



Permeable belægninger - med og uden membran

LAR-metodekatalog

Oktober 2011

Aarhus Kommune

Permeable belægninger

- med og uden membran

Oktober 2011

Ref. Permeable belægninger

Udarbejdet af:

- Rambøll Danmark A/S

Indholdsfortegnelse

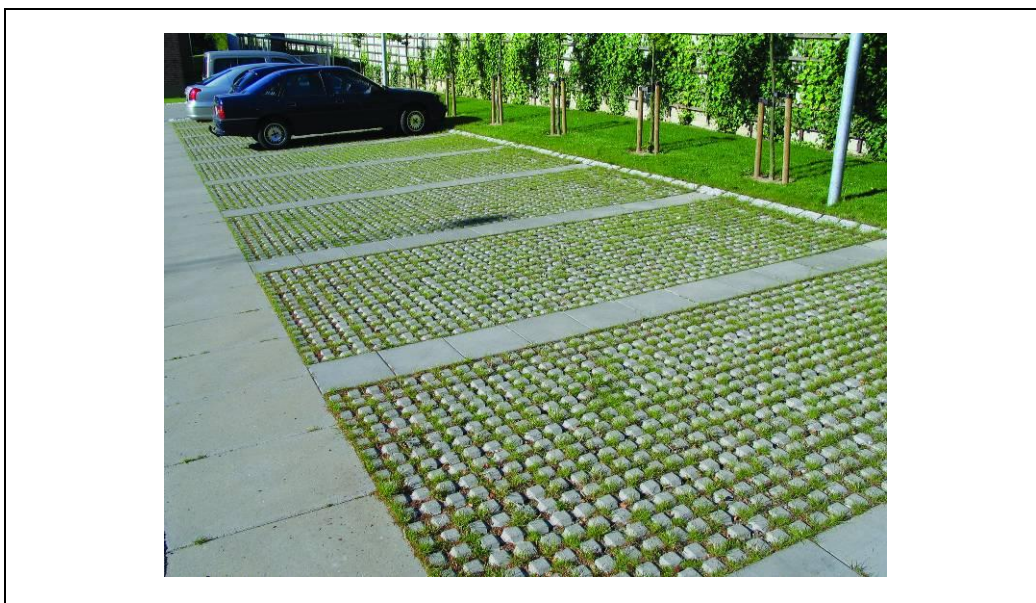
1.	DATABLAD	1
2.	GENEREL BESKRIVELSE	4
2.1	Opbygning og funktion	4
2.2	Krav fra myndigheder	8
2.3	Renseeffekt	9
2.4	Landskab og beplantning	9
2.5	Begrænsende faktorer	10
3.	ANLÆGSDELE	13
4.	DIMENSIONERING	23
5.	DRIFT OG VEDLIGEHOLD	27
6.	ØKONOMI	29
7.	REFERENCER	31

1. DATABLAD

Ved en permeabel belægning forstås en belægning, hvor regnvandet løber ned gennem belægningen eller mellem belægningens elementer. Dette er især overflader med belægning af betonfliser med porøse fuger og belægninger med en åben porestruktur (asfalt eller andet materiale). Til permeable belægninger hører principielt også grus, græs mv.

Regnvandet løber ned i belægningens underbygning, der er designet til at tåle dette, uden at levetiden reduceres. Vandet forsinkes i underbygningen og afhængigt af terrænet, grundvandsstanden og forureningsmæssige forhold mv. kan regnvandet herfra nedsives, ledes til recipient eller afløbssystem.

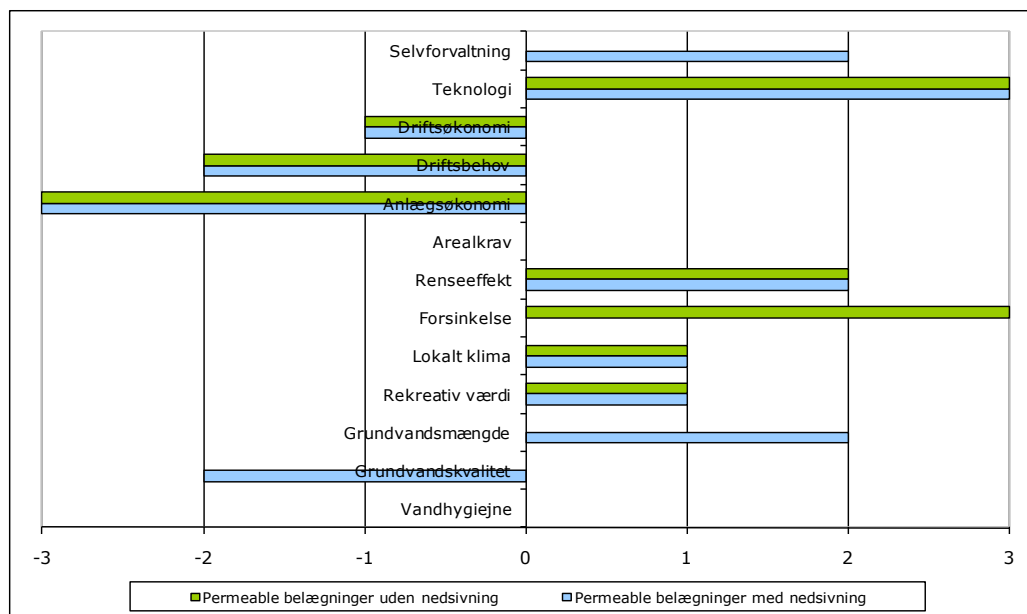
De permeable belægninger kan som udgangspunkt anvendes på alle typer af arealer – veje, cykelstier, gårdarealer, indkørsler mv.



Figur 1.1 Eksempel på et areal med permeabel belægning.

Væsentligste egenskaber	Reduktion af vandvolumen Høj ved nedsivning Lav ved afledning til recipient eller afløbssystem Reduktion af intens regn Høj Fjernelse af suspenderet stof Mellem Fjernelse af kvælstof Lav Fjernelse af tungmetaller Mellem Fjernelse af oliestoffer Mellem Fjernelse af pesticider Mellem Landskabelig værdi Mellem
Drift og vedligehold	Jævnlig støvsugning/rensning. Ukrudtsbekæmpelse. Efterfugning.
Fordele	Ingen anlægsudgifter til etablering af rendestensbrønde og afvandingssystem Ingen driftsudgifter til renhold af rendestensbrønde og afvandingssystem. Mulighed for vandrette belægninger uden kuvertfald eller kunstigt fald mod nedløbsriste. Mulighed for anvendelse i forbindelse med varmepumpe-anlæg til opvarmning. Øget fordampning af nedbørsmængder. Mulighed for at give et "grønt udtryk" ved valg af græsarmeringssten/net.
Ulemper	Risiko for, at permeabiliteten nedsættes ved manglende vedligehold idet belægningen erfaringsmæssigt tilstoppes, hvis der ikke foretages mindst en årlig rensning Eventuel øget/vanskelig vintervedligeholdelse. Anvendelse af permeable belægninger søges primært udlagt på arealer, hvori der kun ligger et begrænset antal af rør og andre installationer. Særligt bør installationer under eventuelle membraner begrænses eller etableres i føringsrør. Højere anlægsudgift end ved traditionelle belægninger, der dog helt eller delvist kan tjenes ind ved, at der ikke er behov for etablering af vejafvanding. Mange permeable belægninger er grundet fugebredder og stenes udformning forbundet med mere dækstøj ved højere hastigheder. Dog er drænasfalt støjreducerende.
Økonomi	Højere anlægsudgift end traditionelle belægninger, men det må forventes opvejet af, at der ikke skal etableres afløbssystem.

Tabel 1.1 Metodeoversigt.



Figur 1.2 Samlet vurdering af egenskaber.

Samlet vurdering af permeable belægningers egenskaber i forhold til afledning af regnvand direkte til regnvandssystem eller recipient ses af figur 1.2. Hvor der ikke er angivet nogen værdi, vurderes metoden ikke at have nogen væsentlige fordele eller ulemper i forhold til at lede regnvandet direkte til regnvandssystem/recipient.

