KØBENHAVNS KOMMUNE

PKP Regnvandsteknik

Juni 2016

Faskiner i moræneler: Aktuelle infiltrationshastigheder og lokale grundvandsstigninger ved skybrud

TEKNOLOGISK INSTITUT

HOFOR

grundejeren.dk

Titel:
Faskiner i moræneler: Aktuelle infiltrationshastigheder og lokale grundvandsstigninger ved skybrud

Udarbejdet for:
Københavns Kommune

Projektdeltagere:
PKP Regnvandsteknik
Københavns Kommune, Center for Miljø
Teknologisk Institut, Rørcentret
Grundejerforeningen Katrinedal (Vanløse Lokaludvalg og Grundejeren.dk)
HOFOR

Udarbejdet af:
Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Rørcentret

Forfatter:
Kåre Press-Kristensen, PKP Regnvandsteknik

Juni 2016

Grundejeren.dk og PKP Regnvandsteknik ved Kåre Press-Kristensen har i samarbejde med Københavns Kommune, HOFOR og Teknologisk Institut etableret fire testfaskiner i det igangværende grundejerprojekt på Bangsbo Plads, der dels skal måle på regnvandets spredning og nedsivningshastighed - og dels på udledning af zink og tjærestoffer fra tagrender og tage. En del af testfaskine-projektet på Bangsbo Plads betales af Københavns Kommune og Vanløse Lokaludvalg.

Indholdsfortegnelse

Forord 4
Sammenfatning 5
Baggrund 6
Formål 6
Skybrudsforsøg 6
Infiltrationshastigheder 7
Lokale grundvandsstigninger 9
Konklusion 13
Bilag 1: Testfaskiner 14
Bilag 2: Boreprofil 16

Forord

Denne afrapportering er udført af PKP Regnvandsteknik for Københavns Kommune som led i kommunens arbejde med klimatilpasning og lokale regnvandsløsninger. Afrapporteringen dækker skybrudsforsøg udført i en testfaskine anlagt i moræneler ved Bangsbo Plads i Vanløse.

Afrapporteringen har løbende været drøftet i projektets styregruppe, den såkaldte Bangsbogruppe:

- Jan Burgdorf Nielsen, projektleder, Klimatilpasning, Københavns Kommune.
- Morten Ejsing Jørgensen, geolog, Center for Miljøbeskyttelse, Københavns Kommune.
- Erik Honoré, sekretariatsleder, Grundejeren.dk (og Vanløse Lokaludvalg).
- Ulrik Hindsberger, centerchef, Rørcentret, Teknologisk Institut.
- Ida Marie Knudsen, konsulent, Rørcentret, Teknologisk Institut.
- Inge Faldager, seniorkonsulent, Rørcentret, Teknologisk Institut.
- Martin Abrahamsen Vester, planlægger, Regn- & Spildevand, HOFOR.
- Kåre Press-Kristensen, chefkonsulent, PKP Regnvandsteknik.

Sammenfatning

Formålet med projektet var at undersøge infiltrationshastigheder for faskiner anlagt i moræneler og lokale grundvandsstigninger omkring faskinerne ved store skybrud. Som led i projektet blev gennemført tre skybrudsforsøg i en testfaskine. De gennemførte skybrudsforsøg viser, at faskiner i moræneler kan have høj infiltrationshastighed og derved fungere problemfrit, men at nedsivning under selve skybruddet er begrænset, hvorfor faskiner i moræneler bør kunne magasinere skybrud eller have overløb. Faskinen genvandt hurtigt magasineringskapacitet til at rumme selv kraftige regnbyger efter skybrud. Magasineringskapaciteten blev genvundet meget hurtigere om sommeren (skybrudssæsonen) sammenholdt med om vinteren. De lokale grundvandsstigninger var størst og forekom hurtigst tæt på faskinen. Regn efter et skybrudsforsøg gav større grundvandsstigninger (højere kote) omkring faskinen sammenholdt med selve skybruddet. Grundvandsstigninger efter skybrud skyldes sandsynligvis udsivning i let permeable lag og sprækker i moræneleren omkring faskinen snarere end en jævn udsivning og derved vandmætning af lermatricen omkring faskinen. Store træer ved faskinen kan have forøget den hydrauliske konduktivitet. Grundvandsstigningerne omkring faskinen var begrænsede selv ved store skybrud sammenholdt med den årstidsbestemte grundvandsvariation (og max. kote) ved faskinen. Alt i alt konkluderes, at faskiner i moræneler er funktionelle, hvis de dimensioneres til at magasinere store sommerskybrud (eller har overløb). Grundvandsstigningen som følge af faskiner udgør næppe et problem for boliger i områder med høj grundvandsstand, hvis boligerne ikke er generet af den naturligt høje vintergrundvandsstand. Ovenstående baseres udelukkende på skybrudsforsøg i en faskine anlagt i moræneler, hvilket skal holdes in mente ved anvendelse af resultater og konklusioner.

Baggrund

Der eksisterer begrænset viden om infiltrationshastigheder i faskiner anlagt i moræneler og om størrelsen af lokale grundvandsstigninger omkring faskinerne ved skybrud. Da mange større byer (herunder København) har overfladenær moræneler, så er det vigtigt at opnå mere viden om disse forhold for at få et bedre dimensioneringsgrundlag for faskiner i moræneler og et mere kvalificeret afstandskrav fra faskiner til bebyggelse og skel. Kun derved kan faskiner blive en succesfuld del af byernes skybrudssikring.

