



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Klimafilterbeton MUDP-projekt

MUDP Rapport

Juni 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Katja Udbye Christensen, Teknologisk Institut

Thomas Juul Andersen, Teknologisk Institut

Fotos:

Teknologisk Institut medmindre andet fremgår i figurteksten.

ISBN: 978-87-7564-011-9

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Introduktion	5
2.	Betonsammensætning	7
2.1	Permeable betonrecepter generelt	7
2.1.1	Sand og sten	8
2.1.2	Cementpasta	8
2.2	Receptudvikling	9
2.3	Anbefalinger	11
3.	Materialeegenskaber og dokumentation	12
3.1	Prøvning af permeabel beton generelt	12
3.2	Bearbejdelse	12
3.3	Hulrumsprocent	13
3.4	Permeabilitet	13
3.5	Trykstyrke	17
3.6	E-modul	19
3.7	Relation mellem trykstyrke, E-modul og permeabilitet	20
3.8	Holdbarhed og levetid	23
3.9	Andre egenskaber	23
3.10	Anbefalinger	24
4.	Design og opbygning	25
4.1	Design muligheder	25
4.2	Opbygning/dimensionering	27
4.3	Anbefalinger	28
5.	Udlægning	29
5.1	Metoder	29
5.2	Testfelter	29
5.2.1	Testfelt ved Aarsleff	29
5.2.2	Testfelter ved Unicon	30
5.2.3	Testfelt ved Teknologisk Institut	34
5.3	Anbefalinger	35
6.	Drift og vedligehold	36
6.1	Tilstopning	36
6.2	Vintervedligehold	37
6.3	Anbefalinger	37
7.	Litteraturliste	38

1. Introduktion

Med klimaforandringerne er der i Danmark opstået et behov for flere løsninger til håndtering af regnvand. Permeabel beton, også kendt som drænbeton, kan være en af de løsninger.

Som følge af klimaforandringerne, opleves der i Danmark en øget regnintensitet, og samtidig er mængden af impermeable overflader i byerne stigende. Det betyder, at der i tilfælde af kraftig regn og skybrud ledes store mængder af regnvand til kloakkerne, som ikke nødvendigvis har kapacitet til håndtering af de øgede vandmængder. Konsekvensen heraf er oversvømmelser og beskadigelse af bygværker.

Permeabel beton (også kendt som drænbeton) er en betontype, som kan anvendes til belægninger (f.eks. pladser, stier og veje) i byerne, og til lokal afledning af regnvand (LAR). Den permeable beton kan anvendes som en enkeltstående LAR-løsning eller i kombination med andre løsninger. Betonen tillader vand at dræne igennem overfladen og videre ned igennem befæstelsen vha. et system af forbundne hulrum i materialet. Den permeable beton har således to funktioner, herunder håndtering af regnvand og som en del af infrastrukturen i byerne. Der findes også belægningsprodukter med permeable fuger, som dog ikke er omfattede af nærværende projekt. I FIGUR 1 er der vist et eksempel på et prøveemne i permeabel beton, hvor der løber vand igennem.



FIGUR 1. Permeabelt betonprøveemne hvor der løber vand igennem.

Permeabel beton har tidligere ikke været anvendt i Danmark, men i lande som USA, England og Tyskland har man haft gode erfaringer med anvendelsen. Særligt i USA har permeabel beton været anvendt i lang tid, og der findes således eksempler på belægninger fra 1980'erne. Erfaringer fra udlandet kan dog ikke nødvendigvis overføres direkte til danske klimaforhold og materialer, og der er således behov for at skabe egne erfaringer i Danmark.

Denne rapport er et resultat af et 3-årigt forsknings- og udviklingsprojekt, Klimafilterbeton, støttet af MUDP under Miljøstyrelsen. Projektet er gennemført i perioden 2020-2022 og har været ledet af Teknologisk Institut. I projektet medvirkede desuden Tredje Natur, WSP Danmark, Unicon, Betonværket Brønderslev, Aarsleff og Fabriksbetonforeningen.

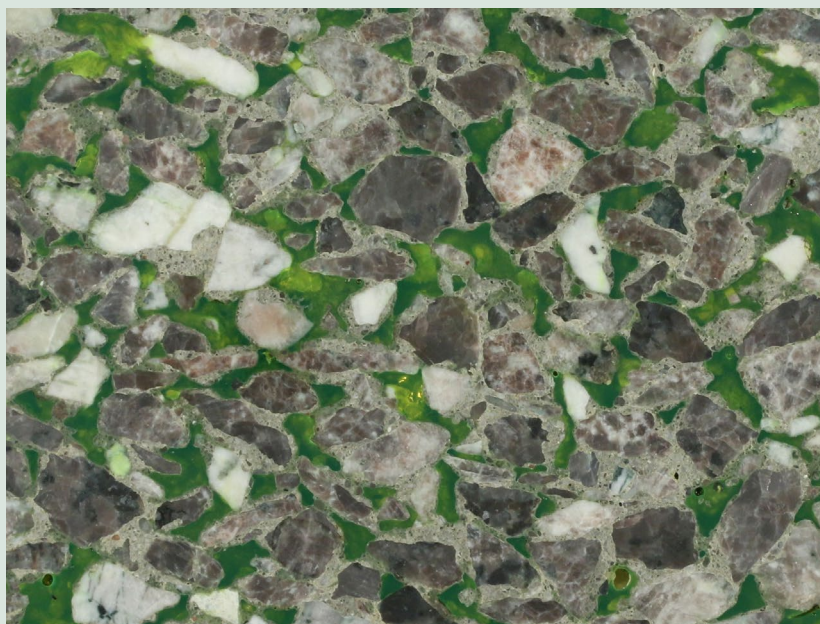
Formålet med projektet har været at generere den nødvendige viden og erfaringer til at udvikle og dokumentere et produkt baseret på permeabel beton, som kan anvendes til lokalhåndtering af regnvand i Danmark. Resultater og erfaringer beskrevet i nærværende rapport, kommer fra Klimafilterbeton-projektet. Der har i projektet primært været fokus på in-situ støbt permeabel beton med anvendelse som belægning. Det er også muligt at anvende præfabrikeret permeabel betonsten eller anvende den permeable beton som en del af befæstelsens opbygning under belægningssten. Dette er imidlertid ikke behandlet i rapporten, men mange af anbefalingerne vil også være relevante for denne type af anvendelse.

2. Betonsammensætning

Betonsammensætningen for en permeabel beton er vigtig for at opnå de ønskede egenskaber af den færdige belægning. Små ændringer i sammensætningen kan have stor betydning for både bearbejdelighed, funktionalitet og udtryk.

2.1 Permeable betonrecepter generelt

Permeabel beton består som udgangspunkt af de samme delmaterialer som traditionel beton, dvs. cement, vand, sand og sten. Det, som gør betonen permeabel, er mængden af de enkelte delmaterialer, dvs. blandingsforholdet, som skaber en indre struktur af sammenhængende hulrum/store luftporer, hvor vandet kan dræne igennem. Luft-fraktionen af den permeable beton består derfor af to typer luft, herunder luft som er iblandet/indesluttet i pastafasen (cement + vand) og de store luftporer, som gør betonen permeable. I FIGUR 2 ses et eksempel på en permeabel betonprøve, hvor hulrummet er fyldt op med en grøn epoxy, og derfor tydeligt fremgår.



FIGUR 2. Permeabelt betonprøveemne, hvor hulrummet er udfyldt med en grøn epoxy.

Den optimale betonrecept vil afhænge af de anvendte delmaterialer, de ønskede egenskaber og den valgte udlægningsmetode. Der findes forskellige bud på intervaller for den typiske/optimale betonsammensætning for permeabel beton. Der er dog lidt variation i, hvad der anses for at være typisk. Derudover kan samme betonrecept sagtens opnå forskellige hulrumsprocenter afhængig af, hvordan det støbes og kompakteres. Det betyder også at betonrecepterne kun vil være vejledende og afhænge af støbning/udlægning, da indhold af delmaterialer pr. m³ vil variere relativt afhængig af den opnåede hulrumsprocent.

Den permeable beton minder om jordfugtig beton i konsistens, og er dermed normalt formstabil umiddelbart efter støbning. Ifølge udvalgte kilder har permeabel beton et hulrum på mellem 10-35% og en densitet på mellem 1600 – 2100 kg/m³. Densitet afhænger særligt af, hvor stort et hulrum der er opnået i betonen, jo højere hulrum des mindre densitet.

2.1.1 Sand og sten

I permeabel beton vil man, modsat traditionel beton, gerne opnå en dårlig pakningsgrad af tilslaget (sand og sten). Dvs. at når tilslaget er pakket så tæt sammen som muligt, så er der fortsat en stor mængde luft mellem tilslagene, og dermed kan den permeable beton opnå en høj hulrumsprocent. Den dårlige pakningsgrad kan sikres ved kun at anvende en enkel stenfraktion samt lidt eller intet sand.

