

# Etablering af pileanlæg – Baggrundsrapport

## Etablering af pileanlæg - Baggrundsrapport

Peder Gregersen  
Center for Recirkulering

Søren Gabriel  
Hedeselskabet, Miljø og Energi

Hans Brix  
Werms

Inge Faldager  
Teknologisk Institut, Rørcentret

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>7</b>
<b>1 OPBYGNING AF PILEANLÆG</b>	<b>9</b>
1.1 GENERELT	9
1.2 STANDARD ANLÆG	10
1.2.1 <i>Jordvold</i>	10
1.3 FORDELERSYSTEM	11
1.3.1 <i>Pumpning</i>	11
1.4 ANLÆG, INKLUSIV FORDELERLAG	13
1.4.1 <i>Membran</i>	13
1.4.2 <i>Fordeling af spildevandet</i>	14
1.4.3 <i>Tilbagefyldning</i>	16
1.4.4 <i>Beplantning</i>	16
1.5 UDVIDELSE AF ANLÆG	17
<b>2 OPBYGNING AF PILEANLÆG MED NEDSIVNING</b>	<b>19</b>
2.1 GENERELT	19
2.2 STANDARD ANLÆG	20
2.2.1 <i>Jordvold</i>	20
2.3 FORDELERSYSTEM	20
2.3.1 <i>Pumpning</i>	20
2.4 FORDELERLAG OG JORDDÆKNING	21
2.4.1 <i>Beplantning</i>	22
<b>3 SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE VEDRØRENDE LUKKEDE PILEANLÆG</b>	<b>25</b>
3.1 BAGGRUND OG FORMÅL	25
3.1.1 <i>Undersøgelsens omfang og målgruppe</i>	25
3.1.2 <i>Spørgeskemaet</i>	25
3.2 RESULTATER	25
3.2.1 <i>Anlægstidspunkt</i>	26
3.2.2 <i>Anlæggenes dimensionering og belastning</i>	26
3.2.3 <i>Anlæggenes udformning og funktion</i>	27
3.2.4 <i>Anlægsvedligeholdelse og tidsforbrug</i>	27
3.2.5 <i>Etableringspriser</i>	28
<b>4 NEDBØRSSTATISTIK</b>	<b>31</b>
4.1 BAGGRUND OG FORMÅL	31
4.2 NEDBØRSFORDELING I DANMARK	32
4.3 POTENTIEL FORDAMPNING	32
4.4 BALANCE MELLEM NEDBØR OG FORDAMPNING	33
4.5 VARIATION MELLEM ÅR I NEDBØR	33
4.6 ÅRSTIDSVARIATION I NEDBØR OG FORDAMPNING	34
4.7 KORRIGERET NEDBØR	35
4.8 REFERENCER	36
<b>5 VANDBALANCE</b>	<b>37</b>
5.1 FORDAMPNING	37
5.1.1 <i>Evaporation</i>	37

5.1.2	<i>Transpiration</i>	38
5.1.3	<i>Interception</i>	38
5.1.4	<i>Total evaporation</i>	39
5.1.5	<i>Potentiel evaporation (=potentiel fordampning)</i>	39
5.1.6	<i>Oase effekt</i>	41
5.1.7	<i>Tøjsnors effekt</i>	42
5.1.8	<i>Forhold af betydning for oase og tøjsnors effekterne</i>	43
5.1.9	<i>Forhold, der maksimerer fordampning</i>	44
5.2	FORDAMPNING FRA PILEBEVOKSNINGER	45
5.2.1	<i>Fordampning fra pil i lysimeter, Lake Oneida, NY, USA /8/</i>	45
5.2.2	<i>Fordampning fra pil i lysimeter, Arlon, Belgien /9/</i>	45
5.2.3	<i>To pilebevoksninger ved Tjele, Danmark /10/</i>	45
5.2.4	<i>To pilebevoksninger i Ultuna, Uppsala (Sverige) /11;12/</i>	47
5.3	FORDAMPNING FRA PILEANLÆG	47
5.3.1	<i>Pileanlægget i Tappernøje, Danmark /13;14/</i>	47
5.3.2	<i>Pileanlæggene i Gesten, Vejle og Hjortshøj /14/</i>	48
5.3.3	<i>Fordampning fra 24 pileanlæg</i>	48
5.4	VURDERING AF MULIG FORDAMPNING FRA PILEANLÆG	49
5.5	ANBEFALINGER	50
5.6	REFERENCER	50
<b>6</b>	<b>OPMAGASINERING AF VAND</b>	<b>53</b>
6.1	JORDENS POREVOLUMEN	53
6.2	PORESTØRRELSSEFORDELING	53
6.3	PLANTETILGÆNGELIGT VAND	53
6.4	UDNYTTELT POREVOLUMEN I PILEANLÆG	54
6.5	ANVENDT POREVOLUMEN I DIMENSIONERINGSBEREGNINGERNE	55
6.6	REFERENCER	55
<b>7</b>	<b>VANDFORBRUG OG MULIGHEDER FOR VANDBESPARELSER</b>	<b>57</b>
7.1	VANDFORBRUGSVANER OG TEKNISKE VANDBESPARELSER	57
7.2	PERSPEKTIVER	59
7.3	REFERENCER	59
<b>8</b>	<b>DIMENSIONERING AF PILEANLÆG</b>	<b>61</b>
8.1	DIMENSIONERINGSFORUDSÆTNINGER	61
8.2	DIMENSIONERINGSEKSEMPEL	61
8.2.1	<i>Nedbør og fordampning</i>	62
8.2.2	<i>Opmagasineringskapacitet</i>	63
8.2.3	<i>Opstuvning af vand ved 10-års nedbør</i>	65
8.2.4	<i>Arealkrav</i>	66
8.3	DIMENSIONERING AF ANLÆG I GRIDCELLER	67
8.3.1	<i>Belastning i forhold til potentiel fordampning</i>	68
<b>9</b>	<b>DIMENSIONERING AF PILEANLÆG MED NEDSIVNING</b>	<b>71</b>
9.1	DIMENSIONERING AF PILEANLÆG MED NEDSIVNING	71
9.1.1	<i>Sammenhæng mellem hydraulisk ledningsevne og jordtype</i>	71
9.1.2	<i>Dimensioneringspraksis efter vejledning for nedsivningsanlæg</i>	72
9.2	REDUKTION AF PILEANLÆGGETS AREAL SOM FØLGE AF NEDSIVNING	73
<b>10</b>	<b>MASSE- OG STOFBALANCE FOR PILEANLÆG</b>	<b>77</b>
10.1	BELASTNING AF PILEANLÆG MED HUSSPILDEVAND	77
10.1.1	<i>Karakteristik af husspildevand</i>	77
10.1.2	<i>Belastning af pileanlæg fra spildevand</i>	78

10.2	PILENS OPTAG AF METALLER OG SALTE	79
10.2.1	<i>Parametre med betydning for planters optag af metaller og salte</i>	79
10.3	FJERNELSE AF SALTE OG METALLER MED HØST AF PIL	80
10.4	MASSEBALANCE FOR METALLER, SALTE OG MILJØFREMMEDE STOFFER I PILEANLÆG MED BUND	81
10.5	UDVASKNING AF SALTE, METALLER OG MILJØFREMMEDE STOFFER FRA PILEANLÆG MED NEDSIVNING	82
10.5.1	<i>Tungmetaller</i>	82
10.5.2	<i>Klorid</i>	83
10.5.3	<i>Miljøfremmede stoffer</i>	83
10.6	REFERENCER	83
<b>11</b>	<b>MILJØVURDERING AF PILEANLÆG</b>	<b>85</b>
11.1	STOFBELASTNING AF PILEANLÆG	85
11.2	MILJØVURDERING AF JORD I PILEANLÆG	86
11.3	BELASTNING AF GRUNDVAND FRA PILEANLÆG MED NEDSIVNING	87
11.4	ANVENDELSE AF PIL FRA PILEANLÆG	88
11.5	REFERENCER	88
<b>12</b>	<b>KLORIDPROBLEMET I LUKKEDE PILEANLÆG</b>	<b>91</b>
12.1	AKKUMULERING AF SALT I PILEANLÆG	91
12.2	EFFEKTEN AF SALT PÅ PLANTER	91
12.2.1	<i>Osmotisk stress</i>	91
12.2.2	<i>Ernæringsstress</i>	91
12.2.3	<i>Giftvirkning</i>	92
12.2.4	<i>Planters tolerance</i>	92
12.2.5	<i>Skadebilleder og symptomer på saltstress</i>	93
12.3	EFFEKTEN AF SALT PÅ PIL	93
12.4	FØRANSTALTNINGER TIL AT UNDGÅ VÆKSTHÆMNING FRA KLORID	95
12.5	REFERENCER	96
<b>13</b>	<b>HØSTUDBYTTE</b>	<b>97</b>
13.1	HØSTUDBYTTER OG POTENTIELLE HØSTUDBYTTER I LUKKEDE PILEANLÆG	97
13.1.1	<i>Anlæg 1</i>	97
13.1.2	<i>Anlæg 2</i>	98
13.1.3	<i>Anlæg 3</i>	99
13.1.4	<i>Anlæg 4</i>	100
13.2	KONKLUSION	100
13.3	LITTERATURLISTE	101
Bilag A	GRIDNUMMERERING I DANMARK	103
Bilag B	DIMENSIONERINGSBEREGNINGER FOR GRIDCELLER	105
Bilag C	AREALKRAV	111



# Forord

Denne rapport er udarbejdet under Aktionsplanen for fremme af økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning, tema 1: Økologisk Håndtering af spildevand i det åbne land. Projektet er udført i samarbejde mellem Teknologisk Institut, Hedeselskabet, WEMS og Center for Recirkulering.

Projektet har haft en følgegruppe bestående af:

Peter Steen Mikkelsen	Miljø og Ressourcer, DTU
Jens Bo Holm-Nielsen	Syddansk Universitet
Thorkil Boisen	Spildevandskomiteen
Keld Schrøder-Thomsen	DANVA
Line Wilchen Hollesen	Miljøstyrelsen
Mogens Kaasgaard	Miljøstyrelsen

Arbejdsgruppen har bestået af:

Peder Gregersen	Center for Recirkulering
Søren Gabriel	Hedeselskabet, Miljø og Energi
Hans Brix	WEMS
Inge Faldager	Rørcentret, Teknologisk Institut

Arbejdsgruppen vil gerne takke følgegruppen for et godt og konstruktivt samarbejde.

Projektets overordnede formål er at udarbejde retningslinier for etablering af pileanlæg og pileanlæg med nedsivning.

Baggrunden for disse retningslinier belyses i denne baggrundsrapport. Baggrundsrapporten bygger på igangværende og gennemførte forsøgsprojekter. Her beskrives principperne bag anlæggenes opbygning, udformning og dimensionering. Baggrundsrapporten indeholder ligeledes stofbalancer og miljøvurderinger af de 2 anlægstyper.

Projektet omfatter således 3 separate rapporter:

- Retningslinier for etablering af pileanlæg op til 30 pe
- Retningslinier for etablering af pileanlæg med nedsivning op til 30 pe
- Etablering af pileanlæg – baggrundsrapport.

Denne rapport er baggrundsrapporten, hvor baggrunden for de valgte anlægsudformninger er angivet

Januar 2003





# 1 Opbygning af pileanlæg

## 1.1 Generelt

I et pileanlæg fordampes det spildevand, der tilføres anlægget, og den regn der falder i anlægget. Med det vand der fordampes, optager træerne en del af spildevandets indhold af næringsstoffer og metaller, som senere fjernes fra anlægget ved høst.

Et pileanlæg må kun belastes med spildevand, der har passeret en bundfældningstank, idet der ellers vil være stor risiko for hurtig tilstopning af anlæggets fordelersystem.

Fordelingen af det forrensede spildevand i anlægget sker ved pumpning. Fordelerrøret lægges øverst i et lag af vaskede nøddesten (16-32 mm) eller fordelingsenheder af plast, så vandet kan fordele sig til hele anlægget.

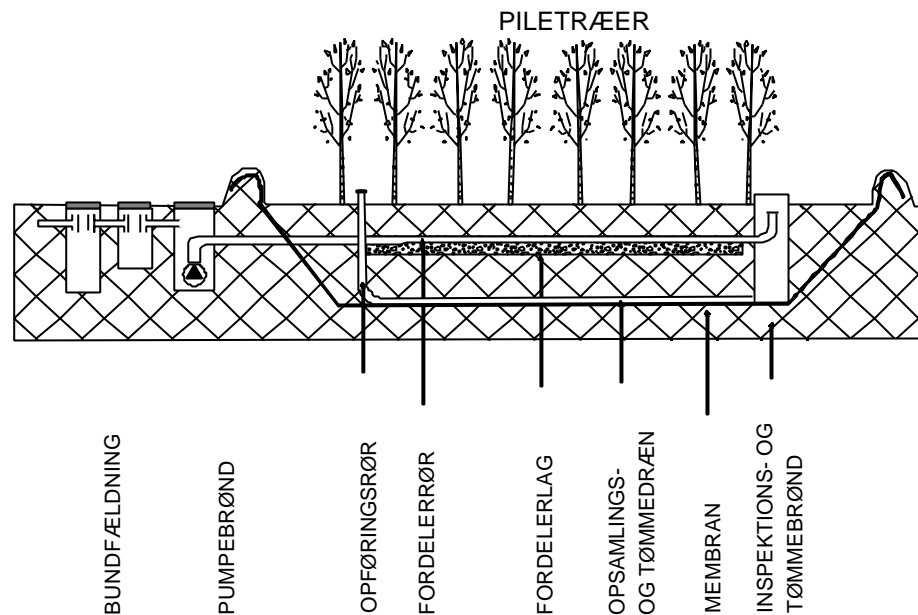
Fordelersystemet skal afsluttes i en inspektions- og tømmebrønd. Her kan vandstanden i anlægget pejles, og en eventuel tømning kan ske via tømmebrønden.

Umiddelbart over den tætte membran placeres et dræn i et lag ærtesten. Drænet afsluttes i tømmebrønden.

Pileanlæg opbygges af den jord, der graves op, når membranen skal placeres. Rundt om hele anlægget etableres en 0,3 m jordvold.

Hele pileanlægget placeres på en stærk, tæt membran for at sikre, at spildevandet ikke siver ned til grundvandet eller at grundvand ikke trænger ind i anlægget.

På figur 1.1 er opbygningen af et pileanlæg vist skematisk.



Figur 1.1.  
Schematisk opbygning af pileanlæg (længdesnit).

## 1.2 Standard anlæg

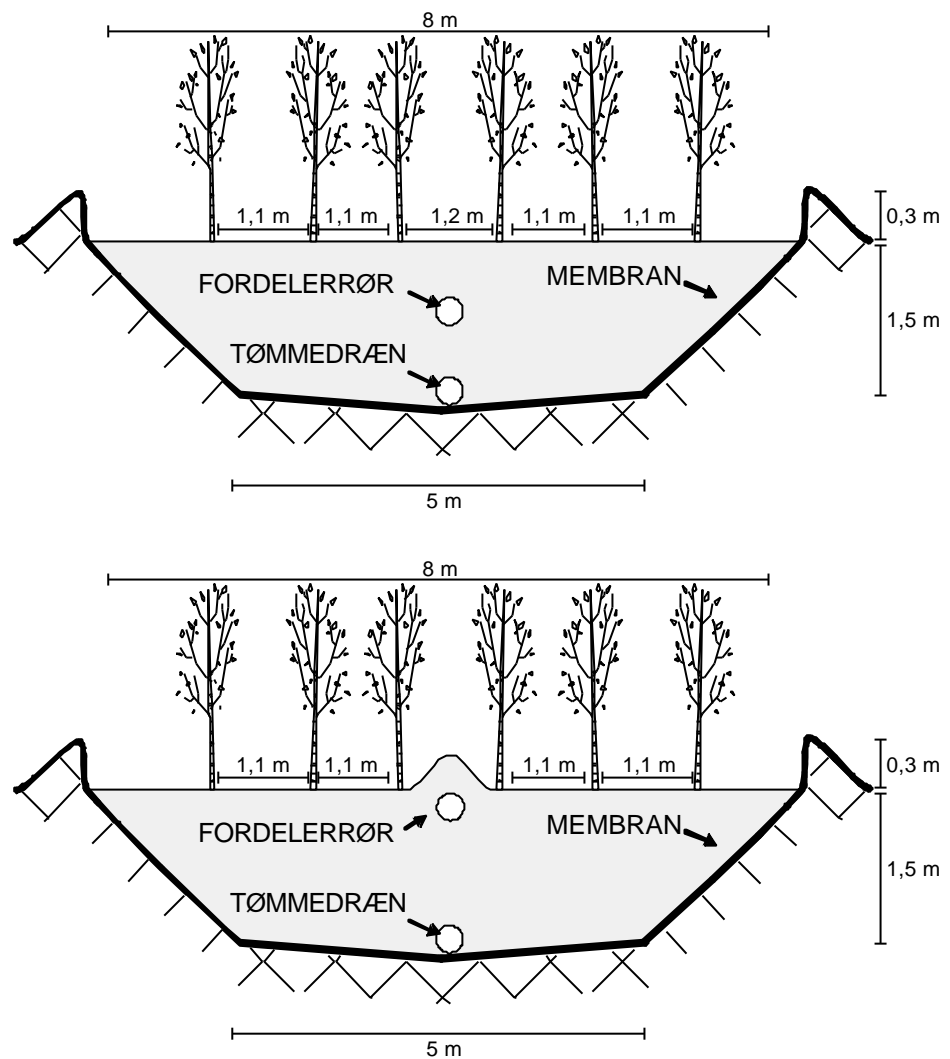
På skitserne på de næste sider er opbygningen af pileanlæg vist. Beskrivelse af de enkelte anlægsdele findes i de følgende afsnit.

Et standardanlæg har altid en bredde på 8 m og i en dybde på 1,5 m, som vist i figur 1.2. Længden af anlægget afhænger af den tilførte vandmængde, se kapitel 4.

### 1.2.1 Jordvold

Rundt om hele anlægget etableres en 0,30 m jordvold. Den skal forhindre overfladevand i at løbe ind i anlægget samt sikre opstuvningsmuligheder i selve anlægget ved store nedbørshændelser.

Efter etablering af anlægget skal der sås græs på jordvolden. Dette vil stabilisere jordvolden og modvirke erosion.



Figur 1.2. Tværsnit af pileanlæg. Øverst et traditionelt anlæg, nederst et anlæg med hævet fordelerrør.

### 1.3 Fordelersystem

Spildevandet fordeles over pileanlægget ved pumpning. Gravitation kan ikke anvendes, fordi fordelerrøret en del af året er vandfyldt.

#### 1.3.1 Pumpning

Fordeling ved pumpning sker ved anvendelse af en pumpebrønd og trykrør, der er forsynet med huller i bunden. Ved belastningen sættes hele systemet under tryk. Er tryktabet gennem rørene lille, men stort gennem hullerne vil vandet fordele sig stort set ligeligt over alle huller og dermed over anlægget.

Pumpebrønden skal være let tilgængelig for inspektion og rensning. Brønden forsynes med lugttæt dæksel, der har styrke svarende til færdselsbelastning. Pumpens kapacitet skal være tilstrækkelig til at sætte hele fordelersystemet under tryk (min. 2 meter vandspejl), ved tømning af pumpeumpen.

Pumpesumpen skal være så stor, at der ved hver pumpning udpumpes et volumen, der er mindst fem gange større end det samlede volumen af rørene i

trykssystemet. Pumpen bør ved normal belastning starte mindst 2 gange i døgn. Da trykledningen i pileanlæg ofte er lang, er det vigtigt, at pumpens størrelse og dimensionen på trykledningen/fordelerledningen, er beregnet for de aktuelle vandstrømme og længder.

Pumpen skal være VA-godkendt til ikke fækalieholdigt spildevand og forsynet med alarm for fejlfunktion. Det anbefales at føre alarmer ind i huset. Pumpen skal altid være forsynet med kontraventil af hensyn til hævertvirkning fra anlægget.

Alle spændebånd, skruer, koblinger m.v. skal være udført af korrosionsbestandigt materiale (f.eks. syrefast, rustfrit stål).

Fordelerrøret lægges midt i anlægget. Selve fordelingen starter ca. 4 m inde i anlægget. Fordelerrøret bør højst have en længde på ca. 25 m. Hvis fordelerrøret undtagelsesvis bliver over 25 m, bør der gennemføres en dimensionering af pumpebrønd, trykrør og fordelerrør.

Ved anlæg, der er længere end ca. 30 m, kan indpumpningen ske midt i anlægget og med fordelerrør til hver side.

Alle bøjninger skal forankres. Rørene lægges vandret.

Dimensionen af fordelerrøret skal være 32-63 mm.

Hulafstanden bør være ca. 1 meter og huldiameteren 8-10 mm. Hullerne placeres i den nederste del af rørene.

Ved præfabrikerede rør bør fabrikanten dokumentere pumpens og rørenes evne til at fordele vandet jævnt.

Enden af fordelerrøret bør afsluttes tilgængeligt med en trækfast lukning, som kan åbnes og anvendes ved gennemskylning af fordelerrøret. Afslutningen kan ske i inspektions- og tømmebrønden.

I pileanlæg skal det være muligt at pejle vandstanden i anlægget, samt evt. at tømme anlægget for vand. Dette kan ske gennem en minimum  $\varnothing 315$  mm inspektions- og tømmebrønd anbragt for enden af fordelerrøret. Brønden føres 0,3 m op over anlæggets overflade og afdækkes med et dæksel. Brønden placeres ca. 4 meter fra anlæggets afslutning.

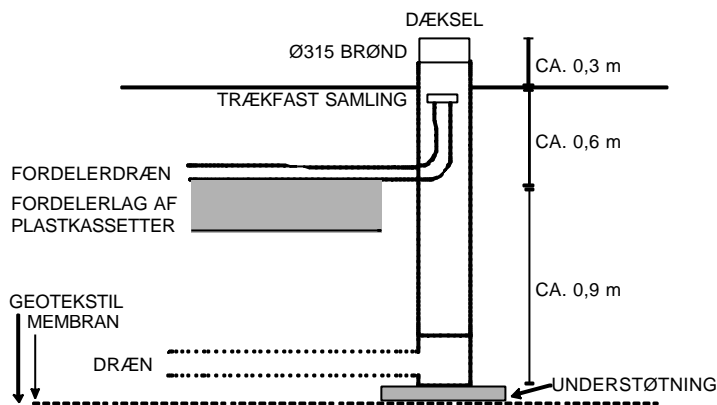
I bunden af anlægget lægges i midten, direkte over geotekstilet, et drænrør med en diameter på 90-120 mm (indvendig). Almindelige opspolede korrugerede drænrør af plast kan anvendes.

Drænet skal kunne spules fx gennem et  $\varnothing 110$  mm opføringsrør i den ene ende. Drænrøret skal tilsluttes inspektions- og tømmebrønden.

Rundt om drænrøret lægges et drænlag, opbygget af vaskede ærtesten (8-16 mm) eller tilsvarende i et 0,10 m tykt lag.

Drænlaget udlægges løst, og der må ikke køres med maskiner på laget. Alternativt kan drænrøret afdækkes med geotekstil af samme kvalitet, som det der dækker fordelerslaget.

Bunden af anlægget kan med fordel gives et tværfald mod drænrøret.



Figur 1.3.  
Inspektions- og tømmebrønd.

## 1.4 Anlæg, inklusiv fordelelag

### 1.4.1 Membran

Hele anlæggets bund og sider tættes med en stærk tæt membran placeret på et minimum 50 mm tykt lag ikke skarpt sand med  $d_{\max}$  mindre end 5 mm eller en beskyttende ikke vævet geotekstil med en tykkelse på mere end 1,5 mm (ved 2 kPa overlejringstryk). Andre typer geotekstil kan anvendes, hvis de dimensioneres efter DS/Inf. 466 "Membraner til deponeringsanlæg", afsnit 5.63, figur 5.1. Over membranen lægges en beskyttende ikke vævet geotekstil med samme materialeegenskaber. På siderne kan ikke placeres sand, hvorfor jorden i siderne af anlægget skal renses af for sten og andre skarpe eller spidse genstande, som kan skade membranen. Der anvendes således ofte geotekstil både på bund og sider inden udlægning af membranen.

Membranen skal være i eet stykke, evt. sammensvejt af flere stykker, og alle gennemføringer af rør udføres som tætte fleksible samlinger efter membranleverandørens anvisninger.

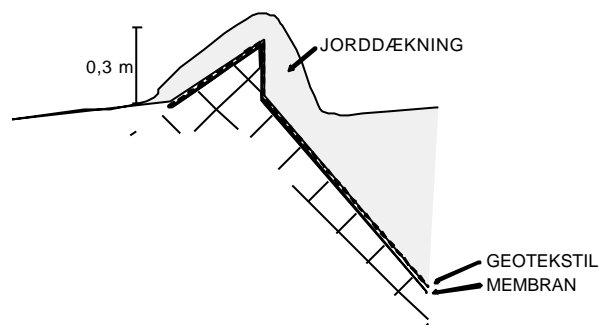
Membranen skal have en tykkelse på mindst 0,5 mm. Leverandøren bør som minimum give 10 års garanti på membranens holdbarhed i det miljø, den bliver anbragt i.

Der bør benyttes en membran af HDPE eller LPDE, mens der ikke må benyttes membraner med indlagt armering. En HDPE membran er ret stiv mens en LPDE membran er lettere at få til at ligge tæt ud mod jorden.

Der må ikke køres med maskiner på membranen eller i anlægget før efter rodsætning.

Membranen skal på alle sider af anlægget gå minimum 0,30 m over anlæggets overflade, se figur 1.4.

Membranen skal fra jordoverfladen i pileanlægget føres lodret 0,30 m op. Dette vil mindske nedbørsmængden i anlægget.



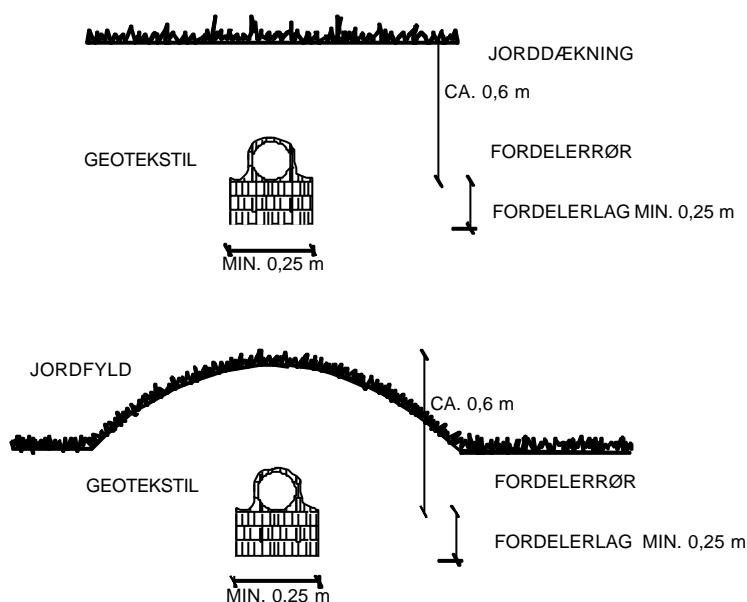
Figur 1.4.  
Detailskitse af membranens afslutning ved anlæggets kant.

Membranen skal på jordvolden dækkes af et lag jord på ca. 0,1 – 0,15 m som beskytter mod lys og mekanisk påvirkning.

#### 1.4.2 Fordeling af spildevandet

Spildevandet fordeles i anlægget gennem et fordelerrør anbragt midt i anlægget. Trykrøret fra pumpen kan enten føres igennem membranen med en vandtæt gennemføring eller over jordvolden. Når trykrøret føres over jordvolden skal røret have en jorddækning på ca. 0,5 m. Trykrøret skal føres 4 meter ind i anlægget, og derefter skal fordelerrøret begynde. Fordelerrøret skal ligge i frostfri dybde svarende til en lægningsdybde (til bundløb) på ca. 0,60 m. Fordelerrøret lægges uden fald.

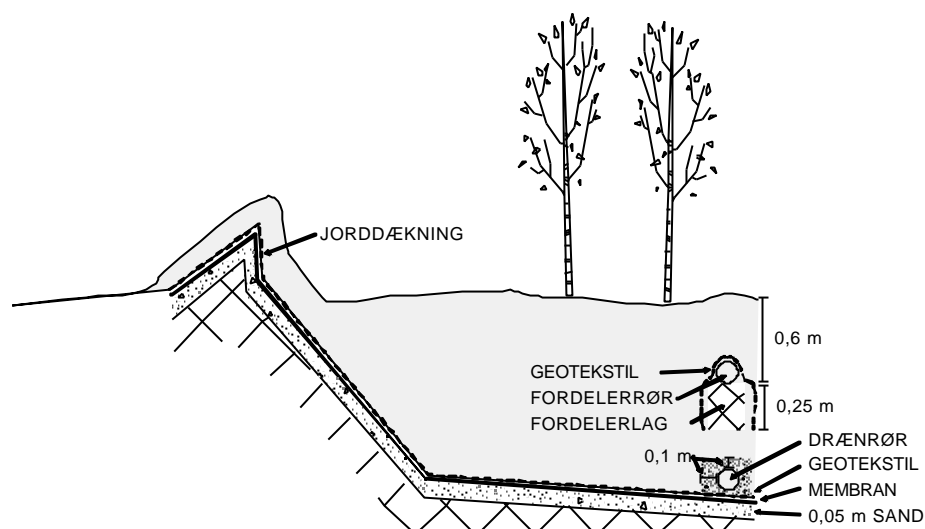
Fordelerrøret kan hæves. Det skal blot sikres, at røret stadig er frostfri, se figur 1.5.



Figur 1.5.  
Etablering af fordelerrør med vaskede nøddesten eller plastkassetter. Øverst et traditionelt fordelerrør i frostfri dybde, Nederst et hævet fordelerrør.

Fordelerrøret lægges oven på et fordelerlag, der enten består af vaskede nødden (16-32 mm) eller fordelingsenheder af plast med en stor hulrumsprocent. Fordelingsenhederne af plast har den fordel at de øger anlæggets oplagingskapacitet på grund af den store hulrumsprocent.

Fordelerlaget skal have en overflade på min. 1 m<sup>2</sup> (inkl. sider, top og bund) pr. meter fordelerrør. Fordelerlaget udlægges midt i anlægget og fordelerrøret lægges øverst i laget.



Figur 1.6.  
Tværsnit af pileanlæg med membran, fordelerlag og tømmedræn.

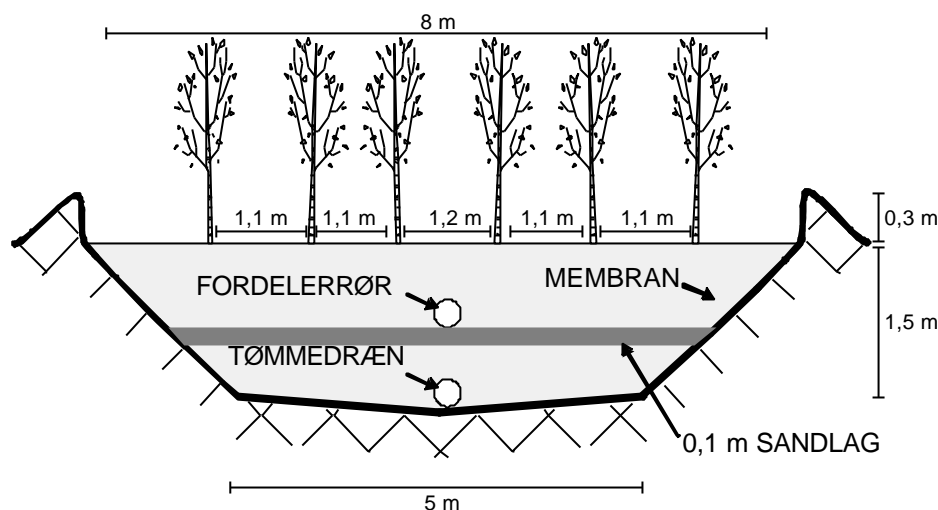
For at forhindre jord i at trænge ind i fordelerlaget udlægges geotekstil over fordelerrøret og de opadvendte og lodrette sider.

Geotekstilen skal være af en ikke vævet type, have en vandgennemtrængelighed på mindst 20.000 l/m<sup>2</sup>/døgn og en brudforlængelse på mindst 25%.

#### *Tætte jorde*

Hvis anlægget anlægges i tætte jorde som ler eller klæg, skal der indlægges et 0,1 m sandlag i hele anlæggets bredde lige under fordelerlaget. Hermed sikres, at vandet kan fordeles helt ud til anlæggets sider, se figur 1.7.





Figur 1.7.  
Skitse af pileanlæg med indbygget sandlag.

### 1.4.3 Tilbagefyldning

Den opgravede jord fyldes tilbage i anlægget. De nederste 0,2 m jord fra bunden af anlægget lægges til side og anvendes som dæklag øverst i anlægget. Denne jord er fri for ukrudtsfrø og vil derfor gøre vedligeholdelsen lettere det første år. Jorden kan også dækkes af med et lag sand.

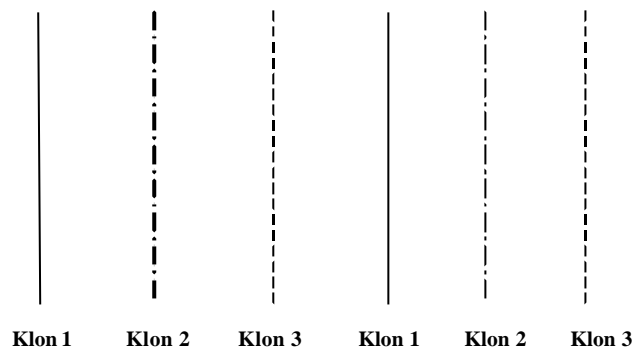
Overfladen af det færdige anlæg skal være vandret. Jorden må ikke sammenpresses ved kørsel med maskiner.

### 1.4.4 Beplantning

Pileanlæg skal beplantes i det tidlige forår fra medio marts til primo maj. Hvis anlægstidspunktet ikke passer med beplantningstidspunktet, kan anlægget etableres men uden spildevandstilførsel og beplantning. Når beplantningen så skal foregå i perioden marts-maj, tømmes anlægget for regnvand via inspektions- og tømmebrønden, anlægget beplantes, og spildevandet tilsluttes.

Der anvendes hurtigtvoksende energipilekloner, og der anvendes normalt tre forskellige kloner for at sikre en god sygdomsresistens i anlægget. Pilestiklingene skal være mindst 0,2 m lange. Pilene plantes i langsgående rækker med en afstand på ca. 1,1 m mellem rækkerne og ca. 0,35 m mellem de enkelte planter i rækkerne svarende til 2 stk. pil pr. m<sup>2</sup> anlæg. Over fordelerrøret holdes et område på 0,6 m på hver side af fordelerrøret fri for beplantning. Skulle der opstå problemer med fordelerrøret kan det graves op uden at anlægget ødelægges.

De forskellige pilekloner blandes ikke men plantes i hele rækker, se figur 1.8.



Figur 1.8.  
De forskellige pilekloner plantes i rækker.

Skulle en klon blive angrebet af sygdom så pilen går ud kan de andre kloner ”dække”, til der kan efterplantes.

Hvis stiklingerne har været nedkølet bør de lægges i vand et døgn inden de udplantes.

Ved plantningen sættes stiklingerne, så 150 mm er under jordoverfladen og kun 50 mm er over jordoverfladen. Knospidserne skal vende opad. Nogle leverandører farver den ende af stiklingerne, der vender opad for at sikre at de plantes korrekt.

Efter plantningen må stiklingerne ikke tørre ud. Inden for et par uger efter plantningen skal det kontrolleres om pilene er i vækst (spirer), og eventuelt efterplantes.

### 1.5 Udvidelse af anlæg

Hvis man gennem flere vintre har måttet fjerne vand fra overfladen af pileanlægget, tyder det på, at belastningen med spildevand og regnvand er blevet for stor, og at anlægget må udvides.

Udvidelsen af et pileanlæg kan ske ved, at man graver et nyt bassin efter det eksisterende, opbygget efter de samme principper. Fordelerrøret afmonteres i inspektions- og tømmebrønden, og fordelerledningen forlænges med en trykledning.

Denne nye trykledning føres gennem membranen i det eksisterende anlæg og ind i det nye anlæg med vandtætte samlinger. Alternativt kan trykrøret føres over de to jordvolde, blot det er dækket med ca. 0,5 m jord, så det er frostfrit.

4 m inde i det nye anlæg skal trykrøret fortsætte i et fordelerrør.



## 2 Opbygning af pileanlæg med nedsivning

### 2.1 Generelt

I et pileanlæg med nedsivning fjernes spildevandet dels ved fordampning og dels ved at spildevandet siver gennem jordlagene.

Med det vand, der fordampes, optager træerne en del af spildevandets indhold af næringsstoffer og metaller, som senere fjernes fra anlægget ved høst.

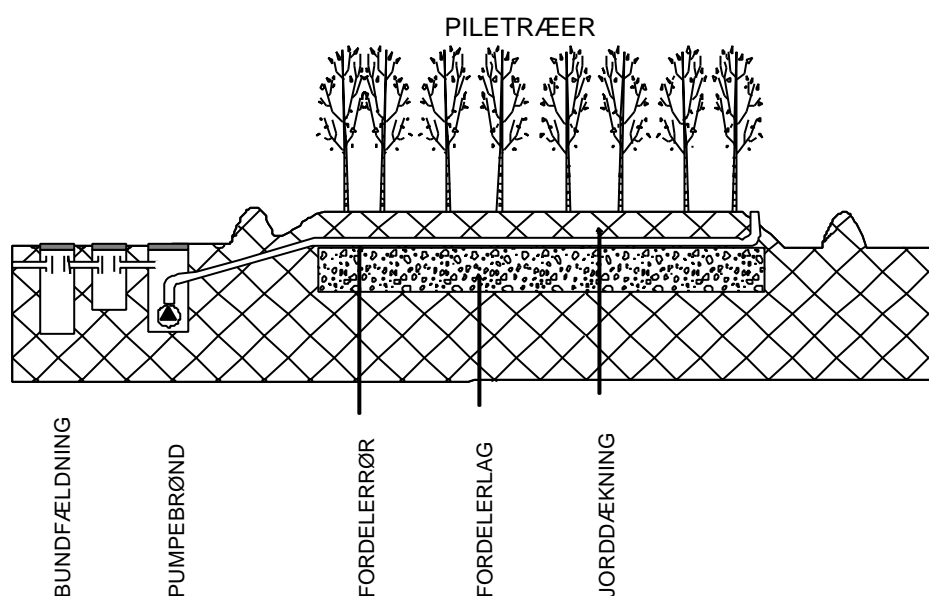
I det vand, der siver ned, vil der i den umættede zone (over grundvandsspejlet) ske en mikrobiel nedbrydning af spildevandets indhold af omsættelige stoffer under forbrug af ilt. Endvidere kan fx metaller og fosfor bindes til jordpartikler.

Et pileanlæg med nedsivning må kun belastes med spildevand, der har passeret en bundfældningstank, idet der ellers vil være stor risiko for hurtig tilstopning af anlæggets fordelersystem.

Fordelingen af det forrensede spildevand i anlægget sker ved pumpning. Fordelerrørene lægges øverst i et lag af vaskede nøddesten (16-32 mm) eller fordelingsenheder af plast, så vandet kan fordele sig til hele anlægget. Fordelerledninger lægges så højt i jorden som muligt.

Rundt om hele anlægget etableres en 0,30 m jordvold.

På figur 2.1 er opbygningen af et pileanlæg med nedsivning vist skematisk.

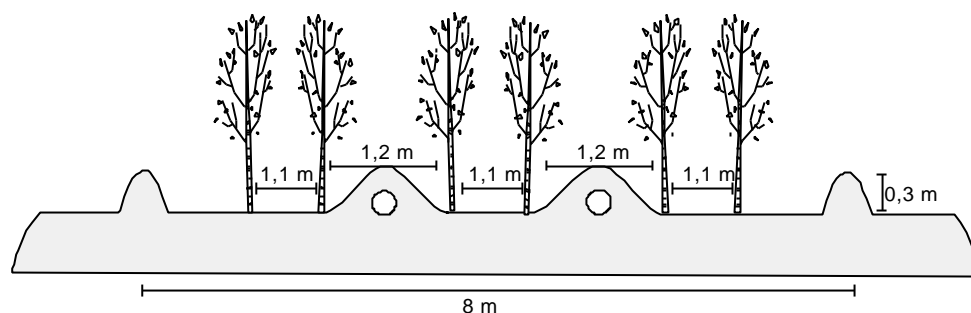


Figur 2.1.  
Skematisk opbygning af pileanlæg med nedsivning. (Længdesnit)

## 2.2 Standard anlæg

På de næste sider er opbygningen af pileanlæg med nedsivning vist. Beskrivelse af de enkelte anlægsdele findes i de følgende afsnit.

Et standardanlæg har altid en bredde på 8 m og 2 fordelerrør. Længden af anlægget afhænger af den tilførte vandmængde og jordens nedsivningsevne, se kapitel 4.



Figur 2.2.  
Tværsnit af pileanlæg med nedsivning.

### 2.2.1 Jordvold

Rundt om hele anlægget etableres en 0,30 m jordvold. Den skal forhindre overfladevand i at løbe ind i anlægget samt sikre opstuvningsmuligheder i selve anlægget ved store nedbørshændelser

Efter etablering af anlægget skal der sås græs på jordvolden. Dette vil stabilisere jordvolden og modvirke erosion.

## 2.3 Fordelersystem

Spildevandet fordeles over anlægget ved pumpning. Gravitation kan ikke anvendes, fordi fordelerrørene i vinterperioden vil være vandfyldte.

### 2.3.1 Pumpning

Fordeling ved pumpning sker ved anvendelse af en pumpebrønd og trykrør, der er forsynet med huller i bunden. Ved belastningen sættes hele systemet under tryk. Er tryktabet gennem rørene lille, men stort gennem hullerne vil vandet fordele sig stort set ligeligt over alle huller og dermed over anlægget.

Pumpebrønden skal være let tilgængelig for inspektion og rensning. Brønden forsynes med lugttæt dæksel, der har styrke svarende til færdselsbelastning. Pumpens kapacitet skal være tilstrækkelig til at sætte hele fordelersystemet under tryk (min. 2 meter vandspejl), ved tømning af pumpeumpen.

Pumpeumpen skal være så stor, at der ved hver pumpning udpumpes et volumen, der er mindst fem gange større end det samlede volumen af rørene i trykssystemet. Pumpen bør ved normal belastning starte mindst 2 gange i døgn. Da trykledningen i pileanlæg ofte er lang, er det vigtigt, at pumpeumpen

relse og dimensionen på trykledningen/fordelerledningen, er beregnet for de aktuelle vandstrømme og længder.

Pumpen skal være VA-godkendt til ikke fækalieholdigt spildevand og forsynet med alarm for fejlfunktion. Det anbefales at føre alarmer ind i huset. Pumpen skal altid være forsynet med kontraventil af hensyn til hævertvirkning fra anlægget.

Alle spændebånd, skruer, koblinger m.v. skal være udført af korrosionsbestandigt materiale (f.eks. syrefast, rustfrit stål).

Fordelerrørene lægges midt i anlægget med en afstand på ca. 2,3 m. Selve fordelingen starter ca. 4 m inde i anlægget. Fordelerrørene bør højst have en længde på ca. 25 m. Hvis fordelerrørene undtagelsesvis bliver over 25 m, bør der gennemføres en dimensionering af pumpebrønd, trykrør og trykfordelerrør.

Ved anlæg, der er længere end ca. 30 m, kan indpumpningen ske midt i anlægget og med fordelerrør til hver side.

Alle bøjninger skal forankres. Rørene lægges vandret.

Dimensionen af fordelerrørene skal være 32-63 mm.

Hulafstanden bør være ca. 1 meter og huldiameteren 8-10 mm. Hullerne placeres i den nederste del af rørene.

Ved præfabrikerede rør bør fabrikanten dokumentere pumpens og rørenes evne til at fordele vandet jævnt.

Enden af fordelerrørene bør afsluttes tilgængeligt med en trækfast lukning, som kan åbnes og anvendes ved gennemskylning af fordelerrørene. Afslutning kan eventuelt ske i en rens- og inspektionsbrønd.

#### 2.4 Fordelerlag og jorddækning

I pileanlæg med nedsivning bør fordelerrørene lægges så højt som muligt og gerne lige omkring jordoverfladen, hvor omsætningen af spildevandet er optimal.

Spildevandet fordeles i anlægget gennem fordelerrør. Fordelerrørene skal ligge frostfrit svarende til en afstand mellem jordoverflade og bundløb på ca. 0,6 m. Fordelerrørene lægges uden fald.

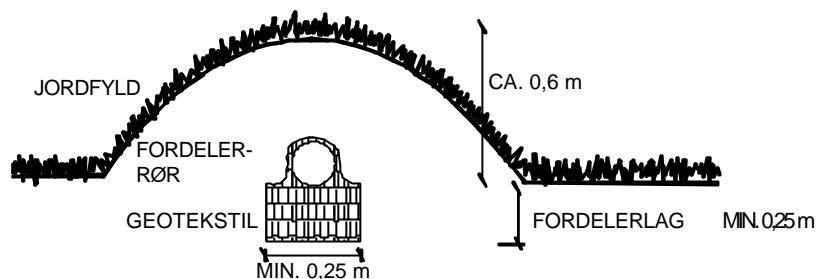
Fordelerrørene lægges oven på et fordelerlag, der enten består af vaskede nøddesten (16-32 mm) eller fordelingsenheder af plast med en stor hulrumsprocent. Fordelingsenhederne af plast har den fordel, at de øger anlæggets oplagringskapacitet.

Fordelerlaget udlægges så tæt på terræn som muligt, og fordelerrørene lægges øverst i laget.

Fordelerlaget skal have en overflade på min. 1 m<sup>2</sup> (inkl. top, bund og sider) pr. meter fordelerrør, se figur 2.3.

For at forhindre jord i at trænge inde i fordelerlaget udlægges geotekstil over fordelerrøret og de opadvendte og lodrette sider.

Geotekstilen skal være af en ikke vævet type, med en vandgennemtrængelighed på mindst 20.000 l/m<sup>2</sup>/døgn og en brudforlængelse på mindst 25%.



Figur 2.3.  
Etablering af fordelerlag og fordelerrør så tæt ved jordoverfladen som muligt.

Den eksisterende jord anvendes til jorddækning.

Jorddækningen bør være så tynd som mulig for at sikre en god ilttilførsel til fordelerlaget, men der må samtidig tages hensyn til frost (ca. 0,6 m fra jordoverflade til bundløb af fordelerrør).

Overfladen på det færdige anlæg skal være vandret.

Jorden må ikke sammenpresses ved kørsel med maskiner.

For at begrænse ukrudtsvæksten i første vækstsæson kan arealet dybdepløjes inden anlægsarbejdet startes. Alternativt kan det færdige anlæg dækkes med et lag sand.

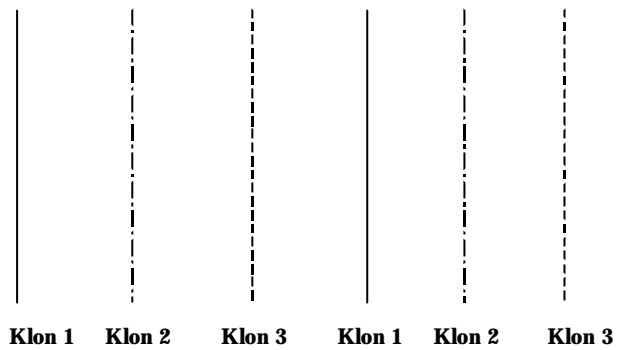
#### 2.4.1 Beplantning

Pileanlæg skal beplantes i det tidlige forår fra medio marts til primo maj.

Hvis anlægstidspunktet ikke passer med dette kan anlægget etableres men uden spildevandstilførsel og beplantning. Derefter foretages beplantningen i perioden marts-maj.

Der anvendes hurtigtvoksende energipilekloner, og der anvendes normalt tre forskellige kloner for at sikre en god sygdomsresistens i anlægget. Pilestiklignerne skal være mindst 0,2 m lange. Pilene plantes i langsgående rækker med en afstand på ca. 1,1 m mellem rækkerne og ca. 0,35 m mellem de enkelte planter i rækkerne svarende til en tæthed på 2 stk. pil pr. m<sup>2</sup> anlæg. Over fordelerrøret holdes et område på 0,6 m på hver side af fordelerrøret fri for beplantning. Skulle der opstå problemer med fordelerrøret kan det graves op uden at anlægget ødelægges.

De forskellige pilekloner blandes ikke men plantes i hele rækker, se figur 2.4.



Figur 2.4.  
De forskellige pilekloner plantes i række.

Skulle en klon blive angrebet af sygdom, så pilen går ud, kan de andre kloner ”dække”, til der kan efterplantes.

Hvis stiklingerne har været nedkølet, bør de lægges i vand et døgn, inden de udplantes.

Ved plantningen sættes stiklingerne, så 150 mm er under jordoverfladen og kun 50 mm er over jordoverfladen. Knospidserne skal vende opad. Nogle leverandører farver den ende af stiklingerne, der vender opad for at sikre, at de plantes korrekt.

Efter plantningen må stiklingerne ikke tørre ud. Inden for et par uger efter plantningen skal det kontrolleres om pilene er i vækst (spirer) og eventuelt efterplantes.





# 3 Spørgeskemaundersøgelse vedrørende lukkede pileanlæg

## 3.1 Baggrund og formål

I litteraturen refereres kun få praktiske erfaringer med drift af pileanlæg. For at etablere et empirisk baggrundsmateriale for udarbejdelsen af vejledningerne for pileanlæg blev der derfor gennemført en spørgeskemaundersøgelse blandt ejere af pileanlæg.

### 3.1.1 Undersøgelsens omfang og målgruppe

Der blev i efteråret 2001 udsendt spørgeskemaer til 100 husstande, der i perioden 1997 til 2001 har fået dimensioneret og projekteret deres pileanlæg af Peder Gregersen, Center for Recirkulering. Anlæggene er således konceptuelt sammenlignelige, og der foreligger et kendt beregningsgrundlag for hvert enkelt anlæg.

### 3.1.2 Spørgeskemaet

Spørgeskemaet blev primært udformet med henblik på at skaffe empirisk dokumentation for dimensioneringsprincipper, anlægs- og driftsøkonomi samt for at opsamle erfaringer med drift og udformning af anlæggene. Skemaet omfattede således konkrete spørgsmål til:

- Anlægstidspunkt
- Dimensionering og placering
- Belastningsforhold (personer og vandforbrug)
- Anlægs- og driftsomkostninger
- Tekniske detaljer omkring udformning af anlægget
- Beplantning
- Jordbund
- Driftsforhold
  - o vandmængder i anlægget over året
  - o pasning og høst af vegetation
  - o eventuelle driftsproblemer

## 3.2 Resultater

Af de 100 udsendte skemaer er 61 returneret i besvaret stand.

Af de 61 besvarelser fremgår det at 42 anlæg er etableret, og 39 er taget i brug, det vil sige, at der ledes spildevand til disse.

Af de 19 anlæg, der ikke var etableret i efteråret 2001, angiver ejerne af ni potentielle anlæg, at de syv afventer en tilladelse fra kommunen, mens to afventer kommunens spildevandsplan, fordi der muligvis kloakeres i området.

De syv anlægsværter, der fortsat afventer tilladelse fra kommunen, angiver behandlingstider hos kommunen mellem ni måneder og to år.

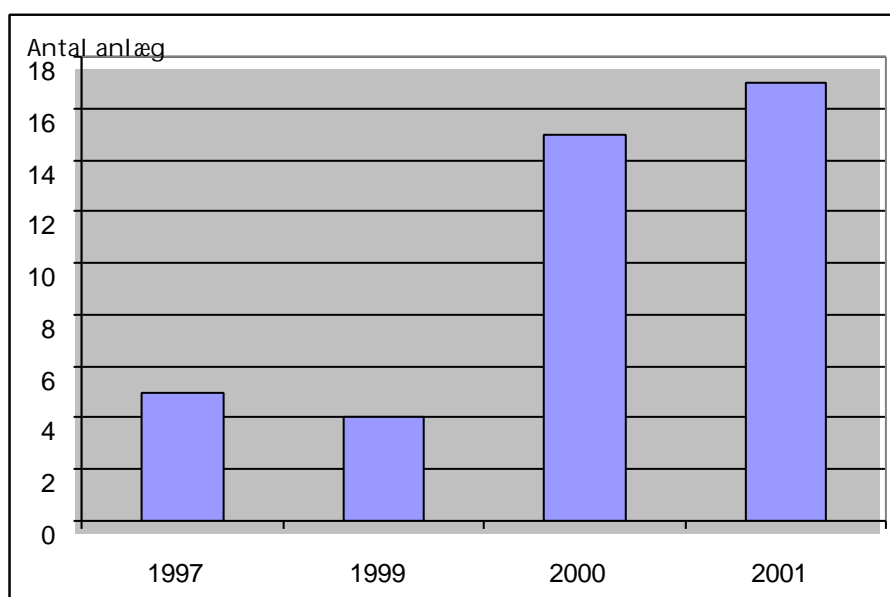
Blandt de resterende 10 potentielle anlægsejere forventede syv fortsat at etablere anlægget, mens én har etableret nedsivning på grund af pris, én overvejer at etablere nedsivning, og én er bekymret for, at arbejdsindsats med at passe anlægget bliver for stor.

I det følgende sammenfattes svarene på de væsentligste af de områder, spørgeskemaet dækker.

### 3.2.1 Anlægstidspunkt

Tidspunktet for etablering af de 42 færdige anlæg, der indgår i undersøgelsen, fremgår af figur 3.1. Af de 42 anlæg er 2 beplantet, men endnu ikke taget i brug til spildevand. Det skyldes at de er etableret på en tom grund forud for et forestående byggeri.

Som det ses af figuren, har pilen i størstedelen af anlæggene kun gennemgået en eller to vækstsæsoner, da spørgeskemaundersøgelsen blev gennemført i efteråret 2001.



Figur 3.1. Oversigt over anlægstidspunkt for de pileanlæg, der indgår i spørgeskemaundersøgelsen.

### 3.2.2 Anlæggenes dimensionering og belastning

Spørgeskemaundersøgelsen rummer anlæg i størrelsen 96-544 m<sup>2</sup>, der ud fra de givne dimensioneringskriterier svarer til 1,5 til otte personer. Der ses stor variation i vandforbruget blandt de 36 anlægsværter, der har leveret data til denne del af undersøgelsen. Det gennemsnitlige vandforbrug på 40 m<sup>3</sup> pr. person pr. år er lavere end det forbrug, der normalt anvendes ved dimensionering af spildevandsanlæg i det åbne land.

	Interval	Middelværdi
Antal personer tilsluttet anlægget	1,5-8	3,4
Vandforbrug (m <sup>3</sup> /person)	25-83	41
Anlægsstørrelse (m <sup>2</sup> )	96-544	276
Arealforbrug (m <sup>2</sup> /person)	47-176	81
Spildevandets andel af fordampningen (mm/år)	290-820	500

Figur 3.2.  
Sammenfatning af data for de 39 anlæg, der indgår i undersøgelsen.

Alle anlæg er dimensioneret på baggrund af en beregnet eller en målt spildevandsmængde for den enkelte husstand og den lokale normalnedbør (30 års gennemsnit). Ved dimensioneringen er forudsat en fordampning fra anlæggene på 1250 mm/år. Data for dimensionering og belastning af anlæggene findes opsamlet i afsnit 5.3.3, hvor de indgår i bestemmelse af den potentielle fordampning fra pileanlæg.

### 3.2.3 Anlæggenes udformning og funktion

Det generelle indtryk er, at der ikke er driftsmæssige problemer med de pileanlæg, der indgår i spørgeskemaundersøgelsen.

De tidligste anlæg, der blev etableret i 1997, blev alle fem oprindeligt bygget med et "membrandrypslangesystem" til spredning af vand på anlæggets overflade. Disse systemer, der gav problemer i frostvejr og med tilstopning, er alle siden modificeret til andre systemer, der udleder spildevandet på jordoverfladen i anlægget.

I de resterende 34 anlæg fordeles vandet *under* jorden i en faskine af sten eller exponetblokke, der typisk er placeret i 0,6 m dybde i hele anlæggets længde. Oven på faskinen er placeret en fordelerslange, som vandet pumpes ud igennem. Fordelerslangen og faskinen er indpakket i geotekstil med stor evne til vandgennemstrømning. Der beskrives ingen problemer med dette system til spredning af spildevandet i anlægget.

For to anlæg anføres det, at der kommer spildevand op på jordoverfladen, når der pumpes spildevand ud gennem fordelerslangen. Årsagen til dette er ikke klarlagt, men problemet kendes fra nedsivningsanlæg, hvor entreprenøren ved en fejl har placeret fordelerslangen med fordelingshullerne opad. En anden mulig forklaring kan være, at jorden i anlæggene er usædvanlig hårdt pakket, idet de begge er anlagt i lerjord på et tidspunkt, hvor jorden var meget våd.

Foruden disse problemer med selve pileanlæggene rapporterer flere anlægsejere om almindelige problemer med overrustede spændebånd, behov for eftermontering af tilbageløbsventiler og for skift af pumper.

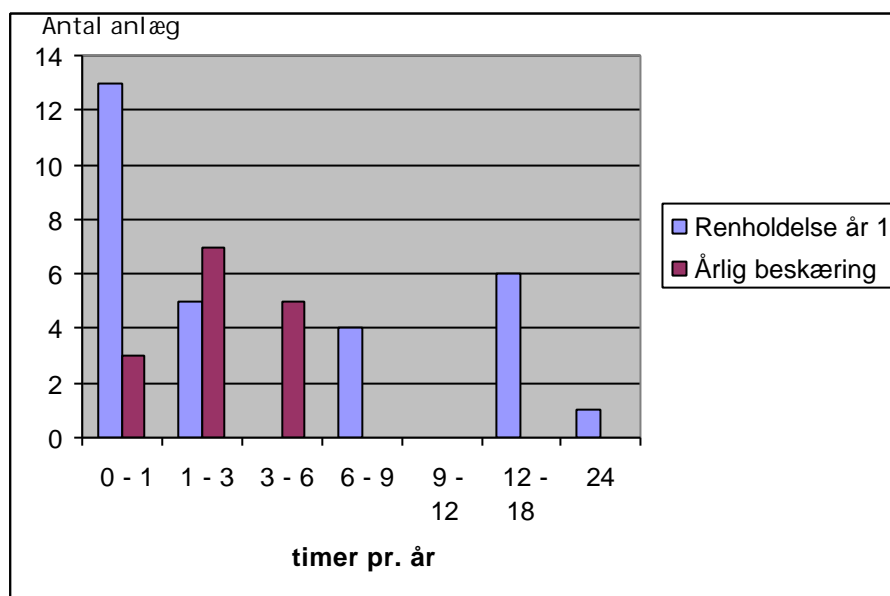
### 3.2.4 Anlægsvedligeholdelse og tidsforbrug

Anlægsejernes tidsforbrug til drift og pleje af pileanlæggene er belyst gennem 29 besvarelser af spørgsmålene om vedligeholdelse.

Besvarelsene dækker over både første år, hvor anlægget skal holdes fri for ukrudt, og de efterfølgende år, hvor den etablerede vegetation skal plejes og skæres ned.

Tidsforbruget til renholdelse første år fremgår af figur 3.3. Der er anvendt meget forskellige metoder til renholdelse første år - lige fra pletsprøjtning med Roundup over fræsning til hakning og håndlugning. Desuden har nogle anlæg været etableret med et sandlag, der har været fri for ukrudtsfrø øverst i anlægget. Endelig har anlægsejernes tærskel og interesse for renhed i anlægget stor indflydelse på den tid, der anvendes på lugning.

Der er besvaret spørgsmål om tidsforbrug for årlig beskæring for 15 anlæg. Resultatet fremgår af figur 3.3. Beskæring foregår i praksis enten ved hjælp af ørnenæb eller buskrydder med savklinge.



Figur 3.3. Tidsforbrug til renholdelse af anlægget det første år, hvor pilen etableres og til beskæring af pil de efterfølgende år.

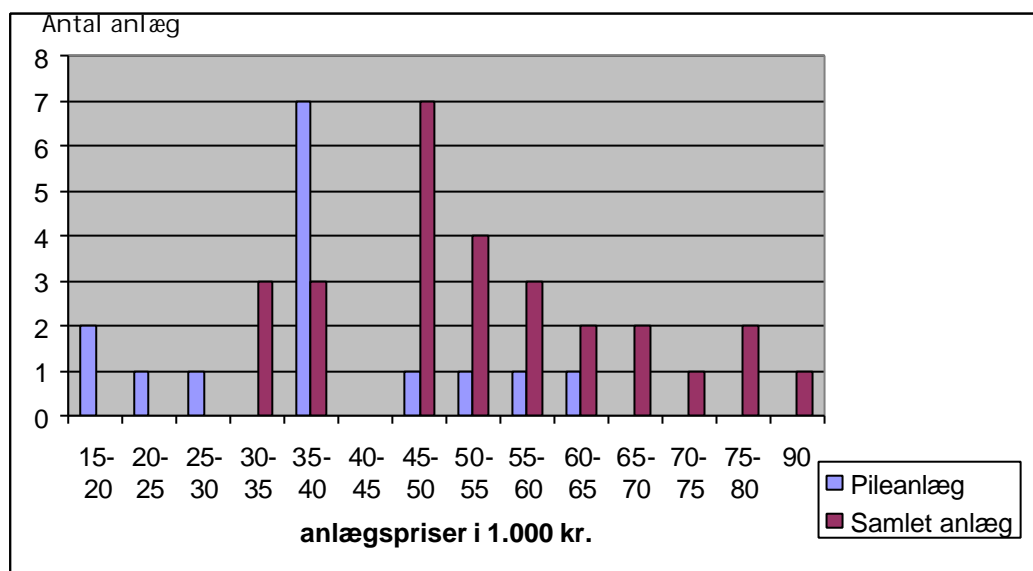
Enkelte anlægsejere beskriver tillige, at de på grund af mange besøgende på anlæggene bruger tid på at klippe græskanterne omkring anlægget om sommeren.

### 3.2.5 Etableringspriser

Ejerne af 34 anlæg har oplyst priser vedrørende etablering. Nogle har alene oplyst pris på anlægget totalt inklusive moms. Andre har benyttet sig af muligheden for at oplyse særskilte priser for bundfældning, pumpebrønd og pumpe samt anlæg. Atter andre har kun oplyst materialepriser for anlægget og pumpebrønd heraf nogle med og andre uden moms. 15 anlægsejere har oplyst materialepriser for pumpebrønd, pumpe, anlæg og arbejde således, at den rene anlægspris kan skilles ud. Der er i nogle tvivlstilfælde afgjort priser efterfølgende ved telefonisk henvendelse. Figur 3.4 sammenfatter undersøgelsens data for både de rene priser for pileanlæggene og priserne for det samlede anlæg (bundfældningstank, pumpebrønd og pileanlæg).

De to billigste anlæg er 8 x 20 m bygget 1997 til 15.000 kr. (inkl. moms) og 8 x 25 m bygget i 2001 til 18.500 kr. (inkl. moms). Disse priser omfatter alene pileanlægget. Ved anlægget fra 1997 er den bestående bundfældningstank anvendt til pumpebrønd. Ved begge anlæg har eneste hjælp fra ejeren været medhjælp ved lægning af membran og geotekstil samt plantning af pil. Dog har timelønnen til kloakmester ved anlægget fra 2001 været lav. De dyreste anlæg oplyses at have kostet henholdsvis 50.000 kr. (8 x 54 m), 51.000 kr. (8 x 35 m), 56.250 kr. (8 x 39,7 m) og 64.800 kr. (8 x 29,5 m) for pileanlægget alene. Det dyreste og mindste af disse anlæg ligger på Sjælland, hvor timeprisen for maskintimer generelt er højere end i Jylland.

Totalprisen for anlægget er oplyst i 33 tilfælde. I prisen indgår i nogle tilfælde etablering af kloakering til adskillelse af tag- og overfladevand, men altid spulebrønd, bundfældningstank, pumpestation og pileanlæg. Et anlæg fra 2001 på 8 x 25 m er billigst med 20.000 kr. (inkl. moms), mens et anlæg på 8 x 20 m fra 1997 har kostet 25.000 kr. (inkl. moms) totalt. For det dyreste anlæg, der er dimensioneret til 9 pe, er de totale omkostninger opgjort til 90.000 kr. (inkl. moms).



Figur 3.4. Antal af anlæg, der i undersøgelsen er anlagt til forskellige anlægspriser. Priserne dækker over hhv. pileanlægget alene (blå søjler) og det samlede anlæg (bundfældningstank, pumpebrønd og pileanlæg) (røde søjler) Alle priser er inkl. moms.

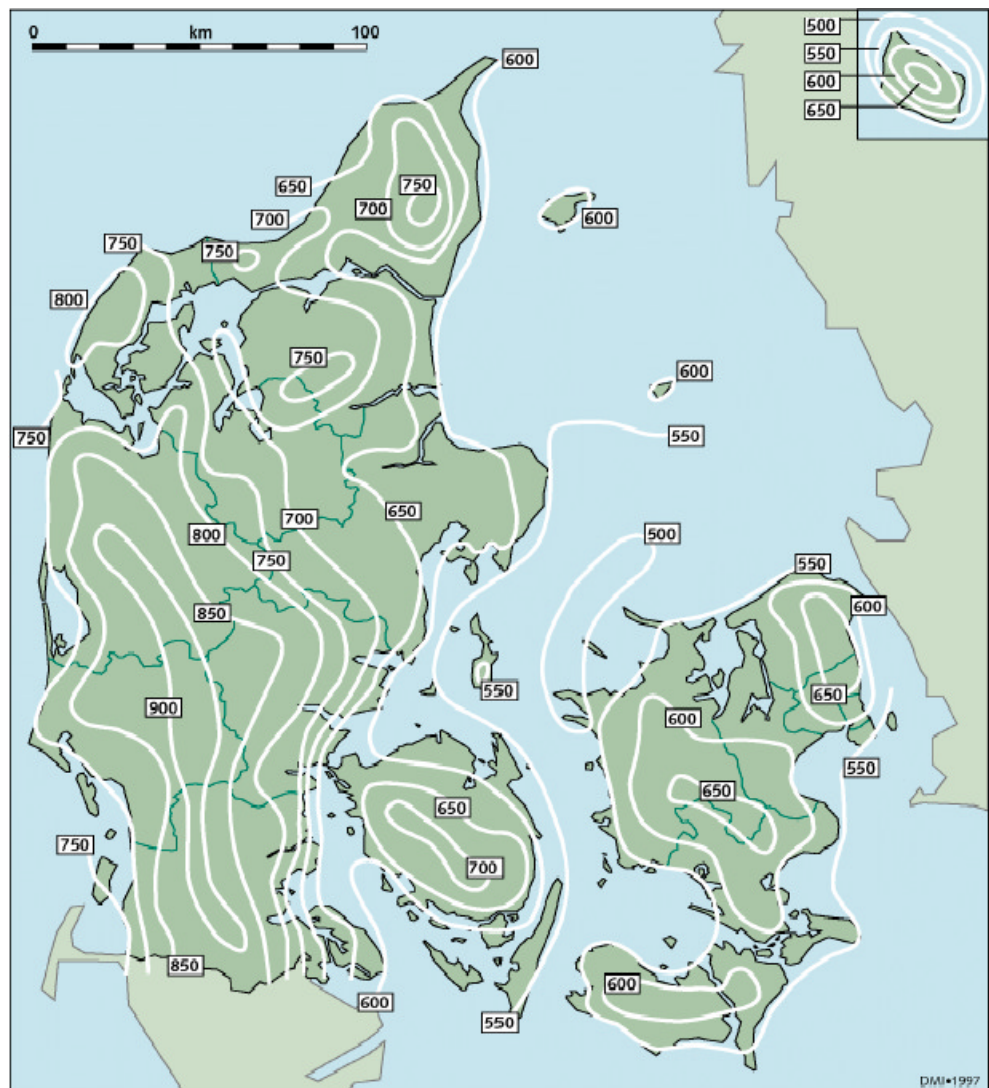
Sammenfattende ses ingen klar sammenhæng mellem anlægsår og -pris. Anlægsstørrelsen har derimod en vis indflydelse på prisen. På nær et enkelt anlæg stammer alle priser fra Jylland og Fyn. På Sjælland er prisniveauet erfaringsmæssigt noget højere.



# 4 Nedbørsstatistik

## 4.1 Baggrund og formål

Dimensioneringen af pileanlæg er afhængig af den aktuelle nedbør på lokaliteten samt forventet fordampling. Pileanlægget skal på årsbasis kunne fordampe alt vand, der tilføres anlægget som spildevand og som nedbør. Derfor er nedbørens geografiske fordeling i Danmark af betydning for dimensioneringen, ligesom udsving i nedbørsmængde fra år til år på den enkelte lokalitet har betydning for anlæggets størrelse.



Figur 4.1.

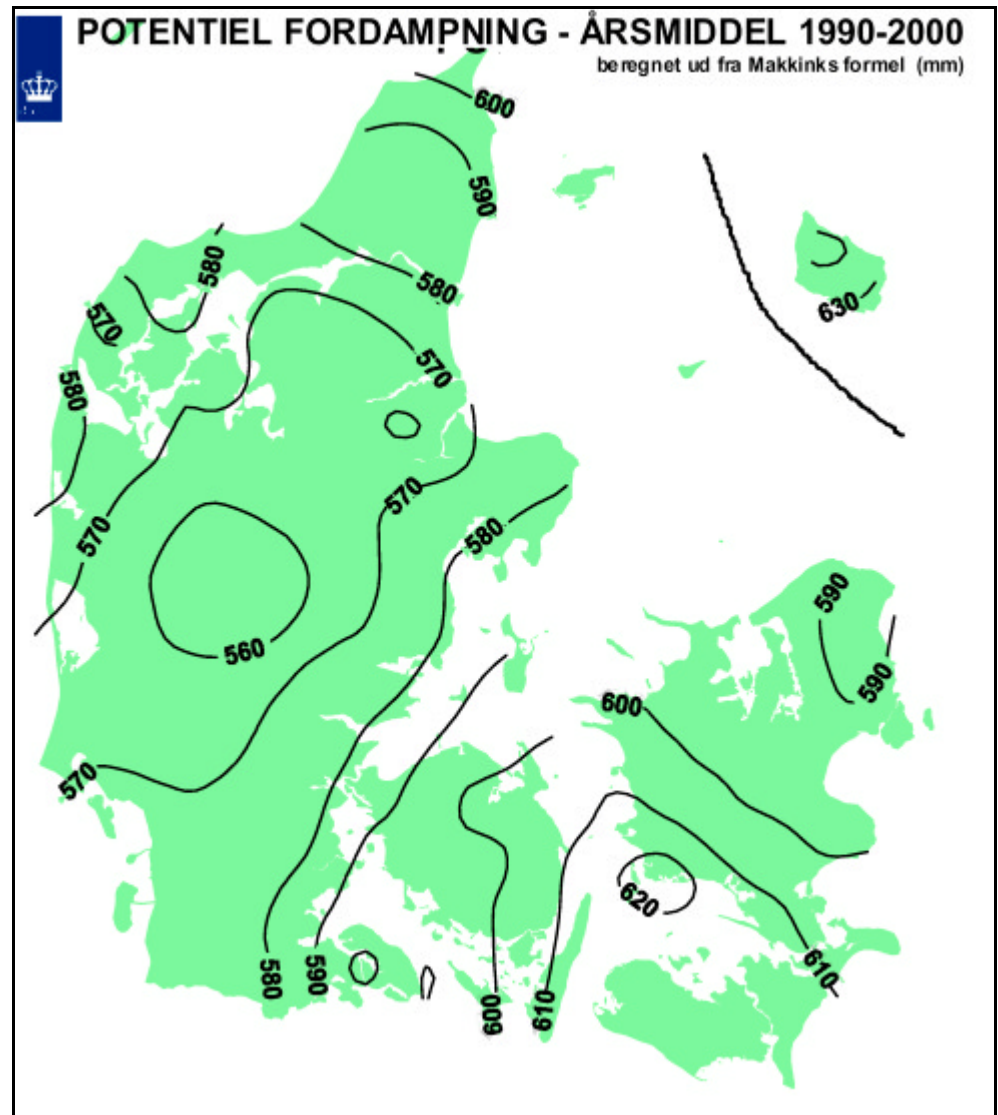
Observeret nedbørsfordeling i Danmark i perioden 1961-1990. Kortet er baseret på observerede data fra 300 målestationer (årsmiddel, mm/år). Fra /1/.



## 4.2 Nedbørsfordeling i Danmark

Danmarks Meteorologiske Institut har publiceret 30-års normaler for klimaet i Danmark baseret på observationer i det landsdækkende net af klimastationer i perioden 1961-1990 /2/. Normalværdierne er publiceret i såkaldte klimagrid, der dækker hele Danmark i en opløsning på 10x10 km, 20x20 km og 40x40 km.

Det fremgår af figur 4.1, at det generelt regner mindre i de kystnære områder end i de centrale dele af Danmark. De højeste nedbørsværdier forekommer i det indre af Jylland (>900 mm på årsbasis), mens der falder mindst nedbør på Sejerø, Samsø og ved Vestsjællands kyst (<550 mm på årsbasis).



Figur 4.2.  
Potentiel fordampning i perioden 1990-2000 beregnet ud fra Makkinks formel (Modificeret fra /2/).

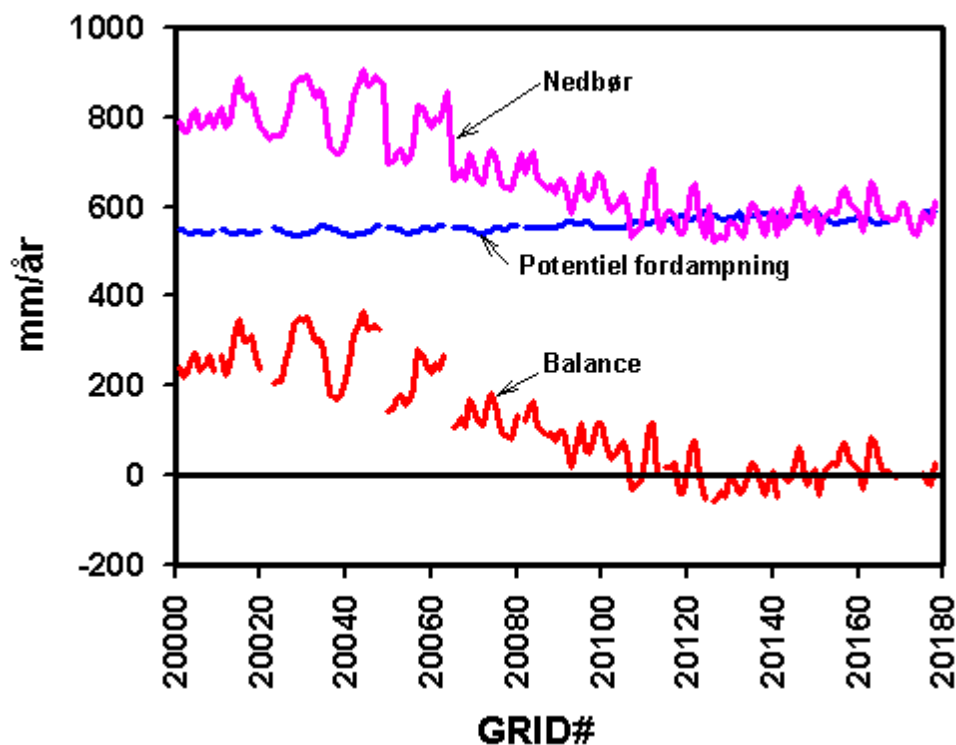
## 4.3 Potentiel fordampning

Den potentielle fordampning afhænger af de klimatiske forhold - især af globalindstrålingen, lufttemperaturen og vind - og beregnes af DMI ved hjælp af

den modificerede Penman formel eller Makkinks formel, der giver lidt højere værdier /2/. Variationerne i potentiel fordampning er relativt afdæmpede (figur 4.2). Der ses således kun mindre ændringer i fordampningen fra de kystnære områder, hvor fordampningen forventeligt er relativt højere, til de mere centrale landområder med generelt lavere fordampning. De højeste fordampningstal på årsbasis forekommer på Lolland-Falster og Bornholm (>620 mm), mens de laveste ses i det centrale Jylland (<560 mm).

#### 4.4 Balance mellem nedbør og fordampning

Figur 4.3 viser gennemsnitlig årlig nedbør og potentiel fordampning i DMI's 20x20 km gridnet samt det beregnede årlige nedbørsoverskud eller underskud (se afsnit 8 for placering af gridceller). Der er stor geografisk variabilitet i specielt nedbør (se også figur 4.4), hvilket betyder, at der i nogle områder af Danmark (Sønderjylland) er et nedbørsoverskud på over 300 mm per år, hvorimod der i andre områder af Danmark faktisk er et lille nedbørsunderskud (potentiel fordampning er større end nedbør).

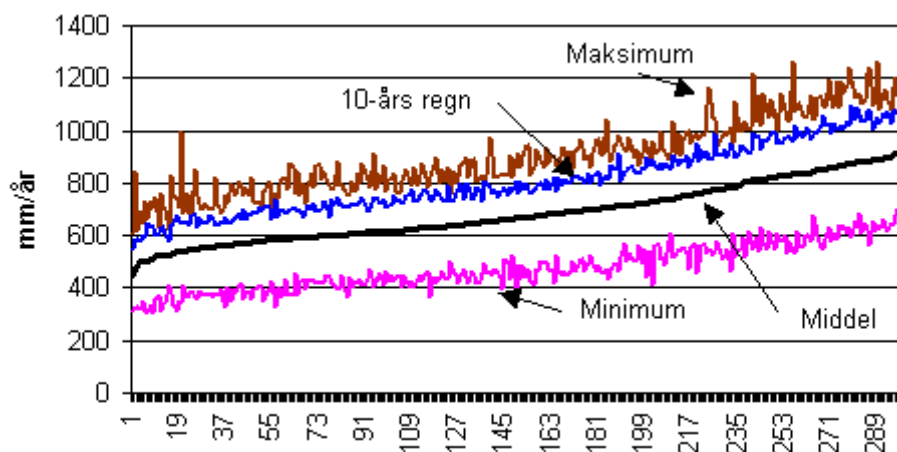


Figur 4.3. Gennemsnitlig årlig potentiel fordampning ( $ET_0$ ), årlig nedbør, og nedbørsoverskud eller underskud (balance) i Danmark i perioden 1961-1990. Data er baseret på estimerede værdier i 20x20 km gridceller (se /3/).

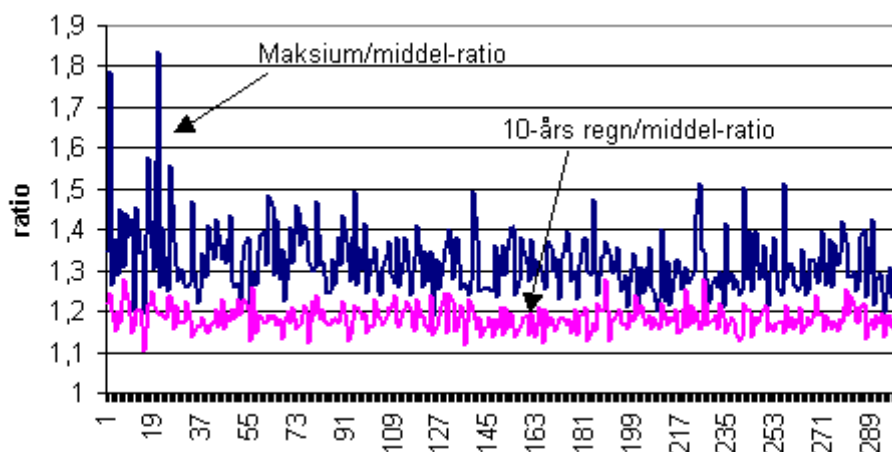
#### 4.5 Variation mellem år i nedbør

Ved dimensioneringen af pileanlæg skal der tages hensyn til variationer i nedbør mellem år. I figur 4.4 er nedbørsdata for 300 målestationer i perioden 1961-1990 plottet. Figuren viser dels den gennemsnitlige nedbør i perioden, den minimale og maksimale årsnedbør samt 90%-fraktilen, dvs. 9 ud af 10 år

vil årsnedbøren ligge under den givne værdi (10-års regn). I absolutte tal varierer den maksimale registrerede årsnedbør mellem 609 mm/år i 1988 på Christiansø (Bornholm) til 1273 mm/år i 1980 på station Toftlund i Sønderjylland. Den maksimale årsnedbør over en 30-års periode er gennemsnitligt 32% større end den gennemsnitlige årsnedbør, og 10-års regn er gennemsnitligt 18% større end den gennemsnitlige årsnedbør (figur 4.5); dvs. at 9 ud af 10 år vil årsnedbøren være mindre end den gennemsnitlige årsnedbør plus 18%.



Figur 4.4. Variation i årsnedbør over perioden 1961-1990. Figuren viser den gennemsnitlige, den minimale, den maksimale årlige nedbør, samt 90%-fraktilen (10-års regn) på 300 målestationer. Målestationer er sorteret efter gennemsnitlig årsnedbør (Data fra /1/).

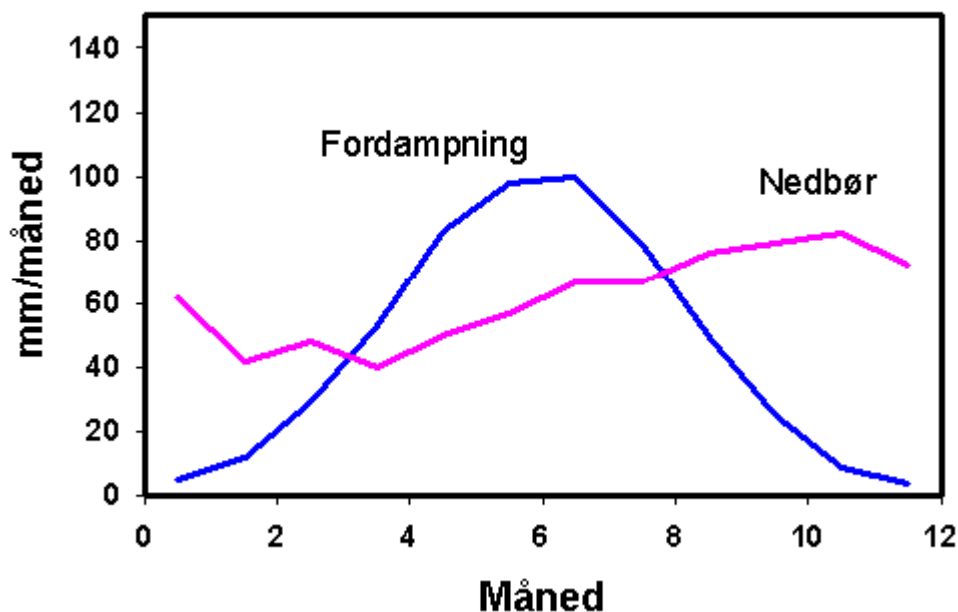


Figur 4.5. Forholdet mellem den maksimale årlige nedbør og den gennemsnitlige årlige nedbør i perioden 1961-1990, samt forholdet mellem 10-års regn og den gennemsnitlige årlige nedbør på 300 målestationer. Målestationer er sorteret efter gennemsnitlig årsnedbør (Data fra /1/).

#### 4.6 Årstidsvariation i nedbør og fordampning

Både nedbør og fordampning varierer over året. Nedbøren er generelt mindst om sommeren og størst om vinteren, hvorimod fordampningen er meget lav om vinteren og højest om sommeren (figur 4.6). Der er et nedbørsoverskud i

vinterhalvåret fra august til april, hvorimod der er et nedbørsunderskud i sommerperioden fra april til august. Dette har betydning for, hvor stort et volumen der skal være i pileanlæg til opmagasinering af vand i vinterhalvåret.



Figur 4.6.  
Eksempel på årstidsvariation i nedbør og potentiel fordampning i grid nr 20056 (Midtjylland).  
Data er gennemsnit for perioden 1961-1990.

#### 4.7 Korrigeret nedbør

Registrering af nedbør på de meteorologiske målestationer er behæftet med systematiske fejl som skyldes måleudstyrets opbygning og placering. De målte nedbørsmængder underestimerer generelt den faktiske nedbør på grund af vindeffekter og wettingtab, der især er store når der falder sne. De registrerede nedbørsværdier skal korrigeres for disse systematiske fejl for at få den reelle nedbør.

Danmarks Meteorologiske Institut /4 og 5/ har publiceret standardværdier for korrektion af målt nedbør i form af en tabel indeholdende måneds- og årsværdier. Der er taget hensyn til læforholdene omkring nedbørsmåleren, idet der er beregnet standardværdier for tre lækategorier. Korrektionen er størst for frit-eksponerede målere og varierer fra ca. 12% i sommermånederne til ca. 50% i vintermånederne, hvor nedbør der falder som sne giver anledning til store fejl som følge af vindeffekten. På stationer med moderate læforhold, som forekommer ved ca. 65% af det samlede antal målestationer, er vindhastigheden lavere, og de nødvendige korrektioner mindre.

Da nedbørkorrektionen er større om vinteren end om sommeren, har korrektionen betydning for nedbørsfordelingen over året og dermed potentielt betydning for det nødvendige volumen af pileanlæg til opmagasinering af vand. Korrektionsfaktorerne, som kan anvendes på gridværdier, fremgår af figur 4.7. Standard korrektion af en månedsværdi for en gridcelle fås ved at gange månedsværdien med korrektionsfaktoren /6/. Er den gennemsnitlige registre-

rede månedsnedbør i januar f.eks. 70 mm, fås den faktiske nedbør ved at multiplicere med 1,41 – dvs. den faktiske nedbør i januar bliver  $70 \times 1,41 = 99$  mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ar
Korrektion (%)	41	42	35	24	13	11	10	10	11	14	23	37	21

Figur 4.7.

Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrektioner (%) for vindefekt og wettingtab ved målestationer med moderat læ. Fra /4/.

#### 4.8 Referencer

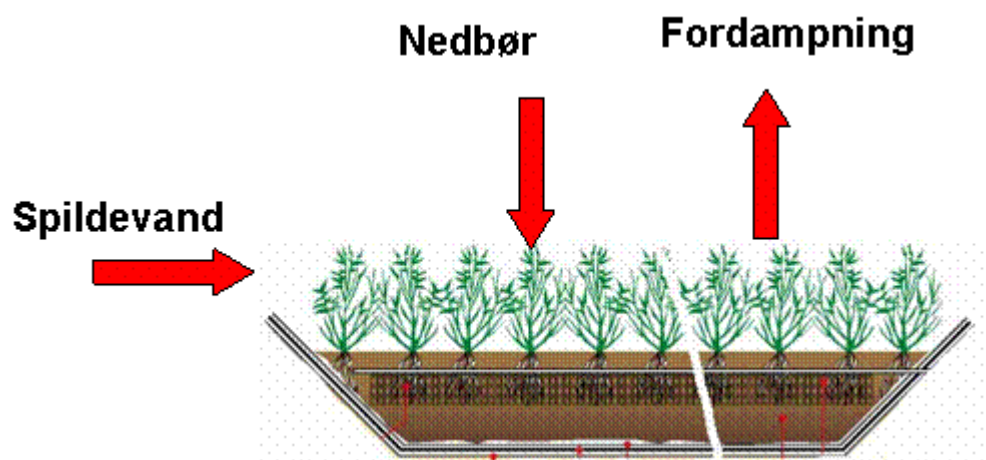
- [1] Frich,P., Rosenørn,S., Madