

12.10 Permeable betonbelægninger

Betonhåndbogen

Kapitel 12: Beton
i bygge- og
anlægsbranchen

Udgivet af

Dansk Betonforening
23.01.2026
Version 1.0

Figurer og tabeller

Alle figurer og
tabeller tilhører
Dansk Betonforening,
medmindre andet er
angivet.

Forfattere

Katja Udbye
Christensen



Indholdsfortegnelse

12.10.0	Indledning	3
12.10.1	Anvendelse	4
12.10.2	Opbygning af befæstelsen	5
12.10.3	Betonsammensætning	6
12.10.3.1	Tilslag	6
12.10.3.2	Cementpasta	7
12.10.4	Egenskaber og prøvning	9
12.10.4.1	Bearbejdelighed	9
12.10.4.2	Trykstyrke	9
12.10.4.3	E-modul	11
12.10.4.4	Permeabilitet	11
12.10.4.5	Relation mellem trykstyrke, E-modul og permeabilitet	13
12.10.4.6	Holdbarhed og levetid	14
12.10.4.7	Andre egenskaber	15
12.10.5	Produktion og udlægning	16
12.10.6	Drift og vedligehold	18
12.10.7	Arkitektoniske muligheder	19
12.10.8	Litteratur	21

12.10.0 Indledning

Permeabel beton er en betontype, som har styrke og sammenhæng til at kunne anvendes som belægning, men som også tillader vand at dræne gennem belægningen. Den permeable beton har således to funktioner og fungerer derfor både som en del af infrastrukturen og som regnvandshåndtering.

Der findes også permeable belægningssten og fliser, hvor vand kan dræne gennem fugerne imellem stenene eller gennem huller i stenene. Disse er ikke inkluderet i nærværende kapitel, som primært omhandler in-situ støbt permeabel beton.

Figur 1
Permeabelt
betonprøveemne, hvor der
løber vand igennem en cirka
80 mm tyk prøve.
Foto: Teknologisk Institut.



12.10.1 Anvendelse

Som en konsekvens af klimaforandringerne, er regnintensiteten og skybrudsmængden i Danmark øget. Det betyder, at der på kort tid kan falde store mængder regn, som forårsager oversvømmelser og beskadigelser af bygværker.

Permeabel beton kan anvendes som belægning til lokal håndtering af regnvand, hvor det kan aflaste det eksisterende kloaksystem i tilfælde af kraftig regn. Det er særligt relevant i byerne, hvor der er stadigt større arealer af impermeable belægninger, der hurtigt leder vandet til afløb og derfor giver øget risiko for overbelastning af kloaknettet. Den permeable beton leder vandet ned i og gennem belægningen. Derved undgås vand på overfladen, og det sikrer en øget trafikssikkerhed ved at modvirke aquaplaning. Permeabel beton kan desuden indeholde en betydelig vandmængde, og derfor virke som et slags "forsinkelsebassin" for ekstreme regnmængdsder. Dette gør, at permeable belægninger kan bidrage til at reducere risikoen for spildevandsforurening fra overbelastede kloaksystemer. Den permeable beton belægning kan bruges som en selvstændig LAR-løsning (Lokal Afledning af Regnvand) eller i kombination med andre LAR-løsninger.

Permeabel beton har ikke været anvendt særlig meget i Danmark, men i lande som USA, England og Tyskland har man gode erfaringer med belægningstypen. Generelt mangler der stadig nogle langtidserfaringer i Danmark samt standarder for permeabel beton, som definerer relevante krav, nødvendigt prøvningsomfang, prøvningsmetoder mv.

Der er ikke fuld klarhed over, hvilken form for trafik, som den permeable beton kan anvendes til. Nogen mener, at den permeable beton ikke bør anvendes på steder med tung trafik, fx fra lastbiler, mens andre har haft gode erfaringer med netop den type anvendelse. Men der er generelt enighed om, at den permeable beton kan anvendes som belægning på fortove, stier, parkeringspladser og mindre veje.

12.10.2 Opbygning af befæstelsen

En permeabel befæstelse er opbygget af en permeabel belægning (fx permeabel beton), et permeabelt ubundet bærelag og evt. en vandtæt membran, drænrør og/eller geotekstil.

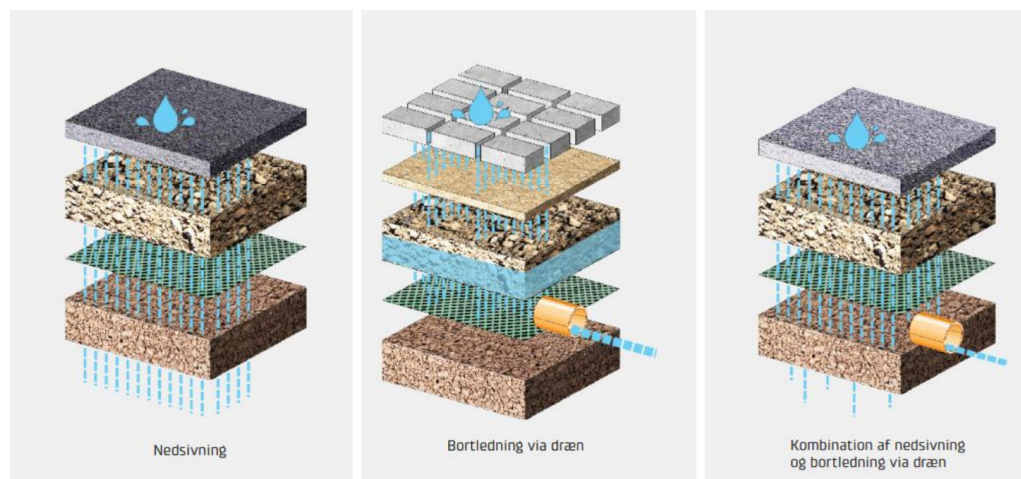
Når regnvandet er drænet ned igennem belægningen, ledes det videre ned igennem det permeable bærelag. Herfra kan det enten nedsives, bortledes via dræn eller en kombination af de to. Bortledes det via dræn kan vandet enten udledes til et magasin, hvor vandet fx opbevares til senere rekreativ anvendelse, til recipient eller til kloak. I sidste tilfælde fungerer befæstelsen altså som et magasin, der forsinket vandets udledning i kloakken.

