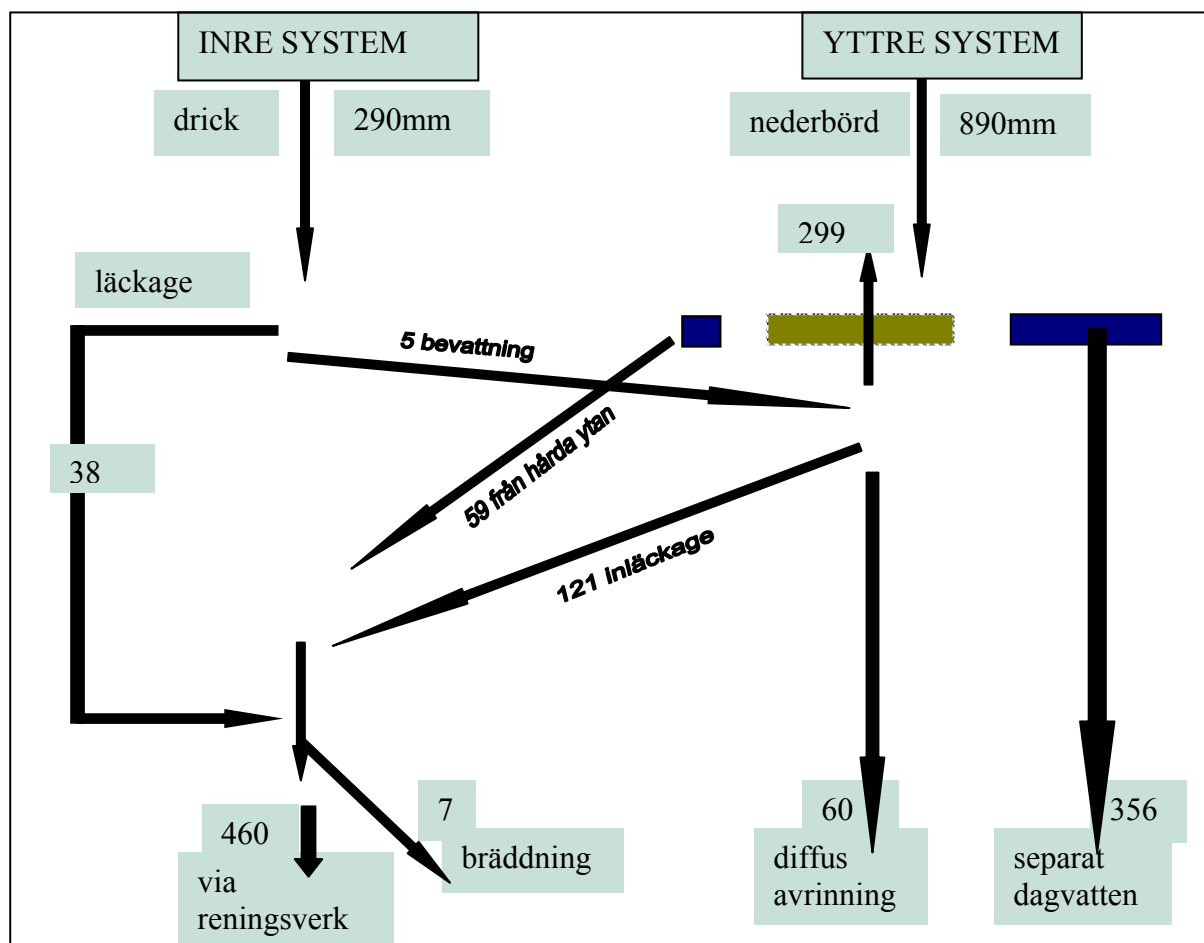


Fig. 6. Inre och yttre vattenflöden (mm/ytenhet, år) i Helsingborg, 1998.

Vattenbalans för Helsingborg

Helsingborg är den största av de studerade städerna med 110 000 personer anslutna till vattennätet. Stadens yta uppskattas till nära 50 km². Hårdgjord yta ansluten till ett kombinerat system är 3,3 km². Övrig hårdgjord yta har schablonmässigt uppskattats till 20 km². Data från 1998 har använts för vattenbalansberäkningarna. Ledningsnätet är stort med 660 km dricks-vattenledningar och 1060 km avloppsledningar. Vattenproduktionen var cirka 14,5 milj. m³ varav 13 % förlorades innan de nådde konsumenterna. Utsläppet via spillvattennät och reningsverk var 23 milj. m³. Vattenproduktion respektive utsläpp via det kombinerade spillvattennätet motsvarar per ytenhet 290 mm respektive 460 mm. Årsnederbörden 1998 var 890 mm. Uppgifter om Helsingborg ges i Tabell 4. Hänsyn tas inte till eventuell snö, utan all nederbörd betraktas som regn, eller så antas snön ha smält på den plats den fallit som nederbörd.

Flödena mellan yttre och inre system visas i Figur 6. Totalt inläckage är 160 mm varav 120 mm utöver läckaget från dricksvattenledningar. Det diffusa avrinnande vattnet, som inte dräneras i ledningssystem är ganska litet, 60 mm. Bevattningsmängden har uppskattats ganska godtyckligt, så att 100 mm har antagits appliceras på en yta av 2,5 km². Uppgifter om bräddning finns inte, men eftersom det finns mycket stora ytor anslutna till det kombinerade systemet och det regnar ganska mycket, så har bräddning uppskattats till 1,5 % av vattenmängden i det kombinerade systemet, 7 mm.

Vattenbalansen för Halmstad

I Halmstad är 77 000 anslutna till vattenverket. Man producerade utöver förbrukning på verken 8,2 milj. m³ dricksvatten. Förlusterna var 11 %. Dag- och spillvattennäten täcker en yta på 26 km². Uppgifter om Halmstad ges i Tabell 6.

Tabell 5. Inre och yttre vattenomsättning i Halmstad, 1998.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
77 000	26 km ²	8,2 milj. m ³	11,7 milj. m ³	650 km
		315 mm	450 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,04	0,36	0,60	1137 mm	-----	550 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattning	Bräddning	Utflöde
315 mm	46 mm	98 mm	5 mm	4 mm	450 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
35 mm	133 mm	5,3 m ³	3,9 m ³		
11 %					

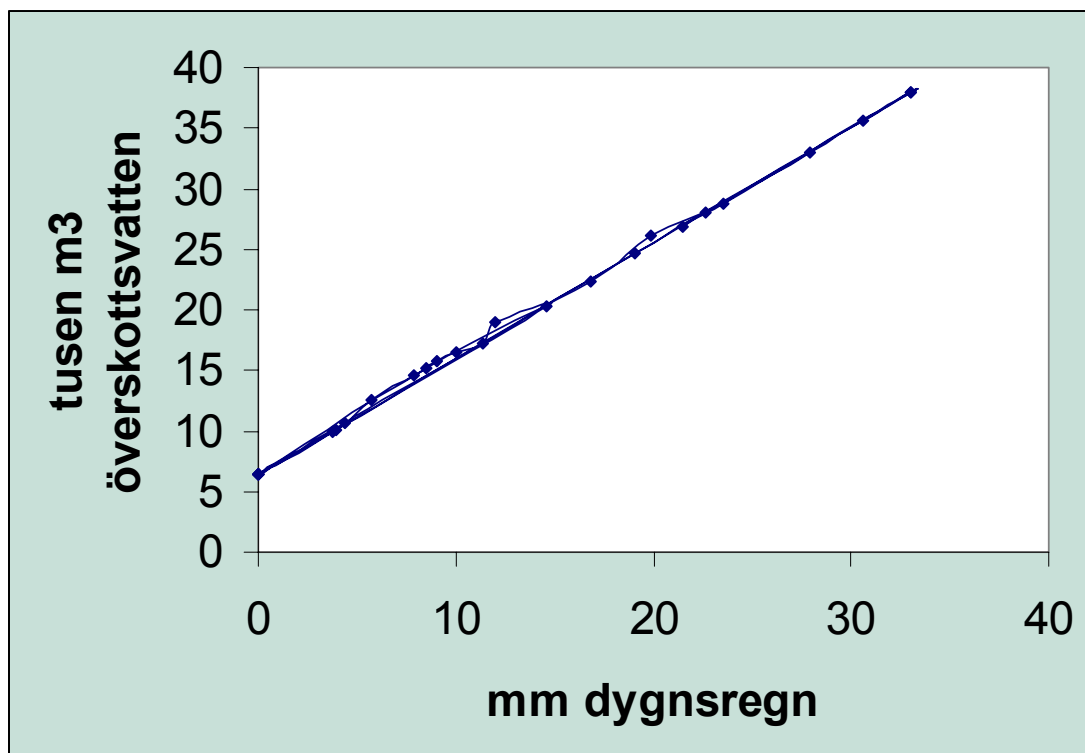
YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagvsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
1137 mm	46 mm	335 mm	409 mm	5 mm	98 mm	254 mm
Snö					Dränarea	Diffarea
-----					0,17	0,43

