

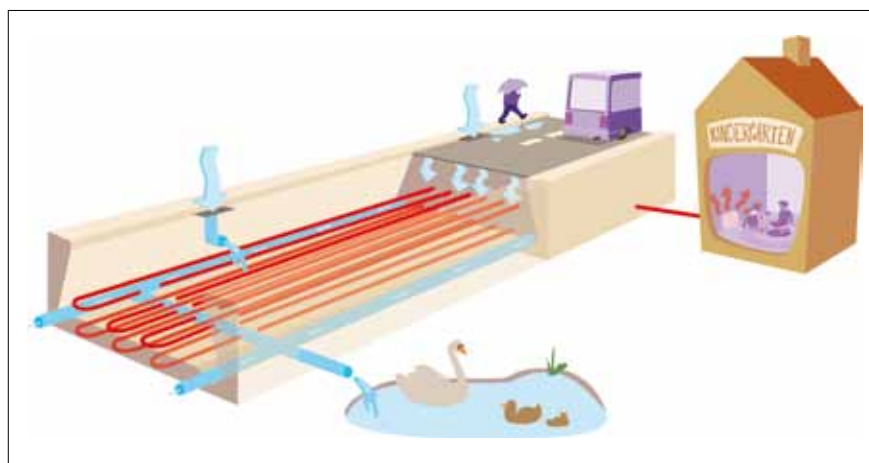
Klimavejen – en multifunktionel klimaløsning

Klimavejen blev indviet i marts 2018 som det første anlægsprojekt i det store regionale klimatilpasningsprojekt C2C-CC. Klimavejen er en multifunktionel klimaløsning, som kombinerer en klimatilpasningsløsning, hvor regnvandet kan nedsive gennem den permeable asfalt og opstuves i vej-kassen med en klimaforebyggelsesløsning, da vejen kan levere bæredygtig energi fra et jordvarmesystem udlagt i vej-kassen.

THEIS RAASCHOU ANDERSEN, SØREN
ERBS POULSEN &
KARL WOLDUM TORDRUP

Danmark oplever i disse år konsekvenserne af klimaforandringerne med flere ekstreme vejrhændelser. I Danmarks Klimacenter rapport nr. 6, 2014 udarbejdet af DMI /1/ estimeres det, at Danmark vil opleve vådere vintre og tørrere somre dog med hyppigere og kraftigere nedbørshændelser om sommeren end hidtil. For at imødekomme disse udfordringer er der gennem de sidste ti år kommet et stigende fokus på klimatilpasnings- og forebyggelsesprojekter blandt andet ved kommunernes nye klimatilpasningsplaner samt etableringen af flere klimanetværk og -projekter med fokus på videndeling på tværs af sektorer. Et af disse projekter er Coast to Coast Climate Challenge (C2C-CC), hvor alle midtjyske kommuner, flere forsyningselskaber og vidensinstitutioner i regi af Region Midtjylland er gået sammen for at videndele og samarbejde omkring klimatilpasningsløsninger i det midtjyske.

LAR-løsninger (Lokal Afledning af Regnvand) er en velkendt og ofte anvendt metode til klimatilpasning i byerne. LAR-løsninger kombinerer typisk nedsivning, fordampning, forsinkelse eller opstuvning, hvilket skal sikre,



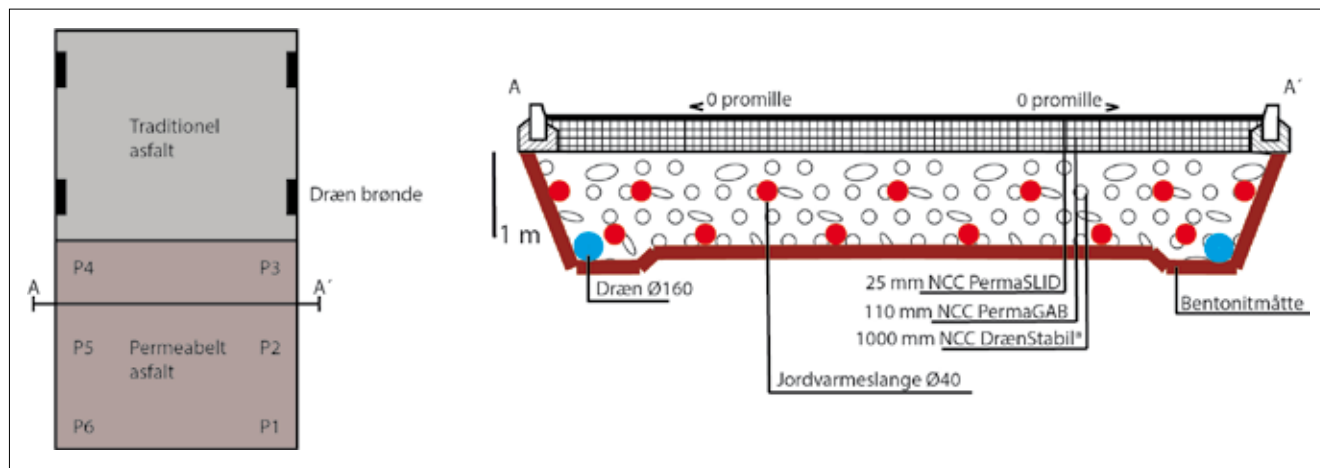
Figur 1. Illustration af klimavejen.

at regnvandet ikke overbelaster kloaksystemet således at man undgår oversvømmelser (<http://www.laridanmark.dk/>).

Hvor klimatilpasning handler om at minimere følgeskaderne ved klimaforandringer, handler klimaforebyggelse hovedsagligt om at mindske udledningen af drivhusgasser. Danmark har en målsætning om at være uafhængig af kul, olie og gas i 2050. Tilsvarende Danmark har EU en ambition om at reducere drivhusgasudledningen fra EU med 80-95 % i 2050 i forhold til 1990. Dette betyder, at energisektoren i Danmark er i gang med en grøn omstilling fra sort til grøn energi. Prognoserne spår således, at varmepumperne gradvist

kommer til at overtage varmeproduktionen i Danmark ved erstatning af fossile brændsler og biomasse. Udnyttelse af jordens stabile og lave temperaturer i de øverste par hundrede meter af undergrunden muliggør kollektiv varmeforsyning med høj virkningsgrad. Jorden kan ligeledes anvendes til sæsonvarmelagring ved frikøling af sommervarmt byggeri og kan på den måde være med til at dække et ganske betydeligt (og stigende) kølebehov i Danmark. Således passer udnyttelsen af de terrænnære geotermiske ressourcer rigtig godt ind i det fremtidige varme- og køleforsyningsbillede i Danmark.

For at imødekomme både klimatilpasnings-



Figur 2. Venstre, oversigt over klimavejen, set oppefra. Højre, tværsnit af klimavejen

og forebyggelsesudfordringerne er klimavejen etableret som et forsknings- og udviklings samarbejde mellem Hedensted Kommune og VIA University College, Horsens i regi af C2C-CC projektet (<https://www.c2ccc.eu/om-c2c-cc/>), se Figur 1.

Klimavejen i Hedensted – opbygning

Klimavejen måler 50 m i længden, 8 m i bredden og 1 m dybden. Langs vejassens sider og bund er der udlagt bentonitmåtter. Herved sikres det, at der ikke sker ind- og udsivning til vejassens, således at vandbalancen kan monitoreres uden ydre påvirkninger og dels sikres det, at den underliggende råjords stabilitet bibeholdes. Selve vejassens er opbygget med NCCs DrænStabil grus med en hulrumsporcet på 30% som bærelag. Vejassens kan dermed rumme 120.000 liter vand uden at bærelaget mister sin bæreevne. I vejassens er der endvidere udlagt to lag jordvarmeslanger i bærelaget i to niveauer (i bunden og midten af vejassens), stabiliseret med permeabelt NCCs DrænAf afrettningsgrus.

Selve vejassens er belagt med henholdsvis 25 meter permeabel asfalt og 25 meter traditionel asfalt. Der er således etableret to drænsystemer på hver 25 m, således at infiltrationen ved anvendelse af de to forskellige asfalttyper kan måles i detalje. Den permeable asfalt afleder regnvandet direkte til det underliggende bærelag, hvorimod den traditionelle asfalthønsning afleder vandet til 4 drænbrønde og herfra ned i vejassens, se Figur 2 og 3.

I alt er 800 m jordvarmeslanger placeret i vejassens (4 loops af 200 m). Jordvarmeslangerne er tilkoblet en varmepumpe i det nærliggende børnehus, og leverer varme til huset samt brugsvand. Regnvandet, der passerer ned gennem asfalten, har to funktioner i forhold til jordvarmeanlægget. Fugtig jord leder varme bedre end tør jord og øger dermed varmeoptaget i slangerne. Vandet tilfører

ligeledes varme til jorden omkring slangerne, når det regner, og forhindrer dermed frysning af jorden. Dette er væsentligt, da væsken, der cirkulerer i jordvarmeslangerne, er minus 4 grader ved udløb fra Børnehuset, og typisk ca. +1 grad ved indløb til varmepumpen. Dette betyder altså, at det særligt er på de koldste dage, at infiltrationen hjælper jordvarmepumpen, da det infiltrerende vand altid har en temperatur over frysepunktet. Men for at sikre at vejassens ikke fryser til is, er der installeret en temperatursensor i vejassens som stopper jordvarmesystemet, hvis temperaturen i vejassens kommer under + 1 grad.

Klimavejen indtil nu

Dataopsamlingen på klimavejen har været i gang siden april 2018. Grundet stor kørselsaktivitet i forbindelse med mange udstykninger i området, er selve monitoreringen dog først startet i maj 2019.

Afdræningskapacitet

På de 25 m med permeabelt asfalt er der udført afdræningsmålinger ved hjælp af Becker-metoden. Der er målt i alt 6 steder på vejen fordelt med 3 målesteder på hver sin vejbane

(se Figur 2 for placering og Tabel 1 for resultater). Becker-metoden er brugt i Holland og Danmark til bestemmelse af asfaltens permeabilitet /2/. Ved Becker-måling registreres tiden, det tager for en 100 mm vandsøjle, at passere igennem asfalten. Som det fremgår af Tabel 1 over afdræningskapaciteten ses meget korte tider under 5 sekunder svarende til en hydraulisk ledningsevne på $2E^2$ m/s. Klimavejen kan således dræne vejvandet ved selv meget kraftige skybrud. Ved P4 ses en vekslende afdræningskapacitet mellem 5 sek. til 4 min. Dette skyldtes, at der flere gange omkring målestedet har været spildt sand på vejbanen, hvilket periodevis har tilstoppet asfalten. Mellem d. 11-09-2019 og 23-09-2019 er asfalten støvsuget omkring P4 og P5, hvilket igen har givet en god afdræningskapacitet.

Vandbalance

Vandbalancen er monitoreret gennem hele klimavejens levetid. De to afdræningssystemer under hver deres asfalttype er målt både manuelt og digitalt ved aflæsning på to specialudviklede installerede Kamstrup flowmålere. Desværre har det vist sig, at der har været situationer med tilbageløb

Tabel 1. Afdræningskapacitet for 6 på positioner klimavejen.

Dato for måling/position for måling	P1	P2	P3	P4	P5	P6
20-05-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	<5 sek	<5 sek	<5 sek
27-05-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	<5 sek	<5 sek	<5 sek
13-06-2019	<5 sek	<5sek	<5sek	107 sek	<5sek	<5sek
27-06-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	32 sek	<5 sek	<5 sek
30-07-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	33 sek	<5 sek	<5 sek
13-08-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	13,17 sek	<5 sek	<5 sek
27-08-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	11,23 sek	<5 sek	<5 sek
11-09-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	234 sek	16,7 sek	<5 sek
23-09-2019	<5 sek	<5 sek	<5 sek	38 sek	<5 sek	<5 sek



Figur 3. Klimavejen i anlægsfasen. I baggrunden ses Børnehuset. Med hvidt ses bentonitmåtterne. Det nederste lag af jordvarmeslangerne kan ses oven på bentonitmåtterne. Langs vej-kassens sider ses de blå afdræningsrør

gennem flowmålerne, hvorved den samme vandmængde principielt kan være målt to gange. De opsamlede data skal derfor ses i dette lys. Fra den installerede Davis Vantage pro2 vejrstation placeret umiddelbart ved siden af klimavejen er der målt en total nedbør i år (01-01-2019 til 16-09-2019) på i alt 546 mm, hvilket giver en total nedbørsmængde for hvert asfaltstykke på ca. 110 m³. For samme tidperiode er der målt 95 m³ og 125 m³ vand fra afdræningssystemerne under henholdsvis den traditionelle asfalt og den permeable asfalt. Omend aflæsningerne skal tages med forbehold ses det, at asfaltstykket med den permeable belægning umiddelbart har kunnet håndtere alt nedbøren på vej-overfladen, imens den traditionelle asfalt og det dertilhørende afdræningssystem ikke har kunnet opsamle alt nedbøren. Dette er også i overensstemmelse med de målte afdræningskapaciteter for den permeable asfalt, som indikerer, at alt nedbør uden problemer drænes gennem asfalten. Ovenstående potentielle

målefejl er nu udbedret således, at præcise målinger hvert minut for begge afdræningssystemer monitoreres fra september 2019 og frem.

Energiproduktion

Børnehuset årlige energiforbrug er ca. 95 MWh (baseret på opgørelsen fra 2018). Som supplement til varmepumpens produktion af brugsvand, er der installeret solvarmepaneller på taget af børnehuset, der leverer ca. 5 MWh varmet brugsvand per år. Således skal varmepumpen årligt levere godt 90 MWh, hvilket svarer til energiforbruget i ca. fem standardhuse (byggeår 1960-1970, 130 m², varmemeforbrug på 18,1 MWh årligt).

Klimavejen oplevede et driftsnedbrud med faldende tryk på jordvarmekredsen i perioden november 2018 til marts 2019. Problemet er sidenhen blevet afhjulpet og skyldtes i al væsentlighed manglende ventilering af luft fanget i jordvarmeslangerne. I anlægsfasen er det muligt at jordvarmekredsene blev nedlagt i

vejkassen på en sådan måde at de ikke i alle tilfælde hælder væk fra manifolden, hvorfor luft muligvis er fanget permanent i slangerne. Dette er en vigtig "lærestreg" i forhold til nye anlæg.

Der er indtil videre opsamlet driftsdata fra fem fulde måneder i fyringssæsonen, hvor energibehovet er ganske betydeligt (Tabel 2).

Klimavejen har i disse måneder fuldt kunne dække et opsammeret energibehov på 23,4 MWh (minus solvarmebidraget, der styringsmæssigt prioriteres over varmepumpen) i børnehuset med en virkningsgrad på 3,2, hvilket er ganske fornuftigt i forhold til andre typer af jordvarmeanlæg, der i tillæg til opvarmning også producerer brugsvand. Bidraget fra solvarmeanlægget summerer til 2,8 MWh, hvilket alt andet lige forbedrer varmepumpens COP da denne aflastes i forhold til brugsvandsproduktion.

Perspektiver

Klimavejen har gennem det første år af sin levetid allerede vist et betydeligt potentiale. Dels som klimatilpasningsløsning, hvor klimavejen er i stand til at modtage samt at opstuve store mængder nedbør, og dels som klimaforebyggelsesløsning, hvor den indtil videre fuldt dækker børnehusets energibehov. Den foreløbige energiproduktion i de 5 måneder i fyringssæsonen svarer til det årlige energibehov i tre nybyggede rækkehuse på hver 130 m² og med et energiforbrug på 8 MWh/år. Dette åbner op for, at klimaveje med fordel kan benyttes i områder, hvor fjernvarmen ikke er tilgængelig, i forbindelse med den grønne omstilling. Endvidere arbejder VIA University College allerede med nye generationer af Klimavejen, som også kan tilbyde komfortkøl i sommermånederne i form af frikøling med den kolde jord, hvor den uønskede husvarme gemmes til fyringssæsonen. Herved får de tilkoblede forbrugere både en klimatilpasningsløsning til håndtering af regn samt varme- og køleforsyning året rundt med sæsonvarmelagring.

Af udfordringer ved klimavejen er tilstopning af den permeable asfalt den største. Som udgangspunkt skal den permeable asfalt oprensnes en gang om året med en højtryksrenser med støvsuger, og det skal kommunen regne med i deres driftsbudget. En anden ubekendt faktor ved klimavejen er dens ydeevne henover en vinter, hvor energibehovet er størst, og hvor der er mindst energitilførsel. Såfremt klimavejen ikke kan levere en tilfredsstillende energimængde i disse perioder, skal den suppleres med andre grønne løsninger såsom energipæle eller jordvarmeboringer. Et sidste aspekt, som er vigtigt at belyse er, hvorledes

Tabel 2. Produceret energi fra klimavejen samt varmepumpens elforbrug og total varme leveret med tilhørende virkningsgrad. Solvarmebidraget til brugsvand er ligeledes angivet.

Energi per måned (kWh)	Klimavej	Elforbrug	Varmepumpe	Solvarme	Virkningsgrad
April 2018	3178	1662	4840	577	2.9
September 2018	2015	798	2813	430	3.5
Oktober 2018	3789	1547	5336	353	3.4
April 2019	3994	1814	5808	835	3.2
Maj 2019	3057	1307	4364	619	3.3
Total	16033	7128	23161	2814	3.2

kvaliteten af vejvandet ændrer sig, når det passerer igennem vej-kassen og afstrømmer til recipienten. Der er god grund til at tro, at der sker en forbedring af vandkvaliteten, da vej-kassen i princippet fungerer som et stort grus-/sandfilter, hvori der både kan ske mekanisk, kemisk og biologisk oprensning og nedbrydning af forureningsstoffer og eksempelvis mikroplast. Der er således blevet tilknyttet en ph.d.-studerende fra Aalborg Universitet til C2C-CC-projektet, der over en 3-årig periode skal forske i disse mulige forbedringer af vandkvaliteten.

Klimaveje kan have deres berettigelse flere steder. Dels i tæt bebyggede områder, hvor der ikke umiddelbart er plads til andre LAR-løsninger da klimavejen ikke fylder mere end de eksisterende veje. F.eks. vil klimavejen give stor værdi, hvis alt tagvand og overfladevand

kunne ledes ud på en p-plads eller et andet område med drænende overflader i stedet for afledning til kloakken og samtidig kunne levere grøn energi til den omkringliggende bebyggelse. Et andet sted, hvor klimavejen kunne have sin berettigelse, er i områder, hvor fjernvarme ikke er tilgængelig, og hvor der efterspørges grønne løsninger til kollektiv varmforsyning.

Dataopsamlingen fra Klimavejen vil pågå over de næste 4 år (indtil 2022) i C2C-CC projektet med henblik på at etablere et solidt grundlag for det videre arbejde med nye generationer af Klimavejen – og ikke mindst for at kunne vurdere økonomien heri. Endvidere vil der også indsamles erfaringer med påvirkningen af frostvejr på klimavejens funktion, og hvordan vintervedligehold kan håndteres.

Referencer

- /1/ DMI. Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Danmarks klimacenter rapport nr. 6 2014
- /2/ Two-layer porous asphalt – lifecycle - The Øster Søgade experiment, Vejdirektoratet, rapport nr. 165, 2008

THEIS RAASCHOU ANDERSEN er forskningschef ved forskningscenter for Byggeri, Energi, Vand & Klima ved VIA University College, Horsens, Thra@via.dk.

SØREN ERBS POULSEN er Docent ved forskningscenter for Byggeri, Energi, Vand & Klima ved VIA University College, Horsens, Soeb@via.dk.

KARL WOLDUM TORDRUP er forsker ved forskningscenter for Byggeri, Energi, Vand & Klima ved VIA University College, Horsens, Kart@via.dk.



Ny bog af Kaj Sand-Jensen og Jens Christian Schou på BFNs Forlag.

Voldsomme ændringer præger Danmarks natur og landskaber gennem de sidste 200 år. Nu kommer hele udviklingen i alle landskabstyper på land og i vand frem i lyset i en veloplagt tekst illustreret med gamle og nye fotos og smukke tegninger.

Bogens forfattere formidler hyppigt om Danmarks natur, og de repræsenterer stor faglig indsigt og evner som tegner og naturfotograf.



Skraldemanden arbejder. Carthage des Indes, Columbia (Foto Akvafoto, Columbia)