



ANVISNING FOR PERMEABLE BEFÆSTELSER I BETON OG ASFALT



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Anvisning for permeable befæstelser i beton og asfalt

1. udgave, 1. oplag
Juni, 2021

© Teknologisk Institut, Betoncentret
Udgivet af Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-91461-60-6

Forord

Permeable befæstelser har et stort potentiale til håndtering af de øgede nedbørsmængder, som ses i stigende grad. Men der er et behov for bedre forståelse af mulige anvendelser og principper for de konstruktionsmæssige opbygninger. Denne anvisning introducerer og inspirerer til anvendelsen af permeable befæstelser.

Anvisningen er baseret på praktiske erfaringer, hvor der både findes gode og mindre succesfulde eksempler. Overordnet viser erfaringerne, at det er vigtigt, at projekterne følges tæt, og at man samtidig rådfører sig med erfarne rådgivere. Anvisningen skal derfor ikke ses som en vejledning til projektering af permeable befæstelser, men det er formålet at bidrage til at øge udbredelsen af permeable befæstelser som anlægsløsning.

Anvisningen henvender sig til aktører der arbejder med bl.a. byplanlægning, vejinfrastruktur og klimatilpasning af byer. Den er udarbejdet af Teknologisk Institut, Betoncenteret, i samarbejde med styregruppen, som er listet på denne side. Repræsentanter for disse virksomheder og organisationer har deltaget i projektets styregruppe, og har herigennem varetaget den overordnede beslutningstagen i forbindelse med udarbejdelsen af anvisningen. Derudover har medlemmerne af styregruppen ydet et økonomisk tilskud til udarbejdelsen af anvisningen.

- Billund Lufthavn
- Bo Midtgaard
- Colas Danmark A/S
- Dansk Beton, Belægningsgruppen
- Dansk Beton, Fabriksbetonforeningen
- Dines Jørgensen & Co. A/S
- Danmarks Tekniske Universitet
- Frederiksberg Kommune
- Grundfos Danmark A/S
- HOFOR A/S
- Københavns Universitet
- NCC Industry A/S
- Orbicon A/S
- Skanderborg Forsyning A/S
- Teknologisk Institut
- Tyréns A/S
- Vandcenter Syd A/S
- Vejdirektoratet
- VEJ-EU
- VIA University College, Forskningscenter for byggeri, energi, vand & klima
- Aalborg Kommune
- Aalborg Universitet

Indhold

INLEDNING	7
Baggrund	7
Formål	7
OPBYGNING OG ANVENDELSER	8
Principper for opbygning og afledning af regnvand	8
Typer af anvendelser	11
LOVGIVNING	12
Ansvarsforhold og gældende lovgivning	12
Lovgivningens betydning	12
PERMEABLE BEFÆSTELSESTYPER	14
Belægningssten med permeable fuger	14
Permeabel asfalt	16
In-situ støbt permeabel beton	18
Nicheløsninger	19
FORUNDERSØGELSER	20
Afvandingsbehov	20
Afstanden til grundvandsspejl	20
Underbundens nedsivningsevne	20
Grundvandsbeskyttelse	21
DIMENSIONERING	24
Styrkemæssig dimensionering	24
Hydraulisk dimensionering	24
UDFØRELSE	28
Underbunden	28
Ubundet bærelæg	28
Belægningssten med permeable fuger	29
Permeable asfaltbelægninger	30
In-situ støbt permeabel beton	31
DRIFT OG VEDLIGEHOLD	32
Drift- og vedligeholdelsesplanlægning	32
Ændringer i brugen af en permeabel befæstelse	32
Belægningssten med permeable fuger	34
Permeable asfaltbelægninger	34
In-situ støbt permeabel beton	34
Eksempler på erfaringer	35
GUIDE TIL LØSNINGSVALG	36
ORDLISTE	38
REFERENCER	41



Indledning

BAGGRUND

I Danmark har klimaforandringerne betydet en stigning i mængden og intensiteten af nedbør. Som følge heraf, oplever flere danske byer udfordringer med oversvømmelser. Det nuværende kloaknet er ikke bygget til at skulle håndtere de store nedbørsmængder, som kan forekomme i dag. En udbygning af kloaknettet er både omkostningstungt og tidskrævende. Derfor er der opstået et behov for flere løsninger til vandhåndtering, fx ses et øget fokus på LAR-løsninger (Lokal Afledning af Regnvand).

Da de befæstede arealer i terræn udgør 30-50% af byrummets samlede overflader, kan disse med fordel indtænkes, når håndteringen af de øgede nedbørsmængder skal planlægges. I den klimatilpassede by kan byens befæstelser, herunder veje, parkeringsarealer, pladser og cykelstier, også benyttes til at håndtere regnvand. Her har permeable befæstelser et stort potentiale i forhold til at aflaste kloaknettet gennem lokal nedsivning af vandet og/eller til forsinkelse af vandet inden det ledes til kloaknettet. Derudover har permeable befæstelser potentiale til at bidrage til vandrensning samt til at øge fordampningen, og derved bidrage til at modvirke varmeøeffekten.

FORMÅL

Anvisningens formål er at introducere og inspirere til anvendelse af permeable befæstelser, når den klimarobuste by skal planlægges, etableres og driftes. Anvisningen bygger på eksisterende praktiske erfaringer med permeable befæstelser. Den kan bl.a. benyttes til at understøtte valg af permeable befæstelsestyper, og til at understøtte samarbejdet mellem aktørerne i et anlægsprojekt.

Anvisningen er primært målrettet følgende aktører:

- Ejere og forvaltere af befæstede arealer, herunder bl.a. kommuner og forsyningsselskaber
- Arkitekter og rådgivende ingeniører
- Entreprenører
- Developere/ejendomsudviklere
- Myndigheder

Opbygning og anvendelser

Traditionelle, impermeable befæstelser i byområder bortleder vandet på overfladen af belægningen til afløbssystemet. Permeable befæstelser dræner vandet igennem befæstelsen, og fjerner således vandet fra belægningens overflade. Der kan både ske opsamling af det vand der rammer på de permeable befæstelser, og af det vand der falder på de omkringliggende områder, herunder fx bygningstage. Det er essentielt for samtlige anvendelser af permeable befæstelser, at man allerede i planlægningsfasen indtænker den rette plan for løbende drift og vedligeholdelse, så befæstelsens permeabilitet opretholdes i hele dens levetid.

Permeable befæstelser kan samtidig fungere som en faskine eller et forsinkelsesbassin indtil vandet kan nedsives, fordampe eller ledes bort. Det betyder, at det eksisterende afløbssystem aflastes, og eventuelle udgifter til renovering og udvidelse af det eksisterende system kan undgås eller mindskes. Permeable befæstelser kan både bruges som en del af et større LAR-anlæg eller som en enkeltstående løsning.

Udover de nævnte fordele kan permeable befæstelser også bidrage til at øge trafikikkerheden, forebygge vandskader og mindske risikoen for forurening fra overbelastede afløbssystemer.

PRINCIPPER FOR OPBYGNING OG AFLEDNING AF VAND

En permeabel befæstelse er udgjort af en permeabel belægning som udlægges ovenpå et permeabelt ubundet bærelag. Desuden kan der udlægges et geonet eller et filterlag mellem det ubundne bærelag og underbunden, som kan bidrage til at sikre adskillelse mellem lagene.

Permeable befæstelser anlægges med henblik på nedsivning, opmagasinering eller en kombination af de to metoder til vandhåndtering. Ved nedsivning forstås permeable befæstelser, hvor bortledning af regnvandet baserer sig udelukkende på lokal nedsivning, typisk direkte gennem råjordplanum, men det kan også være ved et bunddræn der leder vandet til infiltration udenfor den permeable befæstelse eller til nærtliggende recipient. Ved opmagasinering forstås en permeabel befæstelse der udelukkende etableres for midlertidigt at opbevare vandet, og forsinke det på dets vej til ledningsnettet. Ved kombination af de to metoder håndterer man hverdagsregn og mindre kritiske nedbørshændelser ved nedsivning og fordampning, mens større nedbør ledes til afløbssystemet via et dræn.

Løsningsvalget er betinget af den vandtekniske udfordring der skal løses, altså hvorvidt det er muligt og tilladt at nedsive vandet, eller om befæstelsen blot

” Drift og vedligehold skal indtænkes allerede i planlægningsfasen



PERMEABILITET

Permeabiliteten er et udtryk for, hvor hurtigt vandet kan løbe igennem befæstelsen. Den nødvendige permeabilitet kan bestemmes på baggrund af den nedbørsintensitet, som befæstelsen skal optage. Typisk vil permeabiliteten af belægningen være mindre end for det ubundne bærelag. Derfor er belægningens permeabilitet ofte dimensionsgivende. Permeabiliteten af belægningen afhænger bl.a. af den valgte belægningstype, materialesammensætning og opbygning. Permeabiliteten vil i høj grad variere afhængigt af bl.a. design, brug og lokale forhold.

skal fungere som magasin før regnvandet ledes til et afløbssystem.

Nedsivning

Regnvandet nedsives gennem befæstelsen og videre gennem underbunden. Denne opbygning kan anvendes, når underbunden er tilstrækkelig permeabel og når det vurderes miljømæssigt forsvarligt. Man skal være opmærksom på, at det typisk ikke er enkeltstående regnhændelser der er den primære udfordring i forhold til nedsivning, derimod er det de koblede regnhændelser (hvis bassinet ikke når at tømmes inden næste regnhændelse), som kan forårsage problemer. Dette ses ofte i efteråret og vinteren.

Bortledning via dræn

Befæstelsen kan anvendes som et forsinkelsesbassin, hvor vandet ledes til bærelaget, der opbevarer vandet inden det bortledes via dræn til afløbssystem eller recipient. Løsningen anvendes typisk, når der ikke kan eller må nedsives vand, fx pga. grundvandsinteresser, en impermeabel underbund, en underbund, der ikke kan tåle opfugtning, højt grundvandsspejl, for lille afstand til recipient eller pga. forurenede jord eller regnvand. Metoden benyttes også til at minimere risikoen for at vand trænger ind i kældre ved nærtstående bygninger, da afløbssystemet aflastes.

Kombination af nedsivning og bortledning via dræn

Befæstelsen anvendes både som forsinkelsesbassin og til nedsivning. Befæstelsen forsynes med et dræn, enten som et udløb (på planum) eller som overløb (hævet op i bærelaget), så regnvandet kan ledes til afløbssystem eller recipient når regnintensiteten og -mængden overstiger nedsivningsevnen. Denne opbygning anvendes fx når underbunden ikke er tilstrækkelig permeabel til at håndtere den dimensionsgivende regnhændelse, eller som et mere omkostningseffektivt alternativ til løsninger med bortledning via dræn, hvor man ønsker høj sikkerhed mod lokale oversvømmelser og hvor de miljømæssige risici er minimale.

En analyse foretaget af Københavns Universitet har vist at 37,5% af nuværende befæstelser kunne ombygges til permeable løsninger baseret på nedsivning. Potentialet kan være helt op til 87% hvis de permeable befæstelser anlægges med en tæt membran på råjordsplanum og langs vejkassens sider, så effekten er at en del af nedbøren fordampes, mens resten forsinkes på sin vej til afløbssystemet. Denne metode kan benytte tættere på bygninger, ved højt grundvandsspejl eller hvis jorden på anden vist ikke er egnet til nedsivning [12].

PRINCIPPER FOR VANDAFLEDNING

Nedsivning

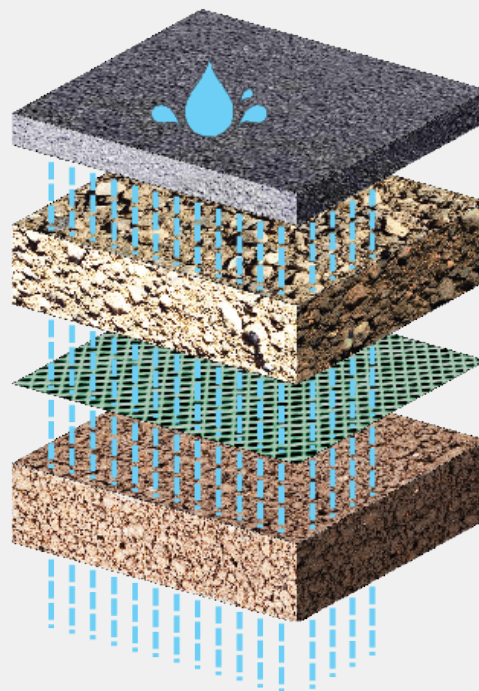
Principskitse af permeabel befæstelse med nedsivning. Her ses permeabel asfalt ovenpå et permeabelt ubundet bærelag, et filterlag og en permeabel underbund.

Bortledning via dræn

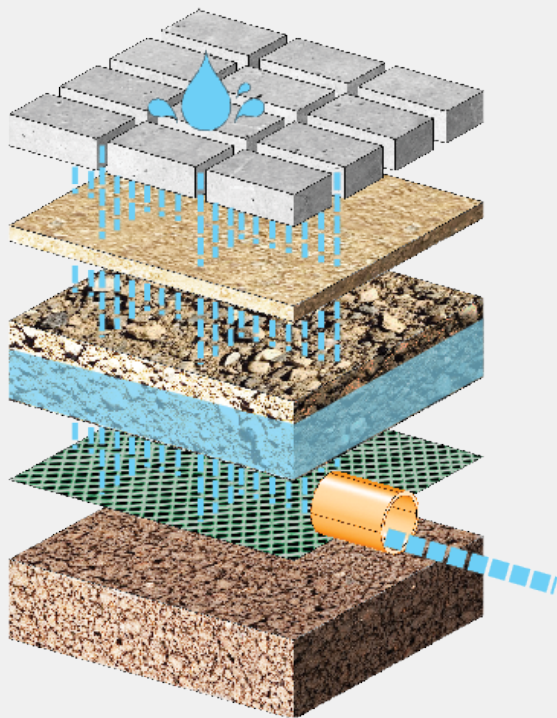
Principskitse af permeabel befæstelse uden nedsivning. Her ses belægningssten med permeabel fuge, et permeabelt afretningslag og et permeabelt ubundet bærelag. Herudover en tæt membran som sikrer, at vandet ikke siver videre ned i en ikke-nedsivningseget underbund, og et dræn der leder vandet til afløbssystem eller recipient.

Kombination af nedsivning og bortledning via dræn

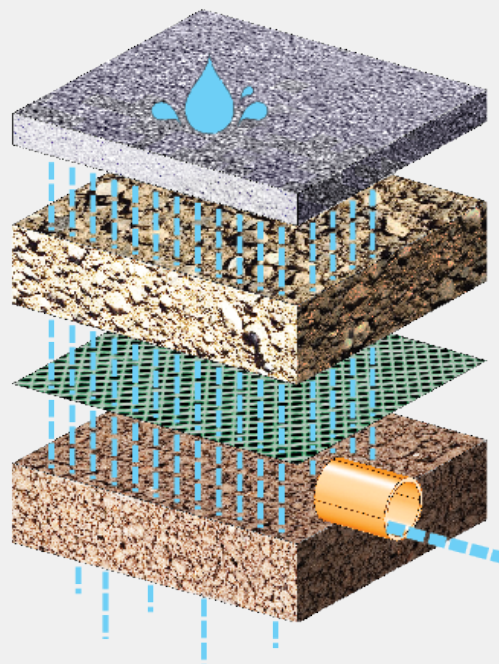
Principskitse af permeabel befæstelse med delvis nedsivning. Her ses permeabel in-situ støbt beton ovenpå et permeabelt ubundet bærelag, eventuelt et filterlag og en delvist permeabel underbund.



Nedsivning



Bortledning via dræn



Kombination af nedsivning og bortledning via dræn



FROSTBESTANDIGHED AF PERMEABLE BEFÆSTELSER

Hvis det ubundne bærelag er delvist vandfyldt når det fryser, vil udvidelsen typisk blot udfylde de tomme hulrum. Erfaringsmæssigt er der ikke vand i belægningen under frost. Det skyldes, at der sjældent kommer frost lige efter dimensionsgivende regnhændelser, derfor kan vandet typisk nedsive eller bortledes inden det fryser.

TYPER AF ANVENDELSER

Permeable befæstelser kan generelt anvendes i byområder, fx veje eller parkeringspladser, eller på privat grund, for at mindske risikoen for oversvømmelser af infrastruktur, bygninger og omkringliggende arealer. De kan både bruges som en del af et større LAR-anlæg eller som enkeltstående løsning. Det kan være særligt fordelagtigt at anvende permeable befæstelser i områder, hvor der pga. krav til infrastrukturen, ikke er den nødvendige plads til at etablere andre LAR-løsninger.

Da permeable belægninger har indbyggede hulrum til at nedsive og opmagasinere vand, vil de ofte have en lavere bæreevne, og derfor være mere følsomme overfor tung trafik end traditionelle, impermeable belægninger. Det har derfor stor betydning, at belægningen er dimensioneret og opbygget, så den både hydraulisk og bæreevnmæssigt er egnet til den aktuelle og fremtidigt forventede trafikbelastning.

Trafikbelastning

Befæstelser med lav trafikbelastning omfatter fx pladser, cykelstier, parkeringspladser, gader, sekundære veje i byer og landeveje [2]. Permeable befæstelser er typisk velegnede på disse områder pga. den begrænsede tunge trafik, som udfordrer holdbarheden. Samtidig vil regnvand som afstrømmer fra disse arealer ofte være af så god kvalitet, at nedsivning uden rensning tillades. Hvis man planlægger at etablere en permeabel befæstelse på mere trafikerede veje, er det af

stor betydning, at vejen er opbygget så den også bæreevnmæssigt er egnet til den aktuelle og fremtidigt forventede trafikbelastning. Samtidig bør vandkvaliteten undersøges, så eventuel rensning kan indtænkes i planlægningen af befæstelsen.

Gevinsten ved anvendelse af permeable befæstelser på landeveje vil i de fleste tilfælde være begrænset. Det skyldes, at de traditionelle drænsystemer, fx grøfter og anden afledning til recipient, typisk er tilstrækkeligt til håndtering af vandmængden.

Befæstelser som skal håndtere høj trafikbelastning, omfatter fx industriparkingspladser, veje med særlig tung trafik, rundkørsler og motorveje [2]. I Danmark anvendes permeable befæstelser ikke på de nævnte områder, da belægningerne ofte har en lavere modstandsdygtighed overfor tunge vridende kræfter, og derfor vil holdbarheden ofte være utilstrækkelig til den pågældende anvendelse.

Trafikbelastningen har desuden en betydning for mulighederne for nedsivning og udledning af regnvand til recipient. Ved højere trafikbelastning vurderes det typisk, at regnvandet skal ledes til kloak, da det pga. risiko for forurening ikke kan nedsives.

Lovgivning

Anlæg af permeable befæstelser er omfattet af lovgivning der regulerer vejarealer og andre ubebyggede arealer, samt love der regulerer håndtering af regnvand, herunder lokal infiltration og udledning til recipient.

Lovgivning og standarder der omfatter vejregler, sigter på at holde vejen farbar og i en rimelig forsvarlig stand, fx så regnvand ikke opstaves på vejens overflade i en sådan grad, at det udgør en sikkerhedsmæssig risiko. Love til regulering af regnvand har til formål at sikre, at miljøfremmede stoffer håndteres forsvarligt samt at sikre omkringliggende værdier fra indtrængende vand.

ANSVARFORHOLD OG GÆLDENDE LOVGIVNING

Når regnvand rammer en belægning der har status af offentlig vej, private fællesvej, eller privat vej, er der tale om vejvand der skal håndteres som spildevand i henhold til gældende lovgivning. Hvis regnvandet skal nedsives, udledes til kloak eller ledes til recipient, er dette reguleret via Miljøbeskyttelsesloven (Spildevandsbekendtgørelsen). Miljøbeskyttelsesloven gælder overalt. Loven skal medvirke til at værne om natur og miljø samt regulere udledning og nedsivning af regnvand.

Den gældende miljølovgivning og kravene til myndighedsbehandlingen afhænger af det pågældende områdes status og anlæggets udformning. Det er generelt gældende, at kommunen skal give tilladelse til nedsivning, udledning og tilslutning til afløbssystemet. Kommunen kan herudover stille krav til vandmængder samt rensning af regnvandet. Det er således den enkelte kommunale miljømyndighed som afgør hvilke vilkår der fastlægges i det enkelte tilfælde. For nedsivning

gælder desuden en række afstandskrav i forhold til vandindvindingsboringer, vandløb, grøfter, søer og havet. Forsyningsloven gælder når et forsyningsselskab medfinansierer permeable befæstelser på kommunal eller privat grund, samt på forsyningsselskabets egen grund. Reguleringen omfatter også hvilke drifts- og vedligeholdelsesudgifter et forsyningsselskab må afholde.

LOVGIVNINGENS BETYDNING

Ved anlæg på privat grund, fx indkørsel, parkeringsplads, stier eller terrasse, skal Bygningsreglementets bestemmelser overholdes, hvilket bl.a. omfatter at belægninger anlægges med fald væk fra bygninger, og at nedsivning af regnvand bør ske i en afstand på minimum 5 meter fra bygninger med kælder og minimum 2 meter for bygninger uden kælder samt udhuse/skure. I tilfælde hvor soklen er sikret med fx dræn eller vandtætning, kan der gives tilladelse til nedsivning langs bygningen. Ved anlæg hvorfra regnvand nedsives lokalt fra en privat vej, skal der afhængig af områdets status, vejens karakter og praksis søges tilladelse hos den lokale miljømyndighed. Den private vej skal sikres og holdes fremkommelig efter Privatvejlovens bestemmelser.

Det er altid vejejerer der afholder udgifter til sikring og fremkommelighed, og det er i udgangspunktet også vejejerer der har ansvar for drift og vedligehold af den permeable befæstelse med henblik på at opretholde den spildevandstekniske funktion. Men forsyningsselskabet kan via ordningen om medfinansieringsprojekter bidrage økonomisk og praktisk. Forsyningsselskabet kan også medfinansiere anlægsudgifter til anlæg på privat eller kommunal grund.



LOVGIVNING OG BEKENDTGØRELSE

Offentlige veje hører under Lov om offentlige veje m.v., LOV nr. 1520 af 27/12/2014 (Vejloven).

Private veje hører under Privatvejsloven. LBK nr. 1234 af 04/11/2015. Bekendtgørelse om lov om private fællesveje.

Spildevandsbekendtgørelsen nr. 1317 af 04/12 2019 angiver, hvordan spildevand og regnvand bortskaffes.

På *privat grund* gælder Bygningsreglementet. BEK nr. 1615 af 13/12/2017.



PRIVATE FÆLLESVEJE OG OFFENTLIGE VEJAREALER

Private fællesveje skal som private veje sikres og holdes fremkommelige, og den lokale miljømyndighed skal ansøges om tilladelse til nedsivning.

På offentlige vejarealer er krav til sikring og fremkommelighed reguleret via lov om offentlige veje og den lokale myndighed skal ansøges om tilladelse til infiltration.

Permeable befæstelsestyper

Der findes en række typer permeable belægninger med forskellige karakteristika. Typisk drænes vandet enten gennem permeable fuger eller gennem en åben porestruktur i hele belægningsmaterialets overflade og dybde. Herudover findes der andre specialprodukter, som løbende udvikles af producenter, arkitekter og andre interessenter. Der findes også løsninger, som korrekt dimensioneret kan benyttes til håndtering af vand fra arealer med mindre trafiklast, fx græsarmering.

Anvisningen gennemgår følgende belægningstyper:

- Belægningssten med permeable fuger
- Permeable asfaltbelægninger
- In-situ støbt permeabel beton

Senere afsnit i denne anvisning introducerer til dimensionering, udførelse samt drift og vedligeholdelse for de ovenstående tre belægningstyper.

BELÆGNINGSSTEN MED PERMEABLE FUGER

Ved denne løsning foregår nedsvivningen udelukkende gennem fugerne mellem belægningsstenene, hvilket er årsagen til, at særligt fugestørrelsen og fugematerialet er vigtigt for funktionaliteten.

Fugematerialets kornkurve er væsentlig for belægningens permeabilitet, både umiddelbart efter belægningens etablering og i løbet af hele driftsfasen. Har fugematerialet små kornstørrelser, vil fugen hurtigere blive stoppet til og afvandingskapaciteten vil være mere begrænset. Men er kornstørrelserne for store, kan det være en udfordring at sikre, at belægningsstenene ligger stabilt.

Belægningsstenene produceres som traditionelle belægningssten i beton, og adskiller sig kun ved produktformatet. Til permeable belægninger er belægningsstenene designet til at give et forholdsmæssigt større fugeareal end det er tilfældet for traditionelt anlagte belægningssten. For en permeabel belægning med belægningssten, bør fugearealet typisk udgøre 10% af overfladearealet. Fliser med permeable fuger kan også anvendes.

”

For en permeabel belægning med belægningssten, bør fugearealet typisk udgøre 10% af overfladearealet

Helenevej, Frederiksberg

I 2014 blev der på Helenevej, Frederiksberg, anlagt en permeabel befæstelse på 1.000 m² baseret udelukkende på nedsivning. Befæstelsen er opbygget af betonsten med 15 mm fuger med skærver, som er anlagt på et 40 cm tykt permeabelt ubundet bærelag. Vejen er i dag ejet af kommunen, men var inden ombygningen en privat fællesvej med et vedligeholdelseefterslæb. Beboerne betalte omkostningerne svarende til en almindelig genopretning, og forsyning og kommune betalte det resterende af investeringen.



Køge Campus

På Køge Campus blev der i 2017 anlagt en permeabel befæstelse på en 10.000 m² stor parkeringsplads. Belægningens bæreevne er dimensioneret til at håndtere en T2-belastning. Under betonstenene er der lagt et permeabelt ubundet bærelag i 50 cm tykkelse. Befæstelsen er designet til opmagasinering af 900 m³ vand og ved spidsbelastning op til 1500 m³ vand.



Søndergade, Bredebro

På en parkeringsplads ved et supermarked i Bredebro, blev der i 2017 anlagt 530 m² betonsten med permeable fuger. Betonstenene er anlagt med ca. 10% nedsivningsareal. Befæstelsen er opbygget af 40 cm permeabelt ubundet bærelag, og anlægget er dimensioneret til at kunne håndtere 31,8 m³ vand og en spidsbelastning på 63,6 m². Pladsen håndterer nemt en 10-års hændelse (ca. 3x skybrud á 2,5 m³).



PERMEABEL ASFALT

Permeabel asfalt har i de seneste år vundet større indpas på det danske marked som en mulig klimatilpasningsløsning. Der er bl.a. også gennemført flere større danske forsknings- og udviklingsprojekter med fokus på at udvikle, optimere og dokumentere permeable asfaltbelægnings.

Materialesammensætningen af en permeabel asfalt har stor betydning for materialets egenskaber. Permeable asfaltbelægnings består typisk af granitskærver som tilslag, hvortil en klæbeaktiv filler tilsættes og blandes med bindemidlet, bitumen. Granitskærver benyttes pga. tilslaget gode styrkeegenskaber, som bidrager til belægningens styrke og holdbarhed. Stenstørrelsen og kornfordelingen har ligeledes stor betydning, idet en større stenstørrelse giver en mere åben porestruktur, som skaber effektiv

vandgennemstrømning og øger evnen til at bevare permeabiliteten i løbet af driftsfasen. Grundet den åbne porestruktur, udgør bindemidlets egenskaber en væsentlig parameter for permeable asfaltbelægningers holdbarhed. Oftest anvendes et polymermodificeret bindemiddel med øget elasticitet, smidighed og vedhæftningsevne.

Udover at have drænende egenskaber, har permeabel asfalt pga. den åbne porestruktur også en vis støjreducerende effekt. På en permeabel asfalt med 11 mm maksimal kornstørrelse blev der på Korsdalsvej i Rødovre i 2016 målt en støjreduktion på 3 dB [1].

Permeable asfaltbelægnings kan ikke anvendes som afvandingsrende, fx placeret i vejens ene side, da snavs fra vejbanen hurtigt vil tilstoppe belægningen.

”

Permeabel asfalt har en påvist støjreducerende effekt

Solnavej, Gladsaxe

I 2016 blev der i forbindelse med et stort LAR-projekt på Solnavej i Gladsaxe anlagt ca. 1.600 m² drænasfalt på en opbygning af et ubundet permeabelt bærelag. Vejen fungerer under hverdagsregn som nedsivningsanlæg for eget vand, for tilstødende P-pladser og fortov samt et tagareal på yderligere 460 m². Under skybrud belastes vejen yderligere af vand, der strømmer til fra et større opland.



Bredagervej, Tårnby

På Bredagervej i Tårnby blev der i 2017 anlagt 765 m² permeabel asfalt. Opbygningen består af 9 cm permeabel asfalt, som blev udlagt i to lag, hhv. 6 + 3 cm (hulrum på hhv. 23 og 20%). Herunder et 2x 40 cm permeabelt ubundet bærelag (hulrum på 30%) opdelt af en membran bestående af 10 cm impermeabelt bentonit-ler, som forhindrer direkte nedsivning. Vejen er anlagt med integreret vandrensingsanlæg og mulighed for at afkoble fra det kommunale vandafledningssystem. Anlægget har et indbyggingsvolumen på ca. 680 m³.



Toftevej, Gadstrup

Toftevej i Gadstrup var tidligere en grusvej, hvorigennem regnvand blev nedsivet. Den permeable asfaltbelægning udgøres af 750 m² vej og en mindre parkeringsplads. Der er anlagt en bund af 40 cm permeabelt ubundet bærelag, hertil et asfaltbærelag på 8 cm og et asfaltslidlag på 3 cm. Befæstelsen er anlagt med delvis nedsivning og dræn, men kun ved ekstremregn gøres der brug af det indbyggede dræn. Drænet ligger i toppen af de ubundne bærelag, så hele opbygningen kan opmagasinere regnvand.



IN-SITU STØBT PERMEABEL BETON

I Danmark findes der få eksempler på brug af in-situ støbt permeabel beton som belægning, men flere udviklingsprojekter undersøger og udvikler in-situ støbt permeabel beton tilpasset til de klimatiske forhold i Skandinavien. I USA har man derimod opsamlet erfaringer med løsningen igennem 30 år.

In-situ støbt permeabel beton minder på flere områder om permeabel asfalt, men adskiller sig ved at anvende cementpasta (cement + vand) som binder i stedet for bitumen. Belægningen består som minimum af tilslag, cement og vand. Tilslagssammensætningen for in-situ støbt permeabel beton består typisk kun af én stenfraktion hvilket sikrer en høj permeabilitet, fx 4/8. Dog suppleres ofte med lidt sand for at øge belægningens styrke.

”

In-situ støbt permeabel beton består typisk kun af én stenfraktion

Gl. Kirkevej, Støvring

I 2018 blev der på Gl. Kirkevej i Støvring anlagt en lagerplads med permeabel in-situ støbt beton. Lagerpladsen er inddelt i forskellige felter, hvor der anvendt forskellige stenstørrelser. Betonen er udlagt med en tykkelse på 150 mm ovenpå et permeabelt ubundet bærelag med nedsivning. På lagerpladsen kører der truck og lastbiler samt opbevares betonprodukter.



NICHELØSNINGER

Udover de primære løsninger, som anvisningen fokuserer på, findes der en række nicheløsninger indenfor permeable belægninger.

I gennem de seneste år har flere typer af åbne belægningssten og -fliser været under udvikling. Permeabiliteten af denne type produkter stammer typisk enten fra gennemgående huller eller riller i produktet, eller fra forskellige materialesammensætninger, hvorigennem vandet kan

drænes. Denne type permeable produkter har således ikke ens materialesammensætninger, styrker og holdbarhed, men vil typisk være produceret i beton. Nogle produkter findes allerede på markedet, mens andre er udlagt på forsøgstrækninger. Enkelte eksempler ses herunder.

Metoder til udlægning samt drift og vedligehold varierer afhængig af den pågældende løsning. Producentens vejledning bør altid følges.

Amagerbrogade, København

I 2018 blev der anlagt 200 m permeabelt linjedræn i beton på Amagerbrogade i København. Vandet nedsiver igennem produktets overflade og ledes via indbygget rør til kloaksystemet.



Heimdalsgade, København

På Heimdalsgade i København blev der i 2018 anlagt 50 m² permeabel fortovsflise. Vandet siver via drænhuller fra overfalden og ned i et integreret faskine- og vandhåndteringssystem. Flisen har herudover indbyggede hulrum til opmagasinering af vand.



Lille Dalbyvej, Hedensted

På Lille Dalbyvej i Hedensted er der under det ubundne bærelag inkorporeret 800 m jordvarmeslanger, som overfører energien fra regnvandet inden vandet ledes til et regnvandsbassin. Jordvarmeanlægget er tilkoblet en varmepumpe til det nærliggende børnehus, og løsningen leverer energi så deres samlede energibehov dækkes. Vejens samlede areal er 400 m², hvilket er belagt med to lag asfalt, hhv. i 11 og 2,5 cm. Det permeable ubundne bærelag er 100 cm tykt, det har et 30% hulrum og en kapacitet på 120 m³ vand. Herudover er der udlagt drænsystem ved hvert asfaltlag, som muliggør at både infiltrationsevnen og forsinkel-sespotentialet kan måles for hvert af de to lag.



Forundersøgelser

Inden det besluttes om der skal etableres en permeabel befæstelse, er det nødvendigt at foretage en række forundersøgelser for at afdække, hvorvidt det pågældende område er egnet til en sådan opbygning.

Følgende forhold bør undersøges:

- Afvandingsbehov
- Afstand til grundvandsspejl
- Underbundens nedsivningsevne
- Grundvandsbeskyttelse

AFVANDINGSBEHOV

Det er vigtigt, at den permeable befæstelse dimensioneres til det opland og den regnhændelse (typisk 5- eller 10-års hændelse), den skal håndtere regnvand fra. Terrænets fald bør undersøges, så det identificeres hvor regnvandet strømmer og magasineres, når afløbssystemer og LAR-løsninger bliver overbelastet. Strømningsveje og oversvømmelsesområder fastlægges med udgangspunkt i en digital højdemodel. Det bør herudover undersøges, hvilke oplysninger som er tilgængelige vedrørende eksisterende afløbssystemer.

Oplysninger om terræntyper og højdekurver bør sammenholdes med kortoplysninger fra kommunen, der som vandressourcemyndighed administrerer jordarts- og potentialekort. Desuden kan der findes oplysninger om jordbundsforhold fra eksisterende og sløjfede geotekniske borer i "Jupiterdatabasen" på GEUS' hjemmeside.

AFSTAND TIL GRUNDVANDSSPEJL

Afstanden til grundvandet bør ligeledes bestemmes. Hvis det observerede grundvandsspejlsniveau er tæt på terræn, bør det over en længere periode iagttages, for at vurdere om nedsivning er et problem. Hvor nødvendigt bør både primært og sekundært grundvandsspejl vurderes.

Grundvandet skal stå under underkanten af befæstelsen. Typisk kræver kommuner min. 1 m i dybde fra råjordsplanum til grundvandsspejlet.

Ved afledning af vand fra større arealer til nedsivning, skal der gennemføres en vurdering af, om anlægget kan føre til uønsket stigning af grundvandsspejlet. Jordartskort fra GEUS kan give indikationer af de terrænnære grundvands- og jordbundsforhold, fx hvor der er tørve- og dyndaflejringer, som indikerer højt grundvand [6].

UNDERBUNDENS NEDSIVNINGSEVNE

Underbundens nedsivningsevne på en given lokalitet er definerende for valget af befæstelsens opbygning. Jordbundens permeabilitet skal undersøges, herunder også tykkelsen af den permeable underbund, idet denne som minimum skal være 1 m for at nedsivningsevnen forventeligt kan opretholdes. Nedsivningsevnen, både i den dybde man vil nedsive i og i det dybere jordlag, bør bestemmes. Er jordbunden meget lidt permeabel, er det fortsat muligt at anlægge en permeabel belægning med bortledning via dræn.

Der skal til evaluering af nedsivningsevnen enten gennemføres geofysiske målinger eller nedsivningstest flere steder på arealet. Geofysiske målinger bestemmer modstandsværdier i forskellig dybde over et større areal, dermed kan sand- og grusforekomster lokaliseres. Nedsivningstest kan udføres som synketest i et udgravet hul eller ved hjælp af et infiltrometer ved anlæggets bund. Metoden til kontrol af de øvre jordlags nedsivningsevne findes yderligere beskrevet i Rørcenteranvisningen om LAR-Anlæg [6].

Nedsivningsevnen skal måles ved råjordsplanum, ellers fås et ikke-retvisende billede, og den efterfølgende dimensionering vil blive baseret på for usikre tal. Jord er meget uensartet, og der kan derfor være store forskelle på nedsivningsevnen selv inden for et relativt lille område. Derfor skal der altid indgå flere nedsivningstest, og resultaterne skal nøje vurderes forud for dimensionering.



Følgende bør undersøges som en del af forundersøgelsen:

- Hvor meget vand skal befæstelsen håndtere?
- Hvad er afstanden til grundvandsspejlet?
- Nedsivningsevnen skal undersøges
- Er der mulighed for nedsivning?

GRUNDVANDSBESKYTTELSE

Regnvand der afledes fra eller gennem befæstelser, er (i varierende grad) forurenede med både partikler og opløste forureningskomponenter. Det vurderes, at nedsivning af regnvand fra mindre trafikerede veje, pladser, stier mv., normalt ikke vil udgøre en risiko for forurening af den underliggende grundvandsressource.

Forureningen af regnvandet varierer ikke kun mellem forskellige oplande, den varierer også fra regnhændelse til regnhændelse indenfor samme opland, samt i forhold til tidspunktet i regnforløbet. Typen af stoffer vil afhænge af de kilder, der findes i oplandet, fx trafik, brændeovne, metaltage, zinktagrender, brug af sprøjtemidler mv. Disse kilder kan være utallige og også variere hen over året, fx er der i foråret stor sandsynlighed for at finde pesticider fra privat bekæmpelse af ukrudt, og om vinteren klorid fra glatførebekæmpelse med vejsalt. Enkeltaktiviteter i forbindelse med renovering af ejendomme, bilvask eller andet, kan ligeledes præge afstrømningen momentant.

De væsentligste forureningskomponenter omfatter tungmetaller og tjærestoffer, der i høj grad er bundet til partikler samt olieforbindelser, opløste metaller

og klorid. Hertil kommer risikoen for den forurening der kan ske ved eventuelle større spild. Klorid fra salt, som anvendes til glatførebekæmpelse, udgør et selvstændigt problem ved nedsivning af regnvand. Ved nedsivning bør man derfor enten bruge alternative glatførebekæmpelsesmidler eller gennemføre en lokal vurdering af konsekvenserne af at anvende vejsalt.

Inden det kan beslutes om vandet kan nedsives eller udledes til recipient, skal det undersøges, om der er særlige grundvandsinteresser og -beskyttelser samt fastsatte miljømål, som der skal tages højde for. I områder med følsomme grundvandsressourcer eller fx i boringsnære beskyttelsesområder (BNBO), skal der typisk foretages en nærmere vurdering af risikoen ved nedsivning gennem permeable befæstelser. Det er op til myndigheden at vurdere i de specifikke tilfælde.

I henhold til Spildevandsbekendtgørelsen, herunder Vandrammedirektivet, kan der stilles krav om rensning hvis udledning eller nedsivning af vandafstrømningen medfører en risiko for at recipienten ikke kan leve op til de fastsatte miljømål. Dette vil altid afhænge af den enkelte lokalitet, vandets forureningsprofil og recipientens sårbarhed.

Forekomst af jordforurening

Hvis jorden er forurenet, gives der normalt ikke nedsivningstilladelse, da nedsivningen kan mobilisere miljøfremmede stoffer og eventuelt transporterer de forurenende stoffer ned til grundvandet. Bortgravning af forurenet jord og efterfølgende anlæg af permeabel befæstelse er dog en mulighed. Afhængig af typen og graden af forurening, vil kommunen vurdere, om nedsivning er muligt. Hvis nedsivning ikke tillades, kan en permeabel befæstelse anlægges med dræn.

Indikation af vandrensende effekt

Erfaring indikerer, at permeable befæstelser kan bidrage til at filtrere regnvandet for en del partikler samt den partikelbundne forurening, som er i vandet. Hovedparten af den opløste forurening vil dog, sammen med en mindre del af partiklerne, passere gennem belægningen og ned igennem den permeable befæstelse. I befæstelser hvor vandet nedsiver, vil der ske yderligere rensning ved nedsivning gennem den underliggende jord. Denne rensning afhænger af jordtype og afstanden til grundvandsspejlet.

Der er begrænsede data for renssevnen i permeable befæstelser. I Danmark er der dog gennemført et monitoringsprogram for Gladsaxe Kommune. Her ses lavere koncentrationer i vejvandet end litteraturværdier for veje med lav trafikbelastning med få overskridelser af grundvandskvalitetskriterier [8].

Ved passage af den permeable belægning ses:

- Reduktion i BTEXN og generel reduktion af tungmetaller
- PAH er generelt under detektionsgrænsen i indløbsvandet. Kun Naphtalen og summen af PAH overskrider denne, og her ses en reduktion i koncentrationerne ved passage af belægningen
- Nøgen rensning for partikler og P
- Ikke entydig tendens for N og COD, og ingen effekt på klorid

Der er ikke gennemført langtidsstudier af renseseffekten i permeable belægninger, men ud fra en rent kvalitativ betragtning burde renseseffekten blive bedre i takt med at belægningen stopper til.

”

Hvis jorden er forurenet, gives der normalt ikke nedsivningstilladelse



Dimensionering

En korrekt dimensionering af den permeable befæstelse er essentielt for at sikre, at den kan imødekomme de behov, som forventes i forhold til bl.a. vandmængde og trafikbelastning. Det er derfor nødvendigt, at behovene for fremtidige belastninger vurderes. Dimensioneringen skal derfor omfatte både en styrkemæssig og en hydraulisk dimensionering.

STYRKEMÆSSIG DIMENSIONERING

Vejreglen 'Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger' [2], angiver princippet for dimensionering af traditionelle befæstelser til veje og pladser. Til denne vejregel er der udviklet et beregningsprogram, MMOPP, som oftest anvendes til dimensionering af den nødvendige tykkelse af belægningen og det ubundne bærelag.

MMOPP kan med omtanke benyttes til dimensionering af permeable asfaltbelægninger [14] og in-situ støbt beton. Det er dog væsentligt, at der ved beregningen anvendes passende E-værdier for de enkelte lag i opbygningen. Denne fremgangsmåde er nødvendig, indtil der i MMOPP er indført et designkriterium for permeable befæstelser.

Betonsten med permeable fuger dimensioneres typisk ligeledes efter ovenfor nævnte gældende Vejregel. Her benyttes katalogopbygninger, som baserer sig på stabilt grus. Disse kan anvendes når der benyttes permeable bærelag med samme E-værdi som traditionelle bærelagsmaterialer.

Drænbærelagets E-værdi

For permeable befæstelser skal det ubundne bærelag kunne vedholde en tilfredsstillende stabilitet i våd tilstand. Traditionelt anlagte ubundne bærelag skal holdes tørre i hele befæstelsens levetid, for at sikre den nødvendige bæreevne. De materialer, som anvendes ved traditionelle ubundne bærelag, har lav eller ingen

permeabilitet, derfor er det ikke muligt at benytte disse i permeable opbygninger. I stedet for skal der anvendes materialer, som er særligt designet til og som dokumenteret opfylder funktionskravene til anvendelse som permeabelt ubundet bærelag.

E-værdien for det ubundne bærelag er vigtigt, når der dimensioneres. E-værdien er et udtryk for materialets stivhed, jo højere E-værdier des stivere er materialet. E-værdier målt i skærver ligger typisk mellem 175-365 MPa [9]. For sorterede materialer, der ikke har skærvernes skarpe kanter, må E-værdien forventes at være mindre. Markedet tilbyder dog mindst et produkt, som garanterer en E-værdi på minimum 300 MPa og et hulrumsvolumen på 30% for det permeable ubundne bærelag [14].

Idet de ubundne bærelag ikke kun skal fungere som et bærende lag i opbygningen, men også som et bærende lag i vandfyldt tilstand, er E-værdien for det ubundne bærelag i vandfyldt tilstand også vigtig at kende.

HYDRAULISK DIMENSIONERING

Den hydrauliske dimensionering vil afhænge af, hvilken opbygning der er valgt til den permeable befæstelse, hvilken regnhændelse der dimensioneres efter, og hvor stort et areal befæstelsen skal håndtere vand fra.

Den permeable befæstelse dimensioneres med udgangspunkt i kommunens servicemål i det pågældende område. Det betyder, at belægningen typisk skal kunne håndtere en klimatilpasset 5- eller 10-års hændelse. Både nedsivningsanlæg og forsinkelsesmagasiner dimensioneres med udgangspunkt i Spildevandskomiteens regneark [10].

Dimensioneringen skal indbefatte alle der arealer, hvor regnvandet ledes til den permeable befæstelse. Herunder selve vejens areal samt arealet på de



tilstødende arealer, hustage, pladser mv., således det topografiske opland, hvorfra vand ledes til befæstelsen. Mange LAR-anlæg dimensioneres til en 5-års hændelse og indgår som sådan i en dimensionering, men potentialet for vandhåndtering er langt større. Beregninger har vist, at en bærelagsopbygning på 50 cm kan håndtere en 100 årsnedbør, selv med en relativt lav hulrumsprocent [12].

Hulrumsvolumen

Den nødvendige hulrumsvolumen i befæstelsen fastlægges på baggrund af kapacitetsbehovet for magasinering af regnvand, da det ubundne bærelag agerer magasin for vandet. Hulrumsprocenten bør være 25-30% for bærelaget. Ekstra volumen kan også indbygges, fx med faskiner.

Kommunen afgør hvilken overbelastningshyppighed der skal anvendes i dimensionering, dvs. hvor ofte det forventes, at mængde af regnvand overstiger befæstelsens kapacitet. Det er muligt at øge hulrummet for en permeabel befæstelse ved at øge hulrumsprocenten og tykkelsen af det ubundne bærelag.

Hvis den permeable befæstelse kun skal håndtere det vand der falder på belægningen, er det typisk den styrkemæssige dimensionering af befæstelsen, som er dimensionsgivende for befæstelsens nødvendige tykkelse. Hvis belægningen derimod også skal håndtere vand fra tilstødende arealer, kan det være tilfældet at den hydrauliske dimensionering definerer større tykkelser end hvad der er krævet styrkemæssigt.

Belægningens permeabilitet

Permeabiliteten er et udtryk for, hvor hurtigt vandet kan løbe igennem befæstelsen. Den nødvendige permeabilitet kan bestemmes på baggrund af den nedbørsintensitet, som befæstelsen skal optage. Typisk vil permeabiliteten af belægningen være mindre end for det ubundne bærelag. Derfor er belægningens permeabilitet ofte dimensionsgivende. Permeabiliteten af belægningen afhænger bl.a. af den valgte belægningstype, materialesammensætning og opbygning.

Hydraulisk dimensionering i praksis

For befæstelser med nedsivning, kan den hydrauliske dimensionering foretages vha. et regneark (se modstående side) udarbejdet af Spildevandskomiteen med tilhørende notat for dimensionering af LAR-anlæg [10]. Regnearket bruger en statistisk regnrække som beregningsgrundlag, og ikke en virkelig regnserie. Regnearket beregner den tykkelse af det permeable bærelag, som er nødvendig for at håndtere regnvandet. Regnearket kan ikke anvendes til den hydrauliske dimensionering ved delvis nedsivning eller ved opmagasinering og overløb til afløbssystem.

Hvis befæstelsen skal anvendes som bassin og ikke til nedsivning, kan den nødvendige hulrumsvolumen beregnes ved hjælp af Spildevandskomiteens bassinregneark. Ved kombineret nedsivning og afledning til afløbssystem, skal der gennemføres en beregning på baggrund af historiske regn.

Tømmetiden som fremgår af regnearket når man dimensionerer, må ikke overskride seks døgn eller 144 timer. Hvis den bliver længere, underestimerer regnearket volumenbehovet i forhold til en beregning på historiske regn. Ved store faskiner anbefales det derfor at gennemføre beregninger med historiske regn i stedet, for at vurdere det reelle behov for faskinevolumen. En sådan beregning kan fx foretages af en rådgivende ingeniør.

Det skal vurderes, hvor vandet løber hen ved en overbelastning. Det skal sikres, at vandet ikke strømmer mod bygninger eller anden infrastruktur som evt. kan beskadiges.

”

En permeabel befæstelse skal både dimensioneres styrkemæssigt og hydraulisk

REGNEEKSEMPEL: PARKERINGSPLADS MED NEDSIVNING

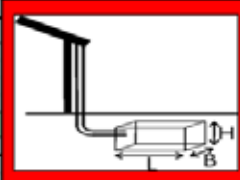

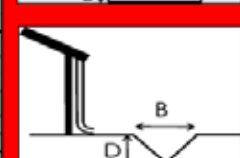

Der skal anlægges en parkeringsplads på 400 m² med permeabel befæstelse. Dimensioneringen gennemføres med udgangspunkt i tykkelsen af det ubundne bærelag, så der ikke opstaves vand i selve belægningen.

Hulrumsprocenten i bærelaget er 30 %. Kommunen stiller i det pågældende scenarie krav om, at anlægget skal dimensioneres for en gentagelsesperiode på 10 år, og at sikkerhedsfaktoren skal være 1,1.

Overfladevandet fra en tilstødende parkeringsplads på 600 m² skal ledes til den permeable befæstelse. Jordens nedsivningsevne er 5x10⁻⁶ m/s.

De kendte oplysninger indtastes i regnearket i områderne markeret med gule bokse. Det kontrolleres at alle felterne under "beregningstjek" skifter fra rød til grøn når beregningen er udført.

Resultatet bliver i det pågældende tilfælde, at det permeable bærelag skal være 20,3 cm dyb (hydraulisk dimensionering). Den styrkemæssige dimensionering vil typisk kræve større tykkelser end den hydrauliske dimensionering. Opmagasineringsvolumenet i bærelaget kan aflæses til 24,3 m³ og tømmeperioden er 3 timer.

Nedbørskaraktistika			Indtast blå og røde tal i kolonne B. Derefter tryk på knappen "Beregn"		Pil ikke - intern beregning		
Kommune	Odense				Afkørende lednings kapacitet l	2,00E+00	
					Volumen m ³	24	
					Total opland (m ²)	1000	
Designkaraktistika			Beregn	Beregningstjek			
Gentagelsesperiode (år)	10	år		Faskine	OK	Vol m ³	12,0189
Sikkerhedsfaktor (klima, fremtidig udbygning, etc)	1,1			Regnbed	OK	Dræn kap l/s	0,0697859
				Groft	OK	Iterationsafstand	0,0406%
Oplandskaraktistika				Perm. bel.	OK	24,3346	
Befæstet areal (m ²)	250	m ²				2	
						1	
Jord- og nedsivningskaraktistika						1	
K (Hydraulisk ledningsevne) - se evt måling nedera	5,00E-06	m/s					
Faskine				Hjælpstørrelser, faskine			
Bredde	1	m		Oppluvningsvolumen	12,02	[m ³]	
Højde	1,3	m		Faskine volumen	12,65	[m ³]	
Hulrums andel i faskine (Plast 0,95, sten 0,25)	0,95	0-1		Regn, der holdes umiddelbart	48,08	[mm]	
Udsivning i faskinebund: 0=Nej, 1=Ja	0			Regn, der siver pr døgn	24,11	[mm/døgn]	
Længde faskine	9,7	m		Tømmetid	48	timer	
Dræn kapacitet gennemsnit	6,98E-02	l/s		Afløbstal	1,72E+05	[s]	
					2,79E+00	[l/sekha]	
Regnbed				Hjælpstørrelser, regnbed			
Areal regnbed	25,0	m ²		Oppluvningsvolumen	11,32	[m ³]	
Dybde	0,45	m		Regn, der holdes umiddelbart	41,15	[mm]	
Dræn kapacitet	1,25E-01	l/s		Regn, der siver pr døgn	39,27	[mm/døgn]	
Samlet opland (befæstet areal + eget areal)	275,0	m ²		Tømmetid	25	timer	
				Afløbstal	9,05E+04	[s]	
					4,55E+00	[l/sekha]	
Groft / wadi, V-formet				Hjælpstørrelser, groft			
Bredde (kronekant)	2	m		Oppluvningsvolumen	12,27	[m ³]	
Længde groft	25,0	m		Regn, der holdes umiddelbart	40,88	[mm]	
Dybde	0,49	m		Regn, der siver pr døgn	40,10	[mm/døgn]	
Dræn kapacitet, gns-snit	1,39E-01	l/s		Tømmetid	24	timer	
Samlet opland (befæstet areal + eget areal)	300,0	m ²		Afløbstal	8,01E+04	[s]	
					4,64E+00	[l/sekha]	
Permeabel belægning				Hjælpstørrelser, perm. belægning			
Areal af permeabel belægning	400	m ²		Oppluvningsvolumen	24,33	[m ³]	
Areal af tilstødende anvendingsareal (tag, vej, etc)	600	m ²		Belægningsvolumen	81,12	[m ³]	
Hulrumsandel af lag under belægning (0-1)	0,3	0-1		Regn, der holdes umiddelbart	24,33	[mm]	
Dybde af lag under belægning	203	mm		Regn, der siver pr døgn	172,80	[mm/døgn]	
Dræn kapacitet	2,00E+00	l/s		Tømmetid	3	timer	
				Afløbstal	1,22E+04	[s]	
					2,00E+01	[l/sekha]	

Regneark til hydraulisk dimensionering

Parkeringsplads med nedsivning som regneeksempel. Resultatet bliver i det pågældende tilfælde, at det permeable bærelag skal være 20,3 cm dyb (hydraulisk dimensionering), og opmagasineringsvolumenet i bærelaget kan aflæses til 24,3 m³ (markeret)

Udførelse

Korrekt udførelse er vigtigt for at opnå den specificerede ydeevne og holdbarhed for permeable befæstelser. Komprimering af de forskellige lag påvirker hhv. styrken og permeabiliteten. Hvis komprimering fx øges, vil styrken ligeledes øges, mens permeabilitet reduceres. Derfor skal udførelsen gennemføres med stor bevågenhed. Det anbefales, at der ved overdragelse gennemføres test af befæstelsens permeabilitet. Eksempler på testmetoder er ASTM-metoden [11][12] eller Beckers metode, som er stort set svarende til CEN-metoden DS/EN 12697-40 [13].

Dette afsnit skal ikke ses som en fuldstændig vejledning til udførelse, derimod som introducerende til de punkter, som aktørerne skal være opmærksomme på.

UNDERBUNDEN

Underbundens overflade, også kaldet råjordsplanum, skal afrettes til det ønskede fald inden det ubundne bærelag udlægges. Eventuelle ujævnheder rettes op med et materiale, som ikke kræver komprimering, da det kan påvirke infiltrationsevnen. I de tilfælde hvor der skal foregå en nedsivning igennem underbunden, er det vigtigt, at råjorden ikke komprimeres eller trafikeres, da det kan medføre forringet permeabilitet.

Under udførelsen skal det sikres, at underbunden og det permeable ubundne bærelag ikke blandes i forbindelse med udlægning og komprimering af det ubundne

bærelag. Afhængigt af underbundens beskaffenhed, kan det være nødvendigt at udlægge et permeabelt geonet eller filterlag mellem råjordsplanum og bærelagsmaterialet. Dette skyldes, at der ikke ønskes nogen opblanding af råjord i bærelaget, som kan forringe bærelagets permeabilitet.

Hvis regnvandet ikke må nedsives igennem underbunden, udlægges en vandtæt membran, fx af bentonitler eller en plastmembran. I dette tilfælde er det nødvendigt at gennemgå planum for eventuelle sten og andet der kan beskadige membranen. Hvis der anvendes plastmembran, kan det overvejes, om det er hensigtsmæssigt at udlægge et finkornet velkomprimeret sandlag (0-4 mm), inden membranen udlægges.

UBUNDET BÆRELAG

Når komprimeringsarbejdet af bærelaget udføres, er det vigtigt, at komprimeringsudstyret er tilpasset det materiale og den lagtykkelse der skal udlægges, så laget er færdigkomprimeret ved færrest mulige overkørsler. Komprimeringsgraden kan fx kontrolleres med en isotopsonde. Kravene kan fx sættes som nugældende for stabilt grus.

Overfladen af det færdigkomprimerede permeable ubundne bærelag vil naturligt, på grund af det manglende

” Korrekt udførelse er vigtigt for at opnå den specificerede ydeevne og holdbarhed for permeable befæstelser

finstofindhold, føles mere løst end for traditionelle ubundne bærelag, derfor skal direkte trafik på bærelaget undgås.

Ved opbevaring af materialet på byggepladsen skal det sikres, at materialet ikke forurenes, da dette kan påvirke bærelagets egenskaber.

BELÆGNINGSSTEN MED PERMEABLE FUGER

Når der vælges en permeabel belægning bestående af belægningssten, skal der udlægges et afretningslag efter det permeable bærelag er udlagt. For ikke at reducere belægningens samlede styrke, er det væsentligt, at afretningslaget ikke bliver for tykt. Den anbefalede tykkelse er normalt 30 ±10 mm. For at kunne overholde den anbefalede tykkelse af afretningslaget, skal bærelaget være rettet meget præcist af og opfylde krav til jævnhed. Kornstørrelserne for afretningslaget og bærelaget skal være afstemt, så der ikke sker separering ned i bærelaget.

Afretningslaget vil opnå den nødvendige komprimering når belægningsstenene vibreres, og skal derfor ikke

komprimeres efter udlægning. Når afretningslaget er udlagt, kan belægningsstenene udlægges. Fugebredden skal være som foreskrevet af producenten. Fugearealet bør ikke overskride de anbefalede 10%, da det kan medføre, at belægningen bliver ustabil.

Betonstenene kan udlægges enten manuelt eller maskinelt. Når hele arealet er udlagt, fyldes fugerne delvist op og belægningen vibreres med en pladevibrator. Fugerne fyldes ikke helt op, da det vil øge risikoen for, at korn hopper op og knuses under vibrering. Pladevibratoren skal køres én gang på langs og én gang på tværs af belægningen med et overlap på 50%.

Fugerne efterfyldes med det anvendte fugemateriale og belægningen fejes ren efter sidste overkørsel med vibratoren. For at sikre, at betonstenene er låst og ikke skrider fra hinanden, er det vigtigt, at belægningen fuges jævnlige med det jf. producenten korrekte fugemateriale [5].



Belægningssten med permeable fuger

Etablering af en permeabel belægning med tætte belægningssten med permeabel fuge [5]

PERMEABLE ASFALTBELÆGNINGER

Permeable asfaltbelægninger opbygges oftest i to lag for at sikre en tilstrækkelig bæreevne og god jævnhed af belægningen. Ved udlægning af permeabel asfalt skal der anvendes komprimeringsudstyr, som ikke lukker luftporerne i belægningens overfladetekstur, fx. statiske glatvalsede tromler. Håndudlægning af permeabel asfalt bør undgås.

Når permeabel asfalt udlægges på et permeabelt ubundet bærelag, skal der anvendes en asfaltudlægger med larvebånd i stedet for gummihjul, da gummihjultromler kan medføre risiko for poretilstopning. Tilsvarende bør asfalttransporter med lastbiler på det udlagte lag undgås, specielt tunge sættevogne, som potentielt kan påvirke drænbærelagets overflade og jævnhed. Omlæsning til små dumpers kan derfor være nødvendigt for at sikre bibeholdelse af permeabiliteten.

Det sidste asfaltlag, slidlaget, kan udlægges med traditionelle metoder. Vibrationstromling skal minimeres for at undgå fortætning af porestrukturen.

For at mindske risikoen for tilstopning, er det væsentligt at klæbningen mellem det permeable slidlag og det permeable bærelag udføres med mindst mulig mængde af klæbeemulsion.



Permeable asfaltbelægninger

Udlægning af permeabel asfalt på Korsdalsvej i Rødovre [1].

IN-SITU STØBT PERMEABEL BETON

Betonen udlægges med en lille overhøjde hvorefter den kompakteres jævnt. Der kan fx anvendes en pladevibrator eller en ståltromle. Det kan være en fordel at anvende en vibrationsbjælke eller lignende til at sikre, at betonen er jævnt fordelt inden komprimeringen. Styreskinner langs belægningens kanter kan hjælpe med at sikre, at belægningen opnår en ensartet overflade og den korrekte højde. Hvis der anvendes en pladevibrator, vil det typisk give en tættere struktur i overfladen, og en mere åben struktur i bunden, hvilket mindsker risikoen for tilstopning.

Det er afgørende for belægningens egenskaber, at udlægningen gennemføres under hensyntagen til at belægningen netop kompakteres i passende grad iht. producentens anbefalinger.

Permeabel beton vil typisk have et lavt vand/cementforhold sammenlignet med traditionel beton, og er derfor ekstra udsat over for udtørring. Derfor skal der inden udlægning laves en plan for afdækning af belægningens overflade umiddelbart efter støbning. For at undgå utilsigtede revnedannelser, fx pga. udtørringssvind, skal den permeable beton udlægges med støbeskel.



In-situ støbt drænbeton

Eksempel på udstøbning af en sort permeabel betonbelægning, anlagt med dræn.

Drift og vedligehold

En permeabel befæstelse skal i løbet af levetiden vedligeholdes regelmæssigt, for at sikre, at permeabiliteten bevares. Dette skyldes, at belægningens fuger eller porevolumen løbende tilstoppes med vej- og trafikslid samt tilført løvfald og sedimenter fra nærliggende områder mv.

Tilstopningen kan betyde nedsat infiltrationsevne og dermed nedsat hydraulisk funktionalitet samt øge behovet for vedligehold og oprensning. Sedimenter kan bringes til den permeable befæstelse med vinden, skylle ind fra omkringliggende arealer, samt via bildæk. Sedimenter fra bygge- og anlægsarbejder udgør en særlig udfordring og det anbefales derfor at anlægge permeable befæstelser som det sidste i en bygge-anlægsproces. Sedimenter fra omkringliggende arealer kan minimeres ved at lade disse have fald væk fra den permeable befæstelse.

Det er vigtigt, at behovet for vedligehold vurderes individuelt for det pågældende anlæg. En effektiv vedligeholdelsesstrategi skal etableres, ellers kan en permeabel befæstelse i løbet af ganske få år stoppe til og derved miste nedsivningsevnen. Det er derfor vigtigt, at ansvaret for driften er placeret når anlægget er overdraget, så det sikres, at driften for anlægget varetages korrekt.

Den driftsansvarlige skal sikre, at den permeable befæstelse vedholder sin permeabilitet, dvs. fungerer hydraulisk og løbende efterses og renses.

DRIFT- OG VEDLIGEHOLDELSPLANLÆGNING

Vedligeholdelsesstrategierne vil typisk være årstidsbestemte. Om efteråret er der fx typisk behov for at foretage en fejning efter løvfald. Periodisk oprensning af belægningen er nødvendigt. På baggrund af konkrete erfaringer med de pågældende permeable befæstelser, skal en tilpasset vedligeholdelsesplan fastlægges.

Om vinteren bør sne fjernes med kost eller sneplov under hensyntagen til, at belægningsoverfladen ikke ødelægges af ploven. Snepløve med stålskær

direkte mod belægningen bør undgås. Når der skal glatførerbekæmpes, anbefales det at der anvendes nedbrydelige tømidler, fx calcium magnesium acetat (CMA). Især hvis vandet skal nedsives, frarådes det af hensyn til forurening, at der anvendes traditionel tørsalt.

ÆNDRINGER I BRUGEN AF EN PERMEABEL BEFÆSTELSE

Ved en ændring af brugen af en permeabel befæstelse, fx øget trafikbelastning, skal ejeren og myndigheden forholde sig til betydningen af den pågældende ændring, da levetiden af den permeable befæstelse kan blive påvirket. En øget trafikbelastning kan fx forkorte befæstelsens holdbarhed i en sådan grad, at opbygningens levetid skal revurderes eller befæstelsen skal forstærkes.

Når der udføres byggeprojekter eller lignende langs eller på en permeable befæstelse, skal den pågældende bygherre og entreprenør oplyses om at befæstelsen er permeabel, og at denne mister sin funktionsevne, hvis den tilstoppes eller udsættes for ekstra stor trafikbelastning. Bygherre eller entreprenør skal gøres opmærksom på nødvendigheden af, at belægningen afdækkes på de områder, hvor der er risiko for, at deres aktivitet kan have en negativ påvirkning på befæstelsens egenskaber.

For at mindske eller forhindre tilstopning af permeable belægninger, må de derfor ikke benyttes som oplagsplads. Dette gælder i særdeleshed materialer som jord, grus og haveaffald. Hvis det i særlige tilfælde er nødvendigt at bruge belægningsoverfladen som midlertidig oplagsplads, skal der benyttes et robust og helt tæt beskyttende underlag, som forhindrer at urenheder trænger ned i belægningen.

Beskyttelse af permeabel befæstelse

I forbindelse med et byggeri langs en permeabel befæstelse er der udlagt både et underlag og køreplader, som i dette tilfælde både hindrer at urenheder trænger ned i belægningen, og at overfladen beskadiges.



Vedligehold af belægningsfuger

Genopfyldning af belægningsfuger efter oprensning.



Maskine til rensning

Oprrensning med en kraftig spule-/sugemaskine.



BELÆGNINGSSTEN MED PERMEABLE FUGER

Fejning med fejebil bør udføres efter løvfald og efter vinteren, inden skybrudssæsonen starter. Eventuel ukrudtsvækst bør løbende fjernes med rod, da planterester (fx fra brænding) kan omdannes til muld og medføre tilstopning af fugerne.

Oprensning og genopfyldning af fugerne skal gennemføres minimum hvert 3. år (efter vinter). Hyppigheden skal dog tilpasses det specifikke anlægs behov.

Oprensningen udføres ved brug af køretøjer som spuler og suger fugerne rene. Prisen pr. m² (ved ca. 1000 m²) er typisk 5-8 kr. Ved mindre arealer kan vedligeholdelse gennemføres med en stiv kost. Yderligere efterfyldning af fugemateriale skal ske efter behov. Det er vigtigt, at der anvendes korrekt fugemateriale til efterfyldningen, jf. producentens retningslinjer.

Al glatførebekæmpelse skal ske ved grusning, da tørsalt medfører risiko for frigivelse af forurening bundet i fuger og underliggende lag. Der skal benyttes grus af samme type som anvendt ved fugning.

PERMEABLE ASFALTBELÆGNINGER

Fejning med fejebil bør typisk udføres efter løvfald og i øvrigt efter behov. Højtryksspuling/sugning bør typisk udføres efter vinteren, inden skybrudssæsonen starter. En almindelig spulemaskine er typisk ikke kraftig nok til oprensningen, derfor tilrådes det, at der anvendes en kraftig spule-/sugemaskine [1]. Prisen pr. m² (ved ca. 1000 m²) er typisk 2-3 kr.

Effekten af en oprensning af en permeabel belægning er erfaringsmæssigt betinget af flere faktorer, fx hvor tidligt oprensningen udføres efter etableringen og hvor hyppigt den udføres. Det anbefales, at den permeable asfaltbelægning indledningsvis renses ret ofte, fx to gange årligt, hvorefter det passende driftsbehov kan defineres for det specifikke anlæg.

Det er vigtigt, at fremtidig drift indtænkes allerede som en del af projekteringsfasen, da fx omkringliggende områders beplantning kan have stor indflydelse på vedligeholdsbehovet. Anlægges permeable asfaltbelægninger i den tætte by hvor træer er plantet langs vejsiderne, og hvor biler hyppigt holder parkeret, vil driften besværliggøres.

Erfaringer fra eksisterende permeable asfaltbefæstelser har vist, at en tidlig og kontinuert indsats med spuling af belægningen forlænger belægningens permeable levetid. Rensning 1-2 gange årligt skal forventes for belægninger der har ligget mere end 6-7 år. Som en præventiv foranstaltning, og som et led i den løbende vedligeholdelse, kan det være hensigtsmæssigt, at overfladen forsegles med en speciel bitumenforseglingsemulsion ca. hvert 5.-6. år. En sådan 'bitumenforyngende' overfladebehandling kan hindre stentab fra asfaltens stenskellet, og således have levetidsforlængende effekt. Her er det essentielt, at forseglingen ikke afstrøs med sand eller grus, da dette kan bidrage til en tilstopning af belægningen. Prisen pr. m² (ved ca. 1000 m²) er typisk 7-9 kr.

Levetiden for en velholdt permeabel asfaltbelægning vurderes til 12-15 år, forudsat at den er dimensioneret og anlagt korrekt. Fuld permeabilitet vil igen opnås hvis slidlaget affræses og nyt pålægges.

IN-SITU STØBT PERMEABEL BETON

Der findes kun få in-situ støbte permeable betonbelægninger i Danmark. Derfor er der begrænsede danske erfaringer med drift og vedligehold. Udenlandske erfaringer viser imidlertid, at rutinemæssige oprensning (fx 1-2 gange årligt) sikrer den længste levetid i forhold til opretholdelse af permeabiliteten. Det bedste resultat opnås med en kombination af spuling og sugning.

”

Når permeable belægninger vedligeholdes korrekt, kan levetider som for impermeable belægninger forventes

EKSEMPLER PÅ ERFARINGER MED SPECIFIKKE PERMEABLE BEFÆSTELSER

Når der gennemføres målinger af infiltrationsevnen på permeable belægninger, ses variationer i resultaterne bl.a. afhængigt af det pågældende anlægs anvendelse, det omkringliggende miljø, vedligeholdsgraden og hvor på vejen målingen gennemføres. Variationen tillægges bl.a. forskelle i overfladen grundet kørespor, fastkørt snavs fra hjuldek eller vegetation, mm.

Frederiksberg Kommune har siden 2014 anlagt en række permeable belægninger på pladser og veje med forskellig trafikbelastning. Eksempler fra løbende infiltrationsmåling viser netop stor variation. Ved en række parkeringspladser langs Ærøvej, en mindre trafikeret boligvej, som er anlagt med permeabel asfalt og som i løbet af 4 år ikke havde været vedligeholdt med suge-/fejmaskine, målttes infiltrationshastighed på 10.000 mm pr. time. Dette er svarende til 20 gange den typiske årsnedbør [12].

På en anden og mere trafikeret vej, Madvigs Allé, som i øvrigt håndterer vand fra omkringliggende arealer, sås et markant større fald i infiltrationsevnen. Ved nyanlæg blev målt i gennemsnit 6.500 mm i timen mens en tilsvarende måling 1,5 år senere, viste en gennemsnitlig infiltrationsevne på 200 mm i timen – dog med store variationer. Samlet set er det en tilstrækkelig effektivt til at håndtere et skybrud. De foreløbige erfaringer fra vejene på Frederiksberg peger på behovet for en oprensning af asfalten hvert år eller hvert andet år for de fleste veje, for at opretholde en høj infiltrationsevne. Samtidig indikerer erfaringerne, at oprensningen er mest effektiv hvis den foretages på den permeable asfalt når infiltrationsevnen er i intervallet 50-500 mm/t.

For belægningssten og fliser med permeable fuger er erfaringen fra test af ni lokaliteter i 2014 og 2015, at samme lokale faktorer, som ovenfor nævnt, påvirker infiltrationsevnen negativt. I 2014 blev der anlagt en boligvej, som en del af byggemodning i nyt boligkvarter i Bellinge ved Odense. Ved anlæg målttes en gennemsnitlig infiltrationsevne på 3000 mm/t, hvilket i løbet af et år faldt til ca. 100 mm/t. Faldet skyldes formentlig støv fra mange bygge- anlægsaktiviteter i området.

Blandt de undersøgte lokaliteter, der havde det mindste tab i infiltrationsevnen, var dels Stiholmvej i Birkerød, en mindre plads i bymidten der månedligt blev overkørt med en feje-/sugemaskine, samt en parkeringsplads ved Lendemosevej i Rudersdal. Stiholmvej blev testet i 2014, to år efter anlæg, hvor der målttes en gennemsnitlig infiltrationsevne på 790 mm/t og 675 mm/t et år senere. Lendemosevej der ligeledes blev testet i 2014, to år efter anlæg, havde en infiltrationsevne på 3100 mm/t og ca. 2900 mm/t et år senere. På Lendemosevej var der ikke gennemført anden vedligehold end lejlighedsvist manuel fejning [16].

GUIDE TIL LØSNINGSVALG

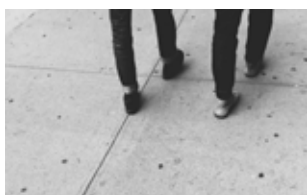
I denne guide er der beskrevet 4 overordnede trin, som skal vurderes, når anlæg af en permeabel befæstelse overvejes på et givent areal.

1

TYPE AF AREAL

A

Ikke-trafikerede arealer



B

Arealer med begrænset trafik



C

Trafikerede arealer



D

Parkeringsarealer



Husk at vurdere både aktuel og mulig fremtidig belastning.

2

KAPACITETSBEHOV

A

Vand fra det befæstede areal



B

Vand fra det befæstede areal + de tilstødende arealer



Det samlede behov for vandafledning skal vurderes. Husk at vurdere mængderne ved forskellige typer regnhændelser – og husk afstand til grundvandsspejl.

3

VANDHÅNDBTERING

A

Nedsivning



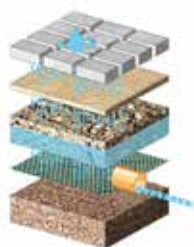
B

Bortledning



C

Kombination af nedsivning og bortledning



Underbundens nedsivningsevne skal undersøges. Husk at nedsivning typisk kræver godkendelse ved kommunen.

4

TYPE AF BEFÆSTELSE

A

Permeabel
asfalt eller beton



B

Belægnings-
sten med
permeable
fuger



C

Relevante
niche-
løsninger



Husk at indtænke driftsplanen allerede ved projektering.

Ordliste

Afløbskoefficient: Faktor, der angiver hvor stor en del af nedbøren der løber af terrænet.

Afvanding: Opsamling og bortledning af såvel drænvand som overfladevand.

Afvandingselement: Element i en afvandingskonstruktion.

Afvandingskonstruktion: Konstruktion til brug ved afvanding af vejanlæg. En afvandingskonstruktion kan være åben (trug, grøft, regnvandsbassin) eller lukket (dræn, ledning, brønd).

Afvandingssystem: Sammenhængende system af afvandingskonstruktioner for opsamling og bortledning af vand.

Asfalt: En blanding af stenmaterialer og bitumen

Asfaltbelægning: Belægning, der materialemæssigt normalt består af mindst 2 lag af bitumenbundne materialer, nemlig ét eller flere bærelag og øverst ét slidlag.

Befæstelse: De samlede lag af ubundne og bundne materialer udlagt på vejens planum. Ubundne lag: Lag, hvor de anvendte materialer ikke er sammenbundne af bindemidler. Bundne lag: Lag, hvor de anvendte materialer er sammenbundne af bitumen. ydraulisk bundne lag: Naturligt forekommende sand- og grusmaterialer iblandet bindemiddel eller genbrugsmaterialer iblandet bindemiddel.

Bentonit: Lerart opstået ved omdannelse af vulkansk aske. Består overvejende af mineralet montmorillonit og finder industriel anvendelse som f.eks. vandtætningsmateriale og boremudder.

Bitumen: Et termoplastisk klæbende stof, der hovedsagelig består af kulbrinter eller derivater heraf fremstillet ved raffinering (destillation, oxydering, fældning osv.) af jordolie eller af naturasfalter, der er helt eller næsten helt opløselig i toluen.

Fliser: Fliser laves både i beton og natursten.

LER:	Ledningsejerregisteret er et offentligt oprettet register for nedgravede ledninger. En graveaktør eller andre kan digitalt sende en forespørgsel til registret om ledninger i et givent område. Forespørgslen sendes automatisk videre til kendte ledningsejere, der giver besked tilbage til graveaktør.
Nedbørsmængde pr. tid pr. fladeenhed:	Typisk l/s/ha eller $\mu\text{m/s}$ ($= 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$).
Nedsivning:	Vands bevægelse fra jordoverfladen gennem jord til dræn eller grundvand.
Oplandsvand:	Vand fra arealer uden for vejarealet.
Permeabel befæstelse:	Befæstelse bestående af permeabel overflade, bærelag og underbund.
Permeabilitet:	Vands strømningshastighed i meter pr. sekund i et vandmættet materiale.
Regnrække:	Sammenhørende værdier af regnintensitet og -tid, enten som historiske regnserier for en given lokalitet, eller statistisk behandlede regndata, ofte med udgangspunkt i givne overskridelseshyppigheder; her vil regnrækken vise sammenhængende værdier af regnintensitet og gennemsnitlige varigheder af regnhændelse.
Regnvandsbassin:	Bassin indskudt i afvandingssystem normalt for at opnå opmagasineringsvolumen samt forsinkelse af vandets afstrømning før tilledning til recipient.
Dimensionsgivende regn:	Typisk anvendes 5- eller 10-års hændelse ($T=5/T=10$) for permeable befæstelser. Magasinering under permeable belægninger kan også være relevant i forbindelse med håndtering af skybrud.
Sikkerhedsfaktoren:	Et produkt sammensat af: Klimafaktor (fremskrivning af klimaforandringerne indvirkning på regnintensiteten), faktor for modelusikkerhed (Niveau 1 beregninger= højere faktor (1,3), Niveau 2 beregninger= mellem faktor (1,2), Niveau 3 beregninger= lav faktor (1,1)) og fortætningfaktor (der angiver om området forventes at blive urbaniseret i fremtiden).

Stenmateriale:	Materiale kendetegnet ved nominal minimal og maksimal kornstørrelse (angivet ved maskevidder (a)). De almindelige sorteringer for uknuste bakke- og sømaterialer har følgende sorteringsgrænser og handelsbetegnelser: 2-8 mm perlesten, 8-16 mm ærtesten, 16-31,5 mm nøddesten, 31,5-63 mm singels, 63-125 mm bundsten og 125-250 mm håndsten.
Grundvandsspejl:	Danmark skelnes mellem det primære grundvandsmagasin der er et ofte dybereliggende grundvandsmagasin, og sekundære grundvandsmagasiner der ofte er lokale, højereliggende grundvandsmagasiner, der f.eks. ligger oven på et lerlag
Vejvand:	Vejvand: Vejvand er en betegnelse regnvand, der afledes fra trafikbelastede vejarealer. Vejvand er typisk mere forurennet end vand fra tagflader. En del af forureningen stammer fra trafikken, så vejvand fra tæt befærdede veje er mere forurennet end vand fra mindre veje.

Referencer

- [1] Klimavejen: Udvikling ad støjreducerende drænasfalt til regnvandshåndtering, Miljø- og Fødevarestyrelsen, dec 2017
- [2] Vejreglen 'Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger', 2017, www.vejregler.lovportaler.dk
- [4] Olieudskilleranlæg: Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift, Rørcenteranvisning 006, 2021
- [5] Lokal håndtering af regnvand med permeable belægninger, Dansk Beton, Belægningsgruppen, 2013
- [6] LAR-ANLÆG. Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift af LAR-anlæg. juli 2018, Rørcenter-anvisning 026
- [7] Prøvetagning – Solnavej, Årsrapport 2019, Novafos 2020
- [8] Permeable belægninger, Viden og dokumentation, Vejdirektoratet, august 2015
- [9] Opdateret LAR-dimensionering (2015) – regneark, www.ida.dk
- [10] ASTM, 2013. Standard Test Method for Surface Infiltration Rate of Permeable Unit Pavement
- [11] Systems (No. C1781/C1781M-13). American Society for Testing and Materials (ASTM)
- [12] Støvring, J 2018, 'Bestemmelse af permeable befæstelsers infiltrationsevne', Videnblade Park og Landskab, nr. 09.00-39
- [13] Kuossa, Hannele, Emma Niemeläinen, and Juhani Korkealaakso. 2014. "Pervious pavement testing methods State-of-the-Art and laboratory and field guideline for performance assessment." VTT-R-08225-13. Espoo: Technical Research Centre of Finland (VTT)
- [14] M. Brask, C. Busch og T. Overgaard, LAR belægninger – Undersøgelse af levetider ved MMOPP simulation, Trafik og Veje, april 2016
- [15] AkvaVejen, slutrapport, NCC og Teknologisk Institut, sep 2018
- [16] Støvring, J, Dam, T & Jensen, MB 2018, 'Surface sedimentation at permeable pavement systems: implications for planning and design', Urban Water Journal, bind 15, nr. 2, s. 124-131



TEKNOLOGISK
INSTITUT