



SPILDEVANDSKOMITEEN

# ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 1 • 35. ÅRGANG • FEBRUAR 2022



# Adresseliste for udvalgsmedlemmer

---

**Tina Kristensen Nettelfield**

(Formand)

Rambøll A/S

Olof Palmes Allé 22, 8200 Aarhus N

e-mail: tknd@ramboll.dk

Tlf.: 5161 2923

**Agnethe Nedergaard Pedersen**

VandCenter Syd as

Vandværksvej 7, 5000 Odense C

e-mail: anp@vandcenter.dk

Tlf. 6114 9310

**Jakob Badsberg Larsen**

(Næstformand)

Niras A/S

Sortemosevej 19, 3450 Allerød

e-mail: jla@niras.dk

Tlf. 4810 4561, Mobil 2141 8335

**Julie Evald**

HOFOR

Ørestads Blvd. 35, 2300 København

e-mail: julbje@hofor.dk

Tlf. 7190 9007

**Benedikte Foldby Jakobsen**

(Kasserer)

Rambøll A/S

Hannemanns Allé 53, 2300 København S

e-mail: bfja@ramboll.dk

Tlf: 5161 8715

**Jesper Ellerbæk Nielsen**

Aalborg Universitet,

Institut for Byggeri, By og Miljø

Thomas Manns Vej 23, 9220 Aalborg Ø

e-mail: jen@build.aau.dk

Tlf. 9940 2905

**Lars Berggren Winther**

Novafos A/S

Blokken 9, 3460 Birkerød

e-mail: lbw@novafos.dk

Tlf. 4420 8155

---

**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.evanel.dk

**E-mail**

evaudvalg@gmail.com

**Dette blads redaktør**

Lars Berggren Winther, lbw@novafos.dk

**Næste blads redaktør**

Tina Nettelfield, tknd@ramboll.dk

**Deadline for indlæg til næste blad**

25. marts 2022

**Næste blad forventes udgivet**

Primo maj 2022

**Redaktion**

Margrethe Nedergaard, man@skanderborgforsyning.dk

# Indhold

Leder .....	5
Indbydelse til Temadag .....	6
Indbydelse EVA-webinar .....	11
<b>Byudviklingsprojektet Høje Taastrup C</b> Bæredygtig byudvikling og rekreativ klimatilpasning sender Høje Taastrup op i den urbane superliga Martin Christensen .....	12
<b>Ny udløbsledning fra Skagen Renseanlæg</b> – fra plan til virkelighed Karina Buus .....	16
<b>Nyt regnvandsbassin i Østervold i Randers er et kvalitetsløft for byen</b> Regnvandshåndtering og byforskønnelse af Randers' Rambla Jasper Vagner Jensen og Sara Bugge Ploug .....	22
<b>Hvordan bæredygtighed kan indtænkes i alle projektfaser</b> Adriana M. Wenda .....	26
<b>Hvorfor nøjes? Punktstyker som dokumentation gør arbejdet lettere</b> Fagområdets landmåling udvikler sig i rivende fart og den traditionelle landmålerstok burde i de fleste tilfælde blive skiftet ud med en laserscanner, en drone eller en mobiltelefon Andreas Hodal .....	30
<b>Brug af AR/VR i forbindelse med design</b> Data til design øger effektivitet og forståelse for projekterne Martin Wilhelm Ørckenholt Larsen .....	34
<b>Hvilken betydning har den nye IPCC rapport i forhold til de danske anbefalinger til håndtering af klimaændringer?</b> Karsten Arnbjerg-Nielsen og Jens Hesselbjerg Christensen .....	38
<b>Beregning af forventede årlige skadesomkostninger – EAD</b> Dan Rosbjerg .....	42

## 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

Vinterferien står på spring for mange – og stille og roligt begynder en post pandemisk hverdag, sammen med foråret, at kunne skeles ude i en ikke så fjern horisont. I EVA-udvalget, hvis største opgave er at arrangere Temadage med vidensdeling i vandbranchen, glæder vi os – ligesom teenagerne – over, at vi endelig kan dyrke det sociale fællesskab igen.

I EVA-udvalget står den ikke på diskoteker og studieture, men på Temadage inden for aktuelle og efterspurgte emner. EVA udvalget afholder Temadage inden for emner som afløbsteknik, vurderinger af recipienter (jord, vandløb, søer, kystnære områder o.lign), spildevandsrensning samt måle- og registreringstekniske fagområder. Temadagenes DNA er fællesskabet og vores fælles interesse for disse fagområder.

I efteråret 2021 lykkedes det EVA-udvalget af afholde en traditionel fysisk temadag på Hotel Nyborg Strand, i behørig afstand fra truende Corona varianter. Det blev en vellykket temadag, hvor 75 deltagere i fællesskab kunne høre om, hvordan man kommer fra planlægningsprojekter til anlægsteknik via bæredygtighed og 3D design. I dette blad kan du bl.a. læse om – eller blive genopfrisket på – nogle af de spændende indlæg, der var på denne dejlige dag.

Af skidt kan der også komme noget godt. Vi har de seneste to år lært, at det også kan være nemt at videns dele, og at vi ikke altid behøver rydde kalenderen en hel dag for at blive opdateret på seneste nyt fra vores faglige fællesskab. Så udover at glæde os over, at vi igen kan mødes uden restriktioner, har EVA-udvalget valgt at supplere vores traditionelle temadage med nogle lejlighedsvis webinararrangementer. Webinarerne i post Corona verdenen vil være af væsentligt kortere varighed end vores traditionelle temadage, og vil **ikke** være en erstatning, men et supplement til de EVA-arrangementer vi også kendte før Corona. Vores tanke er, at vi i mere tilgængelig form vil kunne formidle viden, som ikke nødvendigvis er egnet til en hel temadag, hurtigere. Premierer for dette nye koncept kan opleves den 10. marts 2022 i webinarer "Opdatering af regn, som anvendes til dimensionering af afløbssystemer", hvor spildevandskomitéens faglige udvalg vil orientere om VUDP-projektet Værdi.

Men det faglige fællesskab skal også dyrkes i 3D, og derfor glæder vi os også utroligt meget til en fysisk traditionel temadag på Hotel Nyborg Strand den 24. marts 2022. Til denne temadag vil der også blive afholdt EVA's årsmøde, hvor der vil være valg til bestyrelsen. Så hvis du ønsker at deltage i fællesskabet med at arrangere temadage og være med til at formidle faglig viden, har du chancen nu. Forslag til kandidater fremsendes til Tina Kristensen Nettelfield ([TKND@ramboll.dk](mailto:TKND@ramboll.dk)) og Bennedikte Foldby Jakobsen ([BFJA@ramboll.dk](mailto:BFJA@ramboll.dk)) senest onsdag den 16. marts 2022.

I forbindelse med årsmødet vil Lars Berggren Winther og Agnethe Nedergaard Pedersen udtræde af bestyrelsen. Bestyrelsen takker Lars og Agnethe for det kæmpe arbejde de har bidraget med i EVA-udvalget. En særlig tak til Agnethe, som – udover det almindelige bestyrelsesarbejde - med utrolig stor grundighed har varetaget posten som kasserer i en stor del af bestyrelsestiden.

Den næste fysiske temadag omhandler klimatilpasning i og omkring vandløb.

Vi ville ikke kunne holde temadage, hvis ikke de mange indlægsholdere bidrager med spændende og tidsrelevante indlæg. Og uden deltagere til temadagene vil der ikke være meget fællesskab. Så af hjertet tak til jer alle for opbakning til vores faglige fællesskab.

Vi glæder os til at se jer til en spændende og videns delende temadag på Hotel Nyborg Strand den 24. marts 2022.

Og kan I ikke vente, er der webinar den 10. marts, hvor vi håber mange får tid til at kigge forbi.

EVA-udvalget



EVA-udvalget indbyder til

# EVA-temadag

Torsdag den 24. marts 2022, Hotel Nyborg Strand

---

## Klimatilpasning i og omkring vandløb

Midt i lempede Corona restriktioner i sommeren 2021 kunne man pludseligt høre om voldsomme oversvømmelser fra floderne i Tyskland og Belgien. Floderne løb efter voldsomme regnhændelser over deres breder med en hale af død og ødelæggelser efter sig.

I Danmark har vi i mange år arbejdet med strategier, der skal sikre afløbssystemerne mod de forventede klimaændringer som følge af afbrændingen af fossile brændstoffer. Siden 2005 har det i Danmark været almindelig praksis at forholde sig til et klimafremskrevet nedbørsmønster i forbindelse med dimensionering af afvandingssystemer til håndtering af regnbetinget nedbør i vores byområder.

Men hvordan er det med vandløbene, og skal der inddrages flere dele af vandkredsløbet, når vi tænker afledning af regnvand? Er de danske vandløb robuste overfor et ændret klima, eller skal sikring af samfundets værdier indtænkes på en mere systematisk facon?

I mange situationer hænger bynære vandløb direkte eller indirekte sammen med systemerne, der varetager bortledningen af regnvandet fra byområderne. Det har været almindelig praksis kun i sparsomt omfang at inddrage vandløbets dynamik, som en del af betingelserne for en samlet klimatilpasset regnvandshåndtering.

På denne temadag vil vi have fokus på at kigge på nogle af de udfordringer, metoder og værktøjer som inddragelsen af vandløb – som en del af klimatilpasningsstrategien – giver.

Når vandløb inddrages, øges listen af interessenter og fokuspunkter også. Fra aktuelle cases får vi inspiration til, hvordan de mange komplekse processer er håndteret på forskellig vis.





# PROGRAM

**9:30 Kaffe/te og rundstykker**

**10:00 Velkomst og intro til dagen**

*v. Tina Nettelfield, EVA udvalget*

**10:10 Vandløb – målinger og oversvømmelser**

*v. Kristian Vestergaard, Lektor Aarhus Universitet*

I indlægget vil Kristian bl.a. fortælle om de målinger, der foretages i vandløbene. Hvad vi kan se af disse – og hvad kan målingerne bruge til?

Indlægget vil også omhandle indføring i hvordan vandføringen i vandløbene er i dag, og hvordan vandføringen vil udvikle sig, samt hvad udviklingen kan komme til at betyde for de vandløbsnære arealer.

Ofte er det vandstanden i vandløbene, der påvirker bebyggelse, infrastruktur og landbrugsmæssig udnyttelse af arealerne langs vandløbene. Hvordan indgår afvandingspotentialekortene til vurdering af disse risici og hvordan bliver de til?

**10:35 HIP data og nye klimafaktorer på afstrømning**

*v. Hans Jørgen Henriksen, Seniorrådgiver, Hydrologisk afdeling, GEUS*

GEUS har leveret nye data til Hydrologisk Information og Prognose system (hipdata.dk) vedr. nye klimafaktorer for bl.a. ekstremværdi vandføring i vandløb i et stort antal vandløbspunkter. Indlægget vil gøre rede for metodik og resultater i form af modelberegnete statistiske værdier herunder ekstremværdier fra 2 til 100 år. baseret på DK model HIP 100m modellen for perioden 1990-2019. Derudover vil indlægget fokusere på de nye klimafaktorer, der angiver ændring i afstrømningen for nær og fjern fremtid for henholdsvis RCP4.5 og RCP8.5 emissionsscenariet baseret på DK model HIP 500 m modellen. Indlægget vil i øvrigt fokusere på kvantificering og kommunikation af usikkerhed på de beregnede statistikvandføringsværdier.

**11:00 Pause**

## DELTAGERGEBYR

STUDERENDE,  
IKKE MEDLEM AF IDA  
kr. 0

LEDIG  
kr. 0

STUDIEMEDLEM  
kr. 0

MEDLEM AF EVA  
kr. 1.300

IDA-MEDLEM  
kr. 1.500

SENIORMEDLEM  
kr. 1.500

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)



**11:15 Vandkredsløbet i GRAVA-projektet**

*v. Søren Thorndahl, lektor Aalborg Universitet*

Samspil mellem **GR**undvand, **A**fløbssystem og **V**andløb (GRAVA) skal sikre en overvågning og fremtidssikring af byens vandkredsløb med hjælp af borgerdata, monitoring og integrerede modeller. Indlægget vil omhandle dele af GRAVA-projektet, herunder udfordringerne omkring klimatilpasning af lavtliggende områder (Kærby, Aalborg), hvor udfordringer med vandløb og højtstående grundvand mv. inddrages.

**11:45 Kongeåen – Studie projekt fra Aarhus Universitet**

*v. Studerende fra Aarhus Universitet*

Studerende fra Aarhus Universitet fortæller om deres projekt om Kongeåen.

**12:05 Frokost**

**13:05 Robust klimatilpasning ved inddragelse af vandløb**

*v. Helene Enevoldsen, Ingeniør, WSP og Marianne Fink, Civilingeniør, WSP*

Indlægget tager udgangspunkt i to cases. Det ene projekt er i den teknisk forundersøgelse fase. I dette projekt er der fokus på at opnå synergi mellem forsyningens projekter i byen og kommunens indsats i ådalen med henblik på en robust klimatilpasning. Det er målet at projektet skal fremme biodiversiteten og ådalens natur samtidig med etablering af bæredygtig regnvandshåndtering uden omfattende arealanvendelse samt store omkostningstunge og CO<sub>2</sub>-belastende anlægsarbejder.

Det andet projekt er realiseret, og afspejler et mere klassisk "vandparkerings-projekt", der tilbageholder vand fra vandløbsoplandet inden vandet oversvømmer et byområde.

**13:40 Årsmøde**

*v. Tina Nettelfield, Formand for EVA udvalget*

1. Valg af dirigent
2. Bemærkninger til dagsordenen
3. Formandens beretning
4. Fremlæggelse af regnskab
5. Valg af udvalgsmedlemmer\*
6. Eventuelt

\* Agnethe N. Pedersen har været medlem af bestyrelsen i 2 x 3 år og kan derfor ikke genopstille.

Derudover trækker Lars Berggren Winther sig fra bestyrelsen, så der skal vælges to nye udvalgsmedlemmer.

Forslag til kandidater fremsendes til Tina Nettelfield ([TKND@Ramboll.dk](mailto:TKND@Ramboll.dk)) og Benedikte Foldby Jakobsen ([BFJA@Ramboll.dk](mailto:BFJA@Ramboll.dk)) senest den 16. marts 2022.

**14:00 Kaffepause**

**14:30 Kagsåen, Regnvandsprojekt**

*v. Jesper Rasmussen, Senior projektchef, Rambøll*

Novafos, Hofor, Gladsaxe Kommune og Herlev Kommune planlægger i samarbejde at etablere et stort og komplekst klimaprojekt i Kagsåparken i Gladsaxe. Projektets formål er at forbedre vandkvaliteten i Kagsåen (bl.a. ved etablering af 3.500 m<sup>3</sup> bassinledning for reduktion i antallet af årlige overløb fra over 50 pr. år til højst 10 pr. år), håndtere klimaforandringer og reducere skader ved oversvømmelser (bl.a. ved etablering af ca. 100.000 m<sup>3</sup> forsinkelsesvolumener i terræn) samt tilføre rekreativ og naturmæssig værdi til parken. Oplægget giver en kort indføring i projektets rammer og formål suppleret med eksempler fra planlægningsprocessen og håndtering af projektets væsentlige grænseflader samt projektets løsninger.

**15:00 Klimatilpasning af Kolding Midtby ved Kolding Å**

*v. Esben Astrup Kristensen, Teamleder EnviDan og Marianne Yde, Kolding Kommune*

Kolding Kommune planlægger klimatilpasning af Kolding Midtby, som skal ske gennem etablering af en pumpe/sluse hvor Kolding Å løber ud i fjorden, samt tiltag i oplandet. Tiltagene i oplandet skal tilbageholde overfladevand ved store afstrømninger. I oplægget vil Kolding Kommune og bygherrerådgiver (EnviDan) fortælle om processen omkring planlægning af dette komplekse projekt. Herunder særligt fokus på de undersøgelser og vurderinger, der er lavet i oplandet ifm. natur, beskyttede arter og vandløb.

**15:25 Afrunding og afsluttende bemærkninger**

*v. Tina Nettelfield, EVA udvalget*

**15:30 Tak for denne gang og kom godt hjem**







# Invitation

# EVA-webinar

10. marts 2022, kl. 14:00-15:30

Opdatering af regn som anvendes  
til dimensionering af afløbssystemer

## **Spildevandskomitéens underudvalg orienterer om én af de store milepæle i VUDP-projektet VÆRDI.**

I 1999 blev den første regionale ekstremregnsmodel udviklet på basis af data fra Spildevandskomiteens Regnmålersystem og publiceret i Skrift 26. Den regionale ekstremregnsmodel er modellen som ligger til grund for Spildevandskomiteens excel-regnark, som anvendes til bassinberegninger og til at generere regn-tidsserier til modelberegninger (af mange kendt som CDS-regnearket).

Modellen er blevet opdateret flere gange siden Skrift 26, idet at flere stationer og længere dataserier er kommet til, men også i takt med, at den danske forskning inden for klima og ekstremregn er blevet udbygget. I forbindelse med det VUDP-støttede forsknings- og udviklingsprojekt VÆRDI opdateres den regionale model igen, denne gang på baggrund af målinger frem til og med 2019. Dette webinar gennemgår de vigtigste ændringer i den nye regionale model set i forhold til Skrift 30, også med henblik på ændringen i designintensiteterne over Danmark. Modellen forventes publiceret med tilhørende excelark senere på året.

### **Program:**

- 1) Velkomst ved EVA-udvalget
- 2) Kort oplæg om SVK's faglige udvalgsarbejde med arbejdsgrupper v. Birgit Paludan
- 3) Kort oplæg om VÆRDI, v. Ane Loft Møllerup
- 4) Opdateret regional regnrække, v. Ida Bülow Gregersen

**Tilmeld dig på IDAs hjemmeside**



# Byudviklings- projektet Høje Taastrup C

*Bæredygtig byudvikling og rekreativ klimatilpasning sender Høje Taastrup op i den urbane superliga*



Af: Martin Christensen  
Senior Projektchef  
Rambøll

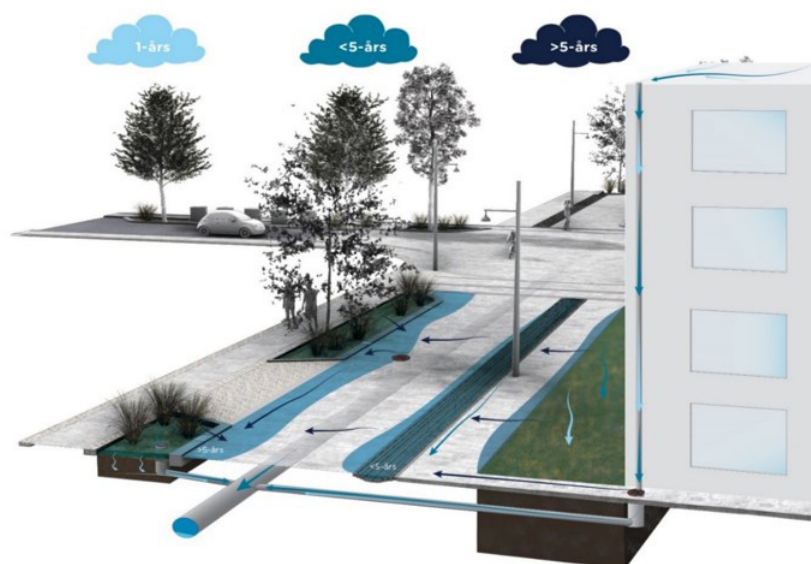
Et grønt og attraktivt parkområde med rum til både regnvand og verdens længste skaterende danner centrum i det nye, moderne og allerede superpopulære byområde Høje Taastrup C. Som to-talrådgivende ingeniør har Rambøll ansvar for at realisere dette visionære projekt, der blandt andet har budt på en hyperkompleks ledningsomlægning.

Da det enorme indkøbscenter City 2 tilbage i 1975 slog dørene op, stod det tydeligt for alle, at den tidligere landsby Høje Taastrup nu havde udviklet sig til en hypermoderne forstad. Med masser af parkeringspladser, brede boulevarder, etagebyggeri i blokkevis og klar adskillelse mellem de forskellige transportformer, var Høje Taastrup klar til at give sine beboere – hvoraf mange var tilflyttere fra de små københavnske lejligheder - alt det, der dengang ansås som kerneingredienser i 'det gode liv'.

Det er nu alt sammen snart halvtreds år siden. Og som det er med så meget andet, så ændrer folks opfattelse af det gode byliv sig over tid. Nye tider og nye drømme om den ideelle by har indhentet byen og området råbte på byfornyelse. Desuden står Høje Taastrup, ligesom alle andre danske kommuner, overfor den store opgave det er at tilpasse sig til fremtidens større og kraftigere nedbørsmængder.

## **Fremtidens forstad**

På den baggrund vedtog Høje Taastrup Kommune for år tilbage en byudviklingsplan, der skulle gøre byen mere sammenhængende, bæredygtig, mangfoldig og attraktiv, set ud fra nutidens parametre. Projektet, der har fået navnet Høje Taastrup C, skaber en helt ny central bydel i området mellem City2 og Høje Taastrup Station:



Brede boulevarder bliver afløst af et grønt parkstrøg, der vil sno sig igennem området og skabe en indbydende forbindelse mellem station og indkøbscentret, og en masse nye lejligheder, række- og punkthuse vil give beboerne mulighed for grøn udsigt og naboskab i øjenhøjde.

Over 4000 nye beboere forventes at flytte ind i de nye tæt-lave bebyggelser, og med en masse nye forretninger og caféer i gadeplan, vil der desuden blive skabt omkring 4000 nye arbejdspladser. Endelig vil Høje Taastrups nye rådhus blive opført tæt på parkstrøget og City2 for at understøtte udviklingen og skabe et naturligt samlingspunkt.

### Kompleks ledningsomlægning

Hvor arkitektfirmaet COBE har ansvaret for den arkitektoniske udformning af parkstrøget og den nye bydel, er Rambøll totalrådgivende ingeniør på projektet. Det betyder, at Rambøll er ansvarlig for alle projekteringsfaser, entreprenørudbud, byggeledelse og tilsyn, afleveringsforretninger, 1- og 5-års gennemgange, ledningsomlægninger af alle forsyningsarter, byggemodning af alle 24 byggefelter, samt projektering af alle veje og stier og en lang række andre vigtige opgaver.





Ledningsomlægningen alene er noget af det mest komplekse, jeg har set i mit liv. For det første var der et virvar af ledninger, og for det andet skulle de omlægges i etaper, således at der kunne etableres nye p-pladser, når de oprindelige blev strøget og byggefelter og så veje kunne ned- og omlægges i den rigtige rækkefølge. Den indledende dialog og forventningsafstemning imellem relevante aktører fra Høje Taastrup Kommune og byudviklingselskabet, forsyningselskaberne mv. var komplekst da der var modstridende interesser og forskellige økonomiske perspektiver. Men alt faldt på plads og i dag har Høje Taastrup C et fantastisk område.

### **Klimatilpasning i verdensklasse**

Set fra en klimatilpasningsvinkel er Høje Taastrup C et stærkt eksempel på regn- og spildevandsprojekt, der giver fantastiske muligheder for rekreativ udfoldelse i tørvejr, og som leverer et markant bidrag til at skabe attraktive byrum og social inklusion.

Der er nu lagt separate spildevands- og regnvandsledninger i hele området. Regnvand ledes via regnbede i ledninger ned til parkområdet, hvor det videreføres til et åbent regnvandsbassin. Fra det åbne bassin er der etableret et vandingsanlæg til genanvendelse af regnvand til vanding af hele Parken.

Når det så regner rigtig kraftigt, ledes det overskydende regnvand ned i verdens længste skaterenden på ca. 1 km, der således kan fungere som forsinkelsesbassin med en kapacitet på 6500 kubikmeter. Det betyder alt i alt, at området er klimatilpasset til at håndtere daglig regn op til en tiårshændelse og skybrud op til en 100-årshændelse. Området er desuden terrænreguleret således at regnvandet ikke trænger ind i City2. Skaterenden, som også rummer en klatrevæg, er i øvrigt designet i samarbejde med ingen ringere end den danske OL-skater Rune Glifberg, der også var med til at indvie anlægget for nyligt.





### Bæredygtigt på alle planer

Projektet er tænkt, designet og udformet, så det på alle tænkelige måder fremstår så bæredygtigt som muligt: Betonen fra de broer, der er blevet revet ned, er blevet knust og genanvendt som bærelag under vejene, og ligeledes er stort set al opgravet jord genanvendt og indarbejdet i det nye, grønne landskab.

I forhold til den sociale bæredygtighed, så er der i parken indtænkt frugttræer, borde, bænke og legepladser, der skaber liv og gode muligheder for inklusion. Og for at skabe størst mulig trykthed, så sikrer et avanceret lysdesign, at der på ingen tidspunkter vil være mørkepletter i parken.

### Succesfuldt samarbejde og populære felter

Samarbejdet med både bygherre Høje-Taastrup Kommune og Arealudviklingselskabet Høje Taastrup C samt COBE, der har stået for den arkitektoniske vision og landskabsmæssige udformning, har kørt upåklageligt. Og samtidig er 19 af de 24 byggefelter blevet solgt, herunder samtlige boligfelter, der følger principperne for et blandet boligområde med både leje, eje, boligfællesskaber og ollekoller, er godt i gang med at blive bebygget.

Alt i alt tegner Høje Taastrup til at blive en stor succes som rammen for 'det gode liv' gennem de næste mange, mange år.



# Ny udløbsledning fra Skagen Renseanlæg

*fra plan til virkelighed*



Af: Karina Buus, projekt- og Markedschef, COWI

Skagen Renseanlæg udleder i dag det rensede spildevand til Kattegat, fremover skal det udledes til Skagerrak. Fra projektet gik i gang ultimo 2017 og frem til nu har projektet budt på en del udfordringer, som til tider har betydet, at vi næsten var ved at miste troen på at det kunne lykkes. I denne artikel beskrives den rejse, som projektet har budt på, med op og nedture fra den spæde start i planlægningsfasen ultimo 2017 og frem til d.d., hvor vi er i mål. Der mangler blot at blive drejet på ventilen.

Som følge af havneudvidelsen i Skagen skal eksisterende udløbsledning omlægges. Problemstillingerne undervejs i projektforløbet har været:

- Undersøgelse af driftsforhold og økonomi for mulige nye tracér
- Anlægstekniske udfordringer grundet kraftig erosion og tilbagetrækning af kystlinjen, hvilket har betydet flytning af oprindelig planlagt tracé
- Vandmiljøplanerne tillader ikke en øget udledning af kvælstof i Skagerrak.
- Etablering af anlæg på vand med stor vanddybde og ekstreme bølgeforhold

## Valg af tracé

For at finde den optimale fremtidige placering af udløbsledningen blev der i et forstudie opereret med 4 mulige scenarier for placering af den nye udløbsledning. Ud fra opstilling af scenarier med drift, økonomi og anlægsteknik faldt valget på, at ledning skulle etableres til Skagerrak frem for i dag, hvor det udledes i Kattegat. Det første trace der blev undersøgt, var korteste vej mod Skagerrak, som vist i figur 1.

Ved studering af Kystmorfologi og kystens tilbagetrækning, ville det betyde en grave dybde på op til 9 m for at taget højde for kysterrosionen og kystens tilbagetrækning, hvis det umiddelbare førstevalg af trace blev valgt. Af figur 2 fremgår, hvortil kysten skønnes tilbagetrukket til efter 50-100 år, såfremt der ikke foretages kystsikringstiltag. Derfor blev traceet valgt til at forløbe mod syd/vest, hvor kysten er beskyttet med kystsikring mod erosion, se figur 1.



**Figur 1**  
Eksisterende udløbsledning og første forslag til nyt trace mod Skagerrak, rød linje. Valgt tracé, gul linje.

**Figur 2**  
Kystens tilbagetrækning, gul linje. Rød linje, første forslag til tracé.



### Spredningsberegninger

Et andet hensyn som der skulle tages, var overholdelse af badevandkvalitetskriterierne, hvorfor der til kontrol heraf blev udført bakterielle spredningsberegninger, som vist på figur 3. Disse beregninger viste, at længden på udløbsledningen blot skulle føres ca. 400 m ud fra kysten for at sikre tilstrækkelig med spredning af det rensede spildevand.

**Figur 3**  
Spredningsberegninger.

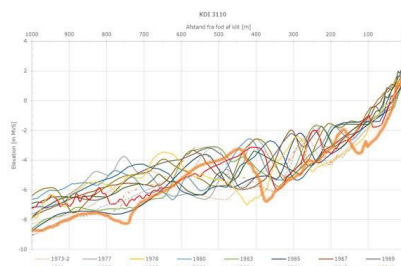


### Længde på ledning

Men det blev ikke spredningsberegningerne, som fastlagde den dimensiongivende længde på ledningen, idet erosionsforholdene og havbundens variation viste sig at være langt mere bestemmende.

Ud fra Kystdirektoratets målinger af havbundens variation, blev længden af udløbsledningen beregnet til 1.500 m, for herved at kunne sikre både ledning og udløbsbygværk mod erosion og bølgekræfter. Af figur 4 fremgår havbundens variation i måleperioden 1973 til 2016, hvor der er en havbundsvariation på op til 4 m.

**Figur 4**  
Havbundens variation.



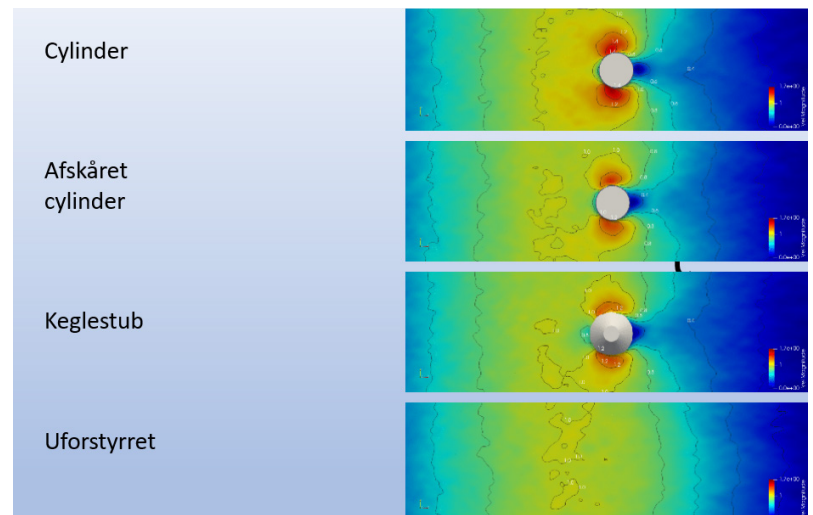
De dyre anlægskroner i projektet er, hvor ledningen og udløbsbygværk skal etableres på dybt vand, da det kræver tungt maskinelt grej/fartøjer. Derfor blev der udført modellering af bølge- og strømforholdene, for at finde det bedste forhold mellem længde på ledningen og størrelse på bygværket. I figur 5 ses resultatet fra en simulering af bølgeforholdene ved forskellige udformninger af bygværket sammenlignet med en uforstyrret tilstand, hvor der ingen bygværk er.



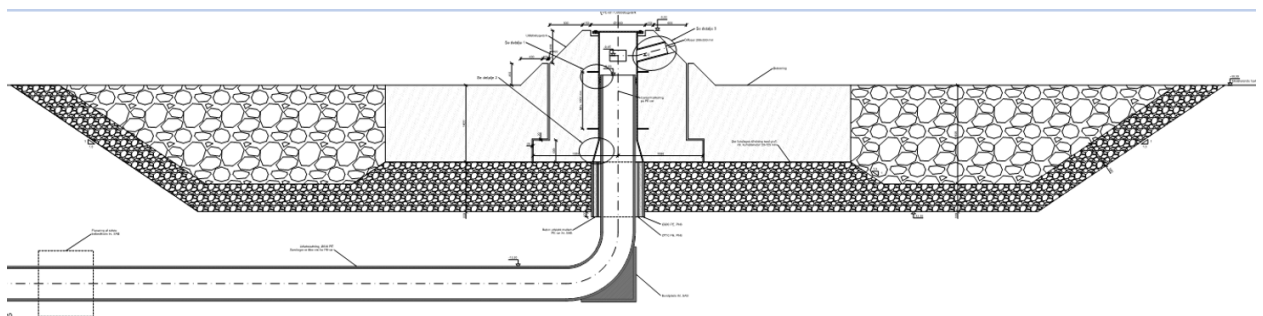
Ud fra disse beregninger blev længde af udløbsledning beregnet til 1.000 m frem for 1500 m. Tilsvarende skulle udløbsbygværket opdimensioneres for at modstå de kraftigere bølgeforhold på lavere vanddybde, som blev reduceret fra ca. 14 m til ca. 10 m. Der kunne herved spares ca. 7 mio. kr. i anlægskostninger. Dette gav dog en lidt øget længde på landleddningen, som herved blev ca. 1000 m

Af figur 6 fremgår det projekterede udløbsbygværk inkl. erosionssikring. Bygværket er  $\varnothing 3000$  mm og har en overhøjde på 1 m over havbunden. Udstrækningen erosionssikringen udgør ca. 25 m.

**Figur 5**  
Simulering af bølgeforhold omkring udløbsbygværket.



**Figur 6**  
Udløbsbygværk, erosionssikret med brudsten og sprængstensfyld.



**Figur 7**  
Resultat af UXO- undersøgelse.



**Figur 8**  
Strømforhold omkring Danmark.





**Figur 9**  
Udgravningsfartøj (sandsugning).

### Forundersøgelser

Der blev naturligvis også udført en række forundersøgelser, geoteknik og geofysik. Idet der var risiko for mineforekomster, blev der også udført en UXO-undersøgelse. (Unexploded Ordnance). Resultatet herfra ses i figur 7, hvor det fremgår, at der blev registreret magnetisk udslag. Ledningstraceet blev korrigeret herfor, således der ikke var risiko for, at der blev gravet ned i eksempelvis en mine.

### Vandområdeplanerne

Ifølge vandområdeplanerne tillades der ikke tilført yderligere kvælstof til Skagerrak. Ved at udføre strømningsberegninger kunne det eftervises, at den andel der kommer fra Skagen Renseanlæg udgør 1/20.000 i forhold til den transport, der er der i forvejen. Beregningerne viste, at efter 6 timer er der sket en opblanding, som gør, at det er underordnet om udledningen sker til Skagerrak eller Kattegat. Ved denne beregning/eftervisning accepterede myndighederne udledningen til Skagerrak.

### Udførelsesfasen

Arbejdet blev på vand blev udført fra skib, hvor der oprindelig var valgt sandsugning, hvilket i praksis viste sig at være en dårlig løsning. Der blev derfor primært anvendt traditionel gravning fra skib. Figur 9 og 10 viser hhv. udgravningsfartøjet og sandsugningspumpe.

Rørene blev svejst på land i 3 sektioner á ca. 330 m, oplagt på stranden og herfra flådet ud på vand, hvor ballastklodser blev påmonteret, jf. figur 11. På figur 11 ses også den Cofferdam (spungrube), der blevet anvendt som landfæste og som værn mod ekstreme bølger og risiko for tilsanding af renden.

Jf. krav fra Kystdirektoratet blev ledning opdriftssikret svarende til 80% af en luftfyldt ledning. Opdriftssikring bestod af påmonterede betonballastklodser.

**Figur 10**  
Oplagte svejste rør, ø800 mm, på stranden.





**Figur 11**  
Rør flådet ud og  
ballastklodser monteret.



## Tidsplan

Projektering:

Ultimo 2017 – medio 2019

Udbud og kontrahering:

Medio 2019 – ultimo 2019

Udførelse på land, vand:

Forår 2020- medio 2021

Det meste af ledningsarbejdet blev færdigetableret i efteråret 2020, med undtagelse af de sidste 100 m på vand og udløbsbygværket, som først blev færdiggjort sommeren 2021. Årsagen til forsinkelsen var vejrforholdene, hvor bølgerne var for ekstreme til at fartøjerne kunne etablere ledning og bygværk. Udfordringen var her, at entreprenørens fartøjer lå forankret i Kattegat mod øst, men arbejdet skulle udføres på den anden side af Grenen i Skagerrak. Vejrforholdene kunne således se rigtige fine ud i Kattegat, men umulige i Skagerrak, hvorfor fartøjerne måtte blive i havn.

I figur 12 ses udløbsbygværket på land inden nedhejsning på havbunden og figur 13 viser et delstykke af betonkraven/ringen, som blev monteret rundt om udløbsbygværket, som forankring.

Som en del af entreprenørens således-udført skulle han aflevere et survey i form af multibeam af havbundens overflade. Dette for at kunne dokumentere at der jf. Kystdirektoratets krav ikke er sket en dybdeforringelse på +/- 20 cm. Resultatet fra det afsluttende multibeam survey for bygværket ses i figur 14.

## Anlægsøkonomi

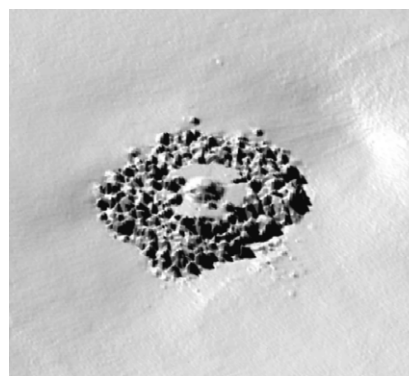
Det totale ledningsanlæg på land og vand er etableret for ca. 25. mio. kr.



**Figur 12**  
Udløbsbygværket.



**Figur 13**  
Nedhejsning af betonkrave.



**Figur 14**  
Afsluttende multibeam  
omkring udløbsbygværket.



# Nyt regnvandsbassin i Østervold i Randers er et kvalitetsløft for byen

## *Regnvandshåndtering og byforskønnelse af Randers' Rambla*



Af: Jasper Vagner Jensen, projektleder, NIRAS



Af: Sara Bugge Ploug, ekspertisechef, NIRAS

Randers By ligger udsat for oversvømmelse fra alle sider, og problemet forventes forværret med de fremtidige klimaforandringer. Her skal både håndteres havvandstandstigninger fra Randers Fjord, store afstrømninger og stigning af vandstanden i Gudenåen samt øget grundvandsstigning. Samtidig skal de stigende regnvandsmængder ledes ned igennem den gamle midtby uden at skabe u hensigtsmæssige oversvømmelser.

"Flodbyen Randers" er en vigtig masterplan for det fremtidige Randers, og med det nye regnvandsbassin i Østervold har Randers Kommune og Vandmiljø Randers vist, hvordan sikring mod fremtidens store vandmængder kan forandre byen og give et kvalitetsløft – også i tørvejr.

Gennem de seneste år har Randers Kommune skabt flere og spændende planer i "Klimabåndet" og "Flodbyen Randers", hvor klimasikring er rammesættende for skabelse af ny by uden at skærme ny og eksisterende by fra Gudenåen. I arbejdet med planerne har Randers Kommune og Vandmiljø Randers investeret tid i at søge inspiration gennem involvering af byens borgere og andre interessenter. Dette har samtidig skabt stor opmærksomhed og forventning til fremtidens Randers – forventninger, som skal opfyldes og gerne hurtigst muligt. Store planer tager dog lang tid at gennemføre, og det er umuligt at udføre alle tiltag på én gang. Derfor giver det mening at bryde store planer ned til mindre og realiserbare projekter, der skaber færrest mulige gener for den eksisterende infrastruktur. Erfaringsmæssigt kan det være svært at realisere store planer, dels fordi planer ikke er virkelighed, dels fordi virkeligheden er kompleks og ofte kræver samarbejde mellem mange fagligheder.

Regnvandsbassinet i Østervold er det første af mange projekter i realiseringen af "Flodbyen Randers". Østervold-projektet er valgt af flere årsager: Projektet kan realiseres som en mindre del af et større hele og, vigtigst, projektet kan give byen et kvalitetsløft og ny energi samtidig med vandhåndtering. Bassinet er nemlig ikke kun et byforskønnelsesprojekt, som bringer Gudenåens natur ind i byen og skaber mulighed



Østervold, bassin.

for ophold og udendørsservering i et stykke natur midt i byen. Bassinet renser regnvandet, inden det ledes til Randers Havn, og kan på sigt omformes til en transportkanal, der kan lede skybrudsvand ned til den indre del af Randers havn. Østervold er tillige en vigtig transportvej for overfladevand, da overfladevandet fra størstedelen af Randers Nord naturligt vil strømme ned igennem Østervold ved skybrud.

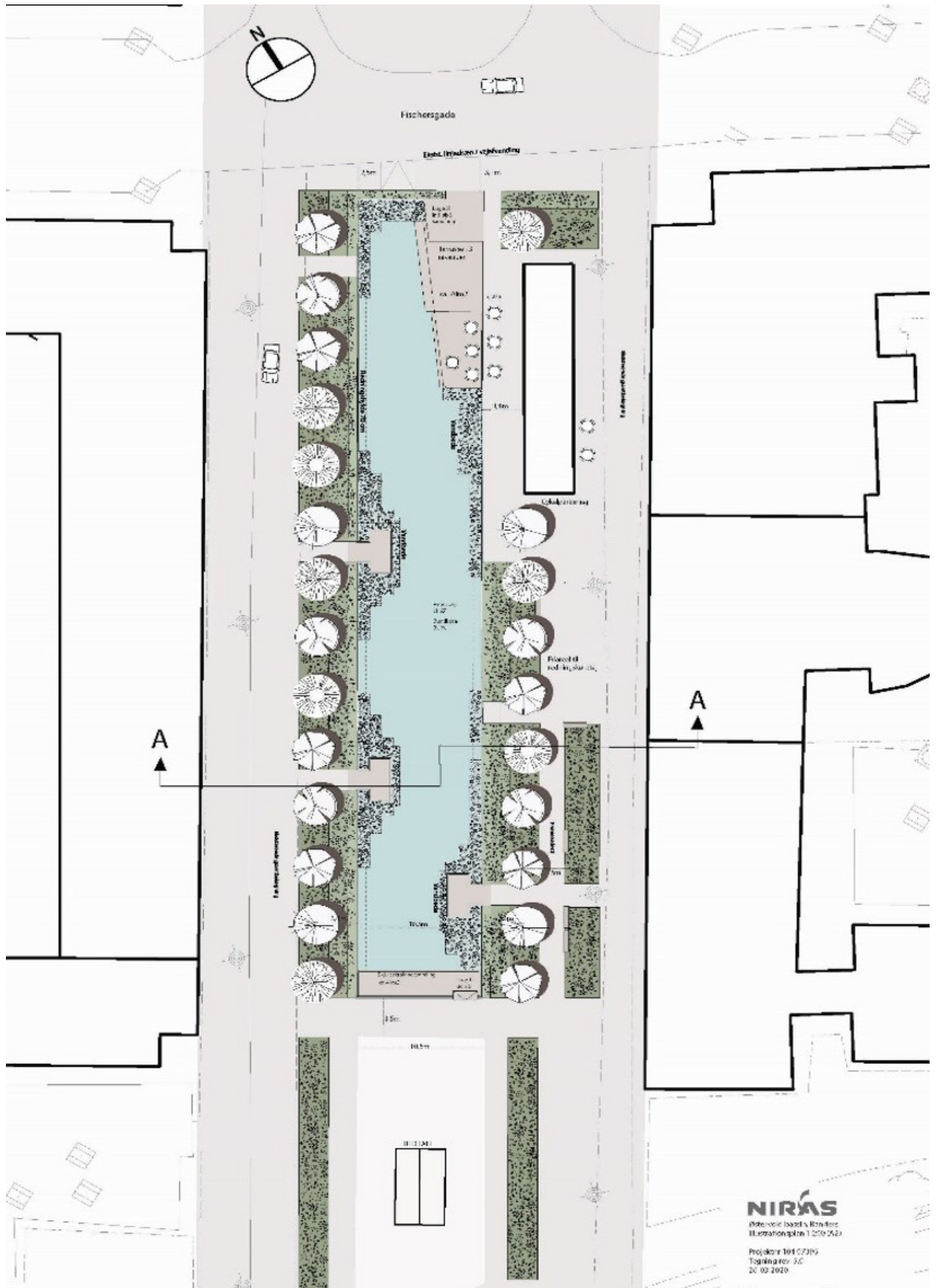
Gudenåen er, som Danmarks eneste flod, en vigtig del af Randers' identitet, hvorfor der er et stort ønske om at trække dens natur op i selve byen. I Østervold-projektet er der etableret en kopi af fiskebroer i det nye bassin, som er en skalering af de eksisterende fiskebroer, der findes langs Gudenåen. Derudover er bassinet beplantet med stauder og græsarter, som ligner det, der findes langs Gudenåen, og opbygget som en åbrink, der giver en klar skillelinje mellem det våde og det tørre miljø.

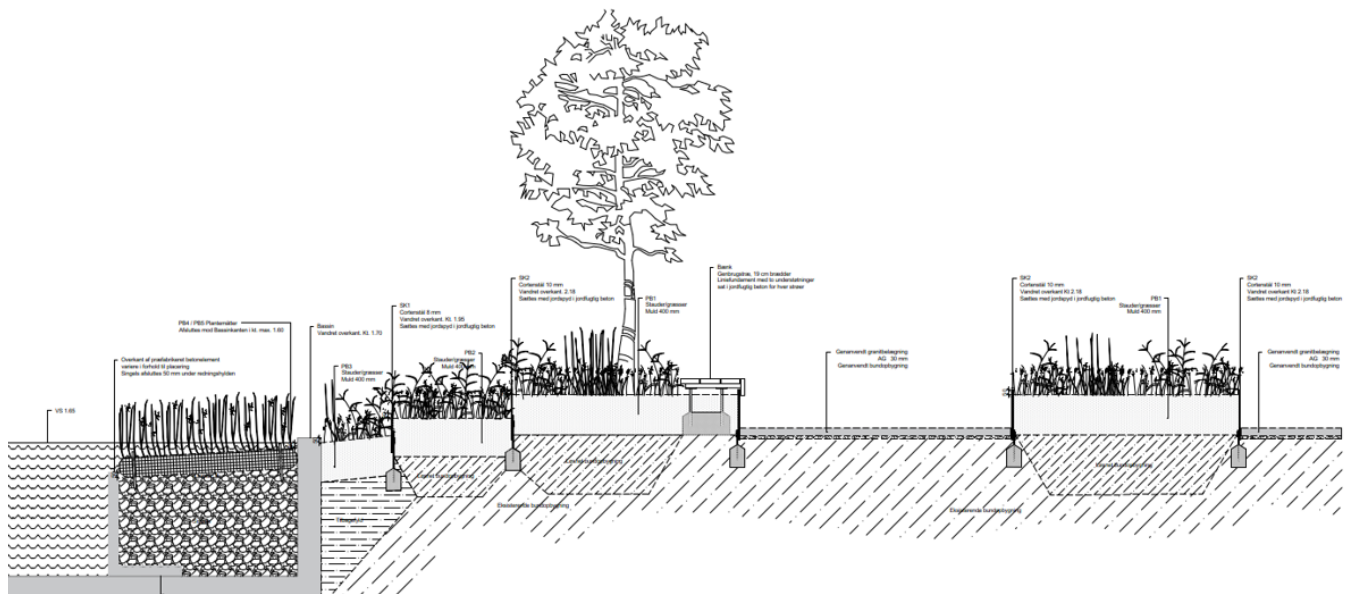
En vigtig parameter for et åbent bassin i et område med stor aktivitet er koblingen mellem tilgængelighed og sikkerhed for de gående. I planlægningen af Østervold-bassinet var det en væsentlig præmis, at området indbyder til aktivitet og nærhed til vandet – med øje for sikkerhed. Der er installeret trin nede i bassinet, så det er let at træde op af bassinet igen, hvis uheldet er ude. Der er også installeret stopklodser, så barnevogne og kørestole ikke kan trille i bassinet, ligesom den beplantede brink skal være med til at afholde folk i at komme for tæt på vandet.

Med mange ambitioner, godt beskrevne planer og en aftalt organisering med to bygherrer og én rådgiver skulle planerne føres ud i livet, lige da Coronaen ramte Danmark.



Plan, Østervold.





Tværsnit, Østervold.

Men udfordringen med planer er som nævnt, at de ikke er virkelighed, og også i Randers var der forhold i detailprojekteringen, som krævede tilpasninger. Randers by er placeret på sætninggivende jord. Hvilket betød, at der skulle accepteres op til 8 cm sætninger. Østervold er adgangsvej til byens busterminal. Derfor kunne lukning af krydset Østervold/Fischergade ikke accepteres. Samtlige ledningsejere i Randers har ledninger i Østervold, hvor bl.a. store gas og fjernvarmeledninger gav massive udfordringer. Med god organisering, stor enighed om, at projektet skulle realiseres, og godt samarbejde parterne imellem blev der hugget en hæl og klippet en få, så det lykkedes at komme i mål inden for tidsplanens rammer.

Som en afsluttende smuk finish har bassinet fået installeret et specielt lys, som via bakterier i en speciel jordmatrice kan generere biologisk lys. Denne installation kommer til udtryk som små lysdioder, der giver sivene liv i de mørke timer.

Bassinet i Østervold er et utrolig spændende projekt, hvor forsyningen og kommunen i fællesskab skaber byforskønnelse, som samtidig spiller sammen med de overordnede planer for klimatilpasning af Randers. Efter etableringen har projektet gået sin sejrsgang på Instagram, ved uddelingen af arkitekturprisen 2021 og, ikke mindst, hos byens borgere. Dermed er den første sten i diget lagt til gennemførelsen af "Byen til Vandet". Det bliver særdeles spændende at følge udviklingen i Randers i de kommende år.



# Hvordan bæredygtighed kan indtænkes i alle projektfaser



Af: Adriana M. Wenda  
Civilingeniør i Miljøteknologi,  
Rambøll

Bæredygtighed bør indtænkes fra start til slut i ethvert projekt, da det giver langt bedre forudsætninger for at nå i mål med de mest bæredygtige løsninger og bidrage til FN's 17 verdensmål, Paris-aftalen, samt den nye EU Taxonomy Regulation.

Efterspørgslen på bæredygtige løsninger er stigende, men det kan være svært for den enkelte kunde at vurdere, hvornår og hvordan man kan og bør implementere bæredygtige løsninger, samt hvilke løsninger, der egentlig er bæredygtige. I arbejdet mod målet fra Paris-aftalen om at holde den globale temperaturstigning under 2°C og helst på kun 1,5°C, sammenlignet med præindustrielt niveau, er der nedsat nogle konkrete bæredygtighedsmålsætninger.

- I 2030 skal EU have reduceret CO<sub>2</sub> udledningen med min. 55%, sammenlignet med 1990, og i 2050 skal EU være klimaneutral.<sup>1</sup>
- Danmark skal opnå 70% reducere af CO<sub>2</sub>-udledning i 2030.<sup>2</sup>
- Vandsektoren skal være CO<sub>2</sub>- og energineutral i 2030.<sup>3</sup>

## Den holistiske tankegang bag bæredygtighed

Inden for bæredygtighed er der tre aspekter at arbejde ud fra:

- 1) Miljømæssig bæredygtighed: At værne om natur og miljø og sikre de bedste vilkår for bevarelse.
- 2) Social bæredygtighed: Social retfærdighed, lige vilkår og trivsel blandt befolkninger.
- 3) Økonomisk bæredygtighed: Sund økonomi med vækst, mindre ulighed og ansvarlig produktion.

<sup>1</sup> EU's klimalov

<sup>2</sup> Den danske klimalov

<sup>3</sup> Parismodel fra "Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi"

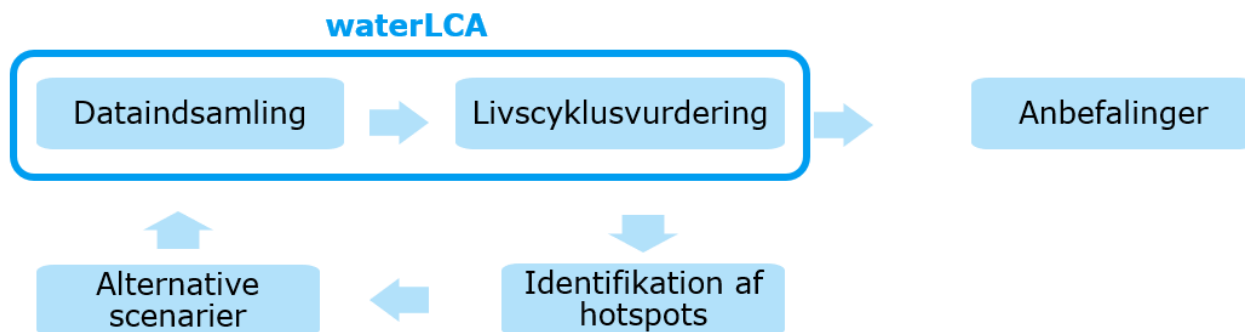


**Figur 1**  
 Visualisering af bæredygtigheds mål lavet på baggrund af vores SDG- og dialogværktøjer.

Når man snakker bæredygtighed, er det vigtigt at huske, at alle tre aspekter kan have indvirkning på hinanden. For eksempel kan en løsning, der gavner naturen og den miljømæssige bæredygtighed også gavne trivsel blandt befolkningen og dermed gavne økonomien. Den holistiske tankegang er grundlæggende i bæredygtighed og vigtig at holde fast i under et bæredygtigt projekt. Den samme indbyrdes afhængighed gør sig desværre også gældende den anden vej, og en løsning, der for eksempel bidrager til øget økonomisk bæredygtighed, kan dermed også nedsætte den miljømæssige bæredygtighed.

Alt hvad vi foretager os, påvirker i større eller mindre grad jorden og klimaet og vi befinder os derfor lige nu i en situation, hvor løsningen (klimaprojekter og grøn omstilling) også bidrager til problemet (klimaforandringer). Vi kan ikke alene bygge os ud af problemet, men må indtænke bæredygtighed fra start til slut for at optimere og nedbringe udledningen af drivhusgasser bedst muligt. Ved at klargøre muligheder, fordele og ulemper allerede i starten af et projekt, bliver det tydeliggjort hvilke løsninger, der bidrager til bæredygtighed på flere aspekter.



**Figur 2**

WaterLCA og fremgangsmåden når vi arbejder med miljømæssig bæredygtighed.

### Bæredygtige projekter starter med dialog

Når man skal indtænke bæredygtighed i et projekt, skal man vide, hvad man vil, hvorfor man vil det, og hvordan man kommer i mål. Inden man starter bæredygtighedsberegningerne i et projekt, er det derfor nødvendigt med et overblik over kundens mål og ambitioner. Vi har i Rambøll udviklet flere værktøjer, som blandt andet 'SDG Impact Assessment Tool' (Figur 1) og 'Sustainability Dialogue Tool', som bruges i de tidlige projektfaser til at fastsætte bæredygtighedsramme og -ambition.

De to værktøjer hjælper med at danne et samlet overblik over hvordan og i hvor høj grad projektet understøtter FN's 17 verdensmål og de 169 undermål. De understøtter en dialog om hvilke verdensmål, der er relevante for projektet og kunden, og hvordan man kan arbejde med de forskellige mål og deres undermål. Med værktøjet kan man altså tilbyde en uddybende vurdering af projektet i henhold til verdensmålene samt udspecificering af hotspots (områder hvor miljøpåvirkningen er størst). Når man ved, hvad kunden ønsker og hvorfor, kan man dernæst planlægge og udregne løsninger.

### Livscyklusvurdering og kvantificering af bæredygtighed

Med Life Cycle Assessment/Livscyklusvurdering (LCA) kan bæredygtighed gøres målbart og håndgribeligt i et projekt. LCA er en metode, der gør os i stand til at kvantificere miljøpåvirkninger fra de forskellige livscyklusstadier hele vejen igennem et produkts/systems levetid.

Sarah Brudler fra Rambøll har i forbindelse med sit ph.d.-projekt i samarbejde med VandCenter Syd og arbejde i Rambøll udviklet waterLCA, et digitalt LCA-værktøj der er specifikt målrettet vandsektoren. Bag det ligger en stor database, der gør det muligt at bygge vandsystemer fra en bred vifte af elementer såsom rør, bassiner og grønne elementer som fx. regnbæde. Vandsystemer til klimatilpasning, regn- og spildevandshåndtering samt drikkevandsforsyning vurderes på en lang række miljøpåvirkninger fra vugge til grav. CO<sub>2</sub>-emissioner, ressourceforbrug og andre miljøpåvirkninger, som marin- og ferskvandseutrofiering samt ferskvands økotoxicitet, kvantificeres for hver af livscyklusfaserne. Værktøjet giver detaljerede resultater for de forskellige miljøpåvirkninger og gør det muligt at foretage en grundig analyse for at identificere miljømæssige hotspots. Samtidig gør det os i stand til at opstille og sammenligne en række scenarier nemt og hurtigt.

WaterLCA kortlægger hvilke løsninger, der udleder hvad og hvor meget, og giver mulighed for hurtigt og nemt at sammenligne løsninger. (Figur 2) Forskellen mellem for eksempel at bruge et plastrør og et betonrør bliver visualiseret og konkretiseret. I fremtiden vil man kunne få resultater, der belyser både den økonomiske og miljøbæredygtighed samtidig.

<b>1</b>	<b>Afgrænsning af bæredygtighedsramme</b> Hvilke bæredygtigheds mål er relevante i projektet? Er der minimumskrav, som vi skal opfylde?
<b>2</b>	<b>Definition af bæredygtighedsindikatorer</b> Hvilke indikatorer kan vi bruge for at beskrive målene kvantitativt og skaffe et beslutningsgrundlag?
<b>3</b>	<b>Vurdering af alternativer</b> Hvor bæredygtig er de forskellige alternativer i de enkelte bæredygtighedsindikatorer? Hvor meget koster alternativene?
<b>4</b>	<b>Valg af alternativ</b> Hvilket alternativ vælges, baseret på konkrete tal ift. bæredygtighed og økonomi?
<b>5</b>	<b>Definition af konkrete krav</b> Hvilke krav skal fx entreprenører eller producenter opfylde, for at sikre ambitionsniveauet ift. bæredygtighed?

**Figur 3**

Vores tilgang til bæredygtighed. Jo tidligere i projektet bæredygtighed indtænkes jo større potentiale er der for at optimere og nedbringe udledningen af CO<sub>2</sub> og andre miljøpåvirkninger.

Ved brug af værktøjer til dialog og LCA-beregninger, kan man danne et fuldstændigt overblik over projektet. Dette giver os den bedste forudsætning for at rådgive og understøtte vores kunder i at træffe bæredygtige beslutninger på alle niveauer af projektet fra idéfase til detaljeret planlægning og sikre sig, at de bæredygtige løsninger implementeres de rigtige steder på de rigtige tidspunkter. (Figur 3)

### New York resiliency study

New York har store udfordringer med ekstremvejr og oversvømmelser, der forårsager alvorlige skader og øger usikkerheden blandt befolkningen, og derfor er yderligere klimatilpasningstiltag en nødvendighed. Rambølls resiliency study i New York er et godt eksempel på, hvordan man får indtænkt bæredygtighed fra start og implementeret flere aspekter af bæredygtighed i ét projekt.

NY resiliency study fokuserer på et pilotområde i det sydøstlige Queens og bygger på Rambølls erfaring fra udviklingen og implementeringen af skybrudsløsninger for Københavns Kommune. Projektet i Queens havde stort fokus på social bæredygtighed, herunder merværdi knyttet til sundhed og andre sociale parametre, der kan give området et løft. Med Nature-based Solutions vil området opleve mere natur, bedre biodiversitet, flere rekreative områder og øget sundhed, samtidig med at risikoen for alvorlige skader og personuheld ved fx oversvømmelse mindskes. Cost-benefit ratio viser også, at der for hver \$ 1 USD, der investeres i blågrønne løsninger, er en benefit på \$ 1,8 USD til lokalområdet. I NY resiliency study er der altså både taget højde for den miljømæssige, den sociale og den økonomiske bæredygtighed.

At indarbejde bæredygtighed i alle projektfaser handler altså også rigtig meget om at ændre måden vi tænker, snakker om og ser på projekter og løsninger. Et bæredygtigt projekt er nemlig ikke kun den implementerede løsning i sig selv, men indbefatter også materialer, transport, miljøpåvirkning, stakeholders, og alt det omkringliggende, der berøres af løsningen. For at imødekomme verdensmålene, EUs Taxonomy Regulation og forhindre øget global temperaturstigning, skal vi derfor væk fra silotænkning og mod helhedstænkning.



# Hvorfor nøjes? Punktskyer som dokumentation gør arbejdet lettere

*Fagområdet landmåling udvikler sig i rivende fart og den traditionelle landmålerstok burde i de fleste tilfælde blive skiftet ud med en laserscanner, en drone eller en mobiltelefon.*



Af: Andreas Hodal,  
Partner, Landinspektør,  
Afdelingsleder LE34 LE34

Hidtil har det været den gængse opfattelse, at vi ikke skal bruge tid på at måle mere, end det der bliver bestilt. Men hvad hvis det er muligt at måle meget mere uden at øge tidsforbruget? Og hvad hvis værdien af den ekstra mængde data giver store besparelser på lang sigt?

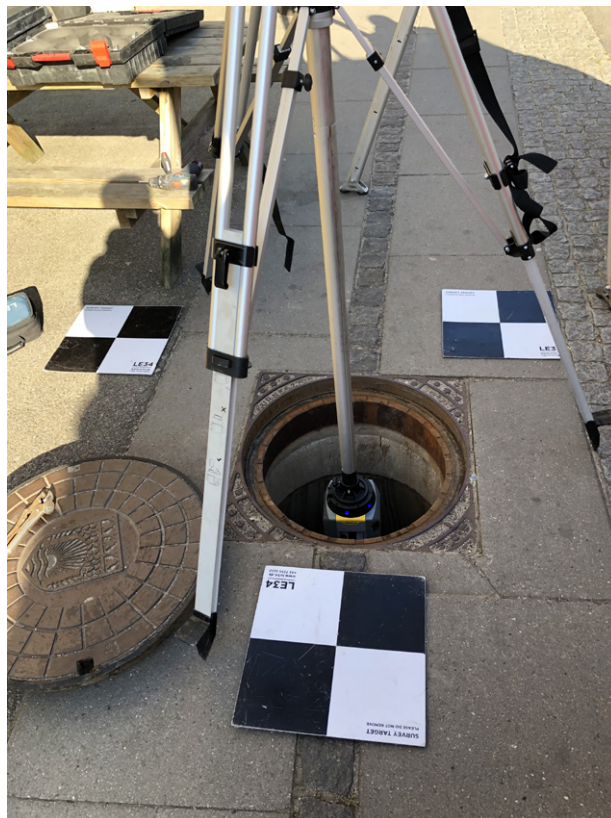
## Den traditionelle metode

Når et afløbsteknisk anlæg skal renoveres, bliver landmålere kaldt ud for at dokumentere den eksisterende geometri. Bygherren definerer og bestiller nogle oplysninger, som landmålerne leverer: Hvor bred er overløbskanten? Hvad er udløbskoten og hvilke dimensioner har de tilstødende ledninger? Bygherren anvender disse data til at projektere det nye anlæg.

De samme geometriske informationer skal dernæst måles og dokumenteres, når et nyt anlæg er etableret. Denne såkaldte "as-built" dokumentation foretages ofte af den udførende entreprenør som et led i projektets samlede entreprise.

Det bliver altså defineret fra opgave til opgave af bygherre, hvilke elementer vi måler og dokumenterer. Hvis det er et afløbsteknisk anlæg, kan det for eksempel være DANVA's Dandas datamodel, som specificerer, hvad der skal måles. En bundkote her og en udløbskote der.

Men hvorfor nøjes med det?



Et bygværk laserscannes fra terræn ved hjælp af specielt hejseudstyr. Med denne metode er det ikke nødvendigt at kravle ned i bygværket.

### Scanning som målemetode

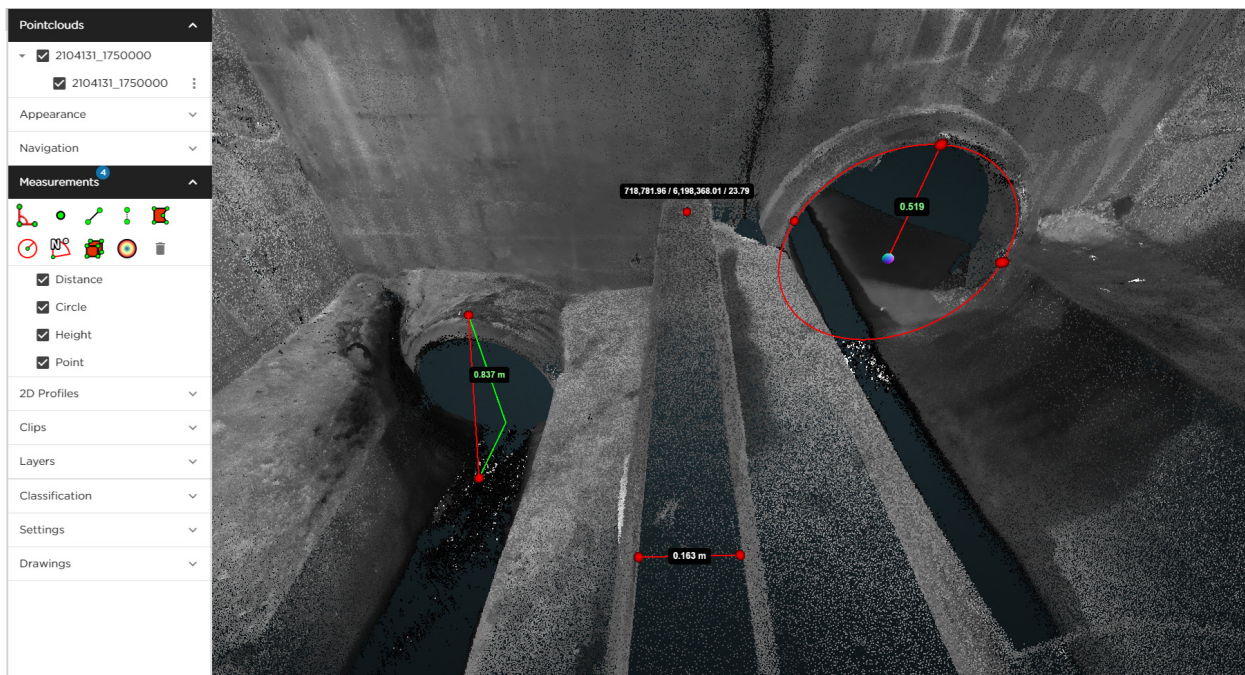
Scanninger behøver ikke kræve avanceret udstyr. Vi har udviklet en app, som omdanner din mobiltelefon til en scanner og skaber en præcis georefereret punktsky med hjælp fra GPS-fikspunkter. Metoden kaldes fotogrammetri og danner punktskyen ud fra genkendelige punkter i en lang række billeder. En scanning af et typisk lille anlægshul på 5 m<sup>2</sup> giver en punktsky på over 100.000 punkter. Georefereringen betyder, at hvert eneste lille punkt har en tilknyttet XYZ-værdi. Denne metode er oplagt til anlæg, som er frit tilgængelige og har gode lysforhold – for eksempel et åbent anlægshul i forbindelse med ledningsarbejde. Med denne metode kan vi i dag sikre data på alt i et anlægshul, før det bliver lukket til – vel at mærke uden at øge tidsforbruget.

Befinder vi os i et lukket rum med dårlige lysforhold, som for eksempel et overløbsbygværk eller en pumpestation, er det som regel nødvendigt at bruge en laserscanner. Landmåleren møder ofte fordomme omkring laserscanneren og særligt de omkostninger, der er forbundet hertil. Dette skyldes at en laserscanning i "gamle dage" var ensbetydende med et stort tidsforbrug i marken og omfattende manuel databehandling. Sådan er det ikke i dag. En moderne laserscanner beregner og behandler punktskyen mens den scanner, og selve scanningen tager ikke længere tid end en traditionel opmåling med totalstation. Resultatet er en præcis georefereret punktsky med tilknyttede panoramafotos.

Scanning af anlægshul med mobiltelefon ved hjælp af appen SmartSurvey™







Eksempel på brug af PointView® til opmåling direkte i en punktsky scannet for Novafos.

### Punktsky som dokumentation er revolutionerende

Med en punktsky har du ikke længere kun en række indmålte punkter og linjer, men et komplet, målbart billede af anlægget. En såkaldt digital tvilling. Det betyder, at du kan tilgå alle mål og dimensioner på dit anlæg direkte fra kontoret.

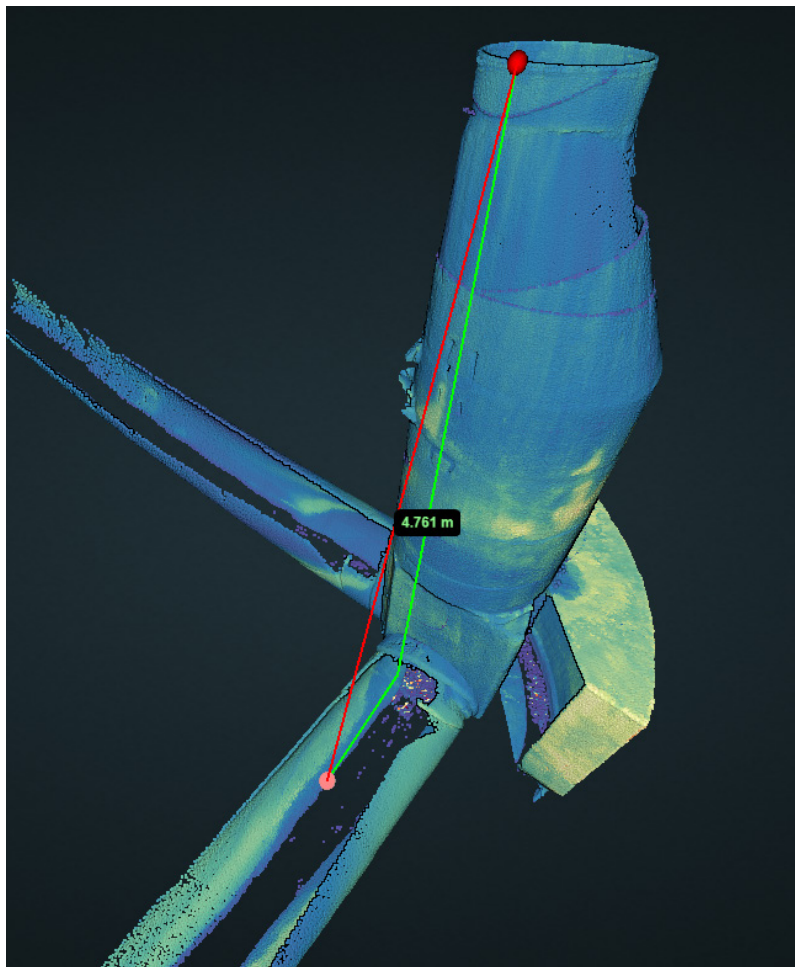
En af de helt store fordele er desuden, at det altid er muligt at genbesøge punktskyen, hvis der opstår behov for supplerende informationer på et senere tidspunkt. Det kunne for eksempel være, at det pludselig blev aktuelt at kende afstanden til en fremmed ledning i et scannet anlægshul. Denne afstand kan nemt og hurtigt måles i en punktsky, og det vil derfor ikke være nødvendigt at foretage en prøvegravning i marken og sende en landmåler ud igen.

### Nem adgang til data og måleværktøjer via din browser

For at gøre arbejdet med punktskyer endnu nemmere, har vi udviklet en punktskyviewer, som kan udstille punktskyer direkte i en webbrowser ved hjælp af moderne cloud-teknologi. I PointView® er det muligt at måle og tegne direkte i punktskyen – det eneste, du har brug for, er en internet-forbindelse. Tidligere var det kun CAD-eksperter med stærke computere, som havde mulighed for at arbejde i punktskyer, men sådan er det ikke længere. Enhver med en laptop og internetforbindelse kan i dag få adgang til PointView® og arbejde med punktskyer. Det betyder også, at det ikke nødvendigvis skal være landmåleren, som foretager registreringen til Dandas eller Danvand. Når først punktskyen er indsamlet og leveret, er der intet til hinder for, at forsyningsselskabets egne medarbejdere kan foretage registreringen i punktskyen.

### Vi behøver ikke længere nøjes

Punktskyer som dokumentationsform er kommet for at blive. Den teknologiske udvikling inden for cloudløsninger og punktskyer har gjort det suveræne værktøj tilgængeligt for alle. Hvis man først har oplevet, hvad det betyder at have et komplet billede af det, som gemmer sig i jorden, ønsker man aldrig fornemmelsen af at famle i blinde igen.



En laserscanning giver en komplet 3D dokumentation af bygværkets udformning.



Eksempel på punktsky af anlægshul dokumenteret ved scanning med en mobiltelefon for Novafos.



# Brug af AR/VR i forbindelse med design

*Data til design øger effektivitet  
og forståelse for projekterne*



Af: Martin Wilhelm Øckenholt Larsen  
Project Manager, COWI

Gå en tur i et underjordisk spildevandsbassin. Få overblik over en ikke -eksisterende jernbanestrækning eller giv interessenterne en realistisk fornemmelse af størrelsen på nye regnvandsbassiner.

Muligheden for at smelte den virtuelle og virkelige verden sammen ved hjælp af BIM-modeller (Bygnings Informations Modellering) herunder brugen af VR og AR modeller giver store fordele i forbindelse med design og planlægning.

I COWI er vi ikke længere i tvivl om de store gevinster der er ved at benytte smarte digitale værktøjer til gengivelse af projekter. Det er efterhånden normen, at anlægsprojekter projekteres i 3D. Det er effektivt og giver mulighed for at håndtere fagområder i en kombineret fagmodel, men også for at arbejde mere dynamisk med projektets data.

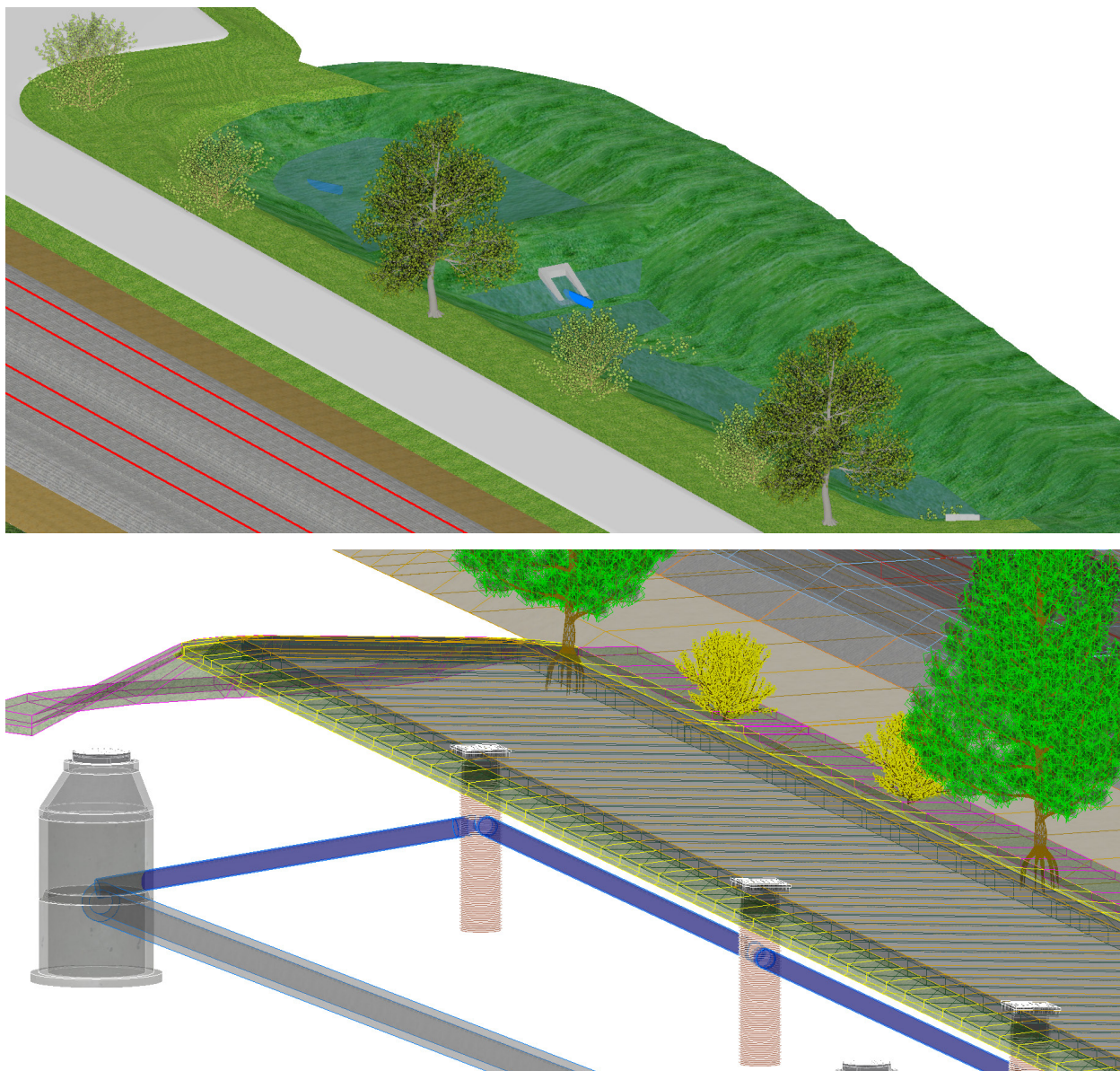
I takt med at mange projekter bliver mere og mere komplekse tilbyder BIM desuden en let måde at håndtere og visualisere data i VR eller AR. Samtidig oplever vi at vores kunder efterspørger og forventer denne form for gengivelse af data og rumforhold. Særligt infrastrukturkunder men også forsyninger som skal benytte visualiseringerne i deres dokumentation og til videre brug i asset management.

Ved at arbejde ud fra veldefinerede datamodeller minimeres risikoen for fejl, projektet optimeres, og bygherrer samt interessenter får en bedre forståelse for projektet, som sikrer projektets kvalitet forøges.

## **Virkelighedsnære modeller**

Det eneste en VR/AR model kræver, er en modelfil med 3D-objekter som er georefereret/stedsbestemt.

Sædvanligvis benytter man **BIM-modellering** (*BIM = Bygnings Informations Model*). Det er en arbejdsproces, hvor der opbygges digitale 3D modeller, der ud over geometri kan indeholde en stor mængde informationer om det projekterede. Informationerne er knyttet til modellens objekter i form af egenskaber som f.eks. type, navn og anvendelse. Dette benyttes til at foretage kollisionskontrol, automatisk



**Figur 1**  
3D visualisering af projekterede  
design fra en BIM-model.

mængdeudtræk, tilknytning af tidsplaner og trække data ud i til 2D tegninger direkte fra 3D samlemodel eller 3D fagmodel.

**AR** (Augmented reality) benyttes som et visualiseringsværktøj til at se BIM-modellen i virkeligheden. Modellen placeres i den virkelige verden med en GPS-nøjagtighed på 1-3 cm. Dette betyder at modellen ligger på den projekterede placering og den herved kan ses i relation til den virkelige verden.

I marken kan man tilpasse visningen af AR-modellen, ved at skære i modellen, tænde og slukke objekter, måle punkter mellem modellen og virkelighed, gennemse 3D-objektets attributter samt tage billeder og video.





**Figur 2**  
Et håndholdt AR-værktøj til at visualisere det projekterede design i marken.

### Øger effektiviteten

En fordel ved at arbejde med afsættede data er at de udførende entreprenører oplever færre fejl og mindre spildt arbejde, ved at man benytter BIM-modeller og man forlods kan kvantificere udfordringer i marken før arbejdet påbegyndes.

Det er en del af COWIs strategi at bruge datadrevne løsninger i vores arbejde, og vi er langt med brugen af BIM, og nu også i kombination med AR. Vi kan se at det giver værdi for alle parter i projekterne. Det er derfor vores ambition at digitalisere projekterne endnu mere bl.a. med understøtning af digitale værktøjer til brug i marken både under planlægningsfasen, borgermøder, tilsyn og opfølgning af projektet samt visuelle kontroller under udførelse.

Vores nuværende erfaringer er, at lodsejere, bygherre og andre interessenter har meget lettere ved at forstå det kommende projekt når der anvendes VR/AR modeller. Det er nemmere at forstå i forhold til nogle enkelte træpæle i jorden og en traditionel 2D-tegning.

### Eksempler

I COWI benytter vi VR og AR-modeller i forbindelse med projekteringen. Vi har f.eks. benyttet en VR-model til et underjordisk spildevandsbassin, hvor bygherrens driftsmedarbejder blev sendt "ind" i modellen og kunne fornemme rummeligheden af trappenedløb, placeringen af installationer og driftspunkter m.v.. På baggrund af dette, blev der foreslået mindre justeringer og tilpasninger af designet.

Derudover har COWI f.eks. også benyttet AR-modeller til visualisering af projekterede vej- og jernbaneprojekter, etableringen af et stort regnvandsbassin på en landbrugs-mark samt etableringen af spildevands- og regnvandsprojekter med tilhørende regnvandskassetter. Det havde det formål at visualisere omfanget af projektet for lodsejerne og bygherre.

#### BAGGRUND

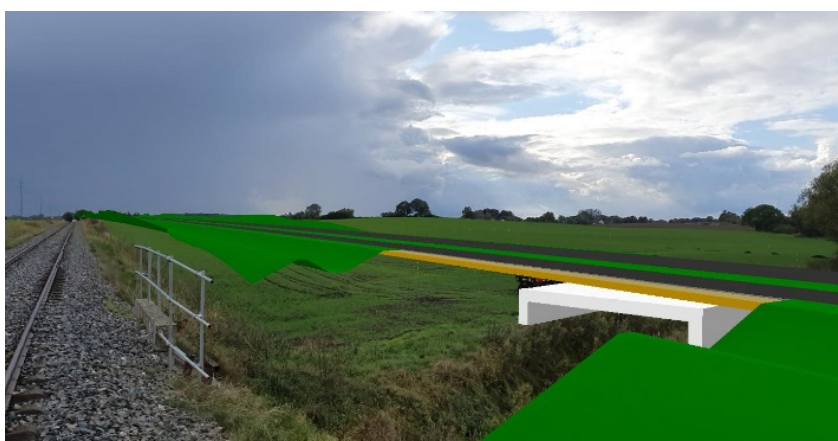
**VR** er en teknologi, der forsøger at flytte brugeren ind i en BIM-model i en virtuel virkelighed. Det har det formål, at man oplever den afspejlede BIM-model i VR med f.eks. et VR-head-set.

**AR** er en teknologi, der kombinerer den virtuelle og virkelige verden sammen. Det har det formål, at man visualiserer BIM-modellen virtuelt i virkeligheden på projektlukationen.

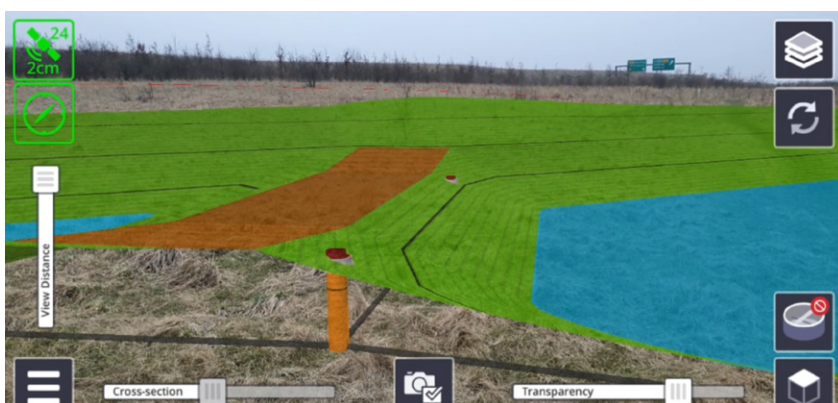
Projekter i 2021 producerer data – det er disse data man konverterer og projicerer til en VR eller AR-model



**Figur 3**  
Brugerens oplevelse i BIM-modellen i en virtuel virkelighed.



**Figur 4**  
AR-visualisering af ny faunapassage under ny jernbane.



**Figur 5**  
AR-visualisering af nyt regnanvandsbassin.



**Figur 6**  
AR-visualisering af nye regn- og spillevandsledninger.



# Hvilken betydning har den nye IPCC rapport i forhold til de danske anbefalinger til håndtering af klimaændringer?

I august 2021 blev den første af en lang række nye rapporter offentliggjort fra FN's klimapanel – IPCC. Rapportens fokus er globalt og der gives ikke konkrete anbefalinger for Danmark i rapporten. I stedet vurderer den status på klimaforandringerne og italesætter, hvor stort et bidrag menneskeskabte klimaforandringer udgør i dag og hvad forskellige scenarier for den internationale samfundsudvikling har af betydning for klimaforandringer i fremtiden. Alligevel er der grund til at sammenligne konklusionerne med tidligere og se, om vi er på rette spor med klimatilpasningen i Danmark. Det gør vi her med et særligt fokus på afløbsbranchen.



Af: Karsten Arnbjerg-Nielsen, professor, DTU



Af: Jens Hesselbjerg Christensen, professor, KU

De store rapporter fra IPCC udgives cirka hvert 6. år. De udgives drypvist, fordi nogle resultater fra den første delrapport om klimasystemet føder ind i den næste om effekterne af klimaforandringer og hvad vi så kan gøre for at modvirke ændringerne. Det første "dryp" kom i august 2021 og inden udgangen af 2022 har vi fået det sidste "dryp" i en samlet udgivelse på forventeligt 3000-5000 sider. Men selv om der er mange detaljer i rapporterne er fokus dog på store geografiske områder, meget større end Danmark. Det vises måske bedst med et eksempel. Figur 1 viser en villaejer, der har lagt sin indkørsel om for at forhindre oversvømmelse af sit hus. Den tilsvarende Figur 2 viser det, som husejeren i Allerød formentlig er klar over: at ekstremregn i området forekommer hyppigere og at det til dels skyldes menneskers aktiviteter. Området NEU er dog et gennemsnit over flere geografisk forskellige landområder, herunder Danmark.

Så vi er nødt til at fortolke hvert udsagn fra IPCC rapporten, dels ved at sammenligne med den tidligere rapport fra 2013 og dels ved at sammenligne direkte med de aktuelle danske anbefalinger, hvor det er nødvendigt. Vi vil fokusere på ekstremregn og stormfloder, som er vist at have størst betydning for Danmark.

**Figur 1**

En villaer i Allerød har lagt sin indkørsel om for at sikre sig mod, at vand på vejen giver oversvømmelser i hans bolig. Vandet løber derfor videre ned ad vejen.

Fotograf:  
Karsten Arnbjerg-Nielsen.

## Observationer

Figur 2 viser, at vi er den region i verden, hvor IPCC er mest sikre på, at den kraftige nedbør er steget på grund af menneskelig aktivitet. Derudover er der indikationer på, at storme under fortsat opvarmning bliver kraftigere i vores område. Endelig konstateres det, at den globale havvandstand nu stiger hurtigere end før. Det tidligere vurdering på 3,1 mm/år er nu opjusteret til 3,7 mm/år. Det kan synes af lidt, men i betragtning af at den globale vandstand ændrede sig under 10 cm fra vikingetiden til år 1900 er 4,5 cm på 12 år en væsentlig ændring.

## Havvandstand

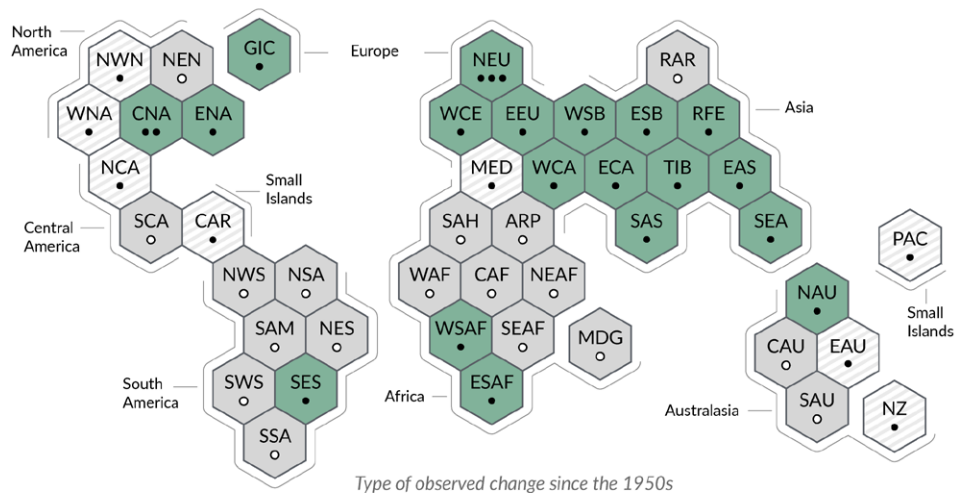
Stormfloder er den del af rapporten, som er nemmest at overføre til danske forhold. Ændringer i stormflodernes størrelse i fremtiden afhænger primært af den gennemsnitlige globale havvandstandsstigning og af stormlavtrykkenes uddybning, geografiske udstrækning og bane. Den gennemsnitlige havvandstandsstigning i rapporten ligger meget tæt op ad de anbefalinger som Danmark har benyttet siden 2014, se figur 3. Det er forventeligt langt den største effekt, så det er en glædelig nyhed at der ikke rokkes væsentligt ved de gældende anbefalinger. Vi har indtil nu antaget, at stormene slet ikke ændrede sig på en måde, der har betydning for stormflodernes størrelse. Det kan man ikke være sikker på, men analyserne af denne betydning er ikke færdige endnu. Derfor kan det være, der her ligger nogle forhold, der med fordel kan indarbejdes i dansk klimatilpasning.

## Stigning i Skybrud

IPCC-rapporten er baseret på alle tilrådeværende data og analyser fra en række klimamodeller. For at kunne beskrive skybrud realistisk i en klimamodel kræves det, at



**Figur 2**  
I 19 ud af 45 regioner i verden har man med rimelig sikkerhed (Jens, medium confidence) målt en stigning i kraftig døgnedbør (grønne felter). Danmark er en del af regionen NEU sammen med Storbritannien, Norge, Sverige og Finland. Prikkerne angiver sikkerheden hvormed man kan sige, at det er menneskeskabte klimaændringer. Som det fremgår er vi en del af den region i verden, hvor det er mest sikkert at vi allerede ser menneskeskabte påvirkninger af ekstremnedbør. Figur fra IPCC.

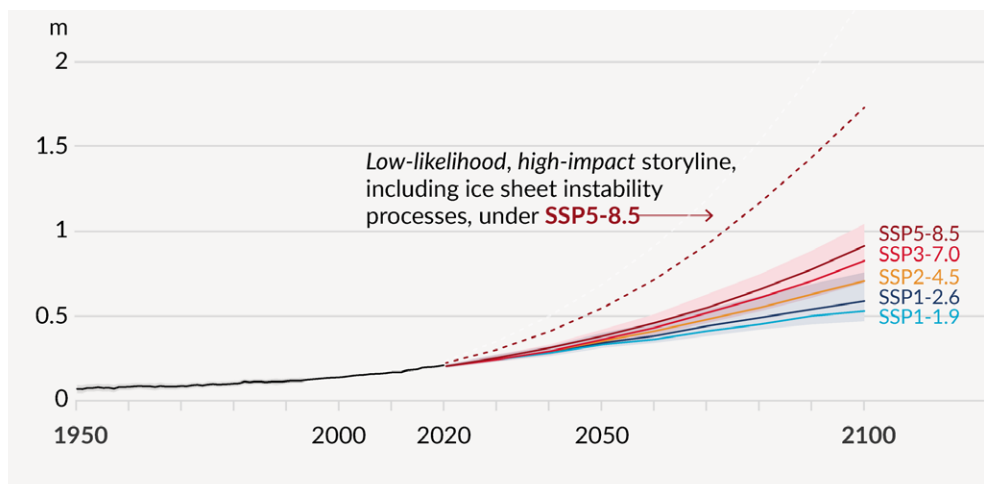


man anvender et meget finere grid og meget små tidsskridt i sin model, end tilfældet generelt har været. Resultaterne af "skybrudsmodellerne" baseret på de modeller der ligger til grund for denne IPCC rapport er dog først klar om adskillige år. Men den aktuelle rapport viser mange resultater for døgnedbør, ligesom Skrift 30 også angiver klimafaktorer for både skybrud og dagsregn (Gregersen et al 2014). Derfor er det muligt at lave en sammenligning af resultaterne.

De klimafaktorer, som afrapporteres i IPCC rapporten, er baseret på en stigning i den globale temperatur i forhold til niveauet i perioden fra 1850 til 1900. Konkret forholder man sig til i dag (1 grad varmere end i 1800-tallet) og angiver klimafaktorer for en fremtid der er hhv. halvanden, to og fire grader varmere. De to første værdier for fremtiden relaterer til forskellige grader af indfrielse af Parisaftalens målsætning, imens sidstnævnte er for tilfældet at disse bestræbelser fejler helt. Der afrapporteres flere typer af informationer for døgnedbør, de fleste som globale gennemsnit, men nogle er også angivet for regioner. Analyserne bekræfter, at der er en væsentlig afhængighed af gentagelsesperioden, svarende til de danske anbefalinger. Endvidere viser analyserne baseret på data samlet for meget store områder, at en temperaturstigning på to grader vil medføre klimafaktorer, der ligger væsentligt under de nuværende danske anbefalinger og at en stigning på fire grader omvendt svarer til klimafaktorer, der ligger på eller over de nuværende anbefalinger for skybrud i Danmark.

Så nøglen til at fortolke om de danske anbefalinger stadig er passende, er dels at vurdere, hvor meget temperaturen når at ændre sig og hvor hurtigt. Det er naturligvis et resultat også af politiske beslutninger, som måtte træffes i forhold til indfrielsen af Parisaftalen. Indenfor den skal vi holde os indenfor yderligere 0,5 – 1,0 graders opvarmning over dette århundrede og så er de danske klimafaktorer for høje. Der er dog heller ikke grund til udelukkende at antage, at det mål vil blive overholdt når man arbejder med klimatilpasning.

De danske anbefalinger er baseret på nogle fremtidsscenarier for luftens indhold af drivhusgasser, der går under betegnelserne RCP4.5 og RCP8.5 og de danske standardklimafaktorer lå imellem disse to scenarier (repræsenterende en fremtid med hhv. middelkraftig og meget kraftig vækst i udslip af drivhusgasser). De var et par af de detaljerede scenarier, som indgik i den forrige IPCC rapport. Disse to scenarier benyttes ikke identisk i den seneste rapport, om end der indgår et par scenarier, der minder lidt om disse – dels et der dog giver en smule mere opvarmning end det gamle RCP8.5, dels et der varmer blot er en smule mindre end det gamle RCP8.5, og endelig et som minder om RCP4.5 men varmer hurtigere op fra starten. De nye scenarier, der fokuseres på indeholder derudover også to lavudslipscenarier, hvor verden lever op til målsætningerne i Parisaftalen.

**Figur 3**

Den globale havstigning får direkte indflydelse på danske stormfloder. Den nye figur er meget tæt på de beregninger som Danmark allerede benytter i form af analysen fra Grinsted et al (2015) og der er derfor ingen grund til at foretage ændringer af vurderingen af havvandstand på den baggrund. Figur fra IPCC.

Det kunne tyde på, at de danske anbefalinger var for konservative, men den midterste fremskrivning i Figur 3 med det kryptiske navn SSP3-7.0 ligner på mange punkter det gamle RCP8.5, hvad angår udviklingen i global opvarmning. Dette scenarie har en temperaturstigning, der for hovedparten af klima simuleringerne har mindst yderligere 3 graders opvarmning inden år 2100 og dermed peger mod højere klimafaktorer end de aktuelle danske anbefalinger for afløbssystemer. Så resultaterne er ikke entydige. Hidtil har vi anset klimafaktorerne for at være både robuste og ret konservative, men nu er der kommet tegn på, at de måske ikke er helt tilstrækkelige, med mindre de får en politisk håndsrækning i form af reducerede udledninger. Ikke så meget som Parisaftalen forskriver, men stadig væsentlige reduktioner. Det bliver derfor vigtigt at få lavet simuleringerne med de modeller, der er egnede til at simulere skybrud, så vi kan få mere viden om, hvad klimafaktorerne bør være fremadrettet.

## Konklusion

IPCC rapporten fra 2021 er barsk læsning og kalder på kraftig politisk aktion til at mindske udledningen af drivhusgasser. Rapporten kan ikke anvendes direkte til at forudsige forhold omkring skybrud og stormfloder for Danmark. Det vil kræve supplerende analyser, som vil tage flere år at færdiggøre. Vi har foretaget nogle grove skøn over hvad resultatet af disse analyser vil være, men resultatet er behæftet med betydelig usikkerhed. Overordnet set er de danske anbefalinger gode. Samtidigt har der i de danske anbefalinger været indbygget en vis sikkerhed i form af højere klimafaktorer end analyserne strengt taget viste var nødvendige. Denne sikkerhed er der ikke mere, idet den nye rapport alt andet lige peger på en større effekt på kraftig nedbør og stormflod som funktion af temperaturændringer end set i de tidligere rapporter, hvis vi ikke lykkes med Parisaftalen. Så de danske anbefalinger på klimafaktorer på skybrud og stigende havvandstand kan fortsat anvendes, men det anbefales at lave konsekvensanalyser ved brug af de høje klimafaktorer, såfremt større projekter skal analyseres. Samtidigt er det afgørende vigtigt at få lavet nye simuleringer med klimamodeller, der er egnede til at beskrive skybrud på baggrund af de modeller, som er benyttet som baggrund for IPCC rapporten.

## Litteratur

Gregersen, I.B., Madsen, H., Linde, J.J. og Arnbjerg-Nielsen, K. 2014.

Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter. Spildevandskomiteen, Skrift nr. 30

Grinsted, A., Jevrejeva, S., Riva, R.E.M., Dahl-Jensen, D., 2015.

Sea level rise projection for Northern Europe under RCP8.5. *Clim. Res.* 64, 15–23. <https://doi.org/10.3354/cr01309>



# Beregning af forventede årlige skadesomkostninger – *EAD*



Af: Dan Rosbjerg  
Institut for Vand og Miljøteknik,  
Danmarks Tekniske Universitet

Ved udgivelsen af Spildevandskomiteens Skrift 31 (SVK, 2017) blev økonomien ved udbygninger af spildevandssystemet sat i centrum. Den samfundsmæssige værdi af udbygningen blev opgjort som reduktionen i nutidsværdi af forventede fremtidige skader fratrukket nutidsværdien af investeringer til konstruktion og drift af nye tiltag.

## Sammendrag

Følsomheden af forventede årlige skadesomkostninger (*EAD*) er analyseret ud fra en analytisk beregning af *EAD* ved anvendelse af en log-lineær sammenhæng mellem gentagelsesperioder og tilhørende skadesomkostninger. Der er fundet, at gentagelsesperioden for start af skader bør estimeres så præcist som muligt, at procentvis usikkerhed i skadesdata overføres til ca. samme procentvise usikkerhed i estimatet på *EAD*, og at det er muligt at ekstrapolere ud over højeste skadesomkostning. Præcisionen ved estimation af *EAD* er detaljeret undersøgt, når der er få data til rådighed, og det er påvist, at to forskellige måder til numerisk integration kan give stærkt afvigende resultater. Under antagelse af en stykkevis log-lineær skadesfunktion er det vist, at en analytisk beregning af *EAD* baseret på den log-lineære model giver et troværdigt estimat af *EAD*, også i tilfælde af få data til rådighed. Endelig er der redegjort for de særlige forhold, der gælder, når datagrundlaget er en overskridelsesserie i stedet for en årsmaksimumsserie.

## Indledning

Ved udgivelsen af Spildevandskomiteens Skrift 31 (SVK, 2017) blev økonomien ved udbygninger af spildevandssystemet sat i centrum. Den samfundsmæssige værdi af udbygningen blev opgjort som reduktionen i nutidsværdi af forventede fremtidige skader fratrukket nutidsværdien af investeringer til konstruktion og drift af nye tiltag.

En positiv netto-nutidsværdi bestemt ved cost-benefit analyse blev set som en forudsætning for en udbygning, ligesom en metode til beregning af den optimale udbygning blev præsenteret. Det blev i Skrift 31 forudsat, at de forventede årlige skadesomkostninger, *EAD* (Expected Annual Damage), kan estimeres troværdigt.

Metoder til bestemmelse af en optimal udbygning blev med en teoretisk indgangsvinkel indgående behandlet i Rosbjerg (2017) både for nutidigt og fremtidigt klima. I 2018 udgav Rambøll for Miljøstyrelsen en manual til anvendelsen af Skrift 31, senere opdateret (Rambøll, 2021). Et eksempel fra 2018-udgaven er benyttet til at belyse nogle problemstillinger omkring bestemmelsen af *EAD*.

## Teori

Udgangspunktet for definitionen af *EAD* er  $T$ -års hændelsen af den skadevoldende effekt. I ord er  $T$ -års hændelsen det niveau af effekten, der i gennemsnit overskrides én gang pr.  $T$  år. Benævnes årsmaksima af effekten med  $X$ , og sandsynligheden for at et årsmaksimum er mindre eller lig med  $x$  med  $F_x(x) = P\{X \leq x\}$ , så er  $T_x$ -års hændelsen  $x_T$  givet ved

$$F_x(x_T) = 1 - \frac{1}{T_x} = 1 - p_x \quad \Rightarrow \quad x_T = F_x^{-1}\left(1 - \frac{1}{T_x}\right); \quad T_x \geq 1 \quad (1)$$

eller med andre ord,  $T_x$ -års hændelsen er  $(1-1/T_x)$ -fraktilen i fordelingsfunktionen for årsmaksima.

Betegnes nu yderligere skadesomkostningen ved en  $T_x$ -årshændelse med  $D_x(T_x)$  og tæthedsfunktionen for  $X$  med  $f_x(x) = dF_x(x)/dx$ , så kan *EAD* findes som

$$EAD = \int_0^\infty D_x(x_T) f_x(x_T) dx_T = \int_1^\infty \frac{D_x(T_x)}{T_x^2} dT_x = \int_0^1 D_p(p_x) dp_x \quad (2)$$

hvor  $D_p(p_x) = D_x(1/p_x)$ .

I praksis erstattes integrationsgrænserne i ligning (2) normalt af det interval, inden for hvilket skadesomkostningerne er kendte.

Er udgangspunktet overskridelsesdata af et afskæringsniveau, der i gennemsnit giver  $k$  hændelser pr. år, og betegner  $G_Y(y)$  fordelingsfunktionen for  $Y$ , er  $T_Y$ -års hændelsen  $y_T$  defineret

$$G_Y(y_T) = 1 - \frac{1}{k T_Y} = 1 - p_Y \quad \Rightarrow \quad y_T = G_Y^{-1}\left(1 - \frac{1}{k T_Y}\right); \quad T_Y \geq \frac{1}{k} \quad (3)$$

Med  $D_Y(T)$  som betegnelse for skadesomkostningen ved en  $T_Y$ -års hændelse defineret ved ligning (3) fås for *EAD*

$$EAD = \int_{1/k}^\infty \frac{D_Y(T_Y)}{T_Y^2} dT_Y = k \int_0^1 D_p(p_Y) dp_Y; \quad D_p(p_Y) = D_Y\left(\frac{1}{k p_Y}\right) \quad (4)$$



En log-lineær relation vil i mange tilfælde være en god tilnærmelse til skadesomkostningerne som funktion af gentagelsesperioden

$$D(T) = a \ln T + b \quad (5)$$

hvor det ofte kan antages, at relationen er gældende også for  $T \rightarrow \infty$ .  
Betegnes skæringspunktet med x-aksen  $T_0$ , fås ved integration fra  $T_s$  til  $\infty$

$$EAD = \frac{a}{T_s} \left( 1 + \ln \frac{T_s}{T_0} \right); \quad T_0 = \exp \left( -\frac{b}{a} \right) \quad (6)$$

hvor der må gælde, at  $T_s \geq T_0$ .

Haves der data for skadesomkostninger op til  $T_e$ , kan den del af  $EAD$ , der skyldes ekstrapolation af skadesomkostningskurven ud over  $T_e$ , beregnes som

$$EAD = \frac{a}{T_e} \left( 1 + \ln \frac{T_e}{T_0} \right) \quad (7)$$

Integrationen mellem to vilkårlige gentagelsesperioder  $T_i, T_j \geq T_s$  resulterer i bidraget

$$EAD = \frac{a}{T_i} \left( 1 + \ln \frac{T_i}{T_0} \right) - \frac{a}{T_j} \left( 1 + \ln \frac{T_j}{T_0} \right) \quad (8)$$

Hvis den log-lineære relation er gældende indtil  $T = T_c$  og skadesfunktionen derefter er konstant, dvs.  $D(T) = D(T_c)$  for  $T_c < T < \infty$ , fås når  $T_s = T_0$

$$EAD = \frac{a}{T_0} - \frac{a}{T_c} \left( 1 + \ln \frac{T_c}{T_0} \right) + \frac{D(T_c)}{T_c} \quad (9)$$

hvor bidraget fra den konstante del af skadeskurven er  $D(T_c)/T_c$ .

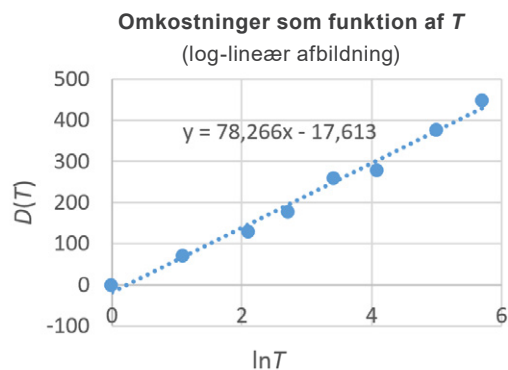
### Eksempel 1:

#### God datadækning – følsomhed ved beregning af $EAD$

Til nogle indledende følsomhedsanalyser benyttes et eksempel baseret på årsmaksimumsserier og med god datadækning, se tabel 1. Basisløsningen er fundet af ligning (7) med talværdier fra den lineære relation i fig. 1. Resultaterne af forskellige følsomhedsanalyser fremgår af tabel 2. Numerisk integrationer er baseret på ligning (2).

$T$	$D(T)$	$\ln T$
1	0	0
3	70	1.099
8	130	2.079
15	180	2.708
30	260	3.401
60	280	4.094
150	375	5.011
300	450	5.704

**Tabel 1**  
Skadesomkostninger som funktion af gentagelsesperioden.



**Figur 1**  
Eksempel 1 – Omkostningsfunktion i log-lineær afbildning med retlinet tilnærmelse.

Basisløsningen er fundet af ligning (7) med talværdier fra den lineære relation i fig. 1. Resultaterne af forskellige følsomhedsanalyser fremgår af tabel 2. Numerisk integrationer er baseret på ligning (2).

Basisløsning $T_s = 1$	$T_s = 2$	$D(T) + 10\%$	$D(T) - 10\%$	Uden ekstrapo- lation	Numerisk inte- gration over $T$	Numerisk inte- gration over $p$	$D(T)$ konstant over $T = 500$
62.5	57.5	68.7	56.2	60.8	61.7	70.0	62.3

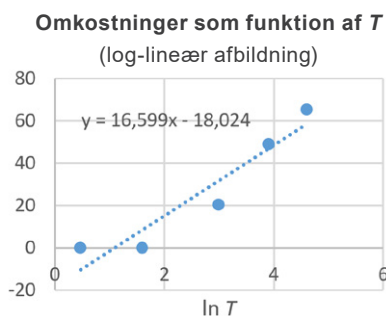
**Tabel 2**  
Beregninger af EAD ved forskellige metoder og antagelser – Eksempel 1

Det ses, at der er nogen afvigelser ved de forskellige metoder. En usikkerhed på 10% i skadesomkostningerne slår igennem med ca. 10% på EAD-værdien. Overordnet set er resultaterne af samme størrelsesorden.

**Eksempel 2:**  
**Begrænset datadækning – numerisk vs. analytisk integration**

I tabel 3 vises sammenhængende værdier for gentagelsesperioder og skadesomkostninger, mens fig. 2 viser sammenhængen mellem  $T$  og  $D(T)$  i log-lineær afbildning. Eksemplet er identisk med tabel 4 i 2018-udgaven af Rambøll (2021). Det er igen tale om årsmaksimumserier.

$T$	$D(T)$	$\ln T$
1.6	0	0.470
5	0.0009	1.609
20	20.5	2.996
50	49.5	3.912
100	65.5	4.605

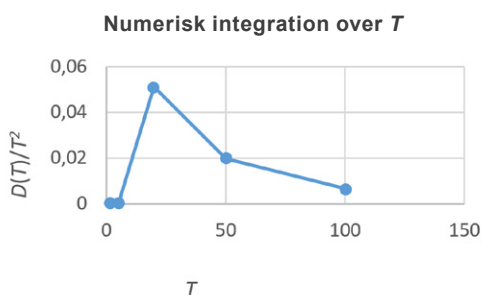


**Figur 2**  
Eksempel 2  
– Omkostningsfunktion i log-lineær afbildning med retlinet tilnærmelse.

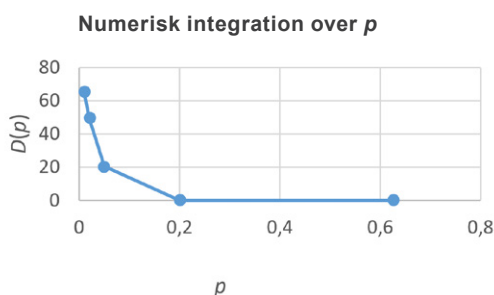
**Tabel 3**  
Skadesomkostninger som funktion af gentagelsesperioden. Data er fra 2018-udgaven af Rambøll (2021). Der er foretaget små ændringer i 2021-udgaven.

Det ses, at den log-lineære tilnærmelse er ringe i dette tilfælde, men med udeladelse af det første punkt, som ikke har nogen beregningsmæssig betydning, opnås en betydelig bedre tilpasning.

Ved numerisk integration over  $T$  findes arealet under kurven i fig. 3 til  $EAD = 2.11$ , mens arealet under kurven i fig. 4 ved numerisk integration over  $p$  kan bestemmes til  $EAD = 3.16$ . Forskellen er meget markant, og umiddelbart er der ingen indikation af, at det ene resultat skulle være bedre end det andet.



**Figur 3**  
Numerisk integration over  $T$  som arealbestemmelse under kurven  $D(T)/T^2$ .



**Figur 4**  
Eksempel 2 – Numerisk integration over  $p$  som arealbestemmelse under kurven  $D(p)$ .

I tabel 4 er der givet en oversigt over resultaterne af de forskellige beregninger af  $EAD$ . Den af Rambøll rapporterede værdi på  $EAD \approx 8.2$  (Rambøll, 2018, bilag 1, side 3) ligger væsentlig over alle de i tabel 4 rapporterede værdier. I tabellen angiver  $EAD_u$  den beregnede  $EAD$  uden ekstrapolation,  $EAD_e$  ekstrapolationsbidraget og  $EAD_t$  det samlede resultat.

**Tabel 4**  
Eksempel 2 -  
Oversigt over integration-  
resultater – Eksempel 2.

Integrationsmetode	$EAD_u$	$EAD_e$	$EAD_t$
Numerisk integration over $T$	2.11		
Numerisk integration over $p$	3.16		
Analytisk uden $T = 1.6$ med én log-lineær tilnærmelse	2.97	0.86	3.83
Analytisk uden $T = 1.6$ med to log-lineære tilnærmelser	2.72	0.95	3.67
Analytisk med punktpar	2.74	0.90	3.64

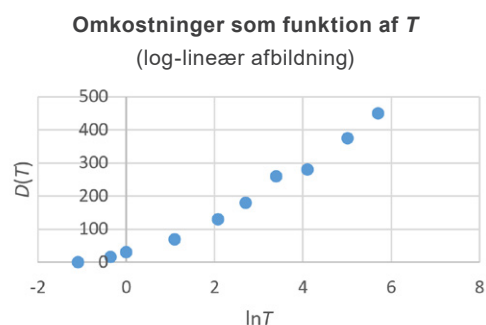
Alt i alt må den analytiske fremgangsmåde anses for egnet til estimation af  $EAD$ . Det skal også fremhæves, at i modsætning til numerisk integration er der her mulighed for at ekstrapolere til intervallet  $T_e \leq T < \infty$ .

### Eksempel 3: Estimation af $EAD$ med overskridelsesdata

Som eksempel 3 vælges samme data som i Eksempel 1 med tilføjelse af omkostninger ved overskridelsesgentagelsesperiode under 1 år og en mindre modifikation for omkostninger for  $T = 1$ , se tabel 5. Det antages, at det gennemsnitlige antal observationer pr. år er  $k = 3$ .

$T$	$D(T)$	$\ln T$
0.33333	0	-1.098
0.7	15	-0.357
1	30	0
3	70	1.099
8	130	2.079
15	180	2.708
30	260	3.401
60	280	4.094
150	375	5.011
300	450	5.704

**Tabel 5**  
Skadesomkostninger som  
funktion af gentagelsesperioden.



**Figur 5**  
Eksempel 3 - Omkostningsfunktion  
i log-lineær afbildning.

Resultaterne af de forskellige beregningsmetoder fremgår af tabel 6.

**Tabel 6**  
Resultater af  $EAD$ -beregninger  
ved overskridelsesdata  
– Eksempel 3.

Overskridelsesdata	$EAD_u$	$EAD_e$	$EAD_t$
Numerisk integration over $T$	106.4		
Numerisk integration over $p$	101.1		
Analytisk med punktpar	95.7	1.8	97.5



I eksemplet med overskridelsesdata og god datadækning er der også en mindre forskel på resultaterne af de forskellige integrationsmetoder. Integration over  $T$  er højest efterfulgt af integration over  $p$  og den analytiske metode. Endvidere fremgår det ved sammenligning med eksempel 1, at de små, men hyppige skadesomkostninger ved gentagelsesperioder under og lige over 1 år bevirker en væsentlig stigning i  $EAD$ , hvilket også er, hvad man skulle forvente. Der medtages flere reelt skadesvoldende hændelser, hvilket sikrer et mere retvisende resultat af  $EAD$ -beregningen.

## Konklusioner

Der er ved udnyttelse af de tre eksempler opnået følgende erfaringer.

### Følsomhed:

- Det er vigtigt at kende gentagelsesperioden for det niveau, hvor skader begynder at opstå.
- Procentvis usikkerhed i skadesdata forplantes til ca. samme procentvise usikkerhed i  $EAD$ .
- Det ved ekstrapolation opnåede tillæg til  $EAD$  kan være betydningsfuldt.

### Numerisk integration:

- Ved numerisk integration fås divergerende resultater ved integration over  $T$  og  $p$ .
- Ved et begrænset datagrundlag, især for mindre gentagelsesperioder, kan forskellen ved numerisk integration over henholdsvis  $T$  og  $p$  blive meget stor.

### Generelt:

- Med en log-lineær skadesfunktion vil en analytisk beregning af  $EAD$  være et fleksibelt værktøj, der er simpelt at anvende. En stykkevis log-lineær funktion helt ned til punktpar vil være tilstrækkelig for at benytte den log-lineære model. Metoden leder til troværdige resultater, og den giver i modsætning til numerisk integration mulighed for ekstrapolation ud over den højest specificerede  $T$ -værdi.
- I tilfælde af skader ved gentagelsesperioder under 1 år er det væsentligt at kende det gennemsnitlige antal hændelser pr. år i den tilgrundliggende dataserie.

## Referencer

Rambøll (2021) Manual til anvendelsen af Skrift 31, Rambøll til Miljøstyrelsen, 31 pp.,

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/manual.pdf>

Rosbjerg, D. (2017) Optimal adaptation to extreme rainfalls in current and future climate, Water Resources Research 53(1), 535-543, doi: 10.1002/2016WR019718.

<https://findit.dtu.dk/en/catalog/2553083056>

SVK (2017) Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn,

Ingeniørforeningen i Danmark, Spildevandskomiteen,

[https://ida.dk/media/2967/svk\\_skrift31\\_22092017.pdf](https://ida.dk/media/2967/svk_skrift31_22092017.pdf)

## Tak

Forfatteren takker Henrik Madsen for en grundig gennemgang af det færdige manuskript og Rasmus Wiuff for hele vejen gennem udarbejdelsen at bistå med gode råd.

## Note

Et Excel-program til samtidig beregning af  $EAD$  på tre forskellige måder kan rekvireres pr. mail til [dar@env.dtu.dk](mailto:dar@env.dtu.dk). En mere udførlig udgave af ovenstående kan ligeledes rekvireres pr. mail.

# EVA studierejselegat

---

*for studerende på de videregående  
uddannelsesinstitutioner*

Studerer du indenfor det faglige område, som EVA-udvalget normalt dækker gennem temadage, og har du mod på at rejse ud i verden og hente ny viden med hjem til Danmark og videreformidle denne viden, så har du mulighed for at søge et EVA-studierejselegat.

## **Formål**

- At medvirke til at studerende opsøger ny/nyeste viden indenfor EVA-udvalgets faglige interesseområder gennem deltagelse i seminarer, kurser på udenlandske universiteter, udstillinger, studieture, studie/praktikophold eller lignende.
- At dygtiggøre danske studerende og give dem international indsigt.
- At medvirke til at der bringes ny viden og inspiration med hjem til Danmark, og at denne formidles til EVA's medlemmer gennem et mundtligt indlæg på en EVA-temadag og/eller et skriftligt indlæg i EVA-bladet.





## Vilkår

1. Legatet kan søges af danske studerende, som har gennemført mindst 2 år af en dansk videregående uddannelse og indenfor en EVA-relevant studieretning.
2. Ansøgeren skal være studiemedlem af IDA.
3. Legatet kan kun søges individuelt, dvs. af enkeltpersoner, og kan kun tildeles den samme person én gang.
4. Legatet kan tildeles til deltagelse i fagrelevant aktivitet, og legatet kan dække udgifter til:
  - a. Rejse på økonomiklasse
  - b. Hotel og ophold holdt indenfor statens dispositionsbeløb for det pågældende land
  - c. Deltagergebyr
  - d. Rejseforsikring
5. Ansøgning om legat fremsendes pr. mail til EVA-udvalget (evaudvalg@gmail.com). Ansøgningen skal indeholde en kort beskrivelse af aktiviteten, det faglige indhold og forventet udbytte heraf. Med ansøgningen skal budget, CV og udtalelse/anbefaling fra studiested vedlægges. Eventuelle spørgsmål kan rettes til EVA-udvalget. Deadline for ansøgninger er 1. feb. og 1. sep. Ansøgningerne vil blive behandlet på det efterfølgende bestyrelsesmøde.
6. EVA-udvalget afgør suverænt eventuelle tvivlsspørgsmål vedrørende opfyldelse af vilkår.
7. Legatet kan maksimalt være på DKK 20.000,-.
8. Alle ansøgninger besvares personligt direkte til ansøgeren, når afgørelsen er truffet.
9. Legatmodtageren fremsender umiddelbart efter aktiviteten en kort skriftlig redegørelse, indeholdende et kort resume af aktiviteten og en evaluering af udbyttet for legatmodtageren.
10. Et studierejselegat er som udgangspunkt skattefrit, men legatet indberettes til SKAT, hvilket betyder at legatmodtageren er pligtig til at gemme de nødvendige dokumenter/bilag til dokumentation af de afholdte udgifter.
11. På normalt næstkommende EVA-temadag efter endt aktivitet afholder legatmodtageren et fagligt indlæg, baseret på deltagelse i aktiviteten, og/eller leverer et skriftlig indlæg til det efterfølgende EVA-blad.
12. Der kan opstå krav om tilbagebetaling hvis rejsen ikke kan udføres – eller hvis aktiviteten afviger væsentlig fra godkendt ansøgning. I sådanne tilfælde kontakter legatmodtager EVA-udvalget så snart det bliver legatmodtager bekendt, at aktiviteten vil afvige i fht. det ansøgte.