Till det kombinerade nätet ansluten hårdgjord yta är enligt DHI 1,7 km². Analys av sambandet nederbörd och tillrinning till avloppsverket tyder emellertid på att denna yta är lägre. Analysen görs längre ner i texten. Det studerade året är 1997. Nederbörden var då 1137 mm. Årsavdunstningen i Halmstad är 550 mm. Tillrinningen till avloppsverket var 11,7 milj. m³, vilket per ytenhet motsvarar 450 mm. Producerad mängd vatten motsvarar 315 mm.

Vattenflöde utöver vattenproduktion till reningsverket har i Figur 7 ritats som funktion av nederbörd. Det finns ett linjärt samband

$$Q \text{ (tusen m}^3\text{)} = k \cdot p \text{ (mm)} + \ell_1 \text{ (tusen m}^3\text{)} + \ell_2 \text{ (tusen m}^3\text{)}$$

Med koefficientvärdena $k = 1$ och $\ell = 6,7$ om ℓ_2 är medelvattenproduktionen över året 22 500 m³. Det visar att ytan som direkt bidrar till avrinning i det kombinerade systemet är $k = 1,0 \text{ km}^2$ och att det finns ett konstant dränage in i spillvattensystemet på 6 700 m³/dygn. Detta konstanta dränage motsvarar 94 mm per år.



Figur 7. Samband mellan vattentillförsel till Södra strandens reningsverk i Halmstad utöver vattenproduktion och dygnsnederbörd.

Till det kombinerade systemet kopplad hårdgjord yta antas nu vara 1 km², vilket är 0,04 av stadens yta. Total hårdgjord yta bestäms schablonmässigt till 40 %, varför andelen hårdgjord yta kopplad till separat dagvattensystem blir 0,36. Bräddningsmängden är knappt 100 000 m³, vilket är ungefär 1 % av spillvattenflödet, vilket är 4 mm fördelat över hela staden. Liksom för Helsingborg antas bevattning motsvara 5 mm. Vattenbalanserna åskådliggörs grafiskt i Figur 8 och ges dessutom i Tabell 5. Avrinning till recipient sker via reningsverk 450 mm, bräddning 4 mm, via dagvattensystem 409 mm och som diffus avrinning 254 mm. Dränaget, utöver det från dricksvattenledningar, blir vid vattenbalansberäkningar 98 mm, vilket är nästan exakt det konstanta dränagevärde, 94 mm, som beräknades då tillskottet till reningsverket jämfördes med nederbörden. Räknar man ej med bevattning, blir dränaget 94 mm med båda beräkningssätten.