2. GENEREL BESKRIVELSE

2.1 Opbygning og funktion

De permeable belægnings primære formål er at reducere og/eller forsinke afløbet til recipient eller afløbssystem. Det opnås primært ved nedsivning eller ved tilbageholdelse i hulrum i belægning og underbygning, men derudover opnås fra de fleste typer af permeable belægnings også en relativt høj fordampning. Permeable belægnings anvendes primært i tættere bebyggelse, hvor det kan være svært at finde plads til de traditionelle LAR-metoder.

Underbygningens magasinvolumen dimensioneres efter kapaciteten i afløbet. Den hydrauliske kapacitet i afløbet kan enten være fastsat i udledningstilladelsen til recipient, i afløbs-/byggetilladelsen eller i tilfælde med nedsivning bestemt som den hydrauliske kapacitet i den underliggende jordbund.

Oftest anvendes singels i vej-kassen, men i tæt bebyggede områder hvor der er mangel på frie arealer, og/eller hvor der ønskes et større magasiningsvolumen, kan anvendes plastkassetter under belægningsne. Plastkassetter kræver dog normalt et jorddække på ca. 0,8 m. Ved placering tættere på belægningen skal der etableres en lastfordeling eksempelvis i form af jordarmeringsnet eller lignende.

I mange tilfælde kombineres anvendelsen af impermeable og permeable belægnings således, at impermeable belægnings anvendes over et større område, hvor regnen opsamles og ledes til et område med permeabel belægning, f.eks. en parkeringsplads, hvorunder der er etableret plastkassette eller singels. Herved kan de permeable belægnings henlægges til områder med et begrænset antal installationer.

Målinger fra etablerede flisebelægnings baseret på afdræning til afløbssystemer og recipienter viser, at afløbet i de underliggende dræn udjævnes således at maksimalvandrøringen i dræne reduceres til 5-30 % /14/ i forhold til afløbet ved traditionel afvanding. Forsinkelsen af afløbet varierer betydeligt som følge af valg af underbygning, vedligeholdstilstand mv. Det vil ofte tage flere timer fra starten af regnhændelsen til der registreres afløb i de underliggende dræn og afløbet fra dræne kan vare i flere dage /12/.

Ved målinger på flisebelægnings, hvor opbygningen er baseret på nedsivning er det konstateret, at der kun ved ganske få særligt kraftige hændelser sker overfladisk afstrømning. Den målte afstrømning fra sådanne arealer er omkring 5 % af den samlede årlige regndybde.

Der er ligeledes udført målinger på fordampning fra opbygninger under permeable flisebelægnings, der angiver at der fordampes 0,2-5,5 mm pr. dag /12/. Fordampning vil helt overvejende finde sted i sommerhalvåret og vil være størst fra opbygninger, hvor magasinvolumenet er tættest på overfladen.

Der skelnes mellem to forskellige typer af permeable overflader:

- Lavpermeable overflader med traditionel underbygning.
- Højpermeable belægninger.

De lavpermeable overflader med traditionelle underbygninger i form af f.eks. stabil-grus direkte på råjordsplanum kan udføres som græsarmeringssten, græsarmingsnet eller som grusbelægninger. Græsarmeringssten og græsarmingsnet er belægninger med større hulrum, hvori der fyldes et drænende vækstmedie for græsbelægning.

På figur 2.1 er vist eksempler på henholdsvis græsarmeringsnet og græsarmeringssten.



Figur 2.1 Eksempel på græsarmeringsnet Rådmandsgade København og græsarmeringssten, Ørestad.

De højpermeable belægninger kan udføres som f.eks.:

- Porøs asfalt
- Porøs beton
- Belægningssten med afvanding gennem porøse fuger
- Græsarmeringssten på speciel underbygning
- Porøse belægningssten
- Græsarmeringsnet på speciel underbygning

Permeable belægninger virker ved, at vandet siver gennem materialets struktur,

mens belægninger med porøse fuger afvander via fugerne. På figur 2.2 ses et eksempel på en højpermeabel belægning.



Figur 2.2 Belægningssten med porøse fuger, Banbury UK og eksempel fra Ørestad med granitsten med brede fuger.

Hvilken af de permeable belægninger, der er mest optimale et givent sted, afhænger bl.a., hvad arealerne anvendes til. I det nedenstående er kort listet de almindeligste anvendelsesmuligheder for de enkelte belægningstyper.

Belægningstype	Eksempler på anvendelsesmuligheder
Porøs asfalt	• Landingsbaner • Stærkt trafikerede arealer med høj hastighed • Trafikerede arealer med lav hastighed • Cykel- og gangstier • Parkeringsarealer
Porøs beton	• Trafikerede arealer med lav hastighed • Cykel- og gangstier • Parkeringsarealer • Gårdarealer
Belægningssten med afvanding via fuger	• Trafikerede arealer med lav hastighed • Cykel- og gangstier • Parkeringsarealer • Befæstede rabatter • Gårdarealer og haver • Indkørsler
Porøse belægningssten	• Trafikerede arealer med lav hastighed • Cykel- og gangstier • Parkeringsarealer • Befæstede rabatter • Gårdarealer og haver • Indkørsler
Græsarmeringssten	• Parkeringsarealer

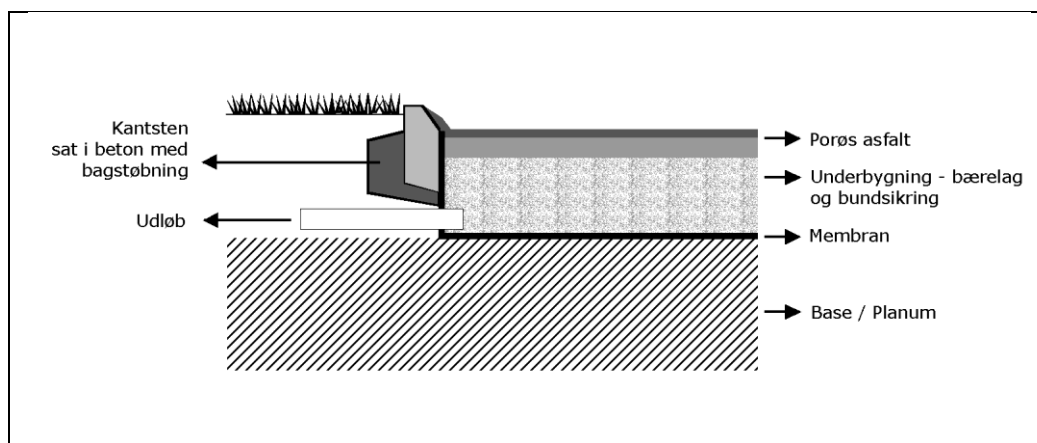
Belægningstype	Eksempler på anvendelsesmuligheder
	• Befæstede rabatter • Gårdarealer • Indkørsler
Græsarmeringsnet	• Parkeringsarealer • Befæstede rabatter
Grus	• Parkeringsarealer • Befæstede rabatter • Gangstier • Gårdarealer • Indkørsler

Tabel 2.1 Anvendelsesmuligheder for permeable belægninger.

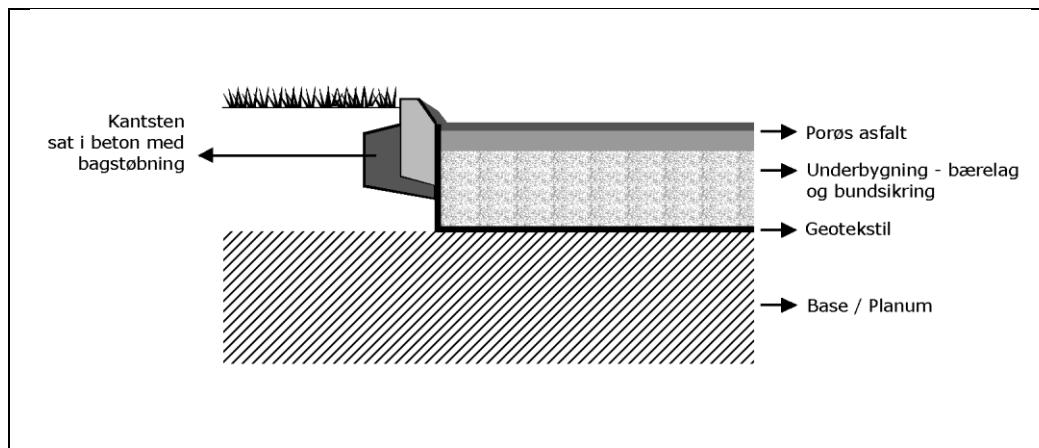
Den hydrauliske kapacitet af de permeable belægninger er uafhængig af typen af belægning eller anvendelse af arealet. Den er, som nævnt tidligere i dette afsnit, afhængig af hvordan afledningen foregår. Der er typisk tre muligheder:

- Afløb til recipient.
- Nedsivning.
- Kombination af nedsivning og afløb/overløb til recipient.

