

FLÖDESDESIGN VID AVLOPPSRENINGSVERK

Flow design at wastewater treatment plants

av HANS CARLSSON, Tyrens AB, Isbergs gata 15, 205 19 Malmö, Sverige
e-post: hans.carlsson@tyrens.se



Abstract

This article deals with flow design of wastewater treatment plants in Sweden. The traditional sewer system and the traditional approach of flow design of wastewater treatment plants are discussed. Based on the changes that the wastewater systems and the regulations surrounding them have undergone in Sweden over the past 40 years a new method for flow design is suggested. The method is based on a duration graph over the incoming flow, which in most cases can be calculated from already existing data. Then the concentrations of the relevant pollutants are determined, or estimated, at different flow rates, and finally the consequence of managing the flow in a certain way is calculated.

Key words – wastewater, flow design, combined sewer

Sammanfattning

Denna artikel behandlar flödesdesign av avloppsreningsverk, främst i Sverige. Det traditionella VA-systemet och det traditionella synsättet vid flödesdesign av reningsverk diskuteras. Med utgångspunkt i de förändringar som VA-verksamheten genomgått i Sverige de senaste 40 åren föreslås en ny metod för flödesdesign. Grunden i metoden är att ta fram varaktighetsdiagram över inkommande flöde, på basis av data som oftast redan finns. Därefter fastställs, eller uppskattas, föroreningskoncentrationer vid olika flöden, och sedan kan konsekvensen av ett visst sätt att styra flödet beräknas.

Problembeskrivning

Inkommande flöde är en av de mest styrande parametrarna vid design av kommunala reningsverk. Hänsyn måste tas till en rad förutsättningar, bl.a. följande:

- Designflödets storlek måste bestämmas på något sätt.
- Designhorisonten ligger oftast 10–20 år framåt i tiden, dvs. det måste skapas en prognos för framtida situation.
- De reningskrav som ska gälla måste fastställas (viket i praktiken ofta är antaganden).
 - I princip är det så att ju lägre halter utgående vatten får innehålla, desto större reningsverk erfordras. I princip gäller också att ett haltkrav ställt som månadsmedelvärde erfordrar ett större reningsverk än samma haltkrav ställt som kvartals- eller årsmedelvärde.
- Eftersom reningskraven alltid måste uppfyllas, måste säkerhetsmarginaler finnas i designen.

- Av (främst) ekonomiska skäl vill man inte överdimensionera reningsverket, utöver en nödvändig säkerhetsmarginal.

Syfte

Syftet med denna artikel är att visa på en metodik för flödesmässig design av kommunala avloppsreningsverk.

Bakgrund

Reningsverksutbyggnaden i Sverige har skett i etapper. I samband med införandet av kemisk fällning på bred front under 1970-talet gav Statens Naturvårdsverk ut »Dimensionering av kommunala avloppsreningsverk» i december 1971 (SNV PM 190). I denna skrift, den första i sitt slag, ges generella riktlinjer för hur ett kommunalt reningsverk bör dimensioneras. Den parameter som styr hela dimensioneringen är det dimensionerande flödet » q_{dim} » (m^3/h).

I de övergripande anvisningarna står att:

- Reningsverkets biologiska och kemiska delar utformas så att de kan behandla flöden upp till $2 \times q_{\text{dim}}$ utan väsentliga störningar.
- Reningsverket förses med bräddningsanordningar som medger begränsning av flödet till $2 \times q_{\text{dim}}$ till det biologiska och kemiska steget.
- Förbehandling och försedimenteringskapacitet bör dimensioneras så att flöden upp till $4 \times q_{\text{dim}}$ kan behandlas före bräddning.

Det dimensionerande flödet beräknas enligt:

$$q_{\text{dim}} \text{ (m}^3\text{/h)} = (Q_s/T_s) + (Q_d/24) + (Q_i/T_i) \quad (1)$$

där:

Q_s = medelspillvattenmängd, m^3/d

Q_d = läck- och dräneringsvattenmängd (dygnsmedeltal vid torrväder), m^3/d

Q_i = industriavloppsvattenmängd (dygnsmedeltal), m^3/d

T_s = antal timmar per dygn under vilka Q_s fördelas (väljs med hänsyn till antalet anslutna personer, en tabell anger t.ex. 18 timmar vid 20000 personer).

T_i = antal timmar per dygn under vilka Q_i tillförs verket (sätts till 10 h där inget annat kunnat visas vara riktigare).

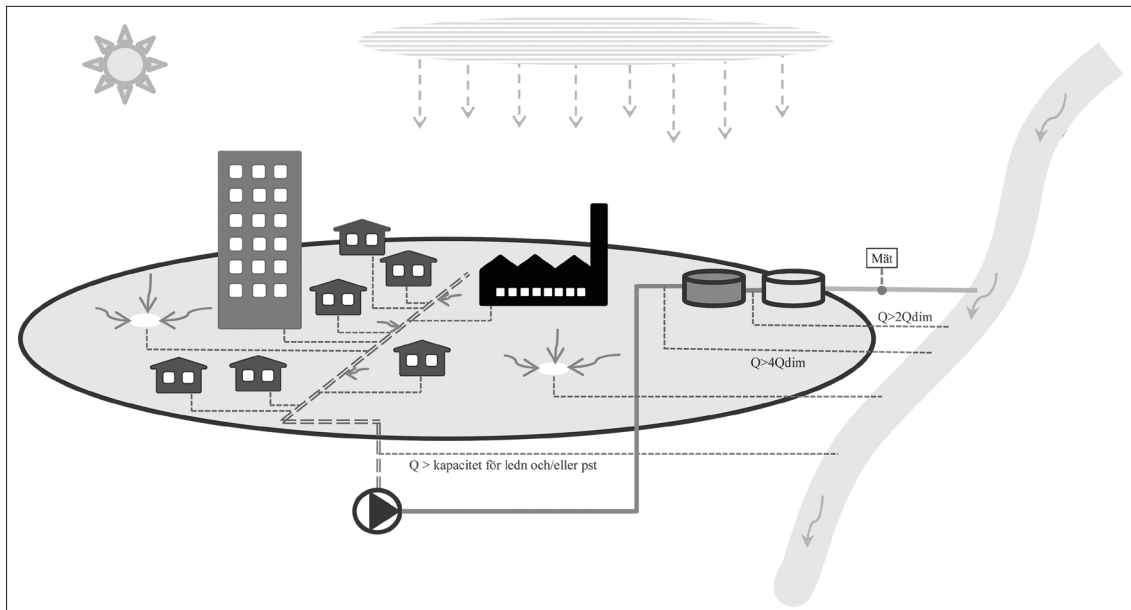
Beräknade vattenmängder ska avse förhållanden vid slutet av den period för vilken reningsverket dimensioneras. Figur 1, nedan, visar ett principiellt traditionellt VA-system för en tätort. Avloppsvatten från hushåll, in-

dustri och andra samhällsfunktioner samlas upp i ett ledningssystem som via ett antal pumpstationer tillförs ett avloppsreningsverk. Vid reningsverket mäts flödet och prov tas för analys av utgående vatten.

Oftast är en del av ledningssystemet kombinerat, dvs. att ledningssystemet också tillförs dagvatten i större eller mindre mängd. Eftersom det är ofrånkomligt att det förekommer otätheter i systemet kommer också grundvatten att läcka in i varierande grad. Om det aktuella flödet i ett visst ögonblick är större än kapaciteten för en viss ledning eller pumpstation måste vatten avledas (bräddning) för att undvika översvämning uppströms. Reningsverkets olika delar är dimensionerade på basis av q_{dim} , och traditionellt är reningsverket utrustat med bräddningsanordningar vid förbehandling ($4 \times q_{\text{dim}}$) och vid bio/kemsteg ($2 \times q_{\text{dim}}$).

Förändrade förutsättningar

Under de dryga 40 år som gått sedan SNV PM 190 gavs ut har mycket hänt kring avloppsvattenreningen i Sverige. Idag är t.ex. ca 94% av tätortsbefolkningen anslutna till reningsverk som har både biologisk och kemisk rening (resterande 6% till antingen biologisk eller kemisk rening). Kring 1970 var ca 5% anslutna till reningsverk med både biologisk och kemisk rening. Tekniken har gått framåt och kravbilderna har förändrats. Några av de i ett designperspektiv viktigaste förändringarna är:



Figur 1. Traditionellt VA-system.

- Nya reningstekniker har utvecklats.
- Reningsutrustningar har förbättrats.
- Mät- och analystekniken har förbättrats.
- Styr- och reglertekniken har förbättrats.
- Reningskraven har skärpts för organiskt material och fosfor.
- Reningskrav för kväve har tillkommit på många håll, vilket ställer helt andra krav på både bioreaktorer och slamavskiljningsenheter.
- Krav på att bräddning på ledningsnäten endast ska ske i nödsituationer och att det bräddade vattnet ska mätas i kombination med kommunernas arbete med ledningslagning har gjort att andelen (av totalflödet) avloppsvatten som bräddas på ledningsnäten har minskat. Detta betyder att de högsta flödestopparna får större inverkan på själva reningsverken numera.
- I viss utsträckning har bortkoppling av dagvatten från kombinerade ledningar skett och vid exploatering av nya områden leds dagvatten bort i ett eget system, ofta med åtgärder för att utjämna, fördröja eller rena flödet.
- Krav på att allt vatten som leds ut från reningsverk ska provtas och tas med i beräkningarna av utsläppshalter (och mängder) har gjort att andelen bräddat/förbillet vatten i reningsverken som inte provtas har minskat till nästan noll. Detta betyder att de högsta flödestopparna får större inverkan på hur reningen måste gå till.
- Mängden mätdata som står till förfogande vid design är markant större idag än på 1970-talet.

Tilläggs kan också att de pågående klimatförändringarna på sikt kan förändra flödesbilden och att krav på

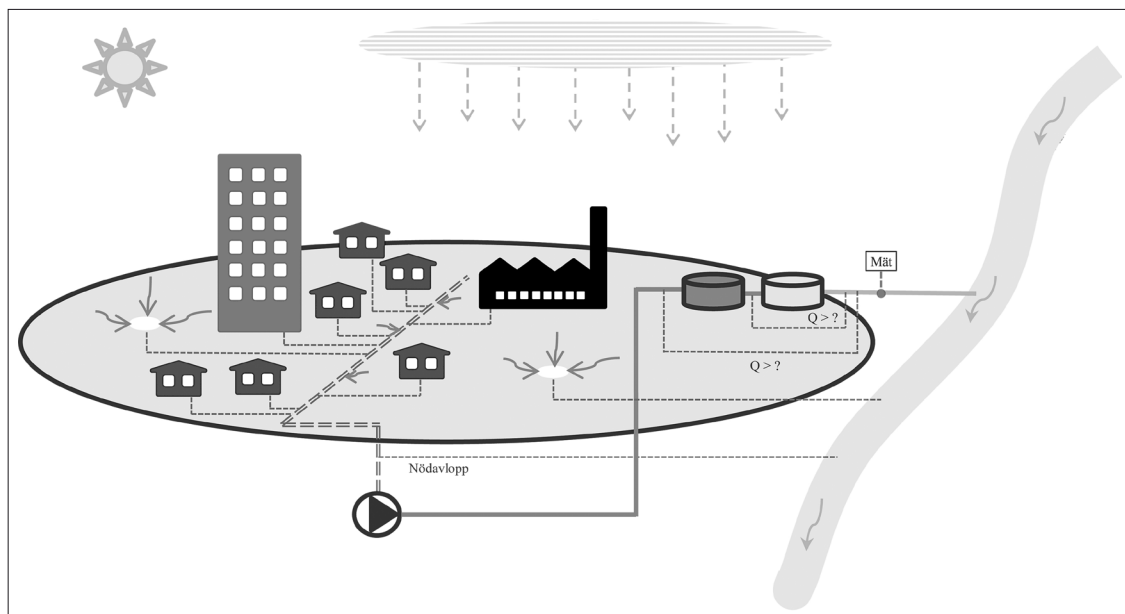
avskiljning av ytterligare komponenter i avloppsvattnet kan komma att ställas.

Även om reningsverksutbyggnaden i Sverige är nästan heltäckande är det ofta som omredesign måste ske till följd av att reningskraven skärps i samband med nytt tillstånd, ny utrustning ska installeras eller att man helt enkelt har svårt att klara utsläppskraven. Andra anledningar till omredesign som har börjat dyka upp idag är att man vill bygga nytt reningsverk, antingen för att den gamla lokaliseringen inte är bra eller att reningsverket av åldersskäl behöver ersättas. Ytterligare en anledning är att man vill förbereda sig för framtida eventuella reningskrav.

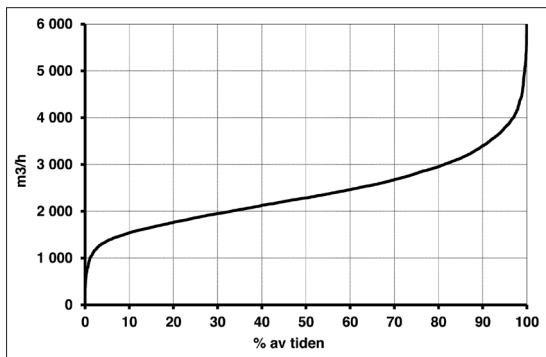
Metoden för flödesdesign i Sverige som beskrivits ovan kan knappast sägas gälla idag, men den har å andra sidan inte heller ersatts av någon annan metod. Detta i kombination med att den traditionella metoden, särskilt bruket av begreppet Q_{dim} , hänger kvar i stor utsträckning (undantaget de allra största reningsverken) gör att det finns anledning att se över metoden.

Förslag till ny metod

Dagens VA-system är i grunden likadant som för 40 år sedan, men som påpekats ovan har reglerna för bräddning och kraven på mätning av bräddflödet skärpts både på ledningsnäten och vid reningsverken, se figur 2. Eftersom allt vatten som kommer till reningsverket numera ska flödesmätas och provtas (flödesproportionellt prov) för haltanalyser innan det släpps ut till recipient



Figur 2. Dagens VA-system.



Figur 3. Varaktighetsdiagram.

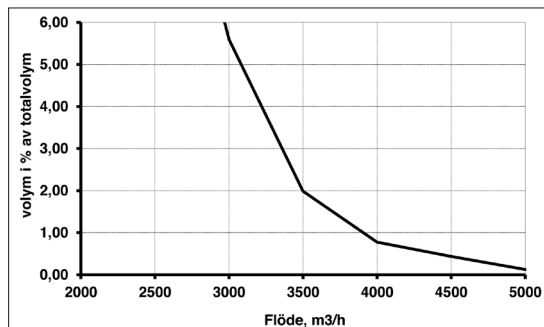
blir det riskfyllt att leda vatten förbi reningsverket eller reningssteg i reningsverket då detta kan få till följd att reningskraven inte kan klaras. Därför behövs bättre skattningar av designflöden än q_{dim} , $2 \times q_{dim}$ och $4 \times q_{dim}$. Tidsaspekten är också viktig – hur länge föreligger olika flöden?

Idag när reningsverksutbyggnaden i Sverige är nästan heltäckande och de flesta reningsverk i storlekar från några tusen personekvivalenter och uppåt har flödesdata i upplösningen m^3/h för några år bakåt i tiden, kan användbara varaktighetsdiagram över flödet tas fram. Dessa kan sedan användas för att beräkna konsekvensen av att styra/förbilda flödet på ett visst sätt i en viss processkombination i reningsverket.

Dimensionerande varaktighetsdiagram

För att ta fram ett relevant varaktighetsdiagram behöver åtminstone följande aspekter beaktas:

- Prognosperiodens tidshorisont behöver fastställas
- Varaktighetsdiagram för nuläge behöver tas fram
 - Tag fram flödesdata i upplösningen m^3/h för fem år bakåt i tiden, dvs. 24 värden per dygn under årens alla dygn.
 - För utsläppskrav ställt som årsmedelvärde blir det fem årsvaraktighetsdiagram som behöver upprättas för att sedan jämföras för att hitta det dimensionerande fallet.
 - För utsläppskrav ställt som kvartals- eller månadsmedelvärde behöver kvartals- eller månadsvaraktighetsdiagram upprättas för att sedan jämföras för att hitta det dimensionerande fallet.
- Framtida tillkommande flöde inom tidshorisonten för designen behöver bedömas, härvid krävs:
 - Prognos för flöde från industri.
 - Prognos för inläckage. För denna parameter kan t.ex. ett rimligt antagande vara att inläckaget i framtiden inte blir större än i nuvarande situation p.g.a. det ständigt pågående arbetet med ledningslagning/omläggning.



Figur 4. Andel av total volym under viss tidsperiod som flöden upp till visst flöde motsvarar.

- Prognos för tillkommande flöde från befolkningsökning i redan anslutna områden, anslutning av nyexploaterade områden eller tillkoppling av redan existerande områden.
 - För den del av det tillkommande flödet som härrör från befolkningsökning i redan anslutna områden är det rimligt att anta att flödesökningen enbart utgörs av den specifika vattenförbrukningen, t.ex. $180 l/p \times d$.
 - För den del av det tillkommande flödet som härrör från anslutning av nyexploaterade områden, där dagvatten tas om hand separat, kan samma antagande göras, med tillägget att om den tillkommande ledningslängden är betydande i förhållande till den existerande, bör visst inläckage läggas till.
 - För den del av det tillkommande flödet som härrör från tillkoppling av redan existerande områden kan historiska data användas. Om situationen är nedläggning av ett reningsverk och överföring av dess avloppsvatten, kan flödesdata från det nedlagda reningsverket användas.
- När det finns bra modeller för hur de pågående klimatförändringarna påverkar regnintensitet, varaktighet och återkomsttid bör deras inverkan på flödet i ett kombinerat ledningssystem beaktas.
- Momenten som beskrivits ovan leder fram till ett dimensionerande varaktighetsdiagram med ett principiellt utseende enligt figur 3, där % av tiden på x-axeln syftar på den relevanta tidsperioden (t.ex. år eller kvartal).

Varaktighetsdiagrammet i figur 3 kan sedan användas till att beräkna hur stor andel av totalvolymen den volym utgör som motsvaras av flöden upp till ett visst flöde. Detta är visat i figur 4, där exempelvis kan utläsas att flöden upp till $3500 m^3/h$ motsvarar en volym som utgör 98 % av totalvolymen under tidsperioden (som kan vara t.ex. år eller kvartal), dvs. flöden över $3500 m^3/h$ motsvarar 2 % av totalvolymen.

Processkombinationer och problemställningar

Det finns ett ganska stort antal möjliga processkombinationer i ett reningsverk, men gemensamt för samtliga är att någon form av galler eller silustrustning ligger först i reningskedjan, och detta steg bör normalt dimensioneras för att klara maxflöde. Nedan följer ett par exempel på frågeställningar där flödet är avgörande.

För ett reningsverk med försedimentering med förfällning, biosteg med kväveavskiljning och eftersedimentering (ev. med efterfällning) kan en frågeställning vara vid vilket flöde förbiledning av biosteget kan ske utan att utsläppskraven för kväve eller organiskt material överskrids, dvs. det flöde som biosteget måste dimensioneras för.

För ett reningsverk (utan försedimentering) med biosteg och eftersedimentering med efterfällning kan en frågeställning vara vid vilket flöde förbiledning av både biosteget och kemsteget kan ske utan att utsläppskraven för fosfor eller organiskt material överskrids, dvs. det flöde som biosteget och kemsteget måste dimensioneras för. För att kunna räkna på frågeställningarna ovan behövs utöver varaktighetsdiagram också prognoser över föroreningskoncentrationer.

Föroreningskoncentrationer

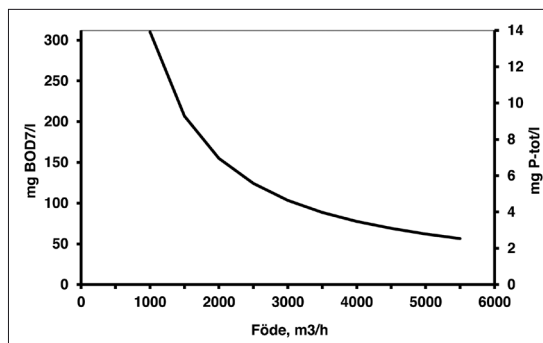
Precis som för flödet behövs för de olika föroreningskomponenterna en nulägesbeskrivning och en prognos över förändringar inom tidshorizonten för designen. I detta sammanhang är det medelbelastningar som är mest intressant – är situationen sådan att kraftiga säsongsvariationer väntas måste det beaktas för sig. Nuläget kan beskrivas av årsmedeltalet i kg/d av inkommande mängder organiskt material, fosfor och kväve.

Framtidsbedömningen delas upp i:

- Föroreningsbidrag från tillkommande industri – om prognos saknas kan denna beskrivas som ett medelutrymme i kg/d.
- Föroreningsbidrag från tillkommande personer. Här bör aktuella specifika medelföroreningsbidrag användas, t.ex. 60 gBOD₇/p×d, 2 gP-tot/p×d och 14 gN-tot/p×d.

Summan av nuvarande föroreningsbelastning och tillkommande föroreningsbelastning blir dimensionerande medelbelastning. Eftersom det vid de flesta frågeställningar handlar om att bedöma olika strategier vid höga flöden är det viktigt att för de olika föroreningskomponenterna avgöra vilka koncentrationer de föreligger i vid högflödessituation.

I stort sett fungerar höga flöden som utspädning, men det är viktigt att kontrollera detta mot historiska data. Efter att ha kontrollerat detta kan resulterande koncentrationer av de olika föroreningsparametrarna vid dimensionerande medelbelastning beräknas för olika flöden. Det principiella resultatet av en sådan beräkning (för BOD₇ och P-tot) visas i figur 5.

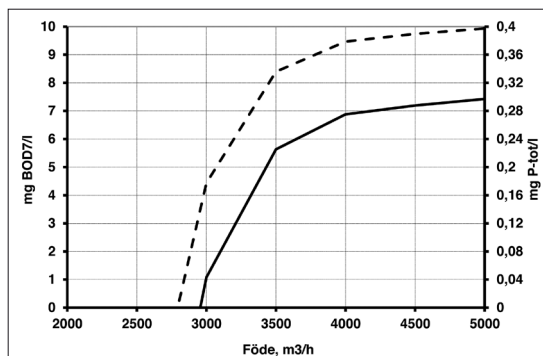


Figur 5. Utspädningseffekten principiellt – medelmängder i inkommande vatten vid olika flöden.

Beräkning av gränslöde

Genom att kombinera de beräknade prognoserna i de tidigare avsnitten kan konsekvensen av att vid ett visst flöde leda vatten förbi ett visst processteg beräknas, dvs. att t.ex. besvara frågeställningarna ovan. Härvid krävs ibland ytterligare antaganden. Om exempelvis frågeställningen är att länka av vatten från huvudprocessen efter försedimentering (ev. med förfällning) är det ett konservativt antagande att vattnet efter försedimentering håller samma kvalitet som inkommande vatten. Här kan göras antaganden om vilken avskiljning som kan påräknas i försedimenteringen vid visst flöde. Eventuellt finns historiska data som kan ge vägledning.

Oavsett vilka antaganden som görs kan emellertid föroreningsbidraget till det totala utgående vattnet från det förbileda vattnet beräknas för olika flöden. Detta kan i sin tur räknas om till krav på högsta tillåtna medelkoncentrationer i huvudflödet för att utsläppskraven ska kunna klaras. Det principiella resultatet av en sådan beräkning visas i figur 6 (för BOD₇ och P-tot), som i sin tur kan användas till att bedöma ett rimligt gränslöde.



Figur 6. Högsta tillåtna medelkoncentrationer i huvudflödet vid förbiledning vid visst flöde.

Avslutande kommentarer

Det förekommer i Sverige idag förmodligen flera olika sätt att hantera flödets variation i tiden vid design av reningsprocesser i reningsverk. Dock är det traditionella synsättet med bruket av q_{dim} frikopplat från tidsaspekten fortfarande dominerande. Dessutom har, som tidigare nämnts, ingen ny metod lanserats från myndighetshåll. Den här beskrivna metoden är ett försök att på ett konsekvent sätt, med hjälp av mätdata som oftast redan finns, koppla ihop flödets variation i tiden och föroreningsbelastning med reningsprocesser och utsläppskrav med olika tidsbas.

Förutom att minska risken att inte klara utsläppskraven kan bättre kunskap om flödets variation i tiden dessutom göra att onödig (och kostsam) överdimensionering kan undvikas. Utöver detta blir det också möjligt att skapa bättre driftstrategier. Avslutningsvis kan tilläggas att den här metoden bättre tydliggör sambandet mellan ledningsnät och reningsverk än den gamla metoden.

Referenser

Statens Naturvårdsverk, (1971) Dimensionering av kommunala avloppsreningsverk (SNV PM 190) Stencil.