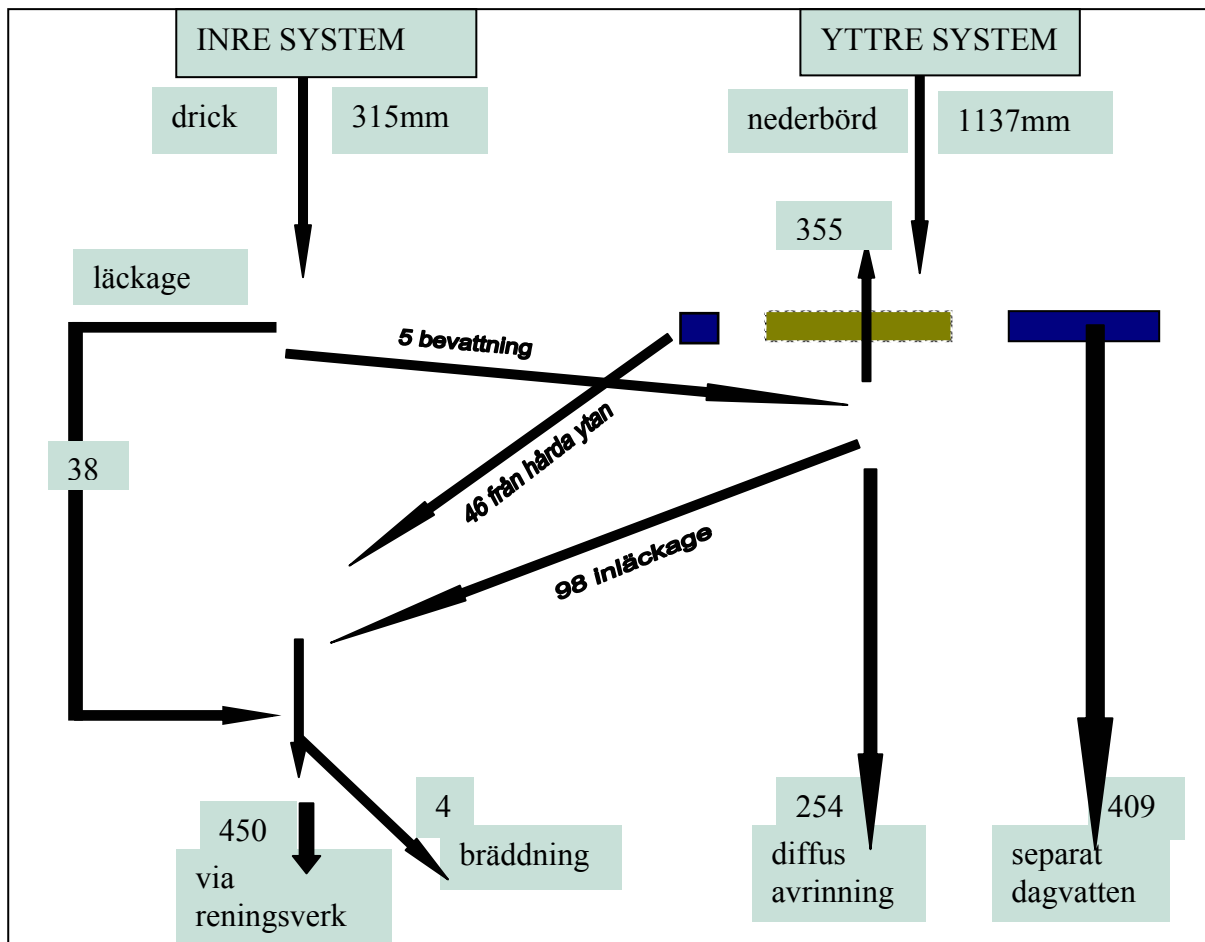


Fig. 8. Inre och yttre vattenflöden (mm/ytenhet, år) i Halmstad, 1998.

Vattenbalans för Borås

Vattenbalansberäkningar har gjorts för Borås för år 1996. Andel personer anslutna till dricks-vattennätet är 85 000. Vattenproduktionen efter verkets egna uttag var 8,1 milj. m³. Förlusterna var 1,3 milj. m³ eller 16 %. Inflödet till reningsverket varierade mycket. Något tydligt samband mellan tillrinning och nederbörd, som för Halmstad, går inte att finna. Det årliga flödet till reningsverket motsvarade volymen 13,9 milj. m³. Nederbörden i Borås var år 1996 797 mm. Årsavdunstningen är cirka 450 mm. Data om Borås ges i Tabell 6.

Hårdgjord yta kopplad till spillvattensystemet är i Borås 0,75 km², vilket är knappt 2 % av stadens yta på 40 km². Hårdgjord yta till dagvattensystemet är cirka 34 %. Bräddvolymen var 136 000 m³, vilket är 1 % av spillvattenvolymen. Bevattning i Borås är mindre vanligt än längre söderut, så någon överföring av konsumtionsvatten till det yttre kretsloppet antas inte ske. Beräknat inläckage till spillvattensystemet är stort. Utöver 1,3 milj. m³ från dricksvattennätet dräneras 5,3 milj. m³, vilket är 132 mm fördelat över staden. De olika flödena åskådliggörs i Figur 9 och redovisas också i Tabell 6. Flödena ut ur staden är 347 mm via reningsverk, 3 mm bräddning, 271 mm via dagvattenledning och 90 mm diffus avrinning. Dessutom avdunstar 288 mm.

