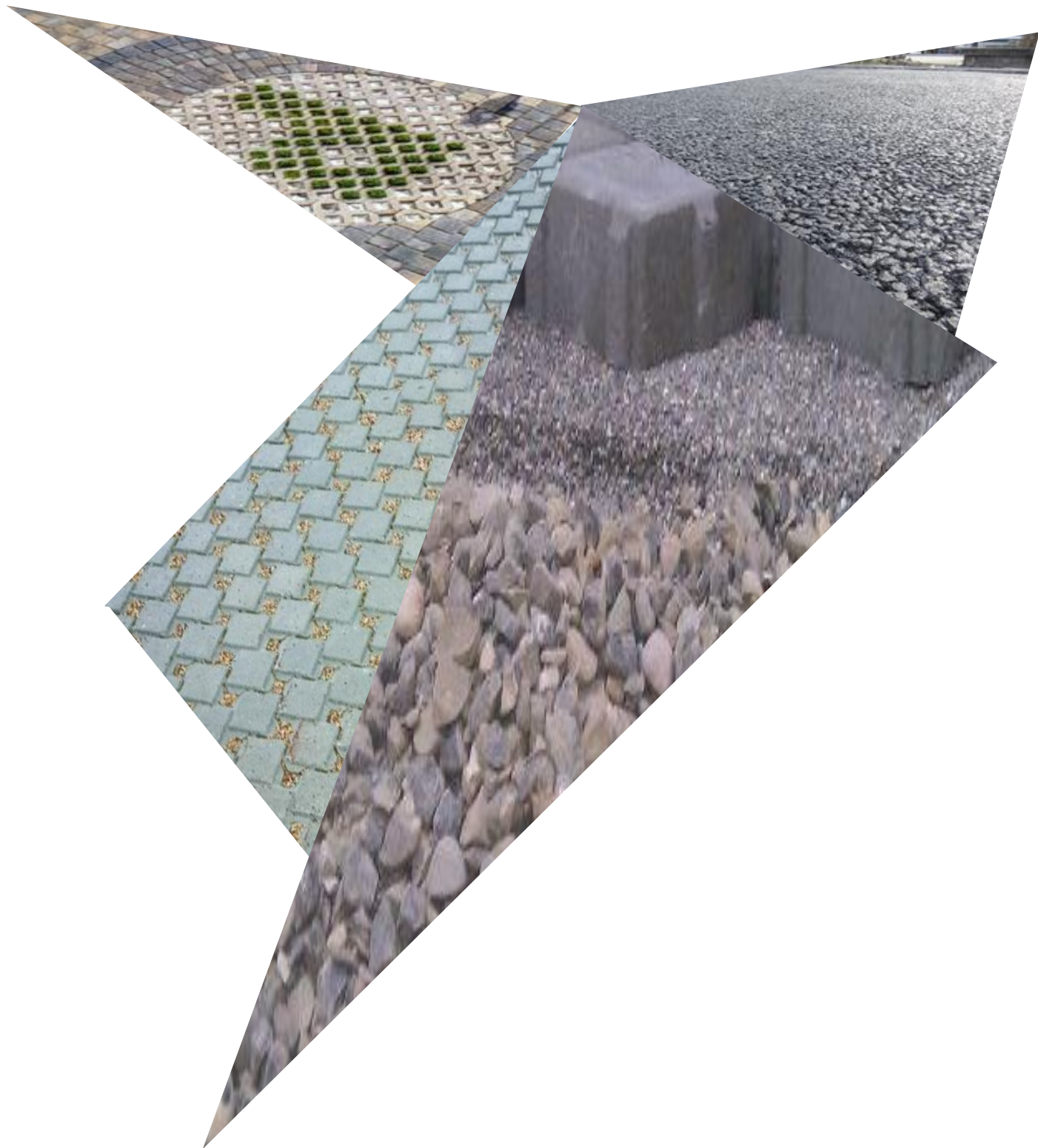


AUGUST 2015
VEJDIREKTORATET

PERMEABLE BELÆGNINGER

VIDEN OG DOKUMENTATION



COWI

AUGUST 2015
VEJDIREKTORATET

PERMEABLE BELÆGNINGER

VIDEN OG DOKUMENTATION

PROJEKTNR. A061368-001
DOKUMENTNR. 001
VERSION 3.0
UDGIVELSESDATO 16.09.2015
UDARBEJDET MLOR, MLH, SIBE, GRHI
KONTROLLERET ABH
GODKENDT ABH

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Opsamling	9
2.1	Anvendelsesområder	9
2.2	Muligheder og begrænsninger	9
2.3	Fordele/ulemper	11
2.4	Funktionskrav	12
3	Konklusioner og anbefalinger	13
3.1	Konklusion	13
3.2	Anbefalinger	14
4	Permeable vejbefæstelser	17
4.1	Principielle typer af permeable befæstelser	17
4.2	Opbygning	18
4.3	Nedsivningskapacitet	27
4.4	Magasinkapacitet	27
4.5	Trafikbelastning og bæreevne	28
4.6	Drift/vedligehold	30
4.7	Ledningsgrave	32
4.8	Omgivelser (miljø)	32
4.9	Designkriterier for permeable befæstelser	33
5	Myndighedsforhold	39
5.1	Lovgivning	39
5.2	Myndighedskrav	41
5.3	Forureningsparametre i vejvand	47
5.4	Sammenfatning	50
6	Beskrivelse af permeable belægninger: to cases	53
6.1	Case 1: Drænasfalt	53
6.2	Case 2: Betonbelægningssten med permeabel fuge	55

BILAG

- Bilag A Liste over danske referenceprojekter
- Bilag B Regneeksempel på fastlæggelse af design E-værdi for permeabelt, ubundet materiale
- Bilag C Litteraturnoter
- Bilag D Litteraturstudie

1 Indledning

Grundet klimaændringer og kraftigere regn, har der de senere år været stor fokus på og debat om oversvømmelser af såvel boliger og bygninger, men også af vigtig infrastruktur – f.eks. Lyngbyvej i København, og de skader og samfundsmæssige omkostninger oversvømmelserne forårsager.

Der er arbejdet på at finde nye løsninger til håndtering af regnvandet, da de sædvanlige løsninger med afledning til kloak kun er i stand til at håndtere regn, der statistisk set forekommer hvert 5. eller hvert 10. år afhængig af kloakeringsformen.

I byområderne udgør vejene en stor del af de befæstede arealer, og det vil derfor være af stor betydning, hvis vandet fra vejene enten nedsives eller forsinkes, så det ikke genererer direkte afstrømning til kloaksystemet. I den forbindelse har flere producenter arbejdet på at skabe en permeabel belægning, som er i stand til at transportere vandet gennem overfladen. Der er i dag både asfalt og flisebelægninger på markedet, og belægningerne testes i større og mindre målestok rundt omkring i landet.

Dette notat udgør en overordnet konkluderende udredning om den umiddelbart foreliggende eksisterende viden, dokumentation og erfaring med permeable belægninger generelt. Dette projektnotat skal udgøre en del af det grundlag der vil blive lagt til grund for den senere mere detaljerede udarbejdelse af projekteringsvejreglen "Afvandingskonstruktioner" og udbudsforskriften "Afvanding" m.fl.

2 Opsamling

I dette afsnit gives en oversigt over relevante anvendelsesområder for permeable belægninger samt de muligheder og begrænsninger der er ved anvendelse af permeable materialer. Endvidere beskrives fordele og ulemper ved materialerne, og vi vurderer funktionskrav til permeable materialer. Mere detaljerede udredninger findes i afsnit 4 og videre frem.

2.1 Anvendelsesområder

Permeable vejmaterialer kan som udgangspunkt anvendes til alle trafikklasser.

Permeable vejbefæstelser kan med fordel anvendes i byer, hvor der er risiko for oversvømmelser i forbindelse med klimaændringer, og hvor der ikke findes traditionel vejafvanding. Det kan også være relevant at anvende permeable belægninger som supplerende afvanding på steder, hvor et eksisterende, traditionelt afvandingssystem ikke har tilstrækkelig kapacitet til at håndtere de fremtidige forventede nedbørsmængder.

Vi finder det realistisk at anvende permeable belægninger til store P-pladser og ved nyanlæg af veje f.eks. i forbindelse med lokale LAR-tiltag. Byområder med begrænset plads vil generelt være gode kandidater til permeable belægninger. På større veje kan sidearealer som P-lommer anvendes i forbindelse med permeable belægninger.

Permeable belægninger kan også udføres på eksisterende veje. Det vil dog kræve en udskiftning af hele vej-kassen, så den bygges korrekt op afvandingsmæssigt.

2.2 Muligheder og begrænsninger

2.2.1 Muligheder

Der findes i dag en række materialer, som kan anvendes som permeable vejmaterialer. Disse materialer findes både til slidlag af asfalt og beton, som belægningssten og som ubundne befæstelseslag (afretningsgrus, ubundet bærelag).

Stier, rasteanlæg og sidearealer (P-lommer mv.) kan anvendes som afvandings-elementer med permeable belægninger.

2.2.2 Begrænsninger

Brugen af permeable belægninger i moderne veje vil dels være en teknisk og dels en økonomisk afvejning. De tekniske udfordringer kan i de fleste tilfælde håndteres, mens andre faktorer som økonomi kan være afgørende for, om man ønsker at anvende permeable belægninger. Som eksempel kan nævnes, at permeable belægninger kan anlægges med et drænende gruslag, som kan træde i stedet for såvel grusbærelag og bundsikring. Den økonomiske konsekvens heraf må imidlertid overvejes.

Tilsvarende kan det være nødvendigt at anvende et geonet for at sikre bæreevnen i en permeable belægning anlagt på en underbund, som er følsom overfor vandmætning. Teknisk set kan opgaven løses tilfredsstillende, men det er muligt, at introduktionen af geonet gør den permeable løsning dyrere end den traditionelle.

Det er vigtigt at fremhæve, at en økonomisk vurdering også skal omfatte konsekvenser af traditionel afvanding contra permeable vejopbygning.

Af tekniske overvejelser og begrænsninger kan fremhæves:

Drænasfalt (slidlaget) har en levetid, som kun er cirka den halve af traditionelle asfaltmaterialer.

Der eksisterer ikke i Danmark udbudsforskrifter for permeable vejmaterialer. Potentielle problemer i forbindelse med brugen af drænasfalt i det danske klima med risikoen for vinter med sne og frost/tø er ikke tilstrækkeligt belyst.

Der er begrænsede erfaringer med permeable belægninger på tungt/højt trafikerede veje som eksempelvis motorveje. Erfaringer fra blandt andet Holland og Tyskland tyder dog på problemer i vintersituationer og kort levetid i forhold til traditionelle vejbelægninger.

Det vil ikke være relevant at anlægge nødspor på motorveje eller motortrafikveje som permeable belægninger, da anlægslove for nye statslige vejprojekter for tiden foreskriver, at nødspor opbygges som de trafikerede spor.

Det vil ikke være relevant at anvende permeable belægninger på veje på landet, hvor man i øjeblikket afleder vejvand til de omkringliggende arealer, hvor det ned-sives.

Betonbelægningssten kan kun befærdes med begrænset hastighed.

Anvendelsen af permeable belægninger ovenpå kalkstabiliseret jord eller ubehandlet lerjord kan ikke anbefales i forbindelse med nedsivning på grund af materialernes ringe permeabilitet.

Udledning af miljøfarlige stoffer mv. (fra afsnit 2.4 omkring miljømæssige krav) udgør en begrænsning i anvendelsen af permeable belægninger.

2.3 Fordele/ulemper

2.3.1 Fordele

Permeable belægninger kan udlægges fladt uden fald, hvilket er særdeles fordelagtigt på store (P-)pladser.

Permeable belægninger kan medvirke til at forsinke kraftig nedbør.

Nedsivning er billigt i forhold til traditionel vejafvanding.

Permeable belægninger har en gunstig støjreducerende effekt.

Permeable belægninger har en selvrensende effekt ved kørehastigheder over cirka 70 km/h.

Hollandske undersøgelser har vist, at indholdet af PAH og tungmetaller i vejvandet efter passage af permeable belægninger er mindre end ved lokaliteter med almindelig asfalt, formodentlig fordi en del af stofferne tilbageholdes i hulrummene. Ligeledes er koncentrationerne af disse stoffer i græsprøver fra rabatten betydeligt lavere end de koncentrationer der ses langs veje med almindelig asfalt, formodentlig grundet mindre opsprøjt.

2.3.2 Ulemper

Der findes kun begrænset og ringe dokumenteret erfaring med permeable belægninger i Danmark.

Permeable belægninger og nedsivning kan ikke anvendes nær vandfølsomme strukturer (f.eks. kældre), og tillades sjældent i OSD-områder (områder med særlige drikkevandsinteresser). Ønskes permeable belægning alligevel anvendt på sådanne lokaliteter, kan myndigheden stille krav om en tæt membran.

Er nedsivning ikke mulig eller tilladt (grundet undergrund eller myndighedskrav), vil det være en økonomisk afvejning fra projekt til projekt om en permeabel vejbelægning vil være dyrere i anlæg end en traditionel løsning med traditionelle vejmaterialer og vejafvanding.

Reparation af drænasfalt og drænbeton er mere besværlig end for tilsvarende traditionelle materialer. Der er behov for at stille særlige krav ved reetablering, så det sikres at belægningens drænende egenskab opretholdes. Det er ligeledes vigtigt at sikre at eventuelle membraner ikke brydes og i givet fald repareres. Der skal især være fokus på ovenstående, når der udføres ledningsarbejder i byområder.

Brede fuger i permeable belægninger med betonbelægningssten kan medføre udfordringer for brugere med kørestol, rollator, barnevogn eller høje hæle.

Den selvrensende effekt for drænasfalt og drænbeton har begrænset effekt, og belægninger kræver rensning en eller flere gange om året. Dette medvirker til højere driftsomkostninger for disse typer belægninger i forhold til sammenlignelige traditionelle belægninger.

2.4 Funktionskrav

Følgende funktionskrav bør stilles til permeable belægninger: enten som direkte funktionskrav eller som indirekte materialekrav (kravene skal sættes afhængig af projektets type og omfang):

- › Bæreevne i vandmættet tilstand
- › Drænevne – bevarelse
- › Hulrum
- › Magasinvolumen
- › Slidstyrke af tilslag
- › Levetid
- › Sikring mod efterkomprimering/sætninger
- › Frostbestandighed
- › Vandbestandighed (modstandsevne mod udvaskning og mod opkvælning)
- › Udvasning af stoffer (begrænses).

3 Konklusioner og anbefalinger

3.1 Konklusion

Permeable belægninger har en plads i dansk vejbygning som et muligt middel til – sammen med andre tiltag – at håndtere såvel den almindeligt forekommende nedbør som de store og pludselige regnhændelser.

De praktiske erfaringer med belægningstypen i Danmark er indtil nu forholdsvis sparsomme og kun dokumenteret i begrænset omfang. Der findes dog en del udenlandsk litteratur, som beskæftiger sig med emnet, og hvorfra det er muligt at finde relevant viden for danske anvendelser.

De tekniske udfordringer med permeable vejbelægninger er overskuelige, da der er tale om materialer, som allerede er kendte i Danmark, eller som ligner kendte materialer. Den primære vejtekniske opgave er at udarbejde udbudsforskrifter for materialerne, så der kan opnås ensartede materialer i nødvendig kvalitet, og så det bliver muligt at inkludere permeable belægningsmaterialer i udbud på lige fod med traditionelle vejmaterialer.

Sammenhængen mellem permeable belægninger og glatførebekæmpelse er ikke entydig. Visse kilder henviser til at permeable belægninger er koldere og dermed fryser tidligere, mens andre henviser til at den permeable belægning er varmere og fryser i en kortere periode sammenlignet med en tilsvarende tæt belægning.

Indholdet af miljøfremmede stoffer i vejvandet afhænger bl.a. af trafik- og regnintensiteten samt af den tidsmæssige afstand mellem regnhændelserne.

Miljømæssigt er der flere udfordringer, som endnu ikke er tilstrækkeligt godt belyst. Der ønskes bl.a. mere realistiske risikovurderinger af de miljøfremmede stoffer og dokumentation af deres virkning på miljøet. Problemstillingen er specielt relevant i områder med særlige drikkevandsinteresser, Ref. /2/ og Ref. /3/.

Det diskuteres om en permeabel belægning kan have en renseeffekt ift. skadelige stoffer. Det har dog ikke været muligt at finde en kilde der entydigt dokumenterer

dette. Forsøget på Svanemøllen Ref. /8/ undersøges blandt andet dette emne, men resultaterne foreligger endnu ikke.

Der er udført en del undersøgelser med nedsivning af vejvand, og der er udarbejdet anbefalinger til hvordan nedsivningen foretages mest skånsomt for miljøet. En del af disse anbefalinger foreskriver bl.a. nedsivning gennem filtermuld og vegetationsdække for at sikre biologisk omdannelse af visse stoffer og kemisk binding af andre. Disse konklusioner og anbefalinger kan ikke umiddelbart følges med permeable belægninger, da der ikke er muld eller større sammenhængende beplantning i belægningerne. Det er derfor uvist, hvor stor en del af konklusionerne der kan overføres til forholdene ved permeable belægninger, specielt for belægninger med drænasfalt og flisebelægninger med lille fugeareal.

Salt fra glatførebekæmpelse kan udgøre et særligt problem specielt i mindre ferske recipienter og vandindvindingsområder, idet klorid ikke umiddelbart kan renses ud af vandet. Koncentrationen af klorid kan reelt kun nedbringes ved fortynding i grundvandet eller vandområdet. Nedsivning af vejvand kan derfor udgøre et problem i sårbare områder, og salt kan udgøre et lokalt problem i større byer og langs større veje, der saltes intensivt. Salt i vejvand vil ikke udgøre et problem ved udledning til salte hav- og fjordområder. Tilsvarende har Naturstyrelsen i oktober 2012 konkluderet at nedsivning af vejvand generelt ikke udgør en risiko for forurening af grundvandet, men påpeger samtidig at det kan udgøre et problem i større byer, ved trafikintensive veje og i sårbare områder (se afsnit 5.2.1).

3.2 Anbefalinger

Permeable belægninger kan klassificeres efter hastighed som skitseret i Tabel 1.

Tabel 1: Anbefalet anvendelse af permeable slidlag.

Belægningstype Kørehastighed (km/h)	Drænasfalt	Drænbeton	Betonbelægningssten	Drænende slidlagsgrus
≤ 30	+	+	+	-
> 30	+	+	-	-
Pladser/gangarealer	+	+	+ ²	(+) ¹
Cykelstier	+	+		-

¹ Uhensigtsmæssigt til færdsel med kørestol, rollator, barnevogn, rulleskøjter og høje hæle
² Kan håndteres ved at lave "gangstier" uden at reducere permeabilitet af vejbefæstelse, se i øvrigt uhensigtsmæssigheder i note 1.

Der bør udarbejdes udbudsforskrifter for permeable vejbelægningsmaterialer, og det bør overvejes, om der skal stilles funktionskrav i stedet for de traditionelle, vika- rierende materialekrav.

Belægningstyper bør opdeles i drænklasser efter hvor store vandmængder kan afledes, og der opstilles krav eller retningslinjer for drænevne og bevarelse af den-

ne. På tilsvarende vis kan materialer karakteriseres efter evne til at opmagasinere vand.

Test af bæreevne i vandmættet tilstand bør udføres i laboratoriet som dynamisk triaksialforsøg.

Kravet til efterkomprimering af permeable materialer bør være stramt og som minimum på linje med krav til ikke-permeable materialer, da de højere hulrumsprocenter medfører øget risiko for sætninger i en permeabel belægning.

Det bør vurderes, om og hvordan permeable belægninger fungerer sikkerhedsmæssigt og trafikalt i en typisk dansk vinter.

Der bør foretages analyser af vejvand efter passage af permeable belægningsmaterialer for at få et bedre kendskab til hvilke miljøfremmede stoffer som tilføres jord og grundvand samt i hvilket omfang.

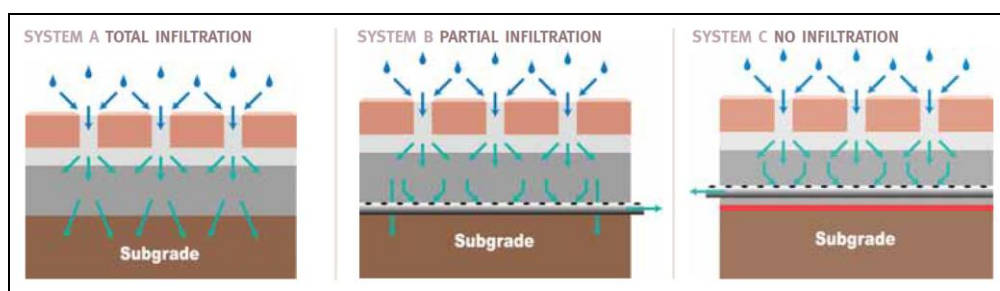
4 Permeable vejbefæstelser

4.1 Principielle typer af permeable befæstelser

COWI har koncentreret indsatsen om belægningsopbygninger, som ligger inden for følgende tre typer:

- Type A: Permeable belægninger med nedsivning af regnvand
- Type B: Permeable belægninger med kombination af nedsivning og opmagasinering (med overløb)
- Type C: Permeable belægninger med opmagasinering af regnvand og uden nedsivning.

Disse er skematisk illustreret i dokumenter fra Interpave (se Ref. /35/) og gengivet i Figur 1.



Figur 1: Skematisk illustration af principielle typer af permeable befæstelse (Ref. /17/).

Den midterste del af Figur 1 med delvis infiltration kan eksempelvis etableres ved at bore kerner ned i en impermeabel underbund og efterfølgende fylde hullerne med et drænende materiale. Situationen i højre del af Figur 1 uden infiltration kan etableres med en vandtæt membran eksempelvis på steder, hvor nedsivning er u hensigtsmæssig nær kældre og ved risiko for opblødning af underbund. Situationen uden nedsivning kan også omfatte tilfælde med forbud mod nedsivning eller med underbund med lav permeabilitet.

En fjerde metode er at etablere en tæt vejoverflade, hvor der afledes til underliggende permeabel befæstelse via permeable rabatter eller lignende. Denne metode ligger udenfor rammerne af dette notat og er ikke beskrevet nærmere.

4.2 Opbygning

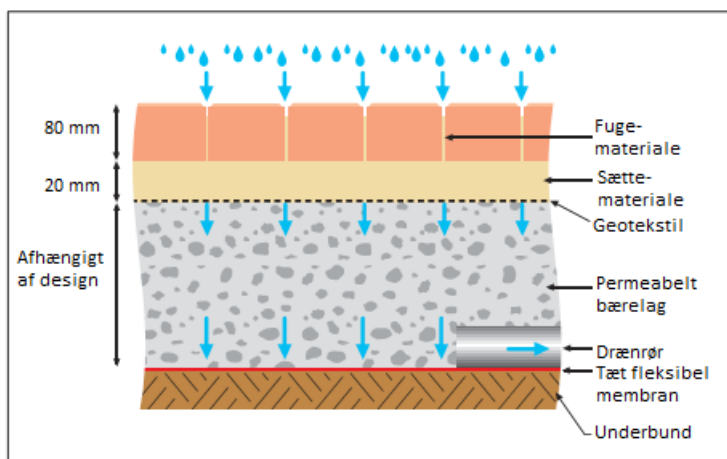
Den permeable belægning består hovedsageligt af følgende dele:

- › Permeable slidlag / bundne permeable bærelag
- › Permeable ubundne bærelag
- › Permeable ubundne materialer til afretningsgrus
- › Geotekstil, geonet og tæt membran

Tværsnittet i Figur 2 illustrerer de forskellige dele i den permeable belægning. Øverst er det permeable slidlag / bundne permeable bærelag (i dette tilfælde betonbelægningssten med permeable fuger sat på et permeabelt afretningslag). Under dette etableres det permeable ubundne bærelag. Disse lag kan være adskilt af et geotekstil, som minimerer risikoen for opblandingen af de to lag. I andre tilfælde bruges også et geonet til at fordele trykbelastningen ned gennem belægningen. Geonettet vil typisk blive placeret mellem naturlig underbund og ubundet bærelag/bunsikring, men det kan efter behov også placeres højere oppe i belægningen.

Afhængigt af underbund og hvilken af de tre typer af systemer, der er valgt, placeres et dræn.

Den tætte membran forhindrer nedsivning til underbund og muliggør, at vej-kassen kan bruges til at opmagasinere vandet, før det ledes til afvandings-systemet.



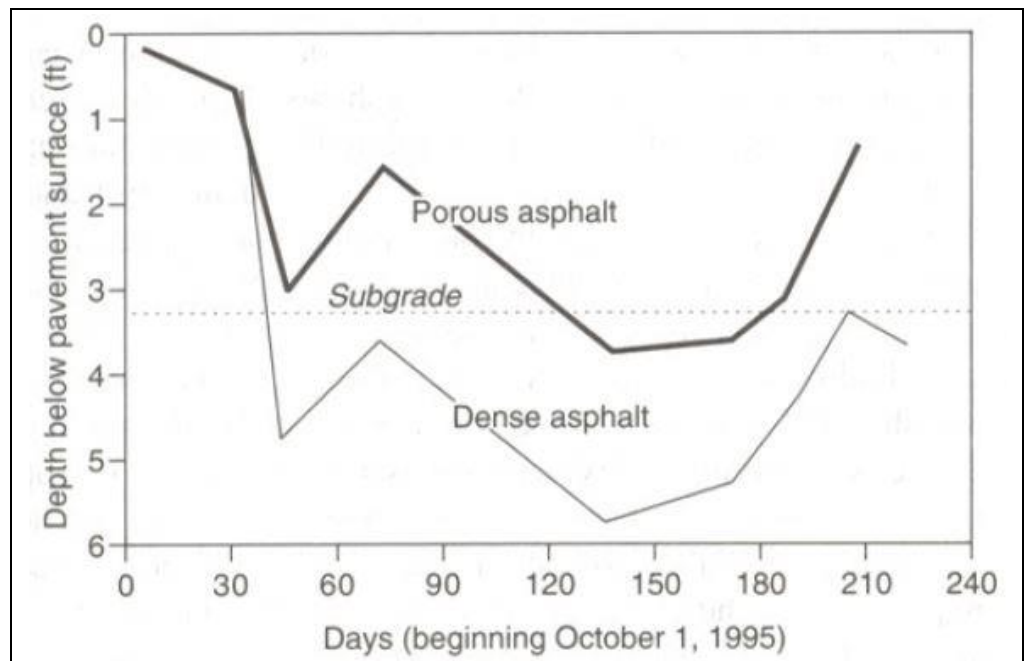
Figur 2: Skitse af principiel opbygning af permeabel befæstelse med betonbelægningssten og permeable fuger som slidlag (Ref. /17/).

Materialerne i en traditionel vejbefæstelse er beskrevet i Vejdirektoratets system af udbudsforskrifter i form af krav til materialet (kornkurve, sandækvivalent, minimum bitumenindhold, trykstyrke og lignende).

Permeable belægninger er endnu ikke omfattet af udbudsforskrifterne, men det vil være nødvendigt at beskrive de forskellige materialer enten ud fra krav til selve materialet (som for traditionelle materialer til vejbygning) og/eller ud fra krav til lagets funktion (permeabilitet, hulrum/opmagasineringskapacitet, bæreevne eller lignende).

I det følgende gennemgås fordele og ulemper ved de forskellige belægningsdele (bundne og ubundne) med henvisning til relevante cases samt de krav, som der er fundet i litteraturen til materialer anvendt i permeable befæstelser.

Uanset materialetype (bundne eller ubundne) er frost dog en vigtig parameter, og her adskiller permeable befæstelser sig fra traditionelle, tætte belægninger, idet stillestående luft har en betydelig isolerende effekt. Således bliver permeable befæstelser ikke lige så varme om sommeren som traditionelle, tætte befæstelser, og samme isolerende effekt gør, at frosten ikke trænger lige så langt ned om vinteren; sidstnævnte er illustreret i Figur 3.



Figur 3: Frostnedtrængning i en permeable befæstelse ('porous asphalt') sammenlignet med en traditionel, tæt befæstelse ('dense asphalt'); den stiplede, vandrette linje angiver dybde til planum ('subgrade'). X-aksen viser antal dage efter d. 1/10 1995, mens y-aksen viser dybden af frostnedtrængningen i fod (1 fod = 30 cm); data er fra en vej i Luleå, Sverige (Ref. /19/).

Ud over den isolerende effekt af stillestående luft, er smeltevandet også med til at hæve temperaturen i den permeable befæstelse. Alt andet lige er smeltevand varmere end 0 °C, og når smeltevand bevæger sig ned gennem vejbefæstelsen opvarmes sidstnævnte. I modsætning hertil bliver smeltevandet på oversiden af en traditionel, tæt befæstelse ledt bort uden at opvarme de underliggende lag.

Således er der en mulighed for, at permeable befæstelser kan anlægges med en mindre koblingshøjde i forhold til traditionelle, tætte befæstelser. Det er dog stadig vigtigt, at der ikke er frit vand i befæstelsen i længere tid, når der er frost. Derfor er det nødvendigt, at underbunden har en god drænevne, eller at der er afløb, så

smeltevand hurtigt forsvinder ud af befæstelsen og ikke fryser til is, hvilket ellers kan føre til skadelige frosthævninger.

Frostnedtrængningen bør belyses nærmere ved undersøgelser under forhold, der modsvarer det danske klima (mange frost/tø-passager, mens f.eks. Luleå i Sverige, hvor data i ovenstående figur kommer fra, har relativt få frost/tø-passager). På baggrund af sådanne undersøgelser kan den nødvendige koblingshøjde af en permeabel befæstelse fastlægges i forhold til type af underbund/afvandingsforhold af vejkassen.

4.2.1 Permeable slidlag / bundne permeable bærelag

I Tabel 2 er angivet fordele, ulemper og cases for forskellige permeable slidlag / bundne permeable bærelag.

Tabel 2: Fordele, ulemper og cases for de forskellige permeable slidlag / bundne permeable bærelag.

	Drænasfalt	Drænbeton	Belægningssten	Hybrid (PermaStone)
Fordele				
<i>Dræneegenskaber</i>	Relativt gode dræneegenskaber	Relativt gode dræneegenskaber	Relativt gode dræneegenskaber	Høj nedsvivningsevne
<i>Støj</i>	Støjreducerende	Støjreducerende		Støjreducerende
<i>Bæreevne</i>	Relativt dårlig bæreevne	God bæreevne	God bæreevne	Tåler trafik op til trafikklasse T3
<i>Komfort</i>	God kørselskomfort			
<i>Materialeanvendelse</i>	Kan fungere både som slidlag og bærelag	Kan fungere både som slidlag og bærelag	Afretningslag og fuger er samme materiale	
<i>Anlæg</i>	Let at anlægge, kan udlægges vandret	Let at anlægge, kan udlægges vandret	Let at anlægge, kan udlægges vandret Glatførebekæmpelse med drænende afretningsgrus giver begrænset spild af materiale	Let at anlægge, kan udlægges vandret
Ulemper				
<i>Nedkøling</i>	Hurtigere nedkøling		Hurtigere nedkøling	
<i>Drift</i>	Øget saltning Vanskeligt at bekæmpe isslag. Veje med lav hastighed (<70 km/h) har mindre selvrensende effekt Driftstung Stopper til og kræver oprensning	Stopper til og kræver oprensning Svær at reparere	Fuger stopper til Kræver vedligeholdelse og eventuelt udskiftning af fuger	Erfaring med reparation er lille ift. traditionelle slidlag Miljøhensyn i forbindelse med eventuel bortskaffelse

	Drænasfalt	Drænbeton	Belægningssten	Hybrid (PermaStone)
<i>Udførelse</i>	Følsom for tilstopning med partikler m.m. under udførelse	Følsom for tilstopning med partikler m.m. under udførelse	Udfordring ved anlæg på tungt belastede områder med bundet bærelag (container-terminaler med cementbundet bærelag).	Indeholder epoxy Miljøhensyn ved håndtering af materialet
<i>Anvendelse</i>	Følsom for tung trafik (rivning og sporkøring)	Følsom for rivning pga. frost-tø	Ikke anvendelig på større veje med stor hastighed	
<i>Levetid</i>	Relativt lille levetid for slidlag (7-8 år)			
Case	Ref. /10/, Ref. /11/, Ref. /12/	Ref. /25/	Ref. /8/	Ref. /8/

I Tabel 3 er angivet materialekravene for drænasfalt (DA) iht. Ref. /28/.

Tabel 3: Materialekrav for drænasfalt (DA) iht. Ref. /28/.

<p><u>Åbengraderede slidlag (PA å, AB å, DA og TB k) samt SMA</u> Grovfraktionen (≥ 2 mm) skal, bortset fra lyst tilslag, være klippeskærver. Den samlede fraktion ≥ 4 mm skal have flisethedsindeks svarende til kategori FI₂₀ og skal have Los Angeles værdi svarende til kategori LA₃₀.</p> <p>Til finfraktionen (< 2 mm), bortset fra fremmedfiller, skal udelukkende anvendes stenmel.</p>	
<p><u>Generelle krav til DRÆNASFALT SLIDLAG, DA</u></p> <p>Reference: DS/EN 13108-7.</p>	
DA	DA type 8
Bitumen	Polymermodificeret bitumen af elastomertypen
Kornkurve	
Nom. størrelse	8 mm
Gennemfald:	
11,2 mm sigte	100 %
8 mm sigte	92-100 %
2 mm sigte	8-15 %
0,063 mm sigte	4-9 %
Marshallkriterier²⁾	
Hulrumsprocent (geometrisk bestemt)	$\geq 20,0$ %
Min. Bitumenindhold ¹⁾	5,0 %
Minimumsmængder	
Komprimeringsgrad (K)	80 kg/m ²
Tolerance $\bar{x} - t_{\alpha} s : \sqrt{n}$	≥ 92 %
<p>1) Kravet til minimum bitumenindhold skal korrigeres ved at multiplicere med faktoren: $\alpha = 2,650/\rho$, hvor ρ er den samlede mineralfraktions densitet i Mg/m³ bestemt efter DS/EN 1097-6.</p> <p>2) DS/EN 12697-30 (2x50 slag)</p>	

Ref. /25/ indeholder en særdeles detaljeret beskrivelse af mix design for drænbe-
ton, hvor der henvises hertil.

4.2.2 Permeable ubundne bærelag

I Tabel 4 er angivet fordele, ulemper og cases for forskellige permeable ubundne bærelag.

Tabel 4: Fordele, ulemper og cases for forskellige permeable ubundne bærelag.

	DrænStabil	Skærver	CGA (Coarse Graded Aggregate)	CA-15	Kassetter
Fordele	Bæreevne som traditionelt stabilt grus Stort porevolumen	Stor bæreevne (stenskelet) Relativt begrænset følsomhed for vandmætning	Skal undersøges nærmere før anvendelse i Danmark – se specifikation i Tabel 6	Skal undersøges nærmere før anvendelse i Danmark – se specifikation i Tabel 7	Stor magasin-kapacitet Befæstelsens bæreevne påvirkes ikke af graden af vandmætning Skal undersøges nærmere
Ulemper	Langsom komprimering fordi vandtilsætning er besværlig Følsom over for vandmætning (15-20 % reduktion af E-modul) Begrænset ressource (som grus i øvrigt) Ukendt specifikation Begrænset erfaring i praksis	Vanskelig stabilitet under indbygning Vanskeligt at køre på under udførelse Komprimeringskontrol kan primært udføres funktionskontrol (nedsynkning fra tungt køretøj) Svært at udlægge asfaltslidlag på skærver Følsom for tilstopning med partikler under udførelse Materialet skal importeres			Dyr i anlæg Olie indgår i produktionen
Case/reference	Agerlandsvej, Odense Eksportvej, Billund, se bilag A	Ref. /18/	Ref. /17/	Ref. /10/	Ref. /19/

NCC har udviklet materialet DrænStabil (Ref. /38/), som finder udbredt anvendelse i Danmark til ubundne, permeable bærelag. Tabel 5 viser deklarerede værdier for materialet:

Tabel 5: NCC DrænStabil 0-32 mm: deklarerede værdier (Ref. /38/).

Egenskab	Værdi
Kornstørrelsesfordeling	G _N D ₅₀ = 17,0 ± 5 mm D ₁₅ = 5,3 ± 2 mm
Indhold af finstof	UF ₃
Formindeks	SI ₂₀
Knusningsgrad	C _{50/10}
Infiltrationshastighed	> 10 mm/s
Permeabilitet	> 5 x 10 ⁻⁴ m/s
Tilgængeligt porevolumen	> 30 %
Referencedensitet ¹	1,72 - 1,80 Mg/m ³
Los Angeles indeks	≤ 30 %
Materiale E-modul	300 MPa
¹ Referencedensitet varierer afhængigt af produktionssted	

I Tabel 6 er angivet materialekravene for Coarse Graded Aggregate (CGA) iht. Ref. /17/.

Tabel 6: Materialekrav for CGA iht. tabel 11 og 12 i Ref. /17/.

	Sieve size (mm)	Percentage Passing (%)
	40	100
	31.5	98-100
	20	90-99
	10	25-70
	4	0-15
	2	0-5

Table 11: Typical Particle Size Distribution limits for Type 4/20 coarse graded aggregate.

Properties	Category to BS EN 13242 or BS 12620
Grading	4/20 (preferred) or 4/40, Gc 85 – 15, GTC 20/17.5
Fines content	f ₄
Shape	Fl ₂₀
Resistance to fragmentation	LA ₃₀ *
Durability: Water absorption to BS EN 1097-6:2000, Clause 7 – for WA > 2%, magnesium sulphate soundness	WA ₂₄ 2 MS ₁₈
Resistance to wear	M _{DE} 20
Acid-soluble sulphate content: – aggregates other than air-cooled blast-furnace slag air-cooled blast-furnace slag	AS _{0,2} AS _{1,0}
Total sulphur: – aggregates other than air-cooled blast-furnace slag air-cooled blast-furnace slag	≤ 1% by mass ≤ 2% by mass
Volume stability of blast-furnace and steel slags: air-cooled blast-furnace slag – steel slag	Free from dicalcium silicate and iron disintegration in accordance with BS EN 13242:2002, 6.4.2.2 V ₅
Leaching of contaminants	Blast-furnace slag and other recycled materials should meet the requirements of the Environment Agency 'Waste Acceptance Criteria' for inert waste when tested in accordance with BS EN 12457-3

Tabel 7 angiver materialekravene for Coarse Aggregate (CA15) i henhold til Ref. /36/.

Tabel 7: Materialekrav for CA15 oversat i henhold til Ref. /36/ (amerikanske sigtestørrelser).

Sigtestørrelse, Procent gennemfald			
12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	1,18 mm
100	75±15	7±7	2±2

De to materialer omtalt i Tabel 6 og Tabel 7 er tæt på at være enskornede, hvorfor det må forventes, at de to materialer har lavere bæreevne end traditionelle danske grusbærelag (stabilt grus, skærver).

4.2.3 Permeable ubundne materialer til afretningsgrus

Til brug i forbindelse med permeable belægninger med betonbelægningssten har NCC udviklet produktet DrænAf (Ref. /38/). Deklarerede værdier for dette produkt er gengivet i Tabel 8.

Tabel 8: NCC DrænAf 2-5 mm: deklarede værdier (Ref. /38/).

Egenskab	Værdi
Kornstørrelsesfordeling	G _C 85-15 G _{T_C} 25-15 D ₅₀ ¹ = 3,3 ± 1 mm D ₁₅ ¹ = 2,1 ± 1 mm
Indhold af finstof ¹	UF ₃
Knusningsgrad	C _{50/30}
Infiltrationshastighed ¹	> 10 mm/s
Permeabilitet	> 5 x 10 ⁻⁴ m/s
¹ Varierer afhængigt af produktionssted. De valgte værdier gælder for Nyrand Grusgrav i Vestsjælland.	

4.2.4 Geotekstil, geonet og tæt membran

Som vist i Figur 2 og nævnt i forbindelse med denne kan det være relevant at anvende geotekstil, geonet og/eller tæt membran som del af permeable befæstelser. Anvendelse af de tre typer materialer er ikke anderledes for permeable befæstelser end for andre konstruktioner.

Geotekstiler vil typisk være vævede produkter som anvendes til at hindre opblanding af forskellige materialer. I forbindelse med permeable belægninger skal man være opmærksom på risikoen for at geotekstiler kan tilstoppes af materialer, som transporteres af vand i belægningen. Dermed kan geotekstilen være begrænsende for permeabiliteten i hele opbygningen.

Geonet, som eventuelt kan kombineres med geotekstiler, finder typisk anvendelse som middel til at forbedre bæreevnen af et eller flere bløde lag i en vejbefæstelse. I forbindelse med permeable belægninger kan det være relevant at benytte geonet til at gardere sig mod tab af bæreevne som følge af opblødte lag.

Membranerne kan udføres i eksempelvis plast, ler eller bentonit og har til formål at hindre vejvand i at trænge ned i underliggende lag. Anvendelse af membraner kan være delikat, da membranen ikke må beskadiges under lægningen eller af sten eller lignende, der findes på arbejdsstedet. Tilsvarende kan det være svært at håndtere grænseflader til kantsten, brønde mv. Endelig udgør membraner et besværligt element i forbindelse med opgravninger, hvor der vil være stor risiko for beskadigelse af membranen.

4.3 Nedsivningskapacitet

De generelle gennemsnitlige nedsivningshastigheder for forskellige jordtyper er angivet i Tabel 9. Hastigheden er dels angivet som den traditionelle k-værdi, men også omregnet til, hvor mange mm regn den intakte jordtype vil kunne nedsive i løbet af henholdsvis en time eller fire timer.

Tabel 9: Oversigt over nedsivningshastighed fordelt på jordtyper.

Nedsivningshastighed		
k, m/s	jordtype	mm/time
10^{-3}	Sand, groft	3.600
10^{-4}	Sand, fint	360
10^{-5}	Silt	36
10^{-6}	Ler, sandet	4
10^{-7}	Ler, siltet	0

4.4 Magasinkapacitet

Når vejvandet siver gennem den permeable overflade, skal der nedenunder være et volumen, der kan magasinere det nedtrængende vand, hvis ikke den underliggende jord eller udløbet kan fjerne vandet lige så hurtigt som det tilføres. En af fordelene ved permeable belægninger er netop at der i bærelagene findes et stort volumen til magasinering og forsinkelse af regnvandet. Dette kan enten helt spare kloakering for vejvand eller reducere størrelsen af kloaksystemet.

Størrelsen af det nødvendige magasineringsvolumen afhænger af flere parametre, bl.a. hvor hurtig vandet kan bortledes fra magasinet og hvor hyppigt man kan acceptere at magasinet fylder helt op så der ikke længere sker nedsivning gennem den permeable belægning.

I Tabel 10 er det for tre forskellige steder i landet angivet, hvor stort et magasineringsvolumen der skal være pr. m^2 vejflade, afhængigt af hvor tit man kan acceptere overbelastning for forskellige varigheder af nedbørsperioder. Der ses at der skal

anvendes et volumen der er ca. 5 gange så stort, hvis man vil sikre sig mod en regnperiode på 24 timer end et 10 minutters regnskyl, som ofte anvendes ved dimensionering af interne regnvandsinstallationer ved huse. Det er generelt de langvarige regnskyl der er dimensionsgivende for bassiner/magasiner, mens det er de kortere intensive regnhændelser, der er dimensionsgivende for rørsystemer. De angivne volumener i Tabel 10 er beregnet under forudsætning af at der ikke sker nedsivning til jorden eller konstant udløb til kloak eller andet. Tallene svarer derfor til det nødvendige volumen ved en vejkasse med tæt membran og et evt. overløb i toppen af bærelaget.

Tabel 10: Overslag over nødvendig volumen for 100 % opmagasinerung af vejvand (ingen nedsivning eller konstant udløb fra vejassen i regnperioden). Volumen er angivet pr. m² vejflade for forskellige varigheder af regn og for forskellige niveauer for accept af oversvømmelse/nødoverløb.

Vejen/Brørup 848 mm/år	10 min	1 time	6 timer	24 timer
	liter/m ² vej	liter/m ² vej	liter/m ² vej	liter/m ² vej
T=5 år	11,0	21,4	34,9	49,8
T=10 år	13,1	25,5	41,1	57,5
T=25 år	16,3	31,8	50,4	72,0
T=100 år	22,2	44,1	67,0	88,4
Hillerød 644 mm/år	10 min	1 time	6 timer	24 timer
	liter/m ² vej	liter/m ² vej	liter/m ² vej	liter/m ² vej
T=5 år	10,6	21,2	35,8	52,4
T=10 år	12,7	25,6	42,7	61,7
T=25 år	15,8	32,4	54,0	72,0
T=100 år	21,6	44,8	71,8	98,9
Næstved 611 mm/år	10 min	1 time	6 timer	24 timer
	liter/m ² vej	liter/m ² vej	liter/m ² vej	liter/m ² vej
T=5 år	10,5	20,4	32,6	45,5
T=10 år	12,6	24,5	38,5	52,8
T=25 år	15,7	30,6	46,8	57,6
T=100 år	21,4	42,7	63,5	82,2

I regi af LAR i Danmark (Ref. /34/) er der udviklet et webbaseret værktøj (regneark) til bestemmelse af nødvendigt magasineringsvolumen afhængig af vejens placering, jordens infiltrationsegenskaber, acceptabel overløbshyppighed mv. Dette værktøj er bl.a. anvendt ved udarbejdelsen af Tabel 10.

Link: <http://www.laridankmark.dk/dimensionering-af-lar-anlaeg/31582>

4.5 Trafikbelastning og bæreevne

For at kunne anbefale hvor permeable belægninger kan anvendes er det relevant at opgøre, hvilke trafikmængder nuværende permeable belægninger har været udsat for. Desuden er det i dimensioneringssammenhæng vigtig at have E-værdier for de materialer, som indgår i permeable belægninger. Specielt i den kritiske situa-

tion, som oftest vil indtræffe når materialerne er i vandmættet tilstand. For materialer, hvis styrke primært kommer fra stenskeletet (eksempelvis stenbærelag) er E-værdi kun lidt eller slet ikke afhængig af vandindholdet.

Tabel 11 angiver trafiktal og E-værdier som er gengivet i de kilder, vi har undersøgt. Trafiktal er angivet som i kilderne eller skønnet til en trafikklasse i henhold til den danske vejregel for dimensionering af vejbefæstelser (Ref. /20/).

Tabel 11: Trafiktal og E-værdier bestemt for udførte permeable belægninger.

Materiale	Trafik	E-værdi (MPa)	Vej	Reference i litteraturlisten
Drænasfalt (både slidlag og bærelag)	T1 ¹⁾	Ukendt	Agerlandsvej, Odense	Ref. /13/
Drænasfalt (både slidlag og bærelag)	T3	Ukendt	Eksportvej, Billund	Ref. /13/
Drænasfalt (både slidlag og bærelag)	ÅDT > 1.000	1.200 ²⁾	Borrebackevägen, Malmø	Ref. /18/
Drænasfalt	ÅDT: 14.900, lastbil-%: 6,9 -> T5	Ukendt	Vigerslevvej, København	Ref. /26/ og Ref. /27/
Drænasfalt	ÅDT: 7.800 ³⁾ , lastbil-%: 7 -> T4	Ukendt	Øster Søgade, København	Ref. /11/ og Ref. /12/
Drænasfalt	7.400 Æ ₁₀ /år	400-500	MnROAD, USA	Ref. /10/
Drænbeton	7.400 Æ ₁₀ /år	35.000 ⁴⁾	MnROAD, USA	Ref. /25/
DrænStabil	T1 - T3	300-350	Agerlandsvej, Odense (og flere andre)	Ref. /13/
Skærver (4-120mm)	ÅDT > 1000	175-365	Borrebackevägen, Malmø	Ref. /18/
Betonbelægningssten	T1	1.000-2.000 (jf. afsnit 4.9.1)	Svanemølle Hallen, København mv.	Ref. /8/

1) Trafikklasser T1-T7 er skønnet
2) Kritisk værdi (sommer)
3) Baseret på Ref. /33/
4) Skønnet værdi baseret på kilden (siger at E-værdien for drænbeton er højere end E-værdien for traditionel vejbeton; den angivne værdi stammer fra den danske vejregel for dimensionering af vejbefæstelser, Ref. /20/.

E-værdierne fra den danske vejregel for dimensionering af vejbefæstelser er til sammenligning (ifølge Ref. /20/):

- › Drænasfalt: 1.500 MPa
- › Beton (uarmet): 35.000 MPa
- › Stabilt grus: 300 MPa
- › Skærvemakadam: 1.000 MPa
- › Singelsmakadam: 600 MPa

4.6 Drift/vedligehold

Drift og vedligehold af drænelægninger handler i stort omfang om belægningens øverste lag, hvor trafik, vejr og miljø påvirker vejbelægningen, og hvor vejmyndigheden har mulighed for at påvirke vejens tilstand. I det følgende gennemgår vi kort emner, som vedrører drift og vedligehold af specifikke materialetyper.

4.6.1 Drænasfalt

De primære udfordringer vedrørende drænasfaltbelægninger handler om levetid, tilstopning af porestrukturen samt vinterforhold.

Det er rapporteret af flere kilder (Referencerne Ref. /10/ og Ref. /18/), at slidlag af drænasfalt forholdsvis hurtigt kommer til at lide af rivninger og sporkøring. Overordnet siges levetiden af drænasfaltbelægninger (slidlag) at være helt ned til 7-8 år svarende til kun 50 % af den forventede levetid for traditionelle, tætte asfaltbelægninger. Dette forhold medfører dels udgifter for vejmyndighederne til slidlagsfornyelse, og desuden påføres vejens brugere ulemper i forbindelse med vejarbejderne.

Med tiden må det forventes at porerne i belægningen fyldes med støv og andet snavs. For at undgå fuld tilstopning af porerne bør belægningen renses regelmæssigt – i størrelsesordenen 1-2 gange årligt (Ref. /11/, Ref. /12/ og Ref. /26/).

Drænasfalt kan repareres, men det kræver omhu af hensyn til bevarelse af porestrukturen og dens funktion. Huller i en drænasfaltbelægning bør ikke repareres ved simpel lapning med traditionel asfalt, men det skadede område bør hugges op/fræses bort og ny drænasfalt udlægges. På Øster Søgade i København blev det øverste drænende slidlag affræset og et nyt tilsvarende lag udlagt efter 8 år – med godt resultat (Ref. /11/ og Ref. /12/). Drænasfalt-slidlag som er udtørrede og lider af sten- og mørteltab kan eventuelt forsegles efter 5 – 7 års levetid, hvorved bitumenen kan genopfriskes og levetid forlænges i et vist omfang. I forbindelse med forsegling er det dog vigtigt, at drænevne opretholdes eller i hvert fald kun reduceres i meget begrænset omfang, således af lagets funktion opretholdes.

Det er forskellig opfattelse af drænasfaltbelægningers tilstand i vintersituationer med frost og sne (Ref. /18/, Ref. /22/, Ref. /23/, Ref. /24/). Københavns Kommune har uden de store problemer glatførebekæmpet drænasfalt på Lyngbyvej og Vigerslevvej som traditionel asfalt (Ref. /26/). Andre kilder henviser dog især til forøget forbrug af salt (op til 50 % merforbrug) på en drænasfaltbelægning (Ref. /22/). Det øgede saltforbrug kan udgøre et miljømæssigt problem, hvorimod styring af

saltspredning ikke bør være det store problem længere med de modererne GPS-styrede saltspredere. Glatføregrus må ikke benyttes da dette vil tilstoppe porerne i belægningerne.

I flere Europæiske lande er man tilbageholdende med at anvende drænasfalt på det overordnede vejnet på grund af den korte levetid og udfordringer om vinteren (Ref. /22/).

4.6.2 Drænbeton

I forhold til drænasfalt er der knapt så mange driftserfaringer med drænbeton, og vi har ikke kilder, som angiver levetid på drænbeton. Mens rivninger også er relevant for betonbelægninger, vil sporkøring ikke være et problem. Rensning skal også finde sted for drænbeton – i Minnesota har man gode erfaringer med spuling to gange om året (Ref. /25/).

Reparation af beton er generelt mere besværlig for betonbelægninger end for asfaltbelægninger. Det er eksempelvis lettere at reparere et hul i en asfaltvej end i en betonvej. I tilfældet med drænbelægninger må forskellen mellem asfalt- og betonbelægninger forventes at være mindre, da drænasfaltbelægningerne kræver mere omhu end traditionelle asfaltbelægninger. Der vurderes ikke at være betydelig forskel i arbejdet med at reparere traditionelle betonbelægninger i forhold til drænbeton.

I vintersituationen er der ingen forskel på asfalt- og betonbelægninger.

4.6.3 Betonbelægningssten

Generelt er belægninger med betonbelægningssten lette at vedligeholde og reparere. De største driftsmæssige udfordringer i brugen af betonbelægningssten er tilstopning af fuger, hvilket må forventes at føre til løbende udskiftning af fuger. Det må finde sted, når regnvand ikke længere kan sive gennem fugerne.

Betonbelægningssten med permeable fuger anlægges med fuger, som er bredere end i traditionelle stenbelægninger. Dette kan reducere risikoen for manglende stabilitet af belægningen. Derfor må man forvente en større indsats til opretning af sten i tilfældet med permeable fuger end på en traditionel betonstensbelægning. Omfanget af tilfælde med manglende stabilitet og tilhørende behov for opretning kan dog reduceres, såfremt der anvendes sten der svarer til belastningen, eksempelvis sten med knaster, låsende sten eller systemer med plastkiler mellem stene.

4.6.4 PermaStone

Den væsentligste udfordring i forhold til den epoxyholdige PermaStone er håndtering af materialet i forbindelse med skader og opbrydning. Det må forventes, at materialet skal bortskaffe som farligt affald.

4.7 Ledningsgrave

Kombinationen ledningsgrave og permeable belægninger kræver ekstra opmærksomhed. Ved udgravning skal man være opmærksom på, om graderingen af de permeable materialer medfører, at ledningsgraven ikke kan stå med lige så stort skråningsanlæg som ved traditionelle vejbygningsmaterialer. Sammenhængskraften i permeable vejmaterialer kan være betydeligt mindre end i bundsikring og stabilt grus.

Når materialerne er opgravet er det vigtigt at holde dem adskilt fra hinanden, så de kan tilbagefyldes uden at blive forurenede. Ligeledes er det vigtigt, at den permeable belægning – hverken fra toppen eller i selve udgravningen – ikke forurenede og tilstoppes under ledningsarbejdet.

Det bør sikres, at eventuelt materiale til omkringfyldning rundt om ledninger ikke utilsigtet kommer til at fungere som en barriere i forhold til afdræning og nedsivning i en permeable vejbefæstelse. Ved tilbagefyldning må det sikres, at funktionen af en permeabel vejopbygning kan genopbygges. Det vil sige, at materialerne indbygges forskriftsmæssigt, så de oprindelige drænveje og opmagasineringsmuligheder genetableres. Tilføres nye materialer i stedet for de opgravede, skal de nye materialer være af samme type som de oprindelige og have tilsvarende funktions-egenskaber. Det gælder desuden, at eventuelle membraner ikke må gennembrydes og i givet fald skal repareres.

Endelig kan det anbefales at anlægge permeable vejbefæstelser i afsluttede områder frem for pletvist. Herved bliver det lettere for vejmyndigheden, entreprenører mv. at vide, hvor der ligger permeable vejmaterialer, og hvor man skal være ekstra omhyggelig med håndtering af materialer.

4.8 Omgivelser (miljø)

Drænende vejbelægninger har en gunstig effekt på den støj, som udbredes fra trafik på vejene. Det er i dag den primære årsag til anvendelse af drænasfaltbelægninger. Drænende vejbelægninger har også gunstig effekt på trafikssikkerheden, da opsprøjt fra biler reduceres kraftigt.

Med hensyn til tilgængelighed kan brede fuger i belægninger med betonbelægningssten udgøre en udfordring, hvis belægningen ikke er helt jævn.

Den åbne struktur i en permeabel belægning med nedsivning kan være særdeles problematisk i forhold til spild fra eksempelvis en væltet tankbil. Medmindre der er tale om en vej bygget på en særdeles permeabel (sandet) underbund vil ud- og nedsivning fra en ulykke kunne begrænses til et forholdsvis begrænset geografisk område, som efterfølgende må udskiftes. Hvis den permeable belægning benyttes til opmagasinering af regnvand, men ikke benytter nedsivning kan problemet reduceres til vej-kassen og afløbssystemet.

PermaStone fremstillet med brug af epoxy udgør en (arbejds-)miljømæssig udfordring i forbindelse med anlæg af belægningen samt eventuelt senere bortskaffel-

sen af belægningen. Håndtering af epoxy er i meget høj grad styret af forskrifter begrundet i hensyn til arbejdsmiljø for de mennesker, som arbejder med stoffet.

4.9 Designkriterier for permeable befæstelser

I Vejreglen 'Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger', se Ref. /20/, er princippet for dimensionering af vejbefæstelser angivet, og der er udviklet et tilhørende computerprogram MMOPP, som kan anvendes ved dimensionering af vejbefæstelser på baggrund af standardmaterialer og belastninger.

Ved dimensionering af en given befæstelse tilpasses tykkelsen af de enkelte lag, så de underliggende lag beskyttes fra den forventede trafikbelastning i dimensioneringsperioden; dette gælder også for permeable belægninger.

Generelt findes der følgende lag i en permeabel befæstelse.

- › Permeable slidlag / bundne permeable bærelag
- › Permeable ubundne bærelag
- › Underbund.

I det følgende er relevante designkriterier gennemgået for nævnte befæstelseslag.

4.9.1 Permeable slidlag / bundne permeable bærelag

I gruppen af permeable slidlag / bundne permeable bærelag er der overordnet set følgende typer:

- › Drænasfalt
- › Drænbeton
- › Betonbelægningssten.

Drænasfalt

Drænasfalt (DA) er tilsvarende traditionel asfalt set ud fra et dimensioneringsmæssigt synspunkt, men med en højere hulrumsprocent. Asfalt nedbrydes ved en kombination af gentagne påvirkninger fra trafikbelastningen samt vejret.

I Ref. /20/ er der et designkriterium for asfalt mht. tilladelige tøjninger i undersiden, og DA er medtaget i referencens Tabel 8 med en design E-værdi på 1.500 MPa ved brug af modificeret bitumen. Denne E-værdi er baseret på, at DA udelukkende anvendes som slidlag, og derved har en relativ høj gennemsnitstemperatur over døgnet og over året. Med tykkere lag af DA kan E-værdien muligvis øges, da gennemsnitstemperaturen i hele lagets tykkelse må forventes at være lavere i de varme perioder. Dette vil dog kræve en nærmere undersøgelse, enten i laboratoriet eller ude i marken.

Således vurderes det, at det til en vis grad vil være konservativt at anvende design E-værdien for DA som angivet i Ref. /20/, da det samlede asfalthag i en permeabel befæstelse, hvor ikke kun slidlaget, men alle asfalthag er lavet af DA, må forventes at være stivere end den nuværende standard E-værdi. Den givne E-værdi af DA forventes dog ikke at variere uanset, om laget er vandmættet eller ej.

Til gengæld vil designkriteriet for asfalt/DA muligvis afhænge af, om laget er vandmættet eller ej. Såfremt der er frit vand i laget af DA, kan gentagne belastninger fra trafikken presse vandet frem og tilbage mellem de enkelte hulrum og derved over tid udvaske bitumenhinderne. Således bør det undersøges, om denne nedbrydende effekt giver anledning til, at det almindelige designkriterium for asfalt ikke kan anvendes for DA, men at der skal bestemmes et nyt designkriterium for dette materiale.

Ved dimensionering af en given belægning med DA kan computerprogrammet MMOPP anvendes, hvor passende design E-værdier indsættes af brugeren for de enkelte lag, inkl. underbunden. Såfremt et specifikt designkriterium udvikles for DA, kan dette indføres i MMOPP-databasen, hvorved MMOPP også vil kunne dimensionere befæstelser med DA i fuld asfalttykkelse.

Indtil da vil den erfarne MMOPP-bruger stadig kunne bestemme den kritiske tøjning for asfaltlaget og sammenholde denne værdi med et passende brugerdefineret designkriterium for derigennem at kunne dimensionering en belægning med DA i vandmættet tilstand.

Drænbeton

Drænbeton (DB) er tilsvarende traditionel beton set ud fra et dimensioneringsmæssigt synspunkt, men med en højere hulrumsprocent. Beton nedbrydes ved gentagne påvirkninger fra trafikbelastningen, mens vejret har mindre indflydelse efter, at betonen har opnået tilstrækkelig styrke, hvilket hovedsageligt sker inden for de første ca. 28 hærdedøgn.

I Ref. /20/ er der et designkriterium for beton (E-værdi på 35.000 MPa) mht. tilladelige tøjninger i undersiden, men der er ikke en design E-værdi for DB; denne E-værdi vil afhænge af tryk-/trækstyrken af den givne DB. Således vil den korrekte fremgangsmåde ved dimensionering af nødvendig tykkelse af DB i en given belægning være for en given E-værdi af materialet at bestemme trækspændingerne i betonen for den givne belastning og sammenholde dette med betonens bøjningstrækstyrke.

Design E-værdien af DB afhænger hverken af temperatur eller af graden af vandmætning.

Ved dimensionering af en given belægning med DB kan computerprogrammet MMOPP ikke anvendes, og de kritiske spændinger i DB-laget må beregnes ved brug af Westergaards formler eller passende Finite Element-værktøjer. Mht. et designkriterium for DB udtrykt som tilladeligt antal belastninger, så skal dette bestemmes således, at det også er gældende, såfremt DB-laget er vandmættet.

Betonbelægningssten

Betonbelægningssten (BBS) defineres iht. Ref. /20/ som angivet nedenfor:

- > Længde/tykkelse ≤ 4
- > Arealet af stenen $\leq 1 \text{ m}^2$.

Tykkelsen af stenene varierer, men jo større trafikbelastning (såvel antal belastninger som aksellast), jo tykkere sten.

Betonbelægningssten udlægges på et lag af afretningsgrus og fuges, hvorefter kombinationen af BBS, fugemateriale og afretningslag fungerer som beskyttelse af de underliggende lag. Ses der isoleret på kombinationen af BBS, fugemateriale og afretningslag har følgende betydning for en velfungerende belægning med BBS:

- › Trykstyrke af betonbelægningssten
- › Facon på betonbelægningssten (inklusive afstandsknaster)
- › Læggemønster af betonbelægningssten
- › Tykkelse af betonbelægningssten
- › Tykkelse af afretningslag
- › Fugefyldning.

Betonbelægningsstenene skal have en passende trykstyrke, så de ikke knuses, når de belastes af trafikken. For BBS, der opfylder kravene i DS/EN 1338, er dette ikke noget problem.

Mht. facon på samt læggemønster af BBS så kan der hentes inspiration fra afsnit 3.5 i Ref. /20/, hvor dette behandles.

Ligeledes er der i Ref. /20/ et katalog over befæstelser med betonbelægningssten afhængigt af trafikbelastning og dimensioneringsperiode, jf. referencens Tabel 16. Dette kan benyttes som udgangspunkt for fastlæggelse af nødvendig tykkelse af BBS.

Afretningslaget fungerer som et jævnt underlag for betonbelægningsstenene og opretter eventuelle små ujævnheder i det underliggende lag. Tykkelsen af laget bør tilstræbes at være passende lille. Iht. Ref. /30/ bør læggematerialet være 20-40 mm. Iht. Ref. /29/ skal læggematerialet være tyndt, men tilstrækkeligt til at kunne udfylde fugen nedefra, samt tykt nok til at stenene ikke står direkte på bærelaget.

Korrekt fugefyldning er essentielt for at sikre, at betonbelægningsstenene ligger stabilt og fungerer som en sammenhængende flade uden skadelige sætninger og/eller knusning af de enkelte sten. Det vil være nødvendigt at vedligeholde fugerne regelmæssigt og på passende vis i hele befæstelsens levetid for at sikre et tilfredsstillende resultat.

Såfremt ovenstående er tilpasset trafikbelastningen samt de øvrige lag i befæstelsen, vil betonbelægningsstenene ikke nedbrydes som følge af trafikbelastning. Således er det ikke relevant at tale om et designkriterium for BBS, men ved dimensionering af nødvendig tykkelse af de øvrige lag i befæstelsen er det relevant med en design E-værdi for kombinationen af BBS, fugemateriale og afretningslag.

E-værdien af en given kombination af BBS, fugemateriale og afretningslag afhænger af følgende:

- › Bredde af fuge Jo bredere fuge, jo lavere E-værdi
- › Fugefyldning Jo dårligere fugefyldning, jo lavere E-værdi
- › Tykkelse af afretningslag Jo tykkere afretningslag, jo lavere E-værdi.

Da dimensionering af befæstelser almindeligvis forudsætter, at de enkelte delelementer udføres korrekt og vedligeholdes regelmæssigt på passende vis, skal en design E-værdi udelukkende afspejle stivheden af det kombinerede lag under hensyntagen til de almindelige udførelsestolerancer samt hyppigheden af almindeligt vedligehold.

I designguiden 'The Structural Design of heavy Duty Pavements for Ports and other Industries', se Ref. /21/, anvendes en design E-værdi på 4.000 MPa for BBS, fugemateriale og afretningslag. Denne E-værdi er muligvis passende for BBS udlagt med smalle fuger, hvilket er tilfældet for traditionelle og permeable BBS. I tilfælde hvor fugerne er brede for at sikre nedsivning igennem disse, er ovenstående design E-værdi muligvis for høj.

Indtil dette er undersøgt nærmere for de forskellige typer BBS under danske forhold kan en lavere design E-værdi på eksempelvis 1.000-2.000 MPa anvendes for kombinationen af BBS, fugemateriale og afretningslag. Ligeledes bør det undersøges, om E-værdien falder, såfremt laget er vandmættet.

4.9.2 Permeable ubundne bærelag

I Ref. /20/ er der et designkriterium for ubundne materialer, der afhænger af E-værdien af det givne materiale. Designkriteriet viser sammenhængen mellem antal belastninger og tilladelig lodret spænding på oversiden af laget, idet gentagne belastninger over tid vil medføre en efterkomprimering af laget, hvilket kommer til udtryk som sporkøring på overside af befæstelsen.

E-værdien af et givent lag af ubundet materiale afhænger af en række faktorer, hvoraf de vigtigste er:

- › Komprimeringsgrad
- › Knusningsgrad
- › Kornkurve
- › Fillerindhold
- › Vandindhold.

Komprimeringsgrad

Komprimeringsgraden af et ubundet bærelag er fastsat i udbudsdokumenterne for det givne projekt, og erfaringstal er anvendt for traditionelle, ubundne materialer, hvilket sikrer tilstrækkelig komprimering af laget, så efterkomprimering ikke forekommer i skadelig grad i løbet af dimensioneringsperioden.

Knusningsgrad

Knusningsgraden har betydning for hvor let de enkelte partikler flytter sig i forhold til hinanden, og derved hvor stabilt/stift laget er. Hvis alle andre parametre er ens (samme komprimeringsgrad, kornkurve, fillerindhold og vandindhold), så vil et lag af fuldknuste aggregater have en højere E-værdi end det tilsvarende, uknuste materiale.

Kornkurve

Kornkurven er et udtryk for, hvor tæt materialet teoretisk kan pakkes. En Fuller-kurve er afstemt, så alle hulrum teoretisk fyldes op, hvilket resulterer i den største stabilitet og derved også den største E-værdi for et givent materiale. En optimal pakning af materialet vil dog netop gøre laget impermeabelt; således vil en kornkurve for et permeabelt, ubundet materiale være afpasset, så laget har et passende hulrum med dertilhørende design E-værdi, når det er færdigkomprimeret, samtidig med at laget har en tilstrækkelig høj stabilitet.

Fillerindhold

Fillerindholdet i et givet ubundet materiale har indflydelse på såvel stivheden af det indbyggede lag som drænevne og frostfølsomhed. Derudover har fillerindholdet betydning for bevarelse af bæreevnen, når materialet bliver vandmættet, hvilket jo er intentionen med et permeabelt, ubundet bærelag. Således må det forventes, at fillerindholdet i et givet permeabelt, ubundet materiale vil være lavt eller endda nul. Det lave fillerindhold i permeable materialer kan gøre materialet besværligt at komprimere, da filleren holder på vand, hvilket i traditionelle vejmaterialer letter komprimering.

Vandindhold

Vandindholdet i et givet ubundet materiale kan virke som smøremiddel mellem kornene; fillerindholdet i materialet har dog betydning for, hvor følsomt et givent ubundet materiale er med hensyn til stivhed overfor at blive vandmættet. Således bør E-værdien af et givet permeabelt, ubundet materiale bestemmes ved både naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand.

Det er relativt ressourcekrævende og omkostningstungt at fastlægge E-værdien for et granulært materiale, men en metode vil være at anvende dynamisk triaksialforsøg i laboratoriet. Når E-værdierne er fastlagt ved forsøg, er det springende punkt hvilken værdi, der skal anvendes som design E-værdi. Er værdierne ved hhv. naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand tæt på hinanden, vil det være passende at anvende den lave værdi, som alt andet lige vil være i vandmættet tilstand.

Afhængigt af afvandingsforholdene vil det i de fleste tilfælde være konservativt at benytte E-værdien i vandmættet tilstand, såfremt denne er væsentligt lavere end ved naturligt vandindhold. I disse tilfælde kan en passende, vægtet design E-værdi bestemmes ved brug af MMOPP. Dette er illustreret med et regneeksempel i Bilag B.

4.9.3 Underbund

I en traditionel vejbefæstelse tilpasses afvandingen så vejaksen holdes tør, og nederste lag i befæstelsen er drænende, så vand, der måtte trænge ned gennem befæstelsen, eller vand, der steg op nedefra, ville blive ledt ud til et dræn og ledes bort.

Uanset type af befæstelse kan det ikke sikres, at underbunden ikke kan være i vandmættet tilstand i dele af året. Således dimensioneres befæstelser generelt for underbunden i vandmættet tilstand, hvilket til en vis grad er konservativt.

Dette betyder dog, at underbundens stivhed ikke vil blive vurderet anderledes for en permeabel befæstelse i forhold til en traditionel befæstelse ud fra et dimensioneringsmæssigt synspunkt.

5 Myndighedsforhold

I dette afsnit gennemgås de forhold som myndighederne belyser og lægger til grund for tilladelser til nedsivning og udledning af vejvand. Lovgivningen på området gennemgås kort, ligesom planer og andre forhold der har særlig betydning i forbindelse med vejafvanding nævnes.

5.1 Lovgivning

Den lovgivning der regulerer afvanding af vejene er hhv. miljølovgivningen samt vejlovgivningen, og disse gennemgås herunder.

5.1.1 Miljø

Miljølovgivningen skal sikre, at vejvandet ikke forurener miljøet – dvs. jord/undergrund og vandressourcen (vandløb, søer, hav, grundvand). De punkter i miljølovgivningen, der regulerer afvandingen, er nærmere gennemgået i det følgende.

Bekendtgørelse af lov om Miljøbeskyttelse (LBK nr. 879 af 26. juni 2010), populært kaldet miljøbeskyttelsesloven, har til formål at værne om miljø og natur så udviklingen sker på et bæredygtigt grundlag og så dyre- og plantelivet bevares.

Miljøbeskyttelseslovens §19 (uddrag):

§ 19. Stoffer, produkter og materialer, der kan forurene grundvand, jord og undergrund, må ikke uden tilladelse

- 1) nedgraves i jorden,
- 2) udledes eller oplægges på jorden eller
- 3) afledes til undergrunden.

(Stk. 2 og 3 udeladt)

Stk. 4. Tilladelse efter stk. 1 og 2 gives af kommunalbestyrelsen, medmindre miljøministeren fastsætter andre regler.

(Stk. 5-7 udeladt)

Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 (BEK nr. 1448 af 11. december 2007), populært kaldet spildevandsbekendtgørelsen, anvendes på alle offentlige og private spildevandsanlæg samt ved tilfø-

sel af stoffer direkte til grundvandet. Tag- og overfladevand defineres også som spildevand, og dermed er vejvand også spildevand.

Spildevandsbekendtgørelsen uddyber miljøbeskyttelsesloven, og §30 stiller krav til hvor nedsivning af overfladevand (herunder vejvand) kan tillades.

Spildevandsbekendtgørelsens §30: *(kan ikke påklages)*

§ 30. Tilladelse til afledning af tag- og overfladevand til nedsivningsanlæg, hvortil der ikke afledes husspildevand eller procesvand, kan meddeles, når følgende betingelser er opfyldt:

- 1) Afstanden til vandindvindingsanlæg, hvortil der stilles krav til drikkevandskvalitet, er mindst 25 meter,
- 2) nedsivningsanlægget dimensioneres, placeres og udføres således, at der ikke opstår overfladisk afstrømning, overfladegener, eller gener i øvrigt,
- 3) afstanden fra nedsivningsanlægget til vandløb, søer og havet er mindst 25 meter, og
- 4) tag- og overfladevand kommer ikke fra offentlige veje, jernbaner eller befæstede arealer, der anvendes til parkering for mere end 20 biler.

Hvis betingelserne i §30 ikke kan opfyldes, kan der alligevel udstedes tilladelse til nedsivning af overfladevand, når kommunen vurderer, at det ikke er i strid med planer, hydrogeologi mv. Denne afgørelse kan påklages til Natur- og Miljøklagenævnet.

Spildevandsbekendtgørelsens §31: *(kan påklages til Natur- og Miljøklagenævnet)*

§ 31. Er betingelserne i §§ 29 og 30 ikke opfyldt, kan tilladelse dog meddeles, når følgende betingelser er opfyldt:

- 1) Tilladelsen er ikke i modstrid med områdets vandforsynings-, spildevands-, kommune- og vandplaner,
- 2) de hydrogeologiske forhold sandsynliggør, at nedsivningen vil kunne ske uden risiko for forurening af vandindvindingsanlæg,
- 3) nedsivningen vil ikke medføre forurening af grundvandsressourcer, der er anvendelige til vandforsyningsformål,
- 4) nedsivningen er ikke til hinder for, at de i vandplanen fastlagte mål for kvaliteten af grundvand, vandløb, søer og havet kan opfyldes, og
- 5) afstanden til vandløb, søer og havet er mindst 25 meter.

5.1.2 Vej

Vejlovgivningen skal sikre, at vejene er velfungerende og trafiksikre.

Lov om offentlige veje m.v. (LOV nr. 1520 af 27. december 2014) angiver bl.a. at vejene skal vedligeholdes, så trafikafviklingen kan ske sikkert, og den anviser også de pligter som vejmyndigheden har til drift og vedligehold – herunder sikring af en velfungerende afvanding.

Lov om offentlige veje m.v. (uddrag)

§ 1. Denne lov skal medvirke til

- 1) at sikre et velfungerende og sammenhængende vejnet,
- 2) at sikre mobiliteten på vejene til gavn for samfundsøkonomien og udvikling i alle dele af Danmark,
- 3) at sikre gode vej- og stiforbindelser mellem hjem, skole, arbejdsplads, kulturinstitutioner og fritidsaktiviteter m.v.,
- 4) at fremme trafiksikkerheden og trafikafviklingen gennem en sammenhængende vejplanlægning og tidssvarende vejanlæg, og

§ 8. Det er vejmyndighedens ansvar at holde sine offentlige veje i den stand, som trafikens art og størrelse kræver.

Stk. 2. Vejmyndigheden bestemmer, hvilke arbejder der skal udføres på dens veje, og afholder de udgifter, der er forbundet med sikring og andre forberedende foranstaltninger, anlæg, drift og vedligeholdelse af disse veje, medmindre andet er aftalt mellem vejmyndigheden og en anden vejmyndighed eller en fysisk eller en juridisk person eller er bestemt efter denne lov.

(stk. 3-5 udeladt)

§ 62. På offentlige veje og stier har vejmyndigheden pligt til

- 1) at sørge for snerydning,
- 2) at træffe foranstaltninger mod glat føre og
- 3) at sørge for renholdelse.

Stk. 2. Vejmyndigheden bestemmer snerydningens, glatførebekæmpelsens og renholdelsens omfang og rækkefølge.

(stk. 3-8 udeladt)

Derudover findes en lang række mere detaljerede krav og specifikationer om afvandning i "Afvandingskonstruktioner", december 2009 (Ref. /37/). Vejreglen omhandler dimensionering, projektering, udførelse og vedligehold af gængse afvandingskonstruktioner, der indgår i vej- og stiafvandning.

Den hydrauliske dimensionering skal sikre at der opnås en tilstrækkelig sikkerhed for, at overflade- og drænvand kan bortledes, hvorved skadernes omfang og hyppighed begrænses.

5.2 Myndighedskrav

Myndigheden (kommunerne) skal på baggrund af de krav, der findes i bl.a. Miljøbeskyttelsesloven og Spildevandsbekendtgørelsen samt retningslinjerne i vandplanerne, stille vilkår til afledning af vejvand (spildevand) for at minimere forurening af jord, grundvand eller vandområder. Kommunernes krav udmøntes i de kommunale spildevandsplaner, som omtales i afsnit 5.2.3 og frem.

5.2.1 Vandplanerne

I Vandplanerne har Naturstyrelsen udstukket retningslinjer for kommunernes administration af miljølovgivningen, så forringelser af tilstanden for vandområderne forebygges.

Vandplanerne er overordnede, og der er kun udstykket en enkelt retningslinje der direkte kan relateres til vejafvanding, og denne angiver, at udledningerne skal forsynes med bassiner, så bundfældelige stoffer tilbageholdes. Bassinstørrelsen skal gradueres, efter vandområdets følsomhed samt omfanget af trafikbelastningen.

Naturstyrelsen forholder sig til nedsivning af tag- og overfladevand i 'Bilag 1 til: Statslig udmelding til vandplanernes retningslinjer 40 og 41 ...' vedr. beskyttelse af grundvandsressourcen, hvoraf det fremgår:

Tagvand, vejvand og vand fra befæstede arealer

Nedsivning af vejvand og andet vand fra befæstede arealer kan udgøre et problem i sårbare områder. Vejsalt udgør generelt ikke en risiko for forurening af grundvandet, men kan udgøre et lokalt problem i større byer og langs trafikintensive veje, der saltes intensivt. Det er vigtigt at være opmærksom på, at op til 5 % af vejsaltet kan være tilsetningsstoffer, som er miljømæssigt relevante, f.eks. jerncyanid og azotiazoler. Der kan anvendes alternativ glatførebekæmpelse i trafikintensive områder. Endelig er det muligt at rense vej- og overfladevand inden nedsivning, f.eks. ved dobbeltporøs filtrering eller filterjord. Løsningen kan benyttes, hvor grundvandsressourcen er meget sårbar.

Forureningstrusler (side 12)

- *Nedsivning af tagvand til grundvandet udgør generelt ikke en forureningsrisiko. Nedsivning af vejvand og andet vand fra befæstede arealer kan udgøre et problem i sårbare områder.*
- *Vejsalt udgør generelt ikke en risiko for forurening af grundvandet, men kan udgøre et lokalt problem i større byer og langs trafikintensive veje, der saltes intensivt.*

Kilde: http://naturstyrelsen.dk/media/nst/attachments/80947/bilag1tilstatensudmelding_okt.pdf fra oktober 2012 (besøgt 22 januar 2015).

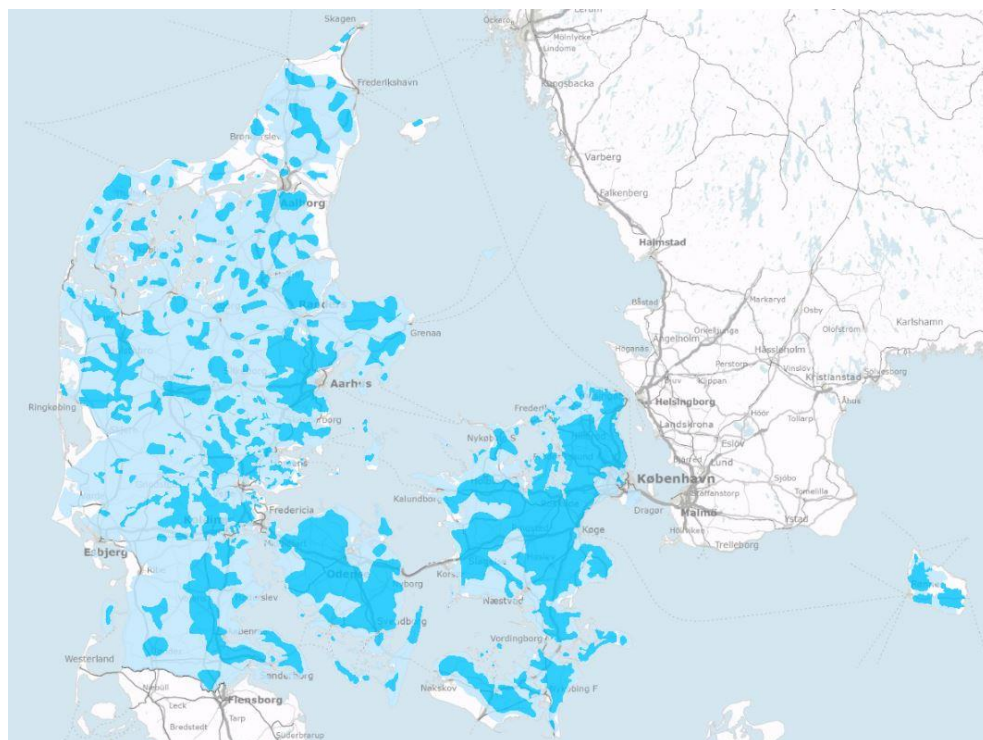
Ovenstående anbefalinger blev udsendt FØR afrapportering af Ref. /1/ og Ref. /2/ og samtidig med Ref. /3/ og Ref. /4/, hvorfor konklusionerne fra disse rapporter ikke nødvendigvis var kendte på tidspunktet for udmeldingen.

5.2.2 Grundvand

Staten har udpeget områder med særlig drikkevandsinteresse – de såkaldte OSD områder. Disse områder er særlig vigtige for indvindingen af grundvand, og tilsammen kan områderne dække det fremtidige behov for rent drikkevand. I de områder skal der derfor tages særlige hensyn til grundvandet. Disse områder dækker ca. en tredjedel af Danmark og fylder mest på øerne.

Der er også områder med drikkevandsinteresser (OD områder) hvor specielt mange mindre vandværker indvinder drikkevand, og i disse områder tages der også hensyn til grundvandet. Tilsammen udgør OSD og OD områderne omkring 85 % af Danmark.

På Figur 4 ses et kort over Danmark med angivelse af OSD og OD områder.



Figur 4: Illustration af OD og OSD områder fra miljøgis. Mørk blå: særlige drikkevandsinteresser (OSD). Lys blå: drikkevandsinteresser (OD). Kilde: <http://miljoegis.mim.dk/cbkort?profile=miljoegis-ns> (besøgt 23 maj 2015).

Specielt i OSD områderne stiller myndighederne ofte skærpede krav når det gælder nedsivning af vejvand og specielt er der fokus på saltproblematikken – se afsnit 5.3.5. Specielt på Sjælland og Fyn ses disse områder at udgøre en stor del af arealet.

5.2.3 Spildevandsplan

Kommunerne skal udarbejde en spildevandsplan, der beskriver hvordan spildevandet bortskaffes i kommunen. Planen skal bl.a. beskrive hvilke områder, der er kloakeret, og på hvilken form.

De kommunale myndigheder skal vurdere de lokale forhold og på baggrund heraf udstikke krav til afledningen. Når kommunerne stiller varierende krav til nedsivning og udledning af vandet fra vejene, skyldes det, at det afhænger af lokaliteten og de forskellige hensyn der skal tages afhængig af jordens beskaffenhed og om der sker vandindvinding i området.

Spildevandsplanen beskriver også serviceniveauet for kloaknettet – dvs. hvor ofte det tolereres at afløbssystemet overbelastes.

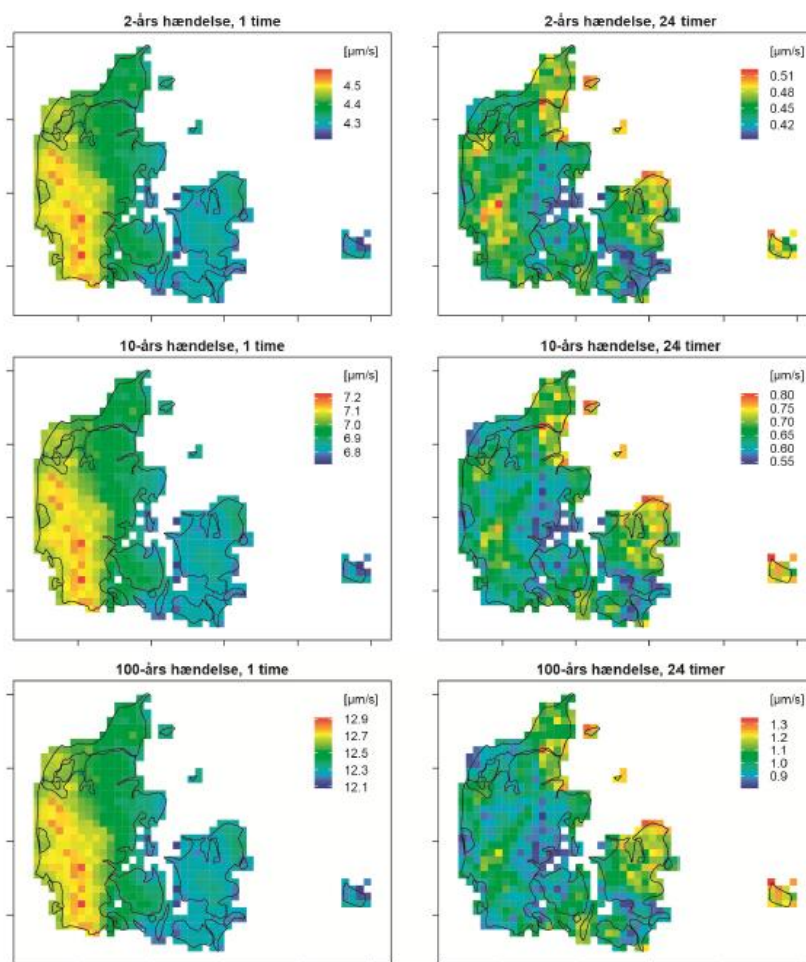
De fleste kommuner arbejder med et serviceniveau der siger, at oversvømmelse fra et regnvandssystem højst må forekomme én gang hvert 5. år og at oversvømmelse fra et fællessystem højst må forekomme én gang hvert 10. år.

Man kræver typisk, at vejafvandingsystemet skal leve op til mindst samme serviceniveau. Man kan derfor beregne hvor stor en vandmængde afvandingsysteme-

met skal kunne håndtere, hvis det skal kunne håndtere en nedbørsmængde der forekommer én gang hvert 5. år, 10. år, 25. år eller 100. år. Kapaciteten afhænger også af, om det er en meget kort og intens regn der forekommer hvert 10. år eller om det er en langvarig regn der forekommer hvert 10. år.

Selvom Danmark er et lille land, er nedbørsmønstret forskelligt afhængig af hvor man befinder sig, og ved kapacitetsberegninger indtaster man derfor koordinater for hvor man befinder sig. Det er således ikke det samme sted man ser de maksimale værdier for en kort og intens regn som for en langvarig regn.

På Figur 5 ses intensiteten for en 2 års, 10 års og 100 års hændelse for varigheder af hhv. 1 time og 24 timer.



Figur 5: Regnintensitet med den opdaterede model for hhv. 2 års, 10 års og 100 års hændelse med en varighed på hhv. 1 time og 24 timer. Kilde: Spildevandskomiteens skrift 30, Ref. 77/.

I Tabel 12 – Tabel 14 ses den nødvendige kapacitet ved forskellige regnhændelser. Værdierne er beregnet for hhv. Vejen, Hillerød og Næstved, som har forskellige karakteristika mht. nedbør, hvilket kan ses på Figur 5. Det er vigtigt at man ved dimensioneringen tager hensyn til de lokale nedbørsforhold som varierer meget over landet, hvilket tydeligt illustreres på Figur 5. I Tabel 12 – Tabel 14 er forskel-

lene i forhold til landsgennemsnittet tydeliggjort ved at markere "høje" værdier med mørk farve, "middelhøje" værdier med lys farve og "lave" værdier uden farve.

Tabel 12: Nødvendig kapacitet ved forskellige regnhændelser. Sikkerhedsfaktor 1,0, dvs. værdierne er nutidsværdier og ikke beregnet ift. fremtidens klima. Værdierne er beregnet for Vejen/Brørup, hvor der ses en høj intensitet for de korte hændelser. Årsmiddelnedbør: 848 mm.

Vejen/Brørup 848 mm/år	10 min		1 time		6 timer		24 timer	
	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha
T=5 år	1,1	183,3	0,36	59,3	0,10	16,2	0,03	5,8
T=10 år	1,31	218,7	0,43	71,0	0,11	19,0	0,04	6,7
T=25 år	1,63	272,2	0,53	88,8	0,14	23,3	0,05	8,0
T=100 år	2,22	370,0	0,74	122,3	0,19	31,0	0,06	10,2

Tabel 13: Nødvendig kapacitet ved forskellige regnhændelser. Sikkerhedsfaktor 1,0, dvs. værdierne er nutidsværdier og ikke beregnet ift. fremtidens klima. Værdierne er beregnet for Hillerød, hvor der ses en høj intensitet for de lange hændelser. Årsmiddelnedbør: 644 mm.

Hillerød 644 mm/år	10 min		1 time		6 timer		24 timer	
	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha
T=5 år	1,06	176,7	0,35	59,0	0,10	16,6	0,04	6,1
T=10 år	1,27	211,4	0,43	71,0	0,12	19,8	0,04	7,1
T=25 år	1,58	263,7	0,54	89,5	0,15	24,5	0,05	8,7
T=100 år	2,16	359,6	0,75	124,4	0,20	33,2	0,07	11,5

Tabel 14: Nødvendig kapacitet ved forskellige regnhændelser. Sikkerhedsfaktor 1,0, dvs. værdierne er nutidsværdier og ikke beregnet ift. fremtidens klima. Værdierne er beregnet for Næstved, hvor der generelt ses lave intensiteter. Årsmiddelnedbør: 611 mm.

Næstved 611 mm/år	10 min		1 time		6 timer		24 timer	
	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha
T=5 år	1,05	175,6	0,34	56,7	0,09	15,1	0,03	5,3
T=10 år	1,26	210,0	0,41	68,1	0,11	17,8	0,04	6,1
T=25 år	1,57	261,9	0,51	85,5	0,13	21,9	0,04	7,4
T=100 år	2,14	356,7	0,71	118,5	0,18	29,4	0,06	9,5

Spildevandsplaner er udformet meget forskelligt, og det er ikke i alle planer at der aktivt tages stilling til håndtering af vejvand, men i de kommende afsnit ses et eksempel fra Allerød Kommunes spildevandsplan samt nogle retningslinjer fra Gladsaxe Kommune.

5.2.4 Eksempel – Allerød Kommune

Allerød Kommunes spildevandsplan indeholder følgende tekst:

Nedsivning af vejvand

Ved overfladevand fra veje (vejvand) forstås regnvand, der falder på veje, parkeringsarealer, cykelstier og lignende. Der gælder særlige regler for nedsivning af vejvand.

Nedsivning af vejvand fra byzoner og tungt belastede veje skal undgås i kildepladszoner.

Indholdet af salt i grundvandet er et stigende problem og det er derfor et mål for Allerød Kommune at minimere brugen af salt så meget som muligt. Etablering af nye arealer, hvorpå der saltes og hvor overfladevandet ledes til nedsivning, skal så vidt muligt undgås.

Figur 6: Uddrag af Allerød Kommunes spildevandsplan. Kilde: http://alleroed-sp.odeum.com/dk/retningslinjer_og_tilladelser/nedsivning_af_vejvand/nedsivning_af_vejvand.htm (besøgt 26 januar 2015).

Allerød Kommune tillader på baggrund af ovenstående ikke nedsivning af vejvand fra byzone og tungt belastede veje i kildepladszoner.

Allerød Kommune ønsker heller ikke, at der saltes, hvor vejvandet nedsives, så enten skal saltning undgås og dermed kan der nedsives eller alternativt skal der afledes til kloak. (Som dog også i tilfælde af separatkloakering kan belaste recipienten med salt).

5.2.5 Eksempel – Gladsaxe Kommune

Gladsaxe Kommune ønsker at fremme brugen af LAR-løsninger, og der er allerede etableret flere forskellige løsninger i kommunen, og Gladsaxe Kommune har derfor udstukket krav/retningslinjer for nedsivning af regnvand. Kravene skal tages som udgangspunkt mht. udformning og placering, men Gladsaxe Kommune er åben for en kvalificeret diskussion af kravene, i det omfang det åbner mulighed for yderligere nedsivning under teknisk og miljømæssige forsvarlige forhold.

Gladsaxe Kommune kræver som udgangspunkt, at der udføres en nedsivningstest, herunder at afstanden til grundvandsspejlet undersøges og at karakteren af jordlagene i umættet zone beskrives.

Nedsivningsløsningen skal kunne håndtere en 5-års regnhændelse, og der skal desuden redegøres for, hvor vandet løber hen når anlægget overbelastes.

Gladsaxe Kommune har desuden fokus på et stigende grundvandsspejl, og arbejder derfor på at udarbejde et værktøj til belysning af den kvantitative påvirkning af grundvandsressourcen og vandspejl, så det samlede nedsivningspotentiale for et opland ikke overskrides.

Da hele Gladsaxe Kommune er udlagt som OSD-område og/eller indvindingsopland, stilles følgende krav til nedsivning af vejvand for at beskytte grundvandsressourcen:

- › Afstand til nærmeste drikkevandsboring skal være mindst 300 m
- › Der må ikke anvendes pesticider, vaskes bil og lignende forurenende aktiviteter på veje med afløb til nedsivningsanlæg
- › Nedsivning skal som udgangspunkt ske fra overfladen og en god sorptionskapacitet og en iltet umættet zone skal sikres
- › Rensning af vandet kan ske ved nedsivning gennem vegetationsdækket jordoverflade og gennem filterjord eller tilsvarende
- › Nedsivning må som udgangspunkt ikke føre til negativ påvirkning af grundvandskvaliteten. Nedsivning tillades som udgangspunkt på mindre befærdede veje svarende til klasse 3 og 4 veje
- › Nedsivning fra vejarealer hvor der salttes (særligt med klorid) må ikke medføre overskridelse af baggrundskoncentrationen i det sekundære magasin. Dvs. koncentrationen målt over et år ikke må overskride 50 mg Cl pr. liter. Hvis dette ikke er muligt, skal vejvand i saltningsperioden ledes til kloak, og et alternativ til vejsalt bør undersøges.

Tilladelse til nedsivning fra veje, parkeringsarealer og interne køreveje gives med udgangspunkt i sagsspecifikke oplysninger.

I øjeblikket har Gladsaxe Kommune to igangværende projekter som planlægges udført i 2015, hvor en let befærdet vej/et parkeringsareal belægges med hhv. drænasfalt og permeabelt, ubundet bærelag hhv. en permeabel flisebelægning.

5.3 Forureningsparametre i vejvand

Der er inden for de seneste år lavet to rapporter om indholdsstoffer i tag- og vejvand, hvor der ses på hhv. risikoen ved nedsivning og udledning samt på forureningsrisikoen for grundvandet. Begge studier er udarbejdet for Naturstyrelsen.

Resultater og konklusioner fra de to rapporter Ref. /2/ og Ref. /4/ er gengivet herunder med fokus på vejvand.

Det nævnes i begge rapporter, at der er stor variation i indholdet af miljøfremmede stoffer i både regn- og vejvand. Variationerne skyldes bl.a. forskel i regnintensitet, tidsmæssig afstand mellem regnhændelser og trafikintensiteten. Generelt kan det siges, at stofindholdet øges med trafikbelastningen.

Asfaltbelægninger, herunder drænasfalt afgiver kulbrinter og PAH'er, mens de øvrige stoffer, der findes, typisk er forskellige former for kulbrinter fra brændstof, smøremidler, rustbeskyttelsesmidler og dæk samt forskellige metaller fra metalliske sliddele. Herudover er der eksempelvis plastblødgørere mv. Desuden findes der klorid i prøverne, og koncentrationen heraf varierer meget som funktion af årstiden.

5.3.1 Oliestoffer

Oliestofferne er opgjort som totalkulbrinter. Det forventes, at stoffer med høj flygtighed i et stort omfang vil være fordampet pga. af den store overflade vandet har, mens det afstrømmer på overfladen. De tunge oliestoffer vil sammen med tungmetallerne blive tilbageholdt i den øverste del af jorden, mens de lette oliestoffer forventes omsat biologisk.

Denne gruppe stoffer inkluderer blandt andet BTEX-forbindelser (flygtige organiske forbindelser), og screeningen viser, der er en risiko forbundet med enkelte af kulbrinterne heriblandt benzen og xylener. BTEX'er forekommer i benzin, og forurening vil derfor være forbundet med trafikintensiteten i byområdet.

Stofferne udgør sandsynligvis ikke en grundvandsrisiko. Det vurderes dog, at der helt lokalt, dvs. i et nærområde omkring nedslivningsstedet vil kunne forekomme mindre overskridelser af kvalitetskriterierne, hvis kildestyrken (tæt befæstet areal med høj forureningsgrad af vejvand) er høj og afstanden til grundvandet lille.

På Øster Søgade blev der i 2007 udlagt ny drænasfalt på en forsøgsstrækning. To gange årligt blev vejen spulet, og det affaldsprodukt der kom ud af dette er benævnt vejopfej. Dette vejopfej er analyseret for bl.a. tungmetaller, kulbrinter og PAH'er, Ref. /5/.

Analyser for oliestoffer fra Øster Søgade viste store forskelle i koncentrationerne prøverne imellem. Ved sammenligning med koncentrationer for sediment i regnvandsbassiner ligger koncentrationer nogenlunde på samme niveau.

5.3.2 PAH'er (polyaromatiske hydrocarboner)

PAH'erne er forbundet med trafik og forbrændingsprocesser, og de forventes derfor at forekomme i alle byområder.

PAH'er er karakteriseret ved deres ringstruktur, hvilket betyder, at de bindes tungt til jorden. PAH'erne har generelt en lav nedbrydelighed, hvilket ifølge screeningen betyder, at stoffet skal vurderes yderligere. Risikoen for forurening af grundvandet kan reduceres ved at anvende godt luftede materialer med et relativt højt organisk indhold og helst med adgang til lys.

Analyserne fra Øster Søgade for PAH viste, at koncentrationerne generelt er lave, samt at koncentrationerne falder med tiden. Årsagen kan ikke forklares.

I Ref. /5/ er der refereret til hollandske undersøgelser med drænasfalt. Undersøgelsen viser, at mængden af PAH i vandet fra den porøse asfalt er betydeligt lavere end i vand fra almindelige asfalter, og at den samlede koncentration næsten er ubetydelig. PAH-koncentrationer i græsprøver fra rabatten ved veje med drænasfalt er ligeledes betydeligt lavere end koncentrationer der findes langs veje med almindelig asfalt. Dette skyldes formodentlig mindre opsprøjt i våde perioder, hvilket er kendetegnende for drænasfalt, Ref. /6/.

Det tyder dermed på, at drænasfalten tilbageholder store mængder PAH, og undersøgelsen konkluderer, at det må være drænasfaltens store hulrum og dermed indre overflade der tilbageholder stofferne, Ref. /5/.

5.3.3 Andre organiske stoffer

DEHP, Di(2-ethylhexyl)ftalat, er den mest dominerende komponent i gruppen. Stoffet har en høj binding og en høj nedbrydelighed, og dermed udgør stoffet ikke en risiko over for grundvandet.

5.3.4 Tungmetaller

De tungmetaller der har overkoncentrationer i opløst form er bly og zink. For begge stoffers vedkommende er der tale om en relativt begrænset overkoncentration på mindre end en faktor 10. Stofferne kræver nærmere vurdering. De partikelbundne metaller vil for hovedpartens vedkommende sedimentere ud i bassin/bed eller blive filtreret fra i den allerøverste del af jordlegemet/filtermaterialet, typisk i den øverste 0,5-1 m.

Tungmetallerne opkoncentreres i rabatjorden og drænbede og kan fjernes ved at afgrave ganske små jordmængder med jævne mellemrum.

Undersøgelserne på Øster Søgade, Ref. /5/, viste, at der er store variationer i de målte koncentrationer, samt at der ikke er nogen klar trend.

I Ref. /5/ er der refereret til hollandske undersøgelser med drænasfalt. Undersøgelsen viser, at koncentrationen af tungmetaller, der strømmer gennem drænasfalten, er lavere end ved lokaliteter med almindelig asfalt. Indholdet af tungmetaller i græsprøver fra rabatten langs veje med drænasfalt er ligeledes betydeligt lavere end koncentrationer der findes langs veje med almindelig asfalt. Dette skyldes formentlig mindre opsprøjt i våde perioder, hvilket er kendetegnende for drænasfalt, Ref. /6/.

Det tyder dermed på, at drænasfalten tilbageholder store mængder tungmetaller, og undersøgelsen konkluderer, at det må være drænasfaltens store hulrum og dermed indre overflade der tilbageholder stofferne, Ref. /5/.

5.3.5 Klorid

Brug af vejsalt er en kilde til forhøjet kloridindhold i grundvandet, og klorid udgør et problem ved udbredt nedsivning af vejevand i byområder. Klorid hverken tilbageholdes eller nedbrydes under transporten til og igennem grundvandet.

I byområder er der risiko for at lokalt dannet grundvand har gennemsnitskoncentrationer over drikkevandskriteriet på 250 mg/l. Generelt opstår der dog ikke problemer i områder med meget lav befæstelsesgrad (f.eks. 5 % saltet areal), og i Jylland gør den større nettonedbør og nedsivning det langt lettere at overholde kriterierne. I Østdanmark kan det medføre overskridelse af kvalitetskriteriet for drikkevand for klorid, hvis mere end ca. 10-20 % af vejsaltsforbruget ender i grundvandet.

Grundet opblanding over større områder, er der kun få danske tilfælde, hvor vejsalt alene er årsagen til kloridkoncentrationer i grundvandet over 250 mg/l. Disse tilfælde er typisk meget tæt på store veje, hvor der kan dannes faner med høje kloridkoncentrationer. I visse områder, især Storkøbenhavn, kan lokale forhold med flere kilder til klorid i grundvandet betyde, at bidraget af klorid fra vejsalt sammen med de øvrige kilder i fremtiden giver problematiske kloridkoncentrationer.

Omfanget af vejsaltning bør derfor være en del af beslutningsgrundlaget, når LAR-løsninger planlægges inden for områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD).

Det konkluderes, at brug af vejsalt i Danmark i mange tilfælde kan håndteres uden risiko for at overskride de gældende kvalitetskrav. Dette indbefatter dog, at anvendelsen af vejsalt minimeres i byområder.

5.4 Sammenfatning

Endnu er der ikke anlagt så mange permeable belægninger i Danmark, og erfaringer og undersøgelser af miljøpåvirkningen er derfor begrænset.

Konklusionen i Ref. /2/ er, at indtil der foreligger mere realistiske risikovurderinger af stofferne og virkningen på miljøet er dokumenteret, anbefales det derfor at der ikke nedsives regnvand i byområder med særlige drikkevandsinteresser uden forudgående rensning, som f.eks. bundfældning, filtrering og adsorption.

Salt (klorid) er en særlig problemstilling, der kræver en helt anden tilgang end for de resterende stoffer, da klorid ikke kan renses ud af vandet.

Konklusionerne for en del af de nævnte stoffer er, at det øverste jordlag kan fjernes med jævne mellemrum, at nedsivning bedst sker gennem grøn overflade og at stofferne bindes bedst i de øverste jordlag indeholdende en del organisk stof. Ved permeable belægninger er det dog ikke muligt at afgrave det øverste jordlag, og binding/omsætning i de øvre jordlag vil ligeledes se anderledes ud end ved en grøn overflade.

Det er derfor uvist, hvor stor en del af konklusionerne der direkte kan overføres til forholdene, når der er etableret permeable belægninger.

Konklusionen i Ref. /3/ om anbefalinger til nedsivning af regnvand er, at nedsivning af vejvand og andet vand fra befæstede arealer kan udgøre et problem i sårbare områder og at vejsalt kan udgøre et lokalt problem i større byer og langs veje, der saltes intensivt. På den baggrund gives følgende anbefalinger:

- › Undgå nedsivning af vand fra veje, der saltes traditionelt (2 kg salt pr. m² pr. år), hvis vejarealet udgør mere end 5 % af det opland, vejen ligger i
- › Undgå nedsivning af vand fra veje, der vådsaltes (0,5 kg salt pr. m² pr. år), hvis vejarealet udgør mere end 20 % af det opland, vejen ligger i

- › Stoffer, der bruges i stedet for salt (grus, Calcium Magnesium Acetat (CMA), urea m.fl.) bør vurderes mht. miljø- og driftsmæssige konsekvenser før de tages i brug
- › Vejvand bør nedsives i et "grønt nedsivningsanlæg", dvs. gennem en vegetationsdækket overflade, for at opnå den bedst mulige rensning. Nedsivning af vejvand kan således ske i rabatten, i grøfter eller i regnbede
- › I den øverste del af nedsivningsanlægget kan udlægges 30 - 50 cm "filtermuld", der er karakteriseret ved at have en sammensætning, der ligner god muldjord med 5 % organisk stof
- › Stil krav om at udviklingen i indholdet af metaller og tunge PAH i jorden hvert 10. år skal måles i overfladen og i 30 cm dybde og at mulden skal skiftes, når koncentrationen i 30 cm dybde overskrider forurenede jord i klasse 2.

Disse anbefalinger er dog ikke alle så lette at følge, når der er anlagt permeable belægninger, idet vandet ikke nedsives gennem vegetationsdækket overflade, at muld ikke indgår i vejkonstruktionen eller at de øverste jordlag skal analyseres og eventuelt udskiftes.

I Ref. /1/, der omhandler forureningsrisiko ved forskellige typer glatførebekæmpelse, anbefales det:

- › at mindske saltforbruget mest muligt i byudviklinger i OSD og indvindingsoplande
- › at der i OSD og indvindingsoplande med lav nettonedbør/ nedsivningspotentiale (eks. Sjælland) tilstræbes et meget lavt saltforbrug i kombination med tiltag til at mindske tabet af salt og/eller øgning af grundvandsdannelse ved nedsivning af tagvand
- › at der benyttes alternative organiske tømidler, hvis krav til glatførebekæmpelse medfører at saltforbruget ikke kan holdes lavt nok i OSD og indvindingsoplande med lav nettonedbør/nedsivning.

Ifølge Ref. /1/ er de mest miljømæssigt relevante alternative tømidler er organiske produkter baseret på acetat og formiat. Disse organiske tømidler er toksiske overfor vandlevende organismer i koncentrationer lavere end klorid. De er imidlertid let nedbrydelige med iltforbrug til følge, hvorfor iltsvind i overfladerecipienter typisk er et større problem end akut toksicitet.

Nedsivning af vejvand indeholdende organiske tømidler bør ske gennem biologisk aktiv overjord så nedbrydning sikres inden stofferne når grundvandet. Dette kan være svært at opnå under permeable belægninger.

Som løsninger til problematikken med høje kloridkoncentrationer nævnes også øget nedsivning af tagvand (øger grundvandsdannelsen og skaber fortynding) samt sæsonbetinget nedsivning af vejvand, således at vejvandet i vinterperioden tilledes kloak, mens det nedsives i sommerperioden.

Der bør foretages undersøgelser/analyser af vejvand efter passage af permeabel belægning, så der haves et bedre kendskab til sammensætningen af vejvandet

efter passage af denne. Det anbefales også at foretage analyser af indholdet af de problematiske stoffer i jorden under belægningen. Disse analyser vil medvirke til at belyse funktionen af de permeable belægninger, hvilket vil være en stor fordel ved den efterfølgende myndighedsbehandling.

6 Beskrivelse af permeable belægninger: to cases

I afsnit 5 beskrives elementerne i en permeabel belægning. Der er flere kombinationer af materialer, som kan benyttes alt efter om der tilstræbes delvis, hel eller ingen nedsivning.

I det følgende beskrives to typer af permeable belægninger som to cases. De to belægninger er valgt, fordi de er eksempler på lovende anvendelser af permeable belægninger på veje med forskellige trafikmængder. De to cases omfatter desuden de mest anvendte slidlag: drænasfalt og betonbelægningssten.

6.1 Case 1: Drænasfalt

Case: Borrebackevägen, Malmø, Sverige

I 1991 blev Borrebackevägen (Ref. /18/) anlagt syd for Malmø, Sverige. Vejen er et fuldskalaforsøg med drænasfalt. Vejen blev opbygget med 3 prøvestrækninger på hver 150 meter, bestående af et felt med en fuld permeabel belægningsopbygning samt to referencetrækninger med et tæt asfaltslidlag. I det følgende beskrives opbygningen af den valgte permeable belægningsopbygning på Borrebackevägen.

6.1.1 Opbygning

Underbund

Sandet/siltet moræneler.

Membran

Ikke anvendt.

Bundlag

400 mm macadam udført med 4-120 mm sten.

Ubundet bærelag

270 mm macadam udført med 4-120 mm sten.

I det oprindelige design skulle bundlaget have været et 32-120 mm materiale, mens det ubundne bærelag skulle have været et 18-80 mm materiale. Ved udførelsen blev det dog besluttet kun at anvende ét macadam-materiale: 4-120 mm.

Det ubundne bærelag blev afstrøet med et tyndt lag fin macadam (8-20 mm) for at låse det øverste materiale og for at begrænse asfaltforbruget.

Bundet bærelag

95 mm Viacobase25 asfaltbærelag (drænende asfaltmateriale).

Asfaltbærelaget er udført med penetration 85-bitumen med et indhold på 5 % (vægt-%). Der var tilsat cellulosefibre. Sten var uknuste og hulrummet var 18,5 % (volumen-%). E-værdier på 10.600 MPa ved 0 °C og 400 MPa ved 30 °C.

Permeabelt slidlag

35 mm Viacodrän12 (drænende slidlag).

Dræn-slidlaget (Viacobase) have et hulrum på 17,5 %. Laget blev kraftigt tilsmudset af jord straks efter udlægning. Permeabiliteten var derfor reduceret til 85 %. Belægningen blev spulet, men det er ikke angivet, om dette forbedrede permeabiliteten.

6.1.2 Nedsivningskapacitet

Ukendt.

6.1.3 Magasinkapacitet

Den permeable belægning fungerer som magasin. Afledning eller nedsivning er ukendt. Hulrummet i asfalten var henholdsvis 17,5 % i slidlaget og 18,5 % i bærelaget. Macadam-laget blev indbygget til et hulrum på 34 % svarende til et maksimalt magasinivolumen på 270 l/m².

6.1.4 Trafikbelastning og bæreevne

Materialers styrkeegenskaber (E-modul)

Asfaltbærelaget havde E-værdier på 10.600 MPa ved 0 °C og 400 MPa ved 30 °C.

E-værdien for macadam (skærver) blev målt til 175-365 MPa, hvilket dog virker meget lavt i forhold til danske standarder.

Kravfastlæggelse (ÅDT, akseltryk)

ÅDT over 1000 køretøjer.

Beregning af E-modul

Dimensionering i henhold til svensk standard (BYA-84).

Holdbarhed (levetid og økonomi)

Levetiden er ukendt, dog er den permeable belægning ikke så modstandsdygtig overfor ujævnheder og sporkøring som den traditionelle. Den permeable belægning var designet til en længere levetid end den traditionelle.

6.1.5 Drift/vedligeholdelse

Vinterberedskab, glatførebekæmpelse

Det forventedes ikke at den permeable belægning har større risiko for glatføre end den traditionelle.

Renhold og vedligehold

Belægningen skal rengøres jævnlige for at opretholde permeabilitet og støjrreduktion.

6.1.6 Design (kriterier)

Støj

Der forventes en støjrreduktion på 2-3 dB(A) som følge af brugen af drænasfalt.

Økonomi

Ifølge kilden er den permeable belægning ikke dyrere at anlægge end en traditionel vejkonstruktion.

6.2 Case 2: Betonbelægningssten med permeabel fuger

Case: Helenevej, Frederiksberg.

Dette afsnit tager udgangspunkt i en case etableret i et lavtliggende område på Frederiksberg, som tidligere har været påvirket af oversvømmelser i forbindelse med skybrud. Her har man valgt at etablere en permeabel belægning bestående af betonbelægningssten. Projektet er et samarbejde mellem Frederiksberg Kommune, Frederiksberg Forsyning samt beboerne på vejen, se Ref. /31/.

6.2.1 Opbygning

Underbund

Ukendt råjord, dog drænerende egenskaber. (Komprimeret moderat via komprimeringen af bærelaget).

Membran

Pga. vejens længdefald, blev der etableret tværgående vandspærre i form af bentonit hver tyvende meter (50 cm under råjordsplanum op til afretningslaget). Dette

for at bremse vandet i at strømme mod det laveste punkt, for i stedet at lade det nedsive i de i alt fem bassiner.

I vejens dybeste punkt er der etableret et overløb med kontraventil til kloakken. Denne aktiveres når vandet står højere end 5 cm under overfladen.

Der er også udlagt bentonit omkring ledningsgrave for at holde vejkassen tæt for "læk" mod nabogrunde.

Bærelag

40 cm DrænStabil: 4-40 mm skærver.

Afretningslag

Som afretningslag under betonbelægningsstenene blev brugt DrænAf 2-5 mm skærver. Der fuges også med dette materiale.

Stentype

SF Rima 21x21x8 cm.

6.2.2 Nedsivningskapacitet

Porøsitet/permeabilitet

Ved etablering af vejen blev der installeret overvågningsbrønde i vejen, som registrerer vandstand i belægningen hvert andet minut.

I forbindelse med et skybrud viste regnmålere i nærheden af vejen 72 mm regn på et døgn og 57 mm i ét skybrud. Overvågningsbrøndene i vejen registrerede her, at vandet stod 5-30 cm oppe i bærelaget, men at vandet var drænet bort efter et par timer.

Målemetoder

I hver testcelle ledes vandet, via en tæt membran i bunden af konstruktionen, til en målerbrønd, hvor infiltrationsevnen og magasineringsevnen måles.

6.2.3 Magasinkapacitet

Porevolumen på mindst 30 % i komprimeret tilstand. Da vejen er 127 m lang og 4,8 m bred, kan den indeholde ca. 75 m³ vand. Bærelaget kan i teorien rumme et regnskyl på 130 mm.

Bærelaget er dimensioneret til en 100-års hændelse, hvorved vandet vil stå $\frac{3}{4}$ oppe i bærelaget.

6.2.4 Trafikbelastning og bæreevne

Belægningsopbygningen anbefales til veje svarende til Helenevej – trafikklasse T1.

6.2.5 Drift/vedligeholdelse

Vedligehold

Fugerne forventes udskiftet over tid og skal regelmæssigt oprensnes og efterfyldes.

7 Referencer

- Ref. /1/ 'Risiko for forurening af grundvandet ved forskellige typer glatførebekæmpelse', Naturstyrelsen, Miljøministeriet, 2013.
http://naturstyrelsen.dk/media/nst/66831/Risiko%20for%20grundvandet%20ved%20glatf%C3%B8rebek%C3%A6mpelse_endelig%20version.pdf
- Ref. /2/ 'Afstrømning fra tagflader og befæstede arealer – Vurdering af forureningsrisici for grundvand', Naturstyrelsen, Miljøministeriet, januar 2013.
<http://naturstyrelsen.dk/publikationer/2013/mar/afstroemning-fra-tagflader-og-befaestede-arealer/>
- Ref. /3/ Gabriel, S., Vollertsen, J.: 'Anbefalinger til udledning af nedsivning af regnvand', Aalborg Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Teknologisk Institut og Orbicon A/S, oktober 2012.
http://separatvand.dk/download/Anbefalinger_%20udledning_nedsivning_regnvand.pdf
- Ref. /4/ Larsen, T. H., Vollertsen, J., Gabriel, S.: 'Risiko ved nedsivning og udledning af separatkloakeret regnvand - Baggrundsrapport'. Aalborg Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Teknologisk Institut og Orbicon A/S, udkast oktober 2012.
http://separatvand.dk/download/Risikovurdering_BAGGRUNDSRAPPORT.pdf
- Ref. /5/ Grauert, M., Larsen, M., Møllerup, M.: 'Miljøfremmede stoffer i drænasfalten på Øster Søgade - Resultater for analyser af vejopfej. Rapport nr. 524', Vejdirektoratet, 2014.
http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/839/miljoemaalinger-paa-oestersoegade.pdf
- Ref. /6/ Bendtsen, H., Raaberg, J.: 'Clogging of Porous Pavements, Technical note 55', Vejdirektoratet, 2007.
http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/

[Publikationer/Attachments/171/Clogging%20of%20porous%20-pavements%20-%20international%20experiences%20notat%2055.pdf](#)

- Ref. /7/ IDA Spildevandskomiteen: 'Skrift nr. 30 – Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter', 2014.
http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk_skrift30_0.pdf
- Ref. /8/ Støvring, J. L.: Artikeludkast – 'Permeable befæstelser i Danmark', 2015.
- Ref. /9/ Støvring, J. L.: 'Vandet løber gennem befæstelsen', Københavns Universitet, Grønt miljø, 2013.
http://ign.ku.dk/english/employees/landscape-architecture-planning-/?pure=files%2F98447858%2FVandet_loeber_gennem_befaestelsen_GM2013_6.pdf
- Ref. /10/ Lebens, M. og Troyer, B.: 'Asphalt Pavement Performance in Cold Regions, Research Project, Final Report 2012-12', Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA, April 2012.
- Ref. /11/ Raaberg, J., Neidel, N.: 'Øster Søgade – 8 år med 2-lag drænasfalt, Rapport 168', Vejdirektoratet, 2009.
- Ref. /12/ Nielsen, C. B., Raaberg, J., Nielsen, E.: 'Holdbarhed af drænasfalt, Rapport 139', Vejdirektoratet, 2005.
- Ref. /13/ NCC Præsentation om PermaVej.
- Ref. /14/ Byggros: 'Permeable befæstelser: PermaGround, Konceptløsninger. Brochure', april 2012.
<http://www.byggros.com/da/produkter/8000-arealbefaestelse-/permeable-belaegninger/permastone>
- Ref. /15/ Midtgaard: 'Permeable belægninger, Produktkatalog'.
http://midtgaard-as.dk/Resources/Files/1_pdffiler/Betonfliser-katalog.pdf
- Ref. /16/ IBF: 'Perma-Drain system – nedsivning af regnvand, Brochure'. 2015.03.17.
<http://brochure.ibf.dk/Belgning/PermaDrain/Permadrain/>
- Ref. /17/ Interpave: 'Permeable Pavements – Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements, edition 6', January 2010.
- Ref. /18/ Wahlman, T., Stahle, F.: 'Öppna överbyggnader och dränerande bärlager – Provväg Borrebackevägen Malmö, 1991-1994', Gatukontoret Malmö, NCC Produktionsanläggningar, 1995.03.15.

- Ref. /19/ Ferguson, B., K.: 'Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development', 2005.
- Ref. /20/ 'Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger', Vejdirektoratet, november 2013.
- Ref. /21/ Knapton, J.: 'The Structural Design of heavy Duty Pavements for Ports and other Industries, edition 4', Interpave, December 2008.
- Ref. /22/ Bendtsen, H.: 'European Experience Winter Service of Porous Asphalt, Technical note 123-2012', Vejdirektoratet.
- Ref. /23/ Petersen, C.: 'Måling af vejtemperatur med forskellige sensorer i 3 vejbelægninger, Rapport 503', Vejdirektoratet, 2014.
- Ref. /24/ Houle, K. M.: 'Winter Performance Assessment of Permeable Pavements. A comparative study of porous asphalt, pervious concrete, and conventional asphalt in a northern climate', University of New Hampshire, NH, USA, September 2008.
- Ref. /25/ Izevbekhai, B.: 'Pervious Concrete Test Cells on MnROAD Low-Volume Road, Research Project, Final Report 2011-23', Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA, December 2011.
- Ref. /26/ Rasmussen, M: Københavns Kommune, personlig kommunikation, 17. februar 2015.
- Ref. /27/ Rasmussen, M. og Grann Andersson, O.: 'Støjreducerende asfalt', Dansk Vejtidskrift, april 2006.
- Ref. /28/ 'Varmblandet asfalt - AAB', Vejdirektoratet, november 2006.
- Ref. /29/ 'Brolægning - Vejledning', Vejdirektoratet, september 2007.
- Ref. /30/ Dansk Standard: 'DS 1136: Brolægning og belægningsarbejder, 3. udgave', 2013-06-21.
- Ref. /31/ Magasin 'Grønt miljø', 7. september 2014.
<http://www.grontmiljo.dk/numre/2014/gm714.pdf>
- Ref. /32/ Holst, M. L.: 'Oplæg til idékatalog vedr. Permeable belægninger', Memo til vejregelgruppe P.21, COWI, 6. december 2011.
- Ref. /33/ Ellebjerg, L. og Bendtsen, H.: 'Two-layer asphalt – lifecycle – The Øster Søgade Experiment, Report 165', Vejdirektoratet, 2008.
- Ref. /34/ LAR i Danmark, internetside, <http://www.laridanmark.dk/>, 27. april 2015.

- Ref. /35/ Interpave: 'Permeable Paving Projects - Concrete block permeable pavements, case studies, edition 3', June 2012.
- Ref. /36/ Nelson, F.B. og Struble, L.J.: 'Summary of IDOT & ASTM Specifications for Coarse Aggregate Gradations', University of Illinois, Department of Civil & Environmental Engineering, 02/05/05.
<http://ceat.uiuc.edu/PUBLICATIONS/technotes/TN10-rev.pdf>
- Ref. /37/ 'Vejkonstruktioner - Afvandingskonstruktioner', Vejdirektoratet, december 2009.
- Ref. /38/ NCC Råstoffer: 'Deklarationsblade for DrænStabil og DrænAf', internetside, <http://www.ncc.dk/produkter-og-services/dranstabil-og-dranaf/>, 25. juni 2015.
- Ref. /39/ Aarhus Kommune (Rambøll): 'Permeable belægninger – med og uden membran', 2011.

Bilag A Liste over danske referenceprojekter

Tabel A-1: Øster Søgade, København.

Lokalitet/adresse	Øster Søgade, København
Vejklasse	Bygade, T4
Belægning	Drænasfalt – to-lags
Areal/vejlængde	Vejlængde cirka 550 meter
Etableringsår	1999
Driftserfaringer	Renset med højtryksspuling
Yderligere information	Ved rensning af vejen blev der opsamlet vejopfej, som blev analyseret for bl.a. tungmetaller. I vinteren 2010/2011 blev vejen gruset, hvorfor vejens porer delvist stoppede til, og vejens drænende egenskaber blev stærkt begrænset.

Bidrag fra NCC:

Tabel A-2: Svanemøllehallen, København.

Lokalitet/adresse	Svanemøllehallen, Østerbrogade 240, 2100 København
Vejklasse	Parkeringsplads
Belægning	40 cm DrænStabil og 3 cm PermaSlid
Areal/vejlængde	25 m ²
Etableringsår	2013
Driftserfaringer	Ingen – er ikke rensset
Yderligere information	Arealet er håndudlagt og ikke med den recept der i dag anvendes på NCC PermaVej. NCC PermaVej er paraplybetegnelse for befæstelsen bestående af PermaSlid, PermaGAB og DrænStabil.

Tabel A-3: Eksportvej, Billund.

Lokalitet/adresse	Eksportvej, 7190 Billund
Vejklasse	T3/T4
Belægning	40 cm DrænStabil og 6 cm PermaGAB og 3 cm PermaSlid
Areal/vejlængde	250 m ²
Etableringsår	2012
Driftserfaringer	Renset ca. 1 gang pr. år – forskel på oprensning af hhv. 8 og 11 mm slidlag.
Yderligere information	Arealet er NCC's første forsøgs strækning med test af hhv. 8 og 11 mm slidlag i top og PermaGAB i bund

Tabel A-4: Agerlandsvej, Odense.

Lokalitet/adresse	Agerlandsvej, 5260 Odense
Vejklasse	T1 - Sidevej til stamvej i boligområde.
Belægning	40 cm DrænStabil og 6 cm PermaGAB og 3 cm PermaSlid
Areal/vejlængde	1.200 m ²
Etableringsår	2014
Driftserfaringer	Ingen – er ikke rensset endnu
Yderligere information	Første betalte strækning af NCC PermaVej

Tabel A-5: Lufthavnsvej, Nørresundby.

Lokalitet/adresse	Lufthavnsvej 46, 9400 Nørresundby
Vejklasse	T4
Belægning	40 cm DrænStabil og 11 cm PermaGAB og 3 cm PermaSlid
Areal/vejlængde	13.000 m ²
Etableringsår	2015
Driftserfaringer	Under etablering
Yderligere information	Færdig efterår 2015

Bidrag fra IBF:

Tabel A-6: Oversigt over pladser i Danmark.

Oversigt over permeable pladser i DK

Sted	Vej	Postnr.	By	Belægning
-	Helenevej	1873	Frederiksberg	SF-Rima®
Klima Parkering	Rådmand Steins Alle	2000	Frederiksberg	SF-Rima®
First Hotel	Molestien 11	2450	København SV	SF-Økoloc®
-	Valhøj Allé	2610	Rødovre	SF-Økoloc®
-	Kongelundsvej	2770	Kastrup	SF-Rima®
Lions Park p-pladser	Lendemosevej	2850	Nærum	SF-Rima®
Lindebjergskolen	Store Valbyvej	4000	Roskilde	SF-Rima® - SF-Økoloc® - Øko SuperLoc
Dyrskuepladsen	Darupvej	4000	Roskilde	Øko SuperLoc
Køge Handelsskole	Lyngvej 19	4600	Køge	SF-Økoloc®
Udstykning	Flintagergårdvej	5250	Odense SV	Modulserien 10x30x10 cm
Ny børnehave	Grønvangen 32	5550	Langeskov	SF-Rima®
P-plads	Klostervænget	5700	Svendborg	SF-Rima®
Ford	Ålsgade 64	6400	Sønderborg	SF-Økoloc®
Campus	Niels Bohrs Vej	6700	Esbjerg	Ingen belægning (multibane)
-	Englandsvej	7100	Vejle	Øko SuperLoc
Herning Vand	Ålykkevej	7400	Herning	SF-Økoloc®
Bytorvet/Præsteskov	N.C. Rasmussens Vej	7990	Øster Assels	Bygholmsten
Horsens Vand	Alrøvej	8700	Horsens	SF-Økoloc®

Bilag B Regneeksempel på fastlæggelse af design E-værdi for permeabelt, ubundet materiale

For et ubundet materiale kan stivheden blandt andre parametre afhænge af vandindholdet. For et permeabelt, ubundet materiale er det derfor relevant at bestemme E-værdien både ved naturligt vandindhold samt i vandmættet tilstand, og på baggrund af disse værdier bestemme en passende, vægtet design E-værdi.

I Tabel B-1 er vist et regneeksempel på, hvordan man kan fastlægge en design E-værdi for et permeabelt, ubundet materiale.

Tabel B-1: Input til regneeksempel.

Parameter	Værdi
E-værdi ved naturligt vandindhold [MPa]:	400
E-værdi i vandmættet tilstand [MPa]:	200
Andel af året, hvor belægningen er vandmættet [%]:	30
Dimensioneringsperiode [år]:	20
Dimensioneringstrafikbelastning [\mathbb{E}_{10} /år]:	125.000
Trafikklasse ¹⁾ [-]:	T5
E-værdi af underbund i vandmættet tilstand [MPa]:	30
Frostfølsomhed af underbund [-]:	Frostfarlig
Minimums koblingshøjde ²⁾ [mm]:	700
Rabatforhold ³⁾ [-]:	Ikke relevant
Trafikhastighed ⁴⁾ [km/h]:	> 60
¹⁾ I henhold til Tabel 1 i Ref. /20/. ²⁾ I henhold til Tabel 11 i Ref. /20/. ³⁾ I henhold til Ref. /20/ kan den samlede koblingshøjde reduceres afhængigt af rabatforholdenes evne til at sikre, at vand ikke trænger ind i vej-kassen; dette er ikke relevant for permeable belæggninger, da det netop er meningen, at vand skal trænge ind i vej-kassen. ⁴⁾ Såfremt trafikhastigheden er lavere end 60 km/h, bør asfaltens E-værdi reduceres grundet materialets visko-elastiske egenskaber; dette gør computerprogrammet MMOPP automatisk, når bruger indtaster minimum og maksimum trafikhastigheder, hvor gennemsnittet er lavere end denne hastighed.	

Ved brug af MMOPP kan den teoretiske levetid bestemmes for en given belægning. På baggrund af trafikklassen har brugeren mulighed for at vælge en række standardmaterialer (f.eks. 30 mm SMA 40/60, 50 mm ABB 40/60, GAB I 40/60 og SG II på frostsikker underbund) - dette resulterer i følgende belægningsopbygning med 10 års forventet levetid for trafikklasse T5:

The screenshot shows a software window titled "Input parametre" with the following fields and values:

- Ny beregning** (button)
- Tykkelse** (header)
- E-værdi** (header)
- Materiale**: 30 SMA 40/60, 50 ABB 40/60, GAB I 40/60
- Nyt lag**: SG II
- Tykkelse**: 151 (for SMA), 270 (for ABB, highlighted in red), 100 (for GAB I)
- E-værdi**: 3600, 300, 100
- Buttons**: Gem, Slut, Analytisk, Levetid, år, Standard E, Data-xls, Lag
- Other fields**:
 - Navn: xxx
 - Hjul: 1
 - Antal pr. år: 180000
 - Vækst, %: 0
 - Min hastighed: 60
 - Max hastighed: 80
 - År i dimensionering: 10
- Radio buttons**: Analytisk, Simulation

Figur B-1: Belægningsopbygning med standardmaterialer (10 års forventet levetid for trafikklasse T5 på frostsikker underbund).

I Figur B-1 er 'frostsikker underbund' valgt, da bundsikringslag hermed udelades; brugeren må efterfølgende manuelt tjekke, at den samlede koblingshøjde er tilstrækkelig i forhold til underbundens frostfølsomhed, jf. Tabel 11 i Ref. /20/.

Ovenstående kan tilpasses de øvrige forudsætninger i regneeksemplet i henhold til Tabel B-1 (dimensioneringstrafikbelastning, dimensioneringsperiode, E-værdi af underbund i vandmættet tilstand), se Figur B-2:

Input parametre

Ny beregning

Materiale	Nyt lag	Tykkelse	E-værdi
30 SMA 40/60	50 ABB 40/60	164	3700
SG II	GAB I 40/60	540	300
Frostsikker			30

Navn: xxx

Hjul: 1

Antal pr. år: 125000

Vækst, %: 0

Min hastighed: 60 Max hastighed: 80

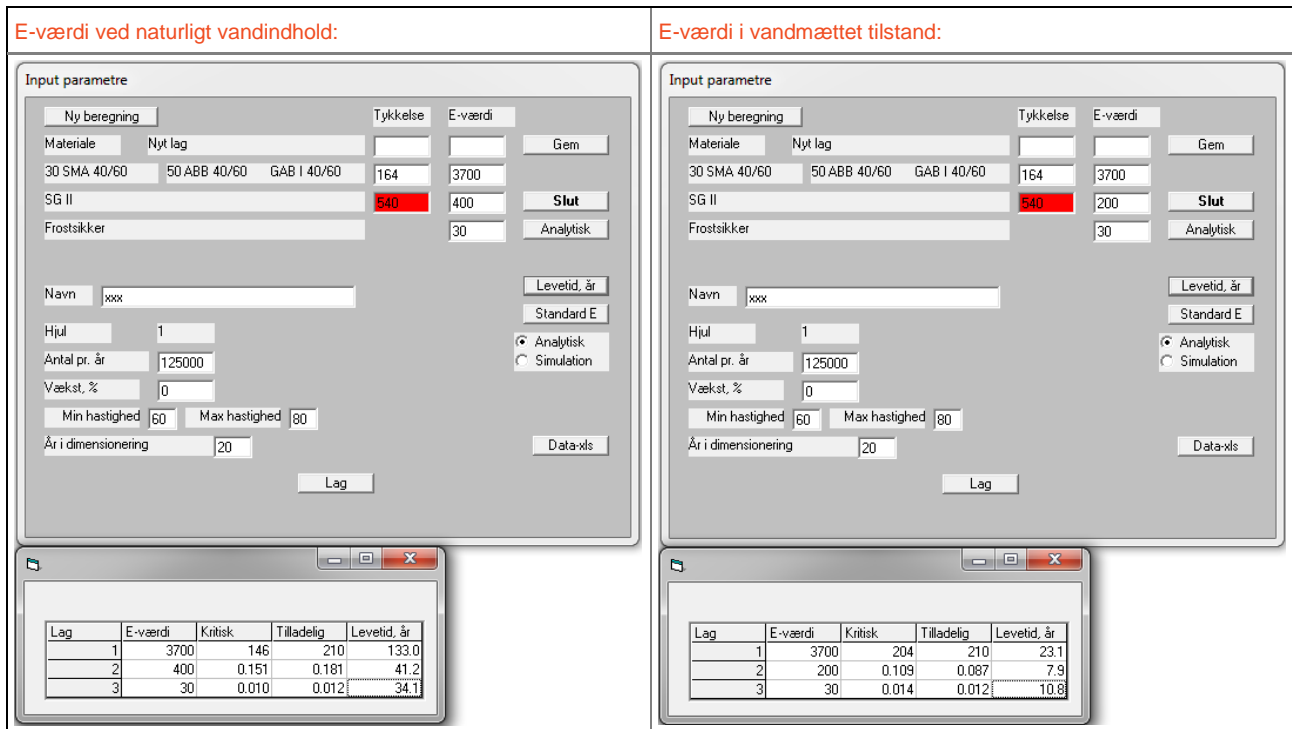
År i dimensionering: 20

Buttons: Gem, Slut, Analytisk, Levetid, år, Standard E, Analytisk (selected), Simulation, Data-xls, Lag

Figur B-2: Belægningsopbygning med standardmaterialer (inputparametre i henhold til regneksempel i Tabel B-1).

For at nå frem til ovenstående skærbillede skal brugeren trykke på knappen 'Standard E' og vælge muligheden 'Brug standard asfalt E-værdier' samt trykke på knappen 'Analytisk'.

Efter tur indsættes nu E-værdien for det permeable, ubundne bærelag, henholdsvis ved naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand; for hver E-værdi trykkes på knappen 'Levetid, år', og den resulterende, teoretiske levetid noteres. Dette er vist i Figur B-3:



Figur B-3: Belægningsopbygning (baseret på 300 MPa for ubundet bærelag) med permeabelt, ubundet bærelag, henholdsvis ved naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand (inputparametre i henhold til regneeksempel i Tabel B-1).

Som det kan ses af Figur B-3, er det underbunden, der er kritisk (kortest teoretisk levetid), når det permeable, ubundne bærelag er ved naturligt vandindhold, mens det er det permeable, ubundne lag, som er kritisk i vandmættet tilstand.

Som det fremgår af Tabel B-1, er det i regneeksemplet antaget, at befæstelsen er vandmættet i 30 % af tiden; således vil befæstelsen skulle kunne klare samme andel af trafikbelastningen og stadig have teoretisk levetid nok tilbage til også at kunne klare den resterende andel af trafikbelastningen, når befæstelsen ikke er vandmættet.

Med en 20 års dimensioneringsperiode skal befæstelsen således kunne klare, hvad der svarer til (70 % af 20 år =) 14 års trafikbelastning, hvor det permeable, ubundne bærelag er ved naturligt vandindhold, og (30 % af 20 år =) 6 års trafikbelastning med det permeable, ubundne bærelag i vandmættet tilstand. Således kan ovenstående, teoretiske levetider i de to situationer vurderes som vist i Tabel B-2:

Tabel B-2: Vurdering af teoretiske levetider ved forskelligt vandindhold med standard E-værdi på 300 MPa for ubundet bærelag.

Lag	Beregnet levetid				Akkumuleret % ³⁾
	E-værdi ved naturligt vandindhold		E-værdi i vandmættet tilstand		
	Teoretisk ¹⁾ [år]	% ²⁾	Teoretisk ¹⁾ [år]	% ²⁾	
Asfalt	133,0	10,5	23,1	26,0	36,5
Permeabelt, ubundet bærelag	41,2	34,0	7,9	75,9	109,9
Underbund	34,1	41,1	10,8	55,6	96,6

¹⁾ Beregnet teoretisk levetid fra Figur B-3.
²⁾ Beregnet, teoretisk levetid i forhold til dimensioneringsperiode ved givet vandindhold.
³⁾ Beregnet, teoretisk levetid akkumuleret for de to E-værdier.

Ser man på det permeable, ubundne bærelag, så har det en forventet teoretisk levetid på 41,2 år ved naturligt vandindhold og 7,9 år i vandmættet tilstand. Som antaget i regneeksemplet er befæstelsen vandmættet 30 % af tiden, så ovenstående forventede levetider skal sammenholdes med det tidsrum, hvor befæstelsen har det givne vandindhold (14,0 år og 6,0 år for hhv. naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand).

Således svarer tidsrummet, hvor befæstelsen er ved naturligt vandindhold, til (14,0 år/41,2 år =) 34,0 %, mens tidsrummet i vandmættet tilstand svarer til (6,0 år/7,9 år =) 75,9 %. Således svarer den samlede trafikbelastning til (34,0 % + 75,9 % =) 109,9 % af den tilladelige trafikbelastning for den givne befæstelse; befæstelsen er således underdimensioneret.

Befæstelsen i Figur B-1, der er benyttet som udgangspunkt, er dimensioneret på baggrund af en design E-værdi på 300 MPa for det permeable, ubundne bærelag. Idet den resulterende befæstelse er underdimensioneret, når de relevante E-værdier sættes ind for de to forskellige vandindhold, er denne design E-værdi for høj. I Figur B-4 er lavet en ny MMOPP-dimensionering ved en lavere E-værdi af det permeable, ubundne bærelag:

Input parametre

Ny beregning Tykkelse E-værdi

Materiale Nyt lag Gem

30 SMA 40/60 50 ABB 40/60 GAB I 40/60 168 3728

SG II 550 280 Slut

Frostsikker 30 Analytisk

Navn xxx Levetid, år

Hjul 1 Standard E

Antal pr. år 125000 Analytisk

Vækst, % 0 Simulation

Min hastighed 60 Max hastighed 80

År i dimensionering 20 Data-xls

Lag

Figur B-4: Belægningsopbygning med tilpasset design E-værdi for det permeable, ubundne bærelag (inputparametre i henhold til regneeksempel i Tabel).

I Figur B-5 er den teoretiske levetid vist, henholdsvis ved naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand:

E-værdi ved naturligt vandindhold:

Lag	E-værdi	Kritisk	Tilladelig	Levetid, år
1	3728	142	210	154.1
2	400	0.146	0.181	47.3
3	30	0.010	0.012	39.9

E-værdi i vandmættet tilstand:

Lag	E-værdi	Kritisk	Tilladelig	Levetid, år
1	3728	198	210	26.9
2	200	0.105	0.087	9.2
3	30	0.013	0.012	12.6

Figur B-5: Belægningsopbygning med tilpasset design E-værdi på 280 MPa for permeabelt, ubundet bærelag, henholdsvis ved naturligt vandindhold og i vandmættet tilstand (inputparametre i henhold til regneeksempel i Tabel B-1).

I Tabel B-3 er de teoretiske levetider vurderet i forhold til tidsrummet med det givne vandindhold:

Tabel B-3: Vurdering af teoretiske levetider ved forskelligt vandindhold med tilpasset design E-værdi på 280 MPa for permeabelt, ubundet bærelag.

Lag	Beregnet levetid				Akkumuleret % ³⁾
	E-værdi ved naturligt vandindhold		E-værdi i vandmættet tilstand		
	Teoretisk ¹⁾ [år]	% ²⁾	Teoretisk ¹⁾ [år]	% ²⁾	
Asfalt	154,1	9,1	26,9	22,3	31,4
Permeabelt, ubundet bærelag	47,3	29,6	9,2	65,2	94,8
Underbund	39,9	35,1	12,6	47,6	82,7

¹⁾ Beregnet teoretisk levetid fra Figur B-5.
²⁾ Beregnet, teoretisk levetid i forhold til dimensioneringsperiode ved givent vandindhold.
³⁾ Beregnet, teoretisk levetid akkumuleret for de to E-værdier.

Den akkumulerede, teoretiske levetid er mindre end 100 % (hvor '100 %' er den ønskede levetid), og således har befæstelsen den ønskede levetid. For det givne regneeksempel er en passende, vægtet design E-værdi derfor 280 MPa for det permeable, ubundne bærelag.

I dette regneeksempel er det antaget, at det permeable, ubundne bærelag er vandmættet i 30 % af tiden, mens laget er ved naturligt vandindhold i de resterende 70 % af tiden. Der vil naturligvis være tidspunkter, hvor laget er i en mellemting mellem disse to absolutte tilstande; ved at regne det permeable, ubundne bærelag som vandmættet i disse tilfælde vil der være en vis grad af indbygget konservatisme i beregningerne.

Alternativt kan man modellere det permeable, ubundne bærelag i to lag og så også regne på tilfælde, hvor det nederste lag er vandmættet ("lav E-værdi"), og det øverste er ved naturligt vandindhold ("høj E-værdi"). Dette vil dog komplicere beregningen af en design E-værdi, og det er spørgsmålet, om datagrundlaget for andel af tid, hvor det permeable, ubundne bærelag er i en given tilstand, kan retfærdiggøre denne detaljeringsgrad.

Ligeledes omfatter dette regneeksempel en befæstelse uden bundsikringslag; dette er fordi, at formålet med beregningen er at fastlægge en design E-værdi af det permeable, ubundne bærelag. Når denne værdi er fastlagt, kan de nødvendige lagtykkelser bestemmes med MMOPP, og herfra kan det undersøges, om det er muligt at udskifte en del af det permeable, ubundne bærelag med f.eks. et bundsikringslag - denne undersøgelse vil være en afvejning af belægningsopbygning for at sikre bæreevne, belægningsopbygning for at sikre opmagasineringsvolumen samt pris af den givne befæstelse.

Bilag C Litteraturnoter

1.

Kilde:

Ref. /10/: Lebens, M. og Troyer, B.: 'Asphalt Pavement Performance in Cold Regions, Research Project, Final Report 2012-12', Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA, April 2012.

Opbygning

Forsøg foretaget i Minnesota 2008-2012 udgivet af Minnesota Department of Transportation.

I forsøget blev der opbygget 5 belægningstyper i 5 "celler". Som reference blev en af cellerne belagt med en standard tæt asfalt. I de fire sidste celler, var belægningen permeabel beton (PCC - Pervious Portland Cement Concrete) på hhv. sandet- og leret underbund samt porøs asfalt (HMA – Porous Hot mix asphalt) på hhv. sandet og leret underbund.

Som ubundet bærelag var valgt det knuste bærelag (CA-15) – sammenlignelig med AASHTO #5 aggregate. Tykkelsen blev beregnet ud fra ønsket magasinkapacitet, på baggrund af porøsitet (0,4) og et regnfald på 5 inches => $5/0,4 = 12,5$ inches (320 mm). Grundet forsøgets fysiske udformning blev der dog valgt 360 mm i stedet.

Vejen blev opbygget uden tværfald for at maksimere infiltrationen.

Tabel C-1: Opbygning af permeable befæstelser i forsøg foretaget i Minnesota, USA.

	Permeabel beton (PCC)		Porøs asfalt (HMA)	
Slidlag, tykkelse	130 mm			
Ubundet bærelag	360 mm Crushed CA-15			
	Geotekstil			
Underbund	Sand	Ler	Sand	Ler

Observerede E-værdier

Drænasfalt: 400-4.000 MPa (lav om sommeren, høj om vinteren)

Bærelag: 50-150 MPa (!) (høj om vinteren – lavest om sommeren)

Underbund: 150 MPa (høj om vinteren – ellers nogenlunde konstant)

Det er bemærkelsesværdigt, at reference-asfalten ligger op til 10 gange højere, og at E-værdien om sommeren ligger på 400-500 MPa for såvel drænasfalt som traditionel tæt asfalt.

Afvanding

Der er observeret et vist fald i permeabilitet i forsøgsperioden, men den laveste flow rate er mere end 12 mm/sekund, hvilket siges at være rigeligt til den forventede regn.

Forsøgsperiode

2008-2012.

Levetid

Max 10 år (normalt 5-8 år) afhængigt af valg af bindemiddel. Den mest normale skade er rivning, som hovedsageligt skyldes nedbrydning af bindemidlet, samt blødgørelse af bindemidlet ifm. olie- eller brændstoftspild. Utilstrækkelig komprimering af asfalten kan også have stor betydning.

Der er konstateret en gennemsnitlig sporkøring på godt 15 mm, hvilket siges at være signifikant. Det bemærkes også, at sporkøringen er opstået til trods for brugen af en hårdere bitumen end normalt (PG70-28). Der er ligeledes anvendt knust skærver i asfalten.

Drænasfalten giver lavere E-værdier end sædvanlig tæt asfalt.

Trafiklast

I forsøget blev vejen udsat for 40.000 standardaksler.

Drift

Reparation: Ofte anvendes traditionel tæt asfalt til lapning af huller (af økonomiske hensyn). Den optimale løsning er dog at et skadet område fræses, genbrug af bortfræset porøs asfalt og udlægning på ny. Alternativt kan ny porøs asfalt udlægges.

Vinter

Sne og is smelter hurtigere på drænasfaltbelægninger end på belægninger af traditionel asfalt – i sol med lave temperaturer i luften og i belægningen.

Standarder

Rapporten henviser til specifikationer for drænasfaltbelægninger fra henholdsvis National Asphalt Pavement Association (NAPA) og fra Minnesota.

2.

Kilde:

Ref. /11/: Raaberg, J., Neidel, N.: 'Øster Søgade – 8 år med 2-lag drænasfalt, Rapport 168', Vejdirektoratet, 2009.

Emne/formål

Udvikling og afprøvning af støjreducerende slidlag til bygader.

Anlægsår

1999

Lokalitet

Øster Søgade, København (Webersgade - Collinsgade).

Belægning

3 forskellige opbygninger med tolags drænasfalt samt en referencestrækning med AB 8t.

Tabel C-2: Opbygning af permeable befæstelser på Øster Søgade, København.

Type	Total lagtykkelse (mm)	Toplag		Bundlag	
		Lagtykkelse (mm)	Max. stenstørrelse (mm)	Lagtykkelse (mm)	Max. stenstørrelse (mm)
DA8 – 70	70	25	5/8	45	11/16
DA5 – 55	55	20	2/5	35	11/16
DA5 – 90	90	25	2/5	65	16/22

2-lags drænasfaltbelægningen på Østersøgade blev opbygget i 2 lag. Det 1. øverste lag bestod af en drænasfalt med relativt lille kornstørrelse for at få en jævn overflade, samt for at minimere indtrængningen af snavs og andre partikler. Lag nr. 2 havde en relativt stor kornstørrelse, for at øge nedsivningen til vejens dræn og den selvrensende effekt. Under de to lag drænasfalt blev der lagt et bærelag, som blev forseglet med bitumen for at undgå udvaskning af dette lag. Forseglingen fungerer som en membran, der leder vandet videre via vejens tværfald til drænløber i siden af vejen, som er tilsluttet afvandingssystemet. Belægningsopbygningen har en membran, som ligger højt i belægningsopbygningen, og har derfor også et relativt lille volumen. Årsagen er, at hovedformålet med belægningen har været at reducere støj på strækningen. Hvis man kombinerer 2-lags drænasfaltbelægningen med et permeabelt ubundet bærelag kan man opnå en opbygning som falder inden for de 3 typer, som nævnt tidligere i dokumentet.

Levetid

1999-2007 (8 år)

Nedbrydning efter 8 år (traditionel asfalt har typisk en levetid på cirka 15 år). Knu-
ste sten, udvaskning af bindemiddel samt manglende vedhæftning ml. sten og bindemiddel. Både slidlag og bærelag.

I 2007 valgte kommunen at udlægge DA-8 på hele strækningen.

Drift

Belægningen blev rensset 2 gange årligt. Trods dette kunne permeabilitet og støj-
dæmpning ikke bevares.

Tabel C-3: Oversigt over drænasfalttyper (Tabel 1 i Ref. /11/).

	DA-6	DA-8	DA-11	DA-16
Asfalmængde, kg/m ²	60 – 70 (enkeltlag) 35 – 50 (dobbeltag)	70 – 90	90 – 100	90 – 120 (enkeltlag) 65 – 85 (dobbeltag)
Primær funktionsegenskab	Støjdæmpning	Støjdæmpning	Vandafledning	Enkeltlag: vandafledning Dobbeltag: støjdæmpning
Anvendelsesområder	Stærkt trafikerede bygader, landeveje og motorveje samt start- og rullebaner			
Bindemiddeltype	Colflex S, N eller MA, afhængig af trafikmængden.			

Målinger

Permeabilitetsmåling (Beckers metode): Målinger blev foretaget før og efter rensning. Permeabiliteten var nogenlunde intakt efter 4 år, men herefter blev belægningen stoppet næsten helt til.

Tyndslib: På tyndslibene fremgår tydeligt hvordan belægningen stoppes til, og sten knuses i takt med nedbrydningen. Tendensen starter i det øverste lag, men fremtræder også senere (efter 7 år) i bærelaget under drænasfalten. Der er også problemer med vedhæftningen mellem sten og bindemiddel.

Tilstopningen sidder primært i de øverste 20 mm af drænasfalten. Denne tendens ses ikke i bærelaget, som har åbne porrer stadig efter 5-6 år. Dette skyldes hovedsageligt at det øverste mere finmaskede lag tager al snavsen, samt at regnvand renses bærelaget. Derfor har Københavns Kommune også senere (Lyngbyvej og Vigerslevvej) anvendt en drænasfalt med større kornstørrelse (5 mm).

3.

Kilde:

Ref. /12/: Nielsen, C. B., Raaberg, J., Nielsen, E.: 'Holdbarhed af drænasfalt, Rapport 139', Vejdirektoratet, 2005.

Formål

At undersøge støjreducerende asfalts levetid, holdbarhed, miljøeffekter samt vedligehold af denne. På baggrund af dette komme frem til en belægningstype med den størst mulige støjbegrænsning i længst mulige tid.

Udgangspunkt

Drænasfaltbelægning på Øster Søgade.

Udførelse

Pkt. 2.2.2. anbefaler en lang række råd til udførelse vedr.:

- > Støjreduktion
- > Friktion
- > Fysisk holdbarhed.

Forbedring af drænasfalt

Konklusionen er at det vurderes at levetiden på 7 år, kan forlænges ca. 1,5-2 år ved en lille reduktion af hulrummet.

Økonomi

Tabel C-4: Overslagspriser for anlæg og drift.

	Pris	Enhed
8 m bred vej, med kantsten og afvanding, 2 lags drænasfalt	760	kr./m
Fornyelse af øverste lag (levetid 7 år, nederste lag 14 år)	280	kr./m
Rensning af øverste lag	8	kr./m
Årlige omkostninger for 2-lags drænasfalt	97	kr./m
Årlige omkostninger for en tæt asfaltbeton (levetid 14 år)	28	kr./m

Anbefalinger/restriktioner

Anbefales ikke i områder med vridende trafik (kryds, rundkørsler, overkørsler, parkeringspladser m.m.). Alternativt kan drænasfalten forsegles med en kunststofbelægning over strækninger med vridende trafik.

Vedligehold

- › Drænasfalt bliver hurtigere kold (tidligere saltning)
- › Salt trænger ned, og medfører 25-50 % øget saltforbrug, dog kan der med fordel anvendes mere grovkornet salt. Kræver stor trafikmængde til at suge belægningen ren
- › Problem ved snerydning: Trafik presser sne ned i porerne. Medfører hyppigere snerydning (medfører 30-100 % flere sneplove)
- › Vand/sne fanges i hulrum og gør at vejen er våd i en længere periode
- › Vanskeligt at bekæmpe isslag
- › Veje med lav hastighed (<70 km/h) har mindre selvrensende effekt.

4.

Kilde:

Ref. /8/: Støvring, J. L.: Artikeludkast – 'Permeable befæstelser i Danmark', 2015.

Ref. /9/: Støvring, J. L.: 'Vandet løber gennem befæstelsen', Københavns Universitet, Grønt miljø, 2013.

http://ign.ku.dk/english/employees/landscape-architecture-planning-/?pure=files%2F98447858%2FVandet_loeber_gennem_befaestelsen_GM2013_6.pdf

Testen ved Svanemøllehallen består af seks forskellige permeable belægningsopbygninger, som måler 5 x 5 m; se Tabel C-5:

Belægninger

Tabel C-5: Opbygning af permeable befæstelser i forsøg ved Svanemøllehallen, København.

Testfelt	1	2	3	4	5	6
Belægning	ØkoSuperlock (låsesten, IBF)	HydroFlo (Gennemsi-velig sten, Midtgaard)	Permeabelt asfalt (NCC)	PermaStone (epoxybundet skærver, Byggros)	PermaStone (epoxybundet skærver, Byggros)	ØkoSuperlock (låsesten, IBF)
Bærelag	Drænstabil (2-32 skærver, NCC)	Drænstabil (2-32 skærver, NCC)	Drænstabil (2-32 skærver, NCC)	Knust genbrugsbeton (NORRECCO)	32-45 tilsat 20 % 2-8 skærver (Stenrand)	32-45 tilsat 20 % 2-8 skærver (Stenrand)

Belægningens infiltrationsevne (mm/timen)

Tabel C-6: Ændring af infiltrationsevne over tid for forsøg med permeable befæstelser ved Svanemøllehallen, København.

Testfelt	Efter 4 måneder	Efter 12 måneder	Efter 18 måneder
1	2.500	1.250	587
2	750	200	45
3	2.500	1.000	29
4	20.300	18.000	16.906
5	23.900	20.000	18.637
6	4.000	950	309

Infiltrationsevnerne i Tabel C-6 er målt ved hjælp af en målebrønd placeret i de enkelte felters befæstelse. Da felterne er forseglet med en membran kan infiltrationsevnen måles ved at sammenligne målt lokal nedbør med infiltreret vand i målebrønden.

Geonet

I testen ved Svanemøllehallen er der lagt geonet i bunden og midt i belægningen, da der var risiko for blødbund. Geonettets funktion er at øge trykspredningen, samt at minimere risikoen for at mindre partikler fra afretningslaget slemmer bærelaget til. Et geonet lagt på råjordsplanum kan også være med til at minimere antallet af mindre partikler fra råjorden der slemmer bærelaget til fra bunden. Forsøget omtaler dog at der kan være et problem i at bruge geonettet. Risikoen er at man afbryder poresystemet, da selve geonettet kan slemmes til af mindre partikler fra afretningslaget og/eller råjord.

Bæreevne

Forsøg Svanemøllehallen: Efter måling i 2014 konstateres mindre sætninger (1-3 mm)

5.

Kilde:

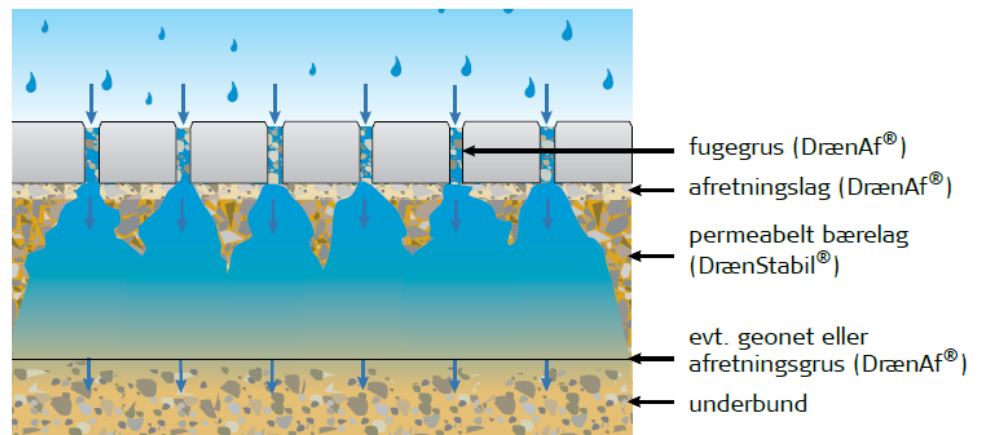
Ref. /16/: IBF: 'Perma-Drain system – nedsivning af regnvand, Brochure'.
2015.03.17.

<http://brochure.ibf.dk/Belgning/PermaDrain/Permadrain/>

ØkoSuperlock

ØkoSuperlock er en belægningssten fra IBF lagt på et permeabelt afretningslag (DrænAf) samt fuget med permeabelt fugegrus (DrænAf). Det er altså det samme materiale som bruges som både som fugegrus og afretningslag. Selv stenen er ikke permeabel, men det er kombinationen af fugemateriale, afretningslag og et permeabelt ubundet bærelag (DrænStabil), som gør belægningen permeabel. Systemet kalder IBF for Perma-Drain. Belægningen kan anvendes i alle 3 kategorier af permeable belægning, alt efter hvor dræn og evt. membran placeres.

Nedsivning af al regnvand

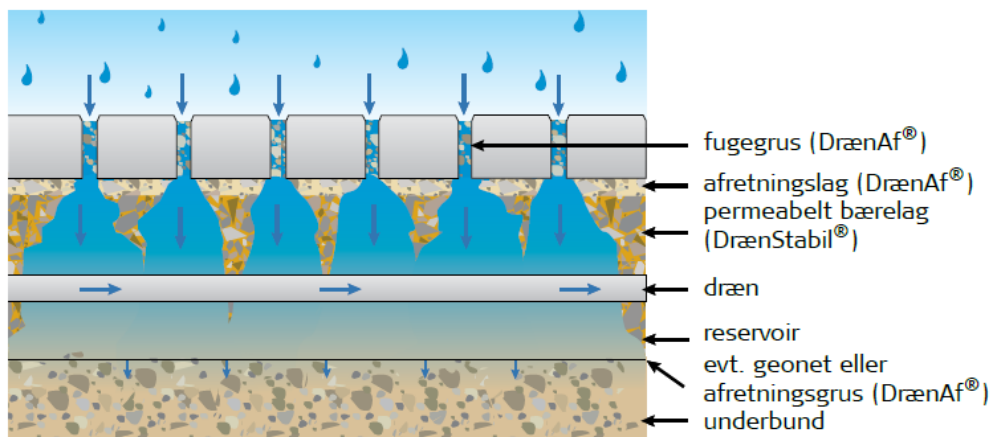


Figur C-1: Belægningsopbygning hvor al regnvand nedsives.

Det anbefales generelt, at der lægges et geonet på råjordsplanum for at undgå, at råjorden blander sig med det ubundne bærelag, som risikere at miste den permeable egenskab.

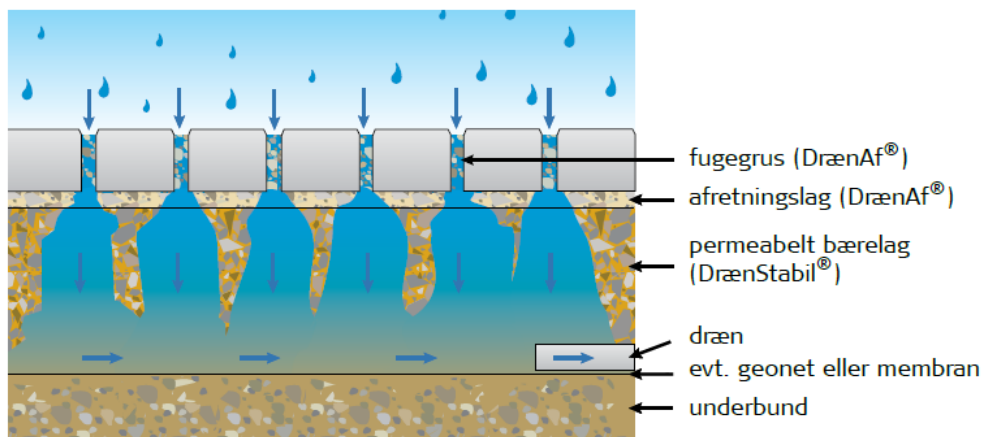
Som bærelag anbefales det permeable ubundne bærelag, DrænStabil (NCC). Ovenpå bærelaget lægges det permeable afretningslag (DrænAf) i anbefalet 10-30 mm tykkelse. Laget komprimeres ikke. Herefter lægges belægningssten, som fuget med samme materiale, der er brugt som afretningslag. Til sidst komprimeres ovenpå stenene med pladevibrator.

Delvis nedsivning af regnvand



Figur C-2: Belægningsopbygning med delvis nedsivning.

Ingen nedsivning af regnvand



Figur C-3: Belægningsopbygning uden nedsivning.

Der lægges en membran på råjordsplanum for at blokere for nedsivningen. Råjordsplanum udføres med fald mod et dræn, som opsamler vandet, og fører det videre til afvandingssystemet. Det er vigtigt at sikre at råjordsplanum er fri for skarpe sten eller andet der kan beskadige membranen. Alternativt kan der udlægges og komprimeres 5-10 cm 0-4 mm sand under membranen.

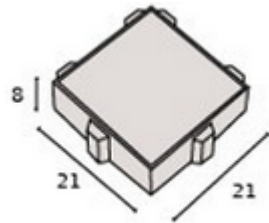
Bæreevne

IBF: Permeable belægninger (Perma-Drain) kan anvendes t.o.m. trafikklasse T2.

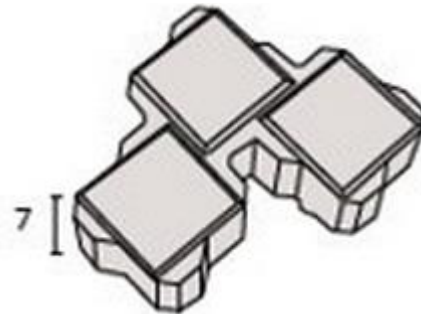
Andre typer af belægningssten fra IB

Andre belægningssten fra IBF, som kan tilføjes det permeable belægningssystem:

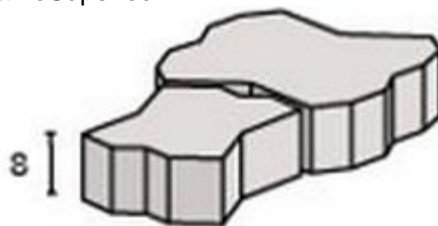
SF-Rima



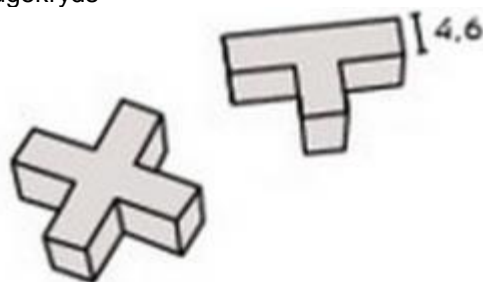
SF-Økoloc



ØkoSuperloc



Fugekryds



6.

Kilde:

Ref. /15/: Midtgaard: 'Permeable belægninger, Produktkatalog'.
http://midtgaard-as.dk/Resources/Files/1_pdffiler/Betonfliser-katalog.pdf

HydroFlo

HydroFlo (Midtgaard) er en belægningssten, hvor selve stenen er permeabel. Stenen fås i flere forskellige former og dimensioner. Stenen lægges på et permeabelt afretningslag og fuges. Under afretningslaget lægges det permeable, ubundne bærelag.

7.

Kilde:

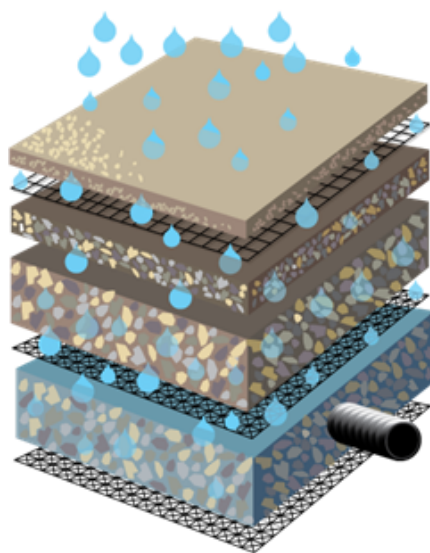
Ref. /14/: Byggros: 'Permeable befæstelser: PermaGround, Konceptløsninger. Brochure', april 2012.

<http://www.byggros.com/da/produkter/8000-arealbefaestelse/permeable-belaegninger/permastone>

PermaStone

PermaStone (Byggros) er en højporøs epoxybundet stenoverflade med sammenlignelige funktioner som en permeabel asfalt.

Byggros anbefaler nedenstående opbygning ifm. brug af PermaStone som slidlag:



- 25 - 40 mm. Epoxy / PU - bundet stenoverflade
- friktionsnet FORNIT 30
- 50-100 mm afretningslag, 8-11 mm granitskærver eller lign.
- 200 mm bærelag: 31,5 - 63/ 16 - 32 skærver eller singels
- armeringsnet: Tensar Triax 160
- 200 mm bærelag: 31,5 - 63 skærver eller singels
- evt. bundsten 63 - 125 mm
- armeringsnet: Tensar Triax 160
- evt. drænrør til spuling, inspektion eller for tilslutning til anden LAR løsning
- selvrensende fald 5 0/00

Figur C-4: Belægningsopbygning anbefalet af Byggros ifm. brug af PermaStone.

Bæreevne

Byggros: PermaStone kan anvendes t.o.m. trafikklasse T3.

<http://www.byggros.com/da/produkter/8000-arealbefaestelse/permeable-belaegninger/permastone>

8.

Kilde:

Ref. /13/: NCC Præsentation om PermaVej.

PermaVej (NCC)

PermaVej består af et permeabelt bærelag, PermaGAB, og et permeabelt slidlag, PermaSlid. Både PermaGAB og PermaSlid har samme E-modul som traditionelle asfalttyper med samme bitumenhårdhed. Af Tabel C-7 fremgår værdier for de materialetekniske egenskaber.

Tabel C-7: PermaVej – materialespecifikationer.

Egenskab	Enhed	PermaGAB	PermaSlid
Maksimal kornstørrelse	mm	16	8 eller 11
Marshall hulrum	Vol-%	19-21	19-21
Bitumenfyldning	%	>30	>35
Indbygget hulrum	%	20-22	20-22

Ved udlægning anbefales maskinudlægning. Inden udlægning af PermaSlid udlægges en klæbeemulsion på PermaGAB-laget.

Materialers E-modul

NCC PermaVej (åben asfalt): E-modul som traditionelle asfalttyper med samme bitumenhårdhed.

DrænStabil: E-modul 300/350 MPa, hulrum 30 % (Jan Støvring).

9.

Kilde:

Ref. /39/: Aarhus Kommune (Rambøll): 'Permeable belægninger – med og uden membran', 2011.

Økonomi

Overslag over anlægsudgifter samt en forventet minimumspris for underbygning (priseniveau 2011).

Tabel C-8: Overslagspriser for belægningers anlægspris og driftsudgift.

Belægningstype	Anlægspris (kr./m ²)	Driftsudgift (kr./m ² /år)
Grus	36-60	35
Grus (inkl. muldlag)	35	1,6
Græsarmeringssten	325-425	30
Græsarmeringsnet	210	30
Belægningssten med porøse fuger	400	30
Porøs belægningssten	325-525	30
Porøs asfalt (ét-lags)	210-230	10
Porøs asfalt (to-lags)	275-375	10
Porøs beton	325-525	10
Underbygning (parcelhus)	Fra 85	--
Underbygning (erhverv)	Fra 140	--

Hvis porevolumenet erstattes af kassetter kan der forventes en pris på ca. 1.500-2.000 kr./m³.

10.

Kilde:

Ref. /26/: Rasmussen, M: Københavns Kommune, personlig kommunikation, 17. februar 2015.

Reference

Dansk Vejtidskrift april 2006, side 26-29.

Emne

Drift af permeable belægninger.

Formål

Støjreduktion i byområde.

Lokaliteter

Vigerslevvej, Lyngbyvej.

Anlægsår

2005.

Trafikbelastning

Vigerslevvej: ÅDT: 14.900, lastbilandel: 6,9 % (trafikklasse T5).

Belægning

2-lags drænasfalt: 20 mm DA8 + 50 mm DA16. Herunder GAB I SD.

Hulrum 23 % i DA8 henholdsvis 21 % i DA16.

Mere mørtel og optimeret recept i forhold til Øster Søgade.

Afvanding

Tæt asfaltmembran under drænasfalten. Skærvedrænkanaler langs fortovskanter sørgede for afvanding fra bunden af belægningen.

Levetid

7-8 år (i modsætning til cirka 15 år for traditionel asfalt).

Drift

Belægningerne blev spulet 2 gange årligt. De stoppede forholdsvis hurtigt til. Ingen erfaringer med affræsning af øvrige DA-lag og udlægning af nyt.

Reparation af eksempelvis huller i DA kan være besværlig i forhold til at opnå samme hulrumsstruktur som oprindeligt. Lapning af huller vil ofte ske med traditionel asfalt.

Vinterdrift

Saltning på Lyngbyvej og Vigerslevvej skete på samme måde som for kommunens øvrige veje. Der er ikke rapporteret om flere uheld på de to strækninger i forhold til andre veje i Københavns Kommune.

På Vigerslevvej opstod problemer i forbindelse med vinterrenhold. Kommunen løb tør for salt og skubbe sne ud i vejsiden. Herved kom bilerne til at køre på vejstriberne, som tilsyneladende var meget glatte.

Økonomi

DA-belægningerne er cirka 3,3 gange så dyre i anlæg og drift som traditionelle asfaltbelægninger. Heri er ikke regnet omkostninger til trafikantforsinkelser som følge af drift- og vedligeholdelsesarbejder.

11.

Kilde:

Ref. /22/: Bendtsen, H.: 'European Experience Winter Service of Porous Asphalt, Technical note 123-2012', Vejdirektoratet.

Emne

Holdbarhed, drift og vedligehold af drænasfaltbelægning.

Formål

Studie af støjreducerende drænlagsbelægnings i Tyskland, Schweiz, Frankrig og Holland.

Trafikbelastning

Tungtrafikerede motorveje.

Resultater

Støjreduktion er ok. Strukturel levetid er betydeligt kortere end traditionel asfalt. Drænasfalt er dyrere at indkøbe end traditionel asfalt. Bedre trafiksikkerhed end traditionelle belægnings på grund af reduceret opsprøjt (til gengæld sikkert også forøget hastighed).

Vinter

Saltforbruget er noget højere end for traditionel asfalt. Problem med fastkørt sne i den åbne porestruktur i drænasfalten. Større risiko for isslag.

12.

Kilde:

Ref. /23/: Petersen, C.: 'Måling af vejtemperatur med forskellige sensorer i 3 vejbelægnings, Rapport 503', Vejdirektoratet, 2014.

Emne

Temperaturforhold på og i asfaltbelægnings, glatførevarsling.

Formål

Studie af temperaturforhold på overfladen og toppen af tre forskellige asfaltbelægnings.

Lokalitet

Arnakke Nord rasteplads på Holbæk-motorvejen.

Trafik

Meget begrænset.

Resultater

Ingen signifikant forskel i termiske egenskaber ved traditionel tæt asfaltbelægning sammenlignet med drænasfalt.

13.

Kilde:

Ref. /24/: Houle, K. M.: 'Winter Performance Assessment of Permeable Pavements. A comparative study of porous asphalt, pervious concrete, and conventional asphalt in a northern climate', University of New Hampshire, NH, USA, September 2008.

Emne

Tilstand af forskellige vejbelægninger om vinteren. Glatføre.

Formål

At studere hvorvidt drænasfalt og drænbeton udviser andre karakteristika end traditionelle asfaltbelægninger med hensyn til glatføre.

Lokalitet

To P-pladser i New Hampshire i det nordøstlige USA.

Trafikbelastning

Meget begrænset.

Resultat

Indikation at permeable belægninger klarer vintersituationen bedre end traditionelle tætte belægninger. Herunder bedre friktion og lavere saltforbrug (det sidste for drænasfalt, men ikke drænbeton). Det er vigtigt, at sneen fjernes løbende ellers dannes fastkørt sne og is på drænbelægningerne.

14.

Kilde:

Ref. /18/: Wahlman, T., Stahle, F.: 'Öppna överbyggnader och dränerande bärlager – Provväg Borrebackevägen Malmö, 1991-1994', Gatukontoret Malmö, NCC Produktionsanläggningar, 1995.03.15.

Emne

Permeabel belægning med drænasfalt og stenbærelag, anlæg, drift, fuldskala test.

Formål

Studere brugen af åbne belægninger på veje med større trafikbelastning.

Lokaliteter

Borrebackevägen Malmö.

Anlægsår

1991.

Trafikbelastning

ÅDT over 1.000 køretøjer.

Belægning

3 prøvestrækninger på hver 150 meter.

Dimensionering i henhold til svensk standard (BYA-84).

Overbygningstykkelse: 800 mm.

Underbund: sandet/siltet moræneler.

Tabel C-9: Strækning 1: reference.

Lag	Materiale	Tykkelse (mm)
Slidlag	HAB12t	35
Bundet bærelag	AG25	95
Ubundet bærelag	Macadam 0-40	120
Bundlag	Macadam 0-100	550

Tabel C-10: Strækning 2: Viacobase asfaltbærelag (drænende asfaltmateriale).

Lag	Materiale	Tykkelse (mm)
Slidlag	HAB12t	35
Bundet bærelag	Viacobase25	95
Ubundet bærelag	Macadam 0-40	120
Bundlag	Macadam 0-100	550

Tabel C-11: Strækning 3: Viacodrän (drænende slidlag) og Viacobase asfaltbærelag (drænende asfaltmateriale).

Lag	Materiale	Tykkelse (mm)
Slidlag	Viacodrän12	35
Bundet bærelag	Viacobase25	95
Ubundet bærelag (udført med 4-120 mm sten)	Macadam 18-80	270
Bundlag (udført med 4-120 mm sten)	Macadam 32-120	400
Separationslag	Fiberdug, klasse 2	

Det øverste macadam-lag er afstrøet med et tyndt lag fin macadam (8-20 mm) for at låse det øverste materiale og for at begrænse asfaltforbruget.

Referenceslidlag havde 6,5 % (vægt-%) bindemiddel. Referencebærelaget indeholdt 4,5 % (vægt-%) bindemiddel.

Asfaltbærelaget er udført med penetration 85-bitumen med et indhold på 5 % (vægt-%). Der var tilsat cellulosefibre. Sten var uknuste og hulrummet var 18,5 % (volumen-%). E-værdier på 10.600 MPa ved 0 °C og 400 MPa ved 30 °C.

Dræn-slidlaget (Viacobase) have et hulrum på 17,5 % (volumen-%). Laget blev kraftigt tilsmudset af jord straks efter udlægning. Permeabiliteten var derfor reduceret til 85 %. Belægningen blev spulet, men det er ikke angivet, om dette forbedrede permeabiliteten.

Afvanding

Den permeable belægning fungerer som magasin. Afledning eller nedsivning er ukendt.

Levetid

Ukendt. Den permeable belægning var designet til en længere levetid end den traditionelle.

Drift

Den permeable belægning er ikke så modstandsdygtig overfor ujævnheder og sporkøring som den traditionelle.

Vinterdrift

Det forventes ikke at den permeable belægning har større risiko for glatføre end den traditionelle.

Økonomi

Den permeable belægning er ikke dyrere at anlægge end en traditionel vejkonstruktion.

Støjdæmpning

Der forventes en støjreduktion på 2-3 dB(A) som følge af brugen af drænasfalt.

15.

Kilde:

Ref. /25/: Izevbekhai, B.: 'Pervious Concrete Test Cells on MnROAD Low-Volume Road, Research Project, Final Report 2011-23', Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA, December 2011.

Emne

Permeable betonbelægning i koldt klima.

Formål

Studere brugen af drænbeton i koldt klima under realistisk trafikbelastning.

Lokaliteter

Monticello, Minnesota, USA.

Anlægsår

2008.

Trafikbelastning

18.000 standard-aksler per år.

Belægning

Der er bygget tre test-celler med en længde på omkring 75 meter; standard vej-bredde cirka 3,5 meter.

Test cell 39:

- > 100 mm drænbeton slidlag – nyt
- > 165 mm beton – eksisterende
- > 125 mm Class 5 Special gradation for MnROAD – bærelag
- > Ler – underbund.

Test cell 85:

- > 175 mm drænbeton
- > 100 mm jernbane-skærver
- > 200 mm stenbærelag CA-15
- > Geotekstil til hindring af opblanding
- > Sand – underbund
- > Test cell 85:
- > 175 mm drænbeton
- > 100 mm jernbane-skærver
- > 200 mm stenbærelag CA-15
- > Geotekstil til hindring af opblanding
- > Sand – underbund.

I designet er der regnet med et hulrum på 20 % for drænbetonen og 30 % for bærelaget. For den sandede underbund er der også regnet med hulrum på 30 %. Der er desuden regnet med på mere end 5.000 mm/time for drænbeton og bærelag. For underbunden af sand er der designet med mere end 1.250 mm/time.

Afvanding

Permeabilitet målt. Flow rate varierer på grund af uensartet materiale, men flow rate var generelt højere i tilfældet med granulær underbund end i test cellen med leret underbund.

Forsøgsperiode

2008-2010.

Drift

Rensning af belægningen 2 gange årligt eller mere. God effekt.

Rivninger forekommer ofte – henføres til frost-tø. Omfanget kan reduceres ved at forhindre/reducere tilstopning af porehulrum.

E-værdier bestemt med faldlod viser højere værdier for drænbeton end for traditionel beton.

Belægningerne er forholdsvis ujævne (relativt høj IRI-værdi).

Støj

Bedre støjreduktion end med traditionelle betonbelægninger.

Bilag D Litteraturstudie

COWI har foretaget en litteratursøgning i DTU's bibliotek med søgeordene "permeable pavement", "porous pavement", og "sustainable urban drainage system"; resultatet er mere end 2.000 hits. Efterfølgende er dubletter fjernet og de ældste kilder udelukket; herefter endte litteratursøgningen med cirka 230 separate dokumenter med korte resumeer.

For hvert resultat blev resuméer gennemgået, og litteraturen er herefter inddelt i kategorier i henhold til vejregelgruppens opgavebeskrivelse, jævnfør nedenstående tabel. Overskriften 'Antal' angiver antallet af dokumenter fra søgningen, som falder inden for den respektive kategori (et dokument kan godt falde indenfor flere kategorier).

Tabel D-1: *Opdeling af litteratur i kategorier i henhold til vejregelgruppens opgavebeskrivelse.*

Nr.	Titel	Antal
1	Opbygning	133
2	Nedsivningskapacitet	117
3	Magasinkapacitet	12
4	Trafikbelastning og bæreevne	99
5	Drift/Vedligeholdelse	22
6	Omgivelser (Miljø)	56
7	Design (kriterier)	15

Som supplement til vejregelgruppens kategorier har COWI tilføjet seks ekstra kategorier, som fremgår i tabellen herunder:

Tabel D-2: *Supplerende kategorier ved opdeling af litteratur.*

Nr.	Titel	Antal
M	Målemetoder	29
F	Frost	1
U	Udførelse	7
Ø	Økonomi	5
B	Beslutningsværktøj	3
T	Trafiksikkerhed	1

Antallet af dokumenter fra en lang række forskellige kilder giver COWI god grund til at mene, at emnet er godt dækket.

Som supplement til resultaterne fra søgningen i DTU's database har COWI indhentet litteratur gennem andre kilder, hvoraf følgende kan fremhæves:

- › Litteraturliste fremsendt af vejregelgruppen
- › Litteraturliste i Thomas Rohdes afhandling om permeable belægninger

- › Byens gulv-konferencen afholdt i Nyborg, d. 28/1 2015
- › Publikationer om betonbelægningssten fra Interpave (Precast Concrete Paving and Kerb Association)
- › Artikler fra "Vand i byer" og specielt prøvefelterne ved Svanemøllehallen
- › Relevante publikationer fra Vejdirektoratet (om Øster Søgade-projektet, drænasfalt)
- › Århus Kommune (LAR-metodekatalog)
- › Minnesota Department of Transportation (drænasfalt i koldt klima)
- › Interview med IBF og NCC Roads om produkter til permeable belægninger (afholdt d. 3/2 2015).

Øvrige kilder findes i litteraturlisten.