Hvorvidt vandet kan bortledes via nedsivning, afhænger bl.a. af underbundens nedsivningsevne og risikoen for eventuel forurening af grundvandsressourcer i området. Det er vigtigt at være opmærksom på, om der er lovgivning, som påvirker hvordan vandet kan/skal håndteres. Det kan fx være krav i miljøbeskyttelsesloven, spildevandsbekendtgørelsen og vejlovgivningen.

I Figur 2 ses eksempler på de 3 metoder til håndtering af regnvandet i de permeable befæstelser. Bemærk at Figuren er tegnet med forskellige permeable belægninger, herunder permeabel asfalt, belægningssten med permeabel fuge og permeabel beton.

Figur 2

Eksempler på forskellig vandhåndteringsstrategi i permeable befæstelser [2].



Det er vigtigt, at det anvendte bærelag er tiltænkt permeable befæstelser. Det betyder bl.a. at det skal have en kornkurve, som sikrer en høj hulrumprocent og dermed en høj permeabilitet. Permeabiliteten af det permeable bærelag vil ofte være højere end permeabiliteten af den permeable betonbelægning, så vandet fra belægningen altid kan dræne videre ned igennem befæstelsen og ikke ophobes i betonen, men det er også muligt med et tættere bærelag, at forsinke vandets afledning ved at opbevare det milertidigt i den permeable beton.

For at sikre adskillelse mellem lagene i befæstelsens opbygning, kan der udlægges et geotekstil mellem det ubudne bærelag og underbunden.

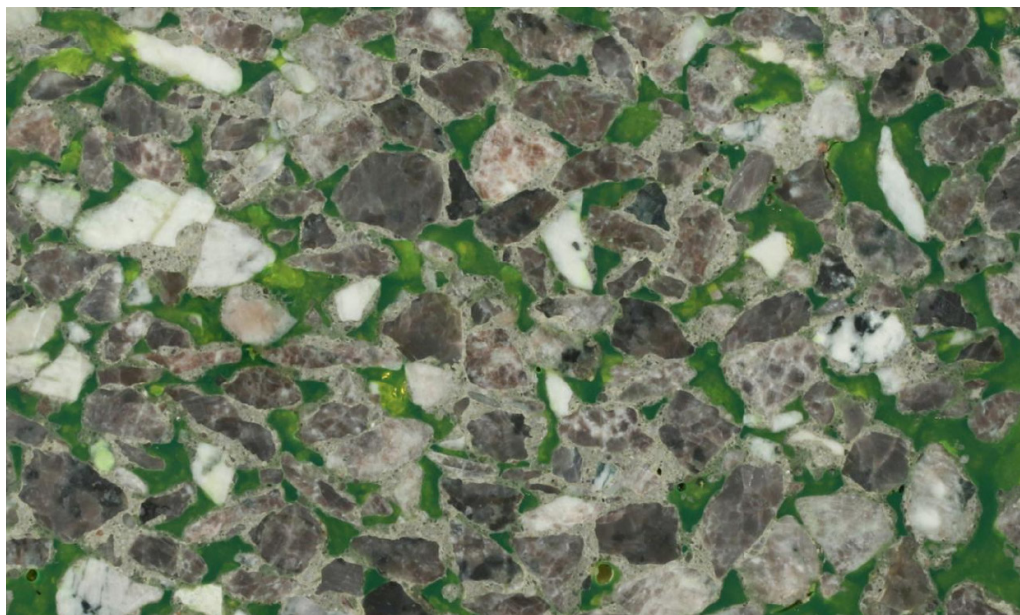
Den permeable beton kan også anvendes som en del af befæstelsens opbygning, hvor der udlægges belægningssten ovenpå den permeable beton, fx chaussé-sten.

12.10.3 Betonsammensætning

Permeabel beton består som udgangspunkt af de samme delmaterialer som traditionel beton, dvs. cement, vand, sand og sten (og luft). Det som gør betonen permeabel, er forholdet mellem de enkelte delmaterialer, der giver betonen en indre struktur af sammenhængende hulrum, hvor vandet kan dræne igennem. I Figur 3 er der vist et prøveemne i permeabel beton, hvor hulrummet er udfyldt med en grøn epoxy.

Figur 3

Permeabel betonprøveemne hvor hulrummet er udfyldt med en grøn epoxy. Den sammenhængende hulrumsstruktur fremgår tydeligt. De anvendte sten i blandingen er ca. 5-8 mm. Foto: Teknologisk Institut.



Den optimale betonrecept afhænger af de anvendte delmaterialer, den valgte udlægningsmetode og de ønskede egenskaber. I litteraturen er der angivet intervaller for den typiske sammensætning af permeabel beton. Der er dog lidt variation i, hvad der anses for værende typisk, og derfor skal værdierne angivet i nærværende kapitel udelukkende ses som vejledende.