Tabell 6. Inre och yttre vattenomsättning i Borås, 1996.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
85 000	40 km ²	8,1 milj. m ³	13,9 milj. m ³	530 km
		202 mm	347 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,02	0,34	0,64	795 mm	-----	450 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattn	Bräddning	Utflyde
202 mm	16 mm	132 mm	-----	3 mm	347 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
32 mm	164 mm	12,2 m ³	9,9 m ³		
16 %					

YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagvsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
795 mm	16 mm	288 mm	265 mm	-----	132 mm	90 mm
Snö					Dränarea	Diffarea
-----					0,36	0,24

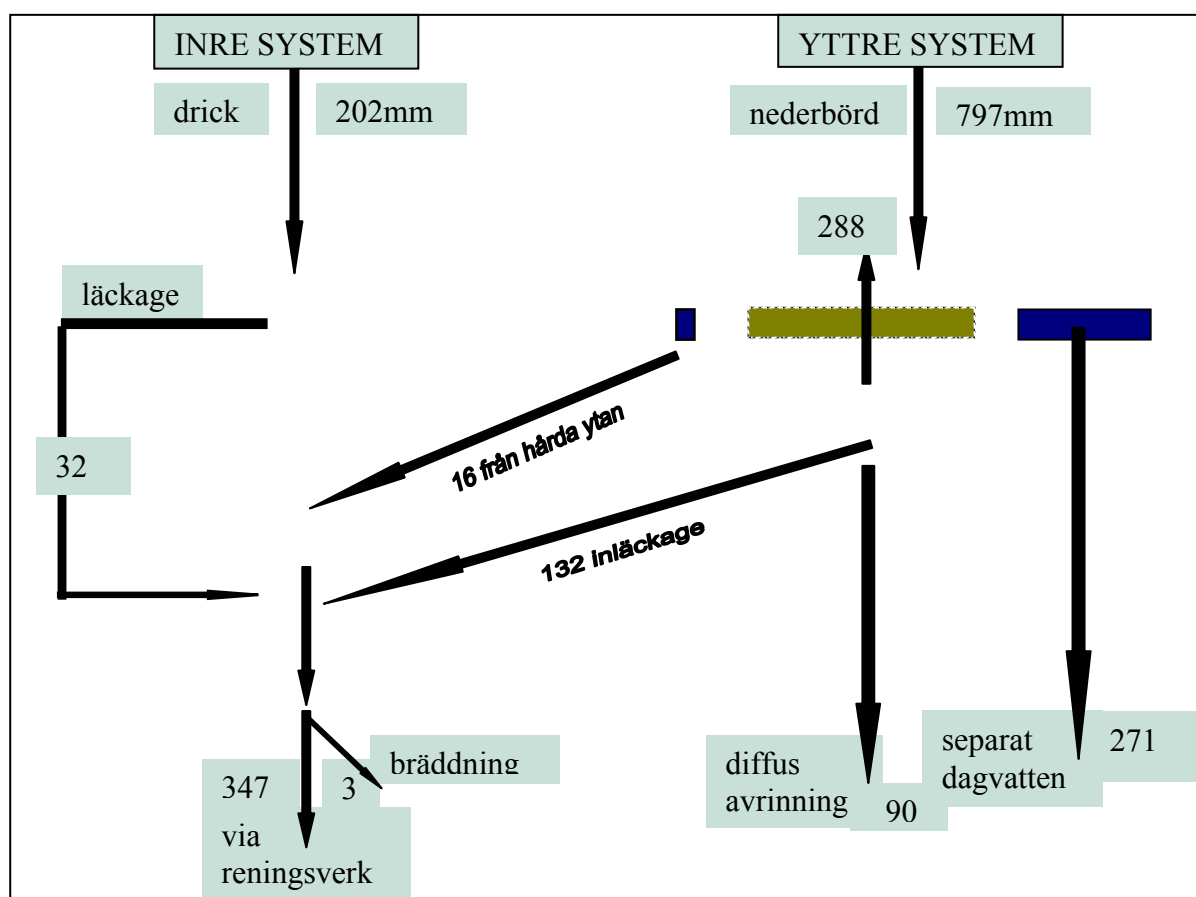


Fig. 9. Inre och yttre vattenflöden (mm/ytenhet, år) i Borås, 1996.

Vattenbalans för Sundsvall

Beräkningar för Sundsvall har gjorts för 1994. Del av nederbörden faller som snö och röjs från flertalet hårdgjorda ytor. Liksom för Luleå, måste hänsyn tas till detta, när vattenflödena i de inre och yttre systemen beräknas. Vattenflödet i Tivoliverket används i vattenbalansberäkningarna. Antalet personer anslutna är cirka 45 000 och ledningssystemet täcker en yta på 17 km². Vattenproduktionen är cirka 6,1 milj. m³, medan tillflödet är 8,1 milj. m³. Förluster i dricksvattensystemet är 19 %. Hårdgjord yta ansluten till spillvattensystemet är 1,0 km², dvs. 6 % av stadens yta. Andelen ansluten till separat dagvattensystem uppskattas schablonmässigt till 40 %. Uppgifter om Sundsvall har samlats i Tabell 7.

Nederbörden var 717 mm. Årsavdunstningen är cirka 350 mm. Av nederbörden föll 60 mm som snö under jan–april och 55 mm som snö under december. Om snö från 5 % av stadens yta transporteras bort från staden motsvarar detta fördelat över hela staden 6 mm. Övrig snö på impermeabla ytor motsvarar 47 mm och antas läggas upp på permeabla ytor. Inom kommunen anser man att bräddningen är ringa. Bevattning förekommer inte. Dräneringsläckaget utöver 1,2 milj. m³ från dricksvattennätet är 1,4 milj. m³ motsvarande 81 mm. Flödena ut ur staden, förutom 189 mm avdunstning, är 476 mm via reningsverk, ingen bräddning, 241 mm via dagvattensystem, 164 mm diffus avrinning och så har det antagits att 6 mm snö transporteras ut ur staden. Flödena visas grafiskt i Figur 10 och ges även i Tabell 7.

Tabell 7. Inre o yttre vattenomsättning Tivoliverket, Sundsvall, 1993.

Folkmängd	Area	Vattenprod	Utsläpp	Avloppsledn
45 000	17 km ²	6,1 milj. m ³	8,1 milj. m ³	390 km
		359 mm	476 mm	

Arealfraktion			Klimatförhållanden		
komb syst	separat syst	permeab yta	Regn	Snö	Evapotrsp
0,06	0,40	0,54	602 mm	115 mm	350 mm

INRE SYSTEM					
Produktion	Dagvatten	Dränage	Bevattning	Bräddning	Utflöde
359 mm	36mm	81 mm	-----	-----	476 mm
Dricksvläck	Tot dränage	Totdrän/m	Nat.drän/m		
68 mm	149 mm	6,5 m ³	3,6 m ³		
19 %					

YTTRE SYSTEM						
Regn	Till komb	Evapotrsp	Dagvsyst	Bevattn	Dränage q	Diffus q
602 mm	36mm	189 mm	241 mm	-----	81 mm	164 mm
Snö	Snö bort	Snöomförd	Snö perm		Dränarea	Diffarea
115 mm	6	47	62		0,18	0,36

