



SKOV & LANDSKAB

Det strategiske partnerskab
Vand i byer
Støttet af Rådet for Teknologi og Innovation

Permeable befæstelser

Opstartsmøde 3. februar 2011

Per Bjerager
Skov & Landskab
Københavns Universitet



DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Citat om permeable befæstelser

Chris Pratt (2002):

Som en af de primære metoder til at opnå kilde kontrol er anvendelse af permeable belægnings en direkte håndtering af regnvandets kvalitet og kvantitet på det tidligst mulige stadie. De underliggende lag til forsinkelse og infiltration (hvor muligt) spiller en fundamental rolle i konceptet



DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Disposition

- Litteratursøgning
- Terminologi
- Egenskaber
- Hydrologi
- Vandbalance
- Monitering

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Litteratursøgning

11th International Conference on Urban Drainage (2008)
søgeord, de første referencer

Bibliotek, søgning i databaser

(permeabl* or porus*) adj2 (pavement or paving) 76 artikler
Review (Scholz, 2007) → 34 referencer

Københavns Kommunes LAR-katalog

Review (Pratt, 2004): → 59 referencer

www.pavingexpert.com

U.S. EPA Environmental Protection Agency

<http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse>

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET





SKOV & LANDSKAB

Chris Pratt, professor emeritus

- **Tidligere dekan**
"School of the Built Environment" at Coventry University
- **Forskning**
permeabel parkeringsplads i Nottingham
- **Bog**
"Source Control using Constructed Pervious Surfaces", (Pratt 2002) . Download af uddrag: www.ciria.org
- **Review 2004**
"Sustainable Drainage" prepared for the Environment Agency
- **Patent på permeabel befæstelse**
"Formpave" videreudvikling af belægning: "Aquaflow"

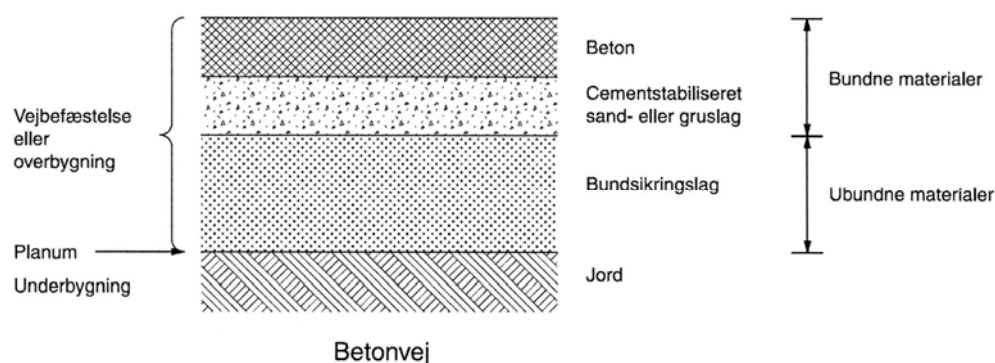


DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Terminologi, Vejregelrådet



Vejregelrådet (2004)

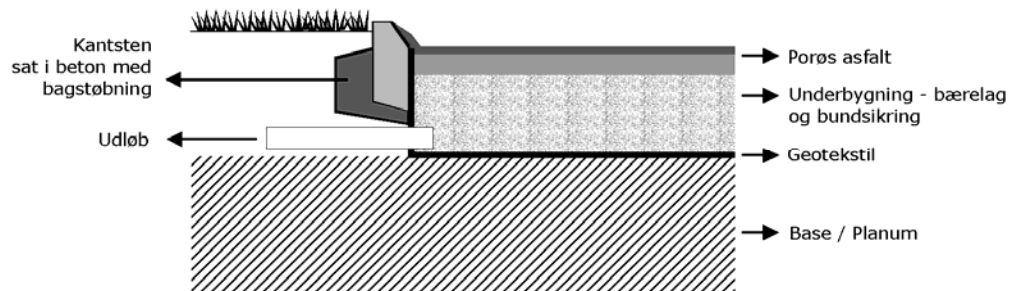


DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Terminologi, Københavns Kommune



Kilde: Københavns Kommune (2009)

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Terminologi i projekt

- Overbygning

Belægning: Græs; Porøs (B/UB); Massiv med fuger
Afrenningslag

Evt. topmembran (Å/L)

Bærelag (B/UB),

Bundsikringslag (UB),

Evt bundmembran (Å/L)

- Underbygning

Planum

Råjord

Grundvand

B = bunden; UB = ubunden; Å = åben; L = lukket

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET





SKOV & LANDSKAB

Græs belægninger



Græs med
plast-ameringsnet



Græs i plast-kassetter



Græs i fuger mellem fliser



Græs i fliser



DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Porøse belægninger



Porøs beton



Grus



Porøs asfalt



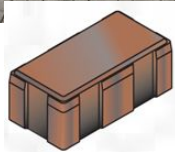
DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



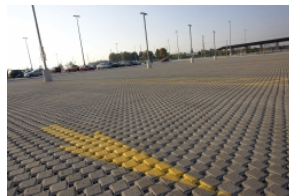
SKOV & LANDSKAB

Fuge belægninger

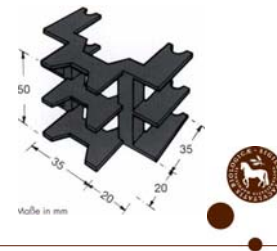
Aquaflow
permeabel sten, smal fuge



Uni-Økoloc
bred fuge



Tegula
afstandstykker
almindelig sten
fugegrus



DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Bærelag og bundsikringslag

Materialer testet af Pratt (1995):

Grus (10 mm runde), Slagge (40 mm) Granit (5 – 40 mm) Kalk (5 – 40 mm)

KK-LAR-katalog:

Bærelag af sten (5 – 20 mm)

Bundsikringslag af sten (10-63 mm)

Evt. lukket basemembran PP/PE (0,5 – 1 mm)

Pavingexpert.com

Bærelag af sten ubunden (4 – 20 mm)

Bærelag af porøs beton

Bærelag af bitumen macadam med drænhuller

Bundsikringslag af sten (4 – 40 mm)

Formål i projektet:

At udvikle et permeabelt bærelag

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET





SKOV & LANDSKAB

Eksempel på test af bærelag

Parkeringsplads med Formpave fugebelægning og test af 4 materialer som bærelag (Pratt, 1995).

Materiale	Ligning for afløb	Korrelation	Afstrømning
Grus (10 mm runde)	$0,69 * N - 2,10$	$R^2 = 0,85$	37 %
Slagge (40 mm)	$0,68 * N - 2,20$	$R^2 = 0,82$	34 %
Granit (5 – 40 mm)	$0,76 * N - 1,82$	$R^2 = 0,86$	47 %
Kalk (5 – 40 mm)	$0,81 * N - 2,27$	$R^2 = 0,80$	45 %

N = nedbør (mm). Afløb er omregnet til mm nedbør.

Slagge har den laveste målte afstrømning, og må dermed have den bedste forsinkelse af afstrømning i forhold til øvrige materialer.

Ligningerne er simple modeller af afløb. Forudgående nedbør har stor indvirkning på aktuelt afløb fra basen (præcis model i artikel).

Bærelag tykkelse: 300 til 400 mm, lukket basemembran
Eneste variation er materiale i basen. 62 nedbørshændelser.
I afløb kan der ikke måles strømning under 0,25 mm/h.

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Egenskaber

En permeabel befæstelses egenskaber afhænger af opbygningen

Mange kombinationer af belægninger, bærelag, membraner, afløb mv.

Vejteknik

Brugere (fod, cykel, bil, lastvogn)

Trafikklasse (belastning), hastighed, støj

Hydraulik

Infiltrationskapacitet, forsinkelse, vandbalance

Vandkvalitet i afløb/nedsivning.

Tilstopning: aflejring af partikler - reduceret infiltration – bedre kvalitet

Afrensning af partikler

Etablering, drift og økonomi

Arkitektur, råjord, kloakering, komponenter, vedligehold, levetid

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET





SKOV & LANDSKAB

Wheatly service-station

Eksempel på måling af afløb og infiltration (Abbot 2003)

Parkeringsplads på servicestation ved motorvej M40 (UK)

Fugebelægning (formpave)

Bærelag tykkelse: 350 mm

Lukket bundmembran.

Flowmåler: BS3680 triangular-notch thin-plate weir and an ultrasonic probe (BS = British Standard)

Infiltrationsmåler: TRL infiltrometer (TRL = Transport Research Lab)

Monitering: december 1999 til januar 2000

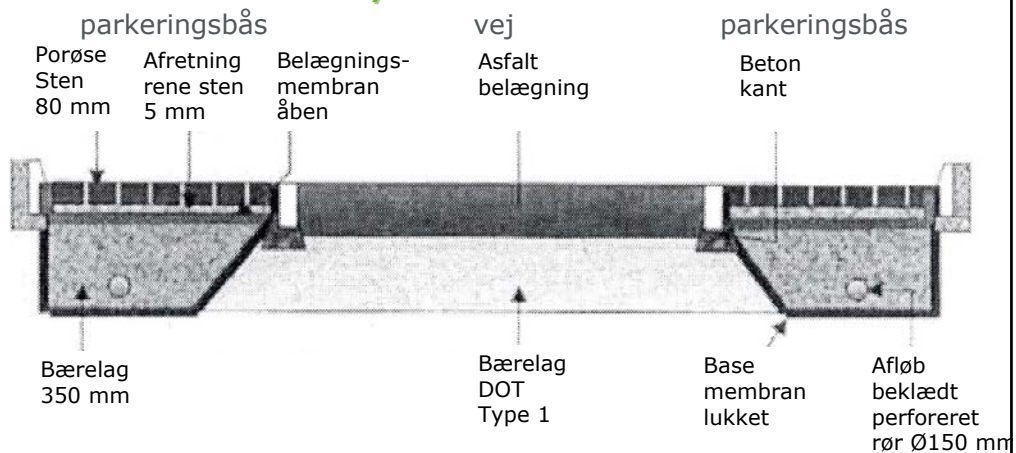


DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Wheatly service-station



Nedbør på 12400 m² parkeringsplads infiltreres på 6250 m² permeable parkeringsbåse Kilde: (Abbot 2003)

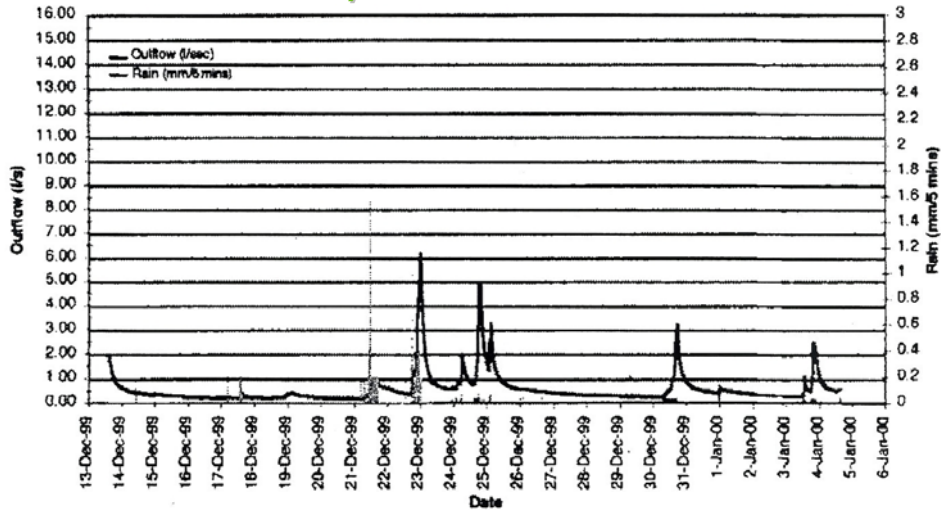


DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Wheatly service-station



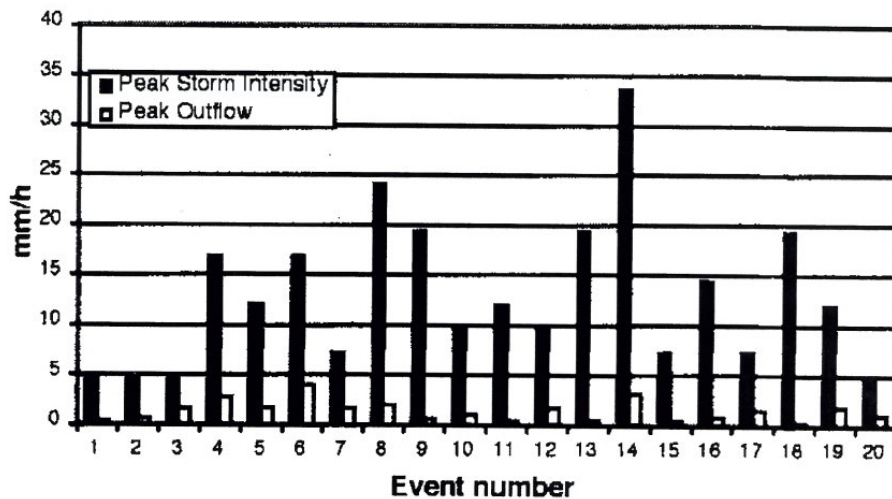
Afløb fortsætter 2-3 døgn efter nedbør (Abbot 2003)

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Wheatly service-station



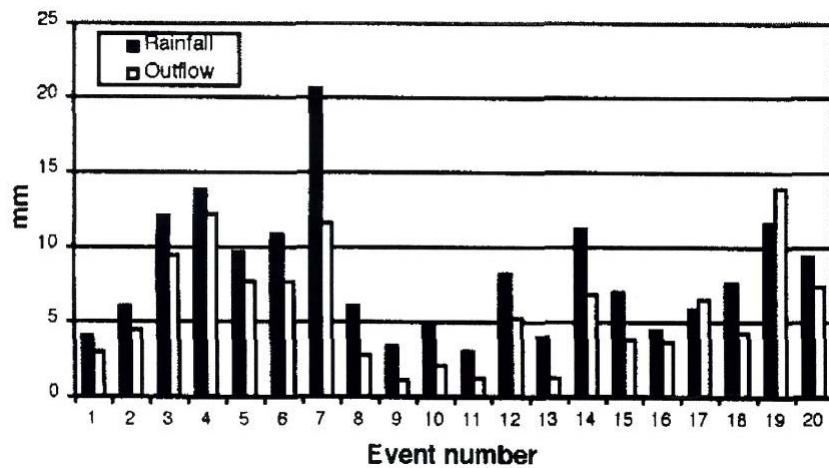
Gns. intensitet i afløb er 14 gange mindre end i nedbør (Abbot 2003)

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Wheatly service-station



Afløb er i gennemsnit 67 % af nedbør (Abbot 2003)

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



SKOV & LANDSKAB

Wheatly service-station

Infiltration (Abbott, 2003)

Ved måling af infiltration er der et betydeligt vandtryk på belægningen så resultater afspejler ikke infiltration af regnvand i praksis.

April 1999

26 målinger af fuger 11 – 229 m/h, gns 51 m/h

Februar 2000

18 målinger af fuger 10 – 388 m/h, gns 130 m/h

- Generelt er infiltrationen stadig høj efter 1 ½ år
- I feb 2000 blev målinger ikke udført på arealer med synlig tilstopning. Tilstopning ses på arealer hvor nedbøren samler sig på overfladen (partikeltransport?), ved beplantninger (jord) og på arealer med meget trafik (olie og skidt fra biler).
- Infiltrationen er ca. 50 gange højere i fugerne end gennem de porøse sten (porene i stenene stopper til).

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET





Monitering af vandbalance

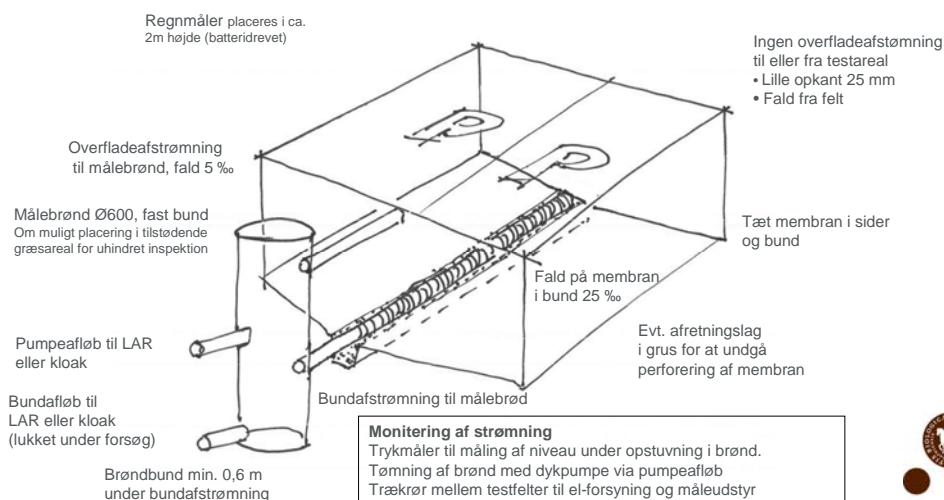
- Nedbør (N)
- Overfladeafstrømning (O) = strømning på belægning
- Fordampning (F) = vand til atmosfæren fra belægning
- Infiltration = gennemsivning af belægning - KAPACITET
- Afløb (A) = vand i rør fra belægning, base og/eller råjord – FORSINKELSE
- Nedsivning (N) = gennemsivning af planum

$$\text{Vandbalance: } N = O + F + A + N$$



Moniteringsprincip

Forslag til testfelt ca. 2 parkeringspladser (25 m²)





Kilder

- Abbott, C.L. & L. Comino-Mateos (2003): In-Situ hydraulic performance of a Permeable Pavement Sustainable Urban Drainage System. *The Journal*. Vol. 17:3, pp. 187-190.
- Bean, E.Z., W.F. Hunt & D.A. Bidelspach (2007): Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*. Vol. 133:3, pp. 249-255.
- Københavns Kommune (2009): LAR-katalog. Høringsudgave juni 2009. pp. 518.
- Pratt, C.J., D.g. Mantle & P.A. Schofield (1995): UK Research into the performance of Permeable Pavement, Reservoir Structures in controlling Stormwater discharge Quantity and Quality. *Water Science and Technology*. Vol. 32:1, pp. 63 - 69.
- Pratt C.J., Wilson S. & Cooper P. (2002): Source Control using Constructed Pervious Surfaces. CIRIA C582. Construction Industry research and Information Association. London. ISBN 0 86017 582 0. pp 151.
- Pratt (2004): A review of Published Material on the Performance of Various SUDS Components. *Prepared for The Environmental Agency, Coventry University*. Updated February 2004. pp. 40
- Rushton, B. (2002): Enhanced Parking Lot Design for Stormwater Treatment. *Proceedings of 9th International Conference on Urban Drainage*. September 8-13, 2002.
- Scholz, M. & P. Grabowiecki (2007): Review of permeable pavement systems. *Building and Environment*. Vol. 42:11, pp. 3830-3836.
- Vejreglerådet(2004): Vej- og trafikteknisk ordbog". Vejdirektoratet, april. pp. 129.

Tak for opmærksomheden

