



SPILDEVANDSKOMITEEN

ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 1 • 37. ÅRGANG • MAJ 2024

Adresseliste for udvalgsmedlemmer

Anders Badsberg Larsen

(Formand)

WSP

Alfred Nobels Vej 21C st. tv, 9220 Aalborg Øst

mail: anders.badsberg@wsp.com

Tlf. 6040 0492

Signe Barnes

Novozymes A/S

Hallas Alle 1, 4400 Kalundborg Denmark

e-mail: sgba@novozymes.com

Tlf. 3077 0985

Jesper Ellerbæk Nielsen

(Næstformand)

Aalborg Universitet,

Institut for Byggeri, By og Miljø

Thomas Manns Vej 23, 9220 Aalborg Ø

e-mail: jen@build.aau.dk

Tlf. 9940 2905

Andreas Kvist Fredberg

Rambøll

Olof Palmes Allé 22, 8200 Aarhus N

e-mail: akvf@ramboll.dk

Tlf. 5161 0445

Klaus K. Jensen

(Kasserer)

Vejle Spildevand A/S

Toldbodvej 20, 7100 Vejle

Email: klaje@vejlespildevand.dk

Tlf. 5172 4893

Jasper Vanger Jensen

NIRAS

Østre Havnegade 12, 9000 Aalborg

E-mail: Jhje@niras.dk

Tlf. 3085 0901

Rikke Rørvang

HOFOR

Ørestads Blvd. 35, 2300 København

e-mail: julbje@hofor.dk

Tlf. 2795 4309

Forside:

Billede af nyt sparebassin på Vejle Rensningsanlæg

Udgiver

Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA.

Indlæggene i bladet står for forfatterens egen regning, og Eva-udvalget er ikke nødvendigvis enig i den udtrykte holdning eller anbefaling.

Hjemmeside

www.evanet.dk

E-mail

evaudvalg@gmail.com

Dette blads redaktør

Klaus K. Jensen, klaje@vejlespildevand.dk

Næste blads redaktør

Anders Badsberg Larsen, anders.badsberg@wsp.com

Deadline for indlæg til næste blad

August 2024

Næste blad forventes udgivet

September 2024

Redaktion

Margrethe Nedergaard, man@skanderborgforsyning.dk

Indhold

Leder	5
Indbydelse til Temadag	6
Håndtering af usikkerheder ved beregning af regnafstrømning i byer – Arbejdsgruppens sammenfatning og anbefaling Toke Illeris og Birgit Paludan	10
Sikkerhedsfaktoren i Skrift 27 – Forudsætninger og forbehold ifm. dimensionering Jan Høybye	16
Vakuumsystemerne gør comeback Søren Holm Andersen	22
3 i 1-løsning sikrer rekreativitet på Stigsborg Havnefront Jacob Kiel Thomsen	26
Krydsning af jernbanen – Hvor svært kan det være? Rikke Holmsgaard og Kristian Rosted Brødbæk	30

Kalender

Faglige arrangementer

EVA-udvalget opfordrer til, at medlemmerne holder øje med faglige arrangementer på relevante hjemmesider (EVA-udvalget, DANVA, IDA Miljø, Ferkvandscenteret m.fl.)

EVA-udvalget søger at placere temadage så de ikke konflikter med andre større fagligt relevante arrangementer.





Leder

Kære EVA-medlem

Årsmøde og nye udvalgsmedlemmer

Så er det tid til igen at fordybe sig i spændende læsning i dette års første EVA-blad. Vi starter med et kort tilbageblik og retter ellers øjnene frem mod næste temadag den 13. juni, der omhandler **Vandhåndtering i og omkring vandløbene.**

Forrige temadag, afholdt den 25. januar, bød på erfaringsudveksling i alle faser af projekterne, dog med fokus på de svære anlægstekniske dele og de udfordringer, man møder undervejs i planlægning af sådanne projekter. Vi dykkede ned i emner omkring etablering af større ledninger i ufremkommelige steder til anlæggelse af utraditionelle anlæg, herunder LAR-bede uden nedsivning til vakuumsystemer. Og hvem ved, måske bliver det utraditionelle snart det traditionelle – vi glæder os til at følge udviklingen tæt de kommende år.

I forbindelse med temadagen afholdt EVA-udvalget sit årsmøde. EVA-udvalget sagde farvel til hele tre udvalgsmedlemmer, Tina Kristensen Nettelfield, Benedikte Foldby Jakobsen og Julie Evald. Tina og Benedikte har begge siddet i udvalget i seks år og måtte derfor give stafetten videre. Julie har siddet tre år og valgte at give stafetten videre til nye kræfter. Vi vil gerne benytte lejligheden til at sige tak for arbejdet, engagementet og ikke mindst de gode snakke på kryds og tværs. I stedet byder vi velkommen til tre nye medlemmer, Andreas Kvist Fredberg, Jasper Vagner Jensen og Rikke Rørvang – velkommen til.

Næste temadag omhandler Vandhåndtering i og omkring vandløbene. En række indlægsholdere åbner op for relevante emner som miljøfarlige stoffer og deres betydning for vandløbene samt naturgenopretningsprojekter, der forsøger at omlægge og omfordele jord omkring vandløbene, så de bliver mere robuste til at modstå større vandmængder i fremtiden. Vi stiller altså spørgsmålene, hvilke krav stiller naturen, og kan vi bruge naturen naturligt og rekreativt til vandhåndteringen?

Du kan læse meget mere om de enkelte indlæg i programmet for næste temadag.

Vi glæder os til en spændende og inspirerende dag.

EVA-udvalget

EVA-udvalget indbyder til

EVA-temadag

Torsdag den 13. juni 2024, Hotel Nyborg Strand

Vandhåndtering – Udledning & Naturgenopretning

Der er i de seneste år kommet mere og mere fokus på at få naturen inkorporeret i vandhåndtering, vandløbene og naturen omkring.

Udledninger fra urbane områder har stor betydning for kvaliteten i vandløbene, hvorfor udledning af miljøfarlige stoffer er et højaktuelt emne, som vi forsøger at belyse nærmere. Udtagning af lavtliggende jordarealer til vandparkering og klima-lavbundsprojekter for at beskytte mod oversvømmelser og bidrage til ændret natur kan være en løsning.

På denne temadag dykker vi ned i det højaktuelle emne omkring hensyntagen til naturen under vandhåndtering. Vi stiller spørgsmålene, hvilke krav stiller naturen, og kan vi bruge naturen naturligt og rekreativt til vandhåndteringen?

Temadagen henvender sig til dem, der arbejder med alt fra udledning af overfladevand til vandløb til dem, der arbejder med at anvende naturen til klimasikring og naturgenopretning imod mere vand fra oven, fra neden og fra siden.

PROGRAM

9:30 Kaffe/te og rundstykker

10:00 Velkomst og indledning

v. Anders Badsberg Larsen, EVA udvalget

Introduktion til dagens emne.

10:10 Udledning af miljøfarlige stoffer

v. Maja la Cour Bohr, WSP

En skærpet praksis for udledning af miljøfarlige stoffer giver væsentlige udfordringer når der søges eller gives tilladelser til udledning af regnvand.

Regnvand kan potentielt set indeholde et væld af miljøfarlige stoffer i meget varierende koncentration. Samtidig er tilstanden i recipienten afgørende – og den er oftest ikke-god eller ukendt.

Rammerne giver mulighed for fortolkning, og en vejledning for regnvand er endnu ikke udarbejdet. For den enkelte udledning skal der derfor træffes en række valg om, hvor snittes skal lægges; hvilke stoffer er relevante, og hvilket datagrundlag er påkrævet.

En række projekter har det sidste års tid afprøvet forskellige strategier, og erfaringer herfra vil blive præsenteret.

DELTAGERGEBYR

STUDERENDE,
IKKE MEDLEM AF IDA
kr. 0

LEDIG
kr. 0

STUDIEMEDLEM
kr. 0

MEDLEM AF ARRANGØR
kr. 2.150

IDA-MEDLEM
kr. 2.150

SENIORMEDLEM
kr. 2.550

IKKE IDA-MEDLEM
kr. 3.450

Er du ph.d. studerende?

Så kan du blive tilmeldt til 0 kr!

Skriv til koordinator
Sylvie Chambelland på
syc@ida.dk så sørger
hun for din tilmelding.

TILMELDING

Tilmeld dig på
IDAs hjemmeside

HVOR DU OPGIVER

- Arrangement nr.
- Navn
- Adresse
- Tlf. nr.
- E-mail
- Helst fødselsdato
- Oplysning om du er ingeniør eller ej.

(Arrangementet
er åbent for alle)

10:40 Samlet påvirkning af udledninger til de enkelte recipienter

v. Sara Egemose, SDU

Vandkvaliteten i et vandløb er et resultat af den samlede påvirkning fra oplandet. Derfor kan en arealbaseret analyse bruges til at opdele den potentielle påvirkning i kilder samt estimerer størrelsen af de enkelte kilder i form af f.eks. N, P, C eller andre stoffer. En mulig kilde kan være overløb, som kan have både akutte og akkumulerede effekter i recipienten, men hvornår, hvor og hvad betyder de i forhold til de andre kilder?

11:10 Kaffepause

11:30 Etablering af kunstige vådområder

v. Nikolaj Thomassen, WSP

Der gives en overordnet præsentation af kunstige vådområder, der både inkluderer forundersøgelser, myndighedsforhold og udførelsespraksis. Indlægget afsluttes med en præsentation af udførte projekter og giver en kort evaluering og input til fremtidige anvendelsesområder.

12:00 Synergi-projekt Fovrfelt Ådal

v. Lene Aalbæk Jepsen, DIN Forsyning

Projektet er fra DIN Forsynings vinkel startet som 'Regnvandshåndtering for Tarp og Guldager Station.' I forbindelse med separering af det sidste område i oplandet, skal der findes en samlet løsning for håndtering af regnvandet – en kompleks opgave, hvor udledningpunktet fra et befæstet areal på ca. 70 ha er helt i toppen af vandløbet Fovrfelt Bæk.

Esbjerg Kommune har tidligere udarbejdet en helhedsplan for Fovrfelt Ådal: "Forbedret vand- og naturtilstand og nye muligheder for udfoldelse" og der er indsatser ift. okker og genslyngning fra vandområdeplan III samt potentiale for et klimalavbundsprojekt. Derfor er det oplagt at betragte udfordringer og tiltag i sammenhæng.

Esbjerg Kommune og DIN Forsyning arbejder nu med at finde løsninger og synergier mellem tiltagene om vand, natur og rekreative interesser; elementerne tegner sig pt. i retning af et forbassin, et konstrueret vådområde/infiltrationsområde, et hævet vandløb og rekreative tiltag.

12:30 Frokost

13:30 Multifunktionel jordfordeling med fokus på vandhåndtering

v. Jesper Blaabjerg | Jordfordelingsplanlægger, Landsbrugsstyrelsen

Jordfordeling anvendes ofte som middel til at opnå frivillige aftaler med lods-ejere, når deres arealer skal indgå i projekter, der kræver ændret anvendelse af arealerne. Det er primært ved vådområder (kvælstof) og lavbundsprojekter (klima), men anvendes også ved indgåelse af aftaler om skovrejsning, grundvandsbeskyttelse etc. I præsentationen gennemgås processen i en jordfordeling og ikke mindst beskrives de mekanismer der er i spil, når en jordfordeling skal gennemføres

14:00 Drukner birkemusen og skades naturen ved opmagasinering af vand i Kolding Ådal?

v. Marianne Yde, Kolding Kommune & Esben Kristensen, Envidan

Kolding Kommune og BlueKolding planlægger etablering af opmagasinering af overfladevand i Kolding Ådal i stor skala, hvor der skal findes plads til midlertidig opmagasinering af 2,3 mio. m³ vand. Formålet er at begrænse oversvømmelser i Kolding by, som har været hyppige de seneste år. Planlægningen har stået på i en årrække, hvor særligt forhold omkring natur og beskyttede arter har krævet megen opmærksomhed. I oplægget fortælles om projektet og processen, herunder registreringer af bilag IV-arter, konsekvensvurdering af § 3 beskyttet natur, deponering af næringsstoffer i ådalen ved opmagasinering, udpegning af erstatningsnatur, de modsatte hensyn og dokumentationens uendelighed.

14:30 Kaffepause

14:50 Naturgenopretning af Danmarks (måske) største klima/lavbundsprojekt

v. Asger Thode Kristensen, Naturstyrelsen

Ribe Å er ca. 20 kilometer langs vandløb og udmunder i Vadehavet. Ribe Å er en del af et indlandsdelta, som tidligere blev oversvømmet jævnligt før havdiget blev en realitet for godt 100 år siden. Vandløbet er udtaget til naturgenopretning i et forsøg på at genetablere flora og fauna. Indlægget beskriver den planmæssige proces og hvilke udfordringer og gevinster et sådant projekt imødekommer.

15:25 Afrunding og afsluttende bemærkninger

v. Anders Badsberg Larsen, EVA udvalget

15:30 Tak for denne gang og kom godt hjem

Håndtering af usikkerheder ved beregning af regn-afstrømning i byer

– Arbejdsgruppens sammenfatning og anbefaling



Af: Toke Illeris,
Formand for
Regnudvalget



Af: Birgit Paludan,
Regnudvalget

I forbindelse med et større arbejde med at gennemgå dimensioneringspraksis for afløbsbranchen, har en arbejdsgruppe under Spildevandskomiteens Regnudvalg gennemført et arbejde med at gennemgå eksisterende praksis vedrørende beregning af usikkerheder på dimensionering og analyse af afløbssystemer, herunder at foreslå mulige fremadrettede forbedringer og præciseringer.

Projektet består af:

Del 1: Begrebsafklaring og problembeskrivelse

Del 2: Metoder og forudsætninger

Del 3: Eksempler inklusive 4 regneark

Samt en sammenfatning som opsummerer de tre dele af projektet og som er gengivet her.

Nærværende artikel er baseret på sammenfatningen.

Du finder rapportens tre dele samt eksemplerne på Spildevandskomiteens hjemmeside:

<https://spildevandskomiteen.dk/usikkerhedsprojekt/>

SFT fonden, IDA Spildevandskomiteen og tre forsyninger har støttet udarbejdelsen af projektet. Udvalget takker for denne støtte, som har resulteret i flere delrapporter og eksempler. Disse leverancer stilles til fri afbenyttelse. Brug sker på eget ansvar, og der gives ingen garanti for beregningers rigtighed eller relevans for den sammenhæng, de benyttes i.



Helt overordnet laves der ikke om på Spildevandskomitéens anbefalinger i Skrift 27. Usikkerheder skal vurderes, så der kan opnås et passende sikkerhedsniveau. Formålet med delrapporterne er, at de skal hjælpe branchen til at følge anbefalingerne ved at stille anvisninger og eksempler til rådighed.

Det er arbejdsgruppens forhåbning, at der ved eksemplernes brug fremkommer en større pulje af erfaringer for hvordan sikkerhedsfaktorer beregnes og anvendes, og at der med anvendelse af metoderne kommer en transparent og velovervejet praksis for håndtering af regn- og spildevand i byer.

Termer

Det foreslås at opdatere den nuværende notation vedr. klimafaktorer (og evt. andre scenariefaktorer), så man får adskilt sikkerhedsfaktorer og scenariefaktorer (og produktet af dem). Denne skelnen mellem sikkerhedsfaktorer og scenariefaktorer går igen i delrapport 1 og 2. I Skrift 27 blev scenariefremskrivninger beskrevet som usikkerheder, hvilket betød, at usikkerheder på scenariefremskrivninger var fraværende. Med den foreslåede skelnen kan der bl.a. i forbindelse med dimensionering tages højde for usikkerheder på scenariefremskrivninger, og at usikkerhederne kan øges over tid.

Skrift 27 beskriver, hvordan disse to typer af usikkerhed kan samles i én samlet beskrivelse i form af en usikkerhed på belastningen. Fordelen ved denne metode er, at den kan anvendes i distribuerede modeller (såsom MIKE+). Ulempen er, at det er en mindre gennemsigtig beskrivelse af den samlede usikkerhed (vi kender den som usikkerhedsfaktoren på 1,2). Delrapport 2 beskriver både teoretisk og praktisk, hvordan man ved at lave en mere simpel lineær og ikke-distribueret model af afstrømningen kan opnå en væsentlig bedre forståelse af den samlede usikkerhed, herunder hvordan de enkelte bidrag til usikkerheden spiller sammen. Det giver mulighed for både at undersøge betydningen af de antagelser om usikkerheder, som ofte foretages, og at kommunikere usikkerheden mere præcist og forståeligt til andre aktører.

Det anbefales fremover, at der anvendes følgende terminologi:**Sikkerhedsfaktor:**

En faktor, som udtrykker den samlede forventede kapacitet af et system divideret med den forventede belastning af systemet. En sikkerhedsfaktor skal sikre, at man opnår det ønskede sikkerhedsniveau mod underdimensionering.

I del 1 beskrives den samlede usikkerhed på belastning og kapacitet ved en fordeling på belastningen. I del 2 beskrives usikkerhederne på kapaciteten og belastningen ved separate fordelinger.

Scenariefremskrivning:

Scenariefremskrivning beskriver den forventede udvikling over tid. Det kan ske i form af faktorer på regnintensiteten, f.eks. til at beskrive forventede klimaændringer af ekstremregn. Scenariefremskrivninger er også usikre. Begrebet introduceres i Skrift 27, som en faktor til at beskrive byudvikling og klimaændringer, men der skelnes ikke i skriftet mellem scenariefaktorer og faktorer, der beskriver usikkerheder. I dette projekt anbefales det, at de adskilles.

Byudvikling og fortætning bør overvejes i dimensioneringen af afløbssystemer. Scenariefremskrivning af det tilsluttede areal kan gøres ved at øge eller reducere befæstelsesgrader i den hydrauliske model eller – i simple tilfælde – ved at arbejde med en byfortætningsfaktor, som ganges på regnen og dermed indgår i den operationelle faktor.

Sikkerhedsfaktor på afstrømning:

Sikkerhedsfaktoren på afstrømning er den samlede faktor, som skal ganges på regnintensiteten for at tage højde for alle usikkerheder på regnen samt det hydrologiske og hydrauliske system. *Denne faktor blev i Skrift 27 kaldt "sikkerhedsfaktoren"*

Operationel faktor:

Den samlede faktor som ganges på den dimensionsgivende regnintensitet. Den kan inkludere: sikkerhedsfaktor på afstrømningen, scenariefremskrivning og bias-faktor.

Kom i gang/opstart/før du går i gang

En del af grundlaget for vurdering af usikkerheder ved dimensionering er (uanset projektype), at der indledningsvis fastlægges middelværdier og relative usikkerheder på inputparametre og scenariefremskrivninger. Endvidere vurderes korrelationer parametrene imellem. De væsentligste usikkerheder er beskrevet i delrapport 1. Fastlæggelse af middelværdier og usikkerheder på inputparametre er grundlaget for enhver efterfølgende vurdering af usikkerhed. Fastlæggelse af middelværdier og usikkerheder kan ske på baggrund af erfaringer og ved indsamling og analyse af målinger. Der kan også benyttes fagtekster, ekspertvurderinger m.m.

Det vil være nødvendigt at få fastlagt beslutningsproces, ansvarsfordeling og rammer for dimensionering af projektet. Fastlæggelse af rammer er beskrevet i både del 1 og del 2. Anvendelse af pålidelighedsmetoden indebærer, at man adskiller belastningsniveau (beskrevet ved gentagelsesperioden) og sikkerhedsniveauet samt anlæggets forventede levetid (mål for kapaciteten). Denne udvidelse af dimensioneringsgrundlaget kan få indflydelse på beslutningsprocessen/ansvarsfordelingen og er diskuteret i Del 2.

Metodevalg for vurdering af usikkerheder

Der er et par betragtninger, som kan hjælpe brugerne til at finde et passende **detaljeringsniveau** og en passende **metode** til vurdering af usikkerheder.

Detaljeringsniveau afhænger af projektets størrelse og fase

Metode og detaljeringsniveau til vurdering af usikkerheder skal stå mål med projektets fase og størrelse. Er projektet på et tidligt stade (skitsefase), vil det være fornuftigt at bruge simple analytiske metoder til usikkerhedsvurdering. Når dimensioner fastlægges (designfase) kan usikkerhedsvurderingen foretages mere detaljeret med numeriske metoder.

Er der tale om store investeringer, vil det i reglen være ønskeligt at gå mere i detaljen med metoderne end på mindre projekter.

Metode afhænger af systemet

Fastlæggelse af metode til vurdering af usikkerhed sker i betragtning af systemet, der skal dimensioneres, herunder opland og randbetingelser.

Det gælder generelt, at de simple metoder med anvendelse af sikkerhedsfaktor fungerer bedst (dvs. er mest retvisende) for lineære og simple/isolerede systemer.

Lineære/simple systemer er systemer, hvor der er et (tilnærmelsesvist) lineært forhold mellem nedbørsinput og vandføring, samt at der er en simpel og entydig sammenhæng mellem vandføring og den dimensionsgivende variabel (f.eks. kote). Dvs. at al nedbør og afstrømning transporteres til og gennem et system uden styring, magasinering, divergerende flow, væsentlig hysteresis eller dynamiske randbetingelser.

Omvendt vil komplekse systemer indeholde disse elementer, som i praksis betyder, at en ændring i input (f.eks. en højere nedbørsintensitet) ikke oversættes til en tilsvarende relativ stigning i vandføring eller et volumen i det system, der skal dimensioneres.

Simple lineære systemer – sikkerhedsfaktor på afstrømningen

Et lineært simpelt system opfylder kriterierne for "beregningsniveau 1" i Skrift 27. Her kan analytiske metoder anvendes. I den slags systemer er gentagelsesperioden i systemet den samme som regnhændelsens gentagelsesperiode. Det samme gælder sikkerhedsniveauet, hvorfor en sikkerhedsfaktor på regninputtet (sikkerhedsfaktor på afstrømningen) giver den samme sikkerhedsfaktor på effekten i systemet. En sikkerhedsfaktor på belastningen vil derfor være tilstrækkeligt. Sikkerhedsfaktoren beregnes ved anvendelse af regneregler for fejlphobning på produkter (se delrapport 2, kap 5.2 og illustration 5.1- 5.3).

Komplekse tilnærmelsesvis lineære og ikke-lineære systemer – Usikkerhedsanalyse

For at vurdere usikkerhed på andre (tilnærmelsesvis lineære og ikke-lineære) systemer, vil det være nødvendigt at gennemføre en usikkerhedsanalyse.

I det følgende er der givet en sammenfatning af **Usikkerhedsanalysen** i projektets del 2, som søger at give læseren et overblik over indholdet:

I usikkerhedsanalysen skal der indledningsvis skabes et overblik over systemets dynamik (linearitet) ved at undersøge **systemets opbygning** og **respons på ændringer i input**. Dette overblik gavner også den øvrige dimensioneringsproces.

Systemets opbygning analyseres ift. indhold af komplicerende elementer (styring, overløbskanter, pumper, magasinering, tilbagestuvning), samt om disse kommer i spil under dimensioneringssituationen. Det kan være nyttigt at tegne systemet skematisk op i den forbindelse. Bemærk her, at et system kan opføre sig lineært ved én belastning (fx mindre end den dimensionsgivende), men ved en større belastning som fx overskrider den dimensionsgivende belastning, kan opføre sig ikke-lineært pga. stuvning, kapacitetsbegrænsninger, mv.

Systemets respons på ændringer i input vurderes med **følsomhedsanalyser** og det kan ske analytisk eller med en hydraulisk model. Her vil en ændring i det dimensionsgivende input i forhold til middelværdier (f.eks. +/- en standardafvigelse på regnintensitet, hydrologisk reduktionsfaktor, manningstal, afløbstal osv.) resultere i ændringer i vandføring eller volumen i det system, der dimensioneres. Følsomhedsanalysen giver et overblik over:

- 1) Er systemet tilnærmelsesvis lineært eller ikke-lineært
- 2) Hvor meget ændrer den resulterende variabel sig som funktion af ændringer i input (følsomhedsfaktorer)
- 3) Hvor meget bidrager de enkelte inputusikkerheder til den samlede usikkerhed (variansbidrag)

På baggrund af punkt 3 kan det vurderes, om og hvilke usikkerheder, som skal reduceres pba. målinger og andre erfaringer. Følsomhedsfaktorer og variansbidrag indgår desuden som et mellemresultat i en usikkerhedsanalyse.

Er systemet tilnærmelsesvis lineært og simpelt, kan de analytiske metoder fortsat bruges i form af 1. ordens usikkerhedsanalyse. Metodens resultat er en varianskoefficient (CV) på den resulterende variabel (belastningen), der kan omregnes til en sikkerhedsfaktor ved hjælp af del 2, formel 15-17. Metoden er beskrevet i delrapport 2 kap 5.3 og eksemplificeret i kap 6.

Er systemet ikke-lineært og komplekst, vil det i stedet for analytiske metoder, være nødvendigt at bruge numeriske metoder, hvor man med Monte Carlo beregninger foretager usikkerhedsanalyse og dimensionering. 2-Faktorforsøg er en simplificeret Monte Carlo metode, og er derfor hurtigere at gennemføre end fuld Monte Carlo. 2-faktorforsøg stiller krav om symmetriske fordelinger og kan ikke inkludere krydskorrelationer på input. Der kan spares meget beregningstid ved at "pulje" usikkerheder ved hjælp af analytiske metoder (se: fejllophobning og varianstræ). Med disse tricks (anvendelse af faktorforsøg, regler for fejllophobning og følsomhedsfaktorer mv.) er det i reglen meget få gennemregninger, der skal gøres med en distribueret hydraulisk model, for at vurdere usikkerheden. Igen vil det – når usikkerhedsvurderingen er gennemført med faktorforsøg – være muligt at finde en sikkerhedsfaktor med del 2, formel 15-17.

Fuld Monte Carlo analyse er en rent numerisk metode, der ikke stiller krav om fordelinger, og giver mulighed for at definere korrelationer mellem inputparametre. Metoden giver en samlet fordelingsfunktion på belastningen og kapaciteten af anlægget, der skal dimensioneres, samt fordelingsfunktionen på forskellen. Der regnes herfra baglæns for at finde en korresponderende sikkerhedsfaktor. Dette er eksemplificeret i Skrift 27, kap 6. Bemærk, at i eksempel i Skrift 27 er usikkerhed på kapacitet inkluderet i den samlede usikkerhedsfaktor på afstrømningen, hvilket ikke nødvendigvis er korrekt i alle tilfælde. Det er også muligt at anvende Monte Carlo i den pålidelighedsteoretiske udgave. Det er eksemplificeret i delrapport 2, kap 7.

Eksempler som hjælp til at komme i gang

Der er udarbejdet 4 Excel regneark, som inspiration til hvordan man kan inkludere usikkerhed. Arkene omfatter tre repræsentative eksempler: oplandsafstrømning, rørdimensionering og to typer af bassindimensionering, hvoraf det ene viser, hvordan man kan beregne usikkerhed på bassindimensionering med metoden fra SVKs Regnrækkeværktøj. Arkene viser de tre metoder, hvormed usikkerhed kan inkluderes: ved anvendelse af sikkerhedsfaktor på afstrømningen, gennemføre beregninger af usikkerhed i simple lineære og i komplekse systemer.

Arkene er ikke tænkt som deciderede dimensioneringsværktøjer, som f.eks. SVKs Regnrækkeværktøj (CDS regnearket), men som støtteværktøj til at komme gennem analyserne af usikkerhed.

Fremadrettet anbefaling

Regnudvalget anser de tilhørende rapporter og eksempler som et bidrag til at finde metoder til at beskrive og håndtere usikkerheder på en mere kvalificeret måde i forbindelse med afløbstekniske analyser. Etablering af en praksis for håndtering af usikkerheder i Skrift 27 var et nødvendigt paradigmeskift.

Samtidigt ændrer behovet for at håndtere usikkerheder sig over tid, og nogle typer af dimensionering går uden for den ramme, som Skrift 27 var tiltænkt.

Det er samtidig Regnudvalgets anbefaling, at principperne fra Skrift 27 stadig anvendes. Det bemærkes dog, at den erfaringsopbygning som Skrift 27 opfordrede til, hidtil ikke har fundet sted. Det er således bekymrende, at den samlede investering i at opbygge og vedligeholde afløbssystemer er baseret på et dimensioneringsprincip, der kun er undersøgt på ét afløbssystem. Der er således et stort behov for yderligere analyser også indenfor den hidtidige ramme for at beskrive usikkerheder.

Regnudvalget opfordrer til, at man nøje overvejer at udarbejde en usikkerhedsanalyse, hvis projektet omfatter investeringer af en vis størrelsesorden eller hvis systemet er komplekst. I artiklen i dette EVA-blad "Sikkerhedsfaktoren i Skrift 27 – Forudsætninger og forbehold ifm. Dimensionering" diskuteres anvendelsen af sikkerhedsfaktoren på afstrømningen.

Du finder rapportens tre dele samt eksemplerne på Spildevandskomiteens hjemmeside:
<https://spildevandskomiteen.dk/usikkerhedsprojekt/>

Sikkerhedsfaktoren i Skrift 27

– Forudsætninger og forbehold ifm. dimensionering



Af: Jan Høybye,
Uafhængig teknisk rådgiver

Regndata er som så mange andre data usikre størrelser. Som det fremgår af SVKs regionale regnrækker (IDF-kurver), så har regnintensiteter, for en given varighed og gentagelsesperiode, derfor både en middelværdi og en standardafvigelse. Standardafvigelsen er et mål for hvor sikker man kan være på, at en beregnet middelregnintensitet i virkeligheden repræsenterer en given gentagelsesperiode. Derfor skal man i dimensioneringen foretage en analyse og estimering af hvilken effekt denne usikkerhed på belastningen, inklusive de øvrige usikkerhedskilder, har på den resulterende effekt i systemet.

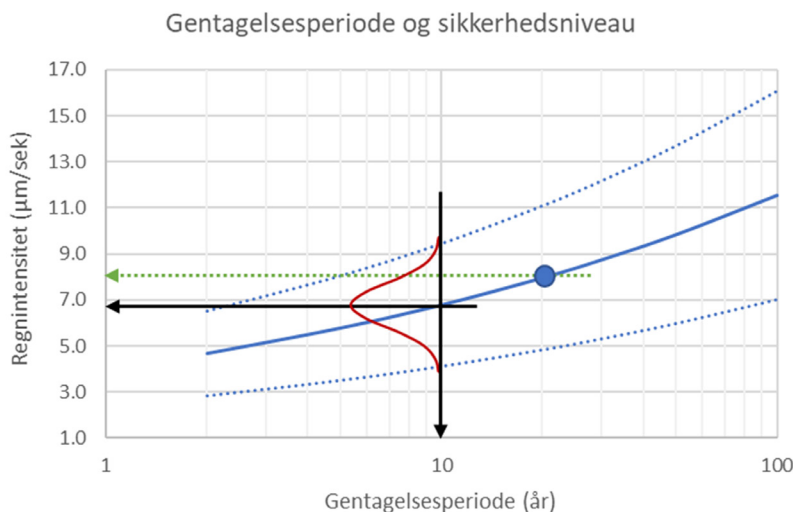
I SVK Skrift 27 anbefales det at anvende en enkelt sikkerhedsfaktor for at tage højde for usikkerheder i beregninger af dimensionsgivende værdier for f.eks. oplandsafstrømning og bassintilstrømning. Den ønskede sikkerhedsfaktor på afstrømningen ganges på regninputtet og antages at inkludere alle usikkerhedsbidrag i systemet. Imidlertid kan denne dimensioneringsmetode kun anvendes for simple systemer, hvor der er en direkte og repræsentativ sammenhæng mellem regnintensiteter og effekten i systemet. For dimensioneringsopgaver hvor denne forudsætning ikke er opfyldt, skal man i stedet benytte andre typer af dimensioneringsmetoder, f.eks. sikkerhedsmarginmetoden (det lineære pålidelighedsindeks) og tilhørende usikkerhedsberegninger (analytiske metoder, Monte-Carlo simuleringer), som er beskrevet i usikkerhedsprojektet del 2.

Introduktion

Der er to centrale og komplementerende faktorer man skal forholde sig til i dimensioneringen af hydrauliske/afløbstekniske anlæg (og konstruktioner i almindelighed):

1. Belastningens størrelse beskrevet ved det antal år, der gennemsnitligt går mellem hændelser over et vist niveau (gentagelsesperiode = T år)
2. Sandsynligheden for, at anlægget opfylder sit formål, dvs. har den ønskede økonomiske og tekniske kapacitet, givet den valgte gentagelsesperiode. Denne sandsynlighed benævnes *sikkerhedsniveauet* og er komplementær til *svigtsandsynligheden*.

Når man f.eks. vælger en regnhændelse med en gentagelsesperiode på 10 år (for en given varighed), så får man ved brug af SVKs regnrækker den tilhørende middelregnintensitet. Ordet "middel" er anvendt her for at tydeliggøre, at der er en vis usikkerhed forbundet med den resulterende middelregnintensitet. En gentagelsesperiode på 10 år betyder, at der er en sandsynlighed på 10% for at den tilhørende regnhændelse overskrides i et tilfældigt år. Sammenhængen mellem de to usikkerhedsdimensioner for en T -års regnhændelse er vist i Figur 1, side 17.



Figur 1
Illustration af funktionen af henholdsvis gentagelsesperiode og sikkerhedsfaktor.

Figuren viser beregning af regnintensiteten vha. en ekstremværdifordeling (SVK IDF-funktion) som funktion af gentagelsesperioden (varighed = 60 min). Den blå kurve viser middelmiddelt regnintensiteten (baseret på historiske data fra mange regnmålere), som for en gentagelsesperiode på 10 år er ca. $6,8 \mu\text{m/s}$ (de to sorte pile). Dvs., at man kan forvente, at regnintensiteter på mere end $6,8 \mu\text{m/s}$ (over en varighed på 60 min) vil forekomme i gennemsnit hvert 10'ende år. Imidlertid er regnintensiteten en usikker størrelse, typisk karakteriseret ved middelværdi og standardafvigelse. Det betyder, at regnintensiteten for hver gentagelsesperiode har et variationsinterval (konfidensinterval), i figuren vist med de blå stiplede kurver (95% konfidensinterval for en relativ usikkerhed på 20%).

Hvis man for eksemplets skyld antager, at 10-års regnintensiteten er normalfordelt (den røde frekvensfunktion i figuren), så vil der være 50% sandsynlighed for at 10-års hændelsen kan være større hhv. mindre end middelværdien. Når man derfor vælger middel T -års regnintensiteten som karakteristisk belastning af et hydraulisk system, så kan man ikke være sikker på, at man i virkeligheden dimensionerer for en T -års hændelse. Det er illustreret med den grønne stiplede linje, der repræsenterer regnintensiteten svarende til middelværdien plus én gange standardafvigelsen (84%-fraktilen). Man kan derfor vælge at dimensionere for en regnintensitet på ca. $8,2 \mu\text{m/s}$ svarende til 84%-fraktilen ($6,8 + 6,8 \cdot 1 \cdot 20\%$) og dermed være 84% sikker på, at 10-års hændelsen ikke overskrides i et tilfældigt år (årlig svigtsandsynlighed på 16%).

Hvis man kan acceptere en sandsynlighed på 50% for at T -års hændelsen overskrides i et tilfældigt år, så skal man bruge en sikkerhedsfaktor (SF) = 1, hvor SF per definition er forholdet mellem kapacitet (dimensionsgivende/regningsmæssig værdi) og belastning (middelværdi/karakteristisk værdi). Hvis det ikke er acceptabelt, skal man anvende en sikkerhedsfaktor, der er større end 1 og som modsvarer bygherres/myndigheders krav til sikkerhed. Man kan derfor opfatte gentagelsesperioden som et mål for belastningen af systemet, mens sikkerhedsniveauet er relateret til systemets kapacitet, i den forstand at det angiver, med hvilken sikkerhed anlægget/konstruktionen opfylder sit formål (den foreskrevne ønskede funktion) og er økonomisk rentabelt, givet det valgte belastningsniveau.

Lidt om sikkerhedsfaktoren i Skrift 27

SVK Skrift 27 danner grundlaget for dimensionering af afløbssystemer med en række anbefalinger af bevidst valgte sikkerhedstillæg. Skrift 27's anbefalinger dækker primært ledningsdimensionering, men i mangel af bedre er anbefalingerne i Skrift 27 også blevet benyttet til dimensionering af andre typer af anlæg, dvs. også bassiner, faskiner, mm., på trods af, at dette ikke var hensigten.

I Skrift 27 er der anført to grundforudsætninger for de anbefalede metoder (Beregningsniveau 1 og 2):

1. Gentagelsesperioden for den beregnede effekt svarer til gentagelsesperioden for den valgte regn (statistisk regnhændelse)
2. Korrektion for usikkerheder i beregningen foretages ved at koble en sikkerhedsfaktor til de statistiske eller historiske regnhændelser

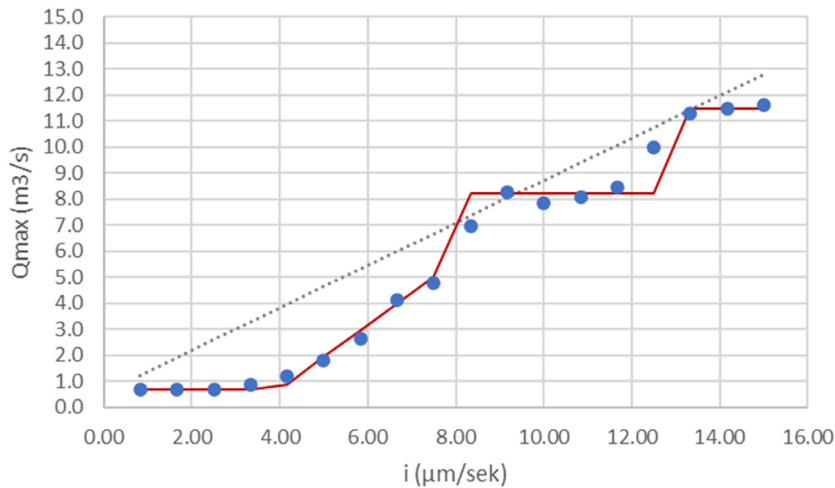
Disse to forudsætninger er imidlertid kun opfyldt for simple og isolerede systemer/ beregningsmodeller, hvor regninputtet er den eneste usikre variabel. I de tilfælde vil ekstremværdifordelingen for nedbørsintensiteter bliver transporteret direkte igennem beregningsmodellen til oplandsafstrømning og videre til eventuelle øvrige hydrauliske variable (tryk niveauer, bassin volumener). Det samme vil usikkerhedskorrektionen, fordi regninputtet i de simple systemer med et tilnærmet lineært og monotont respons typisk er den dominerende variabel.

Større og mere komplekse oplande/systemer opfylder generelt ikke de to forudsætninger. Hvis der er andre usikkerhedskilder i systemet (usikre modelparametre, randbetingelser, etc.), så vil gentagelsesperioden for effekten ikke være den samme som gentagelsesperioden for regninputtet. Endvidere, hvis der optræder ikke-lineære elementer i systemet i form af spjæld, tilbagekoblinger og overløb, så kan man heller ikke forvente, at fraktilværdier i ekstremværdifordelingen for regnintensiteter bliver overført direkte til effekten i systemet.

Det samme gælder for usikkerhedskorrektionen, fordi følsomhedsfaktoren for regnen (hældningen i regn-effekt responsfunktionen) i de systemer ikke vil være konstant men derimod variere som funktion af regnintensiteten – og for visse regnintensitetsintervaller ikke være den dominerende variabel. I de situationer vil de øvrige usikkerhedskilder i systemet (usikre modelparametre, randbetingelser, etc.) få en relativt stor indflydelse på usikkerheden på resultatet. Derfor vil den metode at gange regninputtet med en sikkerhedsfaktor ikke nødvendigvis give en realistisk estimering af den samlede usikkerhed på effekten. Eller rettere, sikkerhedsfaktoren på regninputtet skal i så fald typisk være større end dem, der er anbefalet i Skrift 27; hvor meget afhænger af det konkrete oplands/systems responskarakteristika.

Det er i Skrift 27 understreget, at sikkerhedsfaktorer (f.eks. den meget brugte faktor på 1,2) ikke kan anvendes generelt. Tværtimod *"...afhænger (de) helt af den aktuelle vurdering af input- og parameterusikkerheder, der kan være anderledes for andre oplande."* Men udover af at afhænge af den aktuelle vurdering af parameterusikkerheder (varianser), så skulle sikkerhedsfaktoren (på regninputtet) altså også være en funktion af følsomhedsfaktoren for effekten i systemet mht. regninputtet. Det skyldes, at variansbidragene fra hver af de enkelte modelparametre og inputvariable består af to faktorer: Variansen på den enkelte parameter samt kvadratet på følsomhedsfaktoren for den enkelte parameter mht. den beregnede effekt i systemet – som det også fremgår af fejllophobningsloven (her uden kovariansbidrag):

Eksempel: Hydrologisk/hydraulisk model

**Figur 2**

Den maksimale afstrømning fra et hydrologisk/hydraulisk system for stigende regnintensiteter. De blå punkter er beregningsresultater og den røde linje er den tilnærmede responsfunktion. Den stiplede linje viser en lineær model kalibreret for en regnintensitet på 9,0 µm/s, hvor hældningen repræsenterer middelfølsomhedsfaktoren mellem regnintensitet og maksimumafstrømning.

$$V(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 V(x_i)$$

Dvs., at variansen på effekten i systemet (y) er lig med summen af de vægtede variansbidrag fra de N modelvariable/parametre (x_i), hvor vægtene er lig med følsomhedsfaktorerne i anden potens. Hvis man, som det er tilfældet med sikkerhedsfaktoren, samler usikkerhederne på alle modelparametre i ét variansbidrag som kobles til regninputtet, så overser man altså indflydelsen fra sammenhængen mellem regnininput og effekten i systemet og opnår derfor ikke den "rette" usikkerhedskorrektion. Forholdet illustreres bedst ved et eksempel.

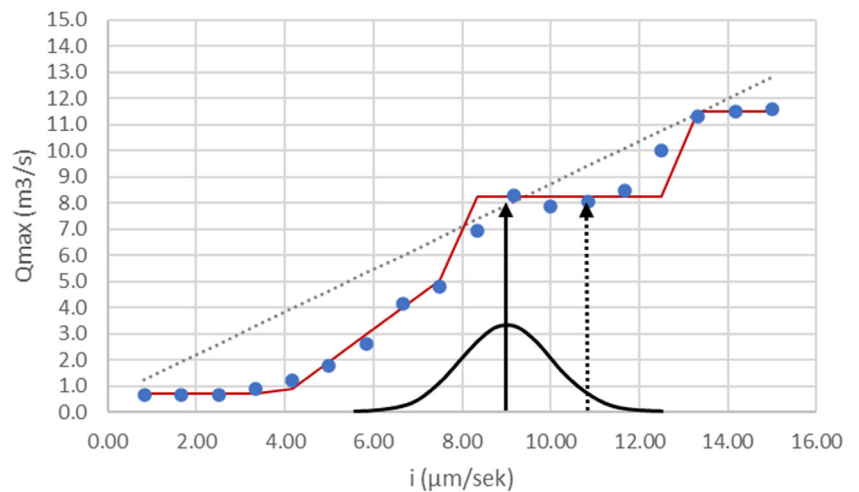
Eksempel

Eksemplet bygger på et større system til afledning og magasinering af regnvand fra to deloplande med det formål at beskytte en nedstrømsliggende bydel mod oversvømmelse. Regnvandssystemet indeholder flere bassiner, tærskler og overløb, hvilket antyder, at systemet kan have en ikke-lineær karakter. Man har derfor gennemført et antal modelsimuleringer af den maksimale afstrømning for en serie af regnintensiteter (i stigende orden) som input. Resultatet af denne serie af beregninger er vist i Figur 2.

Der er tydeligvis en ikke-lineær (tilnærmet stykvis lineær) sammenhæng mellem regn og maksimum afstrømning over det betragtede regnintensitetsinterval. Det viser sig, at den dimensiongivende regnhændelse (gentagelsesperiode og varighed/koncentrationsstid) giver en middelregnintensitet på 9,0 µm/s (den sorte fuldt-optrukne pil i Figur 3, næste side). I figuren er der vist en normalfordeling, der skal illustrere, at regnintensiteterne er usikre størrelser. Hvis man antager (som nævnt ovenfor), at regnintensiteter er normalfordelte, så vil der være 50% sandsynlighed for at middelværdien (for en given gentagelsesperiode) overskrides hhv. underskrides.

Formålet med sikkerhedsfaktoren er at tage højde for dette forhold. Skrift 27 anviser, hvilken sikkerhedsfaktor man skal vælge for forskellige sikkerhedsniveauer (og grader af relativ pris for underdimensionering).

Eksempel: Hydrologisk/hydraulisk model



Figur 3
Sikkerhedsfaktor på regnintensitet og beregning af dimensionsgivende maksimum afstrømning vha. den hydrologiske model.

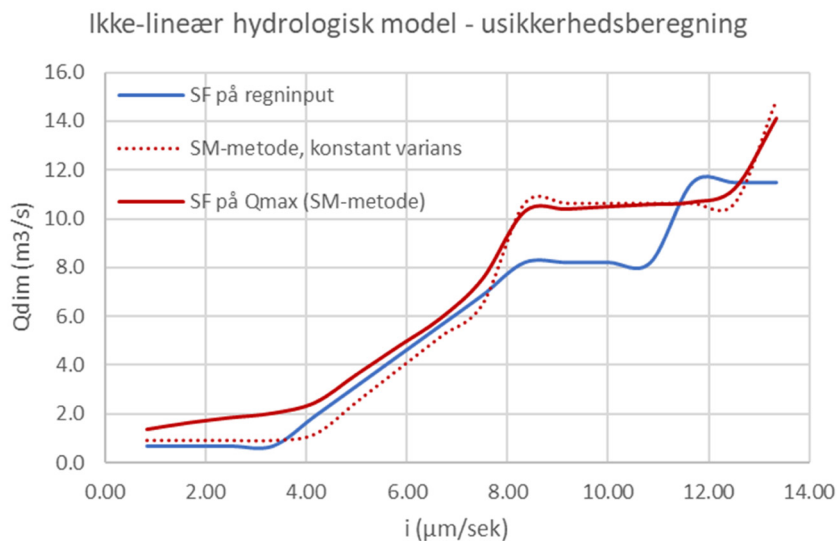
I eksemplet er der anvendt en sikkerhedsfaktor på afstrømningen (SF) på 1,2. Når man ganger middelregnintensiteten med sikkerhedsfaktoren på afstrømningen på 1,2, så får man en "dimensionsgivende" regnintensitet på ca. 10,8 $\mu\text{m/s}$ (den stiplede sorte pil i Figur 3). Men som man kan se af figuren, giver det stort set samme dimensionsgivende oplandsafstrømning som middelværdien giver (ca. 8 m^3/s), fordi hældningskoefficienten (følsomhedsfaktoren) i dette område er lig med 0.

Så på trods af, at man forsøger at kompensere for usikkerheder i systemet ved at gange inputvariablen (regnintensiteten) med en sikkerhedsfaktor, får det ingen betydning på effekten i systemet: Den dimensionsgivende afstrømning bliver den samme som middelaflstrømningen, og sikkerhedsfaktoren på effekten er derfor lig med 1, altså underdimensionering i dette tilfælde. Hvis den dimensionsgivende regnintensitet ligger i et område, hvor hældningen (følsomhedsfaktoren) er større end middelhældningen, så kan en sikkerhedsfaktor på regninputtet medføre en overdimensionering. Dette forhold er illustreret i Figur 4, side 21. Her er der foretaget en beregning af den dimensionsgivende oplandsafstrømning på tre forskellige måder:

1. At gange middelregnintensiteten med en sikkerhedsfaktor på 1,2 for alle regnintensiteter (SF på afstrømningen, der altså overføres direkte til regnintensiteten)
2. At foretage en fuld usikkerhedsanalyse/beregning med alle modelparametre for effekten i systemet med en konstant følsomhedsfaktor samt variansbidrag for alle regnintensiteter (SF på Q_{max} med konstant varians)
3. At foretage en fuld usikkerhedsanalyse/beregning (Monte-Carlo simulering med alle modelparametre), hvor variansbidraget fra regninputtet er beregnet baseret på de faktiske følsomhedsfaktorer for alle regnintensitetsværdier (SF på Q_{max} beregnet vha. sikkerhedsmargin-metoden)

Resultatet af disse beregninger er vist i Figur 4, side 21.

Som man kan se af figuren, giver de tre metoder nogenlunde samme resultat i det interval, hvor der er en direkte sammenhæng (med konstant hældning) mellem regnintensitet og maksimum afstrømning (intensiteter mellem 4,0 og 8,0 $\mu\text{m/s}$). Men i de intervaller, hvor hældningskoefficienten er lille, vil sikkerhedsfaktormetoden



Figur 4
Beregning af dimensionsgivende maksimum afstrømning på tre forskellige måder.

(SF på regnininput) altså ikke kunne korrigerer for usikkerheder i systemet og vil dermed underestimere den dimensionsgivende afstrømning. Når man derimod anvender udvidet usikkerhedsanalyse (sikkerhedsmargin/pålidelighedsindeks), vha. enten analytiske løsninger eller Monte-Carlo simuleringer, vil usikkerheden på effekten i systemet blive repræsenteret korrekt uanset hvor i regnintensitetsintervallet den dimensionsgivende regnhændelse befinder sig. Det er fordi disse metoder tager højde for både variansbidrag OG følsomhedsfaktorer for alle modelvariable/parametre som funktion af regnintensitet og de øvrige modelparametre.

Konklusion

Sikkerhedsfaktoren i Skrift 27 er en bekvem og generelt effektiv metode til at tage højde for usikkerheder i modelinput og -parametre, når man skal dimensionere rør eller bassiner. Den kan anvendes for simple problemstillinger uden betydende ikke-lineære elementer, hvor der er et konstant forhold mellem regnininput og effekten i systemet, f.eks. oplandsafstrømning eller tilstrømning til et bassin. Men for mere komplekse systemer kan man ikke automatisk forvente at en sikkerhedsfaktor på regninputtet giver den ønskede/tilstrækkelige sikkerhed i dimensioneringen. Her gælder det altså, at sikkerhedsfaktormetoden (Skrift 27) er et specialtilfælde af den mere generelle pålidelighedsanalyse baseret på f.eks. første-ordens metode (analytiske modeller) eller Monte-Carlo simulering (numeriske modeller).

Som det er anbefalet i Skrift 27, så er det af største vigtighed, at man forstår systemet (kapitel 5, side 17): *"Opsøg forbindelsen til virkeligheden. Opsøg og tilpas om muligt til måledata. Gør hvad der er muligt for, at få den opstillede model til at passe med virkeligheden."* Hvis man følger det gode råd, vil man også være i stand til at afgøre, hvilken dimensioneringsmetode man skal bruge i et konkret projekt for at tage højde for de usikkerheder, der altid vil være forbundet med data og modelberegninger. Man kan læse mere om hvorfor og hvordan, inkl. gennemregnede eksempler, i *Rapport om håndtering af usikkerheder ved beregning af regnafstrømning i byer* (Del 1, 2 og 3), som kan findes på SVKs hjemmeside (<https://spildevandskomiteen.dk/usikkerhedsprojekt/>).

Referencer

SVK Skrift 27. 2005. Funktionspraksis for afløbssystemer under regn.
IDA Spildevandskomiteen.

Vakuumsystemerne gør comeback

– Er de kommet for at blive denne gang?



Af: Søren Holm Andersen
Civilingeniør
UCON ApS
sha@ucon.dk

Dårligdommene stod i kø, da en række danske kommuner i 1970'erne forsøgte sig med vakuumkloakering. Vakuumentilerne stoppede til, vakuumledningerne blev utætte og driftsfolkene fik grå hår i en sådan grad, at teknologien stort set blev lagt i graven i Danmark.

Inden for de seneste 7 år har vakuumssystemer dog fået sin renæssance. Skyldes det, at 1970'ernes driftsfolk har taget deres bitre erfaringer med sig på pension, eller er vakuumssystemerne kommet for at blive denne gang?

Det moderne vakuumssystem

De seneste 7 år er der efterhånden blevet sat en del nye nåle i det danske vakuumkort. Projekterne strækker sig helt fra Rødby mod syd til Sulsted mod nord og fra Lodbjerg Hede mod vest til Vig Lyng mod øst.

Vakuumsystemer er dog ikke en ny opfindelse. Det første vakuumssystem blev således etableret allerede i 1880'erne, og fra 1960'erne begyndte vakuumssystemer at blive udbredte i Europa. Anvendelsen var både som intern kloak i toge, skibe og fly samt som hovedkloakker i beboelsesområder.

Vakuumsystemet kan på mange måder sammenlignes med en centralstøvsuger. Spildevandet fra de enkelte ejendomme suges i en opblanding med atmosfærisk luft via et tæt vakuumledningssystem frem til en centralt placeret vakuumstation.

I vakuumstationen er der placeret en række vakuumpumper, som suger luften ud af vakuumledningssystemet. Vakuumpumperne opretholder et undertryk på ca. 0,6 – 0,7 bar i systemet. Det er dette undertryk, som transporterer spildevandet fra husene frem til vakuumstationen. Når spildevandet kommer til vakuumstationen, pumpes det med traditionelle spildevandspumper videre i systemet.

I et moderne vakuumssystem samles spildevandet fra ca. 1-4 ejendomme ved gravitation i én vakuumbønde med vakuumventiler, niveaustyring og SRO-integreret fjernovervågning. Udformningen af vakuumbøndene varierer fra vakuumleverandør til vakuumleverandør.



Vakuumledningerne ender i vakuumtanken (blå tank) i vakuumstationens kælder. Herfra suges luften ud systemet vha. vakuumpumperne i teknikhuset ovenpå via de sorte rør. Spildevandet pumpes væk med traditionelle pumper (grå).

Vakuumledningerne etableres som et "savtakprofil" med vandlås på ca. 15-20 cm pr. ca. 50-75 meter. Vakuumledningerne har typisk et fald på 3 promille mellem vandlåsene. Profilet fastlægges af vakuumleverandøren.

Da de danske kommuner i 1970'erne gjorde sig forsøg med vakuumsystemer, var teknologien stadig forholdsvist uprøvet som hovedkloak i beboelsesområder. De ældre vakuumsystemer var typisk etableret med vakuumledninger i limede PVC-rør i små dimensioner uden "vandlås/løft" og med vakuumentiler i alle husenes toiletter, håndvaske osv. Ofte var der mange problemer med utætheder samt tilstopning af ventiler og vakuumledninger, dels pga. udfældning af kalk, men også fordi de limede PVC-rør med tiden blev utætte pga. vibrationer mv. Utæthederne var svære at opdage, fordi systemerne var udført uden fjernovervågning.

Ventilerne er løbende blevet udviklet og forbedret af vakuumleverandørerne, så de i dag er mindre sårbare overfor tilstopninger og utætheder, ligesom der i dag stort set altid udføres fjernovervågning. Endeligt udføres vakuumledninger nu som af fuldsvejste PE-ledninger (typisk $\varnothing 90$ mm – $\varnothing 250$ mm PE100 PN10), som sikrer stor tæthed.



Vakuumbønde: Vakuumbønde leveres og aflæsses på pladsen.



Vakuumstation overbygning: Overbygning i vakuumstation, med vakuumpumperne, som suger luften ud af vakuumtanken og sikrer dermed, at vakuum opretholdes på ca. 0,6-0,7 bar. Forrest i billedet ses et kulfilter, som renser afkastet.

En døgnflue?

Mange forsyningsselskaber står i disse år overfor spildevandskloakeringer af sommerhusområder, kolonihaver mv. De miljømæssige og brugermæssige gevinster sådanne projekter ofte er lette at få øje på, men projekterne kommer også ofte med en slagside i form af et gedigent underskud for forsyningsselskabet, uagtet at der normalt kan opkræves tilslutningsbidrag.

Selvom der stadig mangler erfaringer over længere tid med drift- og vedligehold af moderne vakuumsystemer i Danmark, tyder de foreløbige erfaringer fra projekterne i Danmark samt de generelle erfaringer fra udlandet, at et veldesignet vakuumsystem i en totaløkonomisk betragtning under de rette omstændigheder kan være et godt alternativ til traditionelle kloakeringsmetoder.

Sammenlignet med traditionelle kloakeringsmetoder er vakuumsystemet særligt velegnet i flade områder med højtstående grundvand, udfordrende jordbundsforhold, dårlige pladsforhold mv., når det er muligt at samle mange huse (gerne +100) i én vakuumstation.

Alt tyder derfor på, at vakuumsystemerne denne gang er kommet for at blive. Og hvis man som forsyning overvejer at komme med på vakuumbølgen, er det med, for nu at blive i terminologien, at få *SUGET* alle erfaringer til sig fra de allerede udførte projekter i Danmark!



Eksempel på vakuumbønd med vakuumentil, rørføring, niveaustyring og overvågningsboks.

3 i 1-løsning sikrer rekreativitet på Stigsborg Havnefront



Af: Jacob Kiel Thomsen
Projektleder, NIRAS

Når målet er at skabe Aalborgs mest attraktive bydel, hvor et godt udemiljø med liv og aktiviteter, både på land og til vands, er det alt overskyggende fokus, stiller det krav til vandhåndteringen. Og på Stigsborg Havnefront måtte vi sande, at der ikke var én løsning, der virkede. I stedet blev vandhåndteringen en kombination af løsninger, som i sidste ende gav en robust håndtering af regnvandet uden at gå på kompromis med det blå/grønne udtryk. Det er fortællingen om Stigsborg Havnefront.

I det store byggemodningsprojekt på Stigsborg Havnefront i Aalborg, var der i lokalplanen stillet en række krav til vandhåndteringen:

- Rekreative elementer skal være en del af regnvandshåndteringen
- Vandet skal renses for stoffer/sedimenter inden udledning til recipient.
- Regnvandshåndtering skal ske via LAR (nedsivning)
- Et vist antal træer skal plantes langs vejene.

Ingen lette løsninger

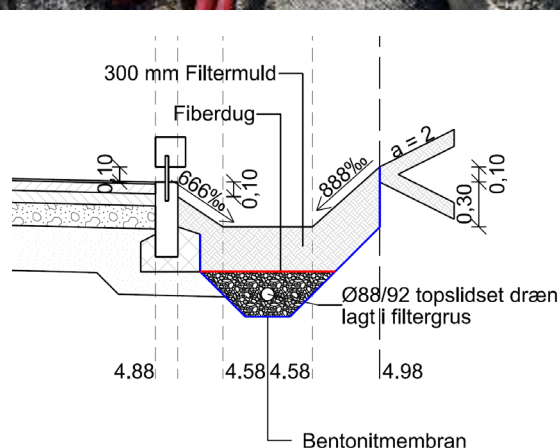
Med en detaljeret lokalplan kan løsningen synes ligetil, men det var bare ikke tilfældet i Stigsborg-projektet, hvor en række problematikker gjorde, at det var nødvendigt at tænke anderledes, for at komme i mål.

Grundet den kystnære placering har der helt fra start været et stort fokus på vandhåndteringen i området, hvor der var lagt op til, at ekstremregn igennem hele projektet skulle håndteres på terræn, samt via en åben kanal i den østlige del af byggemodningen.

Også hverdagsregnen skulle håndteres lokalt i området. Den løsning blev dog udfordret af, at der er en del jordforurening i området, som betyder, at jorden ikke er egnet til nedsivning. Samtidig var der høj grundvandsstand kombineret med en forventet forhøjet vandstand i Limfjorden. Dertil kommer terrænnære regnvandsledninger og blød undergrund.

Ofte vil et større regnvandsbassin være løsningen, men det var der ikke plads til i Stigsborg, og anlægsteknisk ville det give store udfordringer og omkostninger. Derfor var mulighederne ved at være udtømte – og dog.

Løsningen blev en kombination af tiltag i en 3-i-1-løsning, som kombinerede mindre bassiner med vandrender og alternative LAR-bede uden nedsivning.



LAR-bedet er bygget op som et almindeligt regnbed, men med en tæt membran, som er illustreret ved den blå linje.

Regnbed med tæt membran

I et samarbejde mellem bygherre, myndighed og NIRAS, fandt vi, i en proces over flere rul, på at etablere traditionelle LAR-bede, men med den forskel, at bedene er opbygget med en tæt membran i bund og sider.

Rent teknisk fungerer løsningen ved, at vandet ledes til LAR-bedet og renses igennem filtermulden. Membranen omkring sikrer, at vandet ikke siver ud og bliver blandet med grundvand, samt den kendte forurening. I bunden af LAR-bedet er etableret en drænkasse, som opsamler det rensede regnvand og leder det videre til regnvandsledningen i vejarealet og derfra videre ud til recipienten.

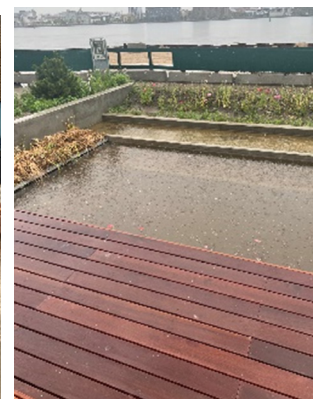
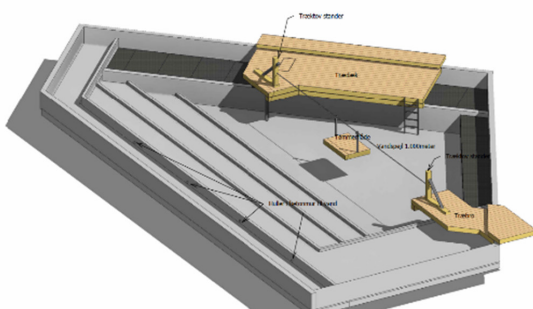
Ved at benytte denne metode kan man rense vandet lokalt i en vejrabat eller andre mindre områder i stedet for at skulle optage mere plads til regnvandsbassiner. Samtidig bliver overfladevandet forsinket igennem LAR-bedet, hvorved dimensionerne på hovedledningerne til regnvand kan mindskes. Bedet er yderligere mere driftssikkert end et traditionelt LAR-bed, da vandet afstrømmer via dræn, efter det er nedsivet og rensat gennem filtermulden. Dermed undgår man, den risiko der kan være for, at de underliggende jordlag begrænser nedsivningspotentialet.



Foruden sin funktion til regnvandshåndtering bidrager LAR-bedene i Stigsborg Havnefront til det blå/grønne udtryk, som var en forudsætning i lokalplanen. Bedene er udformet med sektioneringer af træplinte til at opretholde volumen til regnvand, samt broer til byggefelternes terrasser og lignende.

Tekniske installationer bruges aktivt i bybilledet

For at opnå en tilfredsstillende vandhåndtering er de anlagte regnbede suppleret med både bassiner og vandrender, som bruges aktivt til at skabe et rekreativt miljø. Bassinløsningen er en multifunktionel installation, som kan håndtere såvel hverdagsregn som skybrud, men som ligeledes fungerer som samlingssted for områdets beboere. Bassinet er placeret centralt i området, og konstrueret i en fusion af beton, træ og blomsterbede, der tilsammen skaber en kombineret legeplads og hyggekrog. Selvom formålet med bassinet er vandhåndtering, er der, i såvel materialevalg som udformning, gjort meget ud af at skabe et element, som passer naturligt ind i områdets øvrige udtryk, og give beboerne en oplevelse af at få noget 'ekstra' i deres udemiljø. I samspil med den flotte placering ud til havnefronten, er der således basis for, at bassinet kan blive et samlingspunkt for både børn, unge og ældre.





Vandet som centralt element

I projekteringen af såvel bassin som LAR-bede og vandrender, er der brugt kræfter på at skjule tekniken, så den rekreative funktion og anvendelse står tydeligt frem. Kun i etableringen af enkelte transformere og pumpestationer i området, har man valgt at gå den modsatte vej.

Stigsborg Havnefront er omgivet af vand, og håndteringen af vand i området vil kontinuerligt være et centralt forhold, som man som beboer skal forholde sig til og se positivt på. Derfor har vi, som et arkitektonisk greb, valgt at give de forbigående et kig ind i maskinrummet, eller nærmere bestemt i pumpestationerne. I stedet for at gemme dem væk er områdets pumpestationer placeret synligt og med store vinduer, som gør det muligt at kigge ind og se pumperne arbejde.

Læringer til fremtidig succes

Byggemodningen af Stigsborg Havnefront stiller store krav til alle involverede parter, og det er helt essentielt, at bygherreteamet består af en stærk organisation, hvor bygherre, myndighed, ingeniør og arkitekt står sammen om at definere rammerne. Projektet er langt fra slut, vi bliver hele tiden klogere undervejs, og et par af de erfaringer, vi har gjort os, og nu kan tage med til fremtidige etaper, er, at jo tidligere vandhåndteringen kommer ind i planlægningen, jo større er chancen for succes. Det er en tendens som vi generelt ser i byudviklingen i dag, og som Stigsborg Havnefront er et rigtig godt eksempel på.



FAKTA OM PROJEKTET

Udviklingsprojektet Stigsborg Havnefront består af en ny bydel på 54 hektar i Nørresundby med afgrænsning direkte ud til Limfjorden.

Udviklingen forventes at vare i 25-30 år og resultere i 4.000 boliger med 7.500 indbyggere.

Området kommer til at bestå af boliger, offentlig institutioner såsom, skole, plejehjem, og daginstitutioner samt mindre erhverv.

Krydsning af jernbanen

– Hvor svært kan det være?

Metoder, overvejelser og myndighedsbehandling når danske jern- og letbaner skal krydses af ledninger



Af: Rikke Holmsgaard,
Ledende projektleder,
COWI



Af: Kristian Rosted Brødbæk,
Teknisk direktør,
COWI

Opgravningsfri lednings-etablering også kaldet no-dig er den foretrukne metode når der skal etableres nye kabler og ledninger (el, fiber, tele, regnvand, brugsvand, spildevand, fjernvarme m.m) under eksisterende jernbaner og Letbaner i Danmark. Ofte er det nødvendigt for ledningsejere at krydse den eksisterende infrastruktur, og for at mindske påvirkningerne på driften af jernbanen udføres disse krydsningerne oftest ved brug af opgravningsfri metoder.

Forskellige metoder til krydsning af jernbaner

Der findes overordnet set fire no-dig metoder (med forskellige underinddelinger). Dette er hhv. styret underboring, pilotrørsboring med efterfølgende stålørsgennempresning samt mikrotunneling med åben og lukket front. En kort opsummering af metodernes fordele og begrænsninger samt opmærksomhedspunkter i forbindelse med krydsning af en jernbane er vist på side 31.

Et godt forarbejde sikrer den bedste løsning

En vellykket gennemførelse af et ledningskrydsningsprojekt kræver omhyggelig forberedelse og en grundig vurdering af både designmæssige ønsker, tekniske restriktioner og anlægsmæssige begrænsninger.

Er det f.eks. muligt at reducere ledningsdimensionen til $\varnothing 400$ mm hvormed styret underboring er tilladt og er projektets tidsplan robust nok til at kunne udføres i en sen fremtid således at det kan udføres under en planlagt sporspærring eller hastighedsnedsættelse? Inden krydsningslokaliteten fastlås skal eventuelle jernbanekomponenter vurderes i forhold til at finde den mest egnede placering. Hvor mange spor (sidespor eller hovedspor) skal underføringen krydse, og er der anden infrastruktur i nærheden af krydsningsstedet så som en sporbærende bro, perron, kørestrømsmast eller en overkørsel? Afstanden til eventuelle sporskifter, kørestrømsmaster, og underføringer for banens afvanding kan også have en betydning for hvor egnet en



	Fordele	Begrænsninger	Jernbanerelaterede begrænsninger og krav
Styret underboing	<p>Fleksibel</p> <p>Økonomisk</p> <p>Kan anvendes i de fleste jordbundsforhold</p> <p>Kan udføres både med horizontale og vertikale kurver</p> <p>Start og slutgruber er små og terrænnære</p>	<p>Udførelsestolerancer i blødbun</p>	<p>Max 0400 mm under jernbaner</p> <p>Muligt at undlade projektspecifikke geotekniske undersøgelser (dog ikke tilrådeligt i blødbundsområder)</p> <p>Store krav til lægningsdybde</p> <p>Anbefalet reamer (borehoved) på 30% større end medierør er vanskeligt grundet risiko for sætninger</p> <p>Særlig opmærksomhed på blow-out</p>
Pilotrørsmetode med stålørsgen-nempresning	<p>Høj præcision</p> <p>Muligt at fjerne sten/forhindringer i tracéet</p>	<p>Kræver presse- og modtagergrube (pladsforhold)</p> <p>Kan kun udføres i lige stræk</p> <p>Ikke egnet til boring under grundvandsspejlet</p>	<p>Må ikke anvendes som beskyttelsesrør ved S-banen og letbanen grundet elektriske strømme</p> <p>Kræver projektspecifikke geotekniske forundersøgelser</p> <p>Kræver redegørelse for at gruber ikke påvirker jernbanesikkerheden</p>
Mikrotunnelring med åben front	<p>Kan udføres i kurver</p> <p>Muligt at fjerne sten/forhindringer i tracé</p>	<p>Kræver presse- og modtagergrube</p> <p>Stiller store krav til pressegrube (Bagplade/ anlæg for pressekraft)</p> <p>Ikke egnet til boring under grundvandsspejl</p> <p>Ikke egnet til blødbund</p>	<p>Kræver projektspecifikke geotekniske forundersøgelser</p> <p>Kræver redegørelse for at gruber ikke påvirker jernbanens jordkonstruktion</p> <p>Ved dimensioner større end 2000 mm betragtes de som en bro/tunnel og skal undergå 3. parts validering ved godkendt rådgiver</p> <p>Ved boring under grundvandsspejlet skal der evt. suppleres med trykluft eller anden metode til stabilisering af borehovedet</p>
Mikrotunnelring med lukket front	<p>Kan udføres i kurver</p> <p>Egnet til boring under grundvandsspejlet</p>	<p>Kræver presse- og modtagergrube</p> <p>Stiller store krav til pressegrube</p> <p>Ej hensigtsmæssig ved jordbundsforhold med større sten (eks. moræneler)</p>	<p>Kræver projektspecifikke geotekniske forundersøgelser</p> <p>Kræver redegørelse for at gruber ikke påvirker jernbanens jordkonstruktion</p> <p>Ved dimensioner større end 2000 mm betragtes de som en bro/tunnel og skal undergå 3. parts validering ved godkendt rådgiver</p>

given placering er. I nogle tilfælde kan det være relevant at rette tidlig henvendelse til infrastrukturforvalteren (f.eks. Banedanmark) for at undersøge om der er særlige opmærksomhedspunkter på den pågældende lokalitet, såsom fremtidige sporfornyelser eller fejl i den eksisterende sporbeliggenhed – alle ting, der kan påvirke processen.

Ud over de jernbanerelaterede forundersøgelser kræver et vellykket ledningskrydsningsprojekt at der udføres et godt forarbejde på lokaliteten i forhold til vurdering af topografi, hydrogeologi og geoteknik. For de mindre ledningskrydsninger (styret underboring under 400 mm) kan det normteknisk være tilstrækkeligt at udføre et skrivebordsstudie, men det bør altid bero sig på en faglig vurdering i forhold til kompleksitet (f.eks. ved risiko for blødbund, højtstående vand, begrænset plads til gruber). For ledninger med diametre over 500 mm er der krav til projektspecifikke geotekniske forundersøgelser. Gode geotekniske forundersøgelser kan reducere usikkerhed og optimere designet (også af gruber). Geotekniske og hydrogeologiske forhold er sammen med de topografiske forhold medvirkende til, at det kan vurderes hvilken krydsningsmetode der bør vælges og hvor gruber kan placeres. Er der f.eks. risiko for sten sådan at bør vælges en åben metode hvor større sten kan fjernes undervejs (stålrørgennempressing eller mikrotunnelering med åben front) eller står vandspejlet så højt, at de åbne metoder ikke kan anvendes uden aktiv grundvandssænkning og er det overhovedet muligt at grundvandssænke uden risiko for sætninger af jernbanen? De topografiske forhold så som, om jernbanen er beliggende på dæmning eller i afgravning har sammen med de geotekniske forhold betydning for hvor langt presse- og modtagegruber kan placeres fra jernbanen for at disse ikke skal designes for toglast med store økonomiske konsekvenser til følge. Desuden har de topografiske forhold betydning for hvor dybt under sporet ledningen kan etableres og ved baner beliggende i afgravning i forhold til det omkringliggende terræn skal der i særdeleshed laves vurderinger på risikoen for blow-out, hvor der i yderste konsekvens kan ske en kritisk hævning af jernbanesporene og/eller boremudder i sporkassen.

CSM-processen ved infrastrukturforvalteren

Uafhængig af metoden skal ledningskrydsningen undergå en såkaldt CSM-proces ved infrastrukturforvalteren hvor projektet skal beskrives og risikovurderes i henhold til gældende normer. For styrede underboring (under 400 mm) er omfanget mindre men uagtet af metode, størrelse og lokalitet skal ledningsanlægget ansøges, gennemgås og godkendes af infrastrukturforvalteren (f.eks. Banedanmark). Gennemgangen af det indsendte materiale består af en indledende teknisk gennemgang fra infrastrukturforvalterens egne fagfolk efterfulgt af en gennemgang af om projektet har fulgt de rigtige processer i henhold til CSM-lovgivningen. For projekter hvor Banedanmark er infrastrukturforvalter har Banedanmark en intern organisation der kan håndtere denne proces. For nyere infrastrukturforvalter (f.eks. Letbaner) skal processen håndteres af en ekstern assessor (typisk rådgiver godkendt af Trafikstyrelsen) med efterfølgende godkendelse i Trafikstyrelsen. For projekter hvor presse- og modtagegruber placeres så tæt på jernbanens jordkonstruktion at gruberne bliver sporbærende og dermed skal "bære" toglast, skal designet desuden igennem en 3. parts validering til sikring af at de tekniske løsninger er korrekt. 3. parts validator udpeges af infrastrukturforvalteren.

Som en del af CSM-processen stiller infrastrukturforvalteren (foruden overholdelse af banenormerne) krav til at projektet beskriver sin tidsplan, organisation, samt håndtering af potentielle risici under udførelsen i detaljer. Ligeledes stilles der krav til at både udførende entreprenør, tilsyn og sporsagkyndig (teknisk sporentreprenør der overvåger spor under udførelsen) godkendes på forhånd. Dokumentation fra udførelsen skal løbende indsendes til infrastrukturforvalteren.

Ledningsejere og bygherrer anmoder ofte rådgivere om hjælp til en forhåndsgodkendelse af ledningsprojektet, så projektet er sikret en tilladelse inden der bruges tid og økonomi på forundersøgelser og detailprojektering. En egentlig godkendelse kan dog først opnås når projektets detailprojektering er udarbejdet, gransket og godkendt af de rette instanser. Tværtimod ses det ofte at indsendelse af midlertidige og ufærdige projekter skaber forvirring og trækker processen i langdrag. I komplekse tilfælde er det dog altid anbefalelsesværdigt at tage en tidlig dialog med infrastrukturforvalteren. For et ledningsprojekt hvor der er udført et godt forarbejde og gennemarbejdet detailprojekt er CSM processen på ingen måde uoverkommelig og afhængig af projektets størrelse kan der typisk opnås en krydsningstilladelse i løbet af 2-6 måneder.



