

2 Användning av beräkningsmetodiken

Den beräkningsmetodik för dimensionerande dagvattenflöden som beskrivs nedan rekommenderas både för kvartersmark och för hela exploateringar innehållande allmän platsmark. I dagvattenutredningar ska aktuell fördröjning alltid beskrivas och beräknas. Beräkningen av dimensionerade flöden kan komma att ligga till grund för dimensionering av dagvattensystemet nedströms.

Beräkningsmetodiken för flöden finns också översiktligt beskriven i Svenskt Vattens publikation P110 "Avledning av dag-, drän- och spillvatten", avsnitt 4.3.

Den beskrivna beräkningsmetodiken för föroreningstransport kan även den användas både för kvartersmark och för hela exploateringar. Metoden ger möjlighet att beräkna effekterna av olika material- och beläggningsval liksom av olika reningsåtgärder. Beräkningen kan utföras oberoende av specifik programvara. Även de modellverktyg som finns på marknaden kan användas för att utföra transportberäkningar för föroreningar i dagvattenutredningar i Stockholm. Oavsett vilken metod som används, så är det av stor vikt att i utredningar tydligt ange vilka ingående parametrar som använts och vilka antaganden som gjorts. Resultatet av beräkningarna ska också anges som nyckeltal (se avsnitt 2.1 nedan).

2.1 Ingående parametrar, antaganden och nyckeltal

Följande parametrar, antaganden och nyckeltal ska redovisas från beräkningarna i en dagvattenutredning.

Beräkningar av dimensionerande dagvattenflöde

- Ingående parametrar:

Ansluten areal till dagvattenanläggningar, ansluten areal som bidrar till dagvattenavrinningen, använda avrinningskoefficienter, rinntider, återkomsttid för regn, erforderlig fördröjningsvolym, på tomtmark respektive allmän platsmark, använd klimatfaktor.

- Resultatredovisning:

Utgående dimensionerande flöde (t. ex. för 10-årsregn) samt varaktighet för dimensionerande regn för befintlig markanvändning.

Utgående dimensionerande flöde (t. ex. för 10-årsregn) samt varaktighet för dimensionerande regn för planerad markanvändning utan fördröjningsåtgärder.

Utgående dimensionerande flöde (t. ex. för 10-årsregn) samt varaktighet för dimensionerande regn för planerad markanvändning med föreslagna fördröjningsåtgärder (exklusive och inklusive en klimatfaktor på 1,25).

Om det dimensionerande flödet inte är 10 års återkomsttid önskas även beräkningar för detta flöde.

Eventuell infiltrerad volym vid dimensionerande regn, mätt som regndjup i mm, samt förväntad tömningstid för fördröjningsanläggningar, vilka har koncentrerad dagvattentillförsel.

Beräkningar av föroreningstransport

- Ingående parametrar:

Korrigerad årsnederbörd (för Stockholm skall 600 mm/år användas), markanvändning – befintlig och efter exploatering (ytor), ingående ämnen med referens till använda ingångsvärden.

- Antaganden vid beräkningar:

Andel av årsavrinningen (årsvolymen) som passerar reningssteg. Antagen reningseffekt för respektive anläggningstyp. Om det finns flera anläggningar i serie skall även den antagna reningseffekten för reningssteg två anges.

- Resultatredovisning:

Nedanstående redovisas för befintlig markanvändning och för planerad markanvändning, exklusive respektive inklusive dagvattenåtgärder.

Årlig transport av respektive ämne [kg/år], [g/år]

Arealläckage för respektive ämne [kg/ha, år], [g/ha, år]

(Total transport dividerad med den faktiska ytan (ej reducerad yta))

I de fall beräkningar även gjorts för halter, med hjälp av annan metod än här föreslagen, redovisas även detta resultat.

3 Beräkningsmodell dimensionerande dagvattenflöde

3.1 Syfte

Beräkningsmetoden syftar till att ge ett enhetligt sätt att beräkna dimensionerande dagvattenflöde för ett område (ett kvarter eller ett större område bestående av flera kvarter och allmän platsmark) med hänsyn till fördröjning av dagvattnet i olika typer av fördröjningsvolymmer som gröna tak, genomsläppliga parkeringsytor med underliggande magasin, svackdiken, makadammagasin etc.

3.2 Ekvationer

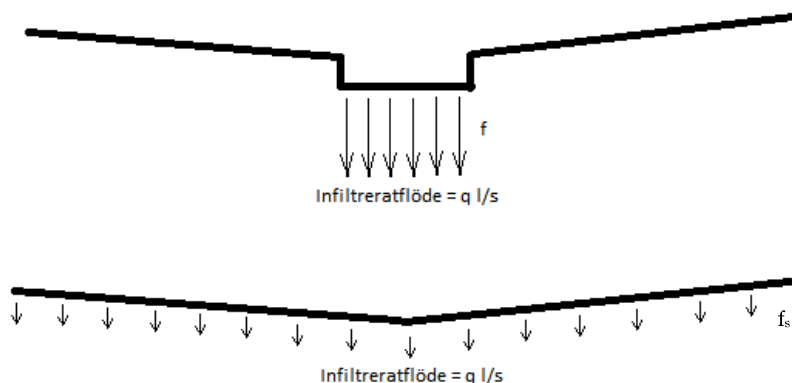
Följande ekvationer används och hänvisas till i beräkningsmetoden. Tabeller och grafer som används återfinns i avsnitt 6 Bilagor, i slutet av dokumentet.

Ekvation 1. Beräkning av erforderlig fördröjningsvolym U_i [m³] för yta i utifrån den regnvolym som ska hanteras inom kvarteret, d_r [mm], arean A_i [m²] och markanvändningsspecifik avrinningskoefficient ϕ_i [-].

$$U_i = d_r \cdot A_i \cdot \phi_i = d_r \cdot A_{red}$$

Ekvation 2. Beräkning av den sammanvägda infiltrationshastigheten f_s [mm/h], som är en fiktiv infiltrationshastighet som fås om anläggningens infiltrationskapacitet f [mm/h] fördelas ut på hela den reducerade ytan av avrinningsområdet A_{red} [m²]. Kvoten mellan anläggningens area A [m²] och A_{red} betecknas även k . Begreppet illustreras nedan.

$$f_s = f \cdot \frac{A}{A_{red}} = f \cdot k$$



Ekvation 3. Beräkning av erforderligt anläggningsdjup d [m] utifrån erforderlig magasinsvolym U [m³], tillgänglig area för magasinering A [m²] och dränerbar porositet n [-]. För magasin ovan mark sätts $n = 1$.

$$d_i = \frac{U_i}{A_i \cdot n}$$

Ekvation 4. Beräkning av tömningstiden $t_{\text{töm}}$ [h] av en fördröjningsanläggning är summan av tömningstiderna ovan och under mark. Ovan mark är tömningstiden kvoten mellan erforderlig fördröjningsvolym U [m³] och produkten av anläggningens area A [m²] och infiltrationshastighet f [m/h]. Om anläggningen rymmer magasin under mark adderas även tiden det tar för vattnet att infiltrera/perkolera från ytan till markmagasinets botten. Den tiden beror av anläggningsdjupet för det porösa marklagret d_p [m], den dränerbara porositeten n [-] och infiltrationshastigheten på det begränsande lagret f [m/h].

$$t_{\text{töm}} = \left[\frac{U}{A \cdot f} \right]_{\text{ovan mark}} + \left[\frac{d_p \cdot n}{f} \right]_{\text{under mark}}$$

Ekvation 5. Beräkning av dimensionerande regnintensitet $i(t)$ [l/s/ha] som beror av återkomsttid T [mån] och dimensionerande regnvaraktighet t [min].

$$i(t) = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(t)}{t^{0,98}} + 2$$

Ekvation 6. Dimensionerande dagvattenflöde q_{dim} [l/s] beräknas med rationella metoden. A_{red} [ha] är de reducerade anslutna areorna, $i(t)$ [l/s/ha] dimensionerande regnintensitet (Ekvation 5) och k_f klimatfaktor [-].

$$q_{\text{dim}} = \sum (A_{\text{red},i}) \cdot i(t) \cdot (k_f)$$

3.3 Metod

Beräkningsmodellen för dimensionerande dagvattenflöde nedan är allmänt beskriven för att kunna appliceras på alla slags kvarter och dagvattenanläggningar. I varje enskilt fall är det dock viktigt att ta hänsyn till specifika platsförutsättningar och anläggningarnas egenskaper.

1. Kartlägg området

Kartlägg området med avseende på dagvattenavrinning och ytor som kan rymma fördröjning.

2. **Bestäm återkomsttid för dimensionering av flöde**

Bestäm vilken återkomsttid som det dimensionerande flödet ska baseras på. Nedströms liggande avledningssystem måste klara minst den återkomsttid som anges i P110.

3. **Beräkna ansluten reducerad area till dagvattenanläggning(ar)**

Beräkna ansluten reducerad area som ska avledas via en fördröjningsanläggning med hjälp av lämpliga avrinningskoefficienter. Inkludera även anläggningens area. Om det förekommer olika typer av fördröjningsanläggningar, koppla ytor till respektive anläggning. Kravet rör hårdgjorda ytor.

Observera att avrinningskoefficienter för fördröjningsanläggningar sätts till $\phi = 1,0$. Det regn som faller på ytan för anläggningen antas i princip inte ha några förluster (på grund av evapotranspiration, lagring i ytojämnheter eller interception) utan allt regn som faller på själva anläggningen måste också omhändertas i anläggningen.

4. **Beräkna erforderlig fördröjningsvolym**

Om de fysiska förutsättningarna är givna inom kvarteret kan erforderlig fördröjningsvolym för 20 mm regndjup beräknas. Multiplicera den anslutna reducerade arean till respektive dagvattenanläggning med det regndjup som ska omhändertas (Ekvation 1).

5. **Beräkna erforderligt anläggningsdjup**

Den erforderliga fördröjningsvolymen inom kvarteret kan allokeras på tre sätt:

- (a) enbart ovan mark i ett ytligt magasin,
- (b) enbart under mark i ett poröst och ibland filtrerande marklager eller
- (c) som en kombination av båda

Nedan redogörs för beräkning av de tre fallen (a)-(c):

(a) För magasin enbart ovan mark

Erforderlig djup i fördröjningsanläggningen beräknas som kvoten mellan erforderlig fördröjningsvolym och den sammanlagda arean för fördröjningsanläggningen.

(b) För magasin enbart under mark

i. Beräkna sammanvägd infiltrationshastighet för anläggningen (Ekvation 2). Det är den fiktiva infiltrationshastighet som fås om anläggningens infiltrationskapacitet fördelas ut på hela den reducerade ytan av tillrinningsområdet.

ii. Kontrollera att anläggningens sammanvägda infiltrationskapacitet motsvarar kravet att kunna infiltrera minst 8 mm/h sett till den reducerade tillrinningsytan som är

ansluten till anläggningen. Detta för att säkerställa tillräcklig momentan infiltrationskapacitet för att omhänderta cirka 90 % av årsmedelnederbörden (se Bilaga 2).

iii. Beräkna erforderligt djup som i (a) men dividera även med materialets dränerbara porositet (Ekvation 3).

(c) För magasin ovan och under mark

i. Beräkna sammanvägd infiltrationshastighet för anläggningen (Ekvation 2).

ii. Beräkna den del av de 20 mm regnvolymer som kan magasineras i det porösa marklagret på 2,5 timme (se Bilaga 2).

iii. Beräkna erforderlig fördröjningsvolym i det porösa marklagret (Ekvation 1).

iv. Beräkna erforderligt anläggningsdjup för det porösa marklagret (Ekvation 3).

v. Resterande del av erforderlig fördröjningsvolym behöver rymmas i ett ytligt magasin. Beräkna erforderligt anläggningsdjup på samma sätt som i (a).

Mot bakgrund av att en del anläggningsslag inte behöver hålla totala våtvolymer om 20 mm samtidigt i anläggningen för att uppnå syftet med åtgärdsnivån, kan erforderlig fördröjningsvolym ibland vara mindre.

Detta kan vara relevant för exempelvis växtbäddar, infiltrationsstråk och dränerande gräsytor. För att det ska vara aktuellt för dessa anläggningsslag behöver följande samtidigt gälla;

- ✓ ***Det finns ett ytligt magasin.***
- ✓ ***Den huvudsakliga reningen sker i passagen genom ett filtrerande marklager vars långsiktiga infiltrationshastighet (efter växtetablering) är maximalt 100 mm/h.***
- ✓ ***Filterdjupet har tillräcklig mäktighet för att effektiv rening ska kunna uppnås.***

I dessa fall kan erforderligt anläggningsdjup i *iv.* ovan minskas för att möta en lägre, naturlig tömningstid.

6. Kontrollera tömningstid

Tömningstiden är den tid det tar för de dimensionerande 20 mm att passera genom en fördröjningsanläggnings magasin (ovan och/eller under mark). Anläggningarna ska som långsammast avtappas under cirka 12 timmar för att få plats med nästkommande regn men bör inte avtappas för snabbt ur ett reningsperspektiv. Av anläggningstekniska skäl kan dock tömningstiden ibland behöva vara mycket kortare.

Fördröjningsanläggningarna kan generellt uppdelas i två kategorier, där de antingen har en (a) distribuerad tillförsel eller en (b) koncentrerad tillförsel av vatten.

(a) Distribuerad tillförsel av dagvatten

Anläggningar som endast fördröjer vatten som faller på den egna ytan eller från en något större yta får en låg ytbelastning av tillfört dagvatten och lägre flöden per ytenhet. De har ett naturligt lågt flöde och en långsam passage genom ett filtrerande material för fördröjning och rening. Samtidigt antas de kunna tömmas tillräckligt snabbt inför nästkommande regn på grund av dess låga ytbelastning. Tömningstiden behöver därför inte kontrolleras.

(b) Koncentrerad tillförsel av dagvatten

Dessa anläggningar tar emot dagvatten från ett område mångdubbelt större än anläggningens yta. Ytbelastningen och det specifika flödet blir större och tömningstiden behöver därför kontrolleras. Generellt har dessa anläggningar (i) ett reglerat utlopp eller (ii) en naturlig tröghet ut från anläggningen för dräneringsflöde.

i. Reglerad avtappning

En reglerad avtappning innebär att utflödet från en anläggning kan styras, exempelvis genom ett strypt utlopp eller genom kontrollerad pumpning. Ett avtappningsflöde väljs för att få en lämplig tömningstid, vilken kan bidra med en effektiv avskiljning av föroreningar. Avtappningsflödet beräknas som kvoten mellan erforderlig fördröjningsvolym och den önskade tömningstiden.

ii. Naturlig trög avtappning

Vid en naturlig trög avtappning transporteras dagvattnet genom det filtrerande materialet och tillåts sedan perkolera ned i underliggande marklager eller leds bort via dräneringsledningar till dagvattennätet. Den begränsande infiltrations- eller tömningshastigheten ska maximalt vara 100 mm/h. I syfte att säkerställa att tömningstiden inte blir för långsam bör tömningstiden beräknas. Det görs enligt Ekvation 4.

7. Bestäm fyllnadstid

När fördröjningsanläggningarna är fullt utnyttjade kommer dagvatten att behöva avledas yttledes eller via bräddledningar från området.

Fyllnadstiden för fördröjningsanläggningar beror på vald dimensionerande återkomsttid för regn samt var erforderliga magasinsvolymer allokeras:

(a) För magasin enbart ovan mark

Fyllnadstiden är den regnvaraktighet som motsvarar det regndjup som ska omhändertas inom kvarteret. För ett 10-årsregn är detta 26 minuter

(15 minuter med klimatfaktor 1,25) för 20 mm omhändertagande (se Figur 2 och Figur 3, eller Tabell 1 i Bilaga 1).

(b) För magasin enbart under mark

Beräkna intensiteten för ett dimensionerande regn vid den varaktighet som motsvarar fyllnadstid för fördröjningsmagasin plus rinntid (för ett 10-årsregn med 20 mm omhändertagande motsvarar detta 26 minuter fyllnadstid + ≥ 10 min rinntid = ≥ 36 min. Vid 36 min varaktighet är regnintensiteten 102 l/s/ha eller 37 mm/h). Jämför denna regnintensitet med den sammanvägda infiltrationshastigheten för anläggningen. Om den sammanvägda infiltrationshastigheten överstiger regnintensiteten medges full infiltration och fyllnadstiden blir densamma som i (a). Om den sammanvägda infiltrationshastigheten är lägre än regnets intensitet bräddar anläggningen och fyllnadstiden sätts till noll.

(c) För magasin ovan och under mark

i. Erforderlig volym som magasineras i det ytliga lagret har bestämts enligt steg 5(c)(iv). Bestäm första regnvaraktighet för det dimensionerande regnet som överskrider det regndjup som kan magasineras ytligt (Figur 2 och Figur 3 eller Tabell 1 i Bilaga 1).

Ex) 10 mm magasineras ytligt i en växtbädd och 10 mm i det porösa marklagret. Efter 6 minuters varaktighet för ett 10-årsregn har det ytliga magasinets volym överskridits då 10,5 mm har fallit.

ii. Beräkna regndjup som har hunnit infiltrera under denna tid med hjälp av anläggningens sammanvägda infiltrationshastighet.

Ex) Växtbäddarnas sammanvägda infiltrationshastighet är 10 mm/h. På 6 minuter infiltrerar då $(6/60) \cdot 10 = 1$ mm.

iii. Beräkna total omhändertaget regndjup i magasin ovan samt under mark.

Ex) Omhändertaget regndjup är då 10 mm ovan mark samt 1 mm under mark. Totalt 11 mm.

iv. Om omhändertaget regndjup i anläggning är mindre än det regn som har fallit bräddar anläggningen. Välj då denna tid som fyllnadstid. Om omhändertaget regndjup i anläggning är större än det regn som har fallit, repetera steg (ii)-(iii) för $t+1$ minuters varaktighet tills dess att anläggningen bräddar.

Ex) 11 mm > 10,5 mm. Välj då $t = 7$ min. vilket ger en regnvolym på 11,5 mm. I anläggningen magasineras fortfarande 10 mm ytligt samtidigt som $(7/60) \cdot 10 = 1,2$ mm hinner infiltrera. Totalt 11,2 mm omhändertas. Men $11,2 \text{ mm} < 11,5 \text{ mm}$ och anläggningen bräddar. Vald fyllnadstid blir då 7 min.

8. **Bestäm rinntid**

Beräkna rinntid med hjälp av vattnets hastighet för olika typer av avledning. Använd exempelvis Tabell 4.5 i P110. Använd den längsta rinnlängden för ytavrinning från belastande yta, via fördröjningsanläggning fram till anslutningspunkten för allmän ledning. Rinntiden bör inte sättas till mindre än 10 minuter enligt P110 kapitel 4.4.1, vilket innebär att 10 minuter ofta kan användas för mindre kvarter eller områden.

9. **Beräkna dimensionerande varaktighet för regn**

Dimensionerande varaktigheten är summan av fyllnadstiden och rinntiden.

10. **Beräkna dimensionerande regnintensitet**

Använd Figur 4, Figur 5 (i Bilaga 1), Tabell 1 (i Bilaga 1) eller Ekvation 5 för att bestämma dimensionerande intensitet för vald återkomsttid.

11. **Beräkna ansluten reducerad area för vald beräkningspunkt**

Välj beräkningspunkt för det dimensionerande flödet. Detta kan exempelvis vara anslutningspunkten från ett kvarter till allmän dagvattenledning. Addera alla anslutna reducerade areor som leds till beräkningspunkten, både från fördröjningsanläggningar och övriga ytor, exempelvis grönytor.

12. **Beräkna dimensionerande flöde**

Beräkna dimensionerande flöde med rationella metoden (Ekvation 6) för beräknad regnintensitet och total ansluten reducerad area som genererar dagvatten.

I de fall en anläggning (1) rymmer en magasinsvolym större än 20 mm och/eller (2) medger perkolation ut från anläggningen till underliggande jord kan dessa flöden tillgodoräknas. I båda fall krävs det redovisande beräkningar för att få tillgodoräkna sig dessa flöden.

- (1) Om en anläggning rymmer ett magasin större än 20 mm och detta magasin fylls på vid den dimensionerande varaktigheten kan detta flöde subtraheras från det dimensionerande flödet.

Ex) En gårdsyta med genomsläpplig beläggning har infiltrationskapaciteten 25 mm/h och anläggs så att motsvarande 50 mm regn omhändertas från alla anslutna ytor. Övriga fördröjningsanläggningar inom kvarteret omhändertar 20 mm. Vid dimensionerande varaktighet 36 min för ett 10-årsregn (fyllnadstid 26 min och rinntid 10 min) har 22,1 mm fallit (se Tabell 1 i Bilaga 1). Anläggningen är alltså inte fylld

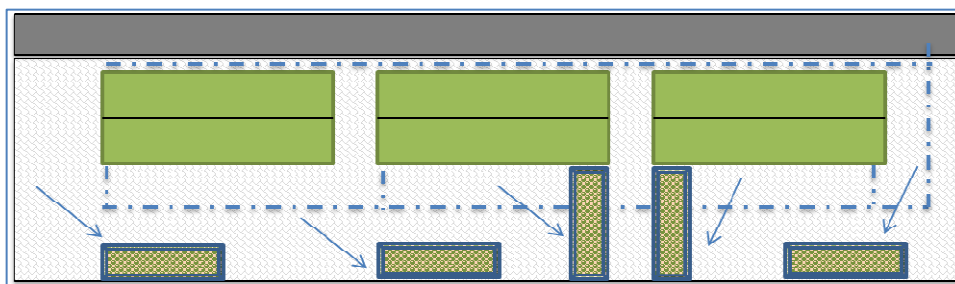
utan medger fortfarande infiltration. Om gårdsytan är $1\,000\text{ m}^2$ stor sker en infiltration i ytan med $1\,000\text{ m}^2 \cdot 0,025\text{ m/h} = 25\text{ m}^3/\text{h} = 6,9\text{ l/s}$. Detta flöde kan då subtraheras från det beräknade dimensionerande flödet med rationella metoden.

- (2) En fördröjningsanläggning kan även ha en genomsläpplig botten och därmed inte dräneras till dagvattennätet. Dagvatten som fördröjs kan istället perkolera ner till ett underliggande marklager och till grundvattnet. Genom perkolationen töms anläggningen med en viss perkolationshastighet beroende på underliggande marklagers genomsläpplighet. Denna tömning kan antas motsvaras av en påfyllning uppifrån av avrinnande dagvatten. Därför kan detta perkolationsflöde tillgodoräknas genom att subtraheras från det dimensionerande flödet.

Ex) Marken där växtbäddar ska anläggas anses ha relativt god genomsläpplighet och ett perkolationsflöde från växtbädd till underliggande marklager uppmäts till 10 mm/h . Ingen risk för påverkan på underliggande grundvatten förekommer. Därför anläggs växtbäddarna utan dränering, istället tillåts bäddarna tömmas ner till underliggande marklager. Totalt har växtbäddarna en yta på 400 m^2 , vilket innebär att ett perkolationsflöde på $400\text{ m}^2 \cdot 0,010\text{ m/h} = 4\text{ m}^3/\text{h} = 1,1\text{ l/s}$ kan subtraheras från det beräknade dimensionerande flödet med rationella metoden.

3.4 Enkelt exempel kvartersmark

Ett kvarter på cirka en hektar används som ett enklare räkneexempel och inkluderar kommentarer för att illustrera metoden i avsnitt 3.3.



Steg 1: Kartlägg området

Kvarteret består av två delar:

(1) Gröna tak

Gröna tak med 100 mm tjocklek avvattnas direkt till dagvattenledning. Total takyta är 2 400 m² och substratets dränerbara porositet är 0,2.

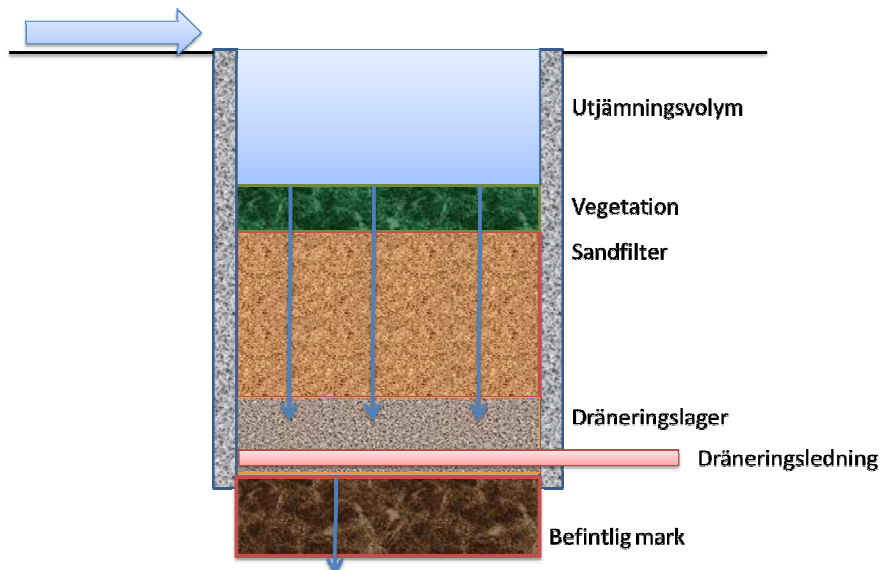
$$d_{gt} = 0,100 \text{ m}$$

$$A_{gt} = 2400 \text{ m}^2$$

$$n_{gt} = 0,2$$

(2) Hårdgjord gårdsyta som avvattnas till nedsänkta växtbäddar

En hårdgjord gårdsyta på totalt 6 800 m² avvattnas till 750 m² nedsänkta växtbäddar med utformning enligt skiss.



En växtbädds yta är direkt proportionell till den hårdgjorda gårdsyta som belastar bädden. Om växtbäddarna fylls bräddar resterande vatten direkt till dagvattenledning. Växtbäddarna förses med dränering i botten som är påkopplade till dagvattenledning. Vi vet även att det filtrerande lagret är 0,5 m mäktigt med en dränerbar porositet 0,2 och en infiltrationshastighet på 25 mm/h. I detta exempel omhändertas 20 mm nederbörd i växtbäddarnas

ytmagasin ovan mark. Förutsättningar finns för att dimensionera för reducerad volym men här görs en förenklad beräkning.

$$A_{\text{gård}} = 6800 \text{ m}^2$$

$$A_v = 750 \text{ m}^2$$

$$d_{p,v} = 0,5 \text{ m}$$

$$n_v = 0,2$$

$$f_v = 0,025 \text{ m/h}$$

De avrinningskoefficienter som används för att beräkna dimensionerande dagvattenflöde ska ta hänsyn till avrinningen när magasinen inom kvarteret är fyllda. För anläggningar med inbyggd fördröjning som bräddar direkt till dagvattenledning blir därför $\phi = 1,0$ (gröna tak och nedsänkta växtbäddar). Den hårdgjorda gårdsytan har avrinningskoefficient 0,8.

$$\phi_{\text{gt}} = \phi_v = 1,0$$

$$\phi_{\text{gård}} = 0,8$$

Övriga beteckningar som används i beräkningarna:

d_r [mm] = Regndjup som ska fördröjas inom kvarteret

Å [år] = Återkomsttid för regn

U [m³] = Fördröjningsvolym som ska omhändertas

d [m] = Djup för fördröjningsvolym i anläggning

$i(t)$ [l/s/ha] = Regnintensitet för viss varaktighet t [min]

t_f [min] = Tid att fylla magasinen

t_r [min] = Rinntid

q_{dim} [l/s] = Dimensionerande dagvattenflöde ut från kvarteret.

[Beräkningar med klimatfaktor 1,25 inom hakparantes]

Steg 2: Bestäm återkomsttid för dimensionering av flöde

Beräkningarna utgår från att den dimensionerande återkomsttiden är $\text{Å} = 10$ år och att fördröjningsbehovet är givet, $d_r = 20$ mm.

Steg 3: Beräkna ansluten reducerad area till dagvattenanläggningar

$$(1) A_{\text{red}} = A_{\text{gt}} \cdot \phi_{\text{gt}} = 2\,400 \cdot 1,0 = 2\,400 \text{ m}^2$$

$$(2) A_{\text{red}} = A_{\text{gård}} \cdot \phi_{\text{gård}} + A_v \cdot \phi_v = 6\,800 \cdot 0,8 + 750 \cdot 1,0 = 6\,190 \text{ m}^2$$

Steg 4: Beräkna erforderlig fördröjningsvolym

$$(1) U_{\text{gt}} = d_r \cdot A_{\text{red}} = 0,020 \cdot 2\,400 = 48 \text{ m}^3$$

$$(2) U_v = d_r \cdot A_{\text{red}} = 0,020 \cdot 6\,190 = 124 \text{ m}^3$$

Steg 5: Beräkna erforderligt anläggningsdjup

(b) för magasin enbart under mark

$$(1) d_{\text{gt}} = U_{\text{gt}} / (A_{\text{gt}} \cdot n_{\text{gt}}) = 48 / (2\,400 \cdot 0,2) = 0,100 \text{ m}$$

I detta fall har djupet på det gröna takets substrat valts till 100 mm så att 20 mm kan magasineras. Om ett grundare tak väljs, eller ett substrat med lägre dränerbar porositet används, behöver takets överskottsvatten ledas vidare till ett andra fördröjande steg.

(a) för magasin enbart ovan mark

$$(2) d_v = U_v/A_v = 124/750 = 0,17 \text{ m}$$

Vi får en ovanförliggande fördröjningsvolym som är 0,17 m djup, vilket får anses tillfredsställande. Tillgänglig växtbäddsyta är således tillräcklig för att ta hand om och fördröja 20 mm regn.

I detta exempel räknar vi med en nedsänkt växtbädd som har hela den erforderliga fördröjningsvolymen ovanför växtbädden. Det filtrerande marklagret utgör ytterligare en magasinvolym som kan nyttjas för att fördröja och rena dagvattnet. Här ses det filtrerande marklagret som en säkerhetsmarginal istället då infiltrationshastigheten är relativt långsam.

Steg 6: Kontrollera tömningstid

(a) Distribuerad tillförsel av dagvatten

(1) De gröna taken har ett naturligt långsamt utflöde och en strypning av utloppet kommer sannolikt inte behöva anläggas i praktiken.

(b)(ii) Koncentrerad tillförsel av dagvatten och naturligt trög avtappning

(2) Växtbäddarna får följande tömningstid:

$$t_{\text{töm}} = (U_v/(A_v \cdot f_v)) + (d_{p,v} \cdot n_v/f_v) = (124/(750 \cdot 0,025)) + (0,5 \cdot 0,2/0,025) = 10,6 \text{ h}$$

Växtbäddarna töms på cirka 11 timmar, vilket får ses som tillfredsställande för att få plats med nästkommande regn samtidigt som det ger en tillräcklig uppehållstid i anläggningen ur reningsperspektiv.

Steg 7: Bestäm fyllnadstid

20 mm nederbörd omhändertas för alla ytor inom kvarteret. Ur regnvolym-varaktighetsdiagrammet (Figur 2 i Bilaga 1) avläses att för ett 10-årsregn har regnvolymer överstigit 20 mm efter 26 minuters regnvaraktighet.

$$t_f = 26 \text{ min}$$

[$t_f = 15$ minuter (Figur 3 i Bilaga 1)]

Steg 8: Bestäm rinntid

Rinntiden t_r beräknas utifrån den längsta rinnlängden på mark och i ledning till utloppet från kvarteret. Rinntiden på tak bortses ifrån eftersom denna är kortare. Längsta rinnlängden på mark uppskattas till 40 m och hastigheten för ytavrinning kan sättas till 0,1 m/s. Längsta rinnlängden i ledning uppskattas till 200 m och hastigheten kan sättas till 1,5 m/s (se exempelvis Tabell 4.5 i P110).

$$t_r = 40/0,1 + 200/1,5 = 533 \text{ s} = 9 \text{ min}$$

Enligt P110 bör dock rinntiden inte ansättas till mindre än 10 min. Således:

$$t_r = 10 \text{ min}$$

Steg 9: Beräkna dimensionerande varaktighet för regn

$$t = t_f + t_r = 26 + 10 = 36 \text{ min}$$

$$[t = t_f + t_r = 15 + 10 = 25 \text{ min}]$$

Steg 10: Beräkna dimensionerande regnintensitet

Ur ett regnintensitet-varaktighetsdiagram (Figur 4, Figur 5 i Bilaga 1), Tabell 1 (i Bilaga 1) eller med Ekvation 5 bestäms dimensionerande regnintensitet för 10 års återkomsttid och 36 [25] minuters varaktighet:

$$i(t=36) = 102 \text{ l/s/ha}$$

$$[i(t=25) = 131 \text{ l/s/ha}]$$

Steg 11: Beräkna ansluten reducerad area för vald beräkningspunkt

Vald beräkningspunkt är anslutningspunkten från kvarter till allmän dagvattenledning. I detta fall utgörs kvarterets anslutna area av hårdgjord mark och fördröjningsanläggningar:

$$A_{\text{red}} = A_{\text{gt}} \cdot \phi_{\text{gt}} + (A_{\text{gård}} \cdot \phi_{\text{gård}} + A_v \cdot \phi_v) = 0,2400 + 0,6190 = 0,859 \text{ ha}$$

Steg 12: Bestäm dimensionerande flöde

$$q_{\text{dim}} = A_{\text{red}} \cdot i(t=36) = 0,859 \cdot 102 = 88 \text{ l/s}$$

$$[q_{\text{dim}} = A_{\text{red}} \cdot i(t=25) \cdot k_f = 0,859 \cdot 131 \cdot 1,25 = 141 \text{ l/s}]$$

Dimensionerande avrinning utan fördröjning

En jämförelse med det icke fördröjda fallet är lämplig att genomföra. Om inget lokalt omhändertagande med trög avrinning av dagvatten hade funnits inom kvarteret skulle dimensionering ske utifrån rationella metoden enligt P110:

- **Bestäm avrinningskoefficienter**

I detta fall hade växtbäddarna varit vanliga grönytor med $\phi_v = 0,1$.

Taken hade varit konventionella med $\phi_t = 0,9$ medan den hårdgjorda gårdsytan fortfarande har $\phi_{\text{gård}} = 0,8$.

- **Bestäm dimensionerande varaktighet för regn**

Inga magasin inom området, därför ingen fyllnadstid. Rinntiden sätts till $t_r = 10$ min som innan.

- **Bestäm dimensionerande regnintensitet**

Ekvation 5 eller Tabell 1 (i Bilaga 1): $i(t=10) = 228 \text{ l/s/ha}$

- **Bestäm dimensionerande flöde**

$$\text{Ekvation 6: } q_{\text{dim}} = (A_v \cdot \phi_v + A_t \cdot \phi_t + A_{\text{gård}} \cdot \phi_{\text{gård}}) \cdot i(t=10)$$

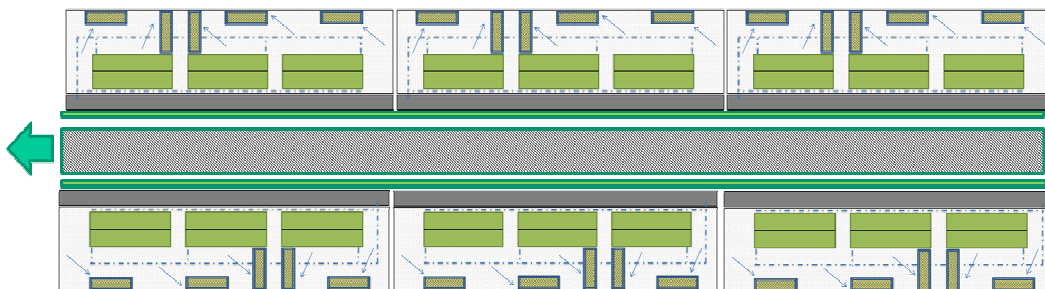
$$= (0,0750 \cdot 0,1 + 0,2400 \cdot 0,9 + 0,6800 \cdot 0,8) \cdot 228$$

$$= 0,768 \cdot 228 = 175 \text{ l/s}$$

Utan fördröjningsåtgärder i kvarteret hade det dimensionerande flödet varit **175 l/s**, alltså 99 % högre än med fördröjningsåtgärder.

3.5 Enkelt exempel utökat område

Observera att systemet är en schematisk lösning för att beskriva principerna i beräkningsmetodiken i avsnitt 3.3, samt hur dessa kan tillämpas för ett större område där tid-area metoden behöver användas.



Förutsättningar och kartläggning av område

Hela området består av sex stycken identiska kvarter med indata enligt tidigare exempel i avsnitt 3.4. Kvarteren är anslutna till svackdiken längs med gatan.

Inom varje kvarter finns således:

- Gröna tak som avvattnas direkt till dagvattenledning.
- Hårdgjord gårdsyta som avvattnas till nedsänkta växtbäddar vilka i sin tur dräneras till dagvattenledning. Om växtbäddarna fylls bräddar resterande vatten direkt till dagvattenledning.
- En utgående dagvattenledning som ansluts till svackdike i gatan.

Det dimensionerande dagvattenflödet, q_{dim} [l/s], för hela området efterfrågas. Vald beräkningspunkt för q_{dim} är pilen i figuren. Precis som innan ska ett regndjup om 20 mm fördröjas inom kvarteren och för beräkningar används ett statistiskt regn med 10 års återkomsttid. Detta innebär att fyllnadstiden är 26 minuter för magasinerna inom kvarteren och rinntiden 9 min^1 inom kvarteren ut till anslutningspunkt i svackdiken. Detta enligt beräkningar för kvarteret i avsnitt 3.4.

- $d_r = 20 \text{ mm}$
 $\text{Å} = 10 \text{ år}$
 $t_f = 26 \text{ min}$
 $t_r = 9 \text{ min}$

Dessutom gäller att:

- Ansluten reducerad area inom ett kvarter är som tidigare $A_{gt} \cdot \phi_{gt} + A_{gård} \cdot \phi_{gård} + A_v \cdot \phi_v = 2\,400 \cdot 1,0 + 6\,800 \cdot 0,8 + 750 \cdot 1,0 = 8\,590 \text{ m}^2$, dvs. $A_{red,kvarter} = 0,859 \text{ ha}$
- Gatuytan mellan två kvarter är $4\,775 \text{ m}^2$ och har avrinningskoefficienten 0,8. Reducerad area är därmed:
 $A_{red,gata} = A_{gata} \cdot \phi_{gata} = 4\,775 \cdot 0,8 = 3\,820 \text{ m}^2 = 0,382 \text{ ha}$

¹ Här används 9 min rinntid inom varje kvarter eftersom det endast är en del av den totala rinntiden för hela området.

- Ansluten reducerad area två kvarter plus mellanliggande gata blir då $0,859 + 0,859 + 0,382 = 2,1$ ha
 $A_{\text{red,tot}} = 2,1$ ha
- Svackdiket längs med ett kvarter är cirka 200 m långt och dagvatten avrinner ungefär med hastigheten 0,5 m/s. Den längsta rinntiden från de nedersta kvarteren (längst nedströms) till beräkningspunkten blir då $200/0,5 = 400$ s = 7 min.
- Längsta rinntid i svackdike från mellersta kvarteren till beräkningspunkten blir $400/0,5 = 800$ s = 13 min.
- Längsta rinntid i svackdike från översta kvarteren (längst uppströms) till beräkningspunkten blir $600/0,5 = 1\ 200$ s = 20 min.

Beräkningar

Utför beräkningarna med stöd av ett tid-area diagram som beskrivs i P110 avsnitt 9.4. Ett tid-area diagram anger bidragande areal vid varje tidpunkt (y-axeln) som funktion av varaktigheten (x-axeln).

Beräkningarna utförs för det fall att kvarterens fördröjningsmagasin är fyllda. Dessförinnan kommer avrinning att ske från mellanliggande gata men det maximala flödet för denna avrinning blir i detta fall mindre än den maximala avrinningen när alla ytor medverkar.

När magasinerna inom kvartersmark har fyllts, vilket tar 26 minuter, tar det ytterligare 7 minuter innan dagvattnet från de nedersta två kvarteren passerar ut från området via respektive svackdike.

Denna tidpunkt, $26+7 = 33$ minuter, markerar starttidpunkten för avrinningen från området. Det tar sedan 9 minuter (rinntid inom kvartersmark) för hela det nedersta området (med två kvarter och mellanliggande gaturum) att medverka i avrinningen. Den totala bidragande arean vid $t = 33+9 = 42$ min är då $1 \cdot A_{\text{red,tot}} = 2,1$ ha.

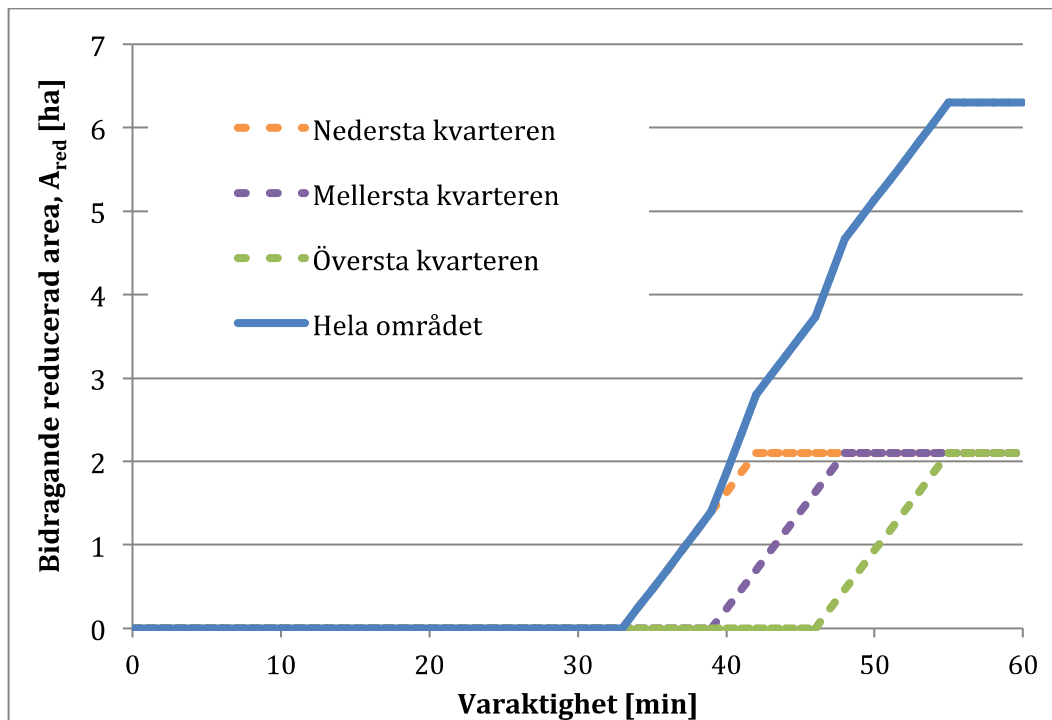
Avrinning från de mellersta kvarteren når beräkningspunkten (utloppspunkten) för området efter $26+13 = 39$ min. Hela området bidrar efter ytterligare 9 minuter. Vid $t = 39+9 = 48$ min är den bidragande arean $2 \cdot A_{\text{red,tot}} = 4,2$ ha.

Slutligen bidrar avrinningen från de två översta kvarteren efter $26+20 = 46$ min och når sin maximala bidragande area efter $t = 46 + 9 = 55$ min med $3 \cdot A_{\text{red,tot}} = 6,3$ ha.

Vi får tre tid-area kurvor, en som startar efter 33 minuter, en som startar efter 39 minuter och en som startar efter 46 minuter.

Summeras arealerna för dessa delkurvor erhålls summakurvan som startar vid 33 minuter och når sitt maximum vid 55 minuter.

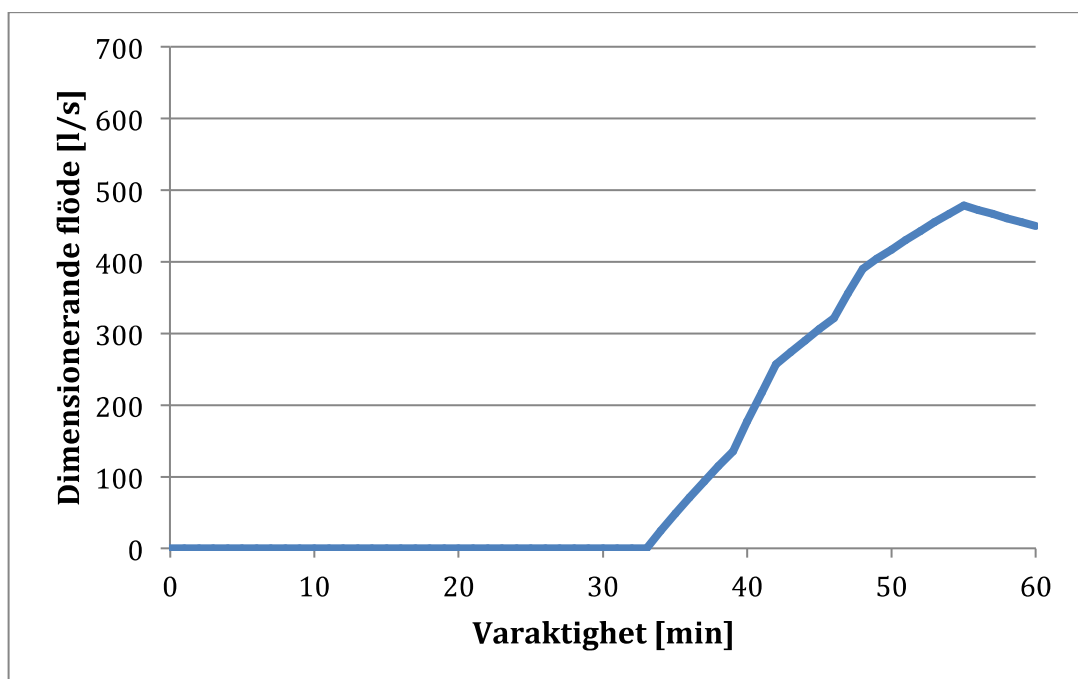
Nedan visas de tre tid-area kurvorna samt summakurvan.



Vid varje varaktighet multipliceras den bidragande arean i summakurvan med den dimensionerande regnintensiteten för aktuell varaktighet. Den dimensionerande regnintensiteten fås fram via Ekvation 5 eller Tabell 1 (i Bilaga 1). På så sätt erhålles en flöde-varaktighetskurva vars maximum blir det dimensionerande flödet för området.

I flöde-varaktighetskurvan erhålls maximum efter 55 minuter (se graf nedan) då alla kvarter bidrar med maximal ansluten reducerad area. Det dimensionerande flödet för området är således

$$q_{dim} = A_{red} \cdot i(t=55) = 6,3 \cdot 76 = 479 \text{ l/s}$$

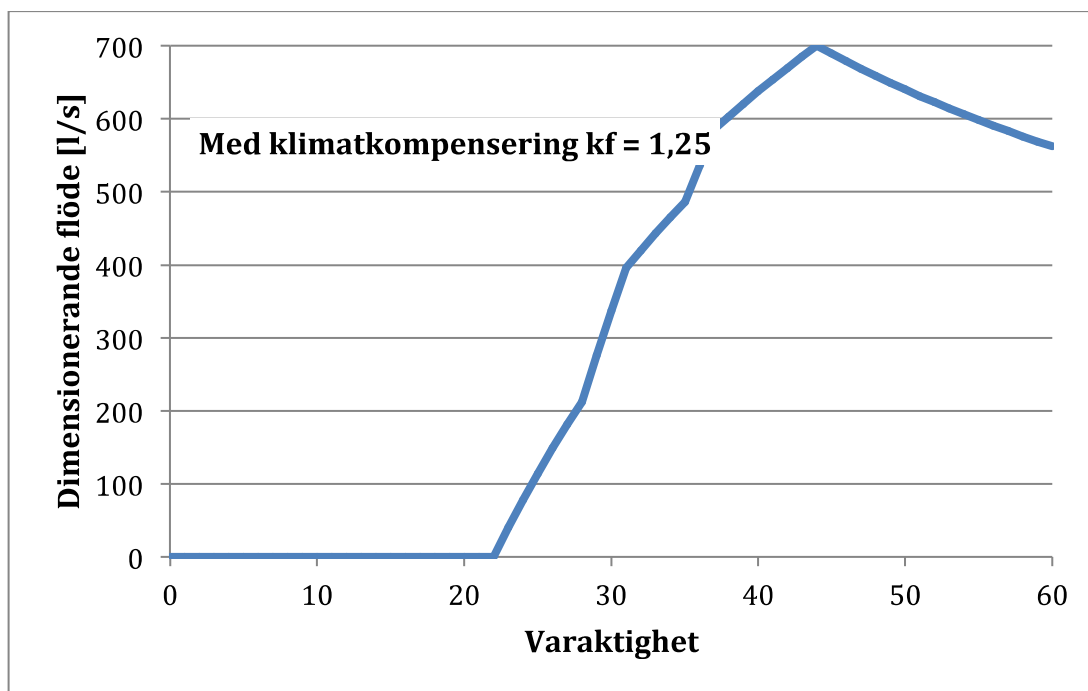


Dimensionerande avrinning med klimatkompensering

Med klimatfaktor 1,25 är fyllnadstiden för 20 mm omhändertagande 15 minuter istället för 26 minuter. Maximal avrinning sker därför 11 minuter tidigare och dimensionerande flöde inkluderar även en klimatfaktor om 1,25:

$$q_{\text{dim}} = A_{\text{red}} \cdot i(t=44) \cdot k_f = 6,3 \cdot 89 \cdot 1,25 = 701 \text{ l/s}$$

Se även flöde-varaktighetskurva nedan som tar hänsyn till klimatkompensering.



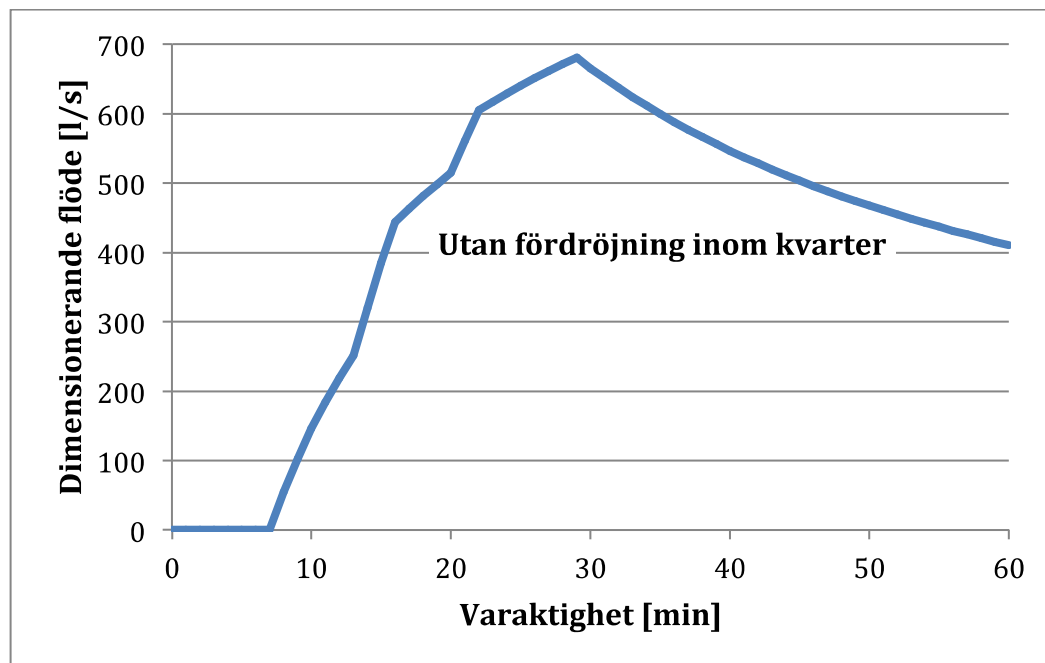
Dimensionerande avrinning utan fördröjning

En jämförelse med det icke fördröjda fallet är lämplig att genomföra. Om inget lokalt omhändertagande med trög avrinning av dagvatten hade funnits inom kvarteret skulle området dimensioneras utifrån rationella metoden enligt P110:

- **Bestäm avrinningskoefficienter**
I detta fall hade växtbäddarna varit vanliga grönytor med $\phi_v = 0,1$ och taken hade varit konventionella med $\phi_t = 0,9$. Den hårdgjorda gårdsytan och vägen har avrinningskoefficienter $\phi_{\text{gård}} = \phi_{\text{väg}} = 0,8$.
- **Beräkna reducerad area**
Varje kvarter har nu en reducerad area av $A_{\text{red, kvarter}} = A_t \cdot \phi_t + A_{\text{gård}} \cdot \phi_{\text{gård}} + A_v \cdot \phi_v = 2\,400 \cdot 0,9 + 6\,800 \cdot 0,8 + 750 \cdot 0,1 = 7\,675 \text{ m}^2$
Ett delområde med två kvarter och gatuytan däremellan får därmed en reducerad area av $A_{\text{red, tot}} = 2 \cdot A_{\text{red, kvarter}} + A_{\text{red, väg}} = 2 \cdot 7\,675 + 3\,820 = 19\,170 \text{ m}^2 = 1,917 \text{ ha}$
Total reducerad area $A_{\text{red}} = 3 \cdot A_{\text{red, tot}} = 3 \cdot 1,917 = 5,751 \text{ ha}$
- **Bestäm dimensionerande varaktighet för regn**
Längsta rinntid för området fås i de översta kvarteren med 9 minuters rinntid inom kvarter och 20 minuters rinntid i svackdike. Totalt 29 min.

- **Bestäm dimensionerande regnintensitet**
Ekvation 5 eller Tabell 1 (i Bilaga 1): $i(t=29) = 118 \text{ l/s/ha}$
- **Bestäm dimensionerande flöde**
Ekvation 6: $q_{\text{dim}} = A_{\text{red}} \cdot i(t=29) = 5,751 \cdot 118 = 679 \text{ l/s}$

Detta resultat fås också med tid-area metoden, se graf nedan.



Utan fördröjningsåtgärder inom kvartersmark hade det dimensionerande flödet varit **679 l/s**, alltså 42 % högre än med fördröjningsåtgärder.

4 Beräkningsmodell föroreningstransport

4.1 Syfte

Beräkningsmetoden syftar till att ge stöd i arbetet med att beräkna den årliga transporten av näringsämnen och föroreningar från ett kvarter, planområde eller annat avgränsat område till ett ledningsnät eller till en recipient.

4.2 Metod

Metoden som beskrivs ger möjlighet att beräkna effekterna av olika material- och beläggningsval liksom av olika reningsåtgärder. Beräkningen kan utföras oberoende av specifik programvara och är jämförbar med den metodik som utvecklats inom SMED² för beräkning av bland annat dagvattens bidrag till utsläpp till vatten och belastning på havet av näringsämnen, organiska miljögifter och metaller.

På marknaden finns det flera olika modellverktyg för att utföra belastningsberäkningar, vilka också kan användas i dagvattenutredningar i Stockholm. Oavsett vilken metod som används, så är det av stor vikt att i utredningar tydligt ange vilka ingående parametrar som använts och vilka antaganden som gjorts. Resultatet av beräkningarna ska också anges som nyckeltal (se avsnitt 2.1).

Det finns ett mycket stort antal olika dagvattenrelaterade föroreningar att ta hänsyn till vid belastningsberäkningar. Samtidigt visar forskning och erfarenheter att reningssystem som förmår avskilja vissa ”nyckelparametrar” kan förväntas ha en god reningseffekt även på många andra föroreningar. I metoden nedan görs därför beräkningar av totalmängder av suspenderat material, fosfor, koppar och zink som nyckelparametrar, vilka är de parametrar som alltid efterfrågas i utredningar som görs inom staden.

Utöver dessa parametrar bör beräkningar även göras för de parametrar som kan vara av särskild betydelse för den aktuella recipienten. Information om vilka parametrar som är aktuella kan erhållas från Miljöförvaltningen.

1. Områdets ytor delas in i tre huvudkategorier:
 - A. Ytor med inbyggd fördröjning, dvs. tak- och markytor som har förmåga att fördröja flöden och minska transporten av föroreningar, t.ex. *Sedum*-tak och gräsytor.
 - B. Ytor utan inbyggd fördröjning, dvs. tak- och markytor som har liten eller ingen förmåga att fördröja dagvatten och avskilja de föroreningar som förs till eller genereras på ytan. Exempel på denna typ av ytor är plåttak och asfalterade ytor.

² Ejhed, H, m fl, 2010. *Bruttobelastning på vatten av metaller från punktkällor och diffusa källor – slutrapport*. SMED Rapport Nr 41.

C. Åtgärdsytor. Detta är ytor (anläggningar) som tillförs dagvatten från andra ytor - i första hand belastande ytor - för flödesutjämning och rening.

2. Beräkna bidrag från ytor med inbyggd fördröjning [kg/år], [g/år].
3. Beräkna bidrag från ytor utan inbyggd fördröjning, tak, och hårdgjorda ytor, *före* rening [kg/år], [g/år].
4. Ansätt reningsgrad för vald reningsanläggning samt hur stor andel av årsflödet som behandlas [%].
5. Beräkna bidrag från ytor utan inbyggd fördröjning ytor *efter* rening [kg/år], [g/år].
6. Summera bidragen från alla ytor [kg/år], [g/år].
7. Slå ut summan på den totala arealen [kg/ha, år], [g/ha, år].

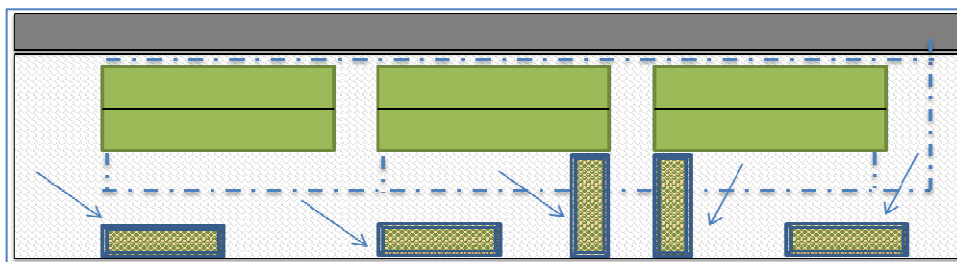
Bidrag beräknas med hjälp av uppmätta arealer och tabellvärden för arealläckage för aktuell typyta, se tabell i Bilaga 3.

Reningen beräknas med hjälp av tabellvärden för reningseffekt för olika anläggningstyper, se tabell i Bilaga 4.

4.3 Enkelt exempel kvartermark

Nedan återfinns samma exempel som i avsnitt 3.4, här beräknat med avseende på dagvattnets närings- och föroreningstransporter.

I exempelberäkningarna nedan visas beräkningar i tabeller för suspenderat material, fosfor, koppar och zink. Fullständiga beräkningar görs endast för fosfor, för att inte dokumentet ska bli alltför omfattande. Räknegången är densamma för övriga ämnen.



Förutsättningar och kartläggning av område

Systemutformningen är densamma som tidigare exempel i avsnitt 3.4:

- Gröna tak avvattnas direkt till dagvattenledning.
- Hårdgjord gårdsyta avvattnas till nedsänkta växtbäddar vilka i sin tur dräneras till dagvattenledning. Om växtbäddarna fylls bräddar resterande vatten direkt till dagvattenledning.

$A_{gt} [m^2] =$ Grönt tak (100 mm tjocklek) som avrinner mot dagvattenledning
= 2400 m²

$A_{gård} [m^2] =$ Hårdgjord gårdsyta som avvattnas mot nedsänkta växtbäddar =
6800 m²

$A_v [m^2] =$ Nedsänkta växtbäddar som dräneras till dagvattenledning =
750 m²

Både gröna tak och växtbäddar antas i dessa exempel vara dimensionerade för att magasinera en regndjup på $d_r = 20$ mm.

Beräkningar

Gröna tak

$A_{gt} =$ takyta = 2400 m²

I tabellen i Bilaga 3 hämtas det årliga arealläckaget (se förklaring i avsnitt 5) [kg/ha, år] för respektive ämne (parameter) och för den aktuella typen av grönt tak (*Sedum*). Arealläckaget för respektive ämne multipliceras med takytan för att erhålla årlig transport från taket (se resultat i tabellen nedan).

Ämne	Yta A_{gt} [ha]	Arealläckage [kg/ha, år]	Transport [kg/år]
Suspenderat mtrl	0,24	40	9,6
Fosfor (P)	0,24	0,63	0,15
Koppar (Cu)	0,24	0,06	0,014
Zink (Zn)	0,24	0,07	0,017

Avrinningen från det gröna taket leds i exemplet direkt till ledningssystem/recipient.

Hårdgjord gårdsyta som renas i nedsänkta växtbäddar

Beräkningsgången för gårdsytans bidrag är densamma som för *Sedum*-taket:

Ansluten gårdsyta till växtbäddar $A_{gård} = 6800$ m².

I Bilaga 3 saknas data för hårdgjord gårdsyta. Istället används den markanvändning som bedöms vara mest lik, här väljs gång- och cykelväg.

Arealläckaget för respektive ämne multipliceras med arean för att erhålla årlig transport från gårdsytan (se resultat i tabellen nedan).

Ämne	Yta $A_{gård}$ [ha]	Arealläckage [kg/ha, år]	Transport [kg/år]
Suspenderat mtrl	0,68	40	27
Fosfor (P)	0,68	0,77	0,52
Koppar (Cu)	0,68	0,12	0,082
Zink (Zn)	0,68	0,17	0,12

Reningsgrad [%] i växtbäddar för respektive ämne hämtas i tabellen i Bilaga 4. För växtbäddar är denna 30 %.

Vid antagande om $d_r = 20$ kommer statistiskt sett ca 10 % av årsflödet att passera utan rening (Figur 1 i Bilaga 1). Avskiljningen i anläggningen beräknas för de 90 % av flödet som antas passera igenom anläggningen.

Exempelberäkning för fosfor:

$$\begin{aligned} \text{Avskiljning fosfor [kg/år]} &= \text{bruttotransport [kg/år]} \cdot 0,9 \cdot \text{reningsgrad} \\ &= 0,52 \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 0,14 \text{ kg/år} \end{aligned}$$

Därefter kan nettotransporten beräknas:

$$\begin{aligned} \text{Nettotransport fosfor [kg/år]} &= \text{bruttotransport [kg/år]} - \text{avskiljning fosfor} \\ &[\text{kg/år}] = 0,52 - 0,14 = 0,38 \text{ kg/år} \end{aligned}$$

Totala närsalt- och föroreningstransporter samt arealläckaget från området

Den totala närsalt- och föroreningstransporten från området beräknas genom att summera bidragen från gröna tak och hårdgjord gårdsyta (efter rening i nedsänkta växtbäddar):

$$\text{Fosfortransport gröna tak [kg/år]} + \text{fosfortransport hårdgjord gård efter rening i växtbädd [kg/år]} = 0,15 + 0,38 = 0,53 \text{ [kg/år]}$$

Därefter divideras den totala transporten med den faktiska ytan (ej reducerad yta) för att få arealläckaget: $0,53 / (0,24 + 0,68 + 0,075) = 0,53 \text{ kg/ha, år}$

I en dagvattenutredning ska både totala transporter och arealläckaget redovisas för utvalda parametrar.

4.4 Kompletterande reningssteg (utökad kedja)

Det kan i många fall finnas behov av eller vara motiverat att leda dagvatten som redan genomgått fördröjning/rening till ett kompletterande reningssteg, i en *utökad reningskedja*. Motiven till detta kan vara flera, bland annat att:

- dagvattnets innehåll av föroreningar ytterligare behöver minskas
- det finns behov av ytterligare flödesutjämning
- dagvattnet ska lyftas fram för gestaltning i t.ex. en damm
- dagvattnet används för bevattning av stadens vegetation
- dagvattnet används för grundvattenbildning (perkolation)

Det är i detta sammanhang värt att påpeka att användning av vattnet som resurs och värdeskapande i staden är ett av målen i Stockholms dagvattenstrategi.

Vid beräkning av reningseffekten för kompletterande reningssteg är det viktigt att ta hänsyn till att vatten som redan genomgått behandling i ett initialt reningssteg ofta innehåller en större andel lösta föroreningar eller föroreningar bundna till kolloider (mycket små partiklar som inte sedimenterar). De större partiklarna och föroreningar bundna till dessa har redan avskilts. Det kompletterande reningssteget måste därför vara utformat för att fånga lösta och kolloidala föroreningar för att få en god effekt.

Den reningsgrad som anges i tabellen i Bilaga 4 kan därför inte användas okorrigerad för anläggningar som ligger som steg två i en kedja, utan en bedömning behöver göras från fall till fall. För ett kunna göra en bra bedömning behövs bland annat kunskap om hur inkommande halter av partiklar och föroreningar påverkar avskiljningsförmågan. Detta får inhämtas från litteratur eller om det är en produkt, från tillverkarens anvisningar.

Nedan beskrivs hur olika typer av anläggningar kan förväntas fungera som ett andra steg i en reningskedja.

Dammar och fördröjningsmagasin

Rening i dagvattendammar och fördröjningsmagasin (ovan eller under mark) handlar till stor del om sedimentation av partiklar och partikelbundna föroreningar. Reningseffekten är beroende av halten av suspenderat material i inkommande vatten. En hög halt ger möjligheter till stor procentuell avskiljning (enligt tabellen i Bilaga 4), medan en låg halt (som kan förväntas då anläggningarna ligger som ett andra steg i en reningskedja) ger låg procentuell avskiljning.

Se exempelberäkning i avsnitt 4.6.

För att få dammar och våtmarker att fungera som ett effektivt sekundärt reningssteg så är det viktigt med en lång uppehållstid för att processer som avskiljer mycket små partiklar och lösta föroreningar ska hinna verka. System med en rik vattenvegetation är också effektivare än system utan.

Infiltration i mark/jordprofil

Vid infiltration i mark eller jordprofil med stort innehåll av organiskt material finns förutsättningar för att avskilja inte bara partiklar utan även lösta föroreningar. Det innebär att denna typ av system kan fungera som ett bra komplement till sedimentationsanläggningar som dammar och avsättningsmagasin.

Tekniska filteranläggningar

Tekniska filteranläggningar är ofta utformade för att fånga specifika typer av föroreningar och kan, liksom infiltrationsanläggningar, fungera som ett bra komplement till sedimentationsanläggningar som dammar och fördröjningsmagasin.

System för perkolation till grundvatten

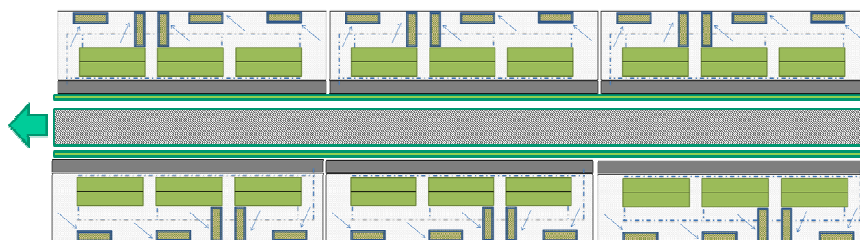
För perkolationsanläggningar, dvs. anläggningar där dagvattnet får infiltrera till grundvattnet, kommer näringsämnen och föroreningar inte direkt att belasta ytvattenrecipienten. Beräkningsmässigt så bör reningseffekten sättas till 100 % för det vatten som perkolerar. Vatten som bräddar förbi anläggningen vid höga flöden kommer dock att belasta ytvattenrecipienten. Vid val av teknik är det viktigt att beakta risken för förorening av grundvattnet.

Dagvatten för bevattning

Dagvatten som leds till t ex skelettjord eller planteringar kommer sommartid att till stor del att tas upp av vegetationen och därmed minska avrinningen och belastningen på recipienterna.

4.5 Beräkning kompletterande reningssteg - exempel 1

Nedan återfinns samma exempel som i avsnitt 3.5, här beräknat med avseende på dagvattnets närings- och föroreningstransporter.



Förutsättningar och kartläggning av område

Inom varje kvarter:

- Gröna tak avvattnas direkt till dagvattenledning.
- Hårdgjord gårdsyta avvattnas till nedsänkta växtbäddar vilka i sin tur dräneras till dagvattenledning. Om växtbäddarna fylls bräddar resterande vatten direkt till dagvattenledning.
- Utgående dagvattenledning ansluts till svackdike i gatan.

Hela området består av sex stycken identiska kvarter som är anslutna till svackdiken längs med gatan.

A_{kvarter} = Ansluten area inom ett kvarter = 2 400 m² gröna tak, 6 800 m² hårdgjord gårdsyta och 750 m² nedsänkta växtbäddar. Totalt 2 400 + 6 800 + 750 = 9 950 m² = 0,995 ha

$A_{\text{gata,tot}}$ = Ansluten gatuyta är tre gatupartier mellan kvartererna på 4 775 m² styck = 3 · 4 775 = 14 325 m² = 1,43 ha

A_{tot} = Ansluten area för gata plus sex kvarter = 6 · 0,995 + 1,43 = 7,4 ha

Beräkningar

Föroreningsbelastning från kvartersmark

Beräkningarna för det enskilda kvarteret i avsnitt 3.3 resulterade i en fosfortransport på 0,53 kg/år. Den totala transporten från de sex kvartererna är 6 · 0,53 = 3,2 kg/år.

Föroreningsbelastning från lokalgatan

Belastningen för gata beräknas utifrån arealläckaget i tabellen i Bilaga 3 (lokalgata med kantsten). Arealläckaget för respektive ämne multipliceras med arean för att erhålla årlig transport från gatan (se resultat i tabellen nedan).

Ämne	Yta A _{gata} [ha]	Arealläckage [kg/ha, år]	Transport [kg/år]
Suspenderat mtrl	1,43	290	415
Fosfor (P)	1,43	0,72	1,03
Koppar (Cu)	1,43	0,14	0,20
Zink (Zn)	1,43	0,34	0,49

Kompletterande rening i svackdike

Både vatten från kvartersmark och gatudagvatten leds till svackdike. Dagvattnet från kvartersmarken renades lokalt inom kvarteren med gröna tak och nedsänkta växtbäddar. Utgående vatten kan därmed förväntas innehålla låga halter suspenderat material och partikelbundna föroreningar. I och med att vattnet redan passerat genom en markprofil bör även en viss avskiljning av lösta föroreningar skett.

Gatudagvattnet har inte genomgått någon rening och kommer därför att innehålla en stor andel partiklar och partikelbundna föroreningar.

Svackdike kan förväntas ha en god reningseffekt avseende gatudagvattnet men en sämre effekt på dagvatten från kvartersmark. Beräkningen görs därför separat för gatudagvatten respektive vatten från kvartersmark.

Gatudagvatten

Förväntad reningseffekt avseende gatudagvatten (tabellen i Bilaga 4):
30 % för fosfor respektive 60 % för metaller.

Vid antagande om $d_r = 20$ mm kommer statistiskt sett ca 10 % av årsflödet att passera utan rening (Figur 1 i Bilaga 1). Avskiljningen i anläggningen beräknas för de 90 % av flödet som antas passera igenom anläggningen.

Exempelberäkning för fosfor:

Avskiljning fosfor i gatudagvatten [kg/år] = bruttotransport [kg/år] · 0,9 ·
reningsgrad = $1,03 \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 0,28$ [kg/år]

Därefter kan nettotransporten beräknas:

Nettotransport fosfor i gatudagvatten [kg/år] = bruttotransport [kg/år] -
avskiljning fosfor [kg/år] = $1,03 - 0,28 = 0,75$ [kg/år]

Dagvatten från kvartersmark

Här görs antagandet att ytterligare 10 % av fosfor och 20 % av metaller avskiljs i svackdiket.

Fosfortransport netto = $3,2 \cdot 0,9 = 2,9$ kg/år.

Totala närsalt- och föroreningstransporter samt arealläckaget från området

Den totala närsalt- och föroreningstransporten från området beräknas genom att summera bidragen från gata och kvartersmark efter rening i svackdiket.

Fosfortransport = $0,75 + 2,9 = 3,6$ [kg/år]

Därefter divideras den totala transporten med den faktiska ytan (ej reducerad yta) för att få arealläckaget: $3,6/7,4 = 0,49$ kg/ha, år.

4.6 Beräkning kompletterande reningssteg - exempel 2

I detta räkneexempel har svackdiket i exemplet ovan ersatts av en dagvattendamm, dit vatten leds från kvarteren respektive gatan via ledningar. I övrigt är förutsättningarna de samma som i exempel 1 i avsnitt 4.5.

Förutsättningar och kartläggning av område

Inom varje kvarter:

- Gröna tak avvattnas direkt till dagvattenledning.
- Hårdgjord gårdsyta avvattnas till nedsänkta växtbäddar vilka i sin tur dräneras till dagvattenledning. Om växtbäddarna fylls bräddar resterande vatten direkt till dagvattenledning.

Hela området består av sex stycken identiska kvarter som, via en gemensam ledning, är anslutna till en damm. Lokalgatan avvattnas till rännstensbrunnar som är anslutna till den gemensamma dagvattenledningen som leder till dammen.

$A_{\text{kvarter}} = \text{Ansluten area inom ett kvarter} = 0,995 \text{ ha}$

$A_{\text{gata-tot}} = \text{Ansluten gatuyta} = 1,43 \text{ ha}$

$A_{\text{tot}} = \text{Ansluten area för gata plus sex kvarter} = 7,4 \text{ ha}$

Dammen är grovt sett rektangulär med en längd på 60 m och en bredd på 10 m. Dess area är alltså 600 m^2 , vilket är knappt 1 % av det totala avrinningsområdet. Om avrinningskoefficienten för hela området sätts till 0,6 så motsvarar dammen ca 1,4 % av den reducerade arean, vilket anses vara ett kostnadseffektivt storleksförhållande för en dagvattendamm.

Beräkningar

Föroreningsbelastning från kvartersmark

Beräkningar för de sex kvarteren (avsnitt 4.5) gav 3,2 kg fosfor/år.

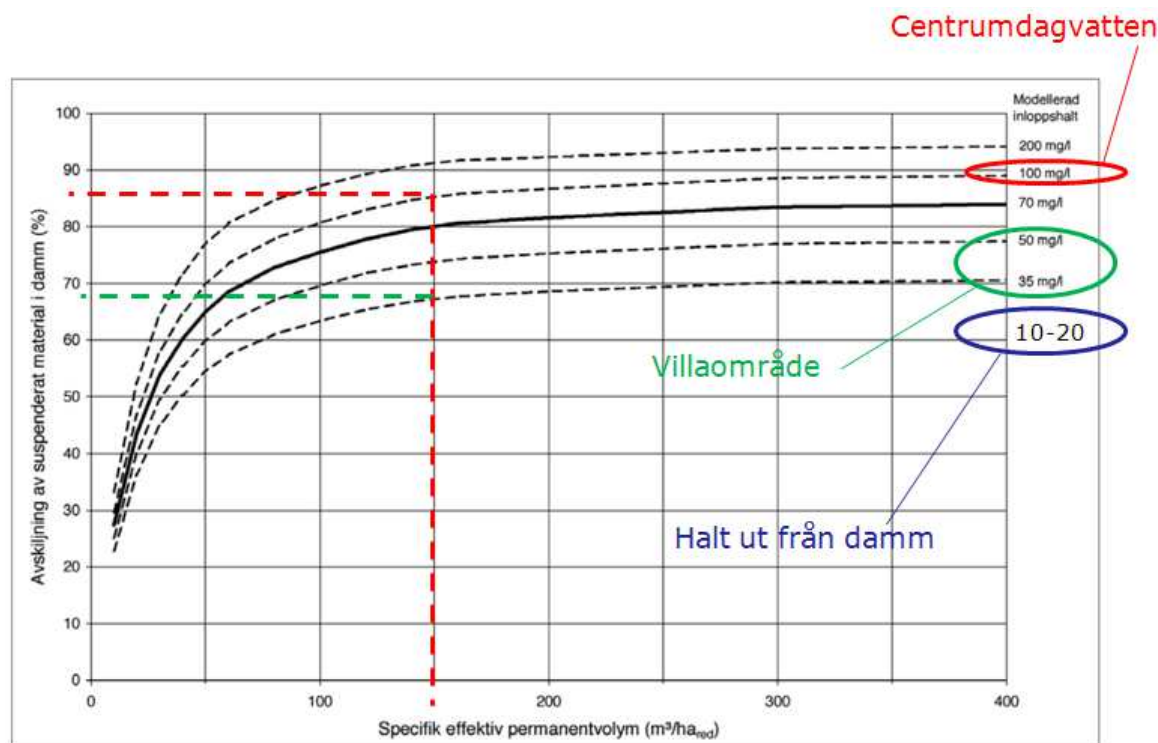
Föroreningsbelastning från lokalgatan

Beräkningar för gatan (avsnitt 4.5) gav 1,03 kg fosfor/år.

Kompletterande rening i damm

Både vatten från kvartersmark och gatudagvatten leds till dammen. Dagvattnet från kvartersmarken renades lokalt inom kvarteren med gröna tak och nedsänkta växtbäddar. Utgående vatten kan därmed förväntas innehålla låga halter suspenderat material och partikelbundna föroreningar. I och med att vattnet redan passerat genom en markprofil bör även en viss avskiljning av lösta föroreningar skett. Gatudagvattnet har inte genomgått rening och kommer därför att innehålla en stor andel partiklar och partikelbundna föroreningar.

Eftersom avskiljningen av föroreningar i dammar till stor del sker genom sedimentation av partiklar och partikelbundna föroreningar, så är halten av suspenderat material (partiklar) i inkommande vatten avgörande för reningseffekten. I grafen nedan visas förväntad avskiljning av partiklar i en damm som en funktion av halten suspenderat material i inkommande vatten. En damm som har en effektiv specifik permanentvolym på 150 m³/ha hårdgjord avrinningsyta kan förväntas avskilja 80-90 % av inkommande halt om vattnet innehåller 100 mg susp/l (röd streckad linje). Utgående halt kan alltså förväntas ligga kring 10-20 mg susp/l. Om inkommande halt är 35 mg/l sjunker reningsgraden till knappt 70 % (grön streckad linje). Detta motsvarar en utgående halt kring 10 mg susp/l.



Källa: Pramsten, J., 2010. Tidskriften Vatten 66:99-111. Vid användning av grafen är det viktigt att notera att x-axeln redovisar "specifik effektiv permanentvolym", där hänsyn även tagits till dammens hydrauliska effektivitet. Notera också att det finns en viss osäkerhet i grafen (felmarginalen hos modellen bedöms vara ca ±10 procentenheter).

Om avrinningskoefficienten för hela det aktuella området på 7,4 hektar sätts till 0,6 så blir den reducerade arean för området 4,4 ha. Om dammens medeldjup antas vara 1 meter blir den specifika damvolymen 136 m³/ha.

Thackstons ekvation³ kan användas för att uppskatta den hydrauliska effektiviteten hos dammen baserat på dess längd- och breddförhållande:

³ Thackston, E. L., Shields, F. D. Jr. & Schroeder, P. R. (1987) *Residence time distributions of shallow basins*. Environmental Engineering, Vol. 113, pp. 1319-1332.

$$e_h = 0.84 * \left(1 - e^{-0.59 * \left(\frac{l}{b}\right)}\right)$$

där e_h är den hydrauliska effektiviteten
 l är längden på dammen
 b är bredden på dammen

Med en längd på 60 meter och en bredd på 10 meter erhålls en hydraulisk effektivitet (e_h) kring 0,82. Den specifika damvolymen på 136 m³/ha reduceras genom multiplikation med den hydrauliska effektiviteten vilket ger en specifik effektiv dammvolym kring 112 m³/ha.

För gatudagvatten är halten suspenderat material 60 mg/l enligt tabellen i Bilaga 3 (lokalgata med kantsten). Den förväntade reningseffekten för suspenderat material är enligt grafen ovan ca 75 %. Dagvatten från kvarteretsmarken har renats lokalt och halten suspenderat material kan förväntas motsvara den i vatten ut från en dagvattendamm, ca 10-20 mg/l. Reningseffekten för detta vatten kan förväntas vara låg (data saknas i grafen).

Avrinningen från gatan sker emellertid snabbt, medan avrinningen från kvarteretsmarken är fördröjd och utjämnad. Dammen är också stor i relation till gatans yta. Dammen kan därför förväntas ge en god rening. Det bör dock noteras att grafen på föregående sida inte kan beskriva denna komplexa situation, och att den bedömning av reningseffekten som görs nedan därför är en erfarenhetsmässig uppskattning.

Gatudagvatten

Vid 75 % reduktion av suspenderat material i dammen kan förväntad reningseffekt avseende gatudagvatten (tabellen i Bilaga 4) vara 50 % för fosfor, 60 % för koppar och 60 % för zink.

Dammen har i detta fall inte försetts med någon *by-pass*-funktion (förbiledning vid höga flöden). Det innebär att hela flödet kommer att passera dammen. Avskiljningen i anläggningen beräknas därför för hela flödet.

Exempelberäkning för fosfor:

Avskiljning fosfor i gatudagvatten [kg/år] = bruttotransport [kg/år] · 1,0 · reningsgrad = 1,03 · 1 · 0,5 = 0,52 kg/år

Därefter kan nettotransporten beräknas:

Nettotransport fosfor i gatudagvatten [kg/år] = bruttotransport [kg/år] - avskiljning fosfor [kg/år] = 1,03 - 0,52 = 0,51 kg/år

Dagvatten från kvarteretsmark

Som beskrevs ovan är det bara sannolikt att dammen bidrar med en begränsad rening av detta vatten. Här görs ett försiktigt antagande att ytterligare 10 % av fosfor och 10 % av metaller avskiljs i dammen.

Fosfortransport netto = 3,6 · 0,9 = 3,2 kg/år.

Totala närsalt- och föroreningstransporter samt arealläckaget från området

Den totala närsalt- och föroreningstransporten från området beräknas genom att summera bidragen från gata och kvartersmark efter rening i dammen.

$$\text{Fosfortransport} = 0,51 + 3,2 = 3,7 \text{ kg/år}$$

Därefter divideras den totala transporten med den faktiska ytan (ej reducerad yta) för att få arealläckaget: $3,7/7,4 = 0,50 \text{ kg/ha, år}$.

5 Förklaringar

Arealläckage: Det årliga bidraget av näringsämnen och föroreningar från ett område [kg/ha, år]. Ytan avser total yta (ej reducerad yta, se nedan).

Arealläckage är synonymt med arealförlust som ofta används för att uttrycka näringsläckaget från skogs- och jordbruksmark.

Avrinningskoefficient, ϕ : Andelen av nederbörden som bildar dagvatten, vilket bland annat beror av hårdgörningsgrad och marklutning.

Dimensionerande dagvattenflöde: Det flöde man dimensionerar dagvattensystem efter.

Fördröjningsanläggning: Anläggning med syfte att fördröja och minska dagvattnets flödestoppar (och rena dagvattnet).

Fördröjningsvolym: Den volym en fördröjningsanläggning kan magasinera innan bräddning/ytavrinning sker.

Hårdgjord yta: Yta vars infiltrationskapacitet kraftigt minskat på grund av tät beläggning. Exempel på hårdgjord yta är asfalterad parkering.

Nedsänkt växtbädd: Nedsänkt planteringsyta dit dagvatten kan ledas för utjämning och rening. Ovanpå växtbädden finns plats att tillfälligt magasinera vatten.

Porositet: Mått på hur stor del av till exempel en jordvolym som består av hålrum. Vid beräkningar av dagvattenfördröjning i tak och grönytor är det denna volym som kan magasinera och fördröja avrinning.

Rationella metoden: Metod för att beräkna dimensionerande dagvattenflöde utifrån area, regnintensitet och genomsnittlig avrinningskoefficient. För mer info se Svenskt Vatten publikation P110.

Regnintensitet: Det flöde som ett regn med en viss återkomsttid och varaktighet medför per hektar.

Regnvolym: Nederbördsmängd eller magasinvolym uttryckt i mm.

Rinntid: Den tid det i medeltal tar för dagvattnet att rinna till avrinningsområdets avledningspunkt. För vidare info se Svenskt Vatten publikation P110.

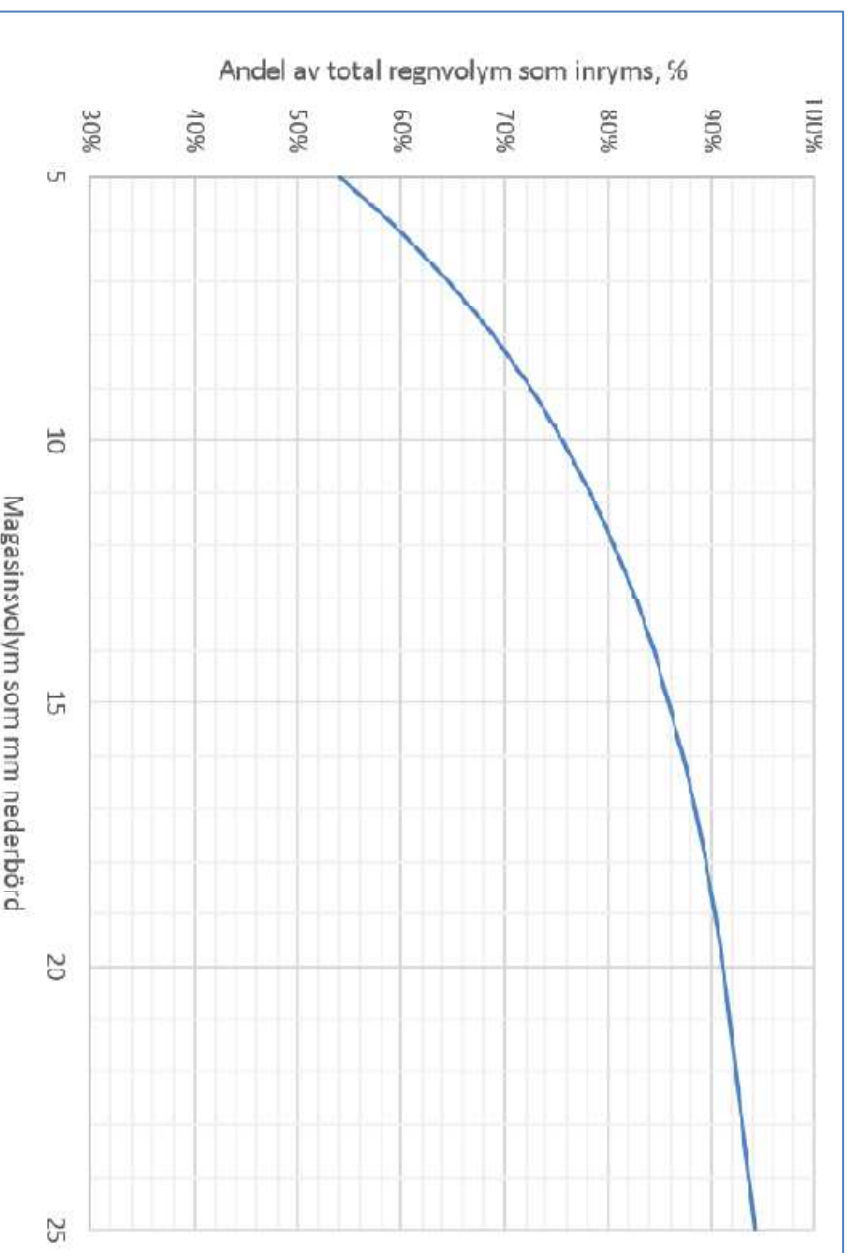
Transport av föroreningar/näringsämnen: Mängden föroreningar och näringsämnen som transporteras med dagvattnet.

Varaktighet: Blockregnets längd (bestäms av fyllnads- och rinntid) som avgör regnintensiteten.

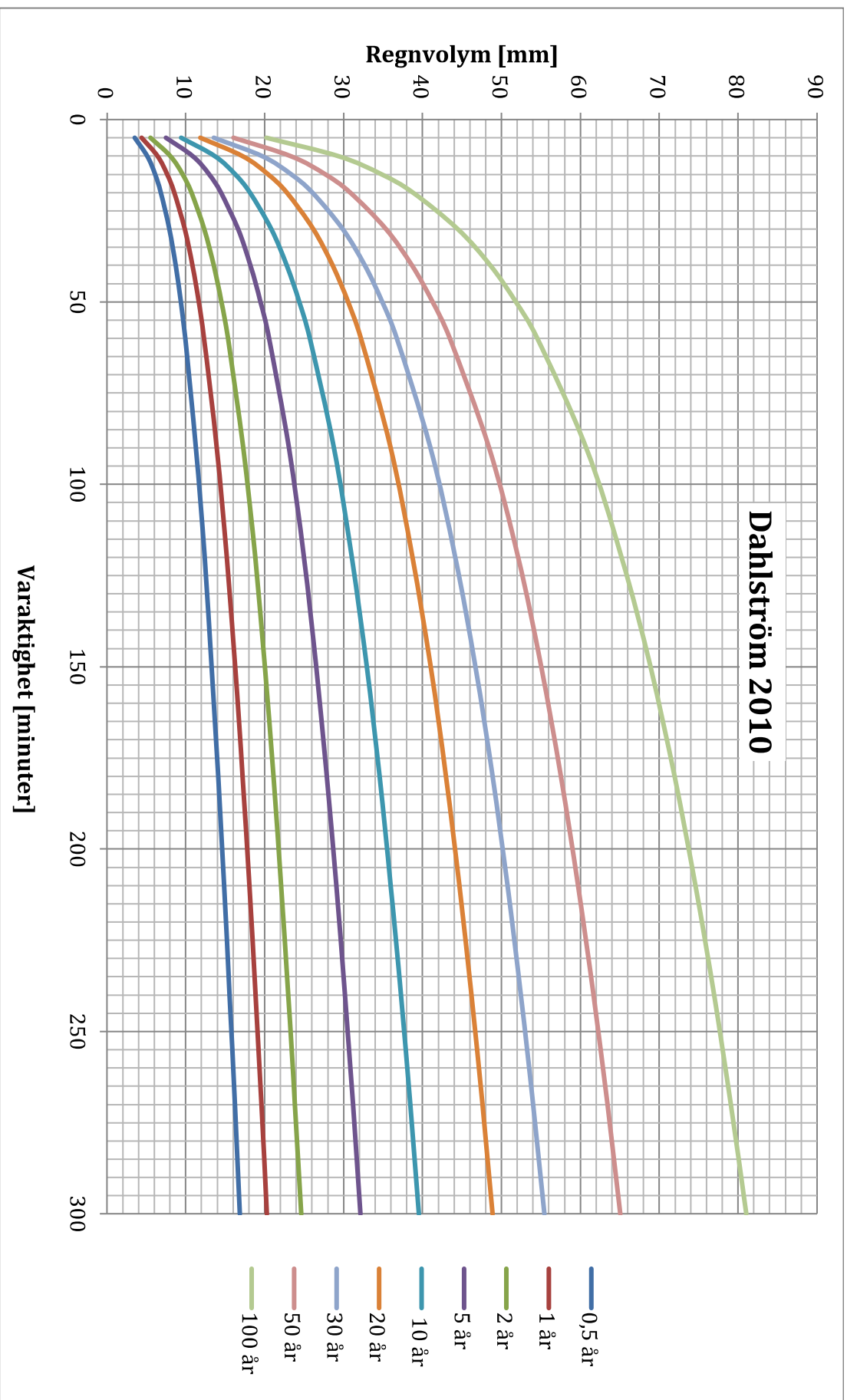
Återkomsttid: Statistiskt tidsintervall mellan regn av viss nederbördsintensitet.

6 Bilagor

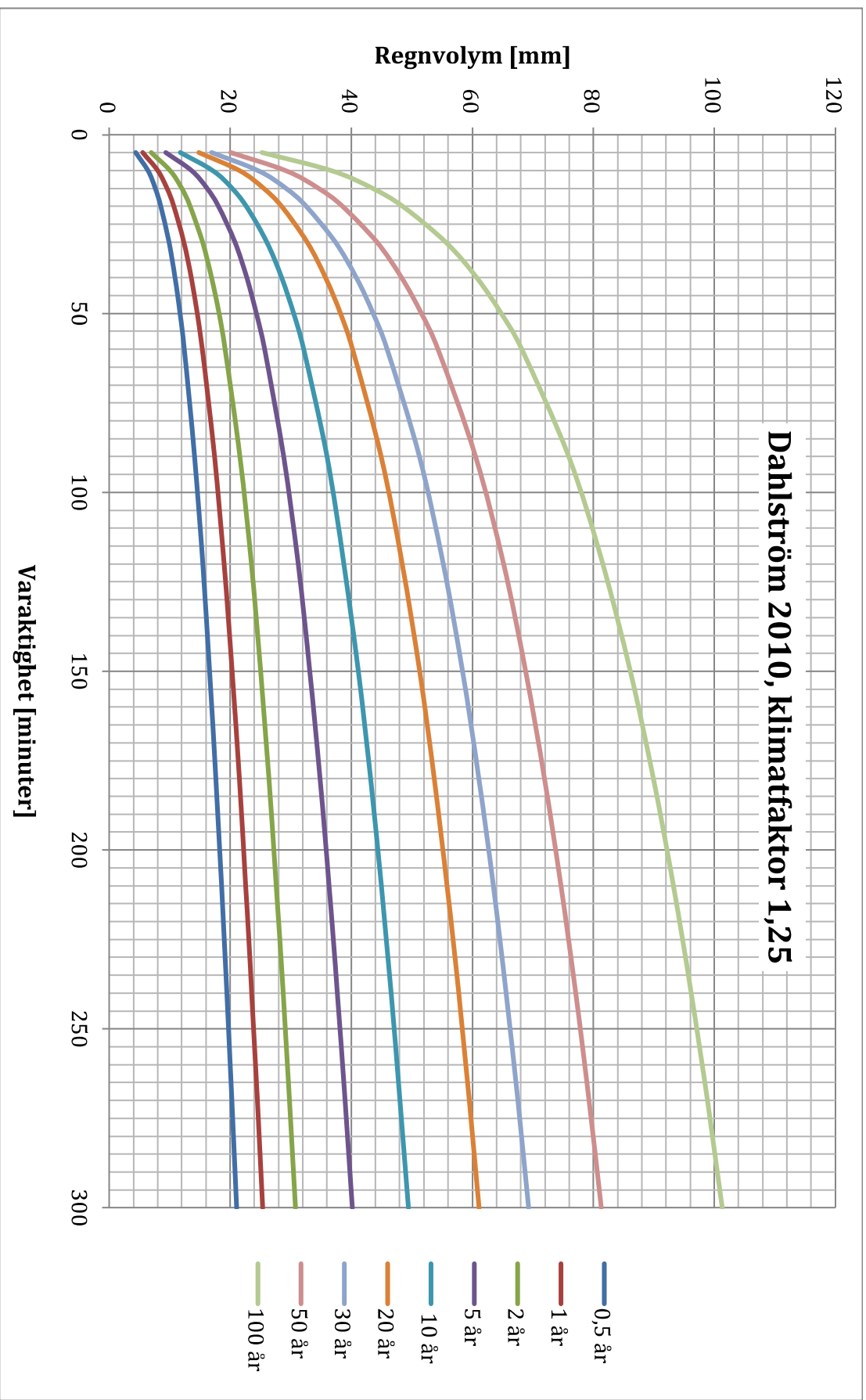
Bilaga 1. Diagram- och tabellbilaga



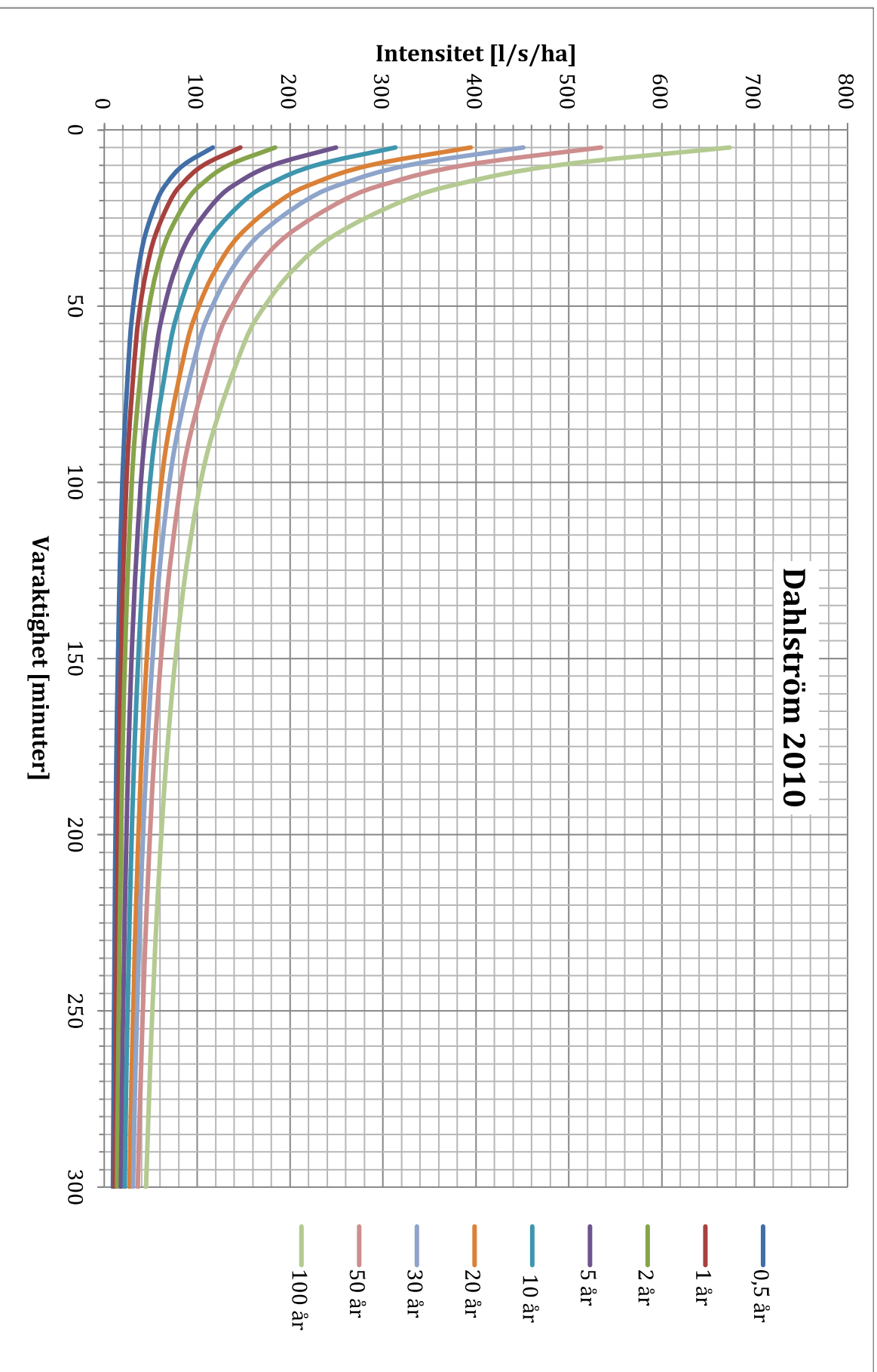
Figur 1. Andel av total årsvolym regn som inryms i magasinvolym med angivet värde på x-axeln. Regndata från Stockholm 1984-2014. Regndefinition: uppehållstid 12 timmar, vilket innebär att magasinet behöver tömmas på 12 timmar.

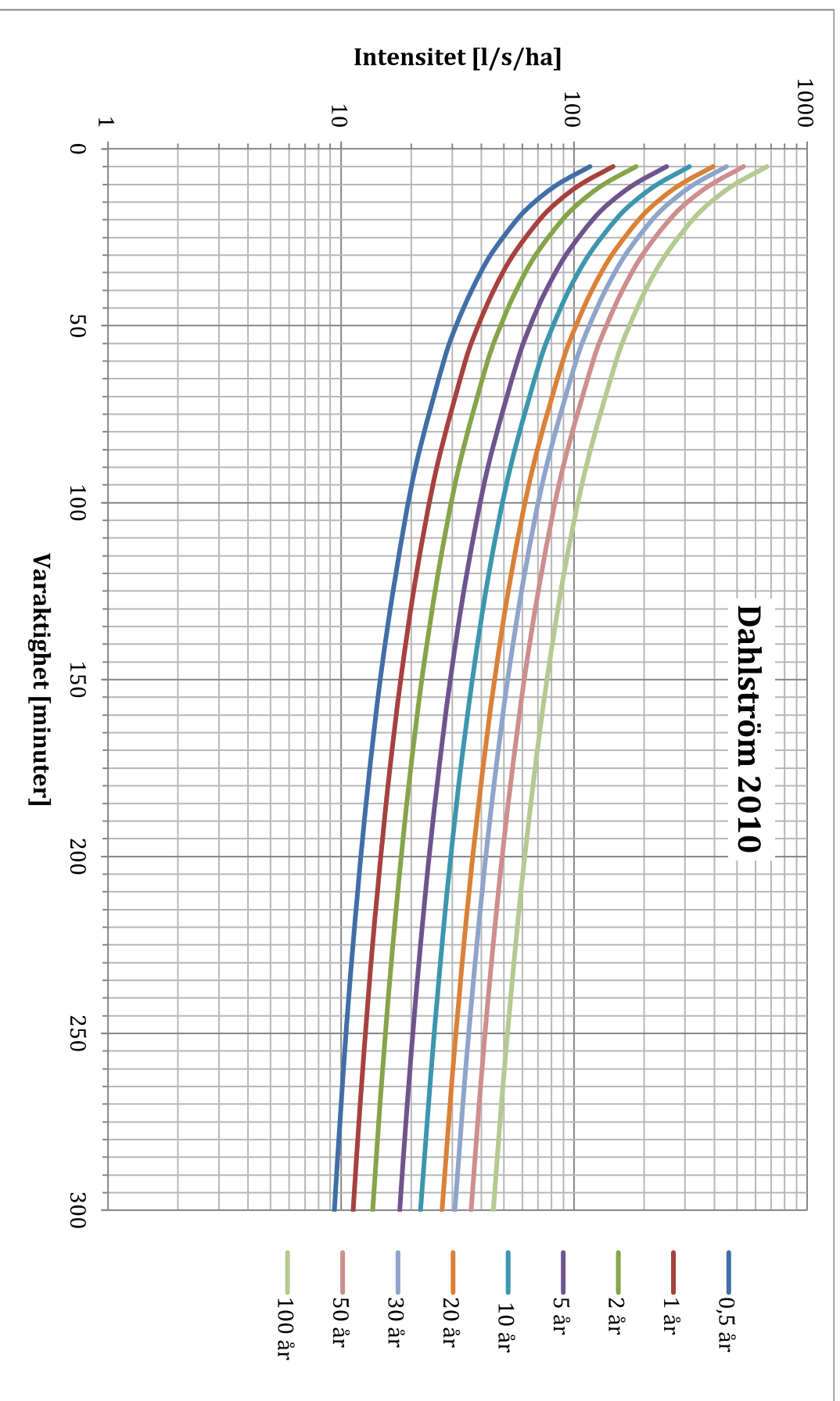


Figur 2. Nederbördsvolym som funktion av varaktighet och återkomsttid enligt Dahlström (2010).

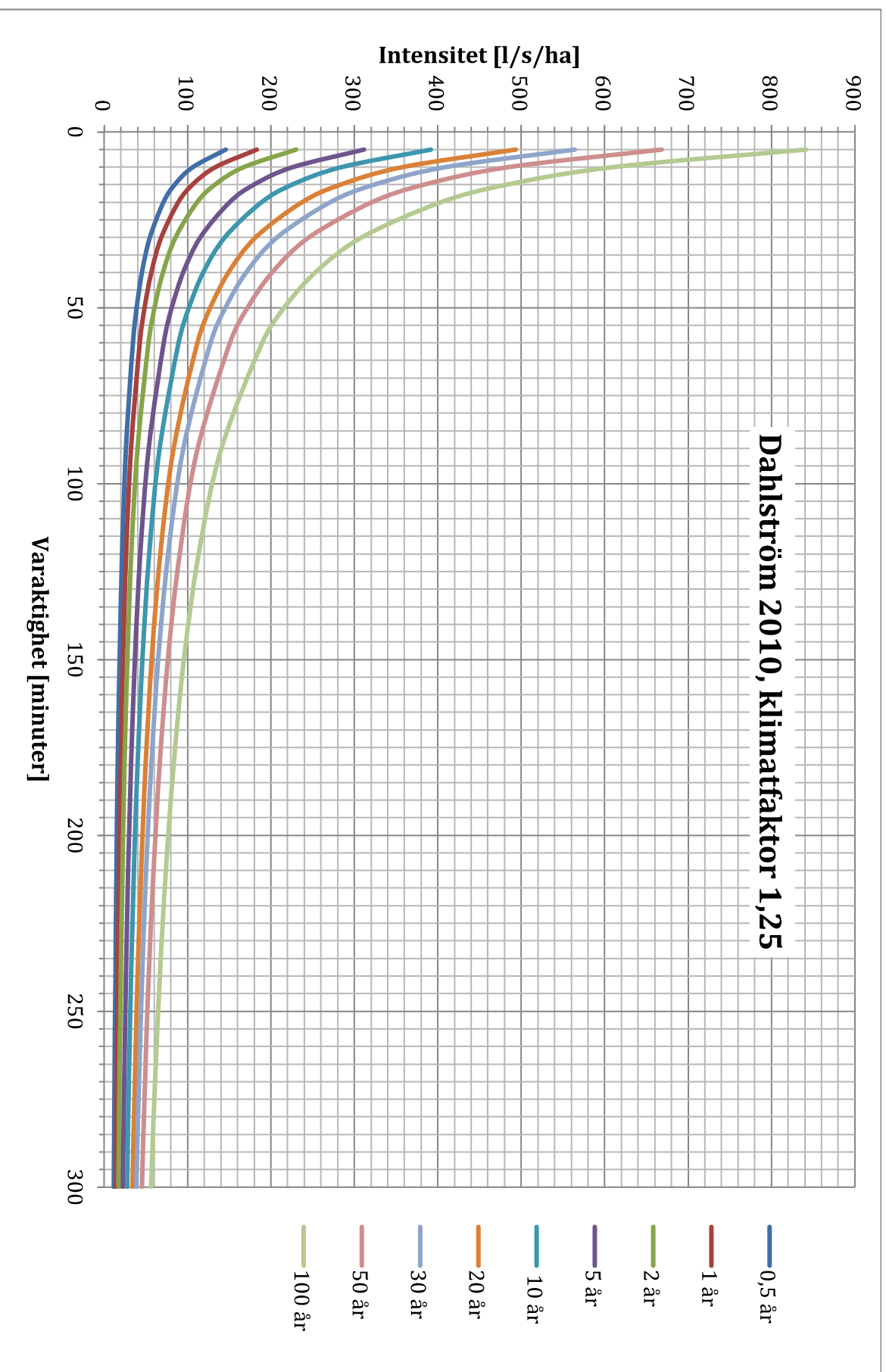


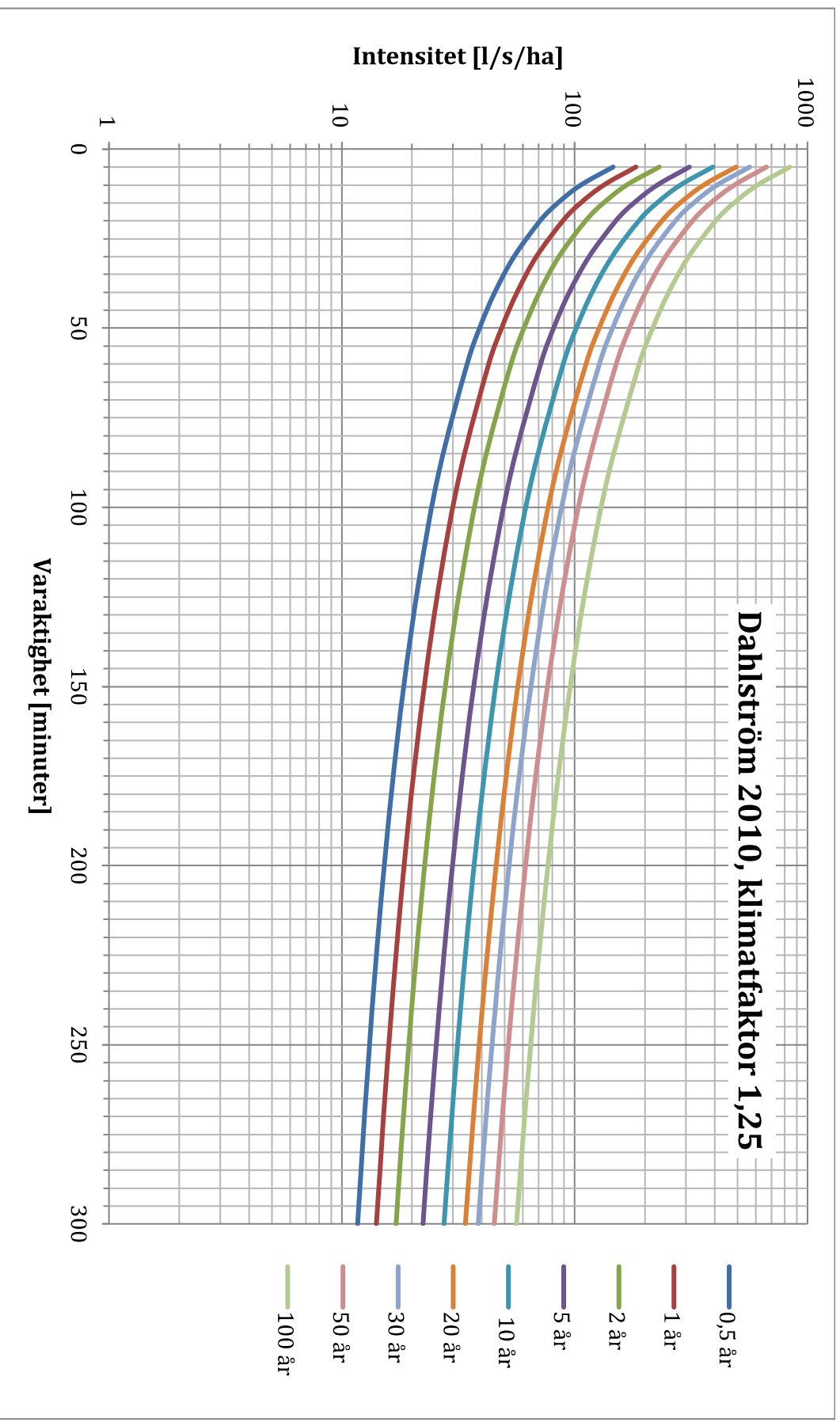
Figur 3. Nederbördsvolym som funktion av varaktighet och återkomsttid enligt Dahlström (2010) med $k_f=1,25$.





Figur 4. Intensitet-varaktighetskurvor för olika återkomsttider enligt Dahlström (2010). Den övre grafen är med linjär y-axel, den undre med logaritmisk y-axel för att lättare läsa av intensiteter för längre varaktigheter.





Figur 5. Intensitet-varaktighetskurvor för olika återkomsttider enligt Dahlström (2010) med $k_f=1,25$. Den övre grafen är med linjär y-axel, den undre med logaritmisk y-axel för att lättare läsa av intensiteter för längre varaktigheter.

Tabell 1. Regnintensitet samt kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter upp till 2 timmar för ett 10-årsregn med och utan klimatfaktor 1,25. Denna tabell motsvarar Figur 2, Figur 3, Figur 4 och Figur 5 för ett dimensionerande 10-årsregn.

Regnvaraktighet	10-årsregn		10-årsregn inkl. klimatfaktor 1,25	
	$i(t)$ l/s/ha	d_r mm	$i(t)$ l/s/ha	d_r mm
0	0	0,0	0	0,0
2	331	4,0	414	5,0
3	353	6,3	441	7,9
4	336	8,1	420	10,1
5	313	9,4	392	11,8
6	292	10,5	365	13,1
7	273	11,5	341	14,3
8	256	12,3	320	15,4
9	241	13,0	301	16,3
10	228	13,7	285	17,1
11	216	14,3	270	17,8
12	206	14,8	257	18,5
13	197	15,3	246	19,2
14	188	15,8	235	19,8
15	181	16,3	226	20,3
16	174	16,7	217	20,8
17	167	17,1	209	21,3
18	161	17,4	202	21,8
19	156	17,8	195	22,2
20	151	18,1	189	22,7
21	146	18,4	183	23,1
22	142	18,8	178	23,4
23	138	19,0	173	23,8
24	134	19,3	168	24,2
25	131	19,6	163	24,5
26	127	19,9	159	24,8
27	124	20,1	155	25,1
28	121	20,4	151	25,5
29	118	20,6	148	25,7
30	116	20,8	145	26,0
31	113	21,1	141	26,3
32	111	21,3	138	26,6
33	108	21,5	136	26,8
34	106	21,7	133	27,1
35	104	21,9	130	27,4
36	102	22,1	128	27,6
37	100	22,3	125	27,8
38	98	22,5	123	28,1
39	97	22,6	121	28,3
40	95	22,8	119	28,5
45	88	23,6	109	29,5
50	81	24,4	102	30,5
55	76	25,1	95	31,3
60	71	25,7	89	32,1
90	53	28,8	67	36,0
120	43	31,1	54	38,8

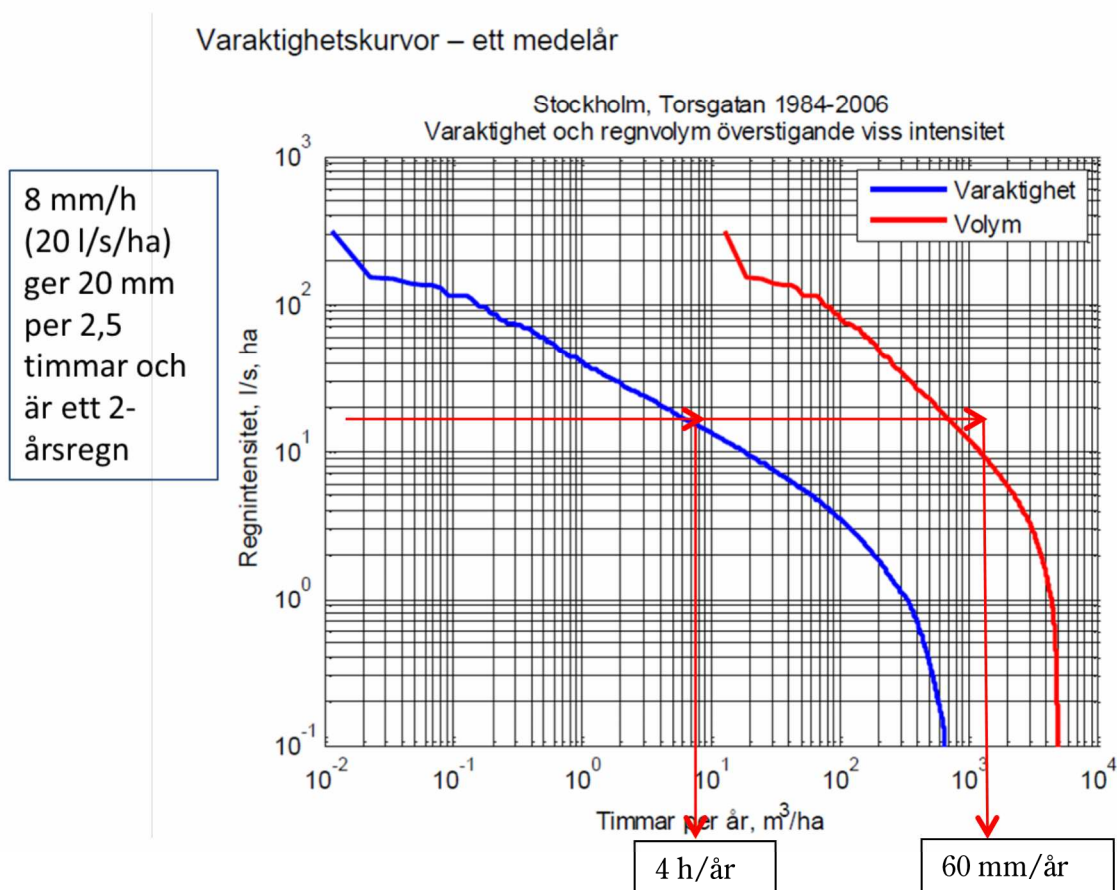
Bilaga 2. Dimensionering av lokal fördröjningsanläggning med fördröjningsvolym i det porösa marklagret

Om hela, eller del av, fördröjningsvolymen allokeras i det porösa marklagret av en fördröjningsanläggning behöver anläggningens infiltrationskapacitet vara tillräcklig med hänsyn till det regn som den dimensioneras för.

I Stockholm ska dimensionering ske för att omhänderta 20 mm nederbörd i fördröjningsanläggning, vilket innebär att cirka 90 % av årsnederbörden kan behandlas i anläggningen (se Figur 1 i Bilaga 1). Infiltrationskapaciteten av anläggningen bör därför vara tillräcklig för att medge att cirka 90 % av årsnederbörden infiltrerar till det porösa marklagret.

Medelnederbörden i Stockholm är cirka 600 mm. I

Figur 6 ser vi att 60 mm (600 m³/ha), dvs. 10 % av årsnederbörden, överskrider regnintensiteten 20 l/s/ha⁴. Denna intensitet motsvarar intensiteten av ett 2-årsregn för 2,5 timmars varaktighet. Under 2,5 h faller 20 mm nederbörd, det vill säga 8 mm/h, eller cirka 20 l/s/ha (se Figur 2 och Tabell 1 i Bilaga 1).



Figur 6. Varaktighet respektive volym som överskrider en viss regnintensitet på årsbasis för ett medelår i Stockholm under

⁴ Den blå kurvan visar även att denna regnintensitet överskrids under cirka 4 h per år.