Ifølge udvalgte kilder har permeabel beton typisk en densitet på omkring 1.600 – 2.100 kg/m³ og en hulrumsprocent på mellem 10-35 %. Hulrummet består af makroporer, som er helt eller delvist forbundne. Det adskiller sig derfor fra den indblandede luft i pastafasen. I USA foreskriver "The National Ready Mix Concrete Association" en hulrumsprocent på minimum 15 %. Da samme betonrecept kan opnå forskellige hulrumsprocenter afhængig af hvor hårdt det kompakteres, vil betonrecepten principielt kun være vejledende, da indhold af delmaterialer pr. m³ vil variere relativt afhængig af den opnåede hulrumsprocent. Recepterne er typisk angivet ved en antaget hulrumsprocent, hvilket kan gøre det være svært at lave en direkte sammenligning mellem recepter, uden at omregne dem til samme hulrumsprocent eller faktisk opnåede hulrumsprocent.

12.10.3.1

Tilslag

I permeabel beton vil man (modsat traditionel beton), gerne have så dårlig en pakningsgrad af tilslaget som muligt, så der kan opnås en høj hulrumsprocent. Derfor anvendes der typisk kun en enkel stenfraktion og intet eller meget lidt sand, så den samlede kornkurve for tilslaget, bliver så smal som mulig (se evt. kapitel 6.0 om proportionering af beton). Det samlede tilslagsindhold ligger typisk på mellem 50-65 volumen %, hvoraf størstedelen er sten.

Trykstyrken af en permeabel beton kommer særligt fra kontaktpunkterne mellem tilslagene, og derfor kan det være en fordel at tilsætte en smule sand i betonen for at øge antallet af kontaktpunkter, og således opnå en højere styrke. Tilsætningen af sand, sikrer samtidig, at cementpastaen/mørtlen ikke bliver for tyndtflydende og kan potentielt have en positiv effekt på frostbestandigheden.

Stenstørrelsen har også en betydning for trykstyrken, da en lavere stenstørrelse giver flere kontaktpunkter mellem stenene. Det vil dog også give en reduktion i permeabiliteten, da det specifikke overfladeareal stiger med faldende stenstørrelser, hvilket giver et behov for at øge indholdet af cementpasta.

Det anbefales dog, at der anvendes stenstørrelser på maksimalt 8 mm af hensyn til belægningens overfladestruktur. Store stenstørrelser vil nemlig give en meget grov/ru overflade, som dels ikke er særlig æstetisk og dels kan give en dårlig brugeroplevelse. Alternativt kan man udlægge betonen i to lag, hvor det nederste lag har en høj maksimal stenstørrelse og det øverste lag har en lille maksimal stenstørrelse.

Af hensyn til belægningens frostbestandighed, bør der kun anvendes frostbestandige tilslag i betonen.

12.10.3.2

Cementpasta

Cementpastaen er limen, som binder tilslagene sammen. Mængden af cementpasta skal være så stor, at alle sten kan dækkes af et tyndt lag cementpasta samtidig med, at der ikke må være så meget cementpasta, at hulrummene udfyldes og betonen bliver impermeabel. I Figur 4 ses en permeabel beton med hvid cement, hvor pasta/mørtel fraktionen synligt fremgår.

Cementpastaen må ikke være for tyndtflydende, da det så risikeres at cementpastaen ved udlægning/støbning løber ned igennem betonen og stopper hulrummene i bunden af belægningen. I litteraturen ses vand/cement-forhold på mellem 0,27-0,42 (bemærk dog, at forskellige lande ikke nødvendigvis beregner vand/cement-forhold ens, når der anvendes "supplementary cementitious materials" i betonen som fx flyveaske). Det kan dog være en fordel ikke at anvende de helt lave vand/cement-forhold, da det giver en øget risiko for udtørring ifm. udlægningen, jf. afsnit 12.10.5 om udlægning.

Figur 4

Permeabel beton
prøveemne med hvid
cement, som er skåret over.
Foto: Teknologisk Institut.



Generelt kan det være en fordel at designe cementpastaen, så den er frostbestandig, dvs. med et lavt vand/cement-forhold og luftindblanding. Laboratorieforsøg med accelereret prøvning [5,6,7] har vist en bedre frostbestandighed af permeabel beton med en cementpasta, der efterlever kravene til frostbestandighed, modsat en cementpasta som ikke gør. Det kan dog være udfordrende at få iblandet luft i cementpastaen for permeabel beton hos betonproducenterne, og det er desuden uvist, hvordan erfaringer fra laboratorieforsøgene relaterer sig til virkelige forhold, da der mangler langtidserfaringer under danske forhold med danske materialer.

12.10.4 Egenskaber og prøvning

Der findes ingen standardiserede prøvningsmetoder i Danmark, som er målrettet prøvning af permeabel beton. Der findes dog nogle amerikanske (ASTM), tyske (DIN) og internationale standarder (ISO), som beskriver en række forskellige prøvningsmetoder. Derudover kan nogle eksisterende prøvningsmetoder for traditionel beton relativt let tilpasses permeabel beton.

Egenskaber som er relevante for permeabel beton, er bl.a.:

1. Bearbejdelighed
2. Trykstyrke
3. E-modul
4. Permeabilitet
5. Holdbarhed og levetid

I litteraturen er der angivet intervaller for de typiske egenskaber af permeabel beton. Der er dog lidt variation i, hvad der anses for værende typisk, og derfor skal værdierne angivet i nærværende kapitel udelukkende ses som vejledende.

12.10.4.1 Bearbejdelighed

Permeabel beton minder om jordfugtig beton i konsistens. Det betyder også, at det ikke er muligt at teste bearbejdeligheden med prøvningsmetoder som fx sætmål. Det er vigtigt, at den friske beton er formstabil (dvs. at den kan holde sin egen form umiddelbart efter støbning). Det kan opnås ved at have den rette mængde cementpasta med den rette konsistens. En måde at teste det på, er ved at tage en stor håndfuld af den friske beton og forme det til en kugle. Kuglen skal kunne holde sin egen form, uden at den fremstår helt tæt. Er pastaen for våd eller tør, eller er indholdet af pasta for lavt eller højt, vil det typisk ikke være muligt at forme en kugle med betonen. I Figur 5 ses et eksempel på en kugle formet af permeabel beton.

Figur 5

Frisk permeabel beton skal kunne samles til en kugle, som kan holde sin egen form.

Foto: Teknologisk Institut.



12.10.4.2 Trykstyrke

Trykstyrken af den permeable beton afhænger i høj grad af hulrumsprocenten. Det skyldes, at en lav hulrumsprocent giver et højere antal kontaktpunkter mellem tilslagene og dermed en højere trykstyrke, hvorimod en høj hulrumsprocent giver et lavere antal

kontaktpunkter og dermed en lavere trykstyrke. Det er muligt at kompaktere den samme betonrecept til forskellige grader, så der opnås forskellige hulrumsindhold. Den opnåede kompakteringsgrad vil afhænge af støbeforholdene.

Trykstyrken kan variere meget, og der ses styrker på mellem 5-35 MPa afhængig af bl.a. hulrumsprocenten. Nogle kilder beskriver, at trykstyrken afhænger mere af forholdet mellem tilslag og cement, end forholdet mellem vand og cement. Der ses også ofte en relativ hurtig styrkeudvikling og eksempler på, at permeabel beton har opnået 70-90 % af 28 døgns trykstyrke efter 7 døgn.

Trykprøvning af permeabel beton kan udføres som for traditionel beton (EN 12390-7), men resultatet kan dog ikke nødvendigvis sammenlignes direkte med den opnåede styrke, når betonen udlægges i et større lag som belægning, hvor stenene låses mod hinanden. Det er vigtigt ifm. prøvningen at sikre, at der er god kontakt mellem trykpressens flader og prøveemnets top og bund. Hvis kontakten ikke er god nok, kan prøvens ender slibes plane eller skæres af. I Figur 6 ses et eksempel på en trykprøvning udført på en permeabel betonprøve.

Figur 6

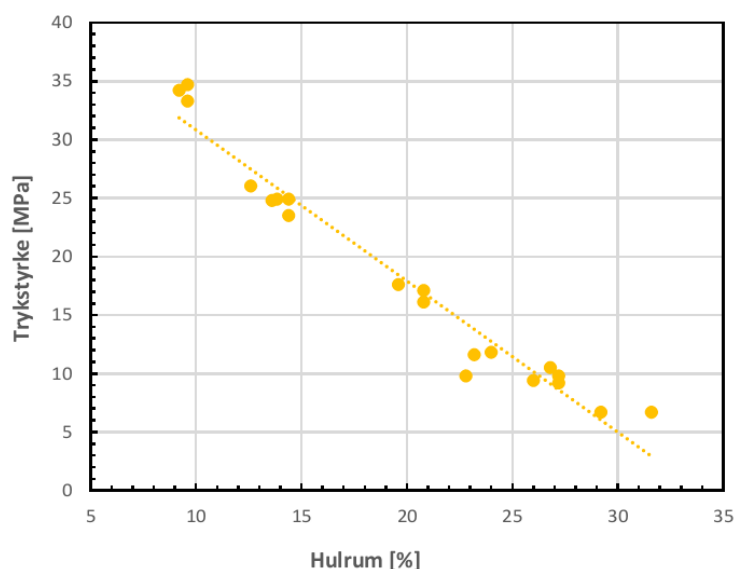
Trykprøvet permeabel
betonprøve.
Foto: Teknologisk Institut.



I Figur 7 ses et eksempel på trykstyrken for samme betonrecept men udført på prøveemner med forskellig hulrumsprocent. Det ses, at forholdet mellem hulrum og trykstyrke er tilnærmelsesvist lineært.

Figur 7

Eksempel på målinger af
trykstyrken som funktion
af hulrumsprocenten
for samme betonrecept
kompakteret til forskellige
hulrum [7].



12.10.4.3 E-modul

For belægninger anvendt til veje, er det materialets E-modul, som anvendes til dimensionering af belægningens tykkelse/levetid. E-modulet afhænger af nogle af de samme ting som trykstyrken, og der er set eksempler på E-modul mellem 5-35 GPa.

Prøvning af E-modulet kan enten foretages som for beton (DS 423.25) eller som for asfalt (EN 12679-26C). Fordelen ved asfaltmetoden er, at den er væsentlig hurtigere at udføre end prøvningsmetoden for beton. Anvendes asfaltmetoden, er det dog nødvendigt at ændre på testindstillingerne, da de er målrettet asfalt, som er et mere elastisk materiale end beton. I Figur 8 ses forsøgsopstillingen for prøvningsmetoden anvendt til asfalt, hvor tværudvidelsen af cylinderskiven måles og som efterfølgende omregnes til E-modulet.

Figur 8

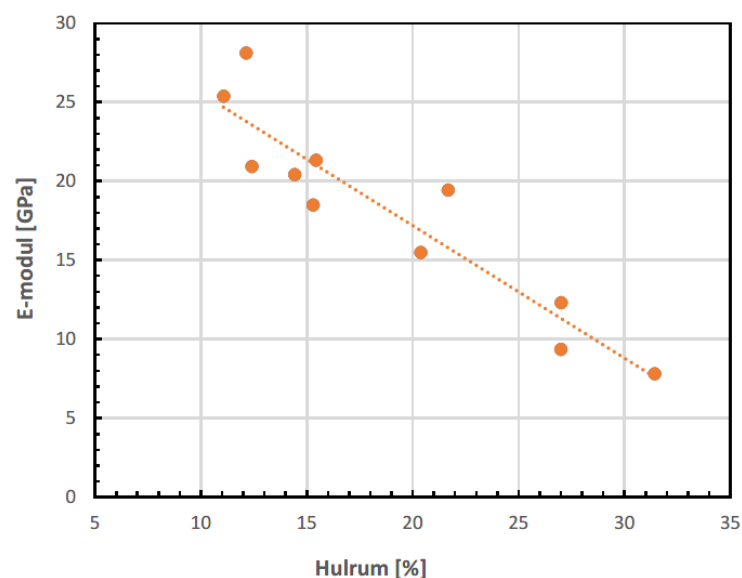
E-modul målt efter metoden til prøvning på asfalt.
Foto: Teknologisk Institut.



I Figur 9 ses et eksempel på E-modulet for samme betonrecept men udført på prøveemner med forskellig hulrumsprocent. Ligesom for trykstyrken, ses en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem hulrum og E-modul.

Figur 9

Eksempel på måling af E-modul som funktion af hulrummet [%] målt med asfaltmetoden for samme betonrecept som anvendt til målingerne i Figur 7 [7].



12.10.4.4 Permeabilitet

Permeabiliteten af den permeable beton kommer fra de forbudne hulrum i betonen. Derfor afhænger permeabiliteten selvfølgelig også af hulrumsprocenten. Permeabiliteten er udtryk for, hvor hurtigt regnvandet kan trænge igennem den permeable beton.

Permeabiliteten ligger typisk på omkring 5,5-20 mm/s. Til sammenligning svarer et skybrud til 15 mm regn på 30 minutter, dvs. 0,0083 mm/s. Den permeable beton har altså en relativ stor overkapacitet ift. at dræne det vand, som falder direkte på belægningen. Ofte skal belægningen dog også håndtere dele af det regnvand, som falder på omkringliggende impermeable overflader, og det kan derfor være relevant at tage dette med i overvejelser og planlægning af regnvandshåndteringen.

Der findes flere forskellige prøvningsmetoder til test af permeabiliteten, som også afhænger af, om der er tale om prøvning på kerner eller on-site prøvning direkte på belægningen. Den målte permeabilitet vil afhænge af den anvendte testmetode og efterfølgende databehandling, fx om der tages højde for vandtryk eller ej. I Figur 10 er der vist et eksempel på en simpel prøvningsmetode til kerner, hvor det måles, hvor længe det tager vandet at dræne gennem prøven. I Figur 11 er der vist et eksempel på en prøvningsmetode til on-site måling, hvor der måles, hvor længe vandet i den inderste ring er om at dræne igennem betonen. Den yderste ring er med til at sikre, at den målte permeabilitet primært er for arealet indenfor den inderste ring.

Figur 10

Eksempel på en simpel testmetode til vurdering af permeabiliteten af permeable betonekerner.
Foto: Teknologisk Institut.



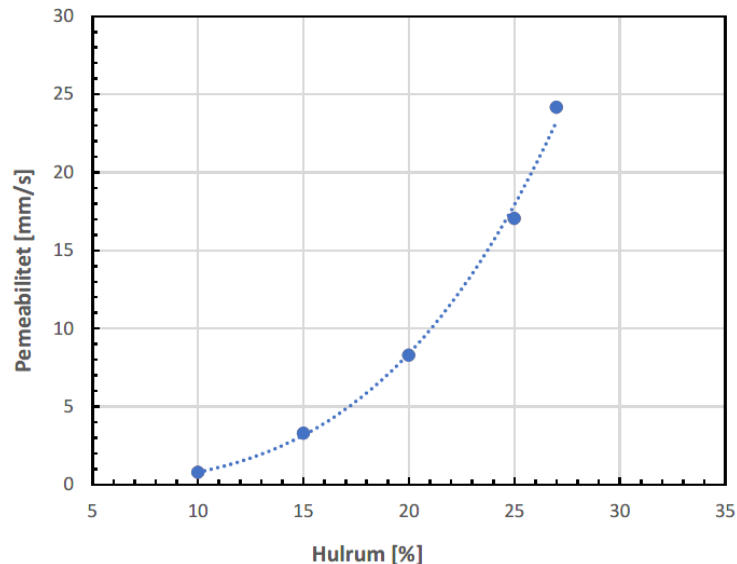
Figur 11

Eksempel på en testmetode til vurdering af on-site permeabilitet af permeabel beton.
Foto: Teknologisk Institut.



I Figur 12 ses et eksempel på permeabiliteten for samme betonrecept, men udført på prøveemner med forskellig hulrumsporcet. Hvor både E-modul og trykstyrke har en lineær relation til hulrumsporceten, så forøges stigningen i permeabilitet med øget hulrum, dvs. at der opnås en højere stigning i permeabiliteten, hvis man går fra et hulrumsporcet på 20 til 25 % end hvis man går fra 10 til 15 %. Det skyldes formentlig, at der med en reduktion af hulrummet vil være flere og flere hulrum, som ikke længere er forbundet og derfor ikke kan bidrage til permeabiliteten.

Figur 12
Eksempel på permeabilitet som funktion af hulrummet målt på støbte prøver af samme betonrecept som anvendt til prøvningerne vist i Figur 7 og 9 [7].



Som beskrevet, kan den permeable beton anvendes som "forsinkelsesbassin" til at opbevare ekstremregn, indtil kloaksystemet kan klare det. Hvis man anvender en fx 20 cm tyk belægning af permeabel beton med en hulrumsporcet på fx 15 %, vil belægningen kunne indeholde en vandmængde på 30 liter pr kvadratmeter. Dette svarer til et dobbelt skybrud (2 gange 15 mm på 30 minutter).

12.10.4.5 Relation mellem trykstyrke, E-modul og permeabilitet

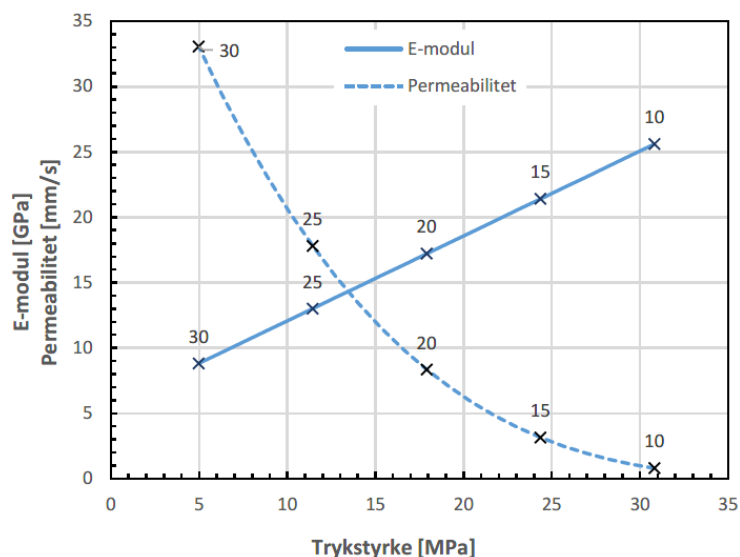
Både E-modul og trykstyrke stiger med faldende hulrum, hvor permeabiliteten modsat falder. Det betyder, at det altid vil være et kompromis ift. at opnå høje mekaniske egenskaber og høj permeabilitet.

I Figur 13 er der vist et eksempel på relationen mellem målt trykstyrke og målt E-modul og mellem målt trykstyrke og permeabilitet baseret på de viste trendlinjer i Figur 7 og Figur 9. For E-modul og trykstyrke ses en lineær sammenhæng, og for permeabilitet og trykstyrke ses der for høje trykstyrke en relativ lille forskel i permeabilitet sammenlignet med de lave trykstyrker.

For den pågældende recept, kan man principielt vha. ovenstående grafer dokumentere E-modul og permeabilitet ud fra den målte trykstyrke. Graferne understreger vigtigheden af det opnåede hulrum på betonens egenskaber. Graferne vil se forskellige ud afhængigt af betonrecepten.

Figur 13

Eksempel på E-modul (blå) og permeabilitet (blå-stiplet) som funktion af trykstyrke baseret på trendlinjer i Figur 7 og 9. Tallene langs grafen viser hulrumsprocenterne ved de pågældende værdier [7].



12.10.4.6 Holdbarhed og levetid

Der er meget lidt erfaring med holdbarhed og levetid af permeabel beton i Danmark. Parametre som påvirker levetiden kan fx være tilstopning af belægningen, jf. afsnit 12.10.6 om drift og vedligehold, frost/tø påvirkning og tab af sten som følge af udtørring i støbefasen (jf. afsnit om 12.10.5 produktion og udlægning) eller som følge af slid fra dæk.

Levetiden vil derfor afhænge af parametre som:

- Anvendt betonrecept
- Udførelse
- Brug/påvirkning fra tilstødende områder
- Oprensning/drift af belægning

Derudover vil levetiden også afhænge af, hvilke kriterier man stiller for belægningens visuelle udtryk, overfladestruktur og ydeevne, og dermed hvornår man vurderer, at levetiden er ophørt.

I USA har man anvendt permeabel beton i flere år og flere kilder beskriver gode erfaringer med holdbarheden inkl. eksempler på levetider på over 20 år. Men da der ikke ser ud til at være et fælles vurderingskriterie eller de samme eksponeringsforhold, kan det være svært at sammenligne cases og lave direkte overførsler af erfaringer til danske forhold.

For at den permeable beton ikke får frostskaader, er det vigtigt, at den ikke er vandfyldt hvis den udsættes for frost, da en vandfyldt permeabel belægning med sikkerhed vil blive ødelagt, hvis den fryser igennem. Det kan undgås ved at anvende et bærelag med en høj permeabilitet og samtidig sikre, at permeabiliteten af belægningen opretholdes (fx ved regelmæssig oprensning), så vand ikke fanges i belægningens hulrum. Derudover har betonrecepten også en betydning for frostbestandigheden.

Eksempler på permeable betonbelægninger i Danmark inkluderer bl.a. en lagerplads etableret hos Skagen Beton i Støvring. Belægningen blev etableret i 2018 og anvendes som opbevaring af betonvarer. Et andet eksempel er en permeabel beton belægning, som er udlagt i 2021 ved Unicon i Odense og anvendes som parkeringsplads. Begge belægninger er stadig funktionelle, men der er ikke udført reel prøvning af permeabilitet mv.

12.10.4.7

Andre egenskaber

Andre relevante egenskaber for permeabel beton inkluderer bl.a. støjreducerende effekt og potentiel rensning af regnvandet. Ligesom permeabel asfalt er støjreducerende, er permeabel beton også støjreducerende. Derudover kan permeabel beton muligvis forbedre vandkvaliteten af overfladevandet ved at fjerne miljøfremmende stoffer i vandet. Denne effekt kan skyldes betonens høje pH-værdi, store indre overfladeareal, porøse mikrostruktur og permeable makrostruktur.

12.10.5 Produktion og udlægning

Den permeable betons egenskaber efter hærdning er som beskrevet i høj grad afhængig af, hvor meget hulrum der er i betonen, og dermed hvor meget betonen kompakteres ifm. udlægningen. Det betyder også, at det kan være udfordrende for en betonproducent at garantere specifikke egenskaber, medmindre det gøres for specifikke hulrum, som fx trykstyrke 20 MPa ved 15 % hulrum.

Permeabel beton kan være mere følsom overfor variationer i vandindhold sammenlignet med traditionel beton. Det er derfor vigtigt at have en god styring af det samlede vandindhold i betonen.

Det lave vandindhold kombineret med et stort specifikt overfladeareal og lave pastaindhold, kan betyde at bearbejdigheden i nogen tilfælde falder hurtigere end for andre betoner. Det gælder særligt, hvis vand/cement-forholdet er meget lavt. Eftersom det ikke er muligt at måle sætmål af betonen, anbefales det, at man inden udlægning vurderer betonen visuelt og ved at danne en kugle som vist i Figur 5.

Der findes flere forskellige metoder til udlægningen af permeabel beton. Betonen behøves ikke at blive udlagt med fald. Bemærk at permeabel beton også kan principielt anvendes til belægningssten og fliser. Udlægningsmetoder af in-situ støbt permeabel beton omfatter bl.a.:

- Rullekompaktor
- Bjælkevibrator
- Pladevibrator
- Tromle
- Asfaltudlægger

I Figur 14 er der vist nogle eksempler på udlægningsudstyr. Rullekompaktoren (en vibrerende tromle) anvendes bl.a. i USA (RCC: Roller Compacted Concrete), men der findes pt. ingen danske erfaringer med dette udstyr. Det forventes dog, at den minder om bjælkevibratoren. Generelt kræver rullekompaktoren, bjælkevibratoren og pladevibratoren mere fysisk arbejde end tromlen og asfaltudlæggeren. Anvendes tromlen og pladevibratoren, kan det være svært at opnå en helt jævn overflade. Det bedste resultat vurderes til at opnås ved brug af asfaltudlæggeren, som både giver en jævn overflade, kræver færre udførende og er mindre fysisk hårdt at anvende. Har man ikke erfaring med udlægningsudstyret eller den anvendte betonrecept, kan man med fordel lave en mindre afprøvning, for at sikre, at der opnås de ønskede egenskaber af den udlagte beton.

Når betonen udlægges, bør man være opmærksom på, at den permeable ubundne bærelag under den permeable beton ikke nødvendigvis kan kompakteres lige så hårdt, som traditionelle bærelag. Det betyder, at tungt udstyr mv. som kører direkte på bærelaget, kan give sætninger/sporkøringer i bærelaget.

Når betonen er udlagt, er det vigtigt at få etableret udtørningsbeskyttelse hurtigt. Recepter med højere vand/cement-forhold vil være mere robuste mod udtørring. Bliver betonen ikke beskyttet hurtigt nok, risikerer man, at noget af det vand, som skulle have reageret med cementen, fordamper. Det kan give løse sten i overfladen. Hvor hurtigt udtørringen sker, vil også afhænge af vejrforholdene på støbedagen således at kraftig, sol og vind giver hurtigere udtørring.

Ligesom traditionel beton, vil der også være svind i permeabel beton og derfor kan det være nødvendigt at lave revneanvisere i betonen, hvis der udlægges større felter.

Den nødvendige tykkelse af den permeable beton vil afhænge af den underliggende opbygning, betonens forventede egenskaber og den planlagte anvendelse af befæstelsen. I litteraturen er der set eksempler på tykkelser på mellem 100-250 mm.

Figur 14
Eksempler på forskellige metoder til udlægning af permeabel beton. Foto a, b, og c: Teknologisk Institut. Foto d: Unicon.



a) Pladevibrator



b) Tromle



c) Bjælkevibrator

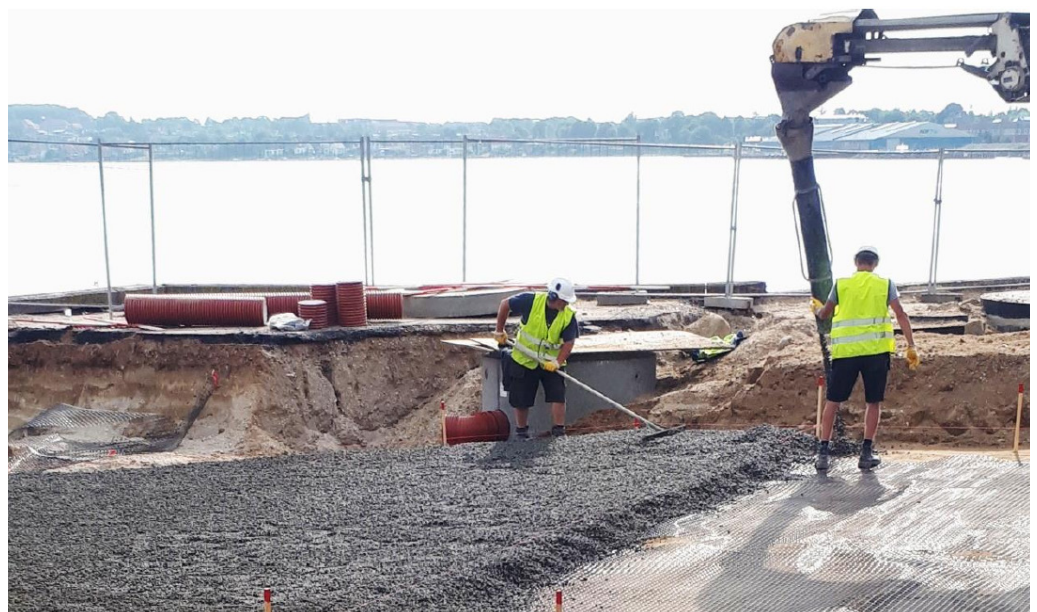


d) Asfaltudlægger

Erfaringer fra specifikke cases har vist, at belægningen kan tages i brug efter 7 modenhedsdøgn og muligvis tidligere. Det vil dog variere fra case til case.

Anvendes den permeable beton i stedet som en del af befæstelsens opbygning med belægningssten ovenpå, kan man nøjes med at anvende en asfaltrager og en pladevibrator til udlægningen. I Figur 15 ses et eksempel på udlægning til dette formål.

Figur 15
Eksempel på udlægning af permeabel beton som en del af opbygningen under belægningssten. Foto: Unicon.



12.10.6 Drift og vedligehold

Permeable belægninger vil gradvist blive tilstoppet over tid. Hvor hurtigt en belægning tilstoppes, vil afhænge af betonens hulrum, placering/brug og den udførte drift og vedligehold.

Det anbefales generelt, at der laves en vedligeholdelsesplan. Den kan f.x omfatte fejning af blade om efteråret og oprens med spule/suge maskiner med et fast interval. Det præcise behov, vil variere fra case til case, da behovet afhænger af parametre som den anvendte betonrecept, brugen/omkring liggende områder, udførslen, omfanget af tilstopning ved oprensning mv.

Af hensyn til tilstopning, kan der om vinteren ikke anvendes grus til glatføringsbekæmpelse. Er der behov for at fjerne sne om vinteren ved brug af sneplove, er det vigtigt at sikre, at ploven ikke skader belægningens overflade, fx ved udelukkende at anvende plove med en gummi kant.

12.10.7 Arkitektoniske muligheder

Den permeable beton kan anvendes på traditionel vis til veje og parkering, hvor betonen ikke har andet formål end af opfylde nogle praktiske krav til funktion og ydeevne. Men der er også mulighed for at anvende den permeable beton på en mere holistisk vis, hvor den bidrager til at skabe rum i bymiljøerne.

Permeabel beton er som almindelig beton formbar og kan derfor formgives, som det ønskes, og som den valgte udlægningsmetode tillader. Der er derfor mulighed for at arbejde med mere organiske former. I Figur 16 er der vist et eksempel på en sti i permeabel beton udlagt hos Teknologisk Institut. Stien er designet af Tredje Natur, og har en bredde der varierer fra cirka 0,5 meter til 2,0 meter.

Figur 16

Sti i permeabel beton udlagt hos Teknologisk Institut i 2022 med asfaltudlægger. Foto: Teknologisk Institut



Den permeable beton kan udlægges i kombination med ikke permeabel beton, eller med en permeabel beton med en anden stenstørrelse. Det giver nogle forskellige udtryk i overfladestrukturen og kan fx bruges til at forme/afgrænse områder. Betonen kan også have forskellige farver, bl.a. ved at anvende forskellige cementtyper, tilsætninger eller farvepigmenter.

I Figur 17 ses et eksempel på et blå permeabelt betonemne, som er sammenstøbt med en ikke permeabel beton.

Figur 17

Eksempler på brug af farver
og forskellige strukturer.
Foto: Teknologisk Institut



12.10.8 Litteratur

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. Enhancing the Ability of Pervious Concrete to Remove Heavy Metals from Stormwater, Holmes, R.R., Hart, M.L. and Kevern, J.T, 2017
4. Estimating the Modulus of Elasticity of Pervious Concrete Based on Porosity, Ashraful Alam, Liv Haselbach, 2014
5. 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.
6. Frostbestandighed af drænbeton, Anne Sofie Hyldtoft Olsen, Rune Malthe Knudsen, 2018
7. Klimafilterbeton, Teknologisk Institut, 2023
8. Long-term Field performance of pervious concrete pavement, Aleksandra Radlinska, Andrea Welker, Kathryn Greising, Blake Campbell, David Littlewood, 2012
9. Maintenance and Repair Options for Pervious Concrete, John T. Kevern, 2010
10. Performance Assessment of Portland Cement Pervious Pavement, Marty Wanielista, Manoj Chopra, Josh Spence, Craig Ballock, 2007
11. Permeable in-situ støbte belægninger, Teknologisk Institut, 2016
12. Permeable belægninger – Viden og dokumentation, COWI, 2015
13. 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
14. 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
15. Superdrænende betonbelægninger, Teknologisk Institut, 2018