I Københavns Kommune (og de fleste andre kommuner) dimensioneres faskiner i moræneler ikke til at rumme de helt store skybrud, og der etableres ikke altid overløb fra faskiner. Faskiner skal som udgangspunkt placeres mindst 2 m fra skel og 5 m fra bebyggelse. Hvis faskiner overbelastes kan regnvandet fosse op af sandfangsbrønden og/eller tagbrønden tæt på bebyggelsen. Særligt sidstnævnte kan være kritisk i forhold til oversvømmelser af kælderhalse, lyskasser og fundament. De nuværende afstandskrav beskytter bebyggelse og nabomatrikler mod hydraulisk påvirkning fra faskiner. Kravene gør det imidlertid vanskeligt at anlægge faskiner i byernes smalle forhaver, som mange grundejere ofte ønsker, hvilket begrænser anvendelse af faskiner som regnvandsløsning.

For at tilvejebringe mere viden om infiltrationshastigheder i faskiner anlagt i moræneler og lokale grundvandsstigninger omkring faskiner ved skybrud, besluttede projektets styregruppe at udføre kontrollerede skybrudsforsøg i en testfaskine anlagt i moræneler ved Bangsbo Plads i Vanløse.

Formål

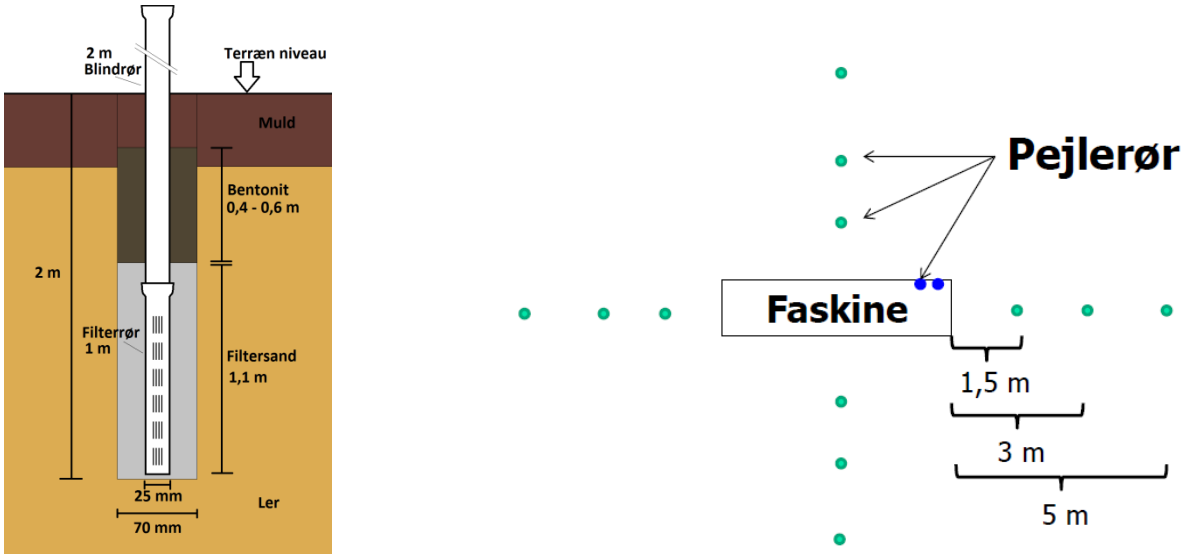
Formålet med de udførte skybrudsforsøg var at:
1) Undersøge aktuelle infiltrationshastigheder for faskiner anlagt i moræneler.
2) Undersøge lokale grundvandsstigninger omkring faskiner anlagt i moræneler.

Skybrudsforsøg

Skybrudsforsøgene blev udført i *Kontrolfaskinen*, der var en af i alt fem testfaskiner ved Bangsbo Plads i Vanløse (bilag 1). Faskinen afvander 100 m^2 tag og er ca. 6,7 m^3 (b · l · h = 1,6 m · 6,4 m · 0,66 m) svarende til 6,4 m^3 hulrum, da faskinekasetterne har ca. 96 % hulrum. Dertil 0,8-1 m^3 hulrum i det sand, der ligger under og omkring faskinen. Faskinen er anlagt lidt under muldlaget, så størstedelen ligger nede i moræneleren. I bilag 2 findes en boreprofil ved faskinen.

Figur 1 viser opbygning og placering af pejleboringer omkring faskinen. Omkring faskinen er sat pejlerør i en afstand af 1,5 m, 3 m og 5 m fra faskinen til pejling af grundvandsstand. Pejlerørene 5 m fra faskinen blev dog først sat sidst i 2014. I faskinen er desuden sat to pejlerør (markeret med blå i figur 1) til hhv. kontinuerlige (MiniDiver) og manuelle pejlinger af vandstanden i faskinen.

Figur 1: Opbygning og placering af pejleboringer omkring faskinen.



Der blev udført to skybrudsforsøg om vinteren, hvor det sekundære grundvandsspejl stod omkring bunden af faskinen, jorden var gennemfugtet og transpirationen fra vegetationen var ubetydelig. Til sammenligning blev gennemført et skybrudsforsøg om sommeren dvs. i skybrudssæsonen, hvor jorden forventes mere tør og vegetationens transpiration betydelig.

Før skybrudsforsøgene blev vandstanden i faskinen og i de omkringliggende boringer pejlet. Ved skybrudsforsøget blev tilledt et stort skybrudsvolumen på 5-6 m^3 vand (svarende til 50-60 mm regn på villaens 100 m^2 tag) til faskinen via sandfanget. Dette skete på 15 min. via et fyldt bassin isat en stor skydeventil (se foto). Derefter blev vandstanden løbende pejlet i og omkring faskinen.

Foto: Praktisk udførsel af skybrudsforsøg.





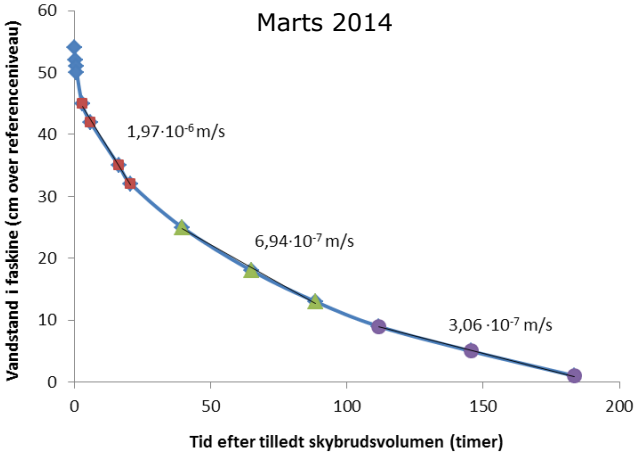
Infiltrationshastigheder

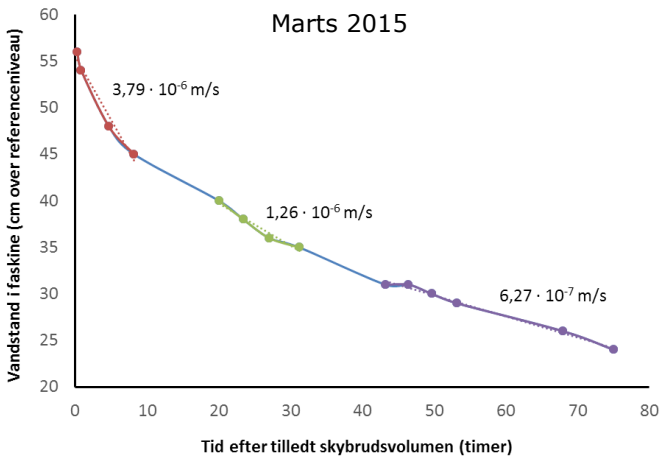
Skybrudsforsøgene blev gennemført i marts 2014, marts 2015 og august 2015.

I marts 2014 stod der ca. 11 cm vand oppe i faskinen umiddelbart før forsøget grundet højtstående grundvand. Derved forventes primært udsivning. Der var ikke nedbør under forsøget. I marts 2015 stod der vand 22 cm under faskines bund umiddelbart før forsøget. Derved forventes både udsivning og nedsivning. Der faldt regn i løbet af forsøgsperioden. I August 2015 stod der vand ca. 1 m under faskines bund umiddelbart før forsøget (våd sommer). Derved forventes både udsivning og nedsivning. Der var ikke nedbør under forsøget.

I figur 2 er vist vandstanden i faskinen angivet som cm over referenceniveau (vandstand i faskine umiddelbart før forsøget) efter tilledning af et skybrudsvolumen på 5-6 m^3 i de to skybrudsforsøg om vinteren. Ligeledes er vist tre infiltrationshastigheder gennem infiltrationsforløbene. For marts 2015 er kun medtaget forsøgsdata fra før regnen, der startede ca. 80 timer inden i forsøgsperioden.

Figur 2: Vandstand i faskinen og infiltrationshastigheder (vinter).

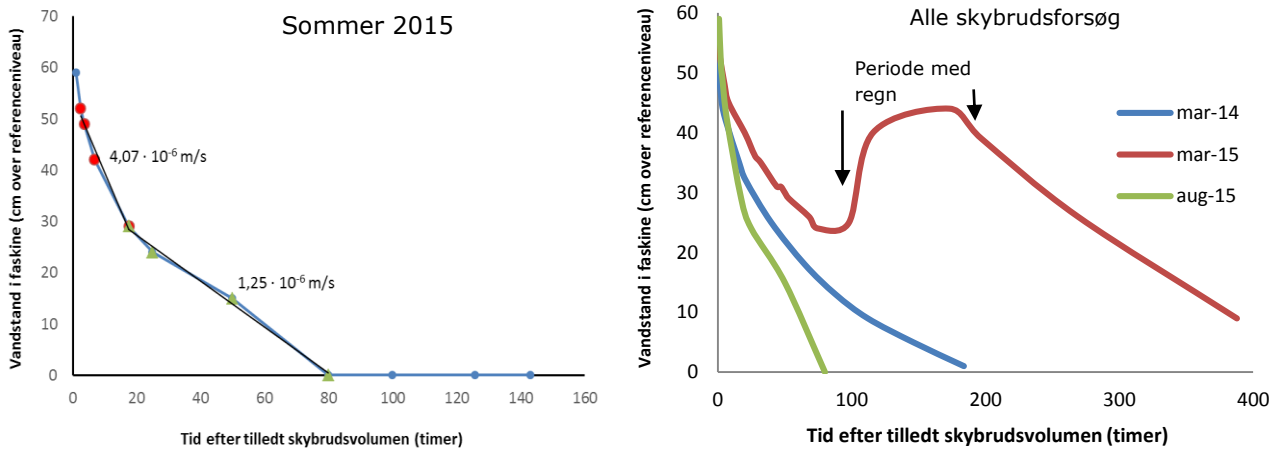




Af figur 2 ses, at infiltrationshastigheden er højest først og lavest sidst i infiltrationsforløbene, da der i starten er større hydraulisk gradient og større udsivningsareal (grundet højere vandstand). Ses der på infiltrationshastighederne i kurverne som funktion af vandstand over referenceniveau (bemærk forskellig akse i de to kurver) observeres ingen markant forskel i infiltrationshastigheden til trods for, at der i forsøget fra marts 2015 er større udsivning gennem faskinebund. I 2014 tager det ca. 184 timer (7 dage og 16 timer) før vandstanden i faskinen er tilbage til referenceniveauet dvs. niveauet før forsøget (svarende til grundvandsniveau). På 7 dage og 16 timer infiltreres altså en vandsøjle på 54 cm (5,5 m^3 vand). Dette giver en samlet infiltrationshastighed på $8{,}2 \cdot 10^{-7}$ m/s. I 2015 tager det 16 dage og 4 timer at infiltrere en vandsøjle på i alt 93 cm (9,5 m^3 vand) inklusiv regn (38 mm) under forsøget (ikke vist på figur 2). Dette giver en samlet infiltrationshastighed på $6{,}7 \cdot 10^{-7}$ m/s. De to infiltrationshastigheder ligger således meget tæt i marts 2014 og marts 2015.

I figur 3 ses vandstanden i faskinen i august 2015 vist som cm over bundniveau efter tilledning af et skybrudsvolumen på ca. 6 m^3. Ligeledes er afbildet resultater fra alle tre skybrudsforsøg.

Figur 3: Vandstand i faskinen og infiltrationshastighed i sommeren 2015 (tv) og ved alle forsøg (th).



Af figur 3 (tv) ses, at infiltrationshastigheden er højest først og lavest sidst i infiltrationsforløbet, da der i starten er større hydraulisk gradient og større udsivningsareal (grundet højere vandstand). Det tager 3 dage og 8 timer at infiltrere en vandsøjle på i alt 60 cm (6,1 m^3 vand). Dette giver en samlet infiltrationshastighed på $2{,}1 \cdot 10^{-6}$ m/s dvs. 2,5-3 gang hurtigere end ved forsøgene i marts. Af figur 3 (th) ses ligeledes, at infiltrationen om sommeren (august) er markant hurtigere end i de to vinterforsøg, hvilket nok skal tilskrives, at jorden var mere tør og vegetationens transpiration.

De målte infiltrationshastigheder fra 10^{-6} til 10^{-7} m/s er i den høje ende sammenholdt med de hydrauliske ledningsevner på 10^{-6} til 10^{-10} m/s, som typisk anvendes for moræneler.[1] Dog kan infiltrationshastighederne ikke direkte sammenlignes med de hydrauliske ledningsevner, da de hydrauliske ledningsevner er bestemt ud fra et specifikt areal. Teknologisk Institut har imidlertid (på basis af de kontinuerlige pejlinger og det specifikke udsivningsareal) beregnet den hydrauliske ledningsevne til ca. 5 gange større end infiltrationshastighederne fra marts 2014.[2]

Ud fra pejlingerne i faskinen kan findes den genvundne magasineringskapacitet i faskinen dvs. hvor mange mm regn (på 100 m^2 tag) som faskinen har kapacitet til at rumme i tiden efter den er blevet fyldt ved et skybrud. Dette er vigtigt, da et skybrud ofte følger eller bliver efterfulgt af regnbyger. I tabel 1 er angivet den målte genvundne magasineringskapacitet for testfaskinen med 6,4 m^3 hulrum tilkoblet 100 m^2 tag efter et skybrud i marts og i august.

[1] Hjemmesiden *LAR i Danmark*. Hjemmesideansvarlig: *Vand i Byer*. Filen *SVK_LAR_Dimensionering*. Downloaded d. 30.12.2014 på følgende link: http://www.laridanmark.dk/dimensionering-af-lar-anlaeg/31582

[2] Dokumentation af faskiner i Vanløse, Ida Marie Knudsen, Rørcenteret, Teknologisk Institut, 2015.

Tabel 1: Genvunden magasineringskapacitet for en faskine (6,4 m³ hulrum) i moræneler.

Timer efter faskinen er fyldt ved skybrud		1 t	6 t	18 t	24 t
Genvunden Magasineringskapacitet (mm regn på 100 m² tag)	Marts 2015	3 mm	9 mm	15 mm	18 mm
	August 2015	7 mm	17 mm	32 mm	35 mm

Af tabel 1 ses, at faskinen genvinder sin magasineringskapacitet dobbelt så hurtigt om sommeren, dvs. i skybrudssæsonen, som den gør om vinteren. Dette skyldes sandsynligvis, at jorden var mere tør (suger mere) og vegetationens transpiration er markant højere ved sommerforsøget. Desuden ses, at allerede 6 timer efter et stort skybrud kan faskinen rumme en ny kraftig regn på 17 mm i sommerhalvåret dvs. den opnår hurtigt kapacitet til eventuelle regnhændelser efter skybruddet. Det skal dog fremhæves, at faskinen er større end faskiner typisk dimensioneres.

Lokale grundvandsstigninger

I tabel 2-4 ses vandstandsniveau sammenholdt med referenceniveau (vandstanden umiddelbart før skybrudsforsøget) i faskinen og i de enkelte pejlerør omkring faskinen i tiden efter tilledning af skybrudsvolumen. Med rødt er markeret den højeste grundvandsstigning omkring faskinen.

Tabel 2: Vandstand (cm over referenceniveau) i faskiner og i pejlerør i marts 2014.

	0	0,3 t	0,6 t	0,9 t	3 t	6 t	16 t	21 t	40 t	65 t	88 t	112 t	146 t	184 t
Faskine: 0 m	54	52	51	50	45	42	35	32	25	18	13	9	5	1
SØ:1,5 m	7	16	25	29	36	36	32	31	25	18	13	11	6	2
SØ: 3 m	5	10	15	17	31	33	33	31	25	18	13	11	6	2
NØ: 1,5 m	9	17	22	24	33	35	31	30	25	17	12	9	4	2
NØ: 3 m	2	3	5	6	13	18	21	22	18	12	8	7	3	1
NV: 1,5 m	17	27	31	33	37	37	31	30	24	17	12	9	5	1
NV: 3 m	5	10	13	15	25	28	28	27	23	16	11	9	4	1
SV: 1,5 m	13	24	27	28	33	34	30	29	23	17	11	9	4	0
SV: 3 m	2	4	6	8	15	19	22	22	19	12	8	7	3	0

I øverste række er angivet tiden (t) i timer efter tilledning af skybrudsvolumen; t = 0 er lige efter tilledning.

Pejlerørenes placering i forhold til faskinen: SØ: Sydøst, NØ: Nordøst, NV: Nordvest, SV: Sydvest. Afstandene (hhv. 0 m, 1,5 m og 3 m) angiver afstanden fra faskinen, hvor 0 m er pejlerøret nedsat i faskinen.

Med rødt er markeret højeste vandstand i cm over referenceniveau.

Af tabel 2 fremgår, at den lokale grundvandsstigning som ventet er størst og forekommer hurtigst tættest på faskinen. Desuden ses, at ved et voldsomt skybrud (50-60 mm) om vinteren bliver den største stigning i grundvandsstanden 1,5 m og 3 m fra faskinen ca. 35 cm. Endelig ses, at den maksimale stigning 1,5 m fra faskinen observeres 3-6 timer efter tilledning, mens den maksimale stigning 3 m fra faskinen måles 6-21 timer efter tilledning.

Tabel 3: Vandstand (cm over referenceniveau) i faskiner og i pejlerør i marts 2015.

	0	0,5 t	5t	8 t	20 t	24 t	28 t	32 t	44 t	47 t	50 t	53 t	68 t	75 t	98 t	116 t	173 t	197 t	269 t	388 t
Regn (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	17	13	0	0	0
Faskine: 0 m	56	54	48	45	40	38	36	35	31	31	30	29	26	24	25	40	44	39	26	9
SØ: 1,5 m	0	18	49	52	52	51	51	50	47	46	46	45	42	41	43	59	64	58	45	29
SØ: 3 m	0	1	32	39	45	45	45	45	43	42	42	41	40	40	41	56	63	59	46	30
SØ: 5 m	0	0	2	6	18	19	19	20	22	23	23	22	22	22	28	31	55	54	43	29
NØ: 1,5 m	2	16	36	39	41	40	40	39	36	37	36	35	34	33	35	52	59	54	40	26
NØ: 3 m	0	2	15	20	26	26	26	26	25	25	25	25	24	25	28	41	50	45	32	22
SØ: 5 m	0	0	0	5	13	11	12	12	14	12	13	13	13	13	17	28	42	36	23	15
NV: 1,5 m	10	25	37	39	38	37	36	35	32	31	30	28	28	26	27	44	49	44	30	15
NV: 3 m	1	7	23	26	28	27	26	26	23	23	23	22	20	19	20	37	43	37	24	9
NV: 5m	1	2	4	8	12	12	12	13	10	10	11	10	9	8	11	25	36	30	17	3
SV: 1,5 m	6	23	34	36	35	34	33	32	29	28	27	27	24	23	26	43	47	41	28	13
SV: 3 m	2	5	21	26	31	31	30	30	28	27	27	27	25	25	26	43	49	43	31	17
SV: 5m	0	0	3	7	15	16	16	16	16	15	16	15	14	16	20	34	46	39	28	18

I øverste række er angivet tiden (t) i timer efter tilledning af skybrudsvolumen; t = 0 er lige efter tilledning.
I anden række angives regn målt i regnmåler siden sidste pejling.
Pejlerørenes placering i forhold til faskinen: SØ: Sydøst, NØ: Nordøst, NV: Nordvest, SV: Sydvest.
Afstandene (hhv. 0 m, 1,5 m, 3 m og 5 m) angiver afstanden fra faskinen, hvor 0 m er pejlerøret nedsat i faskinen.
Med rødt er markeret højeste vandstand (i cm over referenceniveau) efter skybrudsforsøget og efter regnhændelserne (98-173 timer).

Af tabel 3 fremgår, at den lokale grundvandsstigning igen som ventet er størst og forekommer hurtigst tættest på faskinen. Den største stigning 1,5 m fra faskinen når op på 52 cm, mens den største stigning 5 m (afstandskravet til bebyggelse med kælder) fra faskinen er 23 cm. Førstnævnte er en større stigning end i marts 2014 (jf. tabel 2) til trods for, at grundvandsniveauet i marts 2015 står under faskinebund (modsat marts 2014). Dette kan ikke umiddelbart forklares. Det ses ligeledes, at de maksimale stigninger i marts 2015 forekommer senere end i marts 2014. Endelig ses, at regnhændelserne (98-173 timer) giver en relativt større og mere markant grundvandsstigning omkring faskinen sammenholdt med stigningen, der måles i umiddelbar tilknytning til skybrudsforsøget. Den højeste grundvandsstigning ved faskiner i forbindelse med skybrud kan derved i højere grad være knyttet til efterfølgende regnhændelser snarere end til skybruddet selv, hvilket sandsynligvis skyldes, at skybruddet medfører en stor opfugtning af jorden.

Tabel 4: Vandstand (cm over referenceniveau) i faskiner og i pejlerør i august 2015.

	1 t	2,3 t	3,5 t	7 t	17,5 t	25 t	50 t	80 t	100 t	126 t	143 t
Faskine: 0 m	59	52	49	42	29	24	15	0	0	0	0
SØ: 1,5 m	0	104	114	119	117	111	107	65	39	17	9
SØ: 3 m	0	0	0	0	50	52	53	20	5	0	0
SØ: 5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NØ: 1,5 m	0	0	0	0	0	10	28	14	0	0	0
NØ: 3 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SØ: 5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV: 1,5 m	90	104	107	108	103	97	90	68	53	40	34
NV: 3 m	36	70	82	95	95	92	86	69	50	38	34
NV: 5m	0	17	33	58	75	77	80	71	58	47	42
SV: 1,5 m	103	116	120	122	119	116	108	87	71	58	52
SV: 3 m	0	45	63	83	94	94	91	76	61	49	44
SV: 5m	0	0	0	0	35	44	51	46	38	28	24

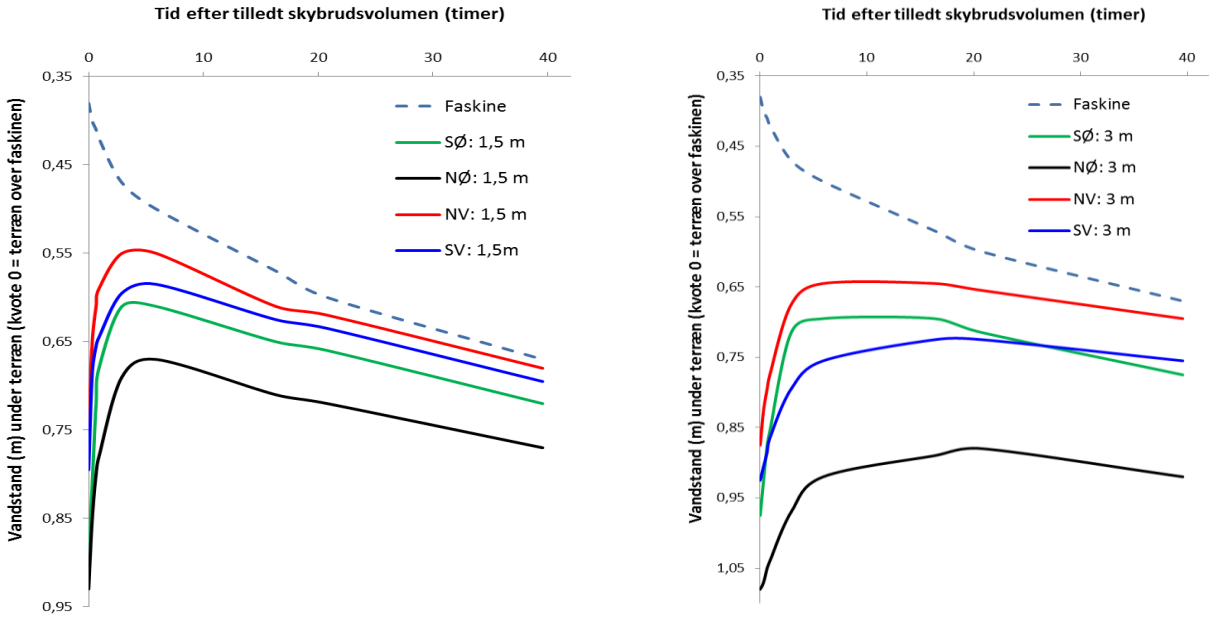
I øverste række er angivet tiden (t) i timer efter tilledning af skybrudsvolumen; t = 0 er lige efter tilledning.
Referencevandstand før tilledning er sat til samme niveau (kote) som grundvandsniveau som i 1,5 og 3 m NV, hvor der var vand i pejleboringerne før forsøget. Med rødt er markeret højeste vandstand efter skybrudsforsøget.
Pejlerørenes placering i forhold til faskinen: SØ: Sydøst, NØ: Nordøst, NV: Nordvest, SV: Sydvest.
Afstandene (hhv. 0 m, 1,5 m, 3 m og 5m) angiver afstanden fra faskinen, hvor 0 m er pejlerøret nedsat i faskinen.

Af tabel 4 fremgår, at den lokale grundvandsstigning igen som ventet er størst og forekommer hurtigst tættest på faskinen. Den største stigning 1,5 m fra faskinen når op på 122 cm, mens den største stigning 5 m (afstandskravet til bebyggelse med kælder) fra faskinen er 80 cm. Der ses dog også markante forskelle idet der slet ikke observeres en grundvandsstigning 5 meter fra faskinen mod SØ og NØ. Dette skal sandsynligvis tilskrives, at et stort piletræ mod SØ og et stort bøgetræ mod NØ har skabt store lokale grundvandssænkninger og/eller drikker vandet inden det når 5 m fra faskinen, hvor boringerne er placeret få meter fra træerne. Mod SV og NV (mod grundens villa), hvor der ikke står større træer ses de største grundvandsstigninger. Endelig måles større grundvandsstigninger i august 2015 sammenholdt med forsøgene i marts. Grundvandsstanden før forsøget i august er dog omkring 1 meter lavere sammenholdt med marts dvs. grundvandsniveauet ender i en lavere kote i august end ved skybrudsforsøgene i marts. Forskellen i grundvandsstanden før forsøgene er sandsynligvis forklaringen på de forskellige stigninger i grundvandsstanden.

Ved et voldsomt sommerskybrud (50-60 mm), hvor faskinen fyldes, kan vandstandsstigningen 5 m (afstandskravet til bebyggelse med kælder) altså nå 80 cm. Til sammenligning viser pejlinger fra boringer i husets have (før anlægning af faskinen), at grundvandsstanden i det sekundære reservoir varierer over 3 meter om året og ligger godt 1 m (± 30 cm) under terræn om vinteren. Grundvandsniveauet udenfor huset vil derved *naturligt* stå markant over kældergulvet det meste af vinteren, da huset ikke har omfangsdræn. Dette har ifølge ejeren ikke givet anledning til fugt i kælderen. Det bør i tilknytning hertil overvejes, om et voldsomt sommerskybrud på 65 mm, der giver en kortvarig grundvandsstigning på 80 cm til en lavere kote end vintergrundvandsstanden, anses for en udfordring i forhold til faskiner, og om afstandskravet på 5 m derved er rimeligt. Hvis afstandskravet nedsættes til 3 m bliver grundvandsstigningen kortvarigt 95 cm og vil forsat være markant mindre og i lavere kote end den langvarige høje vintergrundvandsstand, men det vil være markant lettere at få plads til faskiner i forhaven på mange villagrunde.
Det skal fremhæves, at den målte stigning i grundvandsstanden omkring faskinen ved forsøgene sandsynligvis skyldes udsivning i let-permeable lag og sprækker i leren omkring faskinen snarere end en egentlig jævn udsivning og derved vandmætning af ler-matricen omkring faskinen.

Af tabel 2, 3 og 4 ses, at der er markante variationer i vandstandsstigningens størrelse omkring faskinen, hvilket sandsynligvis skyldes lokale geologiske variationer. Som vist i figur 3 udviser den lokale grundvandsstand i boringerne omkring faskinen ligeledes signifikant variation under skybrudsforsøget fra marts 2014. Noget tilsvarende ses i marts 2015 og august 2015.

Figur 3: Nivellerede forskelle i den lokale grundvandsstand under skybrudsforsøget i marts 2014.



Pejlerørenes placering: SØ: Sydøst, NØ: Nordøst, NV: Nordvest, SV: Sydvest. 1,5 m og 3 m er afstand fra faskinen.

Af figur 3 ses, at forskellen i grundvandsniveauet er størst mellem boringerne 3 m mod nordvest og nordøst. Forskellen er størst (30 cm) 3 timer inde i skybrudsforsøget. Grundvandsstigningen er samtidig størst 3 m mod nordvest sammenholdt med 3 m. mod nordøst (jf. tabel 2). Denne forskel genfindes kun 1,5 m fra faskinen i forsøgets første timer. Den hurtigere og mere voldsomme stigning mod nordvest tyder på lokale geologiske forskelle. Ved pejlinger før skybrudsforsøget og i månederne efter forsøget blev observeret 20-60 cm højere grundvandsstand mod nordvest. Den største forskel (60 cm) var i maj efter træerne var sprunget ud. Boringen mod nordøst ligger over mod et meget stort piletræ og et stort bøgetræ, hvorimod boringen mod nordvest ligger over mod grundens villa uden større bevoksning. Det er muligt, at træernes transpiration i maj og røddernes påvirkning af geologien (øget hydraulisk ledningsevne) kan forklare de observerede variationer.

Konklusion

Nedenstående observationer og konklusioner bygger udelukkende på skybrudsforsøg i en enkelt faskine anlagt i moræneler, hvilket skal holdes in mente. Yderligere undersøgelser er nødvendige, hvis observationerne og konklusionerne skal anvendes mere generelt ved nedsivning i faskiner.

De gennemførte skybrudsforsøg viste at:

1) Faskiner i moræneler kan fungere problemfrit selv i områder med høj grundvandsstand.

2) Infiltrationshastigheden var 10^{-6}-10^{-7} m/s og den hydrauliske ledningsevne var ca. 5 gange større dvs. i den høje ende af de gængse ledningsevner for moræneler (10^{-6}-10^{-10} m/s).

3) Nedsivning under skybrud var begrænset, hvorfor faskiner i moræneler bør dimensioneres til at kunne magasinere (rumme) et stort skybrud eller etableres med overløb.

4) Faskinen genvandt hurtigt den nødvendige magasineringskapacitet til at rumme selv kraftige regnbyger i tilknytning til skybrud. Magasineringskapaciteten blev genvundet dobbelt så hurtigt om sommeren (i skybrudssæsonen) sammenholdt med om vinteren.

5) De lokale grundvandsstigninger var størst og forekommer hurtigst tæt på faskinen.

6) Regnhændelser 4-7 dage efter et stort skybrud gav mere markant grundvandsstigning (til højere kote) omkring faskinen sammenholdt med skybruddet selv.

7) Lokale grundvandsstigninger var markant større ved skybrud om sommeren sammenholdt med tilsvarende skybrud om vinteren. Dog endte den lokale grundvandsstand i en lavere kote om sommeren, hvor grundvandet stod længere under terræn end om vinteren.

8) Grundvandsstigninger efter skybrud skyldtes sandsynligvis udsivning i let-permeable lag og sprækker i moræneleren omkring faskinen snarere end en jævn udsivning og derved vandmætning af lermatricen omkring faskinen.

9) Større træer omring faskiner kan sandsynligvis være afgørende for størrelsen af lokale grundvandsstigninger og øger muligvis lagseriens hydrauliske konduktivitet.

10) Grundvandsstigningen (og max. koten) omkring faskinen var meget mindre selv ved store skybrud end den årstidsbestemte grundvandsvariation (og max. kote) i området, hvor der var høj grundvandsstand om vinteren.

Alt i alt konkluderes, at faskiner i moræneler kan være funktionelle såfremt de dimensioneres til at kunne magasinere et stort sommerskybrud (eller har kontrolleret overløb). Grundvandsstigningen som følge af faskiner udgør næppe et problem for bygninger i områder med høj grundvandsstand, hvis boligerne ikke er generet af den eksisterende høje vintergrundvandsstand.

Bilag 1: Testfaskiner

De fem testfaskiner til tagvand blev etableret af Ecocon Miljø i fire villahaver ved Bangsbo Plads i Vanløse. Faskinerne blev finansieret af Københavns Kommune, Vanløse Lokaludvalg, Ecocon Miljø og af delvis refusion af villaernes tilslutningsbidrag fra HOFOR. Faskinerne blev etableret i efteråret 2013 i tæt samarbejde med Teknologisk Institut og Grundejeren.dk.

Tagvand

Et af formålene med de fire testfaskiner var at undersøge fjernelse af bakterier, tjærestoffer og tungmetaller fra forskellige typer tage og tagrender samt fjernelse af disse kontaminanter i leret under faskinerne (afrapporteret separat). Faskinernes placering blev derfor valgt ud fra forskellige tagbelægninger og tagrender, så faskinerne modtog potentielt forskelligt tagvand (se tabel I).

Tabel I: Tagbelægninger og tagrender tilkoblet faskinerne.

	Tagrende	Tag	Indfatninger	Tag på kvist
Kontrolfaskine	Plast	Tegl	---	---
Faskine 1	Zink	Tegl & Tagpap [1)]	Bly [2)]	---
Faskine 2	Zink	Skiffer	Zink	Zink
Faskine 3A [3)]	Zink	Tegl	Bly [4)]	Zink
Faskine 3B [3)]	Zink	Tegl	Bly [4)]	Zink

1) Tegl på hustag og ca. 10 år gammelt tagpap på skur. 2) Kun mindre blyindfatninger omkring skorsten.
3) Faskine 3A og 3B er separate faskiner tilkoblet hhv. forsiden og bagsiden af samme villa.
4) Omfattende blyindfatninger ned langs kvistene.

Faskiner

Faskinerne blev dimensioneret til at kunne magasinere et voldsomt sommerskybrud på 65 mm. Dvs. dimensioneret med omkring 6,5 m^3 hulrumsvolumen pr. 100 m^2 tagareal. Faskinerne incl. rør og sandfang blev anlagt efter gældende normer og standarder. Der blev brugt RIGO-fill faskine- blokke (800·800·663, mm) med 96 % hulrum (omkring 0,4 m^3 hulrum pr. faskineblok) indpakket i TyparSF27 fiberdug. Der blev sat to pejlerør i faskinerne til kontinuerlige og manuelle pejlinger af vandstanden. Omkring anlægsdelene blev udlagt ca. 10 cm sand. Et af hovedformålene var at undersøge infiltrationshastigheder i moræneler. Derfor blev faskinebunden placeret ca. 1 m under terræn, så toppen af faskinerne flugtede med muldlaget dvs. faskinerne var anlagt nede i leren. Omkostningerne pr. faskine (incl. 2 stk. autoriseret kloakafpropning) var ca. 75.000 kr pr. 100 m^2 tagareal (2 nedløbsrør). Anlægsdata for faskinerne er gengivet i tabel II.

Tabel II: Anlægsdata for faskiner.

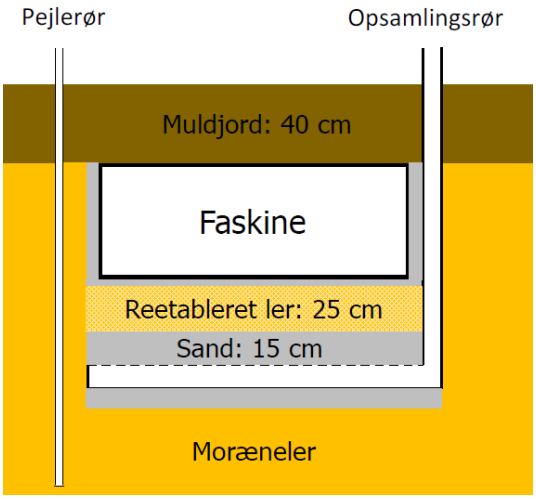
	Tilkoblet tag (m^2)	**Faskine** (b·l·h, m)	Hulrum (m^3)	Hulrum (m^3) pr. 100 m^2 tag
Kontrolfaskine	100	1,6 · 6,4 · 0,66	6,4	6,4
Faskine 1	130	1,6 · 8,8 · 0,66	8,8	6,7
Faskine 2	30	0,8 · 4,0 · 0,66	2	6,7
Faskine 3A	50 (25) [a)]	0,8 · 4,0 · 0,66	2	4,0 (8) [a)]
Faskine 3B	50 (75) [a)]	1,6 · 4,8 · 0,66	4,8	9,6 (6,4) [a)]

a) Parenteser angiver det forventede efter montering af ekstra nedløbsrør. Disse er dog (pr. 15/12 2015) ikke etableret.

Prøvetagning

For at undersøge fjernelse af kontaminanter i leret under faskinerne blev der anlagt opsamlingsrør til prøvetagning ca. ½ m under fire af de fem faskiner (en ved hver villa). Princippet ses i figur I.

Figur I: Principskitse af faskine med opsamlingsrør.



Opsamlingsrøret blev slidset i toppen, pakket ind i fiberdug og anlagt i en rende midt under faskinen. Over opsamlingsrøret blev lagt ca. 15 cm sand, hvorefter lermatricen på bedste vis blev forsøgt genetableret ved at fylde renden med opslemmet ler fra udgravningen. Før opfyldning med ler blev rendens sider børstet grundigt af for at undgå sandlommer (se foto).

Foto: Nedlægning af opsamlingsrør til prøvetagning.



Før prøvetagning blev opsamlingsrøret og faskinens sandfang tømt for vand. Via pejlinger i pejle-røret blev sikret, at grundvandsstanden var min. ½ m under opsamlingsrøret. Efter næste regnskyl blev igen sikret, at grundvandsstanden forsat var min. ½ m under opsamlingsrøret, hvorved vandet i røret stammer fra faskinen. Der blev taget prøver fra sandfang (tilløb) og opsamlingsrør (afløb efter passage af ca. 25 cm reetableret moræneler samt afdækningssand). Efter coating af tagrender i sommeren 2014 blev tilløbsprøver taget i plastspande hængt lige under indløbet i sandfangene. Af uforklarlige årsager var der ikke vand i opsamlingsrøret i faskine 2 ved prøvetagning, hvorfor afløbsprøver fra faskine 2 måtte droppes. Analyser blev udført af akkrediterede miljølaboratorier.

Bilag 2: Boreprofil

Boreprofil for testfaskinen ved Bangsbo Plads i Vanløse, hvori der blev udført skybrudsforsøg.

