

## Bilaga till rapport 15SV737 Skyfallsmodellering för Stockholms stad

Diarienummer  
15SV737

Projektnummer  
600346-106

### Bilaga F

---

#### - Inventering och analys av kunskapsunderlag avseende infiltration på grönytor

Joakim Pramsten  
2015-12-03



**Stockholms  
stad**

© Stockholm Vatten AB 2015

Författare: Joakim Pramsten, [joakim.pramsten@stockholmvatten.se](mailto:joakim.pramsten@stockholmvatten.se)

Rapporten citeras: Pramsten, J (2015). Skyfallsmodellering för Stockholms stad. Stockholm Vatten AB.

Internt Dnr: 15SV737

Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten AB, 106 36 Stockholm

Telefon: 08-522 120 00

Webb: [www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se)

## Sammanfattning

Infiltrationskapaciteten är den viktigaste parametern för att kunna bedöma hur mycket vatten som kan tänkas avrinna från grönytor i samband med intensiva regn.

Den typ av regn som främst associeras med marköversvämningar i urbana miljöer är relativt korta men mycket intensiva sommarregn, så kallade konvektionsregn. Denna typ av regn uppträder i samband med längre perioder av varmt väder.

De infiltrationskapaciteter som redovisas i litteraturen avser vanligen det så kallade slutvärdet av en infiltrationsmätning. I början av ett infiltrationsförsök är infiltrationskapaciteten ofta högre än slutvärdet eftersom vatten under en inledande fas kan tränga ner i och fylla upp markens ytligare skikt.

För intensiva skyfall under sommaren torde det vara viktigt att ta hänsyn till den infiltrations- och magasineringsskapacitet som finns att tillgå i de ytliga jordlagren. I denna bilaga inventeras och analyseras de kunskapsunderlag som har kunnat uppbringas i ämnet.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Hortonsk ytavrinning från grönytor _____	3
2. Mättad avrinning från grönytor _____	3
3. Infiltrationskapacitet hos grönytor vid intensiva sommarregn _____	4
4. Infiltrationskapacitet på åker- och ängsmark (Engdahl 1975) _____	5
5. Infiltrationskapacitet på kompakterade, urbana grönytor (Pit 1999) _____	9
6. Sammanfattning av resultat från infiltrationsundersökningar _____	11
7. Referenser _____	13

## 1. Hortonsk ytavrinning från grönytor

Infiltrationskapaciteten hos en infiltrationsyta avtar ju längre infiltrationsförloppet pågår tills infiltrationskapaciteten når ett konstant värde, det så kallade slutvärdet. Detta värde kan vara avsevärt lägre än startvärdet vid infiltrationsförloppets början.

Infiltrationskapaciteten vid tiden  $t$  kan beskrivas med Hortons ekvation:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

där  $f_t$  är infiltrationskapaciteten vid tiden  $t$   
 $f_0$  är infiltrationens startvärde  
 $f_c$  är infiltrationens slutvärde  
 $k$  är en reduktionskoefficient  
 $t$  är tiden sedan infiltrationen inleddes  
 $e$  är basen för den naturliga logaritmen

Den ackumulerade infiltrationen vid tiden  $t$  kan med samma beteckningar skrivas:

$$F_t = f_c t + \frac{(f_0 - f_c)}{k} (1 - e^{-kt})$$

Egentligen är det inte tiden sedan infiltrationen inleddes som avgör infiltrationskapaciteten utan den mängd vatten som under närtid har infiltrerat. I Hortons ekvation förutsätts att tillräckliga mängder vatten hela tiden finns tillgängligt för att motsvara infiltrationskapaciteten. Tillförs mindre vatten än vad som kan infiltrera under en given tidsperiod kvarstår den outnyttjade infiltrationskapaciteten och den kan då nyttjas vid senare tidpunkter i infiltrationsförloppet.

Om det vid någon tidpunkt under infiltrationsförloppet tillförs mer vatten än marken för tillfället kan ta emot avrinner detta på ytan. Denna typ av avrinning kallas Hortonsk avrinning. Det är ovanligt att Hortonsk avrinning uppkommer på naturliga, bevuxna ytor men vid mycket intensiva regn kan det ske.

Kompakterade ytor har oftast lägre infiltrationskapacitet än okompakterade och risken för Hortonsk avrinning är således större för sådana ytor. Kompakterade ytor förekommer t.ex. i områden där arbetsmaskiner eller människor regelbundet rör sig. Får ytorna vila en längre tid luckras de upp av frostsprängning, torrsprickor, rötter och maskar med mera, vilket leder till att infiltrationskapaciteten ökar.

## 2. Mättad avrinning från grönytor

En annan typ av avrinning från grönytor är mättad avrinning som kan uppstå i samband med långvariga och volymrika regn. Vid mättad avrinning stiger grundvattenytan ända upp till markytan i vissa lägen, oftast lågpunkter, vilket omöjliggör infiltration i dessa lägen. Den mättade avrinningen orsakas vanligen av betydligt långsammare processer än enstaka timmar av intensiv nederbörd.

### 3. Infiltrationskapacitet hos grönytor vid intensiva sommarregn

Den typ av regn som främst associeras med marköversvämningar i urbana miljöer är relativt korta men mycket intensiva sommarregn, så kallade konvektionsregn. Denna typ av regn uppträder i samband med längre perioder av varmt väder genom att markytan värmer upp luften ovanför som då hastigt stiger, varvid fukt faller ut som regn. Konvektionsregn varar vanligen bara någon eller några timmar men de kan ändå resultera i omfattande översvämningar på grund av att de under denna korta tidsperiod släpper ifrån sig betydligt mer regn än vad stadens avloppssystem är dimensionerat för att avleda, vilket leder till vattenansamlingar och flöden på markytan.

En helt annan typ av regn är frontregn. De kan vara både längre och mer volymrika än sommarens konvektionsregn men de är i allmänhet mindre intensiva och kan därför oftast tas omhand av stadens dagvattensystem utan att orsaka marköversvämningar. I större avrinningsområden med mycket naturmark kan även frontregn ge upphov till översvämningar. Den typiska översvämningssituationen vid sådana tillfällen utgörs av vattendrag som stiger över sina bräddar.

De infiltrationskapaciteter som redovisas i litteraturen avser vanligen det så kallade slutvärdet av en infiltrationsmätning. Slutvärdet erhålls normalt efter 2-5 timmars infiltration då infiltrationshastigheten har hunnit stabilisera sig och blivit konstant med avseende på tiden. I början av ett infiltrationsförsök är infiltrationskapaciteten vanligen högre än slutvärdet eftersom vatten under en inledande fas kan tränga ner i, och fylla upp, markens ytligare skikt.

För intensiva skyfall under sommaren torde det vara viktigt att ta hänsyn till den infiltrations- och magasineringskapacitet som finns att tillgå i de ytliga jordlagren. Eftersom konvektionsregn främst uppkommer under varma perioder sommartid kan marken förutsättas vara relativt torr och ha god lagringskapacitet vid regnets början. Det är därför viktigt att ha tillgång till data om hela infiltrationsförloppet vid dessa regntillfällen och inte bara om infiltrationens slutvärde.

Tyvärr har det visat sig vara svårt att hitta tillförlitliga data från infiltrationsförsök som redovisar infiltrationsförloppet från början till dess att konstant infiltration uppnås. Det har även varit svårt att hitta dokumenterade infiltrationsförsök där infiltrationen har fått ske genom de ytliga jordlagren, det vill säga där vatten påförts direkt på den opåverkade markytan. Ofta rensas de övre jordlagren bort innan försöken påbörjas i syfte att underlätta provtagningen och snabbare nå infiltrationens slutvärde. Sådana mätningar är av förklarliga skäl oanvändbara för att uppskatta infiltrationskapaciteten om syftet är att också beakta den inverkan på infiltrationsförloppet som de ytliga jordlagren kan ha.

Den enda dokumentation som har kunnat uppbringas avseende svenska infiltrationsförsök utförda direkt på markytan, där infiltrationsförloppet har dokumenterats vid olika tidpunkter från start- till slutvärde, finns i en sammanställning från 1981 gjord av Geohydrologiska Forskningsgruppen på Chalmers tekniska högskola (Lindblad 1981). I sammanställningen refereras data från infiltrationsundersökningar på åker- och ängsmark i Angered (Engdahl 1975). Dessa data har här använts för att uppskatta infiltrationskapaciteten hos naturliga grönytor samt hos anlagda grönytor med okompakterade jordar.

I USA har det utförts infiltrationsförsök på urbana och påverkade jordar där detaljerade resultat från hela infiltrationsförloppet redovisas (Pit 1999). Dessa data har använts för att uppskatta infiltrationskapaciteten hos anlagda grönytor med kompakterade jordar i urban miljö.

#### 4. Infiltrationskapacitet på åker- och ängsmark (Engdahl 1975)

Infiltrationsundersökningarna utfördes i Angered under försommaren 1975. Det undersökta området bestod av åker- och ängsmark som skulle bebyggas med bostäder. Jorden bestod av lera ovanpå friktionsjord. Det översta lerskiktet bestod av torrskorpelera med ett djup som varierade mellan 0 och 2 meter. Jorddjupet totalt varierar mellan 10 och 15 meter. Vid höjdpartierna var jorddjupet ringa och friktionsmaterial, bland annat svallsediment, överväger.

Infiltrationskapaciteten mättes med dubbelringsinfiltrimetrar i 10 punkter. Två försök gjordes på varje plats, ett på den vegetationsklädda markytan och ett 30 centimeter ner i marken. Infiltrationskapaciteten var högre på ytan för samtliga mätpunkter utom två. I dessa två mätpunkter uppges markytan ha varit hård och torr i det ena fallet och fuktig av regn i det andra.

I tabell 1 redovisas resultaten av de försök som utfördes på den vegetationsklädda markytan sorterade efter fallande initial infiltrationskapacitet.

Tabell 1 Uppmätt infiltrationskapacitet för ängs- och åkermark (Engdahl 1975).

Mätpunkt	Jordtyp	Uppmätt momentan infiltrationskapacitet [mm/h]			
		0 timmar	2 timmar	4 timmar	6 timmar
10a	Friktion	1200	545	-	-
9a	Friktion	980	545	-	-
3a	Friktion	765	325	190	190
5a	Friktion	765	220	165	165
8a	Lera	380	160	68	-
4a	Lera	300	164	136	95
6a	Lera	245	33	22	16
7a	Lera	87	22	19	-
2a	Lera	17	1	0,5	-
1a	Lera	11	11	16	7

Datat i tabell 1 har använts för att grovt bedöma infiltrationskapaciteten för tre olika markförhållanden:

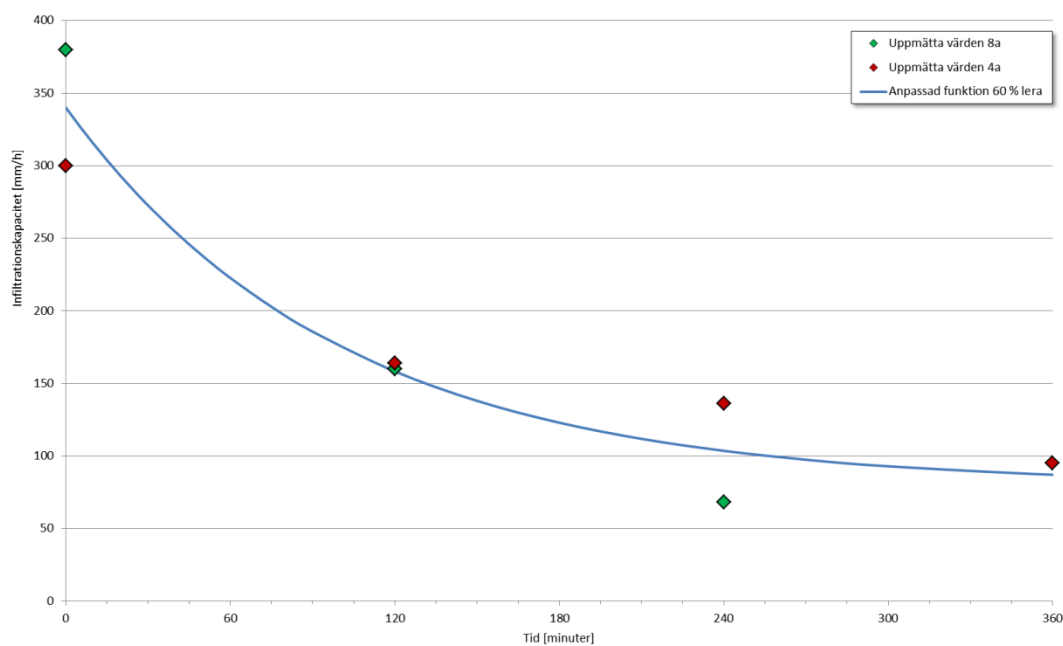
- I det första fallet antas att 60 % av marken inom ett avrinningsområde kan förväntas utgöras av lera samt att mätpunkterna i Angered utgör ett representativt underlag för hur infiltrationskapaciteten kan variera inom ett sådant område.
- I det andra fallet antas att 75 % av marken inom ett avrinningsområde kan förväntas utgöras av lera samt att mätpunkterna i Angered utgör ett representativt underlag för hur infiltrationskapaciteten kan variera inom ett sådant område med undantag för de två mest genomsläppliga friktionsjordarna som i detta fall har uteslutits ur bedömningen.
- I det tredje fallet antas att 100 % av marken inom ett avrinningsområde kan förväntas utgöras av lera samt att mätpunkterna i Angered lerjordar utgör ett representativt underlag för hur infiltrationskapaciteten kan variera inom ett sådant område. De fyra mätpunkterna i friktionsjord har i detta fall uteslutits helt.

Genom passning av ingångsparametrarna i Hortons ekvation har ett resultat erhållits som genererar resultat mellan mätresultaten från punkterna i Angered, se tabell 2.

Tabell 2 Val av parametrar i Hortons ekvation för passning till infiltrationskapacitet för ängs- och åkermark (baserat på data från Engdahl 1975).

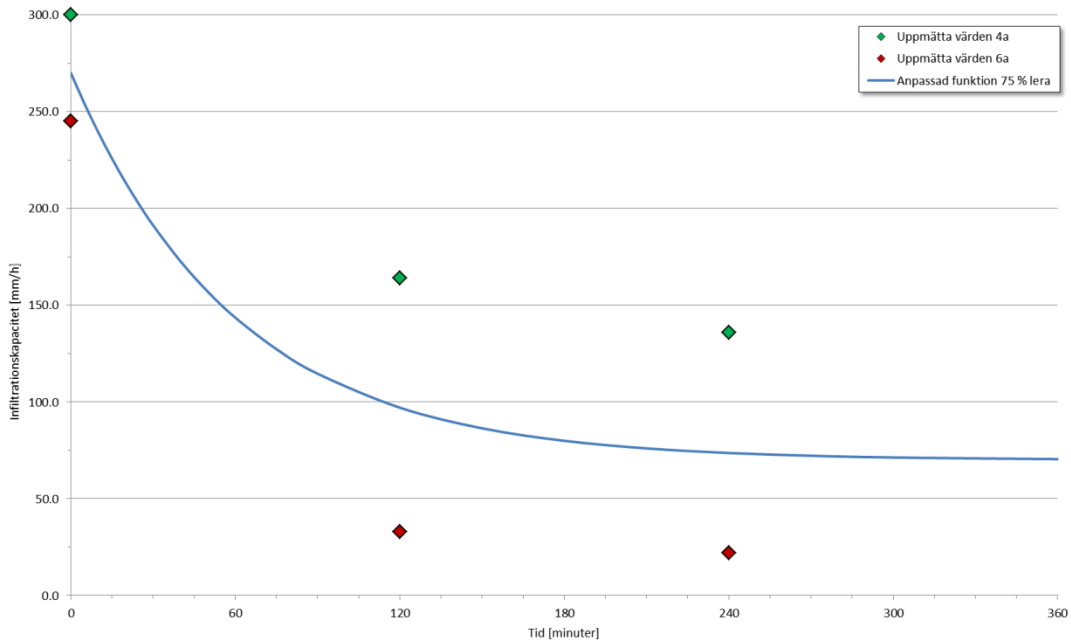
Passning mellan	Jordtyp	$f_0$ [mm/h]	$f_c$ [mm/h]	$k$ [h <sup>-1</sup> ]
8a och 4a	60 % lera	340	80	0,6
4a och 6a	75 % lera	270	70	1
6a och 7a	100 % lera	170	18	1,3

I figur 1 till 3 redovisas passningen av Hortons ekvation för vart och ett av de tre studerade fallen tillsammans med omgivande mätvärden.

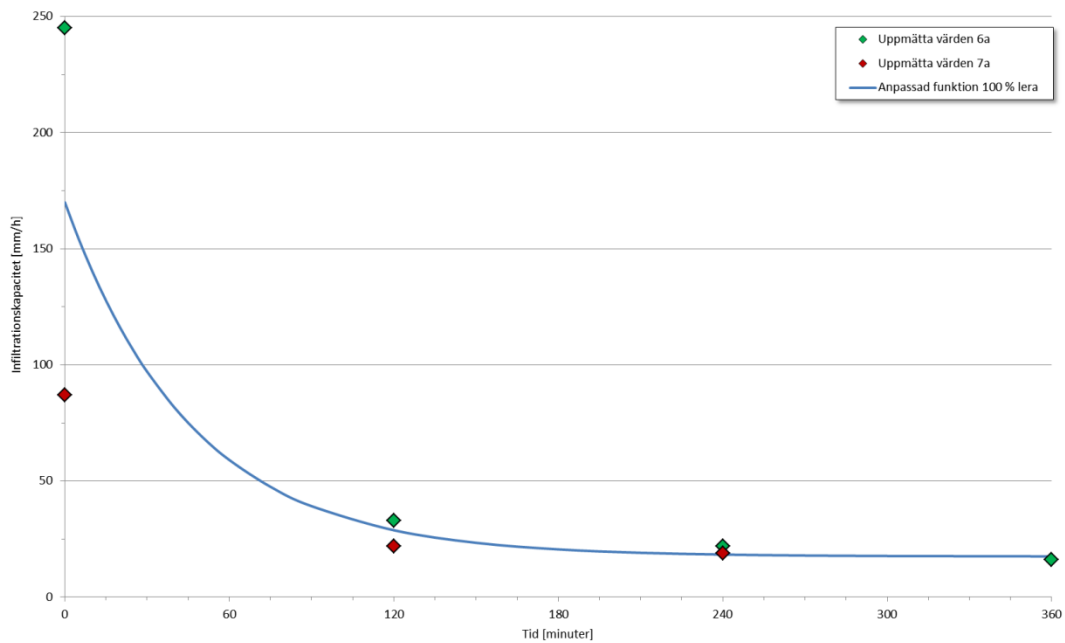


Figur 1 Passning av Hortons ekvation till mätdata för 60 % lera (d.v.s. passning mellan uppmätta värden för 8a och 4a från Engdahl 1975).





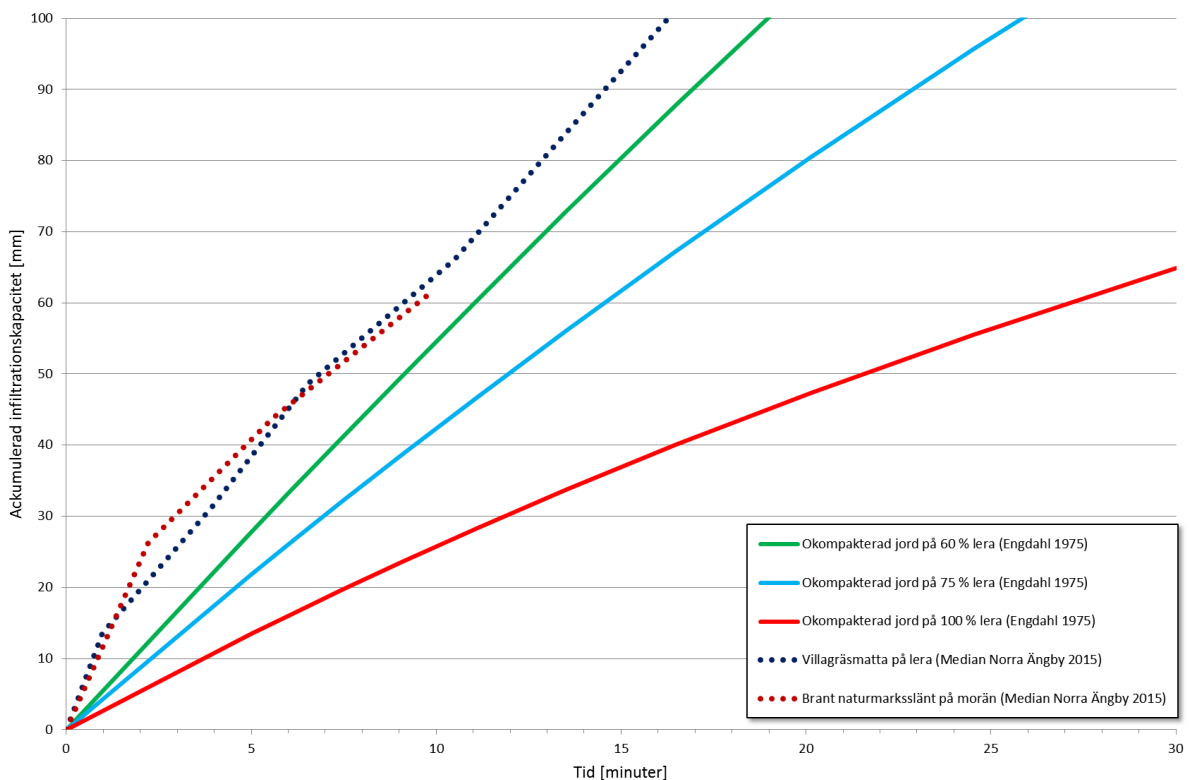
Figur 2 Passning av Hortons ekvation till mätdata för 75 % lera (d.v.s. passning mellan uppmätta värden för 4a och 6a från Engdahl 1975).



Figur 3 Passning av Hortons ekvation till mätdata för 100 % lera (d.v.s. passning mellan uppmätta värden för 6a och 7a från Engdahl 1975).

I syfte att bedöma rimligheten i antagandena ovan genomfördes några enkla infiltrationsförsök i villaförorten Norra Ängby (se bilaga G). Fem försök genomfördes totalt. Tre försök utfördes på en villagräsmatta i mycket svag lutning vilken underlagrades av lera och två försök utfördes i en naturmarksslänt med en lutning något brantare än 1:2 som underlagrades av morän.

I figur 4 jämförs den ackumulerade infiltrationshastighet som uppmättes i Norra Ängby med den ackumulerade infiltrationskapaciteten för de tre typfallen som härletts från Engdahls undersökningar med hjälp av Hortons ekvation. Jämförelsen indikerar att de tre typfall som härletts från Engdahls undersökningar riskerar att underskatta infiltrationskapaciteten snarare än att överskatta den. Med hänvisning till att Engdahls undersökningar omfattar ett större antal punkter samt att de har genomförts under mer kontrollerade former får dessa ändå tjäna som utgångspunkt för antaganden om infiltrationskapacitet hos naturmark och anlagda gräsmattor i områden där gräsytorna endast i begränsad omfattning utsätts för kompaktering.



Figur 4 Jämförelse av resultat från passning av Hortons ekvation till mätdata från Engdahl 1975 med mätdata från Norra Ängby 2015.

### 5. Infiltrationskapacitet på kompakterade, urbana grönytor (Pit 1999)

Infiltrationsundersökningarna utfördes i Alabama, USA. Undersökningar utfördes på 51 olika urbana eller anlagda grönytor med skiftande förutsättningar. På varje yta genomfördes tre parallella försök med dubbelringsinfiltrometer. Totalt genomfördes alltså 153 infiltrationsförsök. Av dessa 153 försök utfördes 36 försök i kompakterad och torr jord. Resultaten av dessa 36 försök redovisas i tabell 3.

Tabell 3 Uppmätt infiltrationskapacitet för kompakterade, torra, urbana grönytor (Pit 1999).

Uppmätt ackumulerad infiltrationskapacitet [mm] vid olika tidpunkter under infiltrationsförloppet																								
Minuter	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
OSDC-5C	93	159	228	305	343	363	384	417	446	466	479	485	525	548	570	603	625	646	662	680	681	718	738	752
OSDC-4C	25	43	47	69	69	90	100	131	143	169	180	200	212	239	249	274	278	296	327	337	355	355	365	390
OSDC-4B	16	18	35	63	69	86	114	137	141	157	186	192	210	235	235	243	257	274	302	319	345	347	359	380
OSDC-4A	10	14	33	61	69	84	110	129	133	149	176	180	194	214	243	247	257	274	298	310	333	333	341	357
NSDC-2A	35	49	60	69	80	87	95	103	113	124	130	135	147	158	167	170	176	181	194	202	210	219	228	237
NSDC-2C	37	51	61	69	78	84	92	98	104	112	118	123	133	139	147	153	159	164	168	175	182	191	198	210
OSDC-1C	38	52	63	74	81	86	106	116	126	133	139	147	153	159	165	170	175	178	184	187	190	193	194	196
OSDC-5B	34	51	57	63	70	77	81	86	90	93	110	121	127	135	141	149	155	159	165	170	175	178	181	185
OCDC-1B	17	28	38	46	52	55	66	77	83	87	93	98	103	107	113	116	121	127	133	139	145	152	158	162
NSDC-2B	21	28	32	37	40	43	46	49	55	60	63	67	69	72	77	80	81	84	92	96	100	103	106	110
OSDC-2B	3	14	28	37	44	47	54	60	63	66	70	74	77	80	83	84	86	89	90	95	96	100	104	106
NCDC-1C	15	20	28	31	32	41	46	49	55	58	58	61	63	66	70	70	72	75	80	81	81	83	83	83
OSDC-3B	11	28	31	35	38	43	46	49	52	54	55	57	60	63	64	67	69	69	70	72	75	77	78	80
OSDC-3C	8	25	31	34	37	40	43	46	47	51	54	57	60	61	63	64	66	67	69	72	74	75	77	78
NCDC-2C	31	43	61	67	67	69	69	69	69	69	69	69	69	70	70	70	70	72	72	72	72	74	74	74
OSDC-3A	6	20	26	29	32	35	38	40	43	44	47	49	51	52	55	57	60	61	61	64	66	67	69	70
OSDC-2A	5	20	25	25	31	38	41	44	47	51	52	54	55	57	58	60	61	63	64	66	66	67	67	69
NSDC-1B	11	25	26	28	29	32	32	34	37	40	43	44	46	49	51	54	55	55	58	60	60	61	64	66
NSDC-1A	6	18	23	28	29	32	35	37	38	40	41	43	43	44	47	49	52	54	55	55	57	60	63	64
OSDC-2C	5	12	29	32	35	38	40	43	44	46	47	49	51	52	54	55	57	57	57	58	58	60	61	61
OSDC-1B	11	14	18	21	25	28	29	32	34	37	38	41	43	44	46	47	49	51	52	54	54	55	57	58
NCDC-2B	12	21	29	29	31	32	37	38	43	43	43	43	46	47	49	49	51	54	55	55	55	55	55	55
OSDC-5A	15	18	23	23	25	25	26	28	29	31	32	34	35	35	37	38	40	41	41	43	44	44	46	47
OCDC-1A	6	9	12	15	17	18	20	23	25	26	28	29	31	32	34	35	37	38	40	41	41	43	44	46
NCDC-1B	6	8	12	15	18	18	20	21	25	26	28	31	32	32	34	37	37	38	41	41	43	43	44	44
NCDC-1A	6	11	12	15	18	20	21	23	26	29	29	31	32	32	35	37	38	40	40	40	40	41	41	41
OCDC-1C	5	8	11	12	15	17	18	20	21	23	23	25	26	28	29	29	31	32	32	32	34	35	37	38
OCDC-2C	5	8	9	11	12	14	15	17	18	21	23	25	28	29	29	31	32	32	34	35	35	35	37	37
OSDC-1A	9	11	14	15	17	18	20	20	21	23	25	26	28	28	29	29	29	31	31	32	32	34	35	37
OCDC-2A	5	9	11	12	14	14	17	18	20	21	21	23	25	26	26	28	28	29	29	31	31	31	32	32
NCDC-2A	3	12	14	14	14	15	15	17	17	20	20	21	21	23	25	25	25	26	26	26	26	28	28	28
OCDC-2B	3	6	8	9	11	12	14	14	15	17	17	18	20	21	21	23	23	23	25	25	26	26	26	28
NSDC-1C	9	12	17	17	17	17	17	18	18	20	20	20	20	21	21	23	23	23	23	23	23	23	25	25
OCDC-3B	3	5	6	8	9	9	11	12	14	14	14	14	15	15	15	15	17	17	17	17	18	18	18	18
OCDC-3C	2	2	3	5	6	6	6	6	8	8	9	9	9	9	11	11	11	11	12	12	14	14	14	14
OCDC-3A	2	3	5	5	5	5	6	6	6	6	8	8	9	9	9	9	9	9	11	11	11	11	11	11

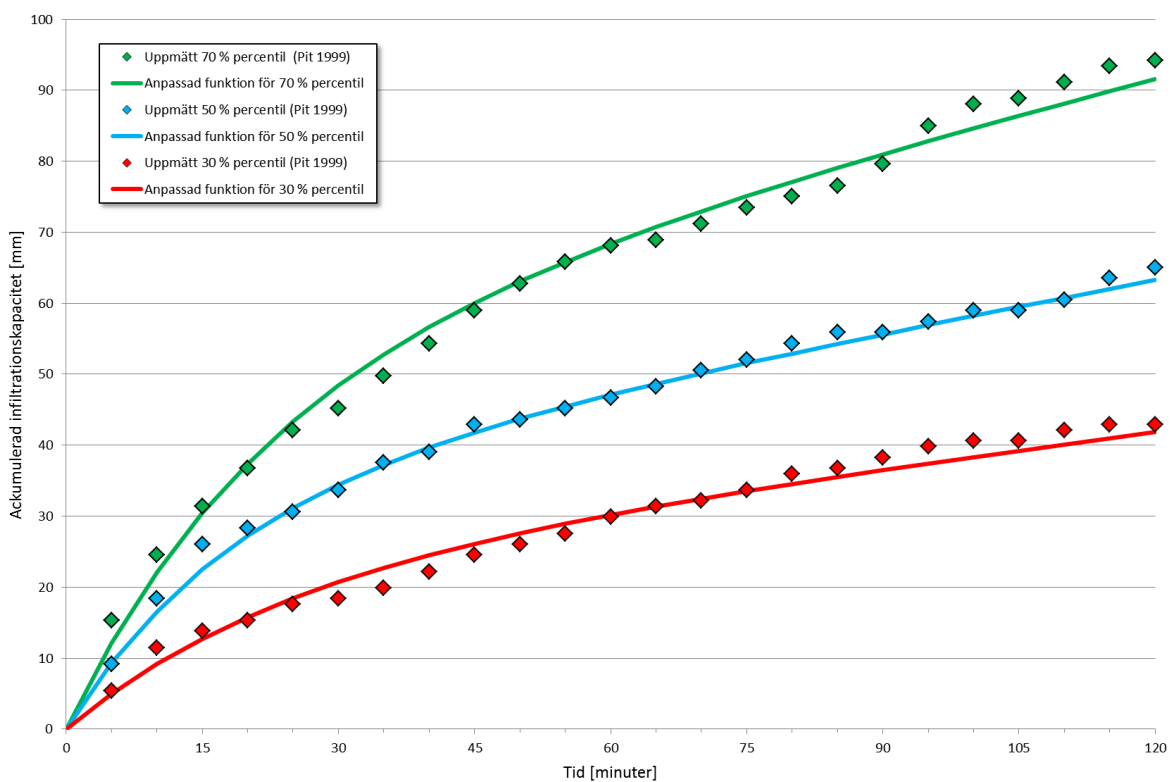
Ovanstående data har använts för att grovt ansätta en genomsnittlig infiltrationskapacitet för anlagda grönytor med kompakterade jordar i urban miljö:

- I det första fallet antas att 70-percentilen av ovanstående värden är en rimlig övre gräns för den genomsnittliga infiltrationskapaciteten.
- I det andra fallet antas att 50-percentilen av ovanstående värden är ett rimlig mellanvärde för den genomsnittliga infiltrationskapaciteten.
- I det tredje fallet antas att 30-percentilen av ovanstående värden är en rimlig undre gräns för den genomsnittliga infiltrationskapaciteten.

Genom passning av ingångsparametrarna i Hortons ekvation har ett resultat erhållits som genererar resultat enligt tabell 4.

Tabell 4 Val av parametrar i Hortons ekvation för passning till infiltrationskapacitet för kompakterade, urbana grönytor (baserat på data från Pit 1999).

Passning till	Jordtyp	$f_0$ [mm/h]	$f_C$ [mm/h]	$k$ [h <sup>-1</sup> ]
70-percentil	Kompakterad	160	20	2,7
50-percentil	Kompakterad	125	15	3,3
30-percentil	Kompakterad	65	10	2,5



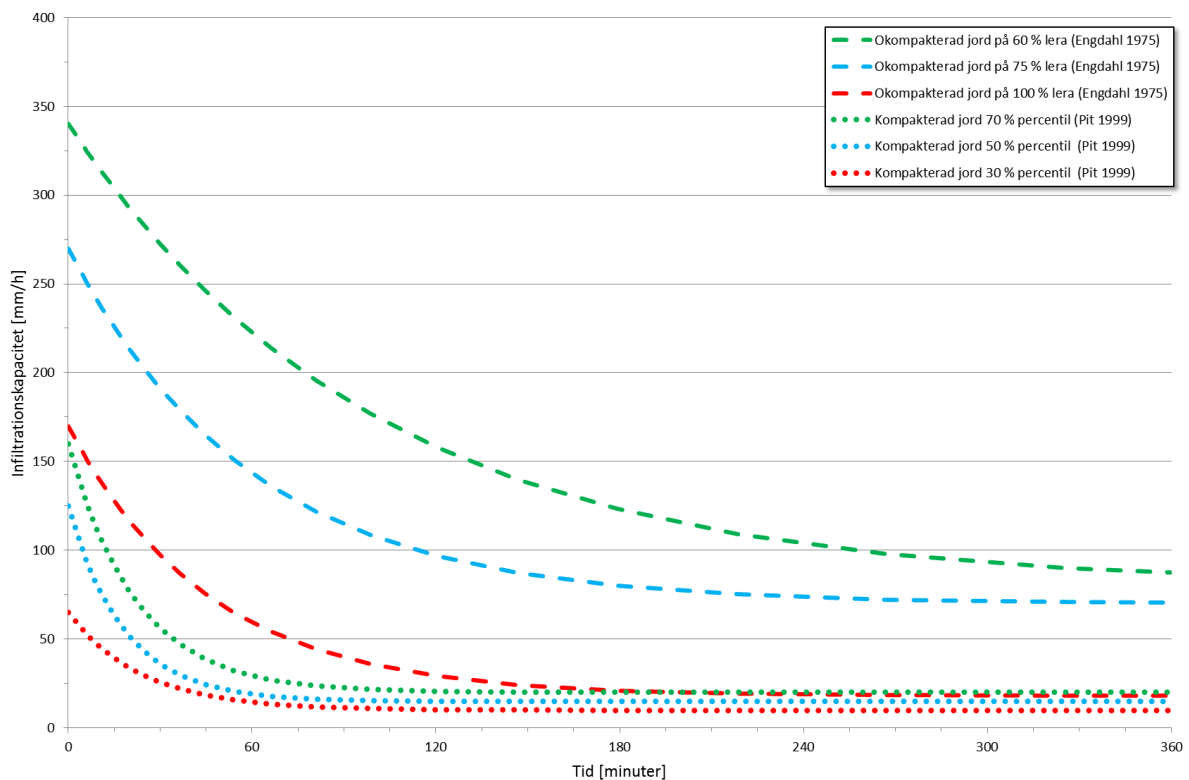
Figur 5 Passning av Hortons ekvation till mätdata för kompakterade, urbana grönytor.

I figur 5 redovisas passningen av Hortons ekvation för vart och ett av de tre studerade fallen tillsammans med motsvarande mätdata.

I brist på inhemsk data får dessa tre typfall tjäna som utgångspunkt för antaganden om infiltrationskapacitet hos grönytor som utsatts för kompaktering.

## 6. Sammanfattning av resultat från infiltrationsundersökningar

Infiltrationskurvorna för samtliga sex typfall av markförhållanden som studerats i avsnitt 4 och 5 redovisas i figur 6.

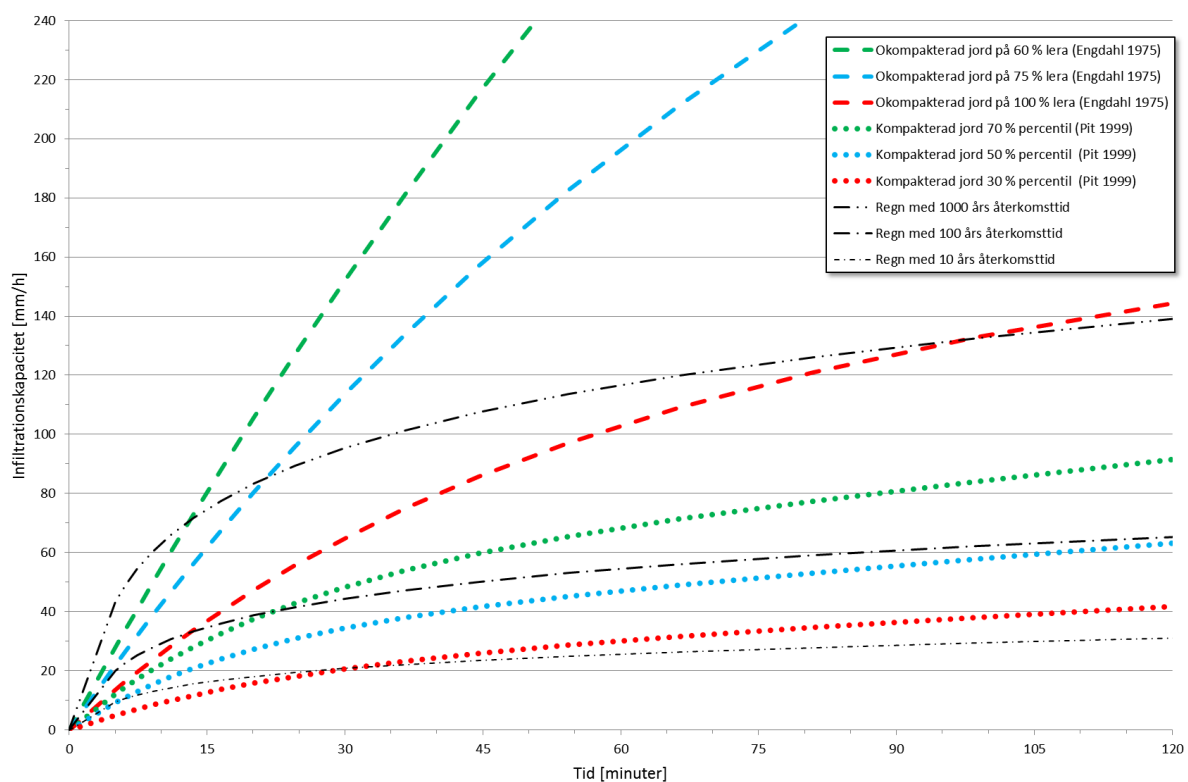


Figur 6 Infiltrationskurvor för de sex typfallen av jordar.

I figur 7 redovisas den ackumulerade infiltrationskapaciteten för samtliga typfall tillsammans med regnenvelopper för återkomsttiderna 10, 100 och 1000 år (förklaring av regnenveloppmetoden ges i bilaga E). Av figuren framgår att Hortonsk avrinning, d.v.s. avrinning på grund av bristande infiltrationskapacitet, främst verkar vara ett problem för kompakterade jordar samt för regn med återkomsttider på mer än 100 år.

Detta stämmer väl överens med erfarenheter från infiltration av dagvatten på gräsytor. En tumregel säger att man vid infiltration av takvatten på en gräsyta bör räkna med att gräsytan behöver vara en till två gånger så stor som den anslutna takytan (Stahre 2004). Eftersom ett regn med 100 års återkomsttid är ungefär dubbelt så stort som ett regn med 10 års återkomsttid medför ovanstående tumregel att en sådan gräsyta, vid ett dimensionerande 10-årsregn, kommer att motta ett flöde motsvarande 70 – 100 procent av regnintensiteten hos ett 100-årsregn.

För återkomsttider som är betydligt längre än 100 år torde Hortonsk avrinning kunna ge upphov till betydande flöden även för okompakterade jordar.



Figur 7 Infiltrationskurvor för sex typfall av jordar samt regnenveloper för återkomsttiderna 10, 100 och 1000 år.

## 7. Referenser

Lindblad 1981, Infiltrationsmätningar utförda vid geologiska institutionen CTH/GU, 1972 – 1980. Meddelande nr 60, Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers Tekniska Högskola.

Engdahl 1975, Bestämning av infiltrationskapacitet i främst lerjordar inom Angered. Publikation B49, Chalmers Tekniska Högskola / Göteborgs Universitet Geologiska institutionen.

Pit 1999, Infiltration through Disturbed Urban Soils and Compost Amended Soil Effects on Runoff Quality and Quantity. EPA/600/R-00/016, United States Environmental Protection Agency.

Stahre 2004, En långsiktigt hållbar dagvattenhantering, Svenskt Vatten



Stockholm Vatten AB

Tel 08-522 120 00

[stockholmvatten@stockholmvatten.se](mailto:stockholmvatten@stockholmvatten.se)

[www.stockholmvatten.se](http://www.stockholmvatten.se)

*En del av Stockholms stad*