

Evaluating long-term performance of permeable pavements – From stormwater management to freeze thaw cyclic behaviour.

Dansani Vasanthan Muttuvelu, Civilingeniør, PhD 2025.

Kan vores veje klare fremtidens skybrud?

Forskning viser, at svaret kan være ja – men kun hvis vi som ingeniører tør ændre vores mindset. Ifølge den seneste IPCC-rapport kan Europa i værste tilfælde blive 30 % vådere i fremtiden. For Danmark betyder det, at de skybrud, vi allerede kender, kan blive både hyppigere og mere intense. Vi har alle oplevet, hvordan et voldsomt regnskyl kan lamme trafikken, oversvømme kældre og omdanne gader til brusende floder, jf. Figur 1. Fremtidens udfordring er ikke længere kun, om klimaet ændrer sig, men hvordan vores byer og infrastruktur kan tilpasses til at håndtere de enorme mængder vand, der kommer. Løsningen kan ligge i en relativt enkel idé: permeable veje. Hvor traditionelle veje er lukkede systemer, der effektivt leder vandet væk gennem kloaker, er permeable belægninger designet til at lade vand trænge igennem asfalten eller brostenene. Vandet opsamles midlertidigt i vej-kassen og siver langsomt videre til undergrunden. På den måde kan veje fungere som skjulte regnvandsbassiner midt i byen og aktivt reducere oversvømmelser.



Figur 1 Figur fra: <https://www.berlingske.dk/indland/for-ti-aar-siden-blev-koebenhavn-oversvoemmet-16-milliarder-skal-sikre-at-det-ikke-sker-igen>

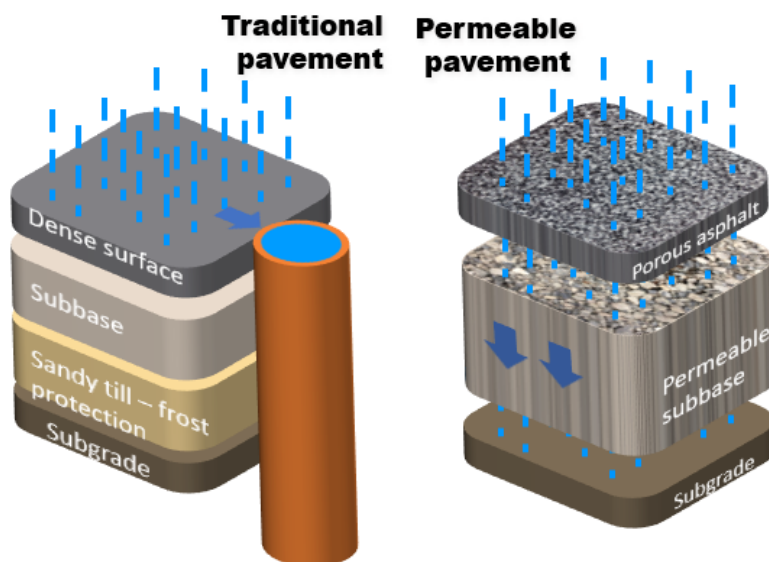
Denne tilgang rækker langt ud over klassisk vejbygning. I tætte byområder som København er pladsen begrænset, og store grøfter eller bassiner til regnvand er ofte umulige at etablere. Hvis eksisterende veje, stier og pladser kan opsamle og forsinke regnvandet, bliver klimatilpasning en integreret del af helt almindelige anlægsprojekter – uden at kræve ekstra areal. Permeable veje bliver dermed ikke kun et ingeniørproblem, men et emne for byplanlæggere, miljøfolk og økonomer. Transport, vandhåndtering og bæredygtig byudvikling kobles i én samlet løsning.

Men idéen rejser en ingeniørmæssig gåde. I Danmark dimensioneres veje typisk under antagelse af, at vej-kassen holdes tør. Vand svækker grus og sand, især i vores kolde klima med frost-tø-perioder, og er derfor traditionelt set vejens fjende. Permeable veje vender logikken på hovedet: her er vand en forudsætning for, at systemet fungerer.

Spørgsmålet bliver: hvordan sikrer vi holdbare veje, når vand bevidst inviteres indenfor?

Løsningen kan ligge i en relativt enkel idé: permeable veje. Hvor traditionelle veje leder vand væk gennem kloakker, er permeable belægninger designet til at lade vand trænge igennem asfalten eller brostenene. Vandet opsamles midlertidigt i vej-kassen og siver langsomt videre til undergrunden. Veje kan dermed fungere som skjulte regnvandsbassiner midt i byen og aktivt reducere oversvømmelser. I tætte byområder som København er pladsen begrænset, og store grøfter eller bassiner er ofte umulige at etablere. Hvis eksisterende veje, stier og pladser kan opsamle og forsinke regnvandet, bliver klimatilpasning en integreret del af almindelige anlægsprojekter – uden ekstra areal.

Traditionelt dimensioneres veje ud fra, at vej-kassen skal holdes tør. Vand svækker grus og sand, især i frost-tø-perioder, og har derfor været vejens fjende. Permeable veje vender logikken på hovedet: her er vand en forudsætning for, at systemet fungerer. Spørgsmålet bliver, hvordan sikrer vi holdbare veje, når vand bevidst inviteres indenfor? På Figur 2, fremgår forskellen mellem en traditionel vej og en permeabel vej.



Figur 2 Illustration af en traditionel vs. permeable vej. Af: Dansani Vasanthan Muttuvelu

Mit ph.d.-projekt søgte at forstå, hvordan permeable belægninger fungerer under danske forhold og optimere dem til fremtidens klima. Projektet kombinerede litteraturstudier, feltmålinger, interviews med 24 fagfolk fra kommuner, rådgivere og entreprenører samt numerisk modellering for at udvikle en frost-tø-model, der kan forudsige belægningens opførsel under frost/tø- og temperaturvariationer. Forskningen undersøgte også ubundne bærelags rolle som vandmagasin, langsigtet bæreevne og optimering af materialernes sammensætning.

Interview studiet viste, at den største barriere ikke kun er teknologien, men i høj grad også holdningerne til den. Mange bygherrer, særligt de danske kommuner, møder stadig idéen om permeable veje med skepsis. Bekymringen handler typisk om øgede vedligeholdelsesomkostninger og om, at løsningen bryder med årtiers ingeniørtradition, hvor vand altid er blevet betragtet som noget, der skulle holdes ude af vej-kassen. Samtidig mangler der i dag klare standarder og velafprøvede værktøjer, som gør det let at regne på permeable belægninger. Uden den nødvendige viden bliver det svært at vurdere både økonomi, bæreevne og langtidsholdbarhed – og så vælger man ofte den velkendte løsning frem for den innovative. Mit forskningsprojekt giver netop et bud på at udfylde denne manglende viden. Undersøgelserne viser, at permeable asfaltbelægninger kan fungere teknisk på niveau med traditionelle veje, hvis de projekteres, udføres og vedligeholdes korrekt. Den afgørende nøgle ligger især i laget under asfalten – det ubundne

bærelag – som fortsat udgør vejens bærende konstruktion, men som samtidig kan anvendes som et effektivt midlertidigt vandmagasin. Dermed får vejene en helt ny rolle: De bliver aktive elementer i byens regnvandshåndtering under skybrud, i stedet for blot at være passive transportflader, der sender vandet videre i systemet.

Feltforsøgene dokumenterer, at vejklassens evne til at opsamle og forsinke regnvand markant kan reducere risikoen for oversvømmelser i byer og boligområder. Infiltrationskapaciteten afhænger af belægningens porøsitet, udlægningen af slidlaget og ikke mindst den løbende drift. Regelmæssig rensning er afgørende for, at porerne ikke stopper til, og for at vejen kan bevare sin funktion gennem hele sin levetid.

Den udviklede frost-tø-model giver for første gang ingeniører et konkret værktøj til at beskrive samspillet mellem vand og temperatur i permeable vejkonstruktioner. Modellen kan forudsige, hvordan materialerne påvirkes af vinterens skiftende kulde og tø, og dermed danne grundlag for bedre dimensionering og mere robuste konstruktioner. Med denne nye viden kan permeable veje designes mere præcist og med større sikkerhed – til gavn for både trafikken, økonomien og klimaet.

I et samfundsmæssigt perspektiv kan forskningsresultaterne få stor betydning. Danmark råder over omkring 71.000 kilometer vejnet, som løbende skal renoveres og udbygges. Hvis bare en del af disse strækninger anlægges som permeable befæstelser, kan klimatilpasning integreres i den almindelige infrastrukturudvikling. For den enkelte borger betyder det færre gener, større tryghed i hverdagen og mindre risiko for skader på boliger og virksomheder. For samfundet kan det reducere behovet for store og dyre skybrudsanlæg og mindske de enorme økonomiske tab, som oversvømmelser ellers medfører. Teknologien rækker desuden langt ud over egne faggrænser. Permeable veje kan beskytte borgere og virksomheder mod oversvømmelser, reducere miljøbelastningen og samtidig skabe grønnere og mere attraktive byrum. Veje kan blive multifunktionelle: sikre transportveje i tørvejr, effektive regnvandsbassiner under skybrud og små grønne oaser midt i byen. Udbredelsen kræver dog samarbejde. Bedre standarder, klare vedligeholdelsesplaner og tæt dialog mellem myndigheder, forsyninger, rådgivere og entreprenører er afgørende for at omsætte idéen til virkelighed.

Næste skridt i forskningen bliver at optimere materialernes sammensætning, integrere frost-tø-modellen i fremtidens dimensioneringsmetoder og teste løsningerne i andre danske og internationale byer med lignende klimatiske udfordringer. Permeable befæstelser er et konkret eksempel på, hvordan forskning kan omsættes til praktiske løsninger, der ikke kun styrker infrastrukturen, men også skaber brede samfundsmæssige gevinster – for borgerne, for byerne og for klimaet.

Så næste gang du vandrer gennem en regnvåd gade i København, kan du forestille dig, at vandet ikke bare er et problem, men en mulighed. En mulighed for, at selv noget så almindeligt som en vej kan være med til aktivt at passe på byen.