

# Fremtidens veje skal være klimatilpasset

## *KTC Konference*

v/

*Theis Raaschou Andersen*  
*VIA University College*

og

*Michael Brask*  
NCC





- **Velkommen**

- **Præsentation af**

- **Michael Brask, NCC**
- **Theis Raaschou Andersen, VIA University College**

**I dagens præsentation vil vi komme omkring**

- *Generelt introduktion til Klimaveje – hvad er de mv.*
- *Klimavejes potentiale som klimatilpasningsløsning*
- *Klimavejes mulighedsrum (hvor kan de anlægges mv.)*
- *Opbygningen af Klimaveje*
- *Udfordringer med Klimaveje*
- *Drift og vedligehold af Klimaveje*
- *Oprensningspotentialet ved Klimaveje*
- *Synergipotentialt ved Klimaveje i forhold til energi*

Velkommen

Introduktion

# Introduktion til klimaveje

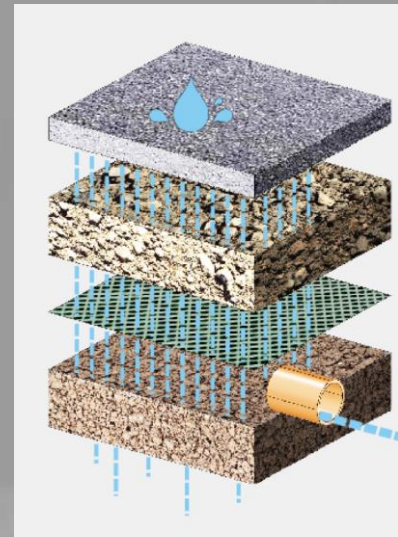
- For os er en klimavej.....
  - En klimavej er et vejstykke som kan nedsive og/eller opmagasinere overfladevand. Nedsivningen vil ske lokalt, mens opmagasineringen og den efterfølgende afdræning kan ske til fællessystemer / recipient

Introduktion

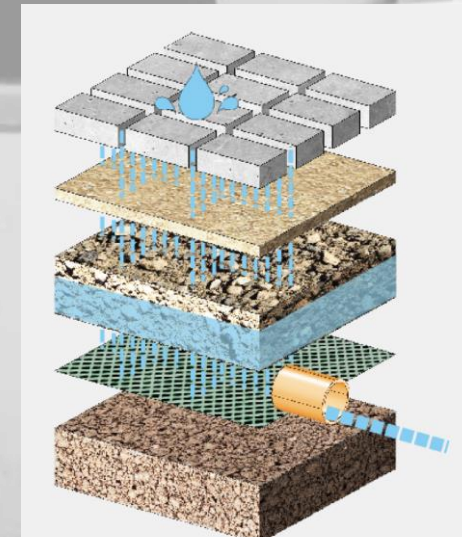
Made to Make  
VIAs Ingeniøruddannelser



Nedsivning



Kombination af nedsivning  
og bortledning via dræn



Bortledning via dræn

# Introduktion til klimaveje

- Langt størstedelen af klimavejene i Danmark er anlagt som en klimatilpasningsløsning til håndtering af regnvand
  - De er også yderst effektive til dette. Langt størstedelen af vejene kan uden problemer håndtere en 100 års hændelse (90 mm/døgn) – selv efter flere års brug
- Hovedparten af klimaveje i Danmark er anlagt gennem de sidste 10 år
- Veje med mindre trafikbelastning
- Klimaveje kendes fra hele verden – der er udført forsøg i alle klimazoner på tværs af kontinenter

Introduktion

# Udbredelse i Danmark

Udbredelse



Svanemøllehallen, København

Eksportvej, Billund.

Agerlandsvej, Odense

Lufthavnsvej, Nørresundby.

Korsdalsvej, Rødovre

Klimavejen, Hedensted,

Termovejen, Hedensted

Lidl, parkeringsplads, Hedensted

Solnavej, Gladsaxe

Bredagervej, Tårnby

Toftevej, Gadstrup

Porskjærvej, Skanderborg

Udbredelse

Anlæggelse

Lovgivning

## Hvorfor anlægges klimaveje typisk?

- Kampen om pladsen i byerne
- Effektiv klimatilpasningsløsning
- Vand for alle sider
  - I år 2100 forventes der
    - Temperaturstigninger op til 3.4 grader
    - 0.9 m højere vandstand i havene
    - 25% mere vand om vinteren
    - Grundvandet er steget med 1 m de sidste 30 år

Udbredelse

Anlæggelse

Lovgivning

## Hvorfor anlægges klimaveje typisk?

- Klimaveje fylder ikke mere end eksisterende veje. De kan derfor anlægges talrige steder i det bebyggede rum
- En undersøgelse fra KU estimerede, at 87% af alle eksisterende veje i København kunne ombygges til permeable systemer med en tæt membran i bunden – forsinkelsesbassin

Udbredelse

Anlæggelse

Lovgivning

## Hvorfor anlægges klimaveje typisk?

- Håndterer vandet hvor det falder
- Kan anlægges som en vandret flade
- Nedsivning i hele levetiden (hvis vedligeholdt)
- Ingen afløbsriste eller render
- Størrelsen på afvandingssystemet kan mindskes/fjernes/bibeholdes i dets nuværende dimension
- Gode at kombinere med andre LAR løsninger
- Støjreducerende effekt



# Lovgivning

## Lovgivning

- Klimaveje anlægges typisk enten som offentlig eller privat vej
  - Offentlige veje hører under Lov om offentlige veje m.v., lov nr. 1520 af 27/12/2014 (Vejloven).
  - Private veje hører under Privatvejsloven. LBK nr. 1234 af 04/11/2015
- Når regnen er faldet på klimavejen betragtes den som værende vejvand og skal håndteres som spildevand
  - Spildevandsbekendtgørelsen nr. 1317 af 04/12 2019
- Hvis en vandforsyning er medejer mv gælder forsyningsloven for deres medvirkende
- På privat grund gælder Bygningsreglementets bestemmelser

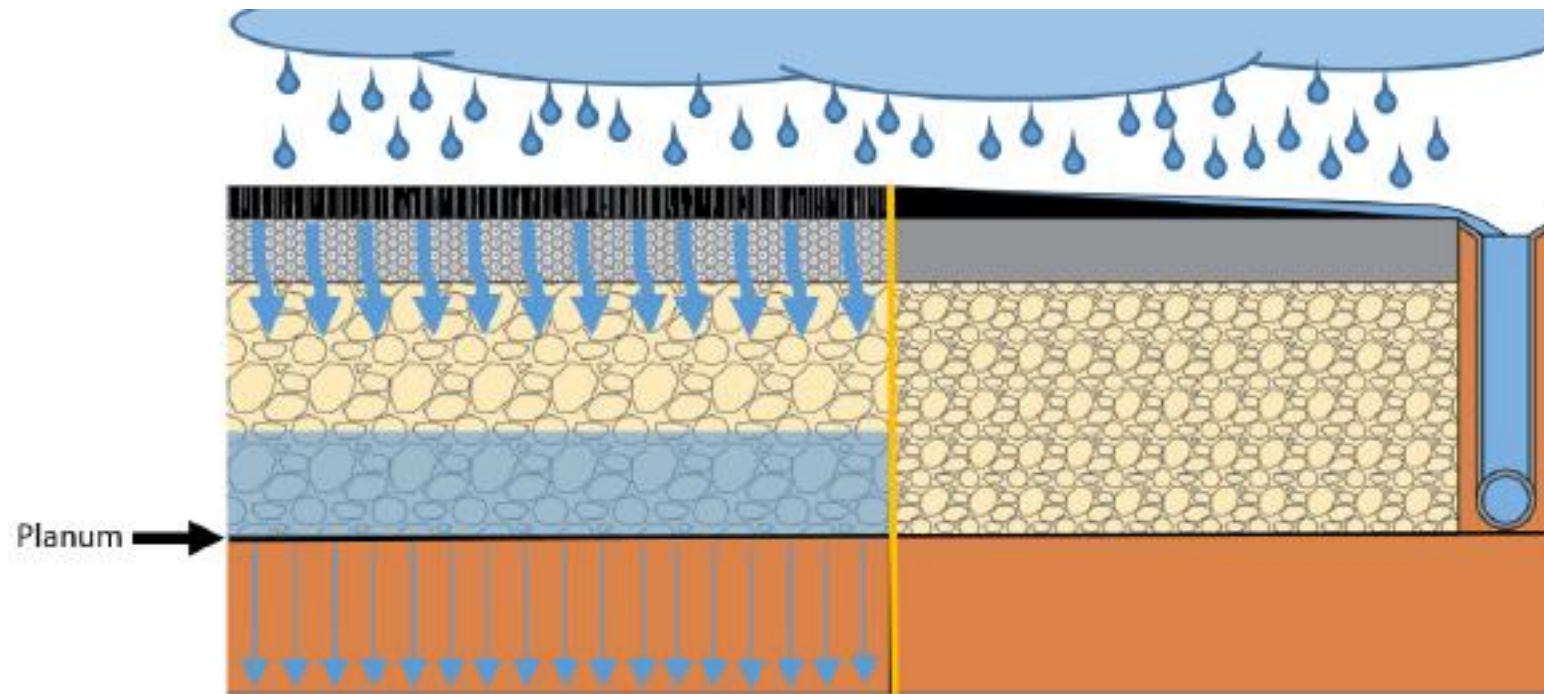
## Åbne spørgsmål

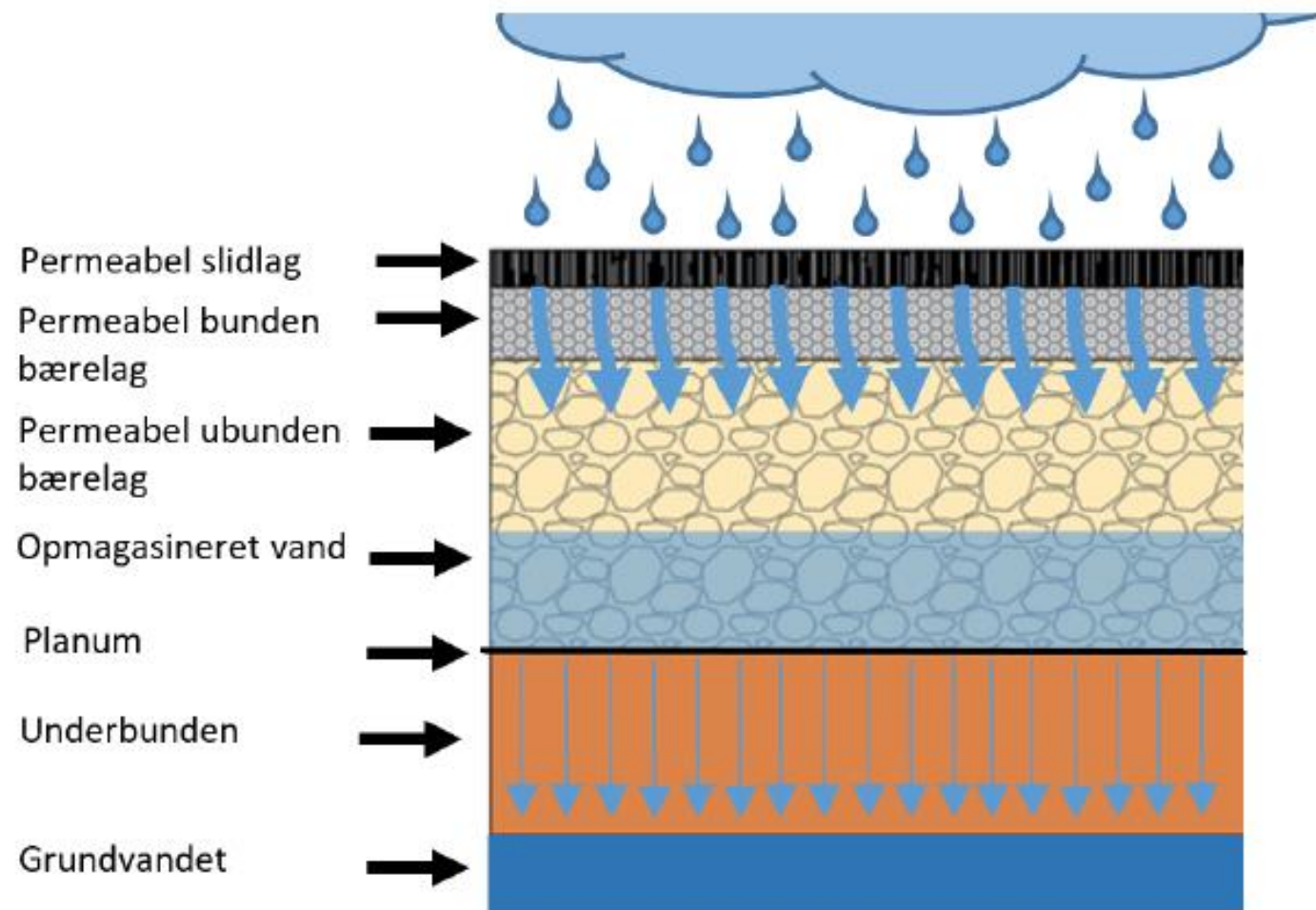
No. of Respondents	Respondent Type	Issue
21	6 Clients, 7 Contractors, 8 Consultants	Surface asphalt layer is clogging over a short period of time
4	3 Clients, 1 Consultant	Expensive to clean the surface after clogging, or cleaning as recommended—once a year
17	7 Clients, 2 Contractor, 8 Consultants	There is only one certified contractor of these materials for a permeable sub-base
4	2 Contractors, 2 Consultants	Would be easier to offer the product if there were general requirements set for it, hence more contractors about the bit
14	6 Clients, 2 Contractors, 6 Consultants	The surface asphalt layer already looks cracked and worn after only 5–6 years
3	1 Client, 1 Contractor, 1 Consultant	The surface asphalt layer is clogged with cigarette shutters and other dirt over time. This cannot be removed even after cleaning
9	3 Clients, 2 Contractors, 4 Consultants	There are no knowledge about how the bearing capacity of the sub-base material changes over time due to water infiltration and frost
24	8 Clients, 8 Contractors, 8 Consultants	Can only be used in residential areas
24	8 Clients, 8 Contractors, 8 Consultants	There is no official guidance on tender documents for the contractors, like for traditional pavements
24	8 Clients, 8 Contractors, 8 Consultants	There are no official guidance on how to calculate or dimension these permeable pavements
8	2 Clients, 4 Contractor, 2 Consultants	There are no specifications for a permeable sub-base
12	4 Clients, 4 Contractor, 4 Consultants	It is difficult to determine the degree of compaction of the permeable sub-base material
10	4 Clients, 6 Contractor	Heavy vehicles, traditional compaction machines are not allowed to drive on permeable sub-base materials
6	3 Clients, 3 Consultants	The surface is not only impermeable when clogged, but sometimes also seen as part of the contractors job
6	6 Clients	It is difficult when other excavators excavate in the permeable pavements and reconstruct the road with traditional materials afterwards
24	8 Clients, 8 Contractors, 8 Consultants	CO <sub>2</sub> emissions might be high, as Denmark needs to import gravel from Norway in the future
6	2 Clients, 1 Contractor, 5 Consultants	Heard from others' experiences that these solutions are not economically beneficial.





I DON'T BELIEVE IN  
GLOBAL WARMING  
GLOBAL WARMING  
I DON'T BELIEVE IN





# DrænStabil - bæreevne ?

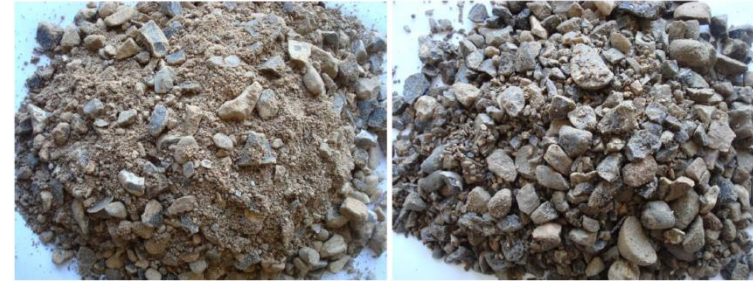
Vejdirektoratet og VTI, Linkøbing  
2012 og 2013



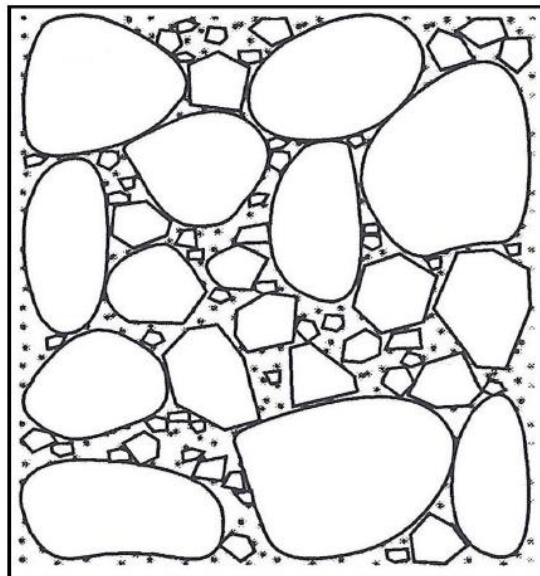
# Kornfordeling/gradering

**Stabilt grus**  
Udbredt i ubundne bærelag

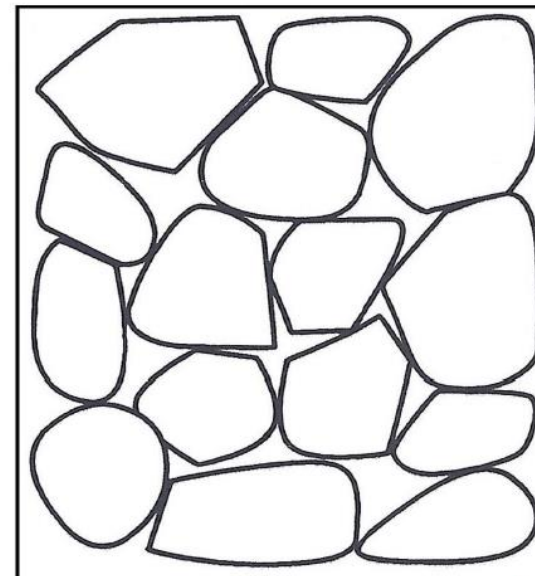
**Permeabelt materiale**  
Åben struktur = Permeabilitet / Porevolumen  
Bæreevne som andre bærelag



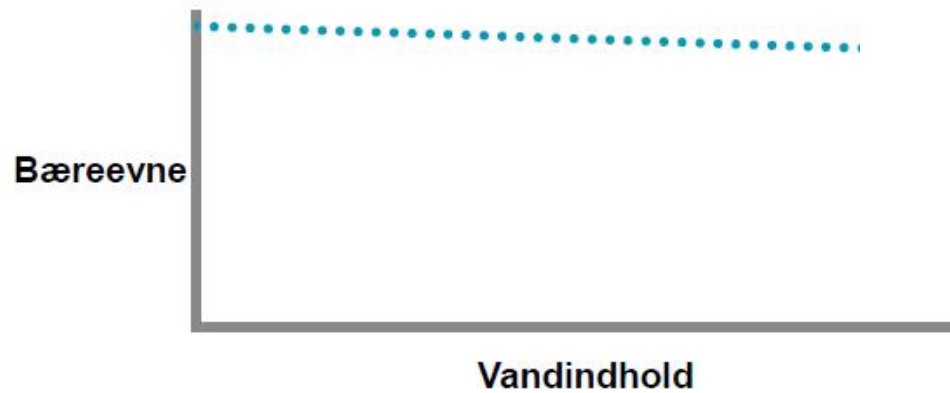
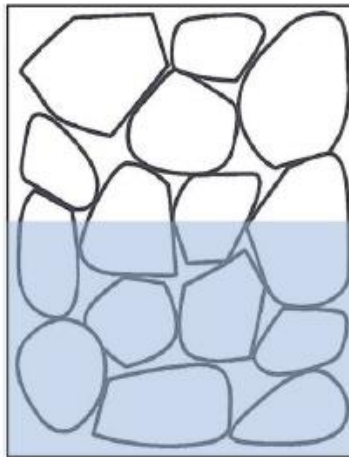
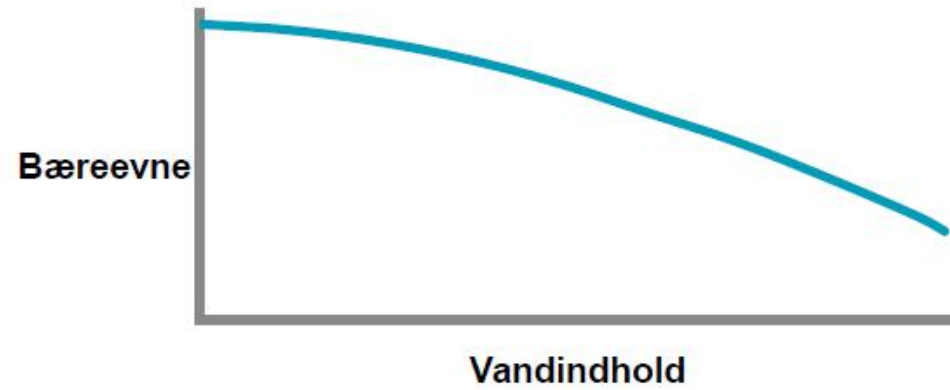
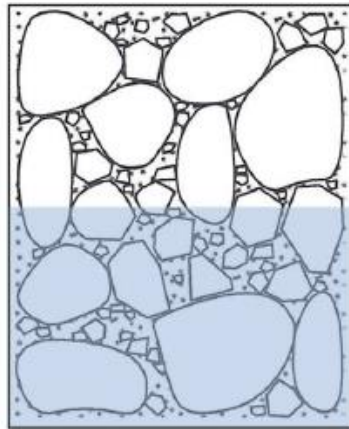
**Jævnt graderet**  
Stabilitet = Høj bæreevne



**Enskornet**  
Permeabilitet = Lavere bæreevne



- Reducering af bæreevne i våd tilstand



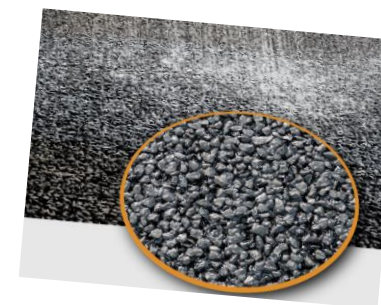




# Belægningstyper til permeable belægninger



## Ecoblock Græsarmering og permeable belægninger





SF-Rima®



Helenevej – færdig projekt

# PermaVej®

**Billund Airport**  
– verden direkte

Eksportvej, Billund Lufthavn:

- Stikvej til cargo området
- Meget tungt trafik
- Test med DrænStabil®
- Test med DrænGAB (asfalt)



## Længdeprofil

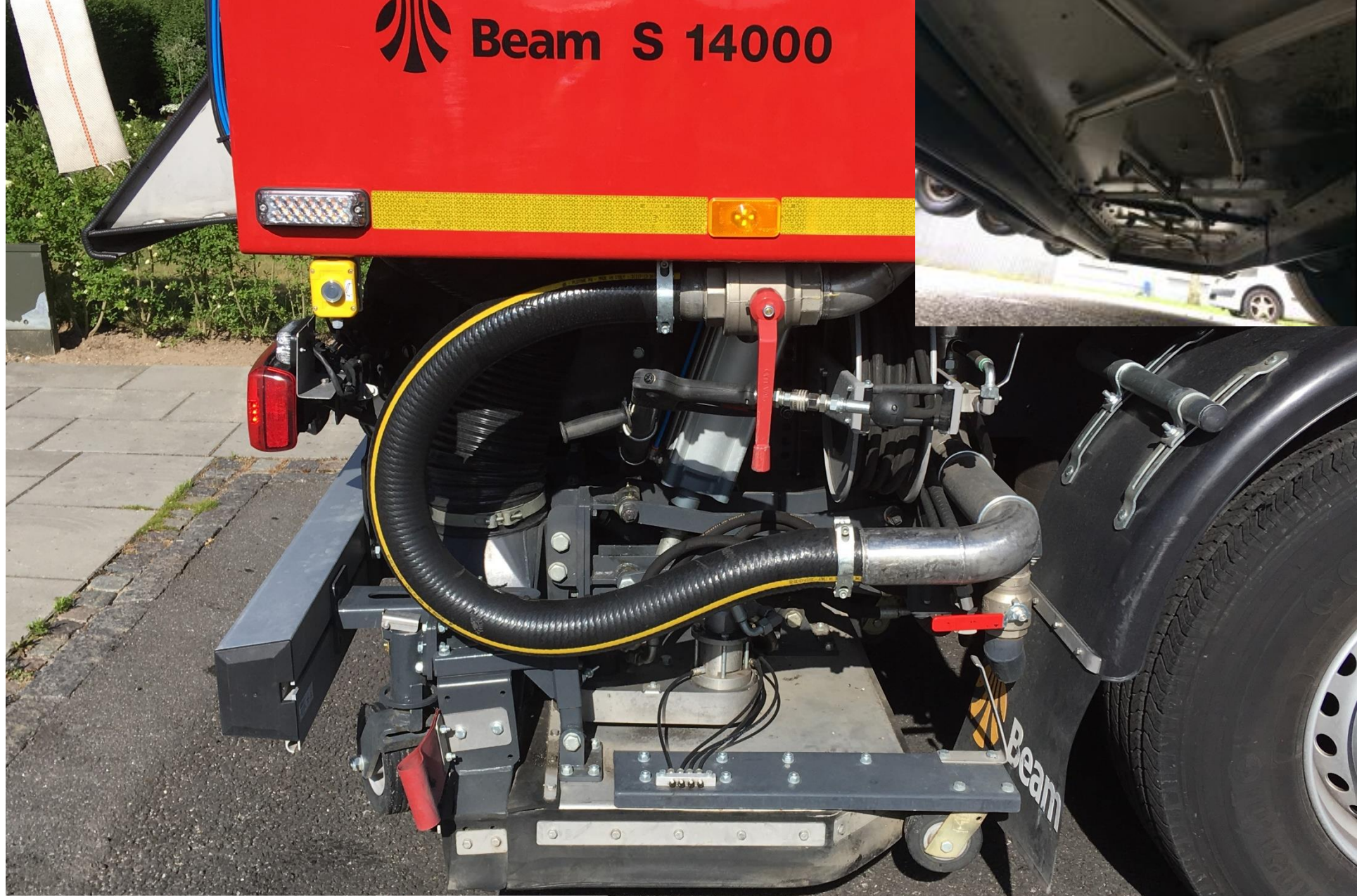
2,5 cm AB 8,5 cm GAB I	3,0 cm Drænende slidlag 8,0 cm <u>DrænGAB</u>	
17 cm almindelig SG	40 cm <u>DrænStabil</u> , 25 % porevolumen	40 cm <u>DrænStabil</u> , 30 % porevolumen
23 cm Bundsikring		





# Rensning og vedligehold af permeable overflader





Rensning af permeabelt  
asfalt



Før rensning





Test af permeabilitet på asfalt



# Stabilisering af DrænStabil



Cement stabilisering af DrænStabilén.

De foreløbige resultater viser en 5-6 dobling af bæreevnen i DrænStabilén svarende til 1500-1800 MPa

Specielt egnet til lufthavne og havne arealer.



Opbygning med tæt asfalt og rendestenbrønde med sandfang. Udløb til dræn slange.

# NCC Fremtidens klimaveje – oppe og nede fra

 TREKANTOMRÅDET

**Vej skal bygges op helt fra ny efter massiv regn: 'Det er dyrt. Det er rigtig dyrt'**

Flere veje over hele landet er udsatte efter store mængder regn. Nær Vejle er en vej gledet væk.

Så meget nedbør ender vi med i februar



**135.000 liter**

vand i gennemsnit pr. parcelhusgrund over hele landet



Det svarer til, når vi leger med mudder og sand ved vandet.

Underbunden og den jord, der skal bære belastningen, bliver flydende og glider ud.

LARS BOLET, CIVILINGENIØR OG VEJEKSPERT,  
AALBORG UNIVERSITET

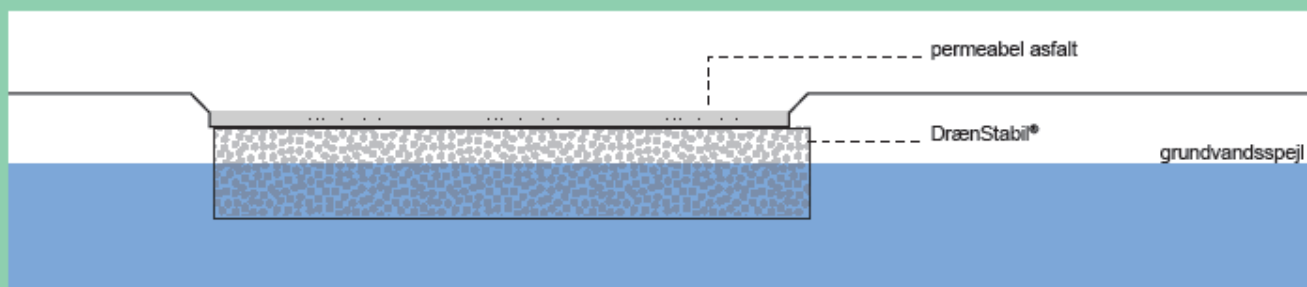


# Fremtidens klimaveje – oppe og nede fra

## Fremtidens oversvømmelser kommer også nedefra

Mere end 10 % af det samlede danske vejnet er i fare for oversvømmelser og ødelagte vejfundamenter som følge af stigende grundvand.

Ved at erstatte bundsikringslag og stabilt grus med NCC DrænStabil® kan 85% af vejkassens bæreevne bevares i vandmættet tilstand.



*Principssnit med højtstående grundvand.*

## Vejen som regnvandsmagasin

I den tætte by koster det op til 15.000 kr/m<sup>3</sup> at etablere regnvandsmagasiner.

En vejkasse af NCC DrænStabil® kan delfinansieres af klimapenge og gør, at vejen går fra at være et problem i forhold til vandhåndtering til at være en del af løsningen.

“Ved en meromkostning på 4 % kan vejens bæreevne sikres, selv når grundvandet står højt.”

Michael Brask, Projektchef og klimavejsekspert i NCC Industry, Råstoffer

# NCC Udførte projekter i Danmark



**OBS: Undgå håndarbejde ved design af permeable asfalt overflader**

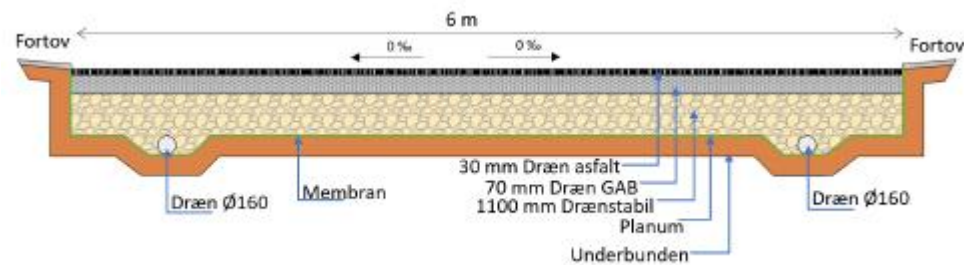


## Porskjærvej bliver til en klimavej

Vi lægger en ny type asfalt der forebygger oversvømmelser. Vejen er spærret for gennemkørsel mens vi arbejder.

Skanderborg Kommune

skanderborg  
forpligtelse og ansvar





## Lidl Hedensted:





# AkvaVejen:





# NCC Projekt udført for HOFOR i Brøndby



# yNCC Projekt udført for HOFOR i Brøndby



# NCC Klimatorium i Lemvig og PhD med AAU, VIA & Lemvig Vand



Ved Klimatorium i Lemvig er anlagt NCC PermaVej på p-pladser.

Opbygning med 3 test felter. 1 med DrænStabil og 2 øvrige med DrænStabil iblandet rensemateriale.

4 årig PhD projekt vedr. rensning af vejvand gennem permeable belægninger.

## Sammenfatning

Permeable belægninger som fx NCC PermaVej® er i stand til at tilbageholde forurening til et niveau svarende til mindst hvad der kan opnås gennem rensning af vejvandet i våde regnvandsbassiner. På lige fod med andre tiltag til rensning af vejvand, skal systemet selvsagt være korrekt designet og drevet, herunder oprenset med passende mellemrum for at opsamle partikulær forurening og sikre vejopbygningens fortsatte hydrauliske kapacitet.

Jes Vollertsen  
PhD, Professor i Miljøteknologi  
Aalborg Universitet, BUILD

Aalborg den 19.11.2022





# Klimatilpasningspotentialialet bag klimaveje

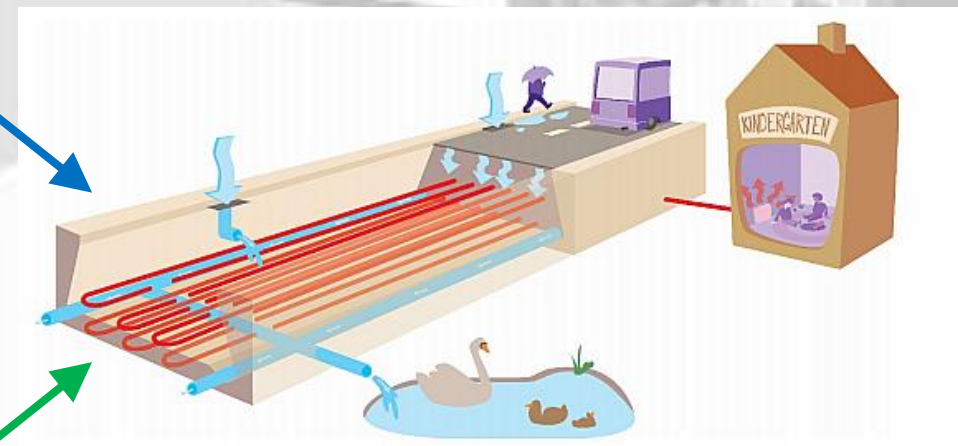
Udgangspunkt i data omkring Klimavejen i Hedensted. Vi har meget data over en lang periode (2018-2022)

## Potentialet

- Nedsivningspotentialialet
- Opstuvningspotentialialet
- Vandbalancen
- Volumenreduktionskapaciteten
- Forsinkelsespotentialialet

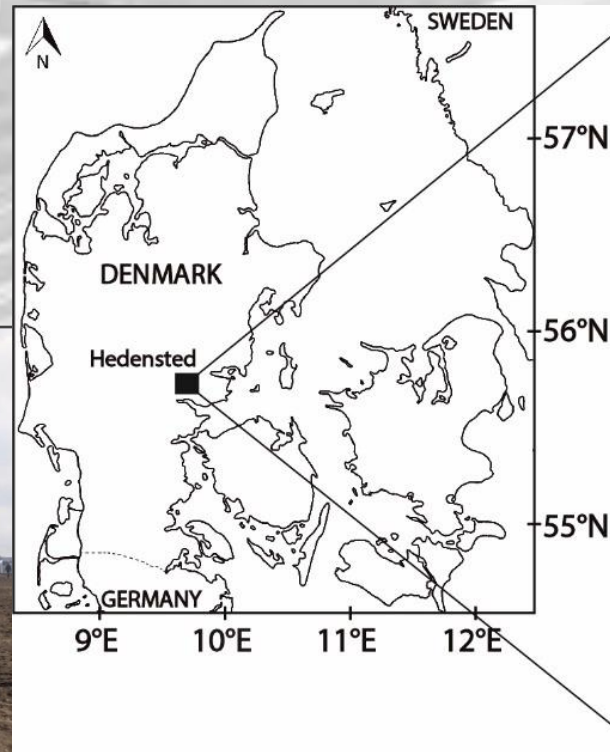
# Klimavejen i Hedensted

Klimavejen



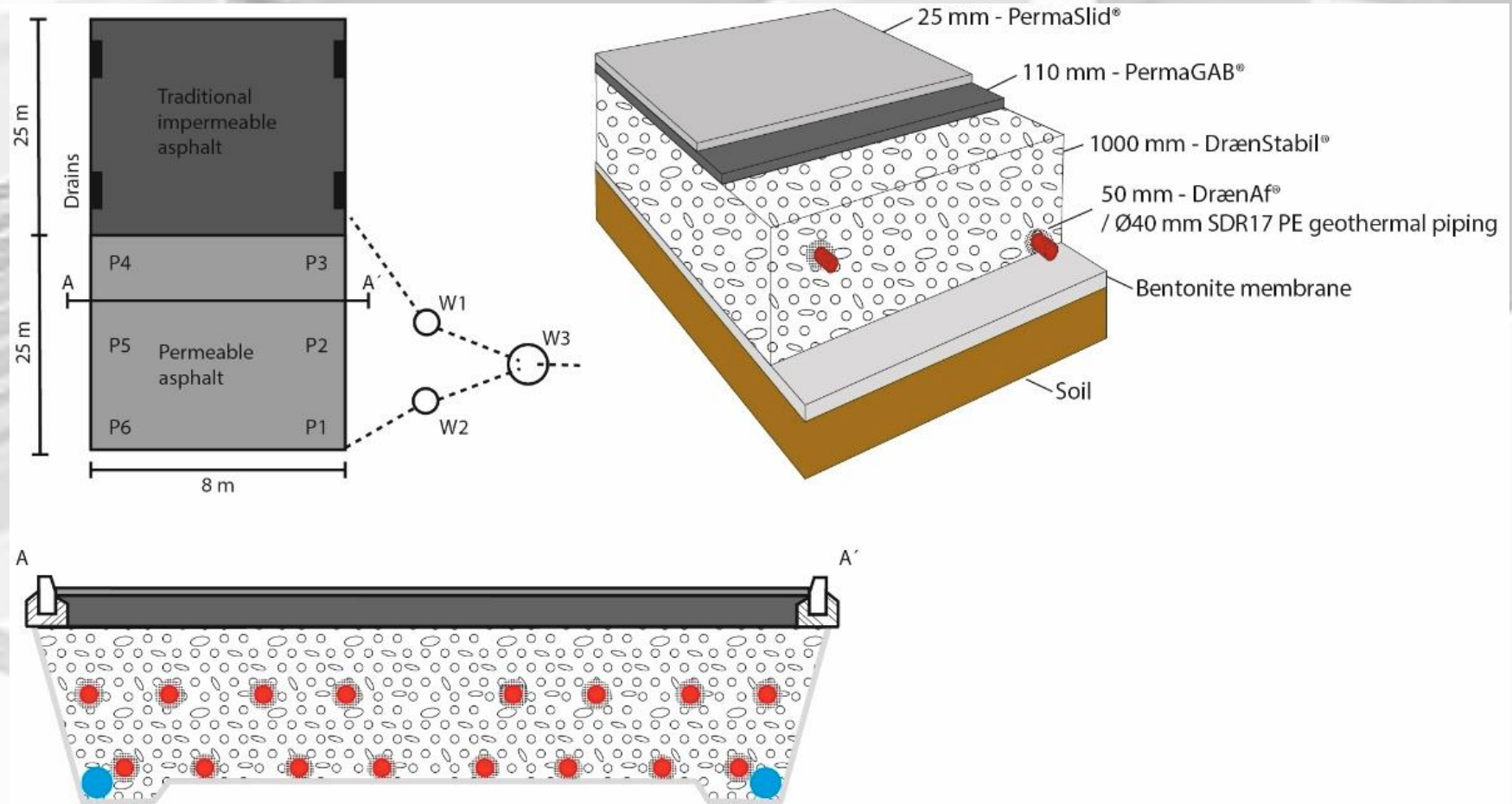
# Klimavejen i Hedensted

Klimavejen



# Klimavejen i Hedensted

Klimavejen



# Klimavejen i Hedensted

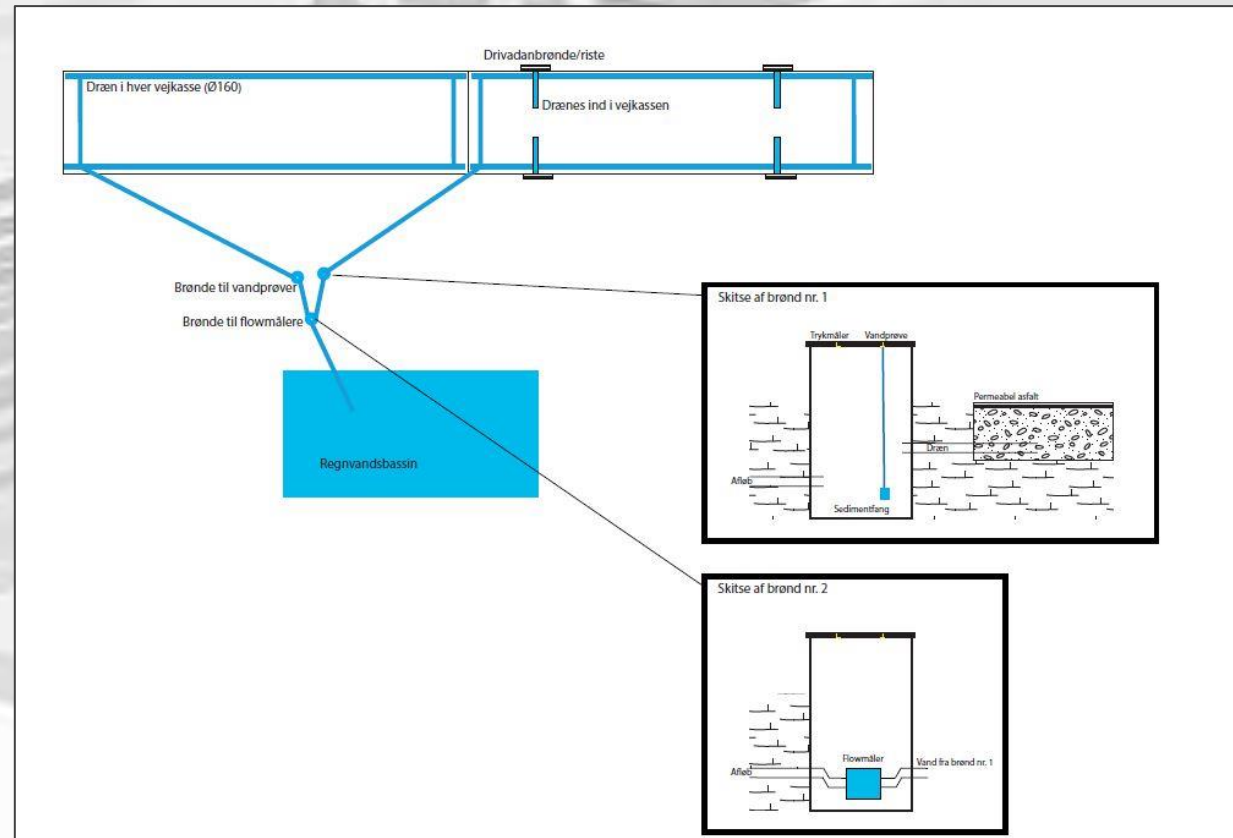
Klimavejen





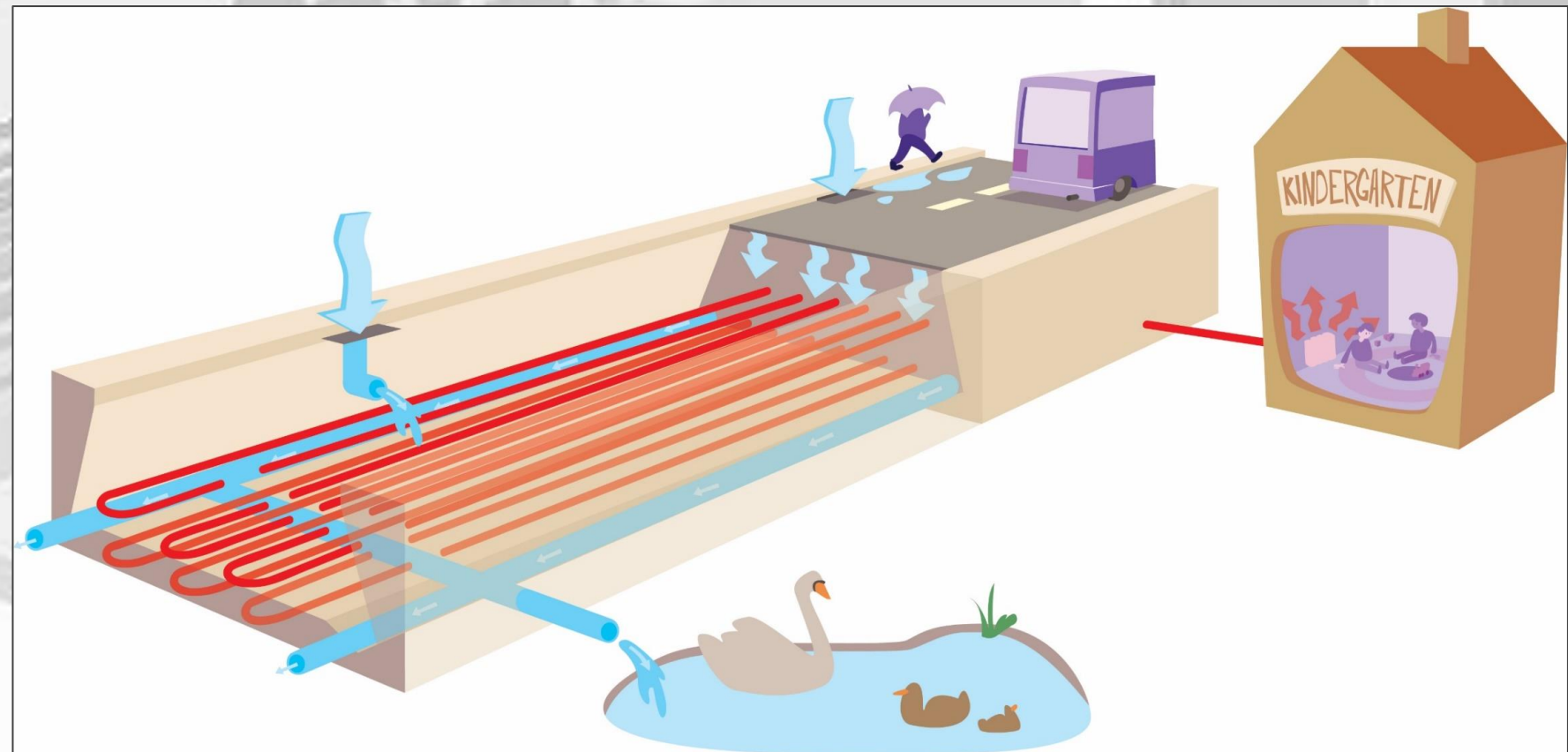
# Klimavejen i Hedensted

Klimavejen



# Klimavejen i Hedensted

Klimavejen



# Klimavejen i Hedensted

Klimavejen



VIA University  
College

Introduktion

# Klimavejen i Hedensted

## Tekniske data fra Klimavejen

- 50 m lang, 8 m bred og 1 m dyb
- Bentonit måtter er udlagt i bunden og lags siderne
- Indeholder 800 m Ø40 jordvarmeslanger som er lagt i DrænAF® med en mediankornstørrelse på  $D50 = 3.3 \pm 1$  mm
- Selve vejkassen er fyldt med DrænStabil® med en mediankornstørrelse på  $D50 = 17.0 \pm 5$  mm og en porøsitet på 30%. Selve vejkassen kan derfor indeholde:  $8 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,3 = 120 \text{ m}^3$  vand
- Den permeable asfalt består af 2 lag: 110 mm PermaGAB® og 25 mm slidlag af PermaSLID®. PermaGAB® og PermaSLID® har en maximal kornstørrelse på henholdsvis 16 and 11 mm.
- Lagene har en Marshall air void på 19–22%

Klimavejen

# Nedsivningspotentialiet

Hvor hurtigt kan vandet dræne gennem det permeable asfalt?

- Afhænger af asfalttypen og udlægningen af denne
  - Skal overholde de valgte servicekrav
- Tidsperspektiv – permeabelt asfalt vil miste infiltrationsevne over tid – vedligeholdelse
- For Klimavejen ville vi have den til at kunne håndtere en 100-årshændelse (90 mm/døgn)
  - Husk at der skal være plads til vandet efter nedsivning

Nedsivnings  
potentialiet

Klimavejen

# Nedsivningspotentialiet

Hvor hurtigt kan vandet dræne gennem det permeable asfalt?

- Typisk bruges to metoder til at måle nedsivningspotentialiet
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- Beckers metode

Nedsivnings  
potentialiet



Opstuvnings  
potentialiet

# Nedsivningspotentialiet

## Nedsivningspotentialiet

- Begge metoder måler det samme – nemlig hvor hurtigt en given vandmængde siver ned i asfalten over tid.
  - ASTM har et konstant trykniveau, mens Beckers metoden har et faldende trykniveau
- Fremgangsmåden på ASTM er som følger
  - Placér en ring på 300 mm på dit ønskede målested
  - Brug sanitetsmateriale / tandpasta til at sikre, at vandet ikke løber horisontalt ud fra ringen
  - Markér på indersiden af ringen en afstand til vejen (typisk 15 mm)
  - Opfugt asfalten
  - Hæld løbene vand i ringen (20 L) og sørg for at holde vandniveauet kontant ved din markering
  - Noter tiden fra start til slut
  - Beregn infiltrationshastigheden  $I = \frac{KM}{D^2t}$
- I er infiltrationshastigheden i mm/timen, M er mængden af vand brugt (kg), D er diameteren af ringen (300 mm), K er en konstant på 4.583.666.000 mm<sup>3</sup> s/kg timen og t er den målte tid (s).

# Nedsivningspotentialialet

Nedsivnings  
potentialialet

- De to metoder er ikke umiddelbart korrelerbare. Flere har forsøgt, nogle mere heldige end andre.
- Ved Klimavejen er der målt 270 gange med Beckers metode fordelt på 6 placeringer (3 på hver vejbane), cirka 2 gange om måneden i 2 løbene år
- 156 målinger er lavet med ASTM metoden. Disse målinger er lavet indenfor 30 cm af Beckers målingerne for at teste om de 2 metoder kan sammenstilles
- Beckers metode
  - $t \leq 30$  s indikerer at asfalten er i en god tilstand
  - $t$  værdier mellem 30 and 50 s indikerer at asfalten er middel clogget og skal renses
  - $t$  værdier  $\geq 75$  s betyder at asfalten er clogget til



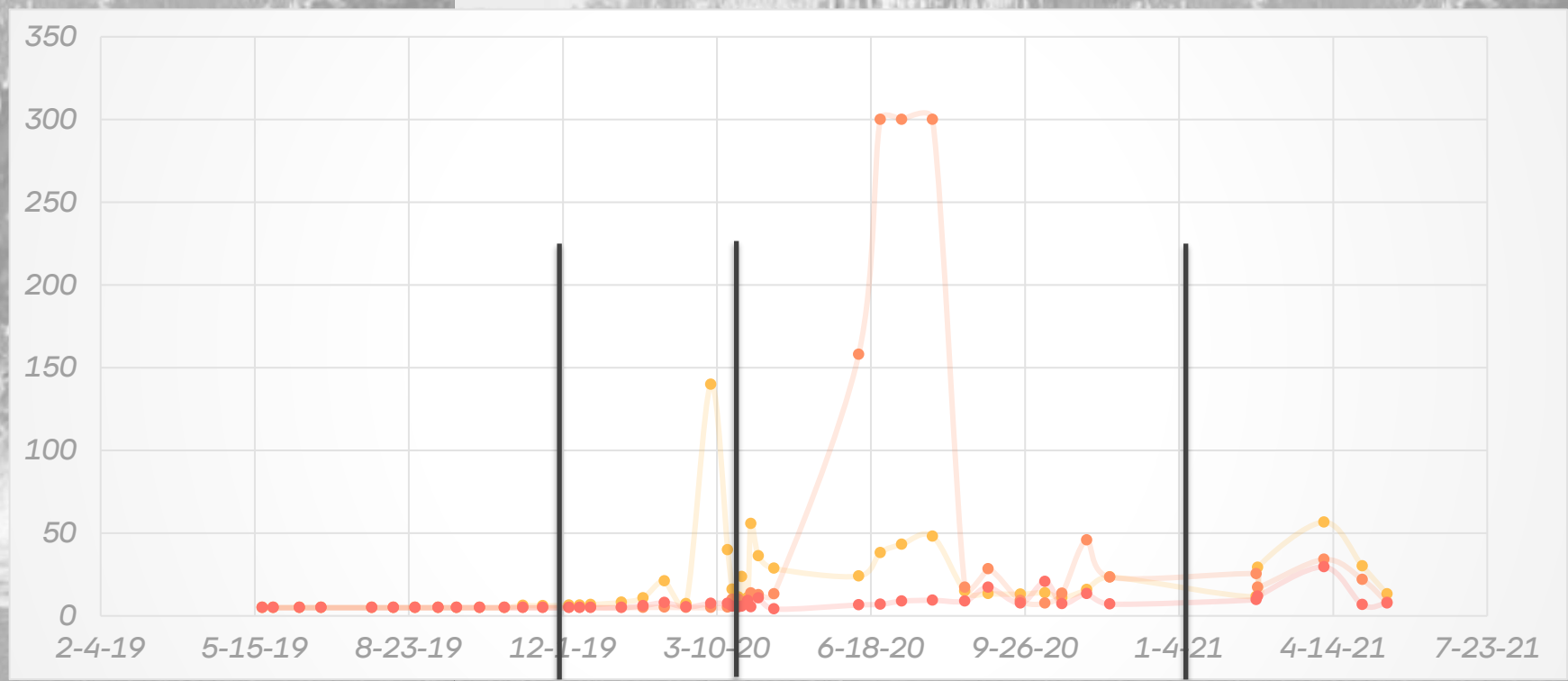
Klimavejen

# Nedsivningspotentialiet

- Beckers metode

Nedsivningspotentialiet

Opstuvningspotentialiet



# Nedsivningspotentialiet

Nedsivnings  
potentialiet

- ASTM metoden viser generelt noget lavere infiltrationsværdier (cirka 5 gange lavere) med maksimale værdier omkring 8000 mm/timen, hvor Beckers metoden havde op til 30.000 mm/timen
- Den laveste ASTM værdi målt er på 40 mm/timen
- ASTM metoden vurderes at være mest pålidelig
- Rensning af vejen gav umiddelbart effekt f.eks. gik P5 fra 43 mm/timen til 637 mm/timen
- Effekten forsvandt dog efter 6-8 måneder
- Der ses også en tendens til at hver rensning ikke kan genskabe den tidligere nedsivningseffekt. Så vejen taber nedsivningsevnen over tid.

# Nedsivningspotentialiet

## Opsummering af nedsivningspotentialiet for Klimavejen

### Nedsivningspotentialiet

- Selvom der observeres et generelt fald i infiltrationskapaciteten for Klimavejen, med enkelte steder som clogges helt til, ligger vejen som helhed stadig inden for anbefalingerne for infiltrationskapaciteten. På alle målestederne er infiltrationsevnen målt til langt over 100 mm/døgnet.
- I Nederlandene bør permeable belægninger have en initial infiltrationskapacitet på 194 mm/t og bør opretholde et minimum på 97,2 mm/t (270 L/s ha) gennem hele levetiden. Klimavejen opfylder begge disse kriterier.
- Ifølge Danmarks Meteorologiske Institut var de største daglige og timelige regnhændelser, der er registreret i Danmark, henholdsvis 169 og 100 mm. Således kan Klimavejen, hvis den vedligeholdes korrekt, infiltrere al hverdagsregn, al regn fra skybrud (Danmark 15 mm/30 min) samt mere ekstreme begivenheder uden problemer.

# Opstuvningspotentialet

- Med en lagerkapacitet på  $120 \text{ m}^3$  i vejkassen svarende til 120.000 L, kan Klimavejen ( $400 \text{ m}^2$ ) lagre 33% af årets nedbør (årlig nedbør: cirka 900 mm i Hedensted).
  - $900 \text{ mm} = 900 \text{ L/m}^2 \times 400 \text{ m}^2 = 360.000 \text{ L}$
- Dermed er Klimavejen en meget effektiv klimatilpasningsløsning for det danske klima
- Desuden kan klimaveje også bruges fremadrettet til at opmagasinere vand i byerne til andre LAR løsninger f.eks. Træer, regnbede, grønne vægge mv.

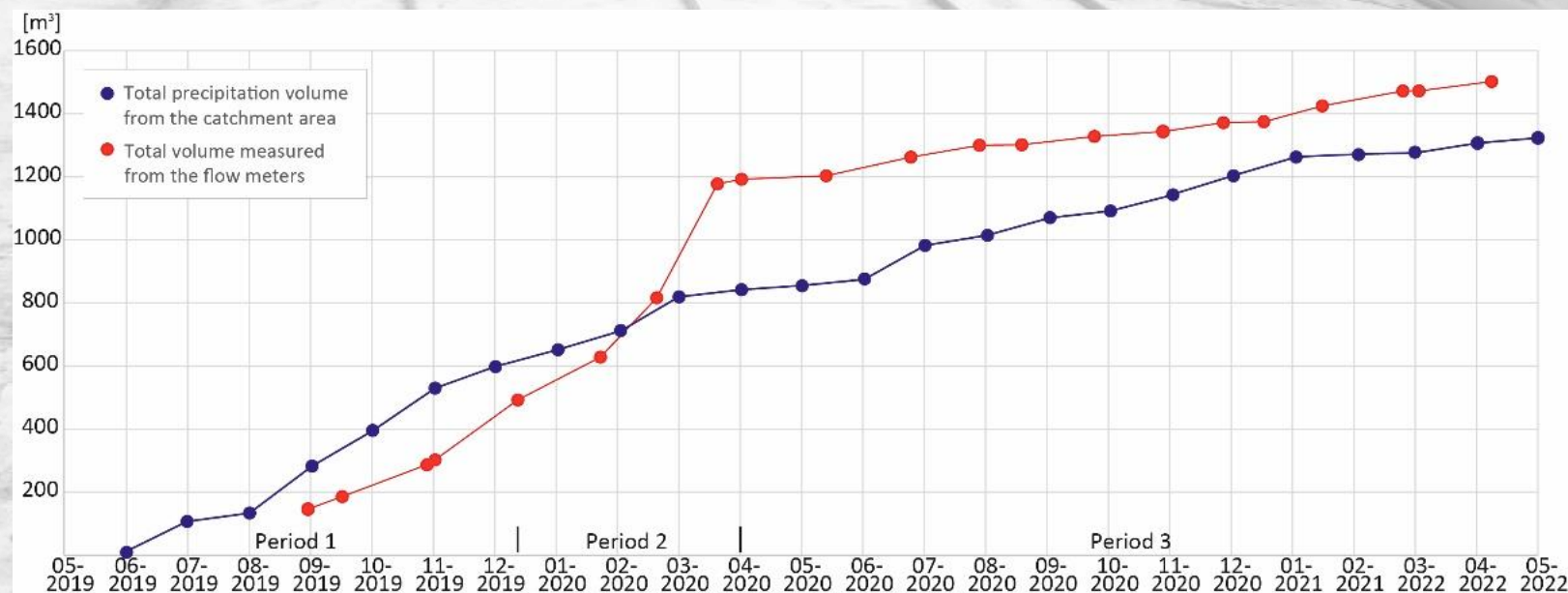
Opstuvnings  
potentialet

# Vandbalancen

## Vandbalancen mellem de to vejstykker

- Der blev observeret en samlet nedbørsmængde på 1654 mm i løbet af projektperioden (maj 2019 til maj 2021). Klimavejens opland er på ca. 800 m<sup>2</sup>
- Den samlede registrerede vandmængde, der blev drænet fra Klimavejen, var 1582 m<sup>3</sup>. De 883 m<sup>3</sup> regnvand, der blev drænet gennem den permeable asfalt, oversteg de 699 m<sup>3</sup>, der blev drænet fra den traditionelle asfalt.

## Vandbalancen



Vandbalancen

# Volumenreduktionskapaciteten

Ud fra vandbalancen kan det ses at klimavejen har en volumenreduktionskapacitet mellem 15 og 30%.

- Primære årsag er sandsynligvis fordampning
  - Jan Støvring et al. fandt en reduktionskapacitet på 37 % som tilskrives fordampning

Grunden til den lavere fordampning i Klimavejen er sandsynligvis en dybere vejkasse (1 m modsat ½ m), en smule højere temperaturer i Jans undersøgelser, men også den højere infiltrationsevne i Klimavejen, hvorved vandet ikke bliver hængende i asfalten og kan fordampe herfra. Der vil sandsynligvis også være et spild til nedsivning mv. Bentonitmåtterne er sandsynligvis ikke 100 % tætte.

Endvidere viste undersøgelser fra Klimavejen at nedbørshændelser under 0,7 mm ikke gennemstrømmede vejen, men blev siddende på kornene og fordampede herfra. Om sommeren kunne det være regnhændelser helt op til 4,1 mm som ikke blev observeret i vandurene

Volumen

Forsinkelses  
potentialer

# Forsinkelsespotentialiet

I alt 61 individuelle regnhændelser til måling af tilbageholdelsestiden blev målt på klimavejen.

- 25 regnhændelser med regnmængder fra 3 til 5 mm,
- 23 regnhændelser med regnmængder mellem 5 og 10 mm
- 13 regnhændelser med regnmængder over 10 mm

Størstedelen af regnhændelserne fandt sted i sommer- og efterårsperioden, mens vinter og forår havde færre individuelle regnhændelser.

Forsinkelsestiden for hændelserne varierer fra 10 til 130 minutter, med en gennemsnitlig forsinkelsestid på 35 minutter.

Der er en klar tendens til, at regnintensiteten er den dominerende faktor i forhold til tilbageholdelsestiden for hændelserne. For regnhændelser med en regnintensitet over 5 mm/t er den gennemsnitlige tilbageholdelsestid 22 minutter, mens den for regnhændelser med en regnintensitet under 5 mm/t er 40 minutter.

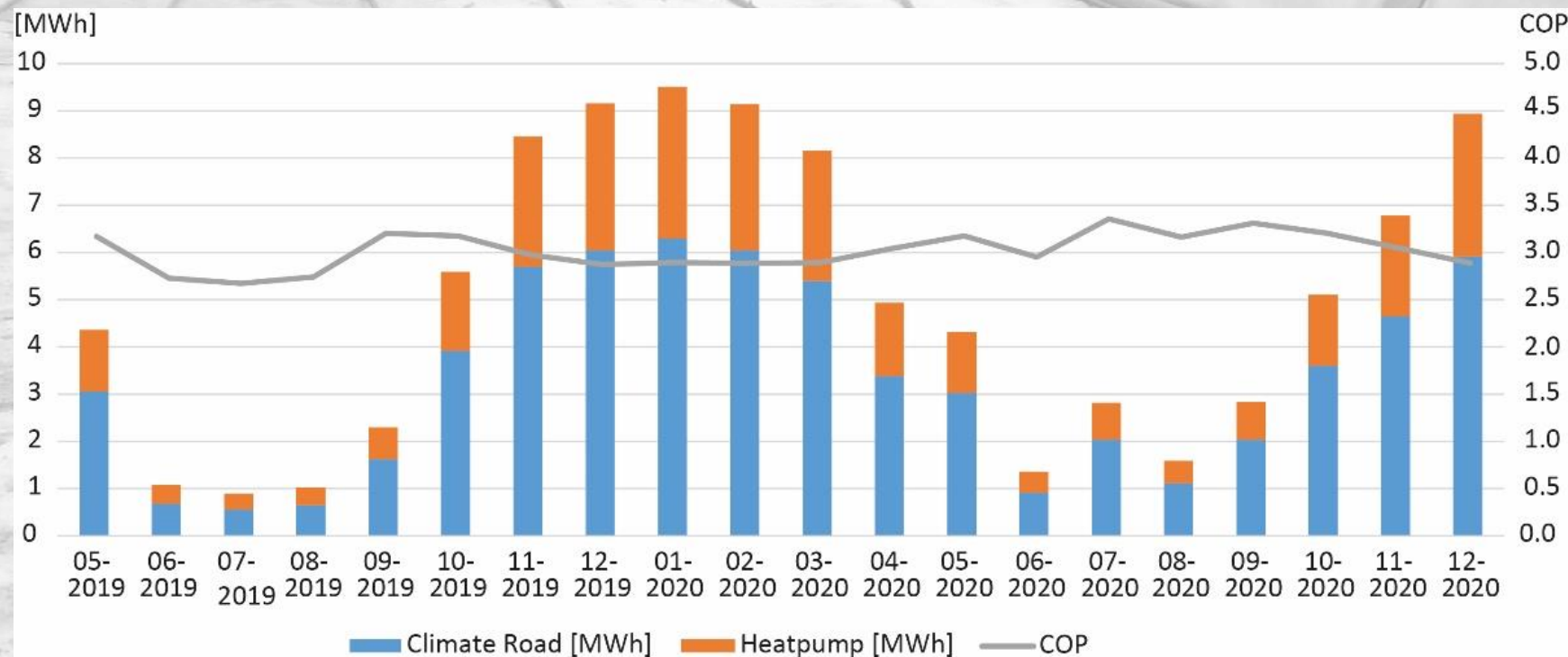
Forsinkelses  
potentialiet

# Energiproduktion

Klimavejen har været i stand til at producere i alt 98 MWh energi fra maj 2019 til december 2020, med en gennemsnitlig COP-værdi på 3,1.

Har kunnet levere alt energi Børnehuset har haft brug for

Energi  
produktion





# Sammenfatning

Klimavejen blev testet fra maj 2019 til maj 2021. I projektperioden blev en samlet nedbørsmængde på 1654 mm registreret, gennemsnitstemperaturen var 9,3 °C, og den mest intense nedbør var 40,3 mm/30 min.

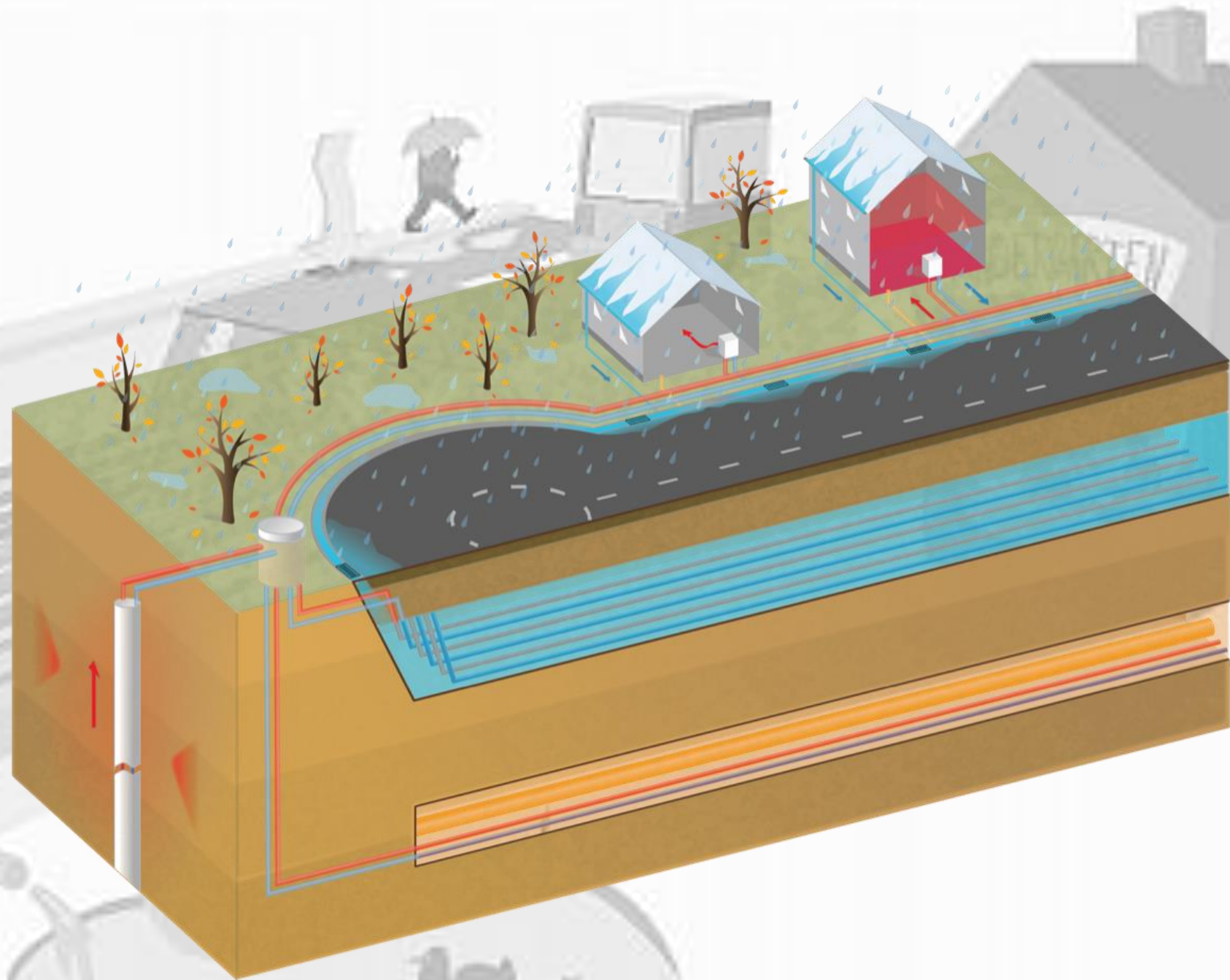
Sammenfatning

Den langsigtede infiltrationsydelse af den permeable asfalt viser, at den samlede infiltrationskapacitet langsomt reduceres. Reduktionen kan hindres, men ikke fuldstændigt forhindres. Efter to års drift opfylder Klimavejen stadig, med stor margin, anbefalingerne for infiltrationskapaciteten på 97,2 mm/t for størstedelen af vejstrækningen.

Den samlede volumenreduktionskapacitet anslås til at være mellem 15 og 30%. Baseret på en analyse af 61 enkelte regnhændelser blev forsinkelsestiden fundet at variere mellem 10 og 130 minutter, med et gennemsnit på 35 minutter.

I løbet af projektperioden producerede Klima Vej i alt 98 MWh til en nærliggende børnehave, med en gennemsnitlig ydeevnekoeficient (COP) på 3,1.

Sammenfatning





## Termovejen i Hornsyld – fremtiden forsyning??



Energi genereres fra vejen og lodrette borer.

Samles i varmeveksler og sikrer 6 parcelhuse varme og køling



Termovejen i Hornsyld – fremtiden forsyning??



**Michael Brask**

*Salgschef / Projektchef NCC PermaVej / Regnvandskonsulent*

NCC Industry A/S

Råstoffer

Oliehavnsvej 28

8000 Århus C

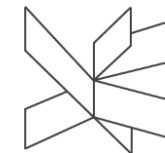
CVR-nr. 26708435

[www.ncc.dk](http://www.ncc.dk)

Mobil +45 23 33 27 14

Fax +45 86 75 66 88

[mcb@ncc.dk](mailto:mcb@ncc.dk)



# VIA University College

Forskningsområde for Teknologi  
og Erhverv

Banegårdspladsen

8700 Horsens, Danmark

Theis Raaschou Andersen

Forskningschef

[thra@via.dk](mailto:thra@via.dk)

[www.via.dk](http://www.via.dk)