Trykstyrken for den permeable beton kommer særligt fra kontaktpunkterne mellem tilslagene. Ved at øge antallet af kontaktpunkter, kan trykstyrken også øges. Det kan gøres ved at tilsætte en smule sand eller anvende en mindre stenstørrelse. Begge dele er dog på bekostning af permeabiliteten, da både tilsætning af sand og reducere af stenstørrelse giver et større overfladeareal, som skal dækkes af cementpasta (dvs. at volumen af cementpasta skal øges).

Tilsætning af sand kan også være en fordel for konsistensen af cementpastaen/mørtlen, så det ikke bliver for tyndflydende samt kan have en potentiel positiv effekt på frostbestandigheden. Både sand og sten bør desuden være frostbestandige.

Udover at påvirke styrke og permeabilitet, påvirker stenstørrelsen også overfladestrukturen af den permeable betonbelægning. En stor stenstørrelse (f.eks. 16 mm) vil give en mere ru overflade sammenlignet med en mindre stenstørrelse (f.eks. 8 mm), og kan derfor også give en dårligere brugeroplevelse.

2.1.2 Cementpasta

Cementpastaen (cement og vand) er limen, som binder betonen sammen. Mængden af cementpasta skal være tilstrækkelig til, at sten og sand dækkes af et tynd lag cementpasta, men skal samtidig være så lavt, at hulrummene ikke udfyldes, og betonen derved bliver impermeabel. I FIGUR 3 ses en permeabel betonprøve med hvid cement, hvor cementpastaen derfor synligt fremgår.



FIGUR 3. Permeabelt betonprøveemne med hvid cement, som er skåret over.

Cementpastaen i permeabel beton har ofte et relativt lavt vand/cement-forhold. Det er med til at sikre en frostbestandig cementpasta og den rette konsistens. Cementpastaen må nemlig ikke være for tyndtflydende, da den i værste fald kan glide af tilslagene under støbning, og stoppe hulrummene i bunden af belægningen. I litteraturen er der angivet vand/cement-forhold på mellem 0,27-0,42. Dog skal det bemærkes, at forskellige lande ikke nødvendigvis regner vand/cement-forholdet ens, hvis der anvendes supplementary cementitious materials (SCM), som f.eks. flyveaske.

2.2 Receptudvikling

Der er i nærværende projekt indledningsvis arbejdet med receptudvikling med henblik på at finde en egnet recept til det videre arbejde. Der er taget udgangspunkt i delmaterialer anvendt hos de medvirkende betonproducenter, Unicon og Betonværket Brønderslev. Arbejdet med receptudvikling bygger på erfaringer fra andre projekter samt anbefalinger fra litteraturen.

Der er indledningsvis arbejdet med 17 forskellige betonrecepter indenfor følgende tolerancer:

- Stenindhold: 1450 – 1744 kg/m³ beton
- Sandindhold: 171 – 250 kg/m³ beton
- Cementindhold: 200 – 280 kg/m³ beton
- Luftindblanding: 0-1,0 kg/m³ beton
- Vand/cement-forhold: 0,375 – 0,410

Recepterne er evalueret ud fra de friske egenskaber, herunder:

- **Fugtighed/konsistens af mørtel:** Ser mørtlen tør eller meget våd ud? Ser mørtlen tør ud, vil den færdige beton ofte se porøst ud og kan potentielt få udfordringer med udtørring. Ser den modsat for våd ud, kan det være at mørtlen er for tyndtflydende, hvilket kan resultere i, at mørtlen løber ned igennem betonen ved støbning og tilstopper hulrummene i bunden af den permeable belægning.

- **Mængde af mørtel:** Er der mange synlige sten, er de godt dækket af mørtel, eller er der måske for meget mørtel? Hvis der er for lidt mørtel, vil det påvirke sammenhængskraften mellem stenene, og kan potentielt føre til tab af sten. Er der modsat for meget mørtel, kan det resultere i for lav permeabilitet.
- **Formstabilitet:** Er det muligt at forme en kugle, som er formstabil – dvs. at den kan holde sin egen form? Det kan være en indikator for, at den permeable beton har den rette konsistens. I FIGUR 4 ses et eksempel på en kugle formet med permeabel beton. Det kan være en fordel at forme en stor kugle, da det så bliver lettere at vurdere betonen.
- **Behov for kompaktering:** Er betonen svær eller let at kompaktere? Permeabel beton minder på mange måder om jordfugtig beton, og derfor kan de traditionelle metoder som sætmål, flydemål, viskositet mv. til vurdering af bearbejdelighed ikke anvendes. Når den permeable beton skal udlægges, er det ikke muligt at kompaktere betonen lige så meget, som det kan være i laboratoriet og derfor kan det være relevant at have udførselsmetoden i tanke, så betonens bearbejdeligheden ikke bliver for lav. Hvordan behovet for kompaktering af betonen vurderes, vil afhænge af støbningsmetoden.



FIGUR 4. Eksempel på kugle formet af frisk permeabel beton.

Klimaaftrykket (herunder CO₂-udledning og ressourceforbrug) kan reduceres ved at anvende så lavt et cementindhold som muligt. Derudover kan der arbejdes med forskellige bindere, som delvist eller hel erstatning for den traditionelle cement. I projektet er der bl.a. arbejdet med flyveaske, FUTURECEM og fillere. Det er principielt også muligt at anvende genanvendte tilslag i stedet for naturlige tilslag, så længe de har den rette holdbarhed.

2.3 **Anbefalinger**

For at opnå en god betonblanding, som er egnet til anvendelse i Danmark, anbefales det at:

- den største anvendte stenstørrelse ikke overstiger 8 mm, når betonen anvendes som overfladebelægning. En stor stenstørrelse giver typisk en mere ru overflade og kan have negativ betydning for brugeroplevelse. Dog kan der alternativt anvendes større sten, hvis den permeable beton udlægges i to lag, hvor det nederste lag sagtens kan have en større stenstørrelse end 8 mm. Udlægges betonen i to lag på denne måde, kan det potentielt gøre belægningen mere robust overfor tilstopning.
- de anvendte tilslag er egnet til ekstra aggressiv miljøpåvirkning, så der sikres, at der ikke opstår frostsprængninger i tilslaget.
- der anvendes et vand/cement-forhold på mellem 0,39-0,42 (kan dog variere fra recept til recept) for at gøre betonen mere robust overfor udtørring under udførselsfasen.
- gennemgå overvejelserne angivet i afsnit 2.2 ifm. receptudvikling, så den permeable beton opnår en god konsistens og god sammenhængsevne efter udlægning.
- overvej om det er muligt at anvende delmaterialer med lavere CO₂-aftryk eller anvende restprodukter/genanvendte produkter i betonrecepten. Det er vigtigt at tage højde for, om delmaterialerne er egnet til den pågældende anvendelse.

3. Materialeegenskaber og dokumentation

Det er vigtigt at kunne dokumentere egenskaberne for en permeabel beton, så det sikres, at recept, udlægningsmetode, drift og vedligehold er acceptabelt.

3.1 Prøvning af permeabel beton generelt

Der findes i Danmark ingen standardiserede prøvningsmetoder, som er målrettet test og dokumentation af permeabel beton. Der findes dog enkelte amerikanske (ASTM), tyske (DIN) og internationale standarder (ISO), som beskriver en række forskellige prøvningsmetoder. Nogle eksisterende prøvningsmetoder for traditionel beton kan også anvendes til permeabel beton.

Der kan være forskellige formål med at teste egenskaberne for den permeable beton, f.eks.:

- til udvikling af nye betonrecepter
- procesdokumentation hos betonproducenter for at verificere at forholdet mellem delmaterialer i betonblandingen er korrekt ift. den anvendte betonrecept
- dokumentation for opnåede egenskaber ifm. udlægningen af den permeable beton (initialdokumentation)
- undersøgelse af eksisterende betonbelægnings tilstand

Det kan derfor også være nødvendigt at udføre prøver på emner støbt i laboratoriet, borekerner udtaget fra eksisterende belægninger og direkte på belægningen.

Ligesom der ikke findes danske standarder for test og dokumentation, så findes der heller ingen generelle krav til egenskaberne af permeable beton. De nødvendige egenskaber vil således variere fra case til case.

Relevante egenskaber kan f.eks. omfatte:

- Bearbejdelighed
- Hulrumsprocent
- Permeabilitet
- Trykstyrke
- E-modul
- Holdbarhed og levetid

3.2 Bearbejdelighed

Betonens bearbejdeligheden har en betydning for, hvordan betonen er at arbejde med under udlægning. Permeabel beton minder om jordfugtig beton i konsistens. Betonen skal være formstabil efter støbning, dvs. at den kan holde sin egen form. Det betyder også, at der ikke er muligt at teste bearbejdeligheden med traditionelle prøvningsmetoder, som f.eks. sætmål. I stedet kan den f.eks. testes ved at tage en stor håndfuld af den friske beton og forme den til en kugle som vist i FIGUR 4. Kuglen skal kunne holde sin egen form uden at den fremstår helt tæt. Bearbejdeligheden kan også vurderes ud fra, hvor meget arbejdet det kræver at støbe et prøveemne hvis samme støbemetode anvendes hver gang. Den specifikke støbeparameter,

som bearbejdigheden kan vurderes ud fra, vil afhænge af støbemetoden og kan f.eks. være hvor mange gange betonen skal stemples, hvor stor last den skal kompakteres med, vibrat-ionstid mv.