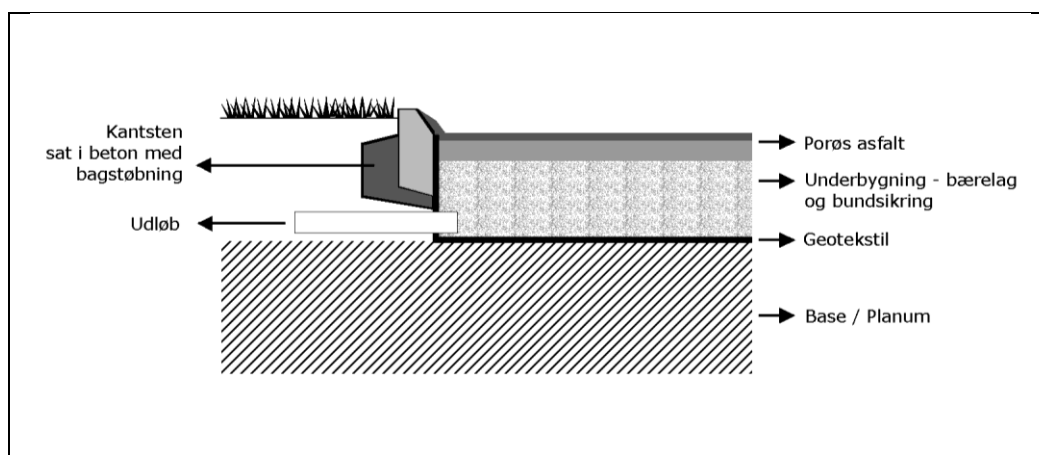
På figur 2.3 – 2.5 er der anført skitser af de forskellige afledningsformer. Til figurerne skal bemærkes, at underbygningen af bærelag og bundsikring kan erstattes eller suppleres med kassetter. Plastkassetter kræver dog normalt et jorddække på ca. 0,8 m. Ved placering tættere på belægningen skal der etableres en lastfordeling eksempelvis i form af jordarmeringsnet eller lignende. For beskrivelse af kassetter henvises til metodebeskrivelsen for Faskiner.



Figur 2.3 Anlæg med afløb til recipient eller afløbssystem, ingen nedsivning.



Figur 2.4 Anlæg med nedsivning.



Figur 2.5 Anlæg med nedsivning og afløb eller overløb til afløbssystem.

2.2 Krav fra myndigheder

Den krævede myndighedsbehandling vedrører primært afledningsforholdene.

Med hensyn til tilladelser der er nødvendige efter miljøbeskyttelsesloven og byggeloven ved etablering af LAR-løsninger henvises til notatet:

”Generelle krav fra myndigheder ved etablering af LAR. Hvad skal der ansøges om? Og hvad må jeg selv udføre?”

Ved etablering af permeable overflader på offentlige arealer, som efterfølgende skal overdrages til Aarhus Kommune, Trafik og Veje kræves det, at der indhentes tilladelse fra Trafik og for Veje inden vejkonstruktionen etableres.

2.3 Renseeffekt

Rensemekanismer ved permeable belægninger og deres underbygning er primært filtrering og adsorption til partikler i opbygningen af vejkassen og i vis udstrækning til den øverste del af den underliggende råjord. Sekundært kan forekomme en vis nedbrydning ved biofilm på fiberdugen og de indbyggede materialer.

I græsarmeringsbelægninger foregår desuden filtrering og nedbrydning i vækstlaget.

Ved porøs asfalt forekommer en vis filtrering og dannelse af biofilm i asfaltens porestruktur. Der sker en betydelig tilbageholdelse af suspenderet stof og tungmetaller samt nedbrydning af PAH'er [Coventry Universitet, Sue Charlesworth]. Målinger viser, at suspenderet stof fanges i de absolut øverste lag af belægninger og kan fjernes ved løbende renhold.

I tabel 2.2 er der givet en vurdering af, hvordan permeable belægninger rens vandet for forskellige stoffer. Vurderingen er inddelt i tre klasser: høj, middel og lav.

	Suspenderet stof	Tungmetaller	Oliestoffer	Pesticider
Permeable belægninger	Mellem	Mellem	Mellem	Mellem

Tabel 2.2 Oversigt over rensning af regnvand i permeable belægninger.

2.4 Landskab og beplantning

Udvalget af permeable belægninger på markedet er stort, og der er derfor gode muligheder for at vælge en type, der passer til arealets anvendelse og æstetiske forhold.

På terrasser og på mindre befærdede boligveje vil permeable belægningssten ofte være det bedste valg. På andre områder kan et mere grønt udtryk være ønsket, og her vil grus eller armerede græsarealer være et godt alternativ til fuldstændig tætte overflader. Dette gælder især, hvis arealet kun lejlighedsvis benyttes til parkering, eller tung transport, herunder udrykningskøretøjer.

Normalt fremgår belægningens bæreegenskaber, krav til bærelag og permeabilitet af producentens oplysninger. Disse informationer bør tages i betragtning tidligt i planlægningen, så det sikres, at der vælges den rette type belægning til området.

Græsblandingen, der benyttes i belægninger med armeret græs, skal være tolerant over for ekstreme forhold og kunne overleve uden gødning. Som eksempler på græstyper på arealer med mindre trafikbelastning kan nævnes Fåre-Svingel og Fjeld-Rap-græs. Til arealer med større trafikbelastning kan anvendes Eng-Rap-Græs og Rød Svingel.

På grusarealer kan der indplantes vilde blomstrende planter, hvilket kan give et interessant præg. Egnede arter til grusarealer med grusdybde 10-15 cm kan være:

- *Armeria maritime* / Engelskgræs
- *Echium vulgare* / Slangehoved
- *Galium verum* / Gul Snorre
- *Helianthemum nummularia* / Soløje
- *Hypericum perforatum* / Prikbladet Perikon
- *Jasione Montana* / Blåmunke
- *Linaria vulgaris* / Almindelig Torskemund
- *Melica ciliata* / Håret Flitteraks
- *Tanacetum vulgare* / Rejnfan
- *Trifolium aureum* / Humle-kløver
- *Verbascum nigrum* / Mørk Kongelys

På figur 2.6 er vist et eksempel på en permeabel belægning med forskellige former for beplantning.



Figur 2.6 Grusbelægning med naturlig vegetation og belægningssten med brede, permeable fuger, der tillader infiltration, Hannover Kronsberg, Tyskland. Foto: A. Backhaus.

2.5 Begrænsende faktorer

I nedenstående tabel 2.3 er permeable belægninger vurderet i forhold til en række lokale faktorer, som kan begrænse, ændre eller påvirke udførelse og drift.

Den permeable belægning kan tænkes overbelastet på to måder:

- Ved ekstremt kraftige byger, hvor regnintensiteten overstiger kapaciteten af nedsivningen gennem belægningen. På godt vedligeholdte belægninger vil dette ikke indtræffe oftere end ved traditionel overfladeafvanding. Det bør her sikres, at vandet kan stå på belægningen uden at løbe til omkringliggende installationer, bygninger eller nabogrunde indtil det kan sive gennem denne. Alternativt kan skabes et kontrolleret overfladisk afløb til lavtliggende grønne arealer eller lignende. Det skal generelt sikres, at der ikke står vand på belægningen igen-

nem længere tid, da der derved vil være risiko for at bæreevnen i vej-kassen re-
duceres.

- Ved mere volumenrige regnhændelser eller et større antal koblede hændelser end dimensioneringskriteriet kan magasin-volumenet i vej-kassen fyldes. For at hindre skadevirkninger i denne forbindelse kan der etableres kontrollerede nø-
doverløb fra vej-kassen til recipient eller afløbssystem. Alternativt kan også den øvre del af vej-kassen opbygges således, at den tåler opstuvning af regnvand gennemsnitligt hvert 5. år.

