



UPPSALA
UNIVERSITET

W12011

Examensarbete 30 hp
Juni 2012

Sammanvägda avrinningskoefficienter i rationella metoden - en jämförelse mellan idag och 1970-talet

Runoff coefficients in the rational method
- a comparison between today and the 1970's

Johanna Östlind

REFERAT

Sammanvägda avrinningskoefficienter i rationella metoden – en jämförelse mellan idag och 1970-talet

Johanna Östlind

Dagvatten är det regn- och smältvatten som ytligt avrinner från framförallt hårdgjorda ytor. Framtidens dagvattenhantering står inför utmaningar i form av ökade nederbörds-mängder i delar av Sverige, då klimatet förändras, och ökad andel hårdgjorda ytor i takt med att städer expanderar och förtätas. Hårdgjorda ytor minskar möjligheten för vattnet att infiltrera vilket leder till ökad ytavrinning och större flöden.

Avrinningskoefficienten är nära kopplad till andelen hårdgjord yta och beskriver hur stor del av nederbörden som kan bilda avrinning. Avrinningskoefficienten är ett mått på den maximala andelen av ett avrinningsområde som kan bidra till avrinningen och beror förutom på hårdgörningsgraden även på regnintensiteten och områdets lutning. Syftet med denna studie var att utvärdera den sammanvägda avrinningskoefficienten, som används i rationella metoden, för tre bebyggelse typer med avseende på förändringen från 1970-talet tills idag. De tre studerade bebyggelse typerna var hyreshusområden, radhus- och kedjehusområden och villaområden. Tre hyreshusområden och radhus- och kedjehusområden och två villaområden i Göteborg, Linköping och Stockholm studerades. För områdena i Göteborg och Linköping genomfördes en kartering av yttyper under 1970-talet.

Den sammanvägda avrinningskoefficienten bestämdes genom manuell kartering av yttyper i respektive område utgående från underlag i form av ortofoton, flygbilder och primärkartor. De yttyper som karterades var asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak. Till permeabla ytor räknas gräsmarker, skogsmarker och berg. Plattor och sand/grus tillhör de mest svårbedömda yttyperna varför en känslighetsanalys genomfördes där avrinningskoefficienten för dessa yttyper varierades för att undersöka hur stor påverkan blir på den sammanvägda avrinningskoefficienten.

Resultatet av känslighetsanalysen visade att hur yttyperna plattor och sand/grus karteras har liten betydelse för den sammanvägda avrinningskoefficienten vilket främst beror på att andelen av dessa yttyper av den totala arean är liten.

Resultatet av studien visade att den största förändringen av avrinningskoefficienten har skett i villaområdena där ökningen av andelen hårdgjord yta härrör från nytillkomna tak i form av altaner och garage samt från asfalterade eller plattbelagda garageuppfarter. För hyreshusområdena och radhus- och kedjehusområdena visade resultatet på en marginell förändring av avrinningskoefficienten. För villaområdena låg de beräknade sammanvägda avrinningskoefficienterna över de rekommenderade värdena från Svenskt Vatten medan de överensstämde för hyreshusområdena och radhus- och kedjehusområdena. Slutsatsen var att det är aktuellt med en ökning av de rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienterna.

Nyckelord: avrinningskoefficient, hårdgjord yta, rationella metoden, dagvatten

*Institutionen för geovetenskaper; Luft-, vatten-, och landskapslära. Uppsala universitet
Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA
ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Runoff coefficients in the rational method – a comparison between today and the 1970`s

Johanna Östlind

Storm water is rain and melted snow that runs off, primarily from impervious surfaces. Future storm water management is facing the challenges of increased precipitation, as climate changes, and increased areas of impervious surfaces due to the expansion and densification of the cities. Impervious surfaces reduce the potential for water to infiltrate in the ground leading to increased surface runoff and higher peak discharge.

The runoff coefficient is closely related to the percentage of impervious surfaces and represents the maximum percentage of a catchment that can contribute to runoff. In this study, the objective was to evaluate the weighted runoff coefficient for three different urban types; apartment buildings, townhouses and residential areas and a comparison between today and the 1970`s was made.

The runoff coefficient was determined by manual mapping of the different surface types in each area based on data in the form of orthophotos and aerial photographs. The surface types that were mapped were asphalt, permeable areas, tiles, sand/gravel and roof. Tiles and sand/gravel were the most difficult surface types to map. In order to see to what extent these categories influenced the weighted runoff coefficient a sensitivity analysis was carried out and the runoff coefficient based on surface type was changed in different scenarios.

The results of the sensitivity analysis showed that the surface types tiles and sand/gravel had little impact on the weighted runoff coefficient which in mainly due to the fact that the percentage of these surfaces types of the total area is small.

The result of the study showed that the largest change in the runoff coefficient occurred in residential areas where the increase in the percentage of impervious surfaces caused by new roofs in the form of porches and garages and from paved or tiled driveways. For apartment buildings and townhouses the change in the runoff coefficient was small and probably within the margin of error. The calculated runoff coefficient for the residential areas is higher than what is recommended from de organization Svenskt Vatten and the conclusion was that it is necessary to adjust the recommended values. The calculated runoff coefficient for the apartment building areas and townhouse areas coincide with the recommended values.

Keyword: runoff coefficient, impervious surface, rational method, stormwater

*Department of Earth Sciences. Program for Air, Water and Landscape Sciences.
Uppsala University.
Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA
ISSN 1401-5765*

FÖRORD

Detta arbete omfattar 30 hp och genomförs som ett avslutande moment i Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet har utförts på CIT Urban Water Management AB under handledning av Gilbert Svensson och Linda Tegelberg. Ämnesgranskare för arbetet har varit Lars-Christer Lundin vid Institutionen för geovetenskaper; Luft-, vatten- och landskapslära Uppsala universitet.

Jag vill börja med att rikta ett stort tack till mina handledare och min ämnesgranskare för all hjälp och allt stöd under arbetets gång. Tack även till övriga medarbetare på CIT Urban Water Management AB för trevligt sällskap och roliga diskussioner. Jag vill även tacka Viktor Arnell för tillåtelse att använda bilder från hans publikationer. Till sist vill jag tacka min fästman Joel för det fantastiska stödet och de uppmuntrande orden.

Johanna Östlind

Uppsala, juni 2012

Copyright © Johanna Östlind och Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.

UPTEC W12 011, ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2012.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Sammanvägda avrinningskoefficienter i rationella metoden – en jämförelse mellan idag och 1970-talet

Johanna Östlind

Vattnet som finns på jorden ingår i ett ständigt kretslopp utan vare sig början eller slut. Den nederbörd som faller i form av regn eller snö kan samlas och bilda ytliga vattenmagasin, bilda ytligt grundvatten för att så småningom bilda avrinning i vattendrag, eller avdunsta.

I takt med att städer expanderar och förtätas ökar andelen hårdgjorda ytor, som t.ex. vägar och tak, vilket medför att vattnets naturliga kretslopp ändras och att det blir andra delprocesser som dominerar. Den största skillnaden gentemot naturområden är att vattnet inte längre kan infiltrera i marken; det rinner därför av ytorna i stället vilket resulterar i höga flöden. Det vatten som rinner av från de hårdgjorda ytorna efter ett regn eller ett snösmältningstillfälle kallas dagvatten.

För att minska risken för översvämningar på mark och i huskällare måste de höga flödena avledas, vilket traditionellt sker i ledningssystem och där dagvattnet släpps ut i närliggande sjöar och vattendrag. För att kunna dimensionera ledningssystemen på ett korrekt sätt behöver det maximala flödet efter ett regn bestämmas. Det finns flera olika sätt att bestämma det dimensionerande flödet men en ofta använd metod är den rationella metoden där flödet bestäms genom att multiplicera det studerade avrinningsområdets area med den dimensionerande regnintensiteten och en avrinningskoefficient.

Avrinningskoefficienten är nära kopplad till andelen hårdgjord yta och är ett mått på den maximala andelen av ett avrinningsområde som kan bidra till avrinningen. Avrinningskoefficienten har alltid ett värde mellan 0 och 1 och ju högre värde desto större andel av vattnet rinner av från ytan efter ett regn. Det finns rekommenderade avrinningskoefficienter dels för olika yttyper, dels för olika bebyggelse typer. För bebyggelse typer används begreppet sammanvägd avrinningskoefficient.

I detta examensarbete har den sammanvägda avrinningskoefficienten för tre bebyggelse typer utvärderats med avseende på förändringen från 1970-talet till idag. De tre studerade bebyggelse typerna var hyreshusområden, radhus- och kedjehusområden och villaområden. Tre hyreshusområden och radhus- och kedjehusområden och två villaområden i Göteborg, Linköping och Stockholm studerades. För områdena i Göteborg och Linköping genomfördes en kartering av yttyper under 1970-talet. Stockholm valdes för möjligheten till okulärbesiktning av områdena.

För att bestämma den sammanvägda avrinningskoefficienten genomfördes en manuell kartering vilket innebär att man för hand ritat ut arean av olika yttyper i ett avrinningsområde på en satellit- eller flygbild. De yttyper som karterades var asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak och den totala arean av respektive yttyp multiplicerades med motsvarande avrinningskoefficient. Genom att dividera med den totala arean av avrinningsområdet erhöles ett värde på den sammanvägda avrinningskoefficienten. Underlaget för analysen utgjordes av ortofoton, flygbilder och primärkartor som kan läsas in i ett program som heter ArcGIS och där arean av yttyper automatiskt kan beräknas.

Plattor samt sand/grus var de mest svårbedömda yttyperna och därför genomfördes en känslighetsanalys där avrinningskoefficienterna för dessa yttyper varierades för att undersöka hur stor påverkan blir på den sammanvägda avrinningskoefficienten.

Resultatet av känslighetsanalysen visar att hur yttyperna plattor och sand/grus karteras har liten betydelse för den sammanvägda avrinningskoefficienten vilket främst beror på att andelen av dessa yttyper av den totala arean är liten.

Resultatet av studien visar att den största förändringen av den sammanvägda avrinningskoefficienten har skett i villaområdena där ökningen av andelen hårdgjord yta beror på nytillkomna tak i form av altaner och garage samt från asfalterade eller plattbelagda garageuppfarter. För hyreshusområdena och radhus- och kedjehusområdena visar resultatet på en marginell förändring av avrinningskoefficienten. För villaområdena ligger de beräknade sammanvägda avrinningskoefficienterna över de rekommenderade värdena från Svenskt Vatten medan de är överensstämmande för hyreshusområdena och radhus- och kedjehusområdena. Slutsatsen var att det är aktuellt med en ökning av de rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienterna.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT.....	I
ABSTRACT	II
FÖRORD.....	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING.....	IV
1 INLEDNING	1
1.1 MÅL OCH SYFTE.....	2
1.2 AVGRÄNSNINGAR	2
2 TEORI	3
2.1 DAGVATTEN – AVRINNING I URBANA OMRÅDEN.....	3
2.2 METODER FÖR BESTÄMNING AV DIMENSIONERANDE AVRINNING	4
2.2.1 Rationella metoden.....	5
2.2.2 Tid-area-metoden	7
2.2.3 Datorbaserade modeller.....	7
2.3 METODER FÖR BESTÄMNING AV DELTAGANDE AREA.....	7
2.3.1 Avrinningskoefficient.....	8
2.3.2 Manuell kartering utifrån flygbilder.....	10
2.3.3 Automatisk kartering utifrån flygbilder.....	11
2.3.4 Nederbörds-avrinningskurvor	11
2.4 HÅLLBAR DAGVATTENHANTERING	12
3 METODER.....	15
3.1 OMRÅDESBESKRIVNING.....	15
3.1.1 Göteborg.....	15
3.1.2 Linköping.....	17
3.1.3 Stockholm	18
3.2 UTVÄRDERING AV HÅRDGÖRNINGSGRADEN IDAG OCH PÅ 1970-TALET	19
3.2.1 Göteborg.....	22
3.2.2 Linköping.....	22
3.2.3 Stockholm	24
4 RESULTAT.....	26
4.1 HYRESHUSOMRÅDEN	27
4.2 RADHUS- OCH KEDJEHUSOMRÅDEN	29
4.3 VILLAOMRÅDEN	31
4.4 VILLA- OCH KEDJEHUSOMRÅDET RYD 1	33
5 DISKUSSION.....	35
5.1 OMRÅDESTYPER	35
5.2 HÅRDGJORDA OCH PERMEABLA YTOR	36
5.3 DELTAGANDE AREA	37
6 SLUTSATSER	39
7 REFERENSER.....	40
8 BILAGA 1 – AVRINNINGSKOEFFICIENTENS VARIATION MED REGNINTENSITETEN OCH OMRÅDETS LUTNING.....	42
9 BILAGA 2 – BERGSJÖN 1	43
10 BILAGA 3 – BERGSJÖN 2	44
11 BILAGA 4 – RYD 1	45
12 BILAGA 5 – RYD 2	46
13 BILAGA 6 – STOCKHOLM 1	47

14	BILAGA 7 – STOCKHOLM 2	48
15	BILAGA 8 – STOCKHOLM 3	49
16	BILAGA 9 – KARTERADE YTTYPEN I BERGSJÖN 1	50
17	BILAGA 10 – KARTERADE YTTYPEN I BERGSJÖN 2	51
18	BILAGA 11 – KARTERADE YTTYPEN I RYD 1	52
19	BILAGA 12 – KARTERADE YTTYPEN I RYD 2	53
20	BILAGA 13 – KARTERADE YTTYPEN I STOCKHOLM 1	54
21	BILAGA 14 – KARTERADE YTTYPEN I STOCKHOLM 2	55
22	BILAGA 15 – KARTERADE YTTYPEN I STOCKHOLM 3	56

1 INLEDNING

Framtidens dagvattenhantering står inför stora utmaningar bland annat i form av anpassningar till ett förändrat klimat. För dagvattenhanteringen är det framförallt förändringen i nederbördens intensitet och varaktighet som är av betydelse. I Svenskt Vattens (2011a) publikation P104 om nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem finns en sammanställning av aktuell forskning inom klimatområdet. Det konstateras att de prognoser som gjorts tyder på att nederbördsmängderna, i delar av Sverige, kommer att öka de kommande 100 åren. Den nederbörd som faller kommer även att fördelas annorlunda över året med mindre regn under sommaren och mer under höst och vinter. Dock kan risken för högintensiva regn sommartid öka men omfattningen av förändringen varierar beroende på var man befinner sig.

De scenarier som hittills tagits fram med hjälp av regionala klimatmodeller ger inga svar på hur korttidsnederbörden i urbana områden kommer att förändras (Svenskt Vatten, 2011a) vilket är av stor betydelse för dimensionering av framtida dagvattensystem. Det finns ett fåtal analyser gjorda för svenska förhållanden där det konstateras att ingen tydlig trend i form av ökande regnintensiteter kan utskiljas, se t.ex. Hernebring (2008) och Bengtsson (2008).

Ökade nederbördsmängder är inte den enda utmaningen som framtidens dagvattenhantering står inför. I takt med att städer expanderar och förtätas ökar andelen hårdgjorda ytor i form av t.ex. byggnader samt vägar och andra asfalterade områden. Hårdgjorda ytor minskar möjligheten för regnvatten att infiltrera vilket leder till ökad ytavrinning (Jacobson, 2011). Enligt Peters och Rose (2001) kan toppflödet komma att öka med 30 % upp till över 100 % i urbana områden jämfört med mindre urbana eller icke urbana områden. En annan effekt av ökad andel hårdgjorda ytor är minskning av grundvattennivån då den nederbörd som faller inte har samma möjligheter att infiltrera som i naturmark (Jacobson, 2011). Perry och Nawaz (2008) undersökte hur mycket andelen hårdgjorda ytor hade ökat i ett villaområde i England på grund av asfaltering av garageuppfarter. Från 1971 till 2004 hade andelen asfalterade garageuppfarter ökat med 138 % och den totala andelen hårdgjorda ytor i området ökat med 13 %. Enligt Perry och Nawaz (2008) ökar avrinningen från ett område linjärt med andelen hårdgjord yta. Hur kraftigt den ökar beror på vilken typ av jordart som finns i området. Metoder för att bestämma andelen hårdgjorda ytor i ett område är därför av största vikt för att kunna dimensionera dagvattenledningar på ett korrekt sätt.

Avrinningskoefficienten är nära kopplad till andelen hårdgjorda ytor och beskriver hur stor del av nederbörden som avrinner. Avrinningskoefficienten är ett mått på den maximala andelen av ett avrinningsområde som kan bidra till avrinningen och den beror förutom på andelen hårdgjord yta även på regnintensiteten och områdets lutning (Svenskt Vatten, 2004). I Svenskt Vattens (2004) P90 om dimensionering av allmänna avloppssystem finns anvisningar för dimensionering av dagvattenförande ledningar. Bestämning av dimensionerande flöde för dagvatten görs ofta med hjälp av rationella metoden och utgår från avrinningsområdets area, regnintensiteten och en avrinningskoefficient. I P90 (Svenskt Vatten, 2004) finns rekommenderade avrinningskoefficienter dels för separata ytor, dels för olika bebyggelsetyper, så kallade sammanvägda avrinningskoefficienter. De sammanvägda avrinningskoefficienterna har inte utvärderats på mer än femtio år och man vet att bebyggelsen ser annorlunda ut idag med större andel hårdgjorda ytor. Det finns därför anledning att tro att de sammanvägda avrinningskoefficienterna är större idag vilket riskerar leda till underdimensionering av framtida dagvattensystem.

1.1 MÅL OCH SYFTE

Syftet med detta examensarbete var att jämföra den sammanvägda avrinningskoefficienten för tre olika bebyggelse typer och om, och i så fall hur, den har förändrats mellan 1970-talet och idag.

De beräknade sammanvägda avrinningskoefficienterna för dagens situation skall även jämföras med de rekommenderade värdena enligt P90 (Svenskt Vatten, 2004) för att undersöka om de rekommenderade värdena behöver revideras.

Avrinningskoefficienten skall bestämmas med manuell kartering utifrån flygbilder och metoden skall jämföras med de metoder som använts i dagvattenutredningar från 1970-talet.

1.2 AVGRÄNSNINGAR

I Svenskt Vattens (2004) P90 om dimensionering av allmänna avloppsledningar finns rekommenderade avrinningskoefficienter för sex olika bebyggelse typer. I detta examensarbete utvärderas endast tre av dessa.

De områden som väljs ut bör i alla väsentlighet ha behållit sin karaktär för att komma ifråga för analys. Detta innebär att de inte bör ha byggts om eller förtätats nämnvärt, utan att skillnaden i hårdgörningsgrad främst beror av annan fördelning mellan yttyper. Vidare bör de valda områdena vara väl avgränsade och högst 30 ha stora.

I detta arbete ligger fokus på hårda ytors bidrag till avrinning. Vid långvariga och kraftiga regn kan även permeabla ytor, såsom gräsmarker, bidra till avrinning då marken är mättad på vatten. Permeabla ytor kan även bidra till avrinning om landskapet är kuperat. I analyserna behandlas ytorna som om de vore platta då någon höjdinformation inte finns tillgänglig i den GIS-programvara som används.

2 TEORI

2.1 DAGVATTEN – AVRINNING I URBANA OMRÅDEN

Dagvatten definieras enligt Svenskt Vatten (2004) som ytligt avrinnande regn- och smältvatten från framförallt hårdgjorda ytor. Det finns flera definitioner på vad en hårdgjord yta är; en vanlig är en impermeabel yta vilket i bebyggda områden innefattar t.ex. asfalterade ytor såsom vägar och parkeringsplatser samt hustak (Huang m.fl., 2008). Även berg i dagen och grusade ytor kan fungera som hårdgjorda ytor och bidra till ytavrinning. Motsatsen till hårda ytor är permeabla ytor som är t.ex. naturmark och gräsytor.

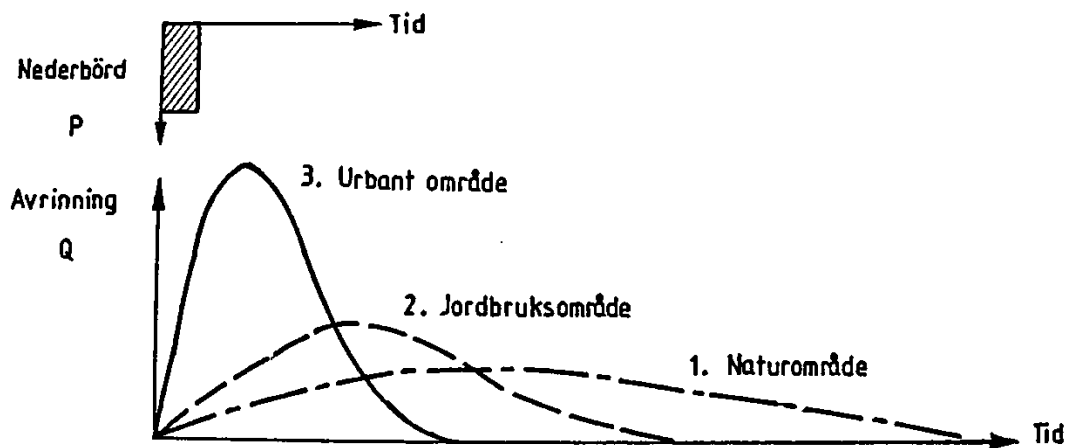
Vattnet som finns på jorden ingår i ett ständigt kretslopp utan vare sig början eller slut. Den nederbörd som faller i form av regn eller snö kan samlas och bilda ytliga vattenmagasin, bilda ytligt grundvatten för att så småningom bilda avrinning i vattendrag, eller avdunsta. Då områden bebyggs, urbaniseras, och de hårdgjorda ytorna ökar ändras vattnets naturliga kretslopp.

Hårdgörning av tidigare permeabla, vegetationsbeklädda ytor medför en volymsmässig ökning av avrinningen samtidigt som maximiavrinningen, d.v.s. flödestoppen, ökar vilket har flera orsaker. Effekten av urbanisering är som störst för små flödestoppar (Bucht m.fl., 1977) vilket förklaras av att ett icke urbant område beter sig som ett urbant område vid kraftiga och långvariga regn på grund av att markens infiltrationskapacitet överskrids.

I urbana områden minskar möjligheterna för vattnet att magasineras i mark- och grundvattenzonen på grund av att de hårdgjorda ytorna hindrar vattnet från att infiltrera (Chow m.fl., 1988). Dessutom bidrar en ökad dränering i urbana områden till att magasineringsmöjligheterna minskar ytterligare. Minskningen av magasineringsmöjligheterna leder till ökad avrinning såväl totalt som under enskilda nederbördstillfällen (Bucht m.fl., 1977).

Att den totala volymen avrunnet vatten ökar i urbana områden beror även på att vegetationen förändras. Då skogs- och ängsmark övergår i tomtmarker försvinner delvis den möjlighet till utjämning och fördröjning som vegetationen har. Den del av nederbörden som fastnar på vegetationen och sedan avdunstar, den så kallade interceptionen, likväl som det vatten som avdunstar aktivt från mark och växtlighet i form av evapotranspiration minskar. Detta medför att den totala vattenvolymen som når marken och kan bilda avrinning i form av dagvatten ökar, vilket leder till ökad volym avrinning (Bucht m.fl., 1977). Interceptionens betydelse är störst vid kortvariga och mindre intensiva regn. Enligt Bucht m.fl. (1977) kan upp till 75 % av nederbörden tas upp av kronskiktet i en skog och avdunsta för skurar mindre än 5 mm.

I Figur 1 illustreras förändringen i avrinningen då ett jordbruksområde och ett naturområde bebyggs.



Figur 1. Avrinningshydrografens förändring då ett område bebyggs, d.v.s. ett urbant område
Från Arnell (1980) med tillstånd.

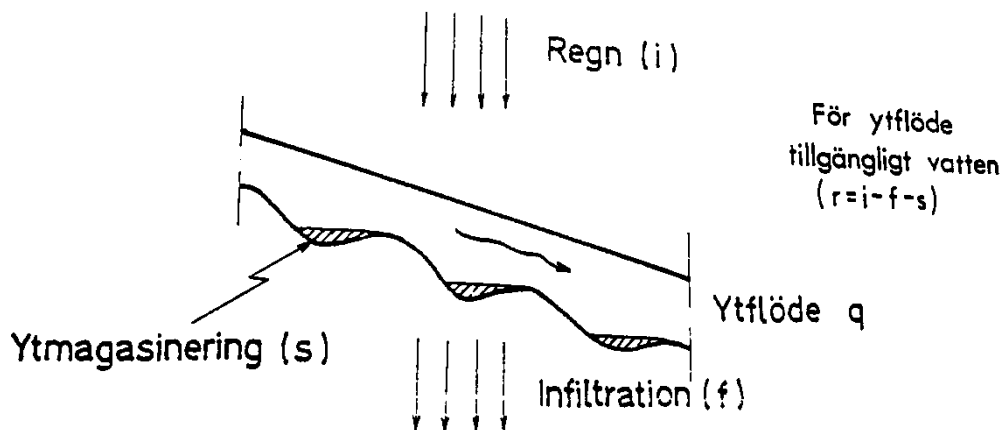
2.2 METODER FÖR BESTÄMNING AV DIMENSIONERANDE AVRINNING

För att minska risken för översvämningar på mark och i huskällare måste de ökande vattenvolymer och flödestopparna avledas vilket traditionellt sker i ledningssystem med närliggande sjöar och vattendrag som recipienter. Ledningssystemen kan vara i form av antingen kombinerade system eller separerade system. I ett kombinerat system avleds dagvatten i samma ledning som spillvatten och dimensioneras inte för att klara höga flöden vilket medför att bräddavlopp eller utjämningsmagasin kan behöva användas. Det finns två typer av separerade system, duplikatsystem och separatsystem. I ett duplikatsystem avleds dagvattnet och spillvattnet i två separata ledningar medan dagvattnet i ett separatsystem avleds i öppna diken.

Inom bebyggda områden är det den avrinning som sker från de hårdgjorda ytorna efter häftiga och relativt kortvariga regn som oftast blir dimensionerande för ledningssystemet (Svenskt Vatten, 2004). Vid sådana regn bidrar inte omgivande naturmarker i någon större utsträckning till avrinningen. Då långvariga regn faller över kuperade områden kan marken mättas vilket leder till att även de permeabla ytorna kan bidra till en snabb avrinning. I länder med kallare klimat, som i Sverige, påverkar även snösmältningen avrinningen vilket måste tas i beaktande vid dimensionering.

Det finns flera olika metoder för att bestämma avrinningen från bebyggda områden och valet av beräkningsmetod beror enligt Arnell (1980) av ett antal faktorer såsom behovet av flödeskaraktistika i form av t.ex. maxflöden, avrunna volymer eller hela avrinningshydrografer. Vidare påverkas valet av beräkningsmetod av noggrannhetskraven i de hydrologiska och hydrauliska beräkningarna samt tillgången till relevanta indata i form av områdesbeskrivningar, nederbördsdata m.m.

För att noggrant kunna beräkna avrinningen från bebyggda områden krävs en modell som kan beskriva avrinningsförloppet från de hårdgjorda ytorna. Viktiga delprocesser som måste tas i beaktande är: ytmagasinering i håligheter och vattenpölar som sedan avdunstar, ytavrinning, eventuellt flöde i rännstenar och diken samt infiltration (Arnell, 1980). Det första regnet som faller bidrar inte till avrinning. Det går åt för att väta marken och fylla små magasin. Figur 2 illustrerar de olika delprocesserna.



Figur 2. Delprocesserna i avrinning i bebyggda områden. Från Arnell (1980) med tillstånd.

Vidare måste en beskrivning av vattnets transport i ledningar, magasin och bräddavlopp göras. Valet av beräkningsmetod är även beroende av vilken typ av dagvattensystem som skall dimensioneras. Det behövs olika indata för dimensionering av ledningar och diken eller för utjämningsmagasin och bräddavlopp.

För beräkning av dagvattenavrinning är rationella metoden en vanligt använd metod som bygger på statistisk överslagsberäkning. I följande avsnitt beskrivs den rationella metoden och dess användningsområden mer ingående. Dessutom presenteras tid-area metoden samt datorbaserade modeller för att bestämma avrinningen.

2.2.1 Rationella metoden

Rationella metoden är en vanligt använd metod för bestämning av det dimensionerande flödet vid dimensionering av dagvattenledningar. Det är en statistisk överslagsmetod där maximiflödet bestäms, och metoden är lämplig att använda för mindre områden i storleksordningen upp till ca 50 ha (Lyngfelt, 1981). Enligt Svenskt Vatten (2004) bör området, som dagvattenavrinningen beräknas från, vara i det närmaste rektangulärt för att rationella metoden skall vara tillämpbar och olika delområdets rinntider får inte variera alltför mycket.

Enligt rationella metoden beräknas det dimensionerande flödet som:

$$q_{\text{dim}} = A \cdot \varphi \cdot i(t_r) \quad (1)$$

där

q_{dim} = dimensionerande flöde, [l/s]

A = avrinningsområdets area, [ha]

φ = avrinningskoefficient, [-]

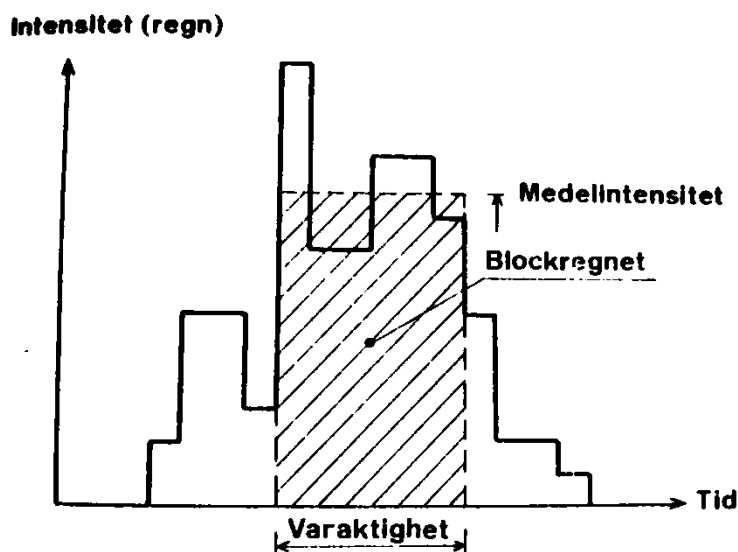
$i(t_r)$ = dimensionerande regnsintensitet [l/s · ha]

t_r = regnets varaktighet

I rationella metoden sätts regnets varaktighet lika med områdets koncentrationstid som är den tid som fortlöper innan hela området deltar i avrinningen, d.v.s. tiden det tar för regnet att transportera sig från den mest avlägsna punkten till det studerade utloppet. Rationella metoden bygger på att den maximala avrinningen och därmed det maximala flödet från ett område efter ett regn inträffar vid den tidpunkten då hela området bidrar till avrinningen. Områdets koncentrationstid är bland annat beroende av områdets lutning, storleken och regnintensiteten. Att regnets varaktighet sätts lika med områdets

koncentrationstid innebär att små områden får kortare varaktigheter och därmed får dimensionerande regn med högre intensitet än stora områden.

Traditionellt används så kallade intensitets-varaktighetskurvor vid dimensionering av dagvattensystem (Svenskt Vatten, 2011a). Dessa kurvor utgörs av statistiskt bearbetade data över maximala medelnederbördsintensiteter för olika individuella regn. I kurvorna plottas regnintensiteten mot varaktigheten för en given återkomsttid. Intensitets-varaktighetskurvor säger ingenting om hur regnet varierar med tiden, utan utgår från att regnet har en konstant medelintensitet under hela varaktigheten. En sådan representation av en regnhändelse kallas blockregn. En regnhändelse består egentligen av ett antal mindre blockregn med en viss varaktighet och en given intensitet. Blockregnet bestäms som den maximala medelnederbördsintensiteten för en given varaktighet för ett regn. Blockregnet representerar således endast en del av det verkliga regnet. I Figur 3 visas principen för ett blockregn.



Figur 3. Blockregn, d.v.s. den maximala medelintensiteten för en bestämd varaktighet. Från Arnell (1980) med tillstånd.

På senare tid har bland annat Hernebring (2006) och Dahlström (2010) presenterat intensitets-varaktighetskurvor. För svenska förhållanden med en regnvaraktighet på upp till ett dygn rekommenderar Svenskt Vatten (2011a) användning av Dahlströms varaktighetskurvor. Regnintensiteter för ett antal ofta använda varaktigheter och återkomsttider finns tabellerade i Svenskt Vattens (2011a) P104 och kan användas vid dimensionering.

Återkomsttiden, eller återkomstintervallet, är det tidsintervall som statistiskt sett fortlöper mellan varje blockregnsintensitet eller flöde med ett bestämt värde. Om flödet 500 l/s har återkomstintervallet 2 år i en viss punkt i dagvattensystemet kommer detta flöde att i genomsnitt (över en längre tidsperiod) inträffa varannat år. Ju längre återkomstintervallet är för ett regn eller ett flöde desto större är detta flöde. Beroende på vilken typ av bebyggelse som finns i området används olika återkomsttider för att beräkna det dimensionerande flödet. Återkomsttiderna varierar mellan 1 och 10 år. Rationella metoden bygger på att regn och flöde är kopplade till ett visst återkomstintervall istället för en bestämd specifik regnhändelse.

Rationella metodens grundläggande hypotes är att om regnintensiteten och flödet bestäms utifrån intensitets-varaktighetskurvor, så är kvoten mellan flödet och regnintensi-

teten konstant oberoende av vilken återkomsttid som väljs. Kvoten är konstant och lika med det studerade områdets area multiplicerat med avrinningskoefficienten ϕ för området.

2.2.2 Tid-area-metoden

Tid-area metoden är även den en metod som lämpar sig för handräkning och överslagsberäkning av avrinningen från mindre områden. Det är en grafisk metod där avrinningen bestäms som maximala flöden eller hela avrinningshydrografer inklusive volymer (Arnell, 1980). Metoden bygger på att den area som bidrar till flödet i den studerade punkten är olika stor vid olika tidpunkter. En tid-area kurva konstrueras som beskriver den deltagande reducerade arean i avrinningen som funktion av tiden för en konstant regnintensitet. Det finns två sätt att konstruera en sådan kurva för beräkningpunkten i det studerade området. Det ena sättet innebär att konstruera tid-area kurvor för ett antal delområden i avrinningsområdet och summera dessa kurvor till en tid-area kurva för hela området. Det andra sättet innebär att konstruera isolinjer som förbinder punkter med samma rinntid till beräkningpunkten. Därefter kan tid-area kurvan ritas upp för beräkningpunkten för hela det studerade området.

Vid framtagande av tid-area kurvan görs ett antal antaganden enligt (Arnell, 1980):

- Deltagande reducerad area är konstant.
- Tid-area kurvan för ett delområde är linjär.
- Koncentrationstiden, dvs. den längsta rinntiden inom varje delområde, är oberoende av nederbördsintensiteten.
- Vattnets hastighet på mark och i ledning är konstant.

Att tillrinningskurvan är linjär är ett rimligt antagande om delområdena väljs tillräckligt små med en koncentrationstid på upp till några minuter. Noggrannheten i beräkningarna av maximala flöden med tid-area metoden beror främst på hur väl uppskattningen av den deltagande arean, tillrinningstiden och tid-area kurvans form kan göras (Arnell, 1980). Det maximala flödet varierar även med områdets form och för vissa områden kan det maximala flödet erhållas då endast en del av området deltar i avrinningen.

2.2.3 Datorbaserade modeller

Datorbaserade modeller beskriver ofta på ett bättre sätt de delar av den urbana avrinningen som beskrivits i avsnittet 2.2 ovan och bättre värden på det dimensionerande flödet kan åstadkommas. Datorbaserade metoder kan användas som överslagsberäkning om indata är förenklingar av verkligheten. Dagens ledningssystem blir alltmer komplexa och invecklade vilket ytterligare motiverar införandet av datorbaserade modelleringsverktyg. Två vanligt använda modelleringsverktyg är SWMM och MikeUrban. Amerikanska Naturvårdsverket EPA (Environmental Protection Agency) har utvecklat SWMM (Storm Water Management Model) som är en dynamisk modell för simulering av nederbörds- och avrinningsförlopp framförallt i urbana områden (Rossman, 2010). MikeUrban har utvecklats av DHI (Danskt Hydrauliskt Institut) och används för modellering av VA-system i GIS-miljö (DHI, 2011)

2.3 METODER FÖR BESTÄMNING AV DELTAGANDE AREA

Av avgörande betydelse för att kunna beräkna dagvattenavrinningens storlek, på det sätt som beskrivits i avsnitt 2.2 ovan, är att kunna uppskatta den i avrinningen deltagande arean och hur den är fördelad inom avrinningsområdet. Den deltagande arean kan delas in i deltagande hårdgjord area och deltagande permeabel area. I bebyggda områden an-

tas ofta att den deltagande arean helt består av den hårdgjorda ytan vilket väl överensstämmer med verkligheten för måttliga regnintensiteter och lutningar varför metoder för att bestämma den hårdgjorda ytan har utvecklats.

Historiskt har framförallt två metoder använts för att uppskatta andelen och fördelningen av hårdgjorda ytor; manuell kartering utifrån satellit eller flygbilder alternativt bestämning av avrinningskoefficienter baserat på områdestyp (Lundmark, 2010). Vidare har bland annat Yuan och Bauer (2007) visat att marktemperaturen och Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) kan användas som indikatorer på andelen hårdgjorda ytor. Ju lägre NDVI index en mätcell har desto mindre växtlighet och därmed högre andel hårdgjord yta finns det (Yuan & Bauer, 2007).

Gemensamt för de flesta av de metoder som används för att bestämma andelen hårdgjord yta är att de bygger på fjärranalys. Fjärranalys innebär insamling av information om jordytan med hjälp av t.ex. flygplan och satelliter (Larsson, 1980). Inom området fjärranalys ingår även att bearbeta och tolka den insamlade datamängden. En förutsättning för fjärranalystekniken är tillgången på sensorer som kan registrera den elektromagnetiska strålning som alla objekt avger. Av betydelse för kvaliteten på analysen är tillgången på korrekt och högupplöst dataunderlag. Det kan även vara svårt att urskilja olika typer av ytor på grund av skuggning och i vilken vinkel som exempelvis ett flygfoto har tagits. God kännedom om dataunderlagets begränsningar är en förutsättning för en lyckad analys (Weng, 2012).

Redovisningen av fjärranalysen kan t.ex. ske i form av flygbilder som kan användas för manuell kartering. Analysen av hårdgjorda ytor kan även automatiseras vilket är användbart vid tolkning av andelen hårdgjorda ytor av många och/eller stora områden.

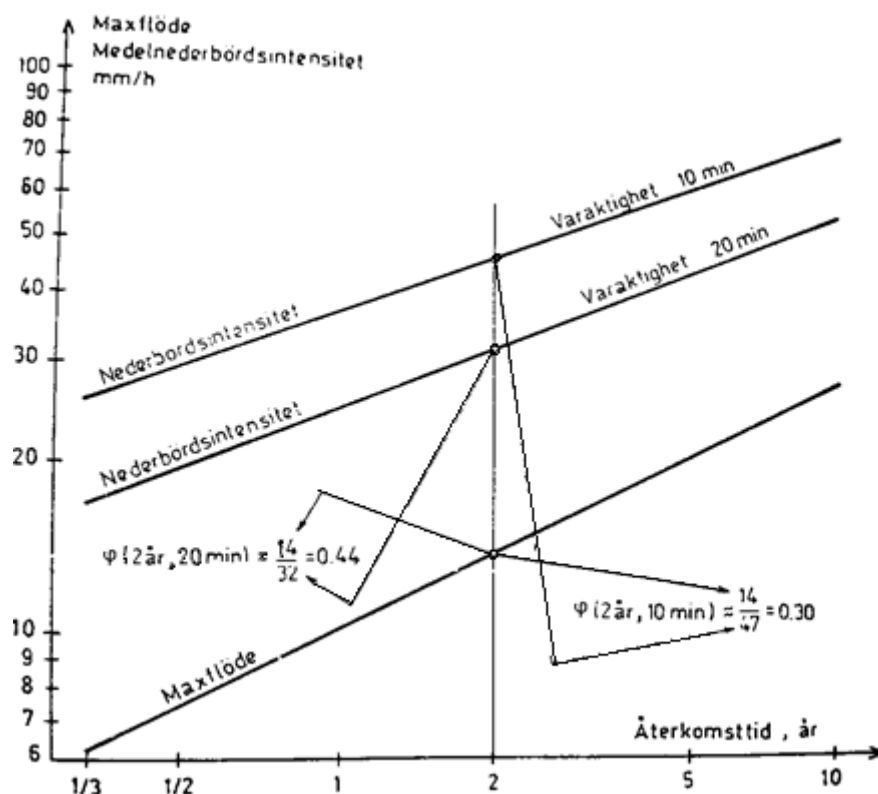
Avrinningskoefficienten är nära kopplad till andelen hårdgjord yta och hur denna används vid dimensionering av dagvattenledningar beskrivs i detta avsnitt. Manuell kartering utifrån flygbilder och ett exempel på en automatiserad metod för tolkning av yttypen beskrivs som exempel på metoder att bestämma andelen hårdgjorda ytor. Sambandet mellan nederbördsvolym och avrunna volymer kan användas för att bestämma den i avrinningen deltagande ytan och är ett exempel på hur insamling av data i fält kan användas för mer noggranna beräkningar för ett specifikt område och beskrivs översiktligt.

2.3.1 Avrinningskoefficient

Avrinningskoefficienten ϕ i ekvation (1) är ett mått på den deltagande arean efter ett nederbördstillfälle. Avrinningskoefficienten är alltid mindre än 1 beroende på förluster i form av avdunstning, infiltration, absorption och magasinering. Värdet på avrinningskoefficienten beror även av andelen hårdgjord yta, regnintensiteten och områdets lutning. Ju större lutning och andel hårdgjord yta desto större värde får avrinningskoefficienten. För enkelhetens skull antas dock avrinningskoefficienten vara konstant (Svenskt Vatten, 2004). I P90 (Svenskt Vatten, 2004) finns en sammanställning av tyska anvisningar gällande avrinningskoefficientens variation med regnintensiteten och områdets lutning, se Bilaga 1. Där konstateras det att ju större lutning ett område har och ju större regnintensitet desto större blir värdet på avrinningskoefficienten för samma varaktighet på regnet.

Enligt rationella metoden utgör avrinningskoefficienten kvoten mellan de statistiska fördelningsfunktionerna för maxflödet och den maximala medelnederbördsintensiteten (blockregnet) för olika varaktigheter. En fördelningsfunktion beskriver sannolikheten att ett visst värde, på i detta fall maxflödet eller nederbördsintensiteten, skall uppnås eller överskridas. När det gäller maxflöden och nederbördsintensiteter är det praktiskt att

uttrycka sannolikheten som återkomsttiden för ett visst maxflöde. Utifrån uppmätta värden under en lång tidsperiod kan varje maxflöde och varje nederbördsintensitet kopplas till en viss återkomsttid som kan prickas in på ett sannolikhetspapper. Den maximala avrinningskoefficienten utgör kopplingen mellan de två statistiska fördelningsfunktionerna så till vida att den utgör kvoten mellan maxflödet och nederbördsintensiteten för en given varaktighet, se Figur 4. Om logaritmerade värden används och om avrinningskoefficienten inte varierar med återkomsttiden, antas i rationella metoden, är fördelningsfunktionerna för maxflödet och nederbördsintensiteten parallella.



Figur 4. Principiellt utseende hos statistiska fördelningsfunktioner för maxflöden och nederbördsintensiteter samt bestämning av avrinningskoefficienten ϕ . Från Arnell m.fl. (1980) med tillstånd. Avrinningskoefficienten, för återkomsttiden två år, beräknas genom att värdet på nederbördsintensiteten och maxflödet avläses från y-axeln och divideras med varandra. I figuren visas beräknade värden för två regnvaraktigheter.

Då det i många fall inte finns tillgång till långa mätserier av maxflöden och nederbördsintensiteter måste avrinningskoefficienten kunna bestämmas på ett mer praktiskt sätt och kopplas till andra storheter som beskriver ett område, som t.ex. andelen hårdgjord yta. I P90 (Svenskt Vatten, 2004) finns tabellerade värden för avrinningskoefficienter för olika typ av ytor som kan användas vid dimensionering, se Tabell 1. Dessa avrinningskoefficienter gäller för dimensionerande intensiteter och måttliga lutningar (Svenskt Vatten, 2004) och avrinningskoefficienten kan överslagsmässigt sättas lika med andelen hårdgjord yta i bebyggda områden.

Tabell 1. Avrinningskoefficienter för olika typer av ytor (Svenskt Vatten, 2004)

Typ av yta	ϕ (-)
Tak	0,9
Betong- och asfaltyta, berg i dagen i stark lutning	0,8
Stensatt yta med grusfogar	0,7
Grusväg, starkt lutande bergigt parkområde utan nämnvärd vegetation	0,4
Berg i dagen i inte alltför stark lutning	0,3
Grusplan och grusad gång, obebyggd kvartersmark	0,2
Park med rik vegetation samt kuperad bergig skogsmark	0,1
Odlad mark, gräsyta, ängsmark m.m.	0-0,1
Flack tätbevuxen skogsmark	0-0,1

Om ett område består av flera delområden med olika avrinningskoefficienter kan en sammanlagd avrinningskoefficient beräknas enligt (Svenskt Vatten, 2004):

$$\phi = \frac{A_1\phi_1 + A_2\phi_2 + \dots + A_n\phi_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

där A_n och ϕ_n anger arean respektive avrinningskoefficienten för de olika delområdena. För överslagsberäkning kan i P90 (Svenskt Vatten, 2004) tabellerade värden på sammanvägda avrinningskoefficienter för ett antal bebyggelsetyper användas, se Tabell 2.

Tabell 2. Sammanvägda avrinningskoefficienter för olika bebyggelsetyper (Svenskt Vatten, 2004)

Bebyggelsetyp	Avrinningskoefficient ϕ (-)	
	Flackt	Kuperat
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,70	0,90
Slutet byggnadssätt med planterade gårdar, industri- och skolområden	0,50	0,70
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus, hyreshus)	0,40	0,60
Radhus, kedjehus	0,40	0,60
Villor, tomter < 1 000 m ²	0,25	0,35
Villor, tomter > 1 000 m ²	0,15	0,25

2.3.2 Manuell kartering utifrån flygbilder

Manuell kartering av ett område innebär att de hårdgjorda ytorna ritas ut manuellt med ett flygfoto eller en satellitbild som underlag. Det är en tidskrävande metod med hög noggrannhet som ofta används på mindre områden, för att det ska vara kostnadseffektivt. Med manuell kartering kan flera olika typer av hårdgjorda ytor klassificeras med utgångspunkt från de yttyper som finns angivna i Tabell 1. Den totala arean av en viss yttyp multiplicerat med avrinningskoefficienten för den yttypen ger den totalt bidragande hårdgjorda ytan. Med hjälp av ekvation (2) kan sedan den sammanlagda avrin-

ningskoefficienten beräknas för det studerade området genom att summera alla hårdgjorda ytor.

Vidare är det beräknade värdet på den totala, sammanlagda avrinningskoefficienten beroende av vilka ytor som anses vara hårdgjorda. Thorndahl m.fl. (2006) undersökte ett villaområde i Danmark med avseende på andelen hårdgjord yta. Fyra scenarier presenteras där de ytor som ansågs som hårdgjorda varierade mellan scenarierna på så sätt att i det första scenariot inkluderades alla typer av hårdgjorda ytor medan endast vägar och tak inkluderades i det fjärde scenariot. Thorndahl m.fl. (2006) konstaterar att avrinningskoefficienten behöver ökas med 40 % för att ge samma flöde, då den yta som anses som hårdgjord minskar med 50 % från scenario 1 till scenario 4.

För större områden är det oftast inte kostnadseffektivt med manuell kartering. Istället kan avrinningskoefficienter beroende på bebyggelse typ användas, se Tabell 2. Dessa sammanvägda avrinningskoefficienter tas fram genom empiriska studier av mindre delområden där en förutbestämd indelning av området har genomförts (Lundmark, 2010). För varje delområde bestäms en avrinningskoefficient som sedan kan multipliceras med den totala arean av området och på så sätt få ett mått på andelen hårdgjorda ytor.

Det ska påpekas att den sammanlagda avrinningskoefficienten som beräknas utifrån manuell kartering inte nödvändigtvis har samma värde som de tabellerade sammanvägda avrinningskoefficienterna i Tabell 2.

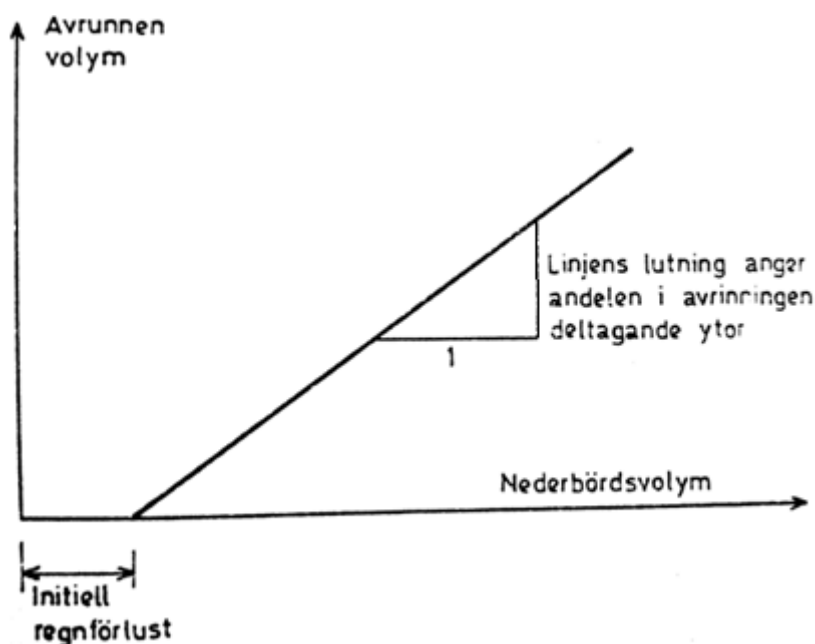
2.3.3 Automatisk kartering utifrån flygbilder

De första satelliterna som kom hade inte tillräckligt hög upplösning för att vara användbara för att bestämma hårdgjorda ytor. Tekniken med fjärranalys användes först och främst för kartering av större ytor såsom skogar och sjöar. I takt med att tekniken utvecklats och upplösningen förbättrats har metoder för att automatiskt kartera andelen hårdgjorda ytor utvecklats. De metoder som finns bygger ofta på spektral mönsterigenkänning där varje pixel kan identifieras och klassificeras för att bestämma utbredningen och fördelningen av hårdgjorda ytor (Chabaeva m.fl., 2009). German (2004) konstaterar i sin sammanställning att noggrannheten hos de automatiserade metoderna jämfört med manuell kartering utifrån flygbilder är något sämre med en avvikelse på mellan 1 % och 10 %.

GRAS (Geographic Resource Analysis & Science) vid Köpenhamns universitet har utvecklat en automatiserad metod där tolkningen av hårdgörningsgraden görs med hjälp av algoritmer som har utvecklats för att tolka yttyper utifrån en fjärranalys av flygbilder. Den metod som GRAS använder sig av bygger på en objektsbaserad analys där pixlar aggregeras i ett första steg och bildar homogena objekt med avseende på rumsliga eller spektrala egenskaper. För att denna typ av analys skall vara möjlig krävs tillgång till högupplöst dataunderlag (Blaschke, 2010).

2.3.4 Nederbörds-avrinningskurvor

Genom att studera sambandet mellan nederbördsvolym och avrunna dagvattenvolymer kan besked fås om andelen deltagande ytor i avrinningen samt storleken på den initiala regnförlusten innan avrinning sker. Sambandet har av flera författare visat sig vara approximativt linjärt (Arnell m.fl., 1980). Det principiella utseendet för sambandet mellan nederbördsvolym och avrunnen dagvattenvolym visas i Figur 5 där linjens lutning representerar andelen deltagande ytor i avrinningen och skärningen med nederbördsaxeln representerar den initiala regnförlusten.



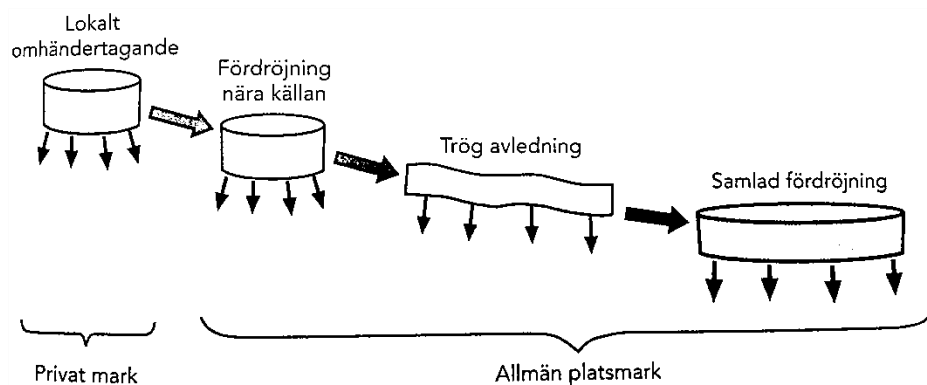
Figur 5. Principiella sambandet mellan nederbördsvolym och avrunnen volym dagvatten
Från Arnell m.fl. (1980) med tillstånd.

Att sambandet mellan nederbördsvolym och avrunnen dagvattenvolym ofta är linjärt indikerar att en fix andel av avrinningsområdet bidrar till avrinningen, nämligen de till ledningsnätet anslutna hårdgjorda ytorna (Boyd m.fl., 1993). Beroende på från vilken typ av ytor, hårdgjorda eller permeabla, som avrinning sker varierar sambandet mellan nederbördsvolymen och avrunnen volym vilket resulterar i linjer med olika lutning under nederbörds-avrinningsförloppet (Boyd m.fl., 1993). Genom att utvärdera resultatet kan storleken på de bidragande ytorna och vilken initial regnförlust som krävs innan motsvarande typ av yta kan bidra till avrinningen bestämmas. Om de permeabla ytorna inverkar på avrinningen framgår det ofta som en ökning av avrinningen vid stora nederbördsvolymer.

2.4 HÅLLBAR DAGVATTENHANTERING

I och med att städerna expanderar och förtätas blir hanteringen av dagvatten en allt viktigare fråga. För att undvika problem med t.ex. översvämningar och fuktskador på byggnader och andra anläggningar behöver alternativa lösningar för omhändertagandet av dagvatten utvecklas. Framtidens dagvattenhantering är mer inriktad på öppna lösningar och lokalt omhändertagande än avledning i ledningssystem. Det är dock troligt att dagvattenhanteringen i de centrala delarna av städerna även fortsättningsvis kommer att bygga på avledning i ledningssystem (Niemczynowicz, 1999).

I Figur 6 visas en illustration av olika kategorier av öppna dagvattenlösningar för hantering av dagvatten både på privat och på allmän mark. I Tabell 3 visas olika alternativ på tekniska utformningar för respektive kategori i Figur 6.



Figur 6. Exempel på öppna dagvattenlösningar på privat och allmän platsmark. Modifierat från Svenskt Vatten (2011b).

Tabell 3. Exempel på tekniska utformningar av dagvattenlösningar i de olika kategorierna som visas i Figur 6 (Svenskt Vatten, 2011b)

Kategori	Exempel på teknisk utformning
Lokalt omhändertagande (privat mark)	Gröna tak Infiltration på gräsytor Genomsläppliga beläggningar Infiltration och fördröjning i gräs-, grus och makadamfyllningar Perkolation Dammar Uppsamling av takvatten
Fördröjning nära källan (allmän platsmark)	Genomsläppliga beläggningar Infiltration på gräsytor Infiltration och fördröjning i gräs-, grus och makadamfyllningar Tillfällig uppdämning av dagvatten på speciellt anlagda översvämningssytor Diken Dammar Våtmarker
Trög avledning (allmän platsmark)	Svackdiken Kanaler Bäckar och diken
Samlad fördröjning (allmän platsmark)	Dammar Våtmarksområden

Syftet med öppen och lokal hantering av dagvatten är att så långt det är möjligt åter skapa den avrinning som sker från ett område med naturmark, jämför Figur 1 (Svenskt Vatten, 2011b). Genom öppna dagvattenlösningar kan vattnet fördröjas så att flödestopparna minskas, infiltrationen ökas och föroreningar kan renas.

För att sätta dagvattenfrågan i fokus är det av största vikt att frågorna tas upp redan i tidiga skeden i planeringsarbetet med upprättande av kommunala översiktsplaner, fördjupade översiktsplaner och detaljplaner. Ny bebyggelse bör placeras med hänsyn till förutsättningarna att lösa dagvattenfrågan. Det är av denna anledning bättre att bebygga höglänta områden än låglänta eller instängda områden med risk för översvämningar. För

redan bebyggda områden ser förutsättningarna annorlunda ut men ambitionen bör ändå vara att så långt det är möjligt ta hand om dagvattnet lokalt genom t.ex. infiltration och fördröjning (Svenskt Vatten, 2011b). Niemczynowicz (1999) konstaterar att det inte i första hand är de rent tekniska och hydrologiska aspekterna som påverkar vilken lösning som väljs utan att det snarare är ekonomiska och sociala begränsningar som blir avgörande.

3 METODER

I Tabell 2 finns sex olika bebyggelse typer varav tre valdes för analys; Öppet byggnads sätt (flerfamiljshus, hyreshus), Radhus/kedjehus och Villor, tomter < 1000 m² i städerna Göteborg, Linköping och Stockholm. För ett antal områden i Göteborg och Linköping genomfördes på 1970-talet en dagvattenutredning i syfte att förbättra underlaget för dimensionering av dagvattensystem vilket gjorde det lämpligt att analysera dessa områden då underlaget från studierna kan användas. De tre bebyggelse typerna som skall analyseras finns representerade både i Göteborg och i Linköping vilket var avgörande för valet av bebyggelse typer. För Stockholm fanns ingen dagvattenutredning men det var enkelt att okulärbesiktiga de områden som valdes där. Utgångspunkten för valet av områden i Stockholm var att de inte skulle ha förändrat sin karaktär nämnvärt sedan 1970-talet och representera de tre bebyggelse typerna som skall analyseras. Vidare bör de valda områdena vara väl avgränsade och i storleksordningen 10-30 ha för att undvika att en liten förändring av den hårdgjorda ytan medför en oproportionerligt stor förändring av den sammanvägda avrinningskoefficienten.

En manuell kartering av områdena genomfördes där yttyperna asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak karterades för situationen på 1970-talet och för dagens situation för de olika områdena. Den procentuella förändringen från 1970-talet till idag bestämdes och de beräknade avrinningskoefficienterna för dagens situation jämfördes med de rekommenderade värdena enligt P90 (Svenskt Vatten, 2004).

En känslighetsanalys genomfördes där avrinningskoefficienten för kategorierna plattor och sand/grus ändrades för att se hur stor påverkan de hade på den sammanvägda avrinningskoefficienten.

3.1 OMRÅDESBESKRIVNING

Nedan ges en beskrivning av de analyserade områdena och deras beskaffenhet gällande bland annat storlek och bebyggelse typ. Dessutom ges en beskrivning av hur avrinningskoefficienterna för områdena i Göteborg och Linköping bestämdes i studierna under 1970-talet samt vilka mätningar som genomfördes.

Avgränsningen av områdena i Göteborg och Linköping utgår från avrinningsområdet som har bestämts i Arnell m.fl. (1980) och Arnell och Lyngfelt (1975) utgående från dagvattensystemet och naturliga avgränsningar i form av större vägar och naturområden. För Stockholm fanns inte samma underlag men områdena har valts så att de är väl avgränsade av större vägar eller cykelvägar. Det viktigaste är inte hur avgränsningen genomförs utan att den är densamma både för analyserna av dagens situation och av situationen på 1970-talet.

3.1.1 Göteborg

I Göteborg har dagvattenundersökningar genomförts för ett område kallat Bergsjön 1, som är ett 15,4 ha stort bostadsområde beläget nordost om Göteborgs centrum. Bebyggelsen i området tillkom under 1960-talet och består av tre- och sexvånings hyreshus. I området finns också en affärslokal och två parkeringshus. Avrinningsområdet begränsas uppströms av en vattendelare bestående av bergsryggar och för dagvattnets del begränsas det nedströms av ett vägområde, se Bilaga 2, och dagvattnet avvattnas till ett separat dagvattensystem. Janis (1972) genomförde en manuell kartering av yttyper i fält vilket sammanställdes av Arnell och Lyngfelt (1975), se Tabell 4. Arnell och Lyngfelt (1975) anser att andelen hårdgjord yta i området är 38 %, vilket är summan av asfalt-, betong-

och takytor. Till asfaltytor räknas gator, trottoarer, gårdsplaner och gångvägar (Arnell & Lyngfelt, 1975). De permeabla ytorna utgör således 62 % av området och innefattar bergklackar, gräsmattor, skogsbevuxna partier och övrigt dit planteringar och plattbelagda ytor räknas (Arnell & Lyngfelt, 1975). Bergklackarna är så placerade i allmänhet att eventuell avrinning från dem rinner ut på andra permeabla ytor men i några fall sker avrinning till asfaltytor. Gräsytorerna i området avvattnas vanligtvis mot asfaltytor.

Tabell 4. Fördelning av olika typer av ytor i området Bergsjön 1 i Göteborg (Arnell & Lyngfelt, 1975)

Yttyp	Area (ha)	Andel av totala ytan (%)
Asfalt, betongytor	4,2	27
Takytor	1,6	11
Bergklackar	0,6	4
Gräsmattor	3,4	22
Skogsbevuxen terräng	4,3	28
Övrigt	1,3	8
Summa	15,4	100

För området Bergsjön 1 har nederbörden och motsvarande avrunna volymer vatten uppmätts under 1973-1974 och diagram upprättats som beskriver sambandet mellan uppmätta nederbördsvolymer och avrunna volymer vatten på så sätt som beskrivits i avsnittet 2.3.4 ovan. Arnell och Lyngfelt (1975) konstaterar att sambandet är linjärt med liten spridning av datapunkterna kring regressionslinjen. Att linjens lutning inte ändras vid stora nederbördsvolymer tyder på att en konstant andel av området bidrar till avrinningen och storleken på lutningskoefficienten tyder på att enbart de hårdgjorda ytorna deltar i avrinningen (Arnell & Lyngfelt, 1975). Andelen deltagande ytor bestämdes utifrån lutningskoefficienten till 26 % vilket kan jämföras med andelen karterad hårdgjord yta som var 38 %.

Statistiska fördelningsfunktioner för maxflödet och nederbördsintensiteten bestämdes på samma sätt som beskrivits i avsnittet 2.3.1 ovan och Arnell och Lyngfelt (1975) konstaterar att fördelningsfunktionerna är så gott som parallella men att avrinningskoefficienten är starkt beroende av valet av varaktighet (koncentrationstid), se Tabell 5.

Tabell 5. Avrinningskoefficienter för nederbördsintensiteter med olika varaktighet och återkomstintervall i Bergsjön 1 i Göteborg (Arnell & Lyngfelt, 1975)

	1 år	2 år
$i(t_c = 6 \text{ min})$	0,36	0,38
$i(t_c = 9 \text{ min})$	0,47	0,49
$i(t_c = 12 \text{ min})$	0,52	0,55

För Göteborg finns även tillgång till kartering av yttyper för ett 4,3 ha stort område söder om Bergsjön 1, här kallat Bergsjön 2. Bebyggelsen i Bergsjön 2 består av radhus och i karteringen från 1970-talet indelades ytorna inom området i kategorierna stenplattor, berg i dagen, gräs, plantering, sand, asfalt samt tak, se Bilaga 3. Någon avrinnings-

koefficient har inte beräknats för området och det finns inte tillgång till ytterligare information om nederbörds-avrinningskurvor eller statistiska fördelningsfunktioner för maxflödet och nederbördsintensiteten som är fallet med Bergsjön 1.

3.1.2 Linköping

I dagvattenutredningen som genomfördes i Linköping under åren 1976-1977 undersöktes två olika områden i stadsdelen Ryd, hädanefter kallade Ryd 1 och Ryd 2, belägna väster om Linköpings centrum.

Ryd 1 är ett 18,5 ha stort område beläget i den norra delen av stadsdelen och består till största delen av villor och kedjehus, se Bilaga 4. Området byggdes ut under 1960- och 70-talet med friliggande villor i väster och kedjehus i öster. Mitt i området finns en skola och daghem. Området är tydligt avgränsat i söder av Rydsvägen och i väster av Glyttingevägen men mer oklart avgränsat av grönområden i norr och öster. Samtliga tak i området är kopplade till dagvattensystemet liksom de flesta större asfaltsytor som är avgränsade med kantsten för att underlätta avrinningen. En del gång- och cykelvägar samt garageuppfarter saknar kantsten och avvattnas diffust till omkringliggande gator och gräsytor. Fördelningen av olika typer av ytor framgår av Tabell 6 (Arnell m.fl., 1980).

Tabell 6. Fördelningen av olika typer av ytor för området Ryd 1 i Linköping (Arnell m.fl., 1980)

Yttyp	Area (ha)	Andel av totala ytan (%)
Gator/gångvägar asfalt	3,3	18
Tak	3,0	16
Gräsytor	8,9	48
Naturmark och övrigt	3,3	18
Summa	18,5	100

Ryd 2 är ett 3,5 ha stort området beläget ost-nord-ost om Ryd 1 och består till största delen av tvåvånings hyreshus. Husen är grupperade två och två kring gårdar. En översikt av området ges i Bilaga 5. Området avgränsas tydligt av Rydsvägen i norr medan Rydskogen i öster och söder utgör en mer diffus avgränsning. I väster avgränsas området av likartad bebyggelse och gångvägar. Gator, parkeringsplatser och gårdar är asfalterade och försedda med kantsten. Gång- och cykelvägarna i området är asfalterade men saknar kantsten. Hela området avvattnas till dagvattensystemet. Fördelningen av olika typer av ytor i området framgår av Tabell 7 (Arnell m.fl., 1980)

Tabell 7. Fördelningen av olika typer av ytor och ytmaterial för området Ryd 2 i Linköping (Arnell m.fl., 1980)

Yttyp	Area (ha)	Andel av totala ytan (%)
Gator/gångvägar asfalt	1,2	35
Tak med papp	0,4	11
Tak med singel	0,4	11
Gräsytor	1,5	43
Summa	3,5	100

Under 1976 och 1977 utfördes mätningar av nederbörd och avrunnen volym vatten för områdena i Linköping och ett samband mellan parametrarna upprättades på samma sätt som beskrivits i avsnittet 2.3.4 ovan. Arnell m.fl. (1980) konstaterar att sambandet är linjärt med relativt liten spridning kring regressionslinjen för både Ryd 1 och Ryd 2 vilket innebär att den i avrinningen deltagande arean är någorlunda konstant oberoende av nederbördsvolymen. Andelen deltagande area bestämdes till 31 % och 45 % för Ryd 1 respektive Ryd 2 vilket skall jämföras med den karterade andelen hårdgjord yta som var 34 % respektive 57 % (Arnell m.fl., 1980). Någon avrinning från de permeabla ytorna i Ryd 1 har inte kunnat konstateras medan det för Ryd 2 är svårare att säga eftersom inte alla hårdgjorda ytor deltar i avrinningen (Arnell m.fl., 1980).

Även för områdena i Linköping har statistiska fördelningsfunktioner för maxflöden och nederbördsintensiteter tagits fram för återkomsttider från en vecka upp till sex månader. Maxavrinningskoefficienten bestämdes för en varaktighet på nio minuter, som är de båda områdenas uppmätta koncentrationstid, och resultatet ses i Tabell 8. Avrinningskoefficientens variation med återkomsttiden anses av Arnell m.fl. (1980) vara måttlig och för de återkomsttider på ett till fem år som är aktuella vid dimensionering är rationella metodens antagande att avrinningskoefficienten inte varierar med återkomsttiden rimlig.

Tabell 8. Avrinningskoefficienter för Ryd 1 och Ryd 2 i Linköping för olika återkomsttider och med varaktighet nio minuter (Arnell m.fl., 1980)

	Återkomsttid (månader)			
	1/4	1	3	6
Ryd 1	0,23	0,26	0,28	0,30
Ryd 2	0,34	0,38	0,42	0,45

3.1.3 Stockholm

I Stockholm har tre separata områden valts ut som representerar bebyggelse typerna Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus, hyreshus), Radhus/kedjehus och Villor, tomter < 1000 m², hädanefter kallade Stockholm 1, Stockholm 2 och Stockholm 3. Gränsen för områdena har dragits i mitten av större vägar medan hela vägen har tagits med om gränsen utgörs av en gång- eller cykelbana beroende på att det är svårt att avgöra hur en gång- eller cykelbana avvattnas.

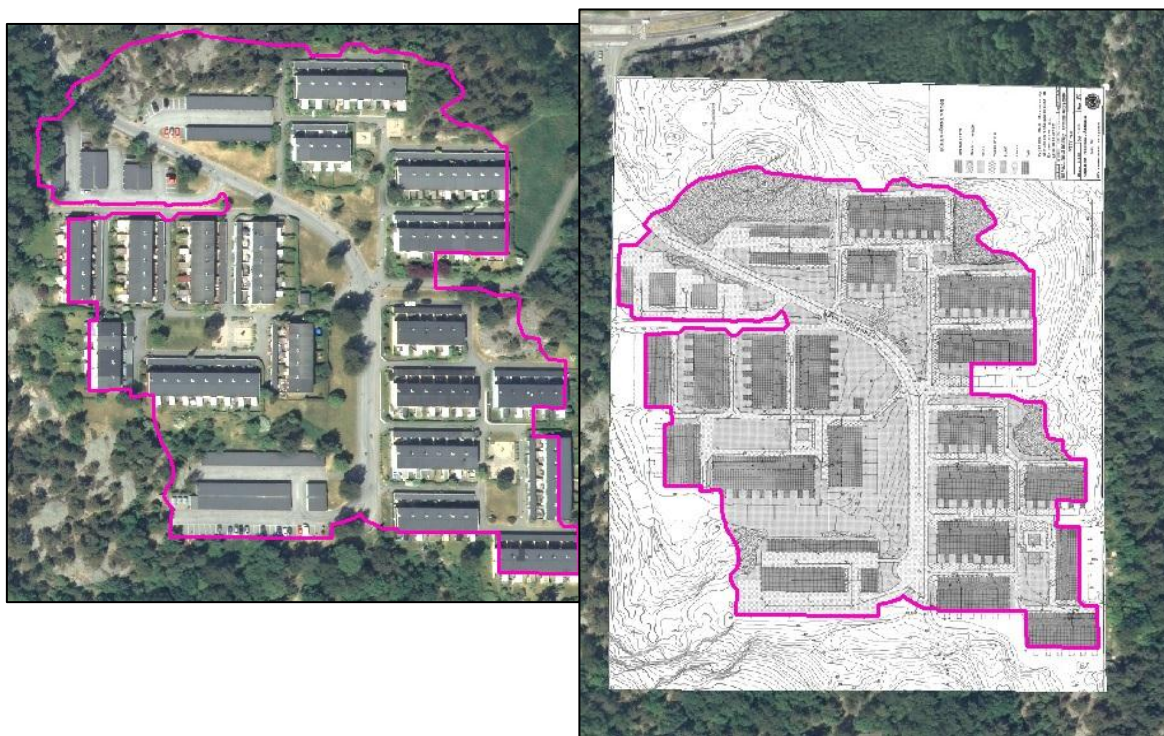
Stockholm 1 är ett 17,6 ha stort hyreshusområde i Bagarmossen bestående av tre-sexvåningshus grupperade kring gårdar, se Bilaga 6. Bebyggelsen tillkom under de första åren av 1970-talet. Sydväst om Stockholm 1 är radhusområdet Stockholm 2 beläget som är ett 27,5 ha stort område där bebyggelsen upprättades under slutet av 1970-talet. Området avgränsas av Vinthundsvägen i norr och Örbyleden i söder, se Bilaga 7. Norr om radhusområdet i Skarpnäck är ett 10,0 ha stort villaområde kallat Stockholm 3 beläget, se Bilaga 8. Området avgränsas av Gamla Tyresövägen i väster och Skarpnäcksvägen i öster och uppfördes under slutet av 1920-talet.

3.2 UTVÄRDERING AV HÅRDGÖRNINGSGRADEN IDAG OCH PÅ 1970-TALET

Utvärderingen av hårdgörningsgraden idag och på 1970-talet utgick från underlag i form av ortofoton och primärkartor som bearbetades manuellt i ArcGIS där nya lager lades till för varje kategori som skulle karteras. I detta avsnitt beskrivs den generella metodiken som användes varefter specifika val för de tre städerna presenteras.

Ett ortofoto är en geometriskt korrigerad flygbild, vilket innebär att markens höjdskillnader kompenseras och att objekt på marken förskjutits i sidled. Ortofotona från Göteborg, Linköping och Stockholm var från 2010. Primärkartan består av ett antal shapefiler som kan läsas av ArcGIS och som bland annat innehåller information om vägars utbredning och byggnaders placering.

För att göra det möjligt att kartera gjordes en avgränsning av de valda områdena. För områdena i Göteborg och Linköping fanns redan en sådan avgränsning då avrinningsområdet bestämts i dagvattenutredningarna från 1970-talet, se Arnell och Lyngfelt (1975) och Arnell m.fl. (1980). Kartor med underlag i form av karterade yttypor från dessa områden scannades till bildfiler för att kunna öppnas i ArcGIS. Dessa scannade kartor saknade referenssystem vilket medförde att en georeferering genomfördes vilket innebär att de scannade kartorna kopplades ihop med ortofotot genom kontrollpunkter då ortofotots referenssystem var känt, se Figur 7. Det var inte möjligt att få en perfekt matchning mellan den scannade kartan och ortofotot vilket betydde att vägar och byggnader i vissa fall är förskjutna gentemot ortofotot. Ett ortofoto kan även vara taget från olika vinklar vilket också påverkar hur framförallt byggnader är förskjutna. Det antogs att utbredningen av större vägar och placeringen av byggnader inte hade ändrats från 1970-talet till dagens situation varvid samma avgränsningar användes. Detta gjordes för att undvika införandet av onödiga osäkerheter.

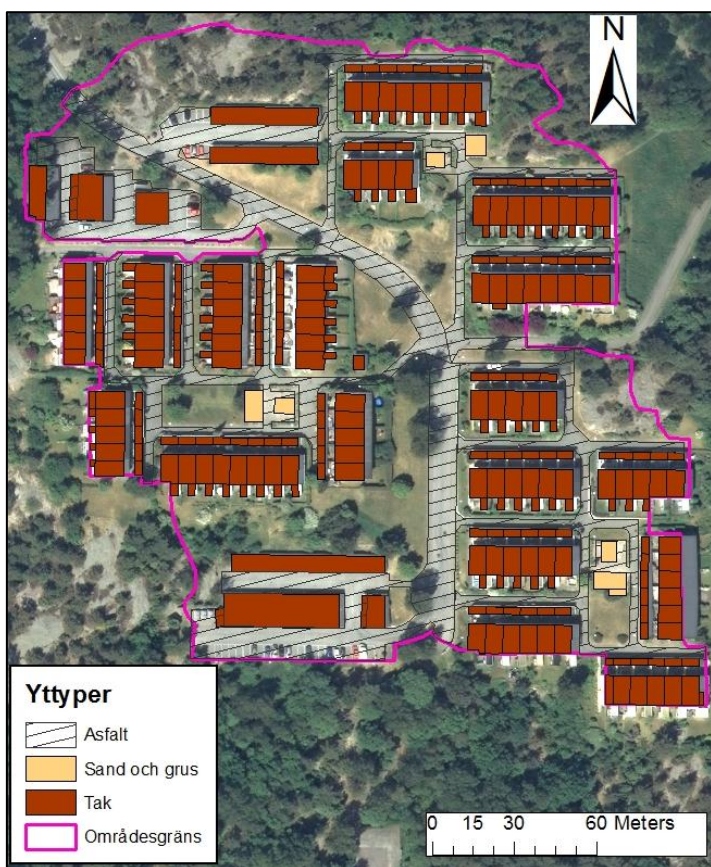


Figur 7. Georeferering av en scannad karta med okänt referenssystem till ett ortofoto med ett känt referenssystem.

För områdena i Stockholm fanns ingen genomförd dagvattenutredning varför flygbilder från början av 1970-talet användes och dessa georefererades på samma sätt som med de scannade kartorna från Göteborg och Linköping. Avgränsningen av områdena i Stockholm utgick inte från avrinningsområdet då detta ej var helt känt. Avgränsningen gjordes istället vid större vägar eller andra naturliga avgränsningar.

I ArcGIS skapades shape-filer för respektive kategori som skulle karteras vilket innebar asfalt, plattor, sand/grus samt tak. Asfalt, plattor och tak räknas som hårdgjorda ytor och det antogs att alla dessa bidrog till avrinningen. Den del av områdenas area som inte tillhörde någon annan kategori antogs vara permeabel yta. Till permeabel yta räknades alla gräsytor, skog och övrig naturmark samt berg. De berg som fanns inom områdena var så placerade att en eventuell avrinning skulle ske till omgivande permeabla ytor varför även berg antogs vara en permeabel yta.

I kategorin asfalt inkluderades alla vägar, gång- och cykelvägar samt parkeringsplatser och garageuppfarter. I vissa fall var vägar och gång- och cykelvägar bitvis skydda av träd men det antogs att vägen eller gång- och cykelvägen var sammanhängande och karterades på det sättet. Plattor förekom framförallt på garageuppfarter och klassades till den kategorin om plattorna var avgränsade med gatsten samt hade någon typ av fogar. Garageuppfarter med uppstickande gräs mellan plattorna klassades som permeabla ytor. Förutom ortofotona användes även GoogleMaps som hjälpmedel för att urskilja olika typer av ytor. Ett exempel på resultatet från karteringen av ytor med olika lager visas i Figur 8.



Figur 8. Exempel på resultat av kartering av yttypor indelade i olika kategorier.

För de områden som studerades i Göteborg och Linköping utnyttjades den information som fanns i form av de scannade kartorna genom att rita av de olika yttyperna som karterades vid dagvattenutredningarna som genomfördes på 1970-talet.

Arean av de karterade ytorna i respektive kategori beräknades med ArcGIS. Den totala arean av varje kategori multiplicerades sedan med motsvarande avrinningskoefficient enligt Tabell 9. Den sammanvägda avrinningskoefficienten för respektive område bestämdes därefter med hjälp av ekvation (2). För att möjliggöra en jämförelse mellan dagens situation och situationen på 1970-talet beräknades den procentuella förändringen jämfört med 1970-talet. Då det var skillnaden i andelen hårdgjord yta mellan dagens situation och situationen på 1970-talet som var intressant gjordes ingen ytterligare uppdelning av den permeabla ytan och hela den kategorin antogs ha ett och samma värde på avrinningskoefficienten.

Tabell 9. Använda värden på avrinningskoefficienter för de karterade yttyperna (Svenskt Vatten, 2004)

Yttyp	ϕ (-)
Asfalt	0,8
Permeabel	0,1
Plattor	0,7
Sand och grus	0,2
Tak	0,9

Plattor och sand/grus var de kategorier som var svårast att kartera varför en känslighetsanalys genomfördes för att se hur mycket den sammanvägda avrinningskoefficienten påverkades beroende på till vilken kategori dessa yttyper ansågs tillhöra. Avrinningskoefficienten kan bestämmas med större noggrannhet om det studerade området kan delas in i fler kategorier under förutsättning att alla kategorier kan bestämmas med en bra noggrannhet. I och med att plattor och sand/grus var svåra att bestämma kunde det vara lämpligare att aggregera yttyperna till färre kategorier. I känslighetsanalysen antogs plattor tillhöra asfalt och sand/grus tillhöra permeabla ytor. I de fall det var möjligt testades tre olika scenarier, se Tabell 10.

För varje scenario beräknades den sammanvägda avrinningskoefficienten och den procentuella förändringen jämfört med den sammanvägda avrinningskoefficienten som bestämdes från den manuella karteringen. Vid den manuella karteringen användes avrinningskoefficienter för yttyper enligt Tabell 9. I känslighetsanalysen ändrades inte avrinningskoefficienten för några andra kategorier än för plattor och sand/grus.

Tabell 10. Tre olika scenarier för känslighetsanalys av värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten

Yttyp	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	Kategori	ϕ (-)	Kategori	ϕ (-)	Kategori	ϕ (-)
Plattor	Asfalt	0,8	Plattor	0,7	Asfalt	0,8
Sand/grus	Sand/grus	0,2	Permeabel	0,1	Permeabel	0,1

3.2.1 Göteborg

Janis (1972) kategoriserar i sina dagvattenstudier hyreshusområdet Bergsjön 1 med avseende på ett antal olika yttyper; orörd mark, gräsmattor, plantering, asfalt, betong, gatsten, stenplattor, sand/grus/makadam samt tak. Det var inte möjligt att urskilja alla dessa kategorier i karteringen för dagens situation varför ett mindre antal kategorier användes. De ytor som kunde karteras var asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak. Till kategorin asfalt klassades även de ytor som av Janis (1972) ansetts som betonytor och kategorierna gatsten/stenplattor tillhörde kategorin plattor medan övriga kategorier bedömdes tillhöra kategorin permeabla ytor.

Janis (1972) kategoriserar radhusområdet Bergsjön 2 genom att dela in ytorna i kategorierna stenplattor, berg i dagen, gräs, plantering, sand, asfalt och tak. På samma sätt som för Bergsjön 1 sammanfogades dessa kategorier till asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak. Berg i dagen tillhörde kategorin permeabla då de antogs bilda avrinning till närliggande permeabla ytor.

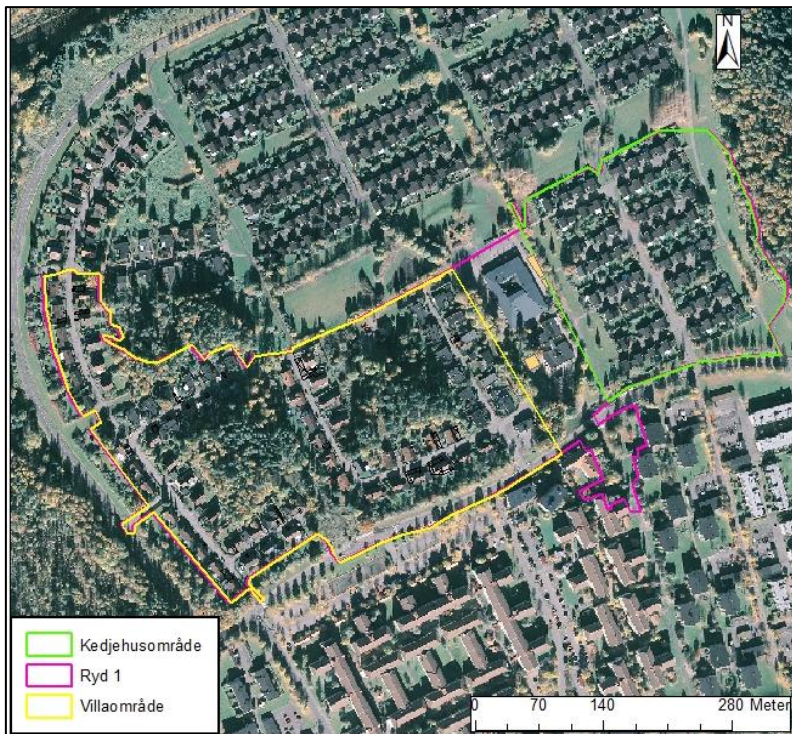
I Bergsjön 1 löper en järnvägsbank genom den västra delen av området och denna antogs tillhöra kategorin sand/grus. De arealer med sand och grus som fanns i området skiljde sig från asfalten vilket gjorde det lättare att kartera. Exempel på ytor som klassades till sand/grus visas i Figur 9. Dessa val gällde för karteringen av dagens situation.



Figur 9. Exempel på yta som kategoriseras till sand och grus i hyreshusområdet Bergsjön 1.

3.2.2 Linköping

Arnell m.fl. (1980) karterar villa-kedjehusområdet Ryd 1 och hyreshusområdet Ryd 2 i sina dagvattenstudier. De yttyper som karteras i Ryd 1 är; asfalt, gräs, buskar, tak, berg, sand/grus, plattor och skog. Det var inte möjligt att kartera alla dessa yttyper för dagens situation vilket medförde att kategorierna sammanfogades till kategorierna asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak. En kartering av yttyper enligt ovan nämnda kategorier genomfördes för hela Ryd 1. Detta område avgränsades sedan till två mindre områden, dels ett villaområde i den västra delen, dels ett kedjehusområde i den östra delen. Avrinningskoefficienter beräknades separat för de tre områdena hela Ryd 1, villaområdet och kedjehusområdet. Avgränsningen av områdena visas i Figur 10.



Figur 10. Avgränsning av Ryd 1, villaområdet och kedjehusområdet i Linköping.

De yttyper som karteras för Ryd 2 för 1970-talets situation är asfalt, gräs, buskar, tak, sand/grus och skog (Arnell m.fl., 1980) vilket sammanfogades till kategorierna asfalt, permeabla ytor, sand/grus samt tak för att göra det jämförbart med karteringen av dagens situation.

I karteringen av villaområdet och kedjehusområdet för dagens situation förekom det ljusa eller vita ytor i anslutning till vissa villor och kedjehus vilket karterades som tak då de antogs vara någon form av altan eller uterum, se Figur 11. För att urskilja kategorin plattor användes funktionen gatuvy i GoogleMaps, Figur 11 visar exempel på ytor som klassades till kategorin plattor.



Figur 11. Exempel på vita ytor i anslutning till villa eller kedjehus som karteras som tak samt ytor som karteras som plattor i Linköping. © GoogleMaps 2012

3.2.3 Stockholm

I hyreshusområdet Stockholm 1 kunde lekparken med gungställningar tydligt urskiljas på ortofotot och det antogs att ytan under bestod av sand, se Figur 12. I hyreshusområdet förekom det även lekplatser där underlaget inte var sand utan någon form av matta som var mörkare i färgen, se Figur 12. Dessa ytor ansågs tillhöra kategorin sand/grus då genomsläppligheten antogs vara likvärdig med sand och grus.



Figur 12. Exempel på ytor som klassas som sand och grus i hyreshusområdet i Stockholm.

Vid karteringen av radhusområdet Stockholm 2 och villaområdet Stockholm 3 för dagens situation förekom, precis som i Linköping, ljusa eller vita ytor i anslutning till vissa av villorna och radhusen vilket antogs vara tak, se Figur 13. I villaområdet förekom även altaner ovanpå en del av huset, vilket klassades som tak, se Figur 13.



Figur 13. Exempel på vita ytor och altaner i anslutning till villor som klassas som tak.

I villaområdet och radhusområdet förekom även grå diffust avgränsade ytor vilket klassades som permeabla ytor då eventuell avrinning från dessa sker till omgivande permeabla ytor och för att inte överestimera andelen hårdgjord yta.

Vid karteringen av villaområdet för 1970-talets situation var det inte möjligt att urskilja vilken kategori garageuppfarterna tillhörde. Garageuppfarternas utbredning antogs vara

densamma som för dagens situation. De garageuppfarter som bestod av grus vid karteringen av dagens situation antogs bestå av grus även för situationen på 1970-talet. Ett fåtal garageuppfarter kategoriserades till asfalt eller plattor för dagens situation. Det ansågs inte troligt att den ytbeläggningen funnits även under 1970-talet varvid även dessa garageuppfarter klassades till kategorin sand/grus. Således ansågs alla garageuppfarter tillhöra kategorin sand/grus vid karteringen av 1970-talets situation.

Garageuppfarterna i villaområdet för dagens situation karterades med hjälp av funktionen gatuvy i GoogleMaps då det var svårt att urskilja dem på annat sätt. Många garageuppfarter bestod av grus och kunde skiljas från omkringliggande asfalt på grund av sin ljusare färg samt att hjulspår efter bilarna kunde ses på garageuppfarter med grus men inte med asfalt.

4 RESULTAT

De beräknade värdena på den sammanvägda avrinningskoefficienten för de karterade områdena i Göteborg, Linköping och Stockholm visas i en sammanställning i Tabell 11. De kategorier av yttyper som karterades var asfalt, permeabla ytor, plattor, sand/grus samt tak med använda avrinningskoefficienter enligt Tabell 9. I Bilaga 9-15 visas även kartor med de karterade yttyperna för respektive område.

Den procentuella förändringen är beräknad utifrån värdet på avrinningskoefficienten för 1970-talets situation och ett positivt värde indikerar att avrinningskoefficienten för området har ökat.

Tabell 11. Beräknade avrinningskoefficienter för de karterade områdena i Göteborg, Linköping och Stockholm samt den procentuella förändringen från 1970 till 2010. Avrinningskoefficienten är presenterad med två decimaler men den procentuella förändringen är beräknad utifrån alla decimaler

Områdestyp	Göteborg	Linköping	Stockholm
Hyreshusområde 1970	0,39	0,50	0,45
Hyreshusområde 2010	0,40	0,52	0,45
Förändring (%)	2,66	3,11	-0,02
Radhus/kedjehusområde 1970	0,52	0,36	0,40
Radhus/kedjehusområde 2010	0,52	0,36	0,41
Förändring (%)	0,96	1,51	0,18
Villaområde 1970	-	0,33	0,32
Villaområde 2010	-	0,37	0,35
Förändring (%)	-	11,70	9,14
Ryd 1 1970	-	0,35	-
Ryd 1 2010	-	0,35	-
Förändring (%)	-	2,41	-

4.1 HYRESHUSOMRÅDEN

I Tabell 12 och Tabell 13 visas arean samt andelen av den totala arean av de manuellt karterade yttyperna i de tre hyreshusområdena i Göteborg, Linköping och Stockholm för situationen på 1970-talet och dagens situation. Dessutom visas de beräknade värdena på den sammanvägda avrinningskoefficienten och de använda värdena på avrinningskoefficienten för respektive yttyp enligt Tabell 9.

Tabell 12. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknade värden på avrinningskoefficienten i tre hyreshusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 1970. Ett streck i tabellen innebär att den kategorin inte fanns representerad i området

1970	Göteborg			Linköping			Stockholm		
	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	4,3	28,0	0,8	1,1	30,0	0,8	5,3	30,2	0,8
Permeabla	8,8	57,0	0,1	1,7	45,3	0,1	8,8	50,0	0,1
Plattor	0,2	1,3	0,7	-	-	0,7	-	-	0,7
Sand/grus	0,4	2,9	0,2	0,01	0,4	0,2	0,4	2,2	0,2
Tak	1,7	10,8	0,9	0,9	24,2	0,9	3,1	17,7	0,9
Totalt	15,4	100	0,39	3,7	100	0,50	17,6	100	0,45

Tabell 13. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknade värden på avrinningskoefficienten i tre hyreshusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 2010. Ett streck i tabellen innebär att den kategorin inte fanns representerad i området

2010	Göteborg			Linköping			Stockholm		
	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	4,6	29,6	0,8	1,1	30,9	0,8	5,1	28,8	0,8
Permeabla	8,8	56,9	0,1	1,6	43,2	0,1	9,0	50,9	0,1
Plattor	-	-	0,7	-	-	0,7	-	-	0,7
Sand/grus	0,3	1,6	0,2	0,02	0,4	0,2	0,2	1,3	0,2
Tak	1,8	11,8	0,9	0,9	25,4	0,9	3,3	19,0	0,9
Totalt	15,4	100	0,40	3,7	100	0,52	17,6	100	0,45

I Tabell 14 och Tabell 15 visas resultatet av känslighetsanalysen för hyreshusområdena i Göteborg, Linköping och Stockholm. Scenario 0 representerar den beräknade sammanvägda avrinningskoefficienten som presenterades i Tabell 12 och Tabell 13. I scenario 1 till 3 har avrinningskoefficienten för yttyperna plattor och sand/grus ändrats enligt Tabell 10. Förändringen i procent av den sammanvägda avrinningskoefficienten för de tre scenarierna är uttryckt som förändringen gentemot scenario 0.

Tabell 14. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i tre hyreshusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 1970. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Ett streck innebär att inga plattor och/ eller sand/grus fanns vid karteringen varvid de scenarierna inte är relevanta. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som är nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

1970	Göteborg		Linköping		Stockholm	
	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)
Scenario 0	0,393	-	0,5045	-	0,455	-
Scenario 1	0,394	0,32	-	-	-	-
Scenario 2	0,390	-0,73	0,5041	-0,079	0,453	-0,48
Scenario 3	0,391	-0,41	-	-	-	-

Tabell 15. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i tre hyreshusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 2010. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Ett streck innebär att inga plattor och/ eller sand och grus fanns vid karteringen varvid de scenarierna inte är relevanta. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

2010	Göteborg		Linköping		Stockholm	
	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)
Scenario 0	0,404	-	0,5201	-	0,455	-
Scenario 1	-	-	-	-	-	-
Scenario 2	0,402	-0,40	0,5200	-0,08	0,453	-0,29
Scenario 3	-	-	-	-	-	-

4.2 RADHUS- OCH KEDJEHUSOMRÅDEN

I Tabell 16 och Tabell 17 visas arean samt andelen av den totala arean av de manuellt karterade yttyperna i de tre radhus- och kedjehusområdena i Göteborg, Linköping och Stockholm för 1970-talets och dagens situation. Dessutom visas de beräknade värdena på den sammanvägda avrinningskoefficienten och de använda värdena på avrinningskoefficienten för respektive yttyp enligt Tabell 9.

Tabell 16. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknade värden på avrinningskoefficienten i tre radhus- och kedjehusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 1970. Ett streck i tabellen innebär att den yttypen inte fanns representerad i området

1970	Göteborg			Linköping			Stockholm		
	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	1,0	23,3	0,8	1,1	19,6	0,8	5,3	19,2	0,8
Permeabla	1,8	43,2	0,1	3,6	64,7	0,1	16,3	59,3	0,1
Plattor	0,3	5,9	0,7	-	-	0,7	-	-	0,7
Sand/grus	0,02	0,5	0,2	0,03	0,6	0,2	0,1	0,3	0,2
Tak	1,2	27,2	0,9	0,8	15,0	0,9	5,8	21,2	0,9
Totalt	4,3	100	0,52	5,6	100	0,36	27,5	100	0,40

Tabell 17. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknade värden på avrinningskoefficienten i tre radhus- och kedjehusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 2010. Ett streck i tabellen innebär att den yttypen inte fanns representerad i området

2010	Göteborg			Linköping			Stockholm		
	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	1,0	23,8	0,8	1,1	19,6	0,8	5,2	19,0	0,8
Permeabla	1,8	42,2	0,1	3,6	64,6	0,1	16,2	59,1	0,1
Plattor	0,3	5,9	0,7	-	-	0,7	-	-	0,7
Sand/grus	0,03	0,8	0,2	-	-	0,2	0,1	0,5	0,2
Tak	1,2	27,2	0,9	0,9	15,9	0,9	5,9	21,5	0,9
Totalt	4,3	100	0,52	5,6	100	0,36	27,5	100	0,41

I Tabell 18 och Tabell 19 visas resultatet av känslighetsanalysen för radhus- och kedjehusområdena i Göteborg, Linköping och Stockholm. Scenario 0 representerar den beräknade sammanvägda avrinningskoefficienten som presenterades i Tabell 16 och Tabell 17. I scenario 1 till 3 har avrinningskoefficienten för yttyperna plattor och sand/grus ändrats enligt Tabell 10. Förändringen i procent av den sammanvägda avrinningskoefficienten för de tre scenarierna är uttryckt som förändringen gentemot scenario 0.

Tabell 18. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i tre radhus- och kedjehusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 1970. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Ett streck innebär att inga plattor och/ eller sand och grus fanns vid karteringen varvid de scenarierna inte är relevanta. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

1970	Göteborg		Linköping		Stockholm	
	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)
Scenario 0	0,516	-	0,3584	-	0,4043	-
Scenario 1	0,522	1,15	-	-	-	-
Scenario 2	0,516	-0,09	0,3577	-0,17	0,4040	-0,07
Scenario 3	0,522	1,06	-	-	-	-

Tabell 19. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i tre radhus- och kedjehusområden i Göteborg, Linköping och Stockholm 2010. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Ett streck innebär att inga plattor och/ eller sand och grus fanns vid karteringen varvid de scenarierna inte är relevanta. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

2010	Göteborg		Linköping		Stockholm	
	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)
Scenario 0	0,521	-	0,364	-	0,4051	-
Scenario 1	0,527	1,14	-	-	-	-
Scenario 2	0,520	-0,16	-	-	0,4046	-0,11
Scenario 3	0,526	0,98	-	-	-	-

4.3 VILLAOMRÅDEN

I Tabell 20 och Tabell 21 visas arean samt andelen av den totala arean av de manuellt karterade yttyperna i de två villaområdena i Linköping och Stockholm. Dessutom visas de beräknade värdena på den sammanvägda avrinningskoefficienten och de använda värdena på avrinningskoefficienten för respektive yttyp enligt Tabell 9.

Tabell 20. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknade värden på avrinningskoefficienten i två villaområden i Linköping och Stockholm 1970. Ett streck i tabellen innebär att den yttypen inte fanns representerad i området

Yttyp	Linköping			Stockholm		
	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	2,1	18,7	0,8	1,9	18,7	0,8
Permeabla	7,6	68,2	0,1	6,7	67,4	0,1
Plattor	0,1	0,5	0,7	-	-	0,7
Sand/grus	0,1	0,8	0,2	0,4	3,7	0,2
Tak	1,3	11,8	0,9	1,0	10,3	0,9
Totalt	11,1	100	0,33	10,0	100	0,32

Tabell 21. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknade värden på avrinningskoefficienten i två villaområden i Linköping och Stockholm 2010. Ett streck i tabellen innebär att den yttypen inte fanns representerad i området

Yttyp	Linköping			Stockholm		
	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	2,4	21,8	0,8	1,9	18,7	0,8
Permeabla	7,1	63,6	0,1	6,5	64,9	0,1
Plattor	0,1	1,2	0,7	0,1	1,1	0,7
Sand/grus	-	-	0,2	0,2	2,0	0,2
Tak	1,5	13,4	0,9	1,3	13,3	0,9
Totalt	11,1	100	0,37	10,0	100	0,35

I Tabell 22 och Tabell 23 visas resultatet av känslighetsanalysen för de två villaområdena i Linköping och Stockholm. Scenario 0 representerar den beräknade sammanvägda avrinningskoefficienten som presenterades i Tabell 20 och Tabell 21. I scenario 1 till 3 har avrinningskoefficienten för yttyperna plattor och sand/grus ändrats enligt Tabell 10. Förändringen i procent av den sammanvägda avrinningskoefficienten för de tre scenarierna är uttryckt som förändringen gentemot scenario 0.

Tabell 22. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i två villaområden i Linköping och Stockholm 1970. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Ett streck innebär att inga plattor och/eller sand/grus fanns vid karteringen varvid de scenarierna inte är relevanta. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

1970	Linköping		Stockholm	
	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)
Scenario 0	0,3288	-	0,317	-
Scenario 1	0,3293	0,14	-	-
Scenario 2	0,3280	-0,25	0,313	-1,16
Scenario 3	0,3285	-0,11	-	-

Tabell 23. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i två villaområden i Linköping och Stockholm 2010. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Ett streck innebär att inga plattor och/ eller sand/grus fanns vid karteringen varvid de scenarierna inte är relevanta. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

2010	Linköping		Stockholm	
	ϕ (-)	Förändring (%)	ϕ (-)	Förändring (%)
Scenario 0	0,367	-	0,346	-
Scenario 1	0,369	0,32	0,347	0,33
Scenario 2	-	-	0,344	-0,59
Scenario 3	-	-	0,345	-0,25

4.4 VILLA- OCH KEDJEHUSOMRÅDET RYD 1

I Tabell 24 och Tabell 25 visas arean samt andelen av den totala arean av de manuellt karterade yttyperna i det kombinerade villa- och radhusområdet Ryd 1. Dessutom visas de beräknade värdena på den sammanvägda avrinningskoefficienten och de använda värdena på avrinningskoefficienten för respektive yttyp enligt Tabell 9.

Tabell 24. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknat värde på den sammanvägda avrinningskoefficienten för ett villa- och radhusområde i Linköping 1970

1970			
Linköping			
Yttyp	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	3,6	18,9	0,8
Permeabla	12,6	65,8	0,1
Plattor	0,1	0,3	0,7
Sand/grus	0,2	1,1	0,2
Tak	2,6	13,9	0,9
Totalt	19,1	100	0,35

Tabell 25. Manuellt karterade arealer av yttyper samt beräknat värde på den sammanvägda avrinningskoefficienten för ett villa- och radhusområde i Linköping 2010

2010			
Linköping			
Yttyp	Area (ha)	Andel (%)	ϕ (-)
Asfalt	3,6	18,9	0,8
Permeabla	12,5	65,5	0,1
Plattor	0,1	0,7	0,7
Sand/grus	0,04	0,2	0,2
Tak	2,8	14,8	0,9
Totalt	3,6	18,9	0,35

I Tabell 26 och Tabell 27 visas resultatet av känslighetsanalysen för det kombinerade villa- och radhusområdet Ryd 1 i Linköping. Scenario 0 representerar den beräknade sammanvägda avrinningskoefficienten som presenterades i Tabell 24 och Tabell 25. I scenario 1 till 3 har avrinningskoefficienten för yttyperna plattor och sand/grus ändrats enligt Tabell 10.

Tabell 26. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i ett villa- och radhusområde i Linköping 1970. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

	Linköping	
	φ (-)	Förändring (%)
1970		
Scenario 0	0,3459	-
Scenario 1	0,3462	0,08
Scenario 2	0,3448	-0,33
Scenario 3	0,3451	-0,25

Tabell 27. Beräknade värden på den sammanvägda avrinningskoefficienten samt för ytterligare tre scenarion, se Tabell 10, i ett villa- och radhusområde i Linköping 2010. Ett positivt värde betyder att avrinningskoefficienten har ökat. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är presenterad med det antal decimaler som var nödvändigt för att visa på skillnaden. Normalt presenteras avrinningskoefficienten med två decimaler

	Linköping	
	φ (-)	Förändring (%)
2010		
Scenario 0	0,3543	-
Scenario 1	0,3549	0,19
Scenario 2	0,3540	-0,06
Scenario 3	0,3547	0,12

5 DISKUSSION

5.1 OMRÅDESTYPER

För de karterade hyreshusområdena i Göteborg och Linköping ökade den sammanvägda avrinningskoefficienten med 2,66 % respektive 3,11 % medan avrinningskoefficienten minskade med 0,02 % för hyreshusområdet i Stockholm, se Tabell 11. Den förändring som har skett i Göteborg och Linköping beror främst på att ett antal nya byggnader har tillkommit vilket innebär extra tak som kan bidra till avrinningen. Det var dock inga nya hyreshus som tillkom utan andra typer av komplementbyggnader. Områdena mellan hyreshusen har förändrats så till vida att den permeabla ytan på vissa ställen ersatts med lekparkar där underlaget är sand eller grus samt att plattläggning skett. Underlagsmaterialet, i form av flygbilder, för karteringen av situationen på 1970-talet i Stockholm gjorde det svårt att kartera framförallt plattor och sand/grus vilket kan vara en orsak till att förändringen av avrinningskoefficienten inte överensstämmer med förändringen för områdena i Göteborg och Linköping.

Resultaten av karteringen av radhus- och kedjehusområdena i Göteborg och Linköping visade på en ökning av avrinningskoefficienten med 0,96 % respektive 1,51 % medan förändringen för radhusområdet i Stockholm endast var 0,18 %, se Tabell 11. Radhusområdet i Göteborg och kedjehusområdet i Linköping är i minsta laget, 4,3 respektive 5,6 ha, vilket medför att den förändring som skett kanske inte är representativ för områdestypen eftersom en ökad andel hårdgjord yta får ett större genomslag i avrinningskoefficienten på ett mindre område. Den förändring som skett av yttyper i de tre områdena är likartad. Eftersom radhusområdet i Stockholm är 27,5 ha stort får förändringen i yttyper inte lika stort genomslag vilket kan förklara den marginella ökningen av den sammanvägda avrinningskoefficienten. Andelen av den totala arean för respektive yttyp stämmer dock någorlunda överens, se Tabell 11 och Tabell 13, i de tre områdena vilket tyder på att de är representativa för områdestypen radhus och kedjehus. Förändringen kan dock antas ligga inom metodens felmarginall.

Den största förändringen av den sammanvägda avrinningskoefficienten har skett i de karterade villaområdena i Linköping och Stockholm där avrinningskoefficienten ökat med 11,70 % respektive 9,14 %, se Tabell 11. Ökningen av avrinningskoefficienten för villaområdena beror främst på att villorna har byggts ut och extra tak har tillkommit i form av uterum, altaner och garage. Vidare har ytbeläggningen på garageuppfarterna ändrats så att en ökad andel består av hårdgjord yta i form av asfalt och plattor vilket bidrar till det ökade värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten. De karterade villaområdena är av samma storleksordning, 11,1 ha respektive 10,1 ha, och fördelningen mellan de olika yttyperna överensstämmer vilket tyder på att områdena är representativa för kategorin villaområden, se Tabell 20 och Tabell 21. För att ytterligare bekräfta den teorin hade det varit lämpligt att kartera ett villaområde i storleksordningen 30 ha för att undersöka om förändringen av avrinningskoefficienten är lika stor. Ökningen av andelen hårdgjord yta och därmed av avrinningskoefficienten är av samma storleksordning som konstateras av Perry och Nawaz (2007) i deras undersökning av villaområden i England. Det studerade området är dock betydligt större (100 ha) än de studerade områdena i detta arbete.

Förändringen av avrinningskoefficienten för det kombinerade villa- och kedjehusområdet Ryd 1 är mindre än för kedjehusområdet och villaområdet var för sig, vilket återigen tyder på att storleken på området har betydelse för hur stort genomslag en ökad andel hårdgjord yta får på avrinningskoefficienten.

I Svenskt Vattens (2004) P90 finns rekommenderade värden på sammanvägda avrinningskoefficienter för de tre studerade bebyggelse typerna, se Tabell 2. Avrinningskoefficienterna 0,40, 0,40 respektive 0,25 kan användas för hyreshusområden, radhus- och kedjehusområden respektive för villaområden.

Avrinningskoefficienten för de två hyreshusområdena i Göteborg och Stockholm beräknades till 0,40 respektive 0,45 för dagens situation vilket stämmer väl överens med det rekommenderade värdet på 0,40. Hyreshusområdet i Linköping har en beräknad avrinningskoefficient på 0,52 vilket är något högre. Detta antas bero på att detta område endast är 3,7 ha stort och att området är kompakt så till vida att det inte finns särskilt stora permeabla ytor mellan husen och att endast de nödvändiga vägarna finns i området. Andelen tak, asfalt och permeabla ytor i området är större än motsvarande andelar för områdena i Göteborg och Stockholm, se Tabell 13, vilket ytterligare tyder på att området inte är helt representativt.

De beräknade avrinningskoefficienterna för radhusområdena i Linköping och Stockholm stämmer väl överens med det rekommenderade värdet 0,40, se Tabell 17. Radhusområdet i Göteborg har en avrinningskoefficient på 0,52 vilket är högre än för de andra områdena. Liksom för hyreshusområdet i Linköping antas detta bero på att området är relativt litet och kompakt vilket innebär en mindre andel permeabla ytor. Hyreshusområdet i Göteborg är dessutom kuperat vilket innebär att en avrinningskoefficient på 0,60 bör användas för området. Vid manuell kartering är det inte möjligt att utläsa områdets lutning vilket innebär att alla områden karteras som om de vore flacka.

För villaområden rekommenderas en avrinningskoefficient på 0,25 vilket är betydligt lägre än de beräknade värdena på 0,37 och 0,35 för Linköping respektive Stockholm. Ökningen jämfört med det rekommenderade värdet är 48 % respektive 40 %. Detta tyder på att de rekommenderade värdena är för låga och att dagens villaområden ser ut på ett annat sätt med större andel hårdgjord yta i form av tak och garageuppfarter.

En ökning av avrinningskoefficienten med 40 % innebär att det dimensionerande flödet också kommer att öka med 40 %, se ekvation (1). Vid dimensionering används ledningar med förbestämda rördimensioner och man använder sig vanligen av den närmast större dimensionen om det beräknade flödet ligger mellan två rördimensioner. Detta medför att det finns utrymme för en viss ökning av flödet innan ytterligare större rördimensioner behövs. En ökning av det dimensionerande flödet med 40 % är sannolikt såpass stor att rördimensionen behöver ändras.

5.2 HÅRDGJORDA OCH PERMEABLA YTOR

Thorndahl m.fl. (2006) konstaterar att värdet på avrinningskoefficienten är beroende på vilka ytor som antas vara hårdgjorda och då främst vilka ytor som antas tillhöra kategorin asfalt. I detta arbete har alla större vägar, gång- och cykelvägar samt parkeringsplatser och garageuppfarter karterats och bedömts tillhöra kategorin asfalt. De kategorier som var svårast att kartera och som är förenade med den största osäkerheten är plattor och sand/grus. Detta beror på att dessa kategorier kan se mycket olika ut och att upplösningen hos underlagsmaterialet är av avgörande betydelse för hur noggrant dessa kategorier kan karteras.

För att undersöka hur stor inverkan på värdet av den sammanvägda avrinningskoefficienten som kategorierna plattor och sand/grus hade genomfördes en känslighetsanalys med tre olika scenarier. Värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten ökar om kategorin plattor klassas som asfalt medan den minskar om kategorin sand/grus klassas

som permeabla. Förändringen för scenario 3 utgör summan av förändringarna för scenario 1 och scenario 2. Förändringen av värdet på den sammanvägda avrinningskoefficienten är relativt oberoende av vilka avrinningskoefficienter som används för de olika kategorierna. Detta beror på att andelen av områdenas totala area som består av plattor eller sand/grus är liten och därmed inte inverkar nämnvärt på avrinningskoefficienten.

Det kan också finnas områden som är grusbelagda men felaktigt klassats som asfalt vilket kan få större effekt på den sammanvägda avrinningskoefficienten. Det är dock inte möjligt att uppskatta hur stor andel, om ens någon, av den karterade asfaltytan som utgörs av grus. Den manuella karteringen har utförts på bästa möjliga sätt utifrån de givna förutsättningarna. Ju sämre upplösning som dataunderlaget har desto svårare är det att urskilja olika kategorier. Den största osäkerheten ligger i karteringen av områdena i Stockholm för situationen på 1970-talet där underlaget utgjordes av flygbilder och där ingen dagvattenutredning genomförts. För villaområdet var det t.ex. omöjligt att urskilja yttyp på garageuppfarter vilket medförde att en kvalificerad gissning fick göras baserat på underlaget från dagens situation.

Andelen permeabla ytor bestämdes genom att subtrahera övriga karterade yttyper från den totala arean och en gemensam avrinningskoefficient ansattes. Kategorin permeabla ytor innefattar således gräsmarker, skogsmarker, odlad mark, berg och övrigt som inte klassats till någon annan kategori. För permeabla ytor rekommenderas en avrinningskoefficient på mellan 0 och 0,1 (Svenskt Vatten, 2004) och valet är bland annat beroende på yttyp och det dimensionerande regnets varaktighet och intensitet. Valet av avrinningskoefficient för de permeabla ytorna kan påverka resultatet och om det hade varit möjligt skulle de permeabla ytorna kunnat delas in i underkategorier med olika avrinningskoefficient.

Det är inte bara upplösningen på ortofotona och övrigt använt underlagsmaterial som är av betydelse för vilka ytor som klassas som hårdgjorda och vilka som klassas som permeabla. Hur och när ortofotot är taget har också betydelse. Om ortofotot är taget på sommaren då det finns mycket träd som skymmer är det svårare att urskilja och andelen hårdgjord yta tenderar att underskattas. För ortofoton tagna på sommaren finns även problematiken med skuggor. Alla de ortofoton som har använts i detta arbete är tagna under sommaren vilket innebär att osäkerheterna härrörande från skymmande träd och skuggor borde vara likvärdiga för alla områden och därmed inte ha någon betydelse för slutresultatet i detta fall.

5.3 DELTAGANDE AREA

I de genomförda dagvattenutredningarna i Göteborg och Linköping från 1970-talet användes ett antal metoder för att på olika sätt bestämma den i avrinningen deltagande ytan.

Från nederbörds- och avrinningsmätningar bestämdes den deltagande arean till 26 % för Bergsjön 1, 31 % för Ryd 1 och 45 % för Ryd 2. Detta kan jämföras med den beräknade avrinningskoefficienten utifrån den manuella karteringen för respektive områden som var 0,39 för Bergsjön 1, 0,35 för Ryd 1 och 0,50 för Ryd 2 för 1970-talets situation. Det kan konstateras att den beräknade sammanvägda avrinningskoefficienten för samtliga områden är större än den beräknade andelen deltagande area. Andelen i avrinningen deltagande area varierar mellan 70 % och 90 %. Detta tyder på att hela den karterade hårdgjorda ytan inte bidrar till avrinningen utan avvattnas till omkringliggande perme-

abla ytor. Vid manuell kartering antas alla hårdgjorda ytor bidra till avrinningen vilket kan vara en överskattning.

Avrinningskoefficienten är inte enbart beroende av andelen hårdgjord yta utan även av områdets lutning och regnintensiteten. Vid manuell kartering med hjälp av ortofoton i ArcGIS är det inte möjligt att urskilja lutningar vilket innebär att alla områden karteras som om de vore platta och de beräknade avrinningskoefficienterna gäller därmed för platta områden. De rekommenderade värdena på den sammanvägda avrinningskoefficienten i P90 (Svenskt Vatten, 2004) gäller för måttliga lutningar och dimensionerande intensiteter och kan överslagsmässigt sättas lika med andelen hårdgjord yta. Enligt tyska anvisningar (Svenskt Vatten, 2004) överstiger avrinningskoefficienten andelen hårdgjord yta avsevärt vid stora marklutningar och hög intensitet. Vid sådana betingelser kan även den permeabla arean bidra till avrinningen.

Utifrån de statistiska fördelningsfunktionerna för maxflödet och nederbördsintensiteten som togs fram i dagvattenutredningarna för Göteborg och Linköping kunde det konstateras att avrinningskoefficienten varierar med vald varaktighet och även i viss mån med återkomsttiden, se Tabell 5 och Tabell 8. Vid manuell kartering tas ingen hänsyn till vilken varaktighet eller återkomsttid som det dimensionerande regnet har för det specifika området vilket kan medföra felaktiga val vid dimensionering. Det bör finnas en medvetenhet om de bakomliggande processerna då detta inte framgår vid en manuell kartering.

Vid manuell kartering kan storleken och fördelningen av de hårdgjorda ytorna bestämmas men resultatet säger ingenting om områdets övriga egenskaper t.ex. i form av lutning och koncentrationstid. Den ökade andelen hårdgjorda ytor är en faktor som påverkar storleken på den dimensionerande dagvattenavrinningen och det är av stor vikt att den sammanvägda avrinningskoefficienten kan bestämmas på ett noggrant sätt. Den dimensionerande avrinningen är, enligt rationella metoden, även beroende av vilken regnintensitet som väljs och anpassningen till ett förändrat klimat innebär att det även är av stor vikt att bestämma den dimensionerande regnintensiteten på ett korrekt sätt.

6 SLUTSATSER

Den största förändringen av den sammanvägda avrinningskoefficienten har skett i de karterade villaområdena i Linköping och Stockholm på grund av ökad andel tak i form av altaner och garage och ökad andel hårdgjorda garageuppfarter.

De beräknade avrinningskoefficienterna ligger över de rekommenderade som därför behöver justeras. För övriga områdestyper är förändringen av den sammanvägda avrinningskoefficienten mindre tydlig och storleken på områdena är av betydelse för hur stor förändringen är.

Upplösningen hos dataunderlaget är av betydelse för hur noggrant den manuella karteringen kan göras och därmed hur noggrant avrinningskoefficienten kan bestämmas.

7 REFERENSER

- Arnell, V., 1980. *Dimensionering och analys av dagvattensystem - val av beräkningsmetod*. Göteborg: Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola.
- Arnell, V. & Lyngfelt, S., 1975. *Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974*. Göteborg: Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola.
- Arnell, V., Strandner, H. & Svensson, G., 1980. *Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping 1976-1977*. Göteborg: Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola .
- Bengtsson, L., 2008. Extrema dygnsregn och trender i Skåne och på västkusten. *VATTEN vol. 64*, pp. 31-38.
- Blaschke, T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *Journal of photogrammetry and remote sensing*, Volym 65, pp. 2-16.
- Boyd, M., Bufill, M. & Knee, R., 1993. Pervious and impervious runoff in urban catchments. *Hydrological sciences* , 38(6), pp. 463-478.
- Bucht, E., Carlsson, L., Falk, J., Hällgren, J., Malmquist, P-A., 1977. *Dagvatten - resurs och begränsning*. Statens naturvårdsverk.
- Chabaeva, A., Civco, D. L. & Hurd, J. D., 2009. Assessment of impervious surfaces - estimation techniques. *Journal of hydrological engineering*, 14(4), pp. 377-387.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W., 1988. *Applied hydrology*. Sinigapore: McGraw-Hill book co.
- Dahlström, B., 2010. *Regnintensitet - en molnfysikalisk betraktelse, VA-Forsk rapport 2010-05*, Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- DHI, 2011. *Mike Urban model manager: User guide*. DHI.
- German, J., 2004. *Surveying of urban surface materials and impervious areas using remote sensing WP6/T6.2/D6.2 - PU/sensing*. Contract No EVK1-CT-2002-00111.
- Hernebring, C., 2006. *10-årsregnets återkomst förr och nu - regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter, VA-Forsk rapport 2006-04*, Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- Hernebring, C., 2008. *När regnet kommer - effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation, Rapport nr 2008-17*. Svenskt Vatten Utveckling.
- Huang, H.-J., Cheng, S.-J., Wen, J.-C. & Lee, J.-H., 2008. Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge. *Hydrological processes*, 22(1), pp. 2075-2085.
- Jacobson, C. R., 2011. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Joarnal of Environmental Management Vol. 92 (6)*, 18 Februari, pp. 1432-1448.
- Janis, S., 1972. *Dagvattenstudier i Bergsjön*, Göteborg: Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola.
- Larsson, R. Å., 1980. *Fjärranalys - spec. flygbildsteknik*. Uppsala: Naturgeografiska institutionen, Uppsala universitet.

- Lundmark, M., 2010. *Metodik för bestämning av hårdgjorda ytor i beräkningsmodeller för Stockholms huvudavloppsnet*. Examensarbete i miljö- och vattenteknik. Uppsala universitet. ISSN 1401-5765.
- Lyngfelt, S., 1981. *Dimensionering av dagvattensystem - rationella metoden*. Göteborg: Geohydrologiska forskningsgruppen. Chalmers tekniska högskola.
- Niemczynowicz, J., 1999. Urban hydrology and water management - present and future challenges. *Urban water*, Volym 1, pp. 1-14.
- Perry, T. & Nawaz, R., 2008. An investigation into the extent and impacts of hard surfacing of domestic gardens in an area of Leeds, United Kingdom. *Landscape and urban planning*, Volym 86, pp. 1-13.
- Peters, S. & Rose, N. E., 2001. Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach. *Hydrological processes*, Volym 15, pp. 1441-1457.
- Rossmann, L. A., 2010. *Storm water management model: user's manual: version 5.0*. http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/epaswmm5_user_manual.pdf [Använd 23 maj 2012].
- Svenskt Vatten, 2004. *Dimensionering av allmänna avloppsledningar, Publikation P90*. Stockholm.
- Svenskt Vatten, 2011a. *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem, Publikation P104*. Stockholm
- Svenskt Vatten, 2011b. *Hållbar dag- och dränvattenhantering - råd vid planering och utformning, Publikation P105*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Thorndahl, S., Johansen, C. & Schaarup-Jensen, K., 2006. Assessment of runoff contributing catchment areas in the rainfall runoff modelling. *Water science and technology*, 54(6-7), pp. 49-56.
- Weng, Q., 2012. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods and trends. *Remote sensing and environment*, Volym 117, pp. 34-49.
- Yuan, F. & Bauer, M. E., 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, Volym 106, pp. 375-386.

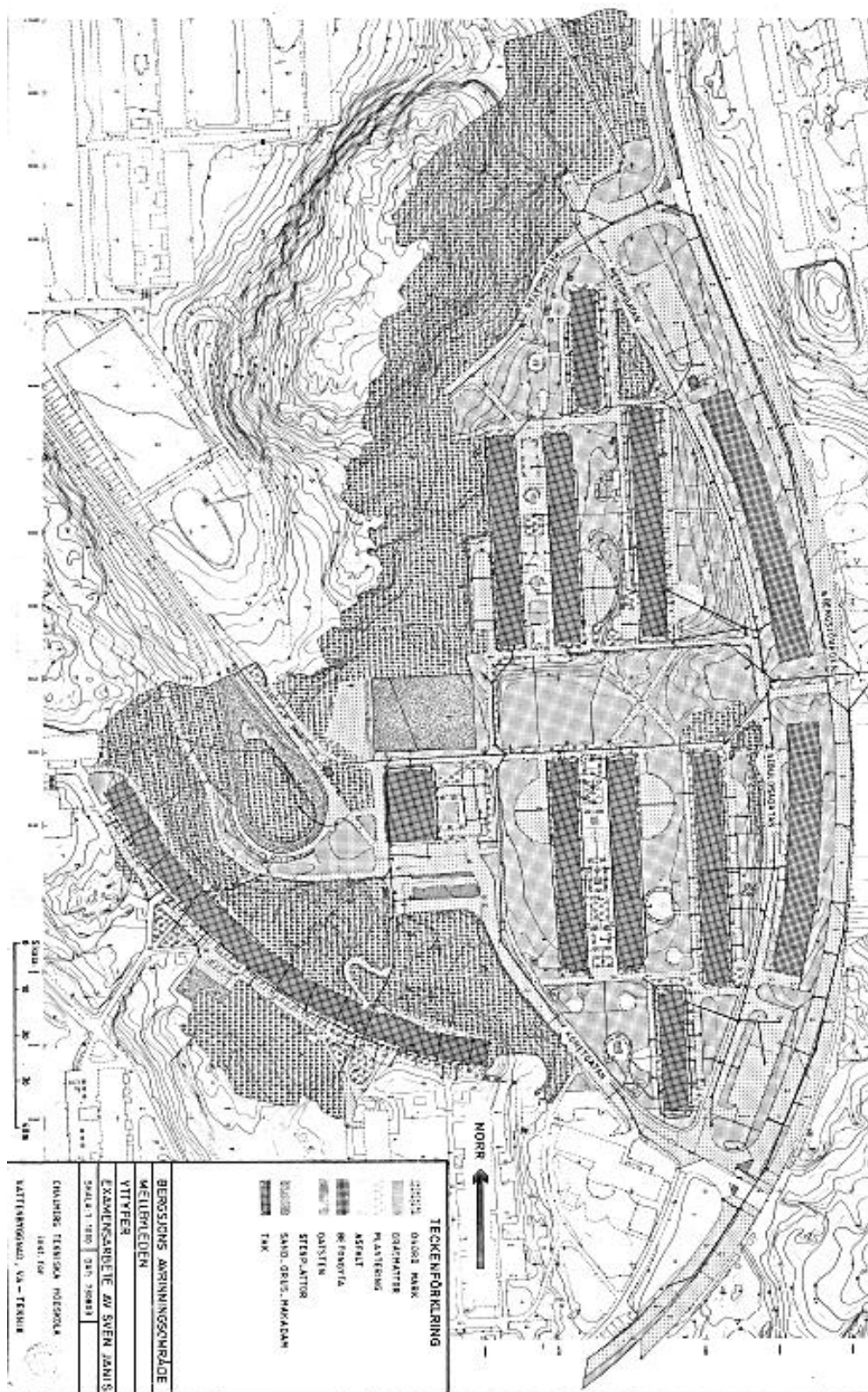
8 BILAGA 1 – AVRINNINGSKOEFFICIENTENS VARIATION MED REGNINTENSITETEN OCH OMRÅDETS LUTNING

Rekommenderade max-avrinningskoefficienter för olika regnintensiteter vid regnvaraktigheten 15 minuter (r_{15}) beroende av områdets genomsnittliga lutning (I_g) och andel hårdgjord yta (Befestigungsgrad, %) (Svenskt Vatten, 2004).

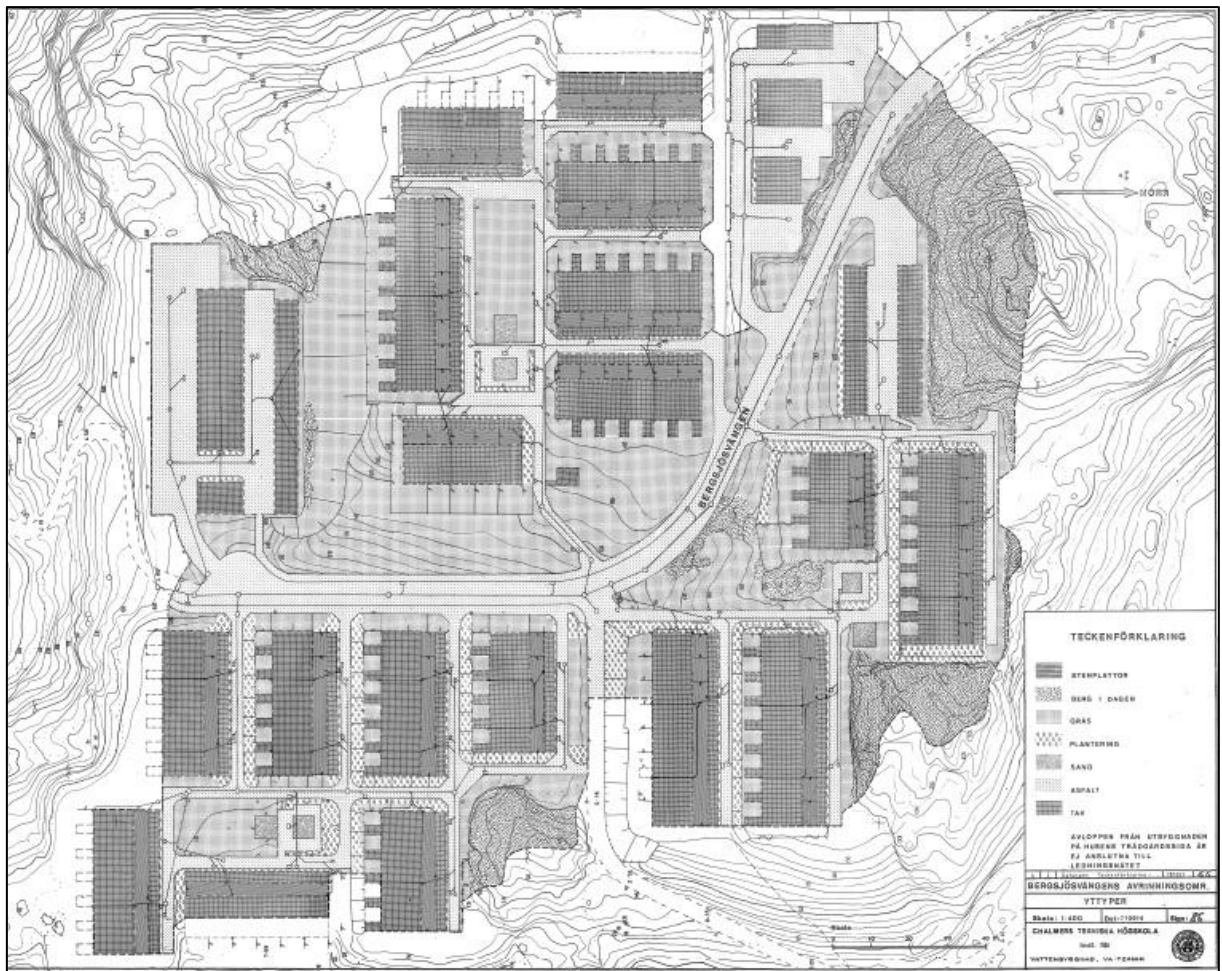
Befestigungsgrad [%]	Gruppe 1 $I_g < 1\%$				Gruppe 2 $1\% \leq I_g \leq 4\%$				Gruppe 3 $4\% < I_g \leq 10\%$				Gruppe 4 $I_g > 10\%$			
	für r_{15} [l/(s-ha)] von															
	100	130	180	225	100	130	180	225	100	130	180	225	100	130	180	225
0 *)	0,00	0,00	0,10	0,31	0,10	0,15	0,30	(0,46)	0,15	0,20	(0,45)	(0,60)	0,20	0,30	(0,55)	(0,75)
10 *)	0,09	0,09	0,19	0,38	0,18	0,23	0,37	(0,51)	0,23	0,28	0,50	(0,64)	0,28	0,37	(0,59)	(0,77)
20	0,18	0,18	0,27	0,44	0,27	0,31	0,43	0,56	0,31	0,35	0,55	0,67	0,35	0,43	0,63	0,80
30	0,28	0,28	0,36	0,51	0,35	0,39	0,50	0,61	0,39	0,42	0,60	0,71	0,42	0,50	0,68	0,82
40	0,37	0,37	0,44	0,57	0,44	0,47	0,56	0,66	0,47	0,50	0,65	0,75	0,50	0,56	0,72	0,84
50	0,46	0,46	0,53	0,64	0,52	0,55	0,63	0,72	0,55	0,58	0,71	0,79	0,58	0,63	0,76	0,87
60	0,55	0,55	0,61	0,70	0,60	0,63	0,70	0,77	0,62	0,65	0,76	0,82	0,65	0,70	0,80	0,89
70	0,64	0,64	0,70	0,77	0,68	0,71	0,76	0,82	0,70	0,72	0,81	0,86	0,72	0,76	0,84	0,91
80	0,74	0,74	0,78	0,83	0,77	0,79	0,83	0,87	0,78	0,80	0,86	0,90	0,80	0,83	0,87	0,93
90	0,83	0,83	0,87	0,90	0,86	0,87	0,89	0,92	0,86	0,88	0,91	0,93	0,88	0,89	0,93	0,96
100	0,92	0,92	0,95	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97	0,94	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98

*) Befestigungsgrade $\leq 10\%$ bedürfen i.d.R. einer gesonderten Betrachtung

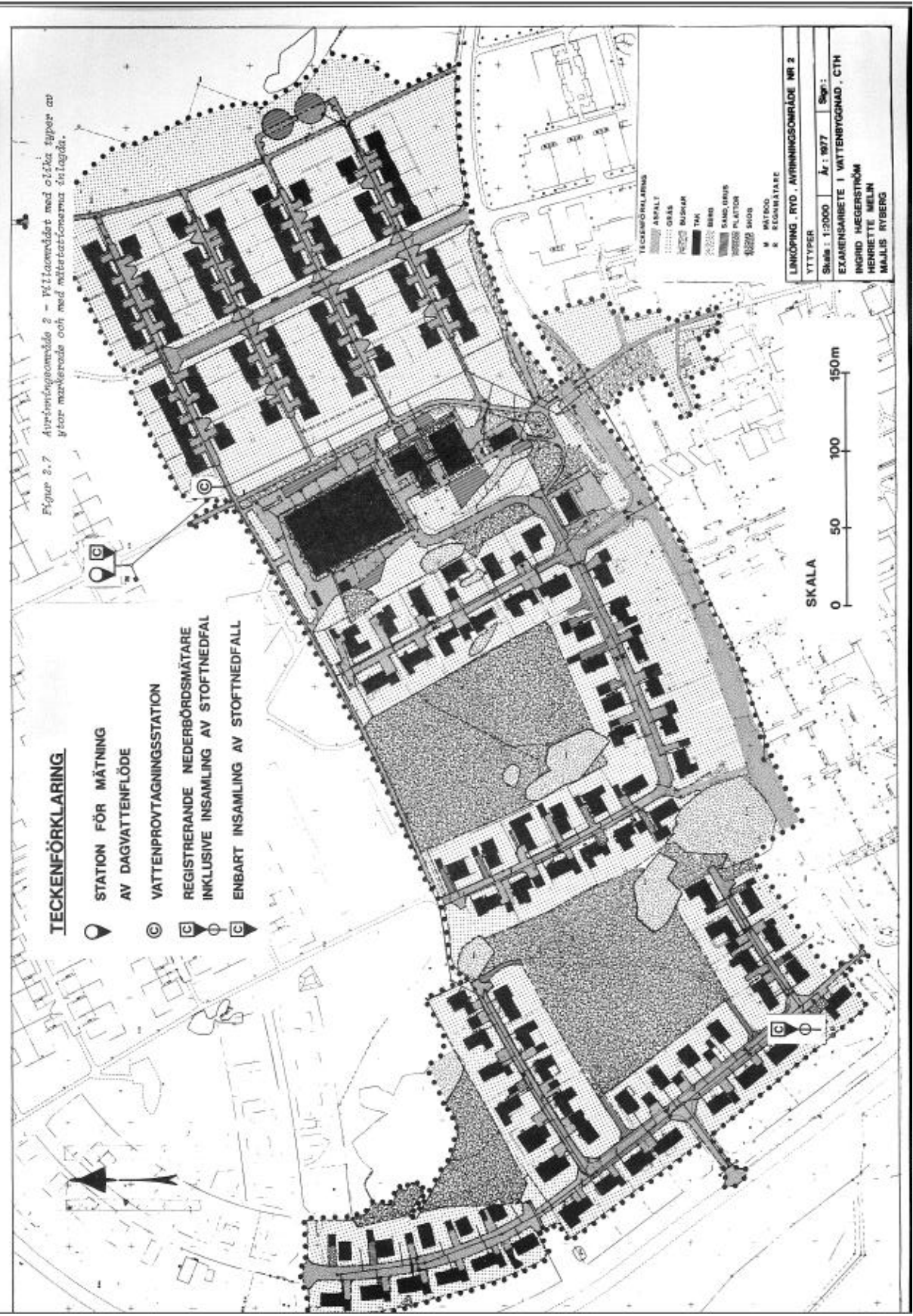
9 BILAGA 2 – BERGSJÖN 1



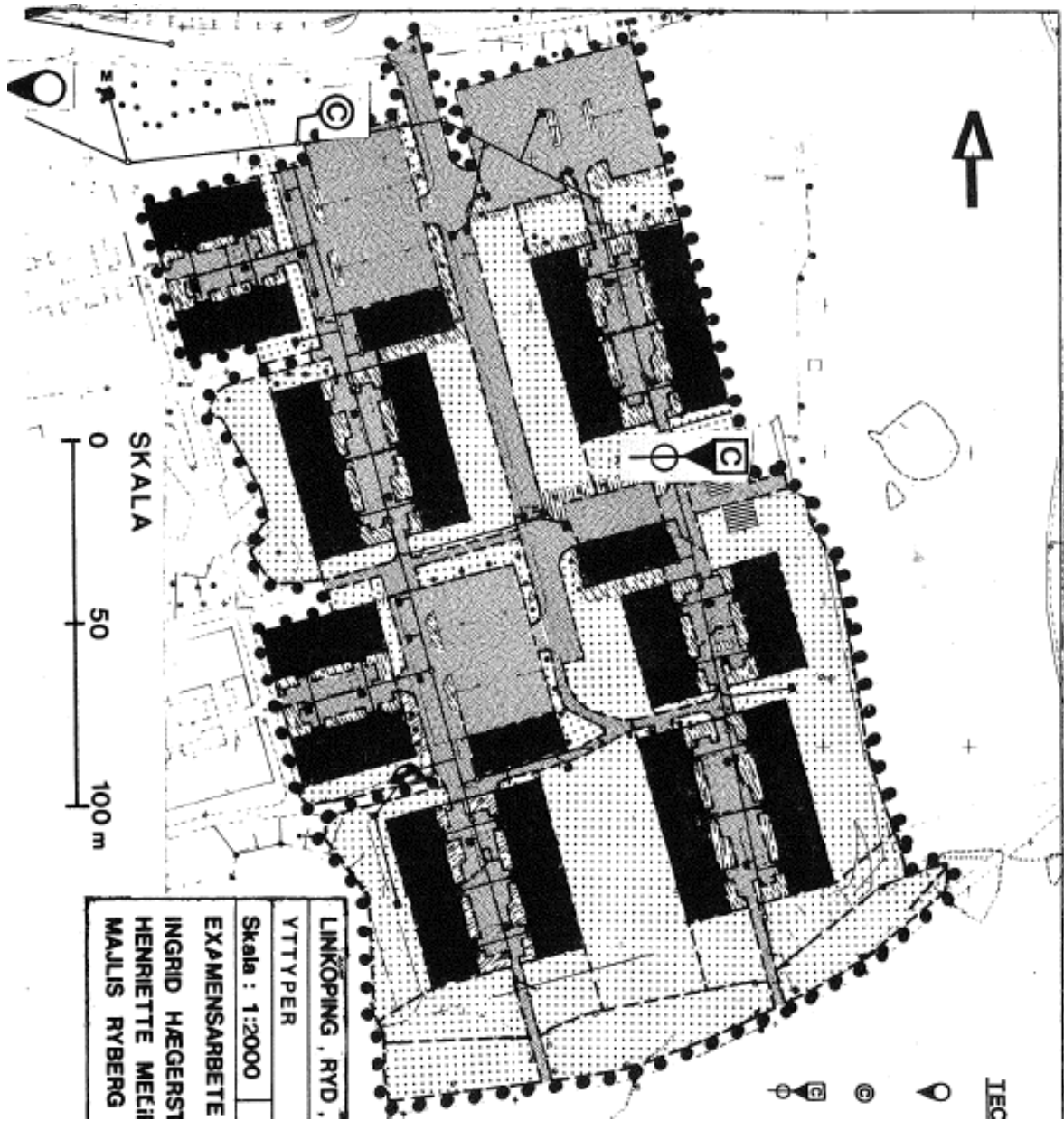
10 BILAGA 3 – BERGSJÖN 2



11 BILAGA 4 – RYD 1



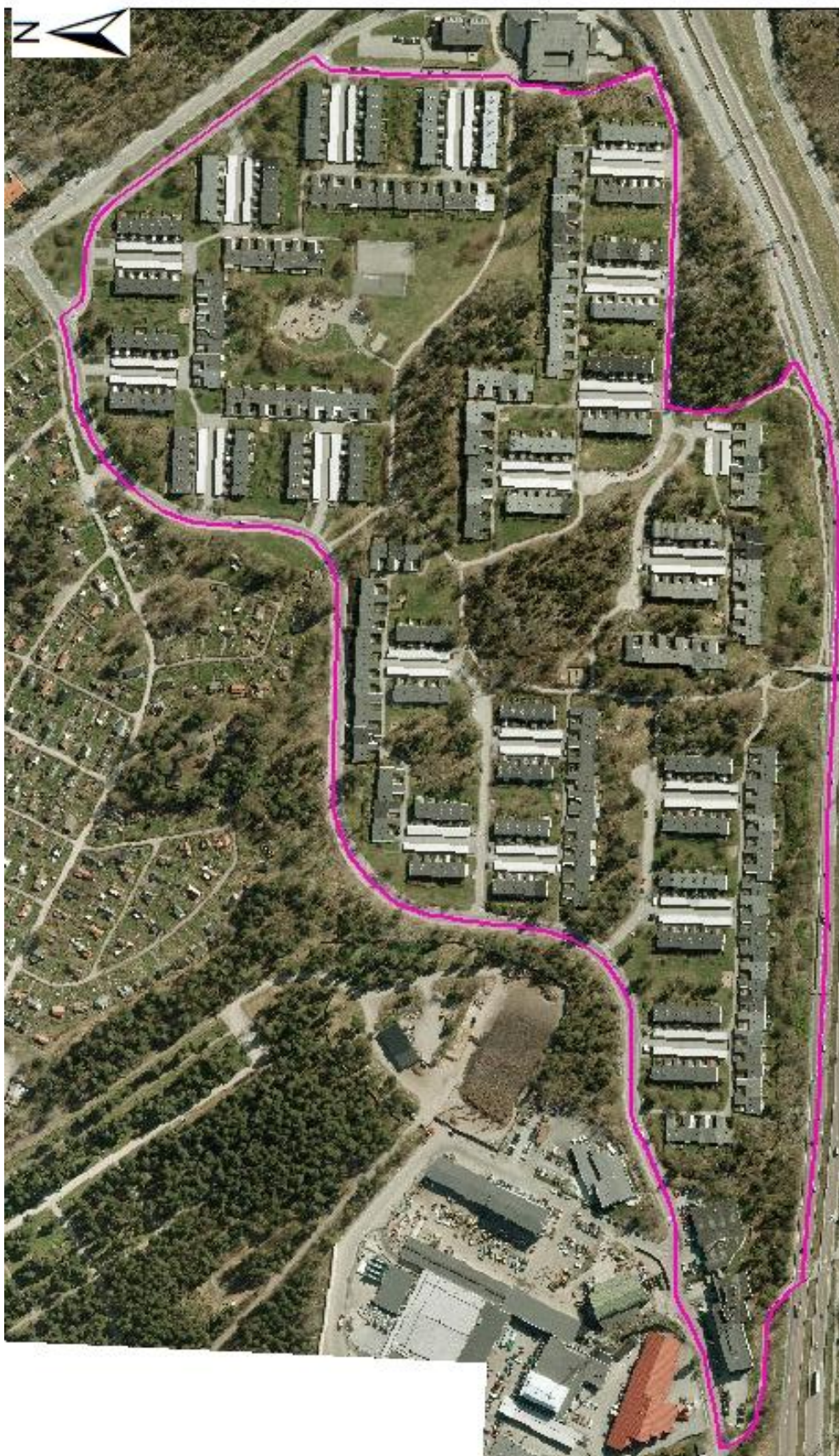
12 BILAGA 5 – RYD 2



13 BILAGA 6 – STOCKHOLM 1



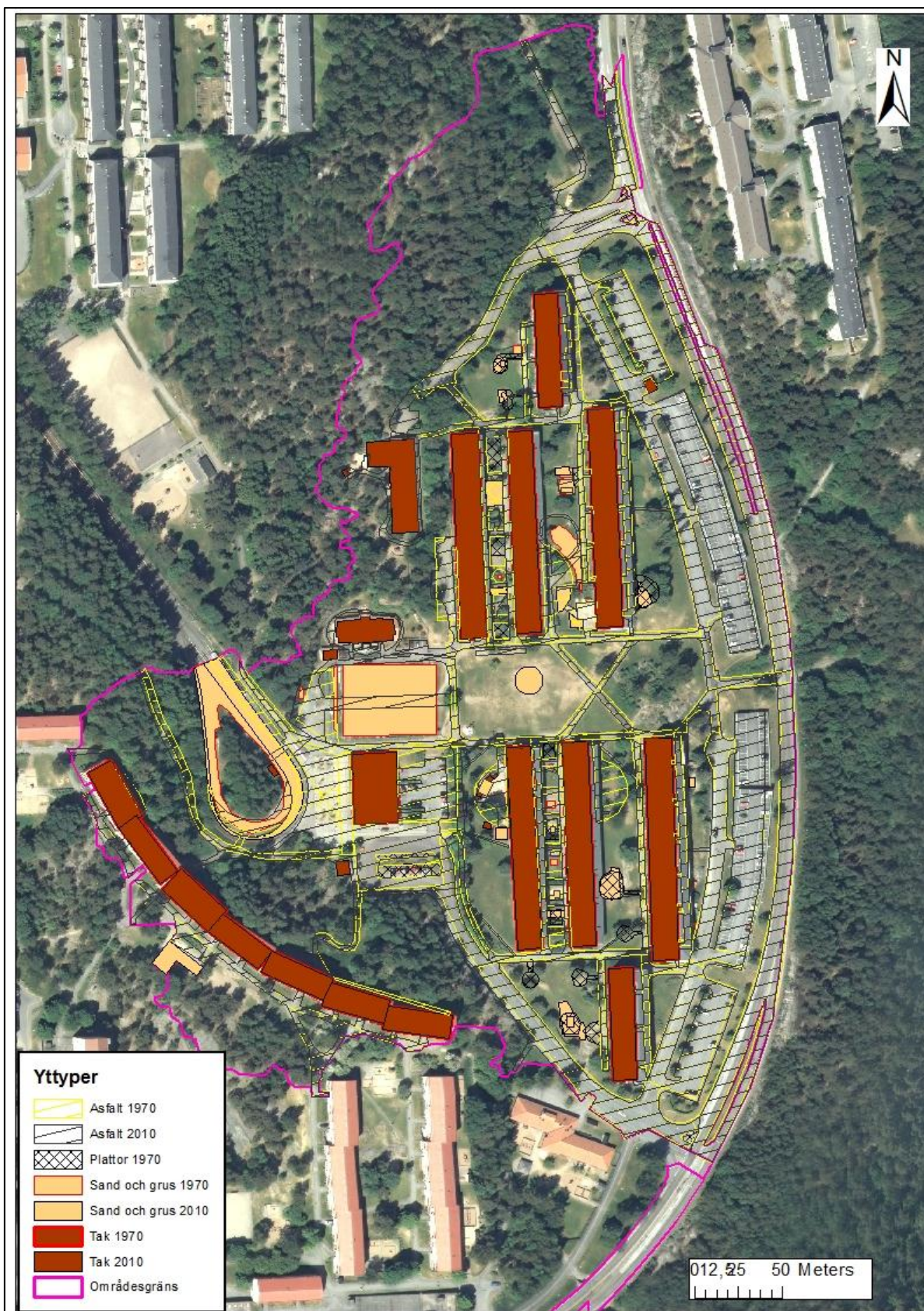
14 BILAGA 7 – STOCKHOLM 2



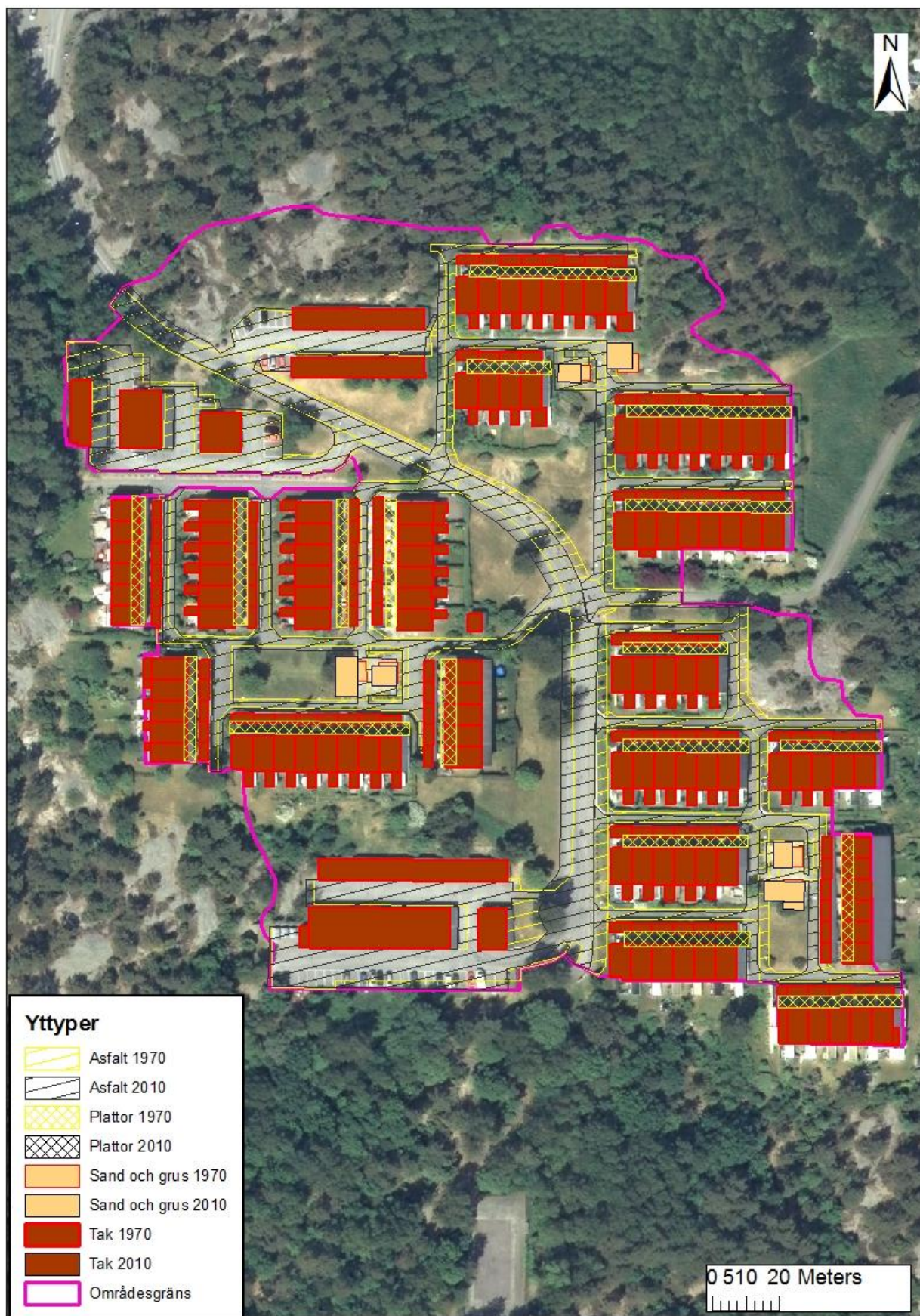
15 BILAGA 8 – STOCKHOLM 3



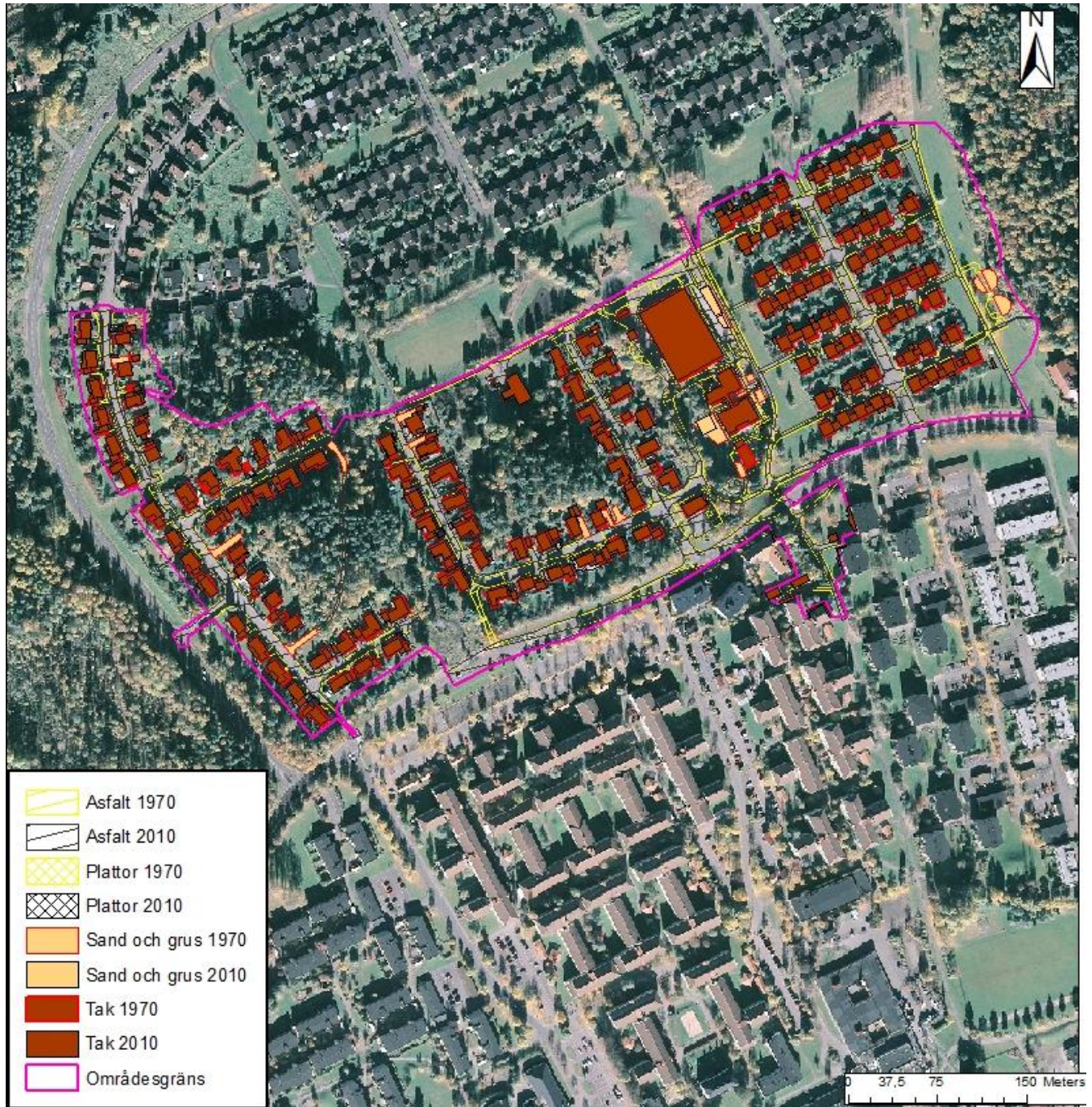
16 BILAGA 9 – KARTERADE YTTPYPER I BERGSJÖN 1



17 BILAGA 10 – KARTERADE YTTYPER I BERGSJÖN 2



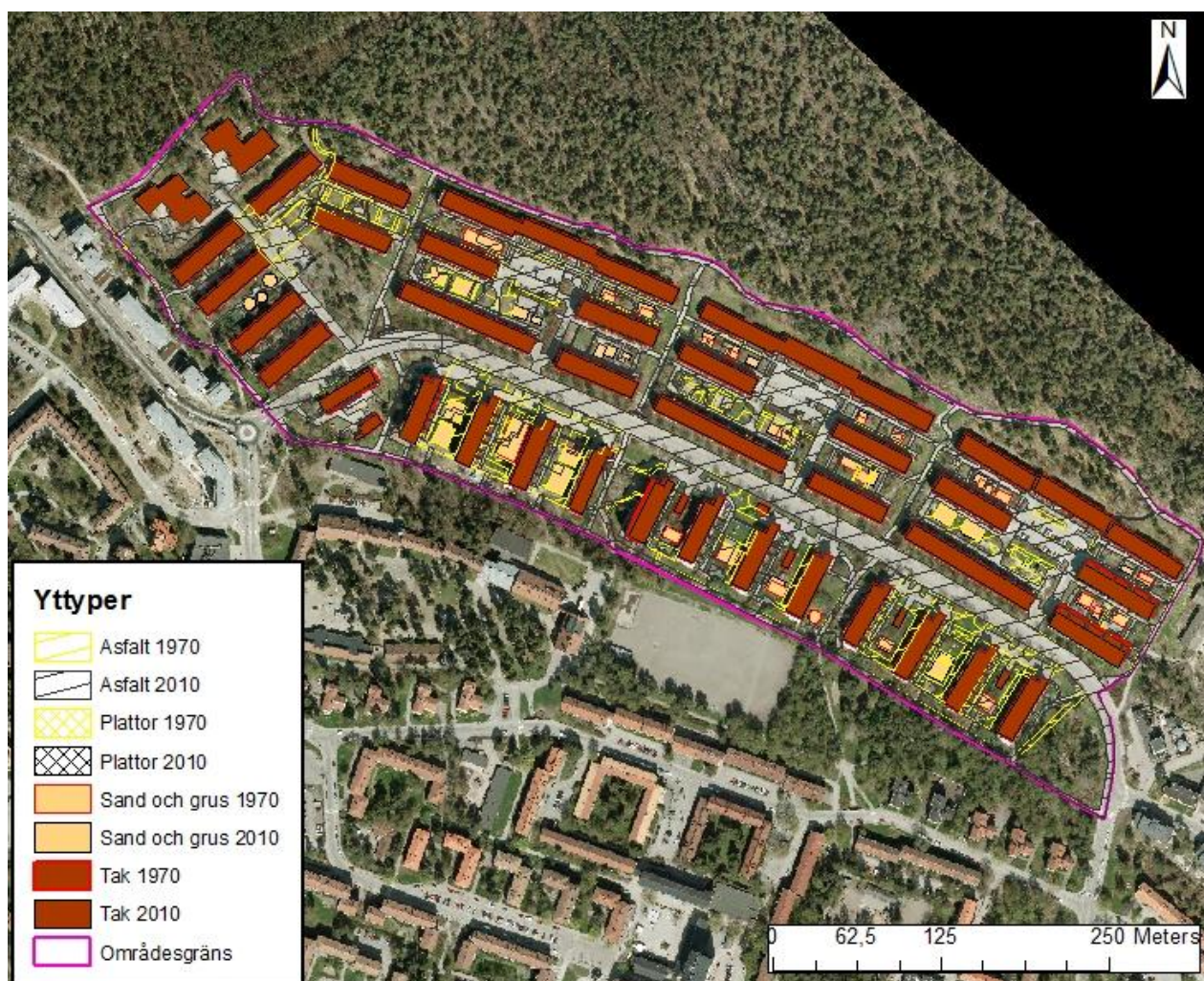
18 BILAGA 11 – KARTERADE YTTYPER I RYD 1



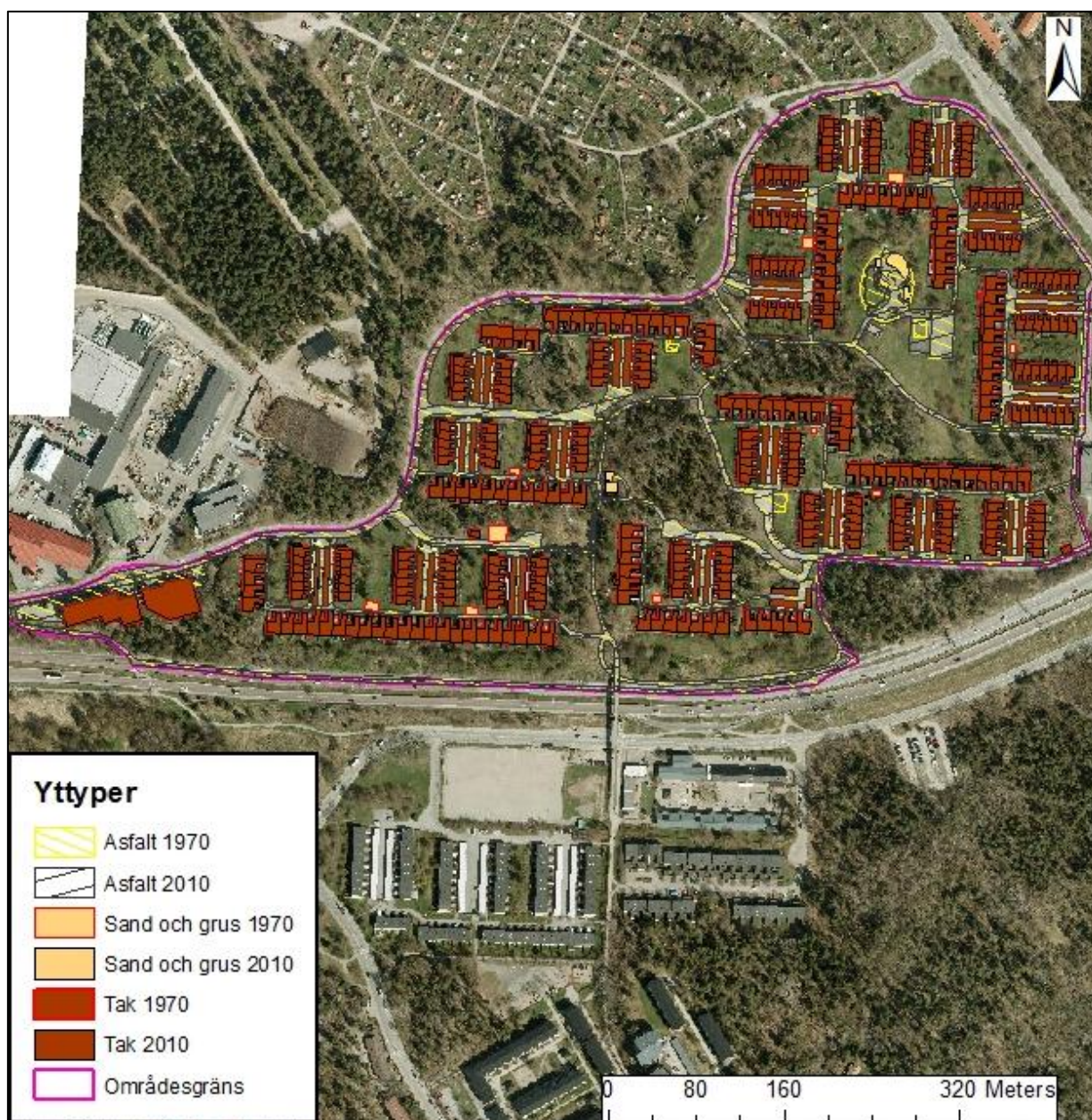
19 BILAGA 12 – KARTERADE YTTYPER I RYD 2



20 BILAGA 13 – KARTERADE YTTYPER I STOCKHOLM 1



21 BILAGA 14 – KARTERADE YTTYPER I STOCKHOLM 2



22 BILAGA 15 – KARTERADE YTTYPER I STOCKHOLM 3