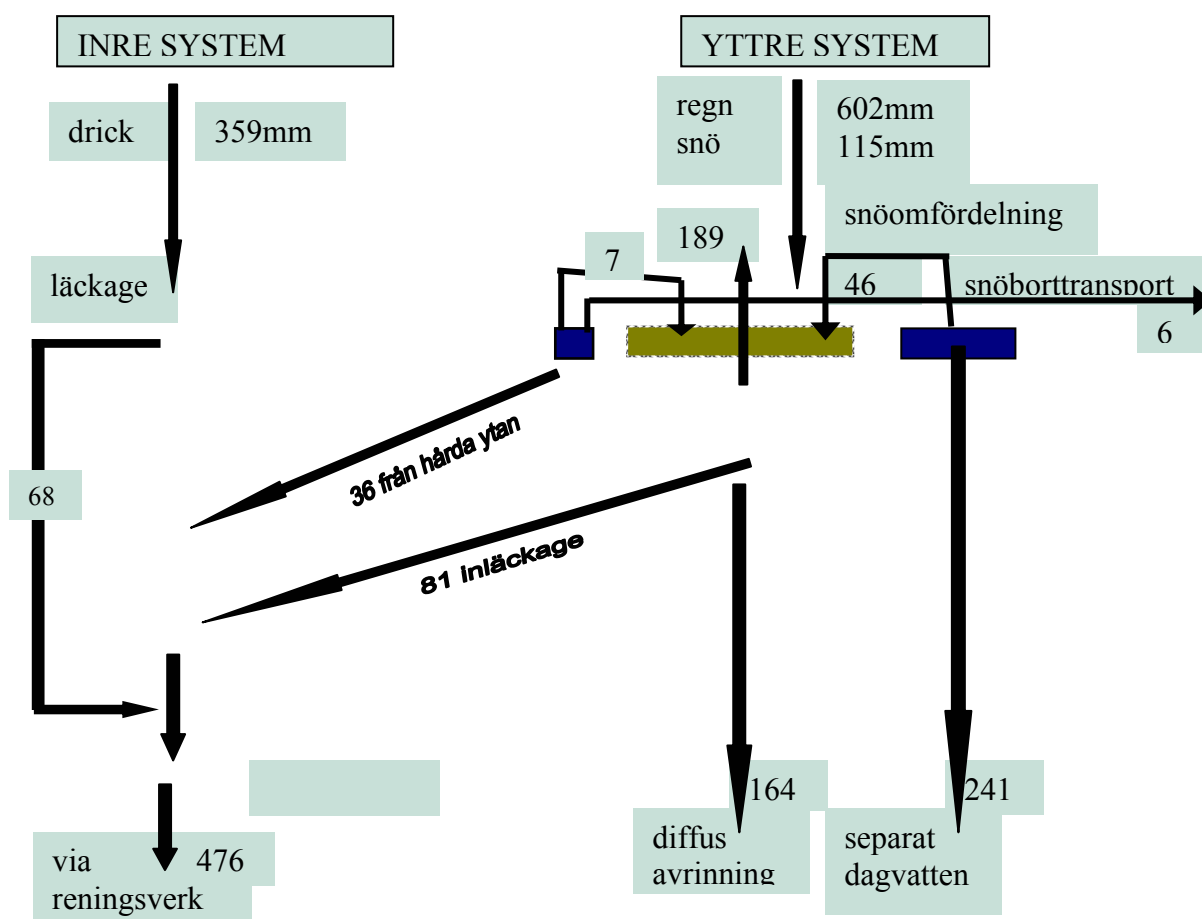


Fig. 10. Inre och yttre vattenflöden (mm/ytenhet, år) i Sundsvall, 1993. Snötransport bort från staden, 6 mm, och överföring av snö från hård till permeabel yta, totalt 53 mm, är medtaget.

Syntes

Beräkningarna för de sex olika städerna som behandlas här sammanfattas i Tabell 8. Många av de parametrar som ställs upp är ganska lika för samtliga städer, t.ex. dricksvattenläckage i % och avloppsledningslängd/person. Störst skillnad mellan städerna är det om man jämför klimatförhållanden, speciellt för permeabla ytor då man tar hänsyn till snöupplag på dessa ytor. Den diffusa avrinningen skiljer sig mellan städerna. Det finns ett klart samband mellan diffus avrinning per enhet permeabel yta och en klimatfaktor (nederbörd + tillförd snö – avdunstning).

Dräneringsmängden till spillvattnet borde gå att relatera till klimatfaktorn och dessutom till ledningstäthet, t.ex. antal m ledning per ytenhet, och till i vilken utsträckning husdränering är kopplad till spillvattnet. Ledningarna bör dränera mer ju tätare de ligger och mer ju mer regnvatten som infiltrerar. För Lund, Luleå, Halmstad och Sundsvall finns samband mellan klimat och dränering. I Helsingborg och Borås är emellertid dräneringen större än för Luleå, Halmstad och Sundsvall, trots att klimatfaktorn visar på att det borde vara annorlunda; den diffusa avrinningen är liten i Helsingborg och Borås. Eftersom information om husdränering och fördelningen av permeabla ytor i förhållande till ledningssystemets dragning inte har studerats, så kan inga slutsatser dras av ovanstående konstateranden.

Tabell 8. Lednings-, stadsplane- och klimatfaktorer samt avrinningsförhållanden för de olika städerna.

Vattenproduktion	Lund	Hbg	Hlmst	Borås	S-vall	Luleå
Pers/area km ²	2 400	2 200	2 000	3 000	2 600	2 000
Produktion/pers m ³	152	132	106	95	136	123
Produktion/area mm	433	460	315	202	359	268
Spillvattenledn m/pers	8,3	9,6	8,5	8,5	8,7	5,8
Spillvledn km / km ² area	20	12	25	13	23	12
Spill / permeabel 1/km	35	23	42	21	42	20
Ytenhet hela staden						
Dagvattenavrinning	Lund	Hbg	Hlmst	Borås	S-vall	Luleå
Kombinerat syst mm	123	59	46	16	36	7
Separat system mm	155	356	409	265	241	152
Dränage mm	32	123	98	132	81	68
Diffust flöde mm	63	58	254	90	164	214
Permeabel ytenhet						
Klimat-Avrinning	Lund	Hbg	Hlmst	Borås	S-vall	Luleå
Nederbörd mm	650	890	1137	795	717	615
Snöupplag mm	----	----	----	----	87	179
Evapotransp mm	484	550	550	450	350	300
Dränage mm	56	232	164	205	150	119
Diffust flöde mm	110	108	423	140	304	375
Fraktion dräneringsyta						
Direkt t komb system	0,06	0,07	0,04	0,02	0,06	0,02
Direkt t dagvattensyst	0,30	0,40	0,36	0,34	0,40	0,41
Dränage t spillvatten	0,22	0,36	0,17	0,36	0,18	0,14
Diffus avrinning	0,42	0,17	0,43	0,24	0,36	0,43
Dränageyta km ² /km ledn	0,011	0,030	0,007	0,027	0,008	0,012

Sammanfattningsvis kan sägas att vattnet i den inre vattenomsättningen i staden ökar efter det vattnet konsumerats och leds till reningsverket, trots att cirka 15 % av producerat vatten läcker ut ur dricksvattenledningarna. Detta vatten dräneras sedan till spillvattnet. Utöver det dräneras 100–200 mm/år per permeabel ytenhet in i ledningssystemet. Det kan innebära 25–50 % ökning av flödet i spillvattensystemet. Till detta kommer regnvatten från hårdgjorda ytor anslutna till kombinerat system. Detta tillskott beror i vilken utsträckning man har kombinerade system, men kan i gamla städer som Helsingborg utgöra 10 % av flödet till ett reningsverk. Bräddning har liksom bevattning endast liten inverkan på vattenbalansen. I de studerade städerna motsvarade vattenproduktionen 200–460 mm/år.

Inflödet i den yttre vattenomsättningen är nederbörden, vilken för de studerade städerna var 600–1100 mm. Det är större vattenmängder involverade i det yttre än i det inre kretsloppet, men mycket av nederbörden avgår tillbaka till atmosfären genom evapotranspiration. Regn som faller på ytor anslutna till kombinerade system når reningsverket och regn som faller på ytor anslutna till separat dagvattensystem förs snabbt till recipient. Därefter återstår nederbörd på permeabla ytor och snö som lagts upp på sådana ytor. Det mesta av detta vatten avdunstar. Överskottsvattnet kan endera dräneras bort via ledningar eller rinna av diffust. För de studerade städerna var i regel det diffusa flödet större än det som dränerades via ledningar. Det diffusa flödet beror ganska linjärt på andel permeabel yta och skillnaden nederbörd – avdunstning.

Referenser

- Hernebring, C. (1996) Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden. VAFORSK-publ. 1997-07.
- Niemczynowicz, J. och Falk, J. (1981) Water budget for the city of Lund. *Proc 2nd Int. Conf. Urban Storm Drainage*, 98–106, Univ. Illinois.
- Semádeni-Davies, A. och Bengtsson, L. (1999) The water balance of a sub-arctic town. *Hydrological Processes* 13, 1871–1885.

Tackord

Detta arbete har utförts med bidrag från VAVFORSK till Janusz Niemczynowicz. Lars Bengtsson har slutfört arbetet, sedan Janusz Niemczynowicz pensionerats. Författarna tackar DHI och då först Dr. Claes Hernebring, som har bistått med uppgifter om de studerade städerna.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se