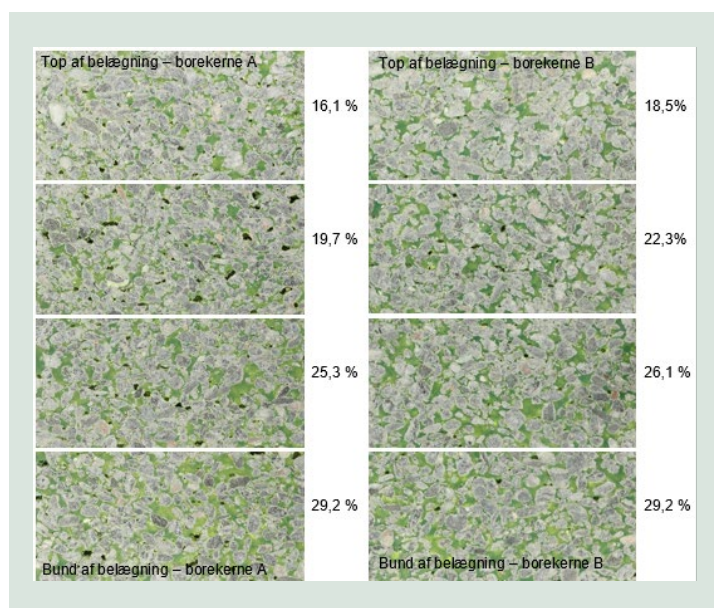
3.3 Hulrumsprocent

Hulrumsprocenten af den permeable beton påvirker mange af de andre egenskaber, som f.eks. permeabilitet og trykstyrke. Samme betonrecept kan opnå forskellige hulrumsprocenter afhængig af, hvor hårdt den kompakteres under støbning/udlægning. Hulrumsprocenterne lig-ger typisk i intervallet 10-35%

Hulrumsprocenten kan fastlægges på en række forskellige måder, herunder f.eks.:

- Beregning ud fra dimensioner, vægt og betonrecept for prøveemnet
- Beregning ud fra Archimedes princip, hvor prøven vejes over og under vand. Dog vil prøv-ningsmetoden ikke registrere de hulrum, som ikke er forbundne i det samlede hulrumssy-stem
- Billedanalyse foretaget på overskårede prøveemner, hvor hulrummet er udfyldt med et an-det medie med en kontrastfuld farve

I FIGUR 5 er der vist et eksempel på to borekerner udtaget fra en støbt belægning, hvor billed-analyse er anvendt til at vurdere hulrumsprocenten ned igennem belægningen som følge af den anvendte udlægningsmetode. Begge kerner er 300 mm høje, og hulrummene er udstøbt med en fluorescerende epoxy, som skaber en kontrast mellem beton og hulrum, som kan de-tekteres/kvantificeres ved brug af billedanalyse.



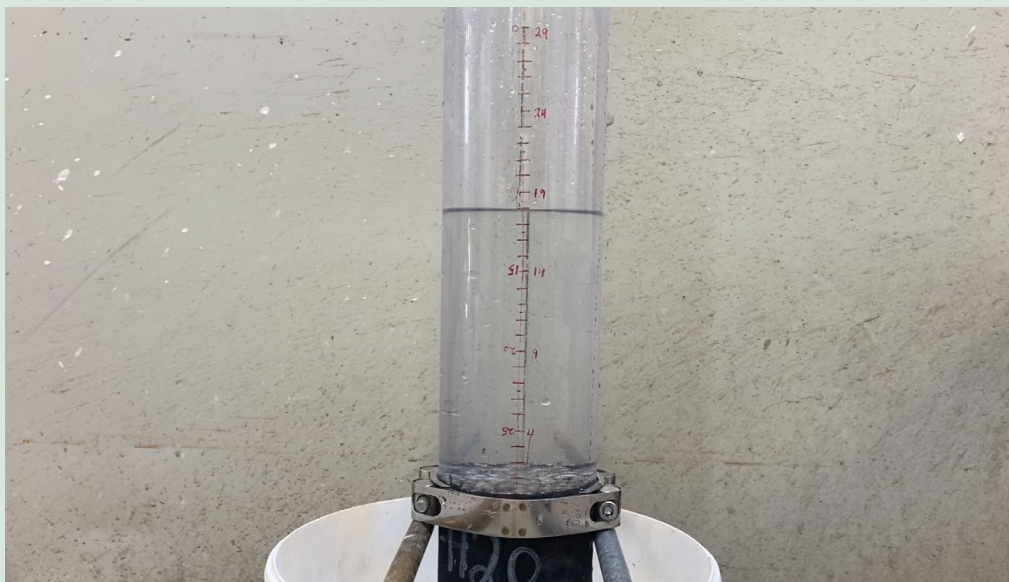
FIGUR 5. Borekerner (A og B) udtaget fra testfeltet ved Aarsleff Odense indstøbt i epoxy og anvendt til bestemmelse af hulrummet. De angivne procenter er hulrummet i betonen.

3.4 Permeabilitet

Permeabiliteten er en af de vigtigste egenskaber for den permeable beton, da det netop er be-tonens hovedformål at dræne vand. Permeabiliteten er et udtryk for, hvor hurtigt regnvandet kan trænge igennem den permeable beton og afhænger bl.a. af hulrumsprocenten. Typisk ligger permeabiliteten omkring 5 – 20 mm/s. Til sammenligning svarer et skydbud til 15 mm regn på 30 minutter, dvs. 0,0083 mm/s, så den permeable beton har en stor overkapacitet, hvis betonen kun skal håndtere det vand, som lander direkte på belægningen.

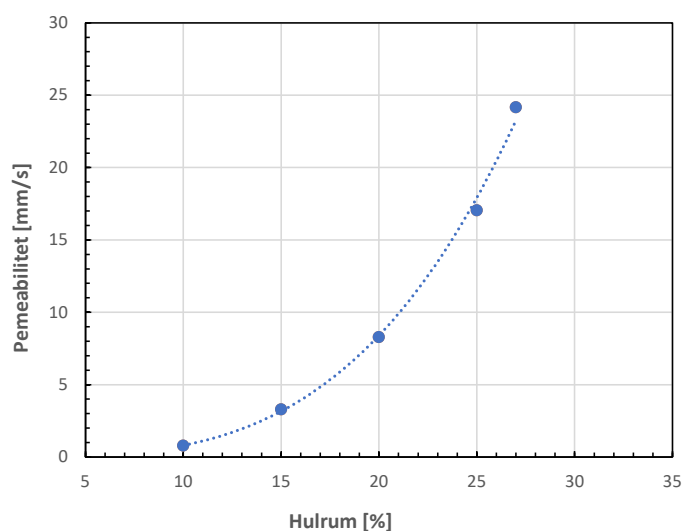
Permeabiliteten kan både måles på prøveemner eller direkte på belægningen. Der findes forskellige prøvningsmetoder til begge formål. De målte permeabiliteter vil afhænge af den anvendte prøvningsmetode og efterfølgende databehandling, f.eks. om der tages højde for vandtryk i beregningerne.

I FIGUR 6 er der vist et eksempel på en testmetode til kerner, hvor tiden, det tager vandet at dræne igennem prøven, registreres og omregnes til permeabilitet. Kernerne tættes inden prøvningen langs siderne, så vandet kun kan dræne igennem top og bund af prøveemnet.



FIGUR 6. Eksempel på forsøgsopstilling til test af permeabilitet på kerner/prøveemner.

I FIGUR 7 er der vist et eksempel på permeabilitetsmålinger målt med forsøgsopstillingen vist i FIGUR 6. Permeabiliteten er afbilledet som funktion af hulrummet, og der ses en øget stigning i permeabiliteten ved de større hulrum end ved de mindre. Det kan skyldes, at der ved lave hulrumsprocenter vil være en stigning i mængden af hulrum, som ikke er forbundne, og derved ikke kan bidrage til permeabiliteten.



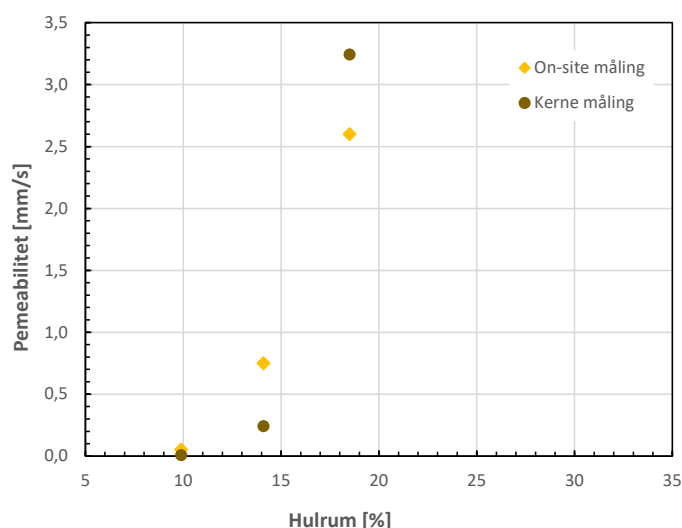
FIGUR 7. Eksempel på permeabilitet som funktion af hulrummet målt med forsøgsopstillingen vist i FIGUR 6. Målingerne er foretaget på prøveemner støbt med samme betonrecept som anvendt til prøvningerne vist i FIGUR 11 og FIGUR 13.