Faktor	Påvirkning af anvendelse
Grundvand	Nedsivning af forurenede overfladevand kan potentielt forurene grundvandet. Af hensyn til risikoen for at nedsive stofkomponenter til grundvandet bør der derfor være mindst 1 m fra undersiden af vej-kassen/råjordsplanum til det højeste grundvandsspejl over året. Såfremt denne afstand ikke kan overholdes vil der sandsynligvis ikke kunne opnås nedsivningstilladelse og man bør opbygge den permeable belægning med underliggende membran og dræning til recipient eller afløbssystem. Nedsivning i større omfang kan medføre stigning i det lokale grundvandsspejl, der kan forårsage uønskede effekter.
Jordbundsforhold	Ved nedsivningsløsninger bør nedsivningskapaciteten af den underliggende jord altid bestemmes ved analyser og nedsivningsforsøg. I stærkt lerede og siltede jorde er nedsivning problematisk. I øvrigt gælder de samme krav til jordbundsforhold som ved faskiner.
Pladsforhold/arealkrav	Permeable belægninger er ikke egnede på meget stejle overflader med hældningsprocenter over 15 %. Det bør sikres, at arealer der støder op til permeable belægninger ikke introducerer en øget risiko for tilstopning ved at fine partikler drænes ud til belægningen. De permeable belægninger bør afgrænses af faste belægninger og ikke græs, grus eller jord. Såfremt sidstnævnte typer af belægninger alligevel etableres direkte op til den permeable belægning skal denne overflade dræne væk fra den permeable belægning.
Forurening i jorden	Der må ikke etableres nedsivning i forurenede jord. Der er risiko for, at forureningen siver ned i grundvandet. En stor del af Aarhus by er områdeklassificeret, dvs. jorden vurderes at være lettere forurenede. Forureningen ligger typisk i de øvre jordlag og består af komponenter, som er bundet hårdt til jorden. Nedsivning kan afhængig af den konkrete forurening være en mulighed f.eks. hvis nedsivning

Faktor	Påvirkning af anvendelse
	først sker under de forurenede jordlag. Kommunen skal altid foretage en konkret vurdering i det enkelte tilfælde. Regnvand kan indeholde forurenende stoffer, som kan afsættes i jorden, når regnvandet nedsives. Der kan dermed ske en ophobning af forurenende stoffer i jorden, hvilket kan betyde, at der skal tages særlige forholdsregler ved efterfølgende håndtering af jorden.

Tabel 2.3 Begrænsende faktorer.

3. ANLÆGSDELE

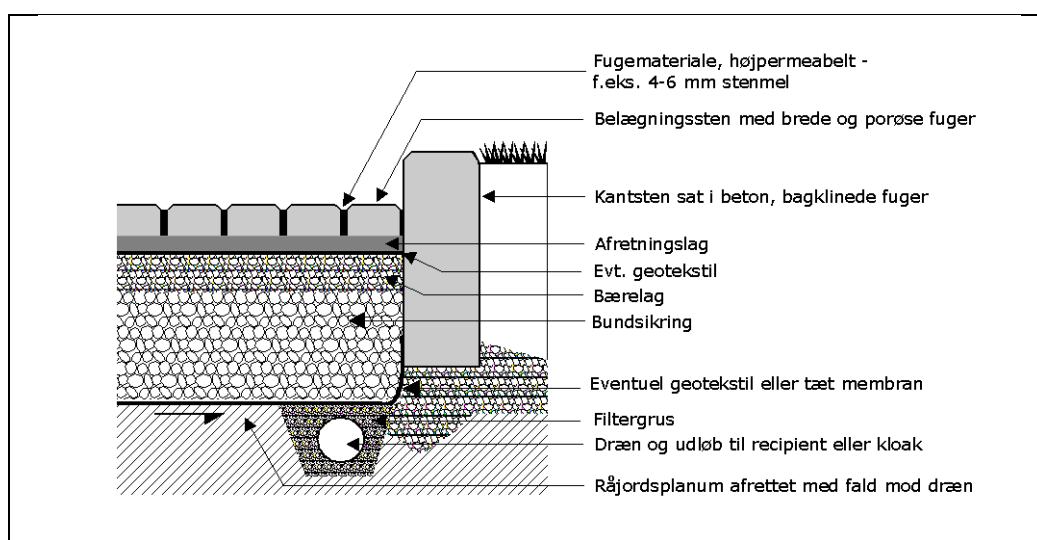
I det følgende beskrives underbygningen og belægningen for de forskellige permeable belægningstyper.

Da underbygningen principielt er ens, gennemgås denne grundigt i første afsnit om belægningssten med permeable/porøse fuger, mens der er i de efterfølgende afsnit refereres til denne opbygning og fremhæves eventuelle ændringer i forhold til denne.

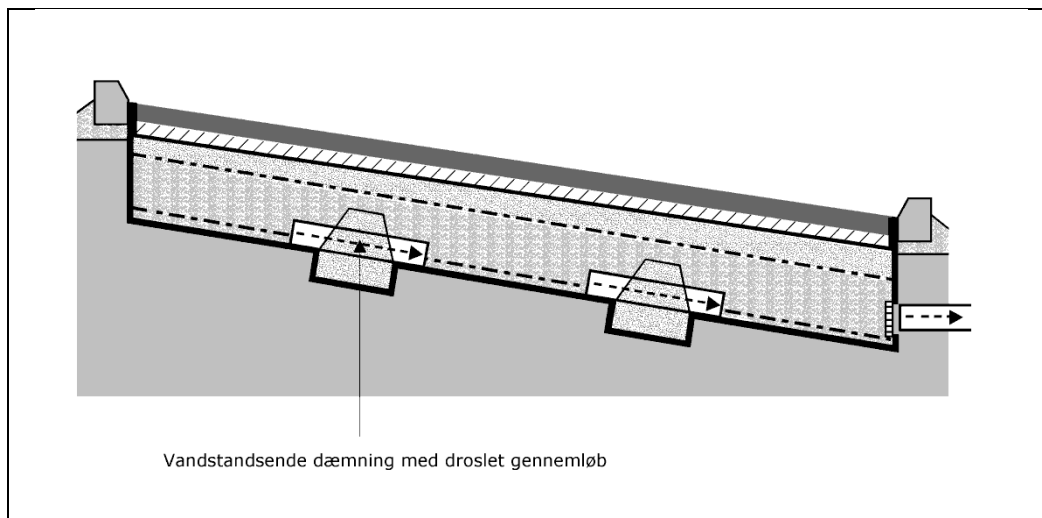
Generelt skal det bemærkes, at anvendelse af permeable belægninger søges henlagt til arealer, hvori der kun ligger et begrænset antal af rør og andre installationer. Særligt bør installationer under eventuelle membraner begrænses eller etableres i føringsrør.

Belægningssten og -fliser med porøse fuger

På figur 3.1 og 3.2 er angivet en principiel opbygning af underbygningen og i det følgende er de enkelte komponenter beskrevet.



Figur 3.1 Tværsnit af opbygning med og uden nedsivning.



Figur 3.2 Principsnit med vandstandsende dæmninger og evt. udløb/overløb til kloak eller lavere liggende arealer. Forskellige målforhold mellem højde og længde.

Råjordsplanum

Efter udgravning afrettes råjordsplanum. Ved drænløsninger etableres fald på råjordsplanum mod drænsystemet med en minimumshældning på 25 ‰. Større sten og bløde bund fjernes og udskiftes med friktionsmaterialer.

Impermeabel membran (hvor nedsivning ikke tillades)

I tilfælde hvor der ikke tillades nedsivning udlægges på råjordsplanum en tæt membran, f.eks. 0,5 - 1 mm PP/PE, med tapede samlinger, der hindrer nedsivning til den underliggende jord. I særlige tilfælde med krav om særlig beskyttelse mod nedsivning kan der være behov for svejste samlinger.

Inden udlægning af membranen kontrolleres råjordsplanum for skarpe sten, der kan risikere at perforere membranen. Stenene fjernes fra overfladen. Ved risiko for perforering af PE/PP-membranen kan denne udlægges på et afretningslag af friktionsmateriale af sand eller grus. Som alternativ til PE/PP membran kan evt. anvendes bentonitmembraner.

Membranen skal ved kantafrænsning føres op til niveau med belægning for at hindre udsivning gennem vej-kassens sider.

Drænsystem

Såfremt nedsivning ikke er muligt eller tilladt, etableres et drænsystem.

Drænsystemet består af drænrør, der placeres i drænrender med indbyrdes afstand mindre end 10 m. Drænrende fyldes med filtergrus 0-4 mm.

Drænrenderne etableres som minimum med tværsnit 40 x 40 cm. Der anbefales ikke-beviklede dobbeltvæggede drænrør i PE/PP med ydre diameter $\varnothing$ 90-110 mm med slidsebredde 1,0-1,5 mm.

Drænrørene føres til sandfangsbrønd inden tilslutning til offentligt afløbssystem eller udløb til recipient. Sandfangsbrønden kan evt. forsynes med vandbremse til kontrol af udløbsmængderne. Se metoden Drosling af afløb.

Bundsikring

Bundsikringen består af vaskede knuste stenmaterialer i størrelsen 10-63 mm.

I de enkelte tilfælde skal det ud fra de aktuelle kornkurver sikres, at filterkriteriet i Drænnormen /2/ er overholdt således, at det øverste lag ikke trænger ned i det næstderste grovere lag. De fleste producenter af belægninger leverer standardkornkurver, der overholder filterkriteriet og krav til den nødvendige dræningsevne.

Bundsikringslagets samlede tykkelse kan variere afhængigt af trafikbelastningen og styrken af den underliggende jord. Normal lagtykkelse er ca. 150-400 mm, lavest for fortovsarealer og størst for stærkt trafikerede veje.

Bundsikringslaget udlægges og komprimeres i lag iht. AAB for Bundsikring /9/.

Vandstandsende dæmninger

Såfremt belægningen og vej-kassen etableres på et skrånende terræn bør der indbygges vandstandsende dæmninger, der sikrer, at hele magasin-volumenet og ned-sivningsfladen udnyttes. Dæmningerne udføres i lerholdig jord og opbygges fra planum til underside af bærelaget.

I tilfælde med drænløsninger kan vandstandsende dæmninger også være aktuelle til udnyttelse af magasin-volumen og opnåelse af tilstrækkelig forsinkelse.

Dæmninger reducerer samtidigt risikoen for langsgående materialetransport i vej-kassen.

Plantehuller

Til plantehuller for træer og buske anvendes typisk løsnet råjord og muld alternativt egentlig gartnermacadam / skeletjord eller rodgrus. Ved permeable belægninger er det særlig vigtigt, at disse materialer ikke blandes med den øvrige belægningsopbygning.

Plantehullernes materiale kan adskilles fra vejopbygningen ved brug af geotekstil eller brøndringe. Normalt kræves brøndringe $\varnothing$ 1,5 m eller større.

Det bemærkes, at Aarhus Kommunes retningslinjer vedrørende plantehuller til vejtræer er, at et plantehul bør have en vækstzone på min. 10-15 m². Hvis pladsen er begrænset kan hullet projekteres med bæredygtigt vækstlag under belægningen (f.eks. gartnermacadam eller rodgrus).

Korridorer for tværgående forsyningsledninger

Ved alle nye belægninger anbefales det at forberede for fremtidige ledninger i særlige korridorer, da det er afgørende for anlæggets funktion, at der ikke blandes andre opbygningsmaterialer ved efterfølgende opgravninger og retableringer.

Det anbefales at der ved vejanlæg som minimum etableres tomme rør ved vejkryds og eventuelt langsgående rør for f.eks. el og tele.

Bærelag

Ovenpå bundsikringen udlægges og komprimeres et bærelag på ca. 150-200 mm bestående af vaskede knuste materialer i størrelsen 5-20 mm.

Bærelaget adskilles i visse tilfælde fra bundsikringen med geotekstil eller geonet.

Geotekstil

Der udlægges altid geotekstil mellem bærelaget og afretningslaget for at hindre materialevandring fra afretningslaget til bærelaget og bundsikringen. Geotekstilen skal ved kantbegrænsninger føres op til belægning.

Geotekstilen bør være med stor hydraulisk kapacitet, $Q > 80 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}$ ved vandtryk på 50 mm. Porestørrelsen bør være omkring 0,09 - 0,15 mm. Tykkelsen af geotekstilen vil typisk være 1,0 mm. I særlige tilfælde kan der udlægges et geonet eller geotekstil mellem bærelaget og underbygningen. Samlingen af geotekstilens udlagte baner vil normalt foregå ved simpelt overlap på 0,3 m.

Afretningslag

Afretningslaget består af 2-6 mm knuste materialer. Tykkelsen af afretningslaget er 5-10 cm. Det er afgørende for det færdige resultat, at afretningen er foretaget omhyggeligt da den efterfølgende justering under lægning ikke er mulig i samme udstrækning som med afretningslag i sand og grus.

Belægning

Belægningen etableres oven på det regulerede afretningslag.

Belægningssten og -fliser med afvanding gennem fuger vil typisk være 8-10 cm i højden afhængigt af trafiklasten. På figur 3.3 ses et eksempel på en belægningssten med porøs fuge.



Figur 3.3 Belægningssten med reces til porøs fuge.

Ved etablering af flisebelægninger bør belægningen opdeles i felter med fast kantbegrænsning for eksempel kantsten sat i beton.

Ofte anlægges impermeable og permeable belægninger i kombination. Dette ses for eksempel, hvor veje har et fald mod en parkeringsplads. Vejen anlægges med impermeabel belægning og parkeringspladsen med permeabel belægning. Herved opnås både en anlægs- og driftsbesparelse. Anlægsbesparelsen opnås ved at begrænse etableringen af permeable belægninger, mens man stadigvæk ikke etablerer vejnedløbsbrønde. Ved at begrænse arealet med permeabel belægning begrænses også det areal, der skal rengøres. Desuden reduceres dækstøjen fra arealer med højere hastigheder.

Fugemateriale

Ved brug af sten med dræning gennem fugerne stilles særlige krav til fugematerialet for at sikre størst mulig permeabilitet i fugerne samtidig med, at der er god fugefyldning, så stenene giver hinanden sidestøtte. Ofte anvendes stenmel i kornstørrelse 4-6 mm.

Ved anvendelse af græsarmeringssten og græsarmeringsnet fyldes hulrummene med et medie bestående af 50 % drængrus 2-4 mm og 50 % overjord.

Permeable belægningssten

Underbygning

Til permeable belægningssten anvendes samme underbygning som for belægningssten med porøse fuger.

Belægning

Belægningen etableres oven på det regulerede afretningslag.

Permeable belægningssten er ikke særlig udbredte i Danmark, men bl.a. i USA fås disse belægningssten i højderne 6-12 cm afhængigt af den dimensionsgivende trafiklast. Se nedenstående figur 3.4.



Figur 3.4 Permeabel belægningssten.

Ved etablering af flisebelægninger bør belægningen opdeles i felter med fast kantbe-grænsning for eksempel kantsten sat i beton. Se eksempler på belægning i figur 3.5.



Figur 3.5 Parkeringsareal og sti med permeable belægningssten.

Græsarmeringssten

Underbygning

Græsarmeringssten kan etableres på flere typer af bærelag afhængigt af, om der ønskes høj dræningsevne eller tættere græsbevoksning.

Græsarmeringssten kan udlægges på traditionel opbygning af stabilgrus. Herved vil kun en forsvindende del af vandet sive gennem bærelaget, mens den resterende vandmængde vil fordampe eller afstrømme overfladisk.

Det anbefales ofte, at bærelaget består af et ikke kapillærbrydende lag for sikring af vand til græslaget. Dette kan opnås ved at iblande leret jord i bærelaget eller ved at opbygge en egentlig gartnermacadam. Dette bærelag bør adskilles fra underbygningen med geotekstil. Iblanding af leret jord i bærelaget nedsætter nedsivningsevnen betydeligt.

Belægning

Højden af græsarmeringssten er normalt 8-12 cm afhængigt af den dimensionsgivende trafiklast. Græsarealet mellem stenene udgør typisk 10-75 % af overfladen afhængigt af stentypen. Se figur 3.6 for eksempel på en græsarmeringssten.



Figur 3.6 Græsarmeringssten med cirka 75 % græsareal.

Ved etablering af flisebelægninger bør belægningen opdeles i felter med fast kantbe-grænsning for eksempel kantsten sat i beton.

Endelig skal det nævnes, at det anbefales, at der kun foretages tilfyldning mellem græsarmeringsstenene op til 10-15 mm under overkant.

Græsarmeringsnet

Underbygning

For beskrivelse af underbygningen henvises til beskrivelsen for græsarmeringssten ovenfor.

Belægning

Græsarmeringsnet leveres typisk i højden 6 cm oftest med kvadratiske - eller sekskantede - celler af størrelsen 50x50 mm til 90x90 mm. Nettene leveres i moduler fra 500x500 mm, der samles med og sikres mod forskydninger ved hjælp af fortandinger eller låsemekanismer. Godstykkelsen af nettets cellevægge er normalt 4-10 mm. Græsarealet udgør normalt mere end 75 % af overfladen.

Nogle typer af græsarmeringsnet fås med tilhørende belægningssten, der passer i cellerne således at der varieres mellem græs og sten efter eget ønske. Ved anvendelse af belægningsstenene vil belægning fortsat være permeabel via brede fuger som ved de ovennævnte sten.

Drænasfalt

Etablering af drænasfalt i Danmark sker hovedsageligt grundet ønsker om støjreduktion, sekundært af hensyn til effektiv tørholdelse af kørebaner og landingsbaner af sikkerhedshensyn. Belægningen anvendes desuden på broer og betondæk.

Drænasfalt anvendes oftest på veje med stor trafikbelastning og høj hastighed, men er på det seneste også anvendt på veje med lavere hastigheder i bebyggede områder.

Erfaringerne med anvendelsen af drænasfalt i Danmark er begrænset til relativt få strækninger, der til gengæld er undersøgt grundigt for at fastlægge risiko for tilstopning af porevolumen, omfang af stentab mv.

I blandt andet Holland, Frankrig og England er drænasfalt mere udbredt, hovedsageligt til støjreducerende formål.

I Danmark anvendes drænasfalt oftest ved, at der etableres en forsegling af underlaget under asfalten for at hindre nedsivning til underbygningen. Vandet afledes på forseglingen til nedløbsbrønde.

I England er der indenfor de seneste 10 år sket en udbredelse af permeable asfaltbelægninger, hvorfra regnvand nedsives eller forsinkes og udledes til recipient eller kloak. Disse belægninger anvendes på lettere trafikerede boligveje og på parkeringsarealer.

Underbygning

Opbygningen under asfaltbelægningen er principielt som i tilfældet med belægningssten, idet lagtykkelserne og magasinvolumen igen tilpasses efter belastningen og afløbskapaciteten.

Bundsikringslagets samlede tykkelse kan variere afhængigt af trafikbelastningen og styrken af den underliggende jord. Normal lagtykkelse er ca. 150-400 mm, lavest for fortovsarealer og størst for stærkt trafikerede veje. Bundsikringslaget udlægges og komprimeres i lag iht. AAB for Bundsikring /9/.

Oven på bundsikringen udlægges og komprimeres et lag på ca. 150-200 mm bestående af vaskede knuste materialer i størrelsen 5-20 mm.

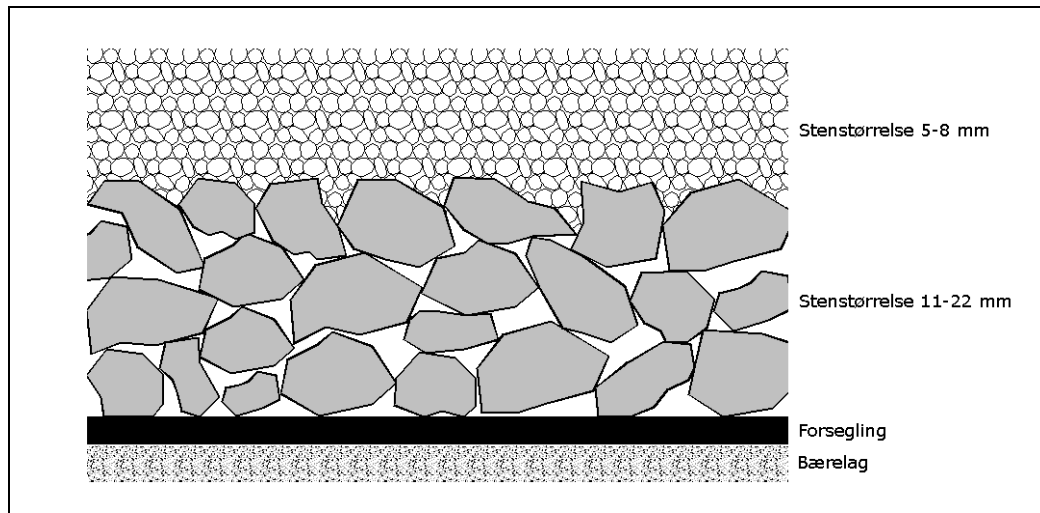
Den øverste geotekstil udlægges direkte under asfaltbelægningen i stedet for, som ved belægningsstenene, under afretningslaget.

Ved nedsivning anvendes ofte en geotekstil mellem råjordsplanum og underside af bundsikringen.

Belægning

Drænasfalt har i modsætning til almindelig asfalt en åben porestruktur med ca. 25 % luftfyldte hulrum. Den nye generation af drænasfalt er en to lags asfalt, der eksempelvis kan bestå af et toplag på 20-25 mm med mindre stenstørrelse (5-8 mm) og et nedre lag på 35-65 mm med grovere sten (11-22 mm).

På nedenstående figur 3.7 ses et princip for tolags drænasfalt.



Figur 3.7 Skitse af tolags drænasfalt med underliggende forsegling som normalt anvendt i Danmark.

Drænende betonbelægninger

Underbygning

Opbygningen under betonbelægningen er principielt som i tilfældet med asfalt og belægningssten, idet lagtykkelserne og magasinvolumen igen tilpasses efter belastningen og afløbskapaciteten.

Underbygningens samlede tykkelse kan dog normalt reduceres til 450 mm eller mindre og kan eventuelt udføres i ens graderet materiale for underbygning og bærelag - eksempelvis knuste og vaskede materialer 16-65 mm.

Belægning

Permeabel beton fremstilles af cementpasta og passende stentilslag til at opnå en porøs struktur. I modsætning til almindelig beton anvendes ikke sand i betonen.

Styrken af permeabel beton er mindre end for almindelig beton, men er tilstrækkelig til blandt andet belægningsfremstilling.

Den permeable beton har normalt en åben porestruktur med ca. 15-25 % luftfyldte hulrum. På figur 3.8 ses et eksempel på betonbelægninger.



Figur 3.8 Permeable betonbelægninger,

4. DIMENSIONERING

Dimensioneringen af en permeabel belægning indeholder flere trin:

- Dimensionering af selve belægningen.
- Fastlæggelse af nedsivningspotentialet i den omkringliggende jord (ikke aktuelt ved afløb til kloak eller recipient).
- Fastlæggelse af magasineringsvolumen

Disse er beskrevet i det følgende.

Belægning

Det skal indledningsvis sikres, at den permeable overflade inklusive fugemateriale og afretningslag er tilstrækkelig permeabel til, at de krævede vandmængder kan sive gennem opbygningen på den krævede tid. I nogle tilfælde nedsives blot regnvand, der lander direkte oven på belægningen og i andre tilfælde skal særlige nedsivningsfelter også aftage vand fra tilstødende ikke permeable felter.

Det anbefales, at der vælges en belægning med en indledende hydraulisk kapacitet, der ligger betydeligt over det egentlig behov, idet kapaciteten uundgåeligt vil nedsættes med tiden uanset om anlægget drives og vedligeholdes efter forskrifterne.

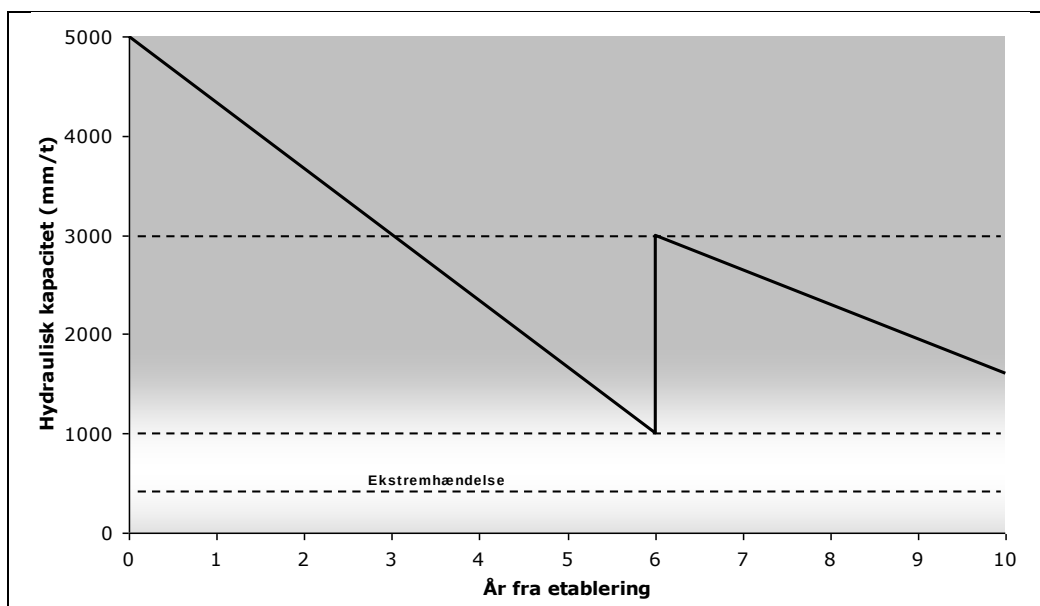
Anlæggets aftagende kapacitet som funktion af tiden er afhængig af opbygningen, arealanvendelsen og omgivelserne. Som vejledende værdi bør vælges en belægning med en indledende hydraulisk kapacitet, der er mere end 2 gange større end de dimensionsgivende regnmængder. Denne overkapacitet anbefales, da erfaringer har vist, at belægningerne vil stoppe til over tid på trods af løbende rensning. Det skyldes, at det ikke er muligt at opbygge den fulde hydrauliske kapacitet efter en rensning. Kapaciteten vil blive øget ved rensning, men ikke til den kapacitet, som belægningen havde umiddelbart efter anlæggelse eller umiddelbart efter sidste rensning. Dette er vist principielt på figur 4.2, hvor det lodrette "spring" på kurven symboliserer en rensning af belægningerne.

Typiske hydrauliske kapaciteter for belægninger fremgår af tabel 4.1.

Af www.sf-kooperation.de fremgår eksempler på målte aftagende hydrauliske kapaciteter.

Belægningstype	Eksempler på hydraulisk kapacitet
Porøs asfalt	> 5.000 mm/time
Permeabel beton	> 10.000 mm/time
Belægningssten med afvanding gennem fuger	100 - 9.000 mm/time
Porøse belægningssten	150 - 1.500 mm/time
Græsarmeringssten (afhængigt af indfyldt grus/jord/vækstmedie)	50 - 3.000 mm/time
Græsarmeringsnet (afhængigt af indfyldt grus/jord/vækstmedie)	50 - 3.000 mm/time
Grus (ikke komprimeret stabilt grus)	50 - 3.000 mm/time

Tabel 4.1 Typiske værdier for hydraulisk kapacitet af nyetablerede belægninger.



Figur 4.1 Princip for aftagende hydraulisk kapacitet i permeable belægninger mellem oprensninger. Det anbefales dog at rense belægningen hyppigt og efterfuge årligt.

Nedsivningspotentialer

Hvis anlægget udføres med nedsivning anbefales det, at råjordens hydrauliske kapacitet undersøges med to metoder, der supplerer hinanden:

- Laboratorieundersøgelser af jordbundsprøver, der alligevel udtages i forbindelse med forureningsundersøgelse. Ved laboratorieundersøgelsen bestemmes kornkurven for den underliggende råjord, hvilket giver en god vurdering af den hydrauliske kapacitet for nedsivning. Kornkurven tager dog ikke højde for eventuelle makrostrukturer i jorden, f.eks. i form af sprækker i ler mv.

- Undersøgelse af faldende vandstand på stedet (Falling head forsøg). I forbindelse med udgravningen etableres en grube med et veldefineret areal med bund i niveau med fremtidigt råjordsplanum. Det skal sikres, at der ikke sker udsivning af betydning gennem grubens sider eventuelt ved at fyldningen sker i betonbrøndringe, anbefalet $\varnothing 1,25$ - $\varnothing 2,0$ m.

Ved anlæg i forbindelse med 1-familie huse kan anvendes en prøvegrube med $\varnothing 1,25$ m betonbrøndring, mens der ved større anlæg anbefales et varierende antal prøvegruber pr. 1.000 m^2 afhængig af jordens beskaffenhed.

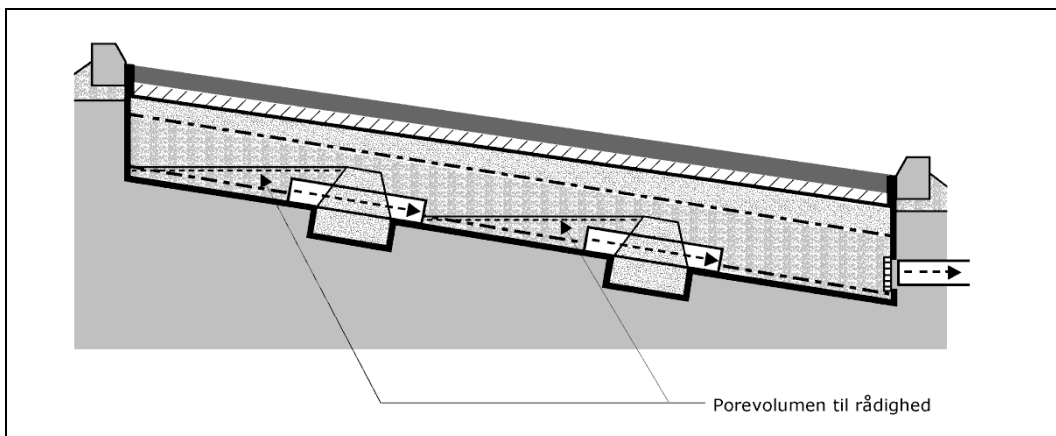
Bestemmelse af magasinvolumen i vejopbygningen

Som tidligere nævnt er den nederste del af vejkassen opbygget, så den tåler en magasinering af vand i tiden efter en regnhændelse indtil det er nedsivet eller bortdrænet til afløbssystem eller recipient.

Volumenet af denne del af vejkassen kan bestemmes ved anvendelse af dimensioneringspraksis i Aarhus Kommune, hvor volumen fastsættes til 450 m^3 pr. reduceret ha opland ved en overløbshyppighed på 10 år. Ved overløb 1 gang hvert 5. år dimensioneres bassinets størrelse til 400 m^3 pr. reduceret ha opland. Ved større systemer bør der foretages en egentlig hydraulisk langtidssimulering på historiske regnhændelser.

Ved bestemmelse af magasinvolumenet anvendes det samlede porevolumen i den del af vejkassen, der er beregnet på magasinering. Porevolumenet oplyses af leverandøren af stenmaterialet til underbygningen, men vil typisk være på ca. 25 % af det geometriske volumen. Erfaringer fra en række eksisterende anlæg indikerer, at porevolumenet i denne underste del af vejkassen ikke fyldes med suspenderet materiale fra vejen. Det anbefales dog at indregne en vis sikkerhed i dette porevolumen, eksempelvis 10-25 %.

Ved belægninger med hældninger, der kræver etablering af vandstandsende dæmninger, skal kun medregnes det porevolumen, som etableres under overkanten af dæmningerne – jf. figur 4.2.



Figur 4.2 Porevolumen til rådighed ved belægninger med kraftigt fald.

Dimensioneringseksempel

I tilfælde af, at magasineringsvolumenet skal fastlægges ud fra, at der sker nedsivning henvises til metodebeskrivelsen for Faskiner, da det er dimensioneringsprincipperne herfra, der skal anvendes.

I det efterfølgende er i stedet anført et dimensioneringseksempel, hvor der sker afledning til recipient eller til afløbssystem.

Eksempel

Matriklens samlede areal er 6.000 m². Der er et tagareal på 1.500 m². Der er et parkerings- og vejareal på 900 m² (=0,09 ha), som skal etableres med permeable belægninger. Det forudsættes, at tagareal og øvrige arealer afledes selvstændigt. Afløbskoefficient for P- og vejareal sættes lig 1.0, dvs. der er 0,09 red. ha.

Belægningen er opbygget med en samlet vejkasse på 0,6 m i højden, hvoraf magasineringsvolumenet skal etableres i de 0,3 m.

Det giver et geometrisk volumen på 900 m² x 0,3 m = 270 m³.

Porevolumenet er 25 % af det geometriske: 270 m³ x 0,25 = **68 m³**.

Nødvendigt magasineringsvolumen til denne matrikel:

450 m³/red ha. x 0,09 red ha. = **41 m³**.

Hertil skal lægges 10-25 % som sikkerhed => Vol. = 45-50 m³.

Dermed kan det konkluderes, at der er tilstrækkeligt volumen i de ovenfor beregnede 68 m³.

Ved anvendelse af kassetter som en del af vejassen anvendes det volumen, som kassetterne indeholder, i stedet for det her beregnede porevolumen.

5. DRIFT OG VEDLIGEHOLD

Permeable belægninger medfører ikke nødvendigvis mere vedligehold end traditionelle belægninger, men vedligeholdsarbejdet er et andet end ved traditionelle belægninger, idet der kræves en årlig oprensning med højtryksvogn og fejmaskine med sug. Etableres belægningerne med nedsivning er der til gengæld ikke et ledningssystem, der skal vedligeholdes, herunder tømning af nedløbsbrønde f.eks. årligt.

Uden vedligehold vil permeable belægninger i løbet af ganske få år miste evnen til at afvande overfladen, idet porevolumenet i fuger og belægninger vil tilstoppes med støv, trafikslid, tilført jord og nedbrudt organiske mv.

Aktiviteter for drift og vedligehold af de forskellige permeable belægninger er vist nedenfor i tabel 5.1. Det skal bemærkes, at drift og vedligeholdelse vurderes at være uafhængig af om opbygningen foretages med singels eller kassetter.

	Aktivitet	Hyppighed
<i>Belægningssten med porøse fuger</i>		
Jævnligt	Fjernelse af rester fra vintervedligehold (støvsugning)	Forår
	Fjernelse af støv, græsfrø mv. (støvsugning)	Juni og september
	Fjernelse af blade mv. (støvsugning)	November
	Efterfugning med egnet materiale	Årligt
Efter behov	Reparation af skadede sten	Når nødvendigt
	Lugning af ukrudt	Når nødvendigt
	Højtryksspuling af fugerne	Ved tilstopning
<i>Porøse belægningssten</i>		
Jævnligt	Fejning	4 gange årligt
	Højtryksspuling (150-200 bar) af hensyn til at bevare porøsiteten	Årligt
Efter behov	Reparation af skadede sten	Når nødvendigt
<i>Græsarmeringssten</i>		
Jævnligt	Støvsugning og græsslåning	Flere gange årligt
Efter behov	Reparation af skadede sten	Når nødvendigt
	Eftersåning	Når nødvendigt
<i>Porøs asfalt</i>		
Jævnligt	Støvsugning	4 gange årligt
	Højtryksspuling	Årligt

Tabel 5.1 Drift og vedligehold af permeable flader (ekskl. vedligehold af evt. drænsystem).

Vintervedligeholdelse

Da is og sne kan opsamles i hulrummene på permeable belægninger, vil der være behov for speciel opmærksomhed omkring vintervedligeholdelse. Dette gælder i mindre grad for belægningssten med porøse fuger og for græsarmering.

Der er indikationer på, at porøse belægninger kan fryse tidligere end traditionelle belægninger ved lave lufttemperaturer grundet den større overflade og udstrålingskapacitet fra den porøse struktur.

Andre undersøgelser foretaget på belægninger med sten med porøse fuger indikerer, at der er relativt færre dage med behov for glatførebekæmpelse. Dette tilskrives bedre fordeling af jordvarmen fra vejkladdens nedre lag.

Permeable belægninger bør ikke gruses under vintervedligeholdelse. Undtaget er græsarmering og grusarealer.

6. ØKONOMI

Tabel 6.1 viser en skønnet anlægspris pr. kvadratmeter for de her beskrevne belægningstyper. Priserne er ekskl. moms og angivet i prisniveau 2011.

For belægningssten med porøse fuger er der i tabel 6.2 anført overslag over samlede anlægsudgifter, udgifter til drift og vedligehold samt en samlet årlig udgift set over de forskellige belægningsers levetid for følgende 3 typer arealanvendelse:

- Parcelhus med befæstet areal (indkørsel, havegang mv.) på 50 m².
- Boligejendom med adgangsvej, p-areal og øvrige befæstede arealer på 900 m².
- Kontorbygning med adgangsvej, p-areal og øvrige befæstede arealer på 2.500 m².

Til beregning af drift og vedligehold er der regnet med følgende forudsætninger:

- Timepris på 325 kr.
- Etablering, drift og vedligehold foretages af eksterne folk.
- Støvsugning/rensning foretages min. 4 gange årligt.
- Efterfugning foretages 1 gang årligt.
- Udskiftning af fliser på 10 % af arealet i belægningens levetid.
- Udgiften til saltning er ikke medregnet. Det skal bemærkes, at nogle undersøgelser peger på, at porøse belægninger kræver øget saltning, mens andre undersøgelser peger på færre udgifter pga., at der skal saltes færre gange.
- Levetiden af fliser og afretningsgrus er ca. 20-25 år, hvis belægningen er anlagt forskriftsmæssigt.
- I tabel 6.1 er driftsudgiften pr. kvadratmeter beregnet på baggrund et areal på 1.000 m².

Belægningstype	Anlægspris (kr./m ²)	Driftsudgift (kr./m ² /år)
Grus	35-60,-	35,-
Græs (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,-	--

Tabel 6.1 Overslag over anlægsudgifter samt en forventet minimumspris for underbygning (priseniveau 2011).

Såfremt porevolumenet ønskes erstattet eller suppleret med kassetter, kan forventes en pris på ca. 1.500-2.000 kr. pr. m³.

	Parcelhus	Boligejendom	Kontorbygning
Anlægsudgifter kr.	23.000,-	482.000,-	1.340.000,-
Driftsudgifter kr. pr. år	4.100,-	23.000,-	27.500,-
Årlig udgift kr. pr. år - levetid 25 år	5.100,-	44.000,-	86.200,-

Tabel 6.2 Overslag over anlægs- og driftsudgifter for belægningssten med porøse fuger (priseniveau 2011). Ekskl. evt. saltning.

7. REFERENCER

- /1/ DS 415 "Norm for fundering".
- /2/ DS 436 "Norm for dræning af bygværker mv.".
- /3/ DS 1136 "Brolægning og belægningsarbejder".
- /4/ Spildevandskomitéens Skrift nr. 27 "Funktionspraksis af afløbssystemer under regn".
- /5/ Spildevandskomitéens Skrift nr. 28 "Regional variation af ekstremregn i Danmark - ny bearbejdning (1979-2005)".
- /6/ Spildevandskomitéens Skrift nr. 29 "Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimændringer".
- /7/ AAB "Jordarbejder", Vejdirektoratet.
- /8/ AAB "Afvanding", Vejdirektoratet.
- /9/ AAB "Bundsikring af sand og grus", Vejdirektoratet.
- /10/ AAB "Brolægning.
- /11/ AAB "Varmblandet asfalt", Vejdirektoratet.
- /12/ "SUSTAINABLE DRAINAGE, A Review of Published Material on the Performance of Various SUDS Components" C J Pratt, 2004.
- /13/ "The Chicago Green Alley Handbook", C Heramb.
- /14/ "Performance Evaluation of Permeable Pavement and a Bioretention Swale", Toronto and region Conservation, 2007.
- /15/ "Betonbelægninger - Udførelse af befæstelse med belægningssten, fliser og kantsten", Belægningsfraktionen, Dansk Beton Industriforening 2005.
- /16/ "Vejledning - i omdannelse af byrum", Københavns Kommune, 2004.