I FIGUR 8 er der vist et eksempel på en prøvningsmetode, som kan anvendes til on-site måling af permeabiliteten. Begge ringe fyldes med vand og det måles, hvor længe vandet i den inderste ring er om at dræne igennem betonen. Den yderste ring skal sikre, at den målte permeabilitet primært måles på arealet indenfor den inderste ring, da vandet fra den inderste ring ellers vil fordele sig på tværs ned igennem belægningen. Ringene tætnes i bunden med ler, så vandet ikke bevæger sig mellem ringene.



FIGUR 8. Eksempel på forsøgsopstilling til on-site test af permeabilitet.

I FIGUR 9 er der vist et eksempel på on-site permeabilitetsmålinger foretaget på testfeltet hos Teknologisk Institut (se evt. FIGUR 16) med forsøgsopstillingen vist i FIGUR 8 og målinger på kerner med forsøgsopstillingen vist i FIGUR 6. Kernerne er udtaget efter on-site målingen indenfor den inderste ring i on-site forsøgsopstillingen. Der ses en god korrelation mellem de to målinger. De målte forskelle kan skyldes mindre forskellige i prøvningsmetoden, samt at on-site målingen er foretaget på et større areal end målingerne på kernerne.



FIGUR 9. Eksempel på permeabilitet som funktion af hulrummet målt med forsøgsopstillingen vist i FIGUR 6 og FIGUR 8. Målingerne er foretaget på testfeltet hos Teknologisk Institut, jf. FIGUR 16.

3.5 Trykstyrke

Trykstyrken er en vigtig parameter for beton, og for den permeable beton ligger den typisk på mellem 5-35 MPa. Til bestemmelse af trykstyrke, kan prøvningsmetoden for traditionel beton anvendes (EN 12390-7). Det er vigtigt at sikre, at der er god kontakt mellem trykpressens flader og top/bund af prøveemnet. Hvis prøverne er skæve eller bare har en dårlig kontaktflade, kan de skæres til og slibes plane. Resultatet fra trykprøvningen kan dog ikke nødvendigvis sammenlignes direkte med den opnåede styrke, når betonen udlægges i et større lag som belægning, hvor stenen låses mod hinanden. I FIGUR 10 ses et eksempel på et permeabelt betonprøveemne, som er testet til brud.

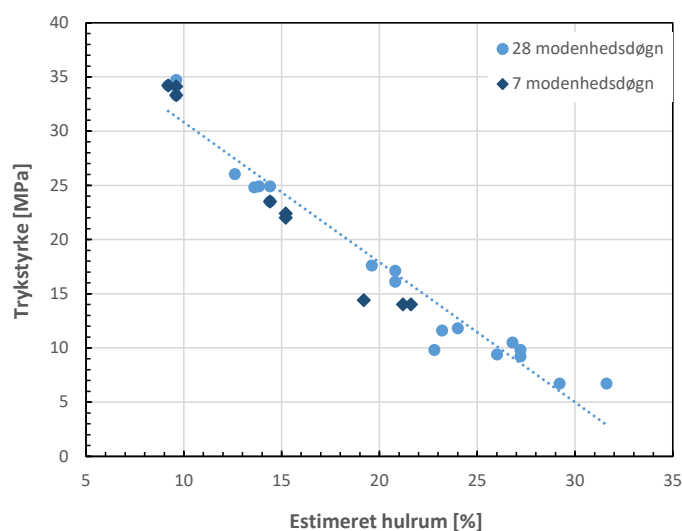


FIGUR 10. Eksempel på trykprøvning af permeabel betonprøve.

I FIGUR 11 er der vist nogle eksempler på målte trykstyrker som funktion af hulrummet fortaget efter henholdsvis 7 og 28 modenhedsdøgn på prøveemner støbt med samme betonrecept som anvendt til målingerne vist i FIGUR 7 og FIGUR 13.

Det ses tydeligt, at trykstyrken afhænger af hulrumsprocenten, og der ses en tendens der minder om en lineær relation. Den store forskel i trykstyrke afhængig af hulrumsprocenten kan skyldes, at en reduktion i hulrum giver flere kontaktpunkter mellem tilslagene i betonen, og dermed mere masse til at optage trykket.

Der ses umiddelbart ikke nogen forskel mellem trykstyrken målt efter henholdsvis 7 og 28 modenhedsdøgn, og litteraturen nævner også, at styrkeudviklingen mellem 7 og 28 modenhedsdøgn er relativt beskedent.



FIGUR 11. Eksempel på trykstyrke som funktion af hulrum målt ved 7 og 28 modenhedsdøgn. Målingerne er foretaget på prøveemner støbt af samme betonrecept som anvendt til prøvningerne vist i FIGUR 7 og FIGUR 13.

3.6 E-modul

E-modulet (eller elasticitetsmodulet) anvendes til beregning af en belægnings levetid under specifikke forhold som f.eks. belægningens tykkelse og trafikbelastning. Derfor kan det være en relevant egenskab at kende. E-modulet afhænger af nogle af de samme ting som trykstyrken, og der er set eksempler på E-modul mellem 5-35 GPa.

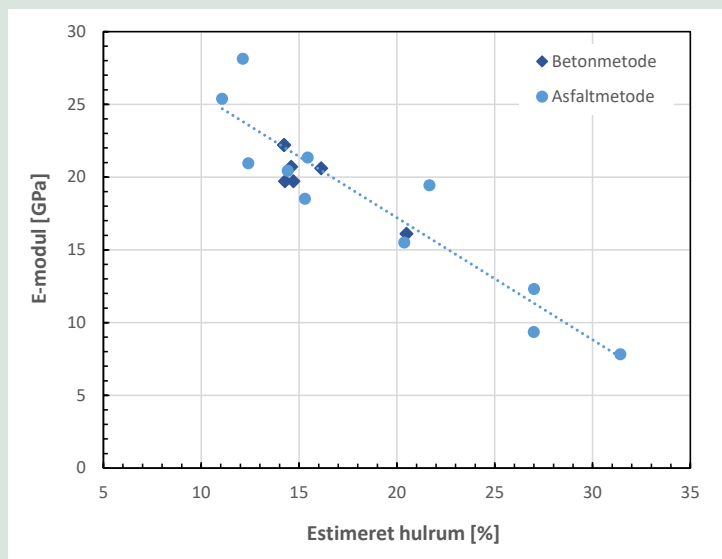
For traditionel beton til konstruktioner, anvendes E-modulet bl.a. til bestemmelse af deformation. E-modulet for beton kan testes efter DS 423.25, men ofte bestemmes den ved beregning, hvor betonens trykstyrke bruges som input. Denne sammenhæng kan dog ikke forventes at kunne bruges for permeabel beton. For asfalt, som er det mest anvendte materiale til veje mv. i Danmark, anvendes prøvningsmetoden EN 12697-26C, som måler en tværudvidelse der efterfølgende omregnes til E-modulet.

I FIGUR 12 er prøvningsmetoden for asfalt vist. Fordelen ved denne prøvningsmetode fremfor prøvningsmetoden normalt anvendt til beton er, at det er lettere at montere det permeable prøveemne i forsøgsopstillingen sammenlignet med forsøgsopstillingen til beton. Derudover er prøvningen langt hurtigere at udføre. Dog er det nødvendigt at ændre i prøvningsindstillingerne for at tage højde for, at beton ikke er lige så elastisk som asfalt.



FIGUR 12. Forsøgsopstilling anvendt til test af E-modul efter asfaltmetoden.

I FIGUR 13 ses de målte E-moduler med de to forskellige prøvningsmetoder som funktion af hulrummet. Resultaterne er enkelresultater og indikerer en lineær sammenhæng mellem hulrum og E-modul, hvor et øget hulrum resulterer i en reduktion i E-modul og omvendt. Resultaterne fra de to prøvningsmetoder ser desuden ud til at være i samme størrelsesorden, hvorfor der kan være en fordel i at anvende asfaltmetoden.

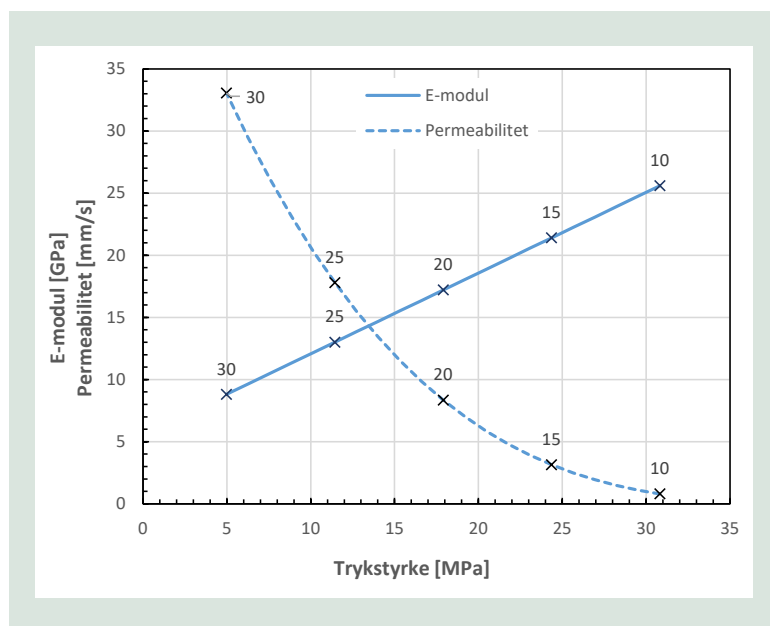


FIGUR 13. Eksempel på E-modul som funktion af hulrum målt med to forskellige prøvningsmetoder, hhv. betonmetoden (DS 423.25) og asfaltmetoden (EN 12697-26C). Målingerne er foretaget på prøveemner støbt af samme betonrecept som anvendt til prøvningerne vist i FIGUR 7 og FIGUR 11.

3.7 Relation mellem trykstyrke, E-modul og permeabilitet

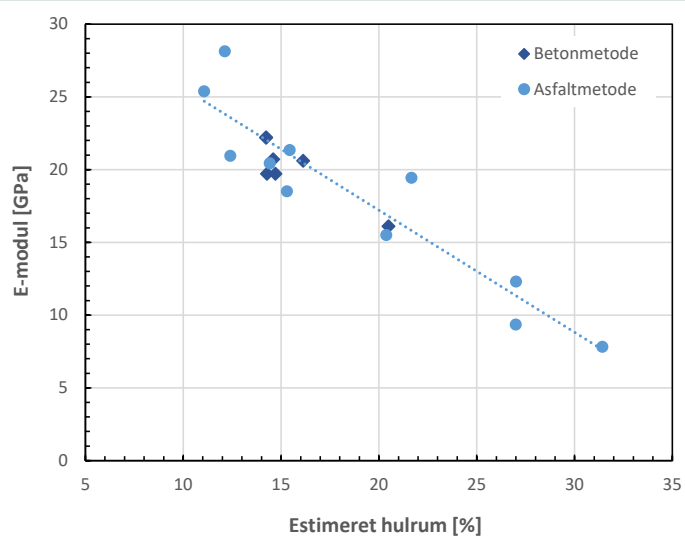
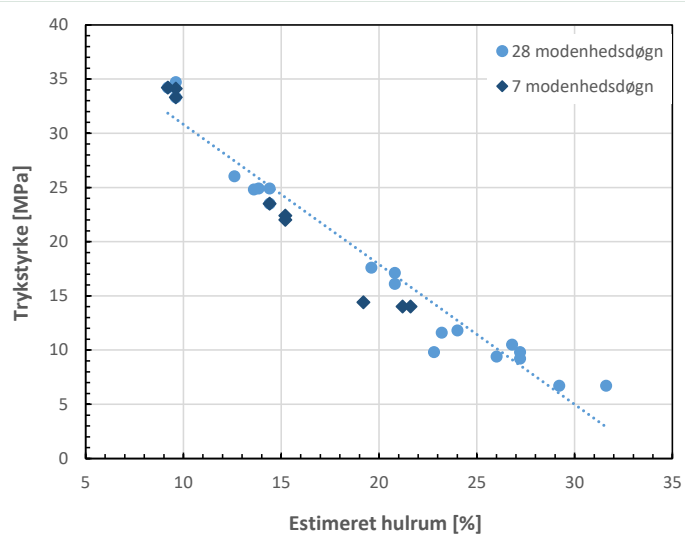
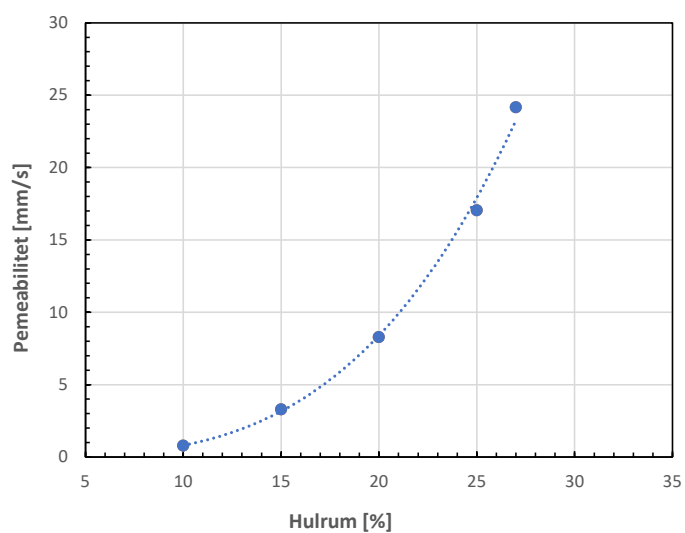
Hvor både E-modul og trykstyrke stiger når hulrummet falder, så falder permeabiliteten modsat. Det betyder også, at det altid er en opvejning, om man ønsker høj permeabilitet og lavere mekaniske egenskaber. I FIGUR 14 er der vist et eksempel på relationen mellem trykstyrke og

E-modul samt trykstyrke og permeabilitet baseret på målingerne fra FIGUR 7, FIGUR 10, FIGUR 11 og FIGUR 13.



FIGUR 14. Eksempel på E-modul og permeabilitet (stiplet) som funktion af trykstyrke baseret på målingerne fra FIGUR 7, FIGUR 10, FIGUR 11 og FIGUR 13. Tallene langs grafen viser hulrumprocenterne ved de pågældende værdier.

Kendes kurverne for både E-modul, permeabilitet og trykstyrke for en recept, kan det anvendes når betonbelægningen designes, og når der laves dokumentation af det færdige resultat. Et eksempel er vist i FIGUR 15, hvor der enten ønskes eller er målt en permeabilitet på 15 mm/s. Det giver et hulrum på lidt under 24 %. Et hulrum på lidt under 24 % giver en trykstyrke på cirka 13 MPa og et E-modul på cirka 14 GPa.



FIGUR 15. Eksempel på relationen mellem permeabilitet, trykstyrke og E-modul for samme betonrecept.

3.8 Holdbarhed og levetid

Der findes begrænsede erfaringer med holdbarheden og levetiden af permeabel beton i Danmark. Levetiden kan enten anses for ophørt, når der er sket en vis reduktion i permeabilitet eller når der er sket en vis grad af nedbrydning af belægningen. Levetiden er således en relativ størrelse der afhænger af de acceptkriterier, som man har for belægningen. I USA har man gode erfaringer med holdbarheden, men da man heller ikke nødvendigvis altid har de samme acceptkriterier, delmaterialer og eksponeringsforhold, kan det være svært at sammenligne erfaringer.

Holdbarheden/levetiden vil desuden afhænge af følgende parametre:

- Anvendt betonrecept
- Udførelse
- Brug/påvirkning fra tilstødende områder
- Udført drift og vedligehold

Nedbrydning af belægningen kan f.eks. skyldes slid fra dæk/brug, påvirkning af frost/tø og udtørring under udlægningen.

Slid fra dæk kan dokumenteres ved traditionelle metoder anvendt til asfalt, og skader fra udtørring under udlægningen kan undgås ved at sikre en tilstrækkelig udtørningsbeskyttelse, og behøver derfor ikke dokumenteres. Skader som følge af frost/tø-påvirkninger kan reduceres, og muligvis helt undgås, ved at sikre:

- At belægningen aldrig er vandfyldt under frost. Det sikres ved at anvende et bærelag med en høj permeabilitet og samtidig sikre, at permeabiliteten af belægningen opretholdes
- At der anvendes frostbestandige delmaterialer
- At cementpastaen er frostbestandig (dvs. lavt vand/cement-forhold og luftindblandet). Laboratorieforsøg med test af frostbestandigheden har vist, at dette har målbar forskel i frostbestandigheden. Det kan dog være udfordrende at få iblandet luft i cementpastaen for permeabel beton hos betonproducenterne og det er desuden uvist, hvordan erfaringer for laboratorieforsøgene relaterer sig til virkelige forhold, da der mangler langtidserfaringer under danske forhold med danske materialer

Der findes en tysk standard (DIN 18507) for test af permeabel betons frostbestandighed. Laboratorieforsøg udført ifm. nærværende projekt samt et sideløbende studieprojekt [10], har dog vist, at der kan opnås meget forskellige resultater med den specifikke prøvningsmetode, og det anbefales derfor, at metoden revideres, før den tages i brug. Det inkluderer også evalueringskriteriet for prøvningen. Luftindholdet i den hærdede permeable beton kan bestemmes ved brug af de samme metoder som for ikke permeabel beton (f.eks. EN 480-11), ved at udfylde hulrummene i betonen som en del af prøvepræpareringen.

3.9 Andre egenskaber

Andre relevante egenskaber for permeabel beton inkluderer den permeable betons evne til at reducere støj fra dæk samt potentiel rensning af regnvandet som dræner igennem betonen. Kilder har vist at permeabel beton, ligesom permeabel asfalt, kan have en støjreducerende effekt grundet den åbne porestruktur i betonen. Derudover viser forskning, at den permeable beton kan forbedre vandkvaliteten af det vand, som dræner igennem betonen ved at nedbryde, binde og tilbageholde miljøfremmede stoffer i vandet. Det skyldes efter sigende betonens høje pH-værdi, store indre overfladeareal, porøse mikrostruktur og permeable makrostruktur.

3.10 anbefalinger

De opnåede egenskaber af den permeabel beton er vigtigt ift. belægningens brug, og hvorvidt den lever op til de konkrete behov. Der mangler stadig at blive defineret et nødvendigt prøvningsomfang for permeabel beton, specifikation af krav samt definering/justering af enkelte prøvningsmetoder.

For at sikre, at den permeable beton har de ønskede egenskaber, anbefales det at:

- det overvejes hvilket behov man har til belægningen ift. f.eks. opmagasinering af vand (dvs. hulrumsprocenten), mekaniske egenskaber, permeabilitet mv. således at det sikres, at den udviklede og testede betonrecept, lever op til kravene.
- betonblandingsens egenskaber dokumenteres ved flere forskellige hulrum (evt. bare udvalgte egenskaber), da de opnåede egenskaber er stærkt afhængig af hulrumsprocenten i betonen og dermed også udlægningen. Dvs. at en betonproducent f.eks. ikke kan garantere at den permeable beton opnår en vis styrke, da det også afhænger af entreprenørens arbejde.
- egenskaberne hvor muligt dokumenteres med prøvningsmetoder, som allerede er veldefinerede, f.eks. EN 12390-7 til bestemmelse af trykstyrke og enten DS 423.25 eller EN 12697-26 C (med modificering af prøvningsindstillinger) til bestemmelse af E-modul.
- den færdige belægnings egenskaber dokumenteres, så man ved hvordan belægningens funktion var umiddelbart efter udlægning.
- der følges løbende op på udviklingen i den færdige belægnings egenskaber, så der kan laves en egnet plan for drift og vedligehold, som kan justeres efter behov.

4. Design og opbygning

Inden den permeable betonbelægning udlægges er det en fordel, hvis der er lavet et godt forarbejde ift. at designe og planlægge opbygning, vandhånderingsstrategien og sammenspillet med de tilstødende områder.

4.1 Design muligheder

Den permeable beton kan anvendes på traditionel vis til veje og parkering, hvor betonen primært opfylder praktiske krav til anvendelse og funktion. Men der er også mulighed for i stedet at anvende den permeable beton i samspil med bymiljøerne, hvor belægningen indtænkes i et samlet design. I FIGUR 16 er der vist et eksempel på en sti, hvor betonens formbarhed er anvendt til at skabe en buet sti som spiller sammen med beplantningen i området.



FIGUR 16. Sti i permeabel beton udlagt hos Teknologisk Institut indtænkt i en et område med særlig fokus på forbedret biodiversitet.

Permeable betonbelægninger giver mulighed for at eksperimentere med overfladen i forhold til form, farve, tekstur mv. I FIGUR 17 er der vist et eksempel på en blå permeabel beton, som er sammenstøbt med impermeabel beton. Betonen kan opnå forskellige farver ved tilsætning af farvepigmenter, anvendelse af forskellige cementtyper og tilsætninger. Begge greb kan f.eks. bruges til at afgrænse områder.



FIGUR 17. Eksempel på brug af farvet permeabel beton i kombination med ikke permeabel beton.

I FIGUR 18 er der arbejdet med overfladen, og her er intentionen at give et eksempel på et alternativ til de til tider grove overflader på permeable belægninger. Her er skabt en glattere overflade ved at støbe en traditionel beton ovenpå en permeabel belægning. Den glattere overflade er efterfølgende perforeret med en pigrulle, så der skabes drænhuller ned til den permeable belægning, og der samtidig fremkommer et overflademønster. Denne type permeable belægning kan være velegnet, hvis der er krav til både permeabilitet og glat overflade – f.eks. i forbindelse med kørsel med kundevogne i handelsområder. Bemærk, at konceptet kun er testet i mindre laboratorieskala.



FIGUR 18. Eksempel på en traditionel beton støbt ovenpå en permeabel beton. Den traditionelle beton er perforeret for at skabe dræneffekt.

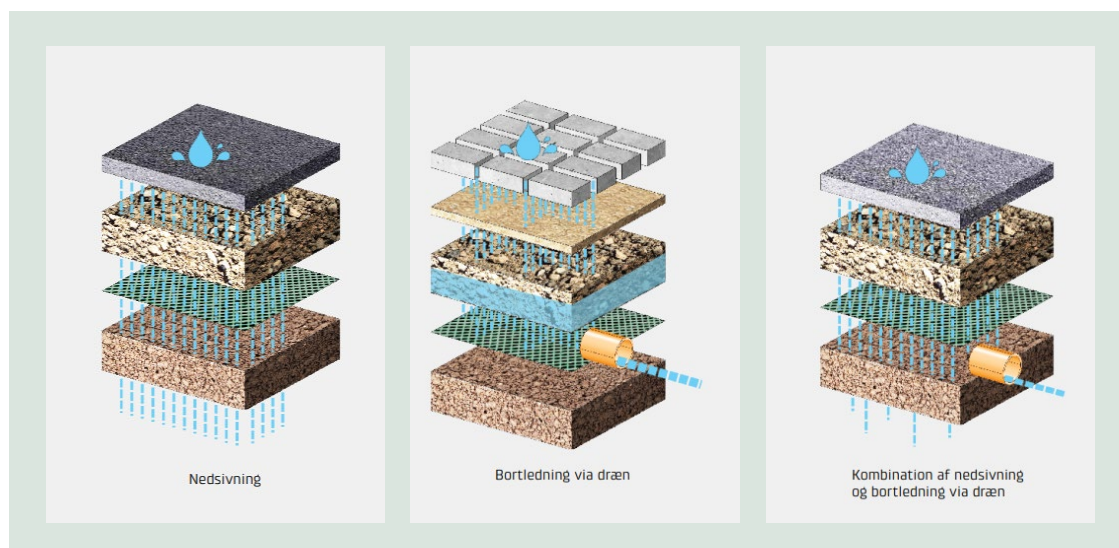
4.2 Opbygning/dimensionering

En permeabel belægning bør dimensioneres efter både hydrauliske og strukturelle krav. Dvs. at der både skal tages stilling til hvor meget vand belægningen skal kunne håndtere og hvor meget trafiklast/hvor lang strukturel levetid, som belægningen skal have.

Den hydrauliske dimensionering vil afhænge af opbygningen af den samlede befæstelse, hvor stort et areal som befæstelsen modtager vand fra, og hvilken regnhændelse der skal dimensioneres efter.

Der findes forskellige strategier til håndtering af regnvandet efter det er løbet gennem belægningen, herunder nedsivning, bortledning med dræn eller en kombination af de to. Hvorvidt nedsivning er muligt, vil bl.a. afhænge af jordbundsforholdene samt risiko for forurening af eventuelle grundvandsressourcer.

I FIGUR 19 er der vist nogle eksempler på opbygning af permeable befæstelser afhængig af vandhåndteringsstrategi. Befæstelserne består samlet set af en permeabel belægning øverst efterfulgt af et permeabelt ubundet bærelag. Under bærelaget kan der være behov for en geotekstil til at adskille bærelaget fra den underliggende jord eller en vandtæt membran i tilfælde af bortledning via dræn. Ved bortledning via dræn kan vandet ledes til kloak, og så fungerer befæstelse som forsinkelse til en recipient eller til en faskine til senere anvendelse til rekreative formål.



FIGUR 19. Eksempler på forskellige vandhåndteringsstrategier i permeable befæstelser [2].

Der kan være krav i lovgivningen, som er nødvendige at være opmærksomme på, f.eks. i miljøbeskyttelsesloven, spildevandsbekendtgørelsen og vejlovgivningen.

De strukturelle egenskaber afhænger af en række parametre, herunder:

- befæstelsesopbygning, herunder egenskaber og tykkelse af hver lag
- jordunderbunden
- trafikpåvirkningen
- den ønskede levetid

Normalt anvendes programmet "MHOPP" til dimensionering af befæstelser. Her er det materialernes E-modul som anvendes. Der findes ikke et E-modul i programmet for permeabel beton, så her er man selv nødt til at indsætte det forventede E-modul. I litteraturen er der beskrevet permeable betonbelægninger med en tykkelse på mellem 100-250 mm.

4.3 anbefalinger

Opbygning, design og dimensionering er vigtigt for både belægningens funktionelle egenskaber, men også for hvordan den indgår i byrummet.

For at sikre, at den valgte opbygning og design giver et godt resultat, anbefales det at:

- undersøge hvilket behov der præcist er til belægningen/det samlede område ift. trafik, vandhåndtering og bymiljø, så man har det rigtige udgangspunkt inden man går i gang.
- overveje om den permeable belægning skal fungere i samspil med andre LAR-løsninger og om noget af regnvandet skal/kan anvendes til rekreative formål.
- lave de nødvendige forundersøgelser inden der vælges en vandhåndteringsstrategi, så det sikres, at den valgte vandhåndteringsstrategi (f.eks. nedsivning) faktisk er muligt i det pågældende område. Læs mere i [2] om det.
- undersøge hvilke krav der evt. er i lovgivningen ift. f.eks. vandhåndtering hvor der kan være forskellige krav afhængig af bl.a. grundvandsforhold. Læs mere i [2] om det.
- indhente eventuelle nødvendige tilladelser til vandhåndtering. Læs mere i [2] om det.
- vælge en tilstrækkelig tykkelse til belægningen. Det vurderes at der ved lave belastninger kan anvendes en tykkelse på mellem 100-200 mm og ved høje belastninger mellem 150-250 mm. Det vil dog i alle tilfælde også afhænge af den underliggende opbygning samt jordbundsforholdene.

5. Udlægning

Udlægningen af permeabel beton har stor betydning for belægningsens egenskaber såsom styrke og permeabilitet. Derfor er det vigtigt, at der anvendes en egnet udlægningsmetode.

5.1 Metoder

Udlægningsmetoden har stor betydning for den færdige belægnings egenskaber, da egenskaber som permeabilitet, trykstyrke og E-modul i høj grad afhænger af det opnåede hulrum efter udlægning, f.eks. er der målt trykstyrker på mellem 6-35 MPa (jf. FIGUR 11) for samme beton-recept. Det betyder dermed også, at det er mere udfordrende for betonproducenten at deklarere specifikke egenskaber, medmindre de deklarerede egenskaber er afhængige af det opnåede hulrum, f.eks. en trykstyrke på minimum 15 MPa for såfremt den opnåede hulrumsprocent ikke overstiger 20 %.

Der findes flere forskellige metoder til udlægning af permeabel beton, herunder f.eks.:

- Bjælkevibrator
- Rullekompaktor
- Pladevibrator
- Tromle
- Asfaltudlægger

I nærværende projekt er alle af ovenstående metoder afprøvet på nær rullekompaktoren. Rullekompaktoren anvendes typisk til udlægning af permeabel beton i USA og minder meget om bjælkevibratoren. Der er foretaget forsøg med forskellige udlægningsmetoder på arealer hos Aarsleff, Unicon og Teknologisk Institut. Bemærk at permeabel beton også kan anvendes til belægningssten og fliser.

5.2 Testfelter

5.2.1 Testfelt ved Aarsleff

Der er hos Aarsleff udført et testfelt med permeabel beton udlagt ved brug af en bjælkevibrator. Testfeltet målte 8 x 3 meter med en tykkelse på 150 mm i den ene halvdel og 300 mm i den anden. I FIGUR 20 er der vist et billede fra udlægningen. Den permeable beton fyldes i formen løbende foran bjælkevibratoren med transportbånd fra bilen, da det ikke er muligt at pumpe permeabel beton. Betonen fordeles herefter manuelt. Den pågældende bjælkevibrator trækkes manuelt langs to styreskiner og der er derfor tale om relativt hårdt fysisk arbejde, hvilken kan være uhensigtsmæssigt. Styreskinerne er permanente og er synlige efter støbningen. Toppen af skinnen kan fjernes, så de fremstår lidt mindre synlige.

Udlægningsmetoden giver overordnet en jævn overflade, som dog nogen steder fremkommer lidt ru. Der er til støbningen anvendt samme recept som dokumenteret i kapitel 2 og betonen er leveret af Unicon.

Udlægningen er udført af Aarsleff.



FIGUR 20. Udlægning af testfelt ved Aarsleff med bjælkevibrator.

5.2.2 Testfelter ved Unicon

Der er hos Unicons fabrikker udført tre forsøg med forskellige udlægningsmetoder, herunder:

- Testfelt 1: En kombination af bjælkevibrator, pladevibrator og tromle
- Testfelt 2: Bjælkevibrator med overflade finish
- Testfelt 3: Asfaltudlægger

I FIGUR 21 og FIGUR 22 er der vist billeder fra det første testfald hos Unicon, hvor der er anvendt bjælkevibrator, pladevibrator og tromle. Testfeltet måler cirka 17 x 35 m. Bjælkevibratoren er anvendt til at fordele betonen inden den færdige kompaktering med en kombination af tromle og bjælkevibrator. Belægningen er udlagt i fire sektioner, som alle har en tykkelse på 250 mm, men hvor der er anvendt beton i forskellige farver og med forskellig stenstørrelse.

De anvendte styreskiner til bjælkevibratoren fjernes, når der er støbt beton på begge sider af skinnen. Overordnet er udlægningsmetoden arbejdstung, da der anvendes en bjælkevibrator samtidig med at betonen kræver mere arbejde at fordele manuelt end traditionel sætmålsbeton. Derudover skaber tromlen og pladevibratoren nogle spor i belægningen, som gør at overfladen ikke bliver jævn.

Udlægningen er udført af en lokal entreprenør.



FIGUR 21. Testfelt 1 hos Unicon, hvor den anvendte bjælkevibrator og pladevibrator ses.



FIGUR 22. Testfelt 1 hos Unicon, hvor den anvendte tromle ses.

I FIGUR 23 er der vist et billede fra det andet testfelt ved Unicon, hvor der udelukkende er anvendt en bjælkevibrator i kombination med manuel overfladefinish, for at gøre overfladen strukturen mindre ru/åben. Testfeltet måler cirka 17 x 35 m, og er udført i 3 sektioner med forskellige farver og cementtyper. Den samlede tykkelse på betonbelægningen er cirka 250 mm.

Der er anvendt blivende styreskinner til bjælkevibratoren. Den anvendte bjælkevibrator er koblet op på en wire og kan, modsat de andre, trækkes ved at dreje på et hjul i hver ende af vibratoren, hvilket letter arbejdsbyrden.

Udlægningen er udført af Aarsleff.



FIGUR 23. Testfelt 2 hos Unicon, hvor den anvendte bjælkevibrator ses.

I FIGUR 24 og FIGUR 25 er vist billeder fra det tredje testfelt ved Unicon, hvor der er anvendt en asfaltudlægger. Testfeltet måler cirka 4 x 45 meter og udlagt i 7 sektioner, hvor der er afprøvet forskellige lagtykkelser (120-200 mm) og forskellige vibrationsstyrker. Udlægningsmetoden giver en jævn overflade.

Udlægningen er udført af Colas.



FIGUR 24. Testfelt 3 ved Viborg, hvor der er anvendt asfaltudlægger. Foto: Unicon.



FIGUR 25. Testfelt 3 ved Viborg set oppefra (markeret med en gul firkant).

5.2.3 Testfelt ved Teknologisk Institut

Der er hos Teknologisk Institut lavet et testfelt med asfaltudlægger, hvor der er forsøgt at presse mulighederne med udlægningsteknikken. Testfeltet er udlagt med en relativ lille svingradius på cirka 12 meter og med varierende bredde på mellem cirka 50 – 200 cm. Belægningens tykkelse er cirka 150 mm.

Udlægningsmetoden giver en jævn overflade, men særligt de smalle dele viste sig at være udfordrende. Derudover var det nødvendigt med noget manuel justeringen af testfeltets kant, grundet den lave svingradius.

Testfeltet er designet af TREDJE NATUR og udført af Colas med beton fra Unicon. I betonen er der anvendt FUTURECEM i stedet for de mere traditionelle cementtyper, med henblik på både at sænke CO₂-aftrykket samt teste cementens egnethed til permeabel beton.



FIGUR 26. Testfelt ved Teknologisk Institut udlagt med asfaltudlægger.



FIGUR 27. Testfelt ved Teknologisk Institut udlagt med asfaltudlægger.

5.3 anbefalinger

Udlægningsmetoden har som nævnt stor betydning for belægningens endelige egenskaber, og det kan være en fordel, hvis udførende har erfaring med udlægning af permeabel beton (eller som minimum beton). Belægningen behøves ikke at blive udlagt med fald, da overfladevand dræner direkte igennem belægningen og derfor ikke behøves at blive ledt mod kloak via belægningens overflade.

For at sikre, at udlægningen giver et godt resultat, anbefales det at:

- der laves en indledende afprøvning, hvis man ikke har erfaringer med betonrecepten og/eller udlægningsudstyret, så det er muligt at justere i betonrecept eller udlægningsprocessen inden.
- der anvendes en egnet betonrecept og at der samtidig er god styring med det samlede vandindhold i betonen. Typisk er vandindholdet i permeabel beton relativt lavt, og det, i kombination med et stort specifikt overfladeareal, kan medvirke til, at betonens bearbejdelighed i nogen tilfælde falder hurtigere end for andre betoner.
- lfm. planlægningen af udlægningen bør man være opmærksom på, at permeable ubundne bærelag ikke nødvendigvis opnår helt den samme komprimering som traditionelle bærelag. Det kan betyde, at store maskiner som kører direkte på den ubundne bærelag, kan lave sporkøringer i bærelaget.
- Bearbejdeligheden af den permeabel beton vurderes for hver batch ved at lave en kugle som vist i FIGUR 4, som et tjek af betonblandingen inden udlægning.
- der bruges en egnet udlægningsmetode til det specifikke projekt. Asfaltudlæggeren har generelt vist at være mest effektiv, mindst arbejdstung og samtidig give det flotteste resultat.
- belægningen udtørningsbeskyttes så hurtigt som muligt efter udlægning, for at undgå skader som følge af udtørring af den friske beton.
- støbningen evt. udsættes af hensyn til udtørring, hvis der er en kombination af solskin, vind og varme temperaturer, og hvis der vurderes, at det giver for stor risiko for u hensigtsmæssig udtørring.
- støbningen evt. udsættes hvis det regner og det vurderes, at kunne være et problem ift. at regnen fortynder eller vasker cementpastaen bort.
- belægningen evt. udlægges med revneledere, hvis man støber større felter og vil undgå at der kan opstå svindrevner.

6. Drift og vedligehold

For at opnå en god levetid af den permeable belægning er det vigtigt, at der foretages den nødvendige drift og vedligehold.

6.1 Tilstopning

Med tiden vil alle permeable belægninger blive helt eller delvist tilstoppede. Hvor længe der går vil afhænge af den specifikke belægning (herunder hulrumssystemet, holdbarhed mv.), placering/brug af belægningen og den udførte drift og vedligehold.

Tilstopningen opstår, når belægningens hulrum fyldes med partikler fra f.eks. blade eller sand/jord som lander på belægningen. Er der flere store træer rund om belægningen, kan det fremskynde tilstopningen. I FIGUR 28 ses et eksempel på en permeabel belægning, som er placeret under et løvtræ.



FIGUR 28. Eksempel på løvnedfald på den permeable belægning udlagt ved Teknologisk Institut.

For at modvirke tilstopning kan der anvendes forskellige maskiner som typisk anvender sug og/eller spuling til at rense belægningen. I FIGUR 29 ses et eksempel på oprensning af en permeabel belægning. Det er ikke nødvendigvis muligt at rense belægningen 100% op, og det betyder også, at belægningen på sigt typisk vil tilstoppe og skulle udskiftes. Permeabiliteten af den permeable beton lige efter udlægning, er i nogen tilfælde større end nødvendigt og derfor kan belægningen godt tåle at tabe lidt permeabilitet, uden det påvirker funktionen. Effekten af en oprensning kan dokumenteres ved at test permeabiliteten af belægningen on-site.

Udover oprens kan en drift og vedligeholdelsesplan også indeholde fejning af blade om efteråret eller tildækning af dele af belægningen ved byggearbejdet langs belægningen.



FIGUR 29. Oprensning af permeabel befæstelse.

Det er principielt muligt at fjerne f.eks. det øverste lag af en permeabel betonbelægning og udlægge et nyt lag ovenpå. Det er dog omkostningstungt ift. en oprens og kræver, at man er omhyggelig med at få rensset for støv mv. inden det nyt lag udlægges.

6.2 Vintervedligehold

Af hensyn til tilstopning bør der ifm. vintervedligehold ikke anvendes grus til glatføringsbæmpelse. Det bør også undersøges, om der skal anvendes andre tømidler end den traditionelle NaCl.

Permeable betonbelægninger kan også blive snedækkede, men er måske i lidt mindre grad helt tilisede, da vand generelt drænes gennem belægningen og derfor ikke ophobes på belægningens overflade. Hvis der er brug for at fjerne sne, kan der anvendes sneplove under hensyn tagen til, at plogen ikke skader belægningen. Det kan f.eks. sikres ved at undgå stålskær direkte mod belægningen.

6.3 anbefalinger

En god drift og vedligeholdelsesplan er essentiel for at sikre en lang levetid af den permeable betonbelægning.

For at sikre, optimal drift og vedligehold, anbefales det at:

- der udarbejdes en plan for drift og vedligehold for den enkelte case, som tager hensyn til belægningens egenskaber efter udlægning, brug og omkring liggende områder, som kan påvirke tilstopning samt krav til belægningens permeabilitet.
- der foretages målinger før og efter oprensning til dokumentation af effekten, så drift og vedligeholdelsesplanen kan justeres derefter.
- Drift og vedligeholdelsesplanen ændres, hvis der viser sig et andet behov end antaget eller ved ændringer i brugen, så levetiden opretholdes så lang tid som muligt.

7. Litteraturliste

- [1] A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects, Avishreshth Singh, Prasanna Venkatesh Sampath, Krishna Prapoorna Biligiri, 2022
- [2] Anvisning for permeable befæstelser i beton og asfalt, Teknologisk Institut, 2021
- [3] DIN 18507 Paving blocks of concrete with open structure
- [4] DS 423.25 Betonprøvning. Hærdnet beton. Elasticitetsmodul
- [5] EN 480-11 Tilsætningsstoffer til beton, mørtel og injektionsmørtel – Prøvningsmetoder – Del 11: Bestemmelse af luftporestruktur i hærdnet beton
- [6] EN 12390-7 Prøvning af hærdnet beton – Del 7: Hærdnet betons densitet
- [7] EN 12697-26C Bituminøse blandinger – Prøvningsmetoder – Del 26: Stivhed
- [8] Enhancing the Ability of Pervious Concrete to Remove Heavy Metals from Stormwater, Holmes, R.R., Hart, M.L. and Kevern, J.T, 2017
- [9] Estimating the Modulus of Elasticity of Pervious Concrete Based on Porosity, Ashraf Al Alam, Liv Haselbach, 2014
- [10] Frost Resistance of Pervious Concrete dependent on Air Void Content and Freeze Thaw Cycling Temperatures, Alexander Stæhr Rasmussen, Gabriel Rebb, Camilla Jakobsen, Helene Lilleholt Frederiksen, 2022.
- [11] Frostbestandighed af drænbeton, Anne Sofie Hyldtoft Olsen, Rune Malthé Knudsen, 2018
- [12] Klimafilterbeton, Teknologisk Institut, 2023
- [13] Long-term Field performance of pervious concrete pavement, Aleksandra Radlinska, Andrea Welker, Kathryn Greising, Blake Campbell, David Littlewood, 2012
- [14] Maintenance and Repair Options for Pervious Concrete, John T. Kevern, 2010
- [15] Performance Assessment of Portland Cement Pervious Pavement, Marty Wanielista, Manoj Chopra, Josh Spence, Craig Ballock, 2007
- [16] Permeable in-situ støbte belægninger, Teknologisk Institut, 2016
- [17] Permeable belægninger – Viden og dokumentation, COWI, 2015
- [18] Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: A state-of-the-art review, Anush K Chandrappa, Krishna Prapoorna Biligiri, 2015
- [19] Pervious concrete fill in Peal-Chain Bridges: Using small-scale results in full-scale implementation, MSM. Lund, K.K. Hansen, R. Truelsen, L. Johansen, 2015
- [20] Superdrænende betonbelægninger, Teknologisk Institut, 2018

Klimafilterbeton

Projektet om klimafilterbeton fokuserer på udvikling og dokumentation af permeabel beton - også kendt som drænbeton - i Danmark som en løsning til lokal håndtering af regnvand. Projektet er gennemført i perioden 2020-2022 og har involveret Teknologisk Institut, Tredje Natur, WSP Danmark, Unicon, Betonværket Brønderslev, Aarsleff og Fabriksbetonforeningen.

Med klimaforandringerne er der i Danmark opstået et behov for flere løsninger til håndtering af regnvand. Permeabel beton kan være en af de løsninger. Permeabel beton er en betontype, som kan anvendes til belægninger (f.eks. pladser, stier og veje) i byerne, og til lokal afledning af regnvand. Betonen tillader vand at dræne igennem overfladen og videre ned igennem befæstelsen vha. et system af forbundne hulrum i materialet.

Formålet med projektet har været at generere den nødvendige viden og erfaringer til at udvikle og dokumentere et produkt baseret på permeabel beton, som kan anvendes til lokalhåndtering af regnvand i Danmark. Projektet har fokuseret på betonsammensætning, materialeegenskaber, design og opbygning, udlægningsmetoder samt drift og vedligehold.

Resultaterne viser, at permeabel beton kan tilpasses danske forhold, men kræver nøje planlægning ift. materialesammensætning, udlægning og vedligehold. Drift og vedligehold, især mod tilstopning, er afgørende for at sikre belægningens levetid og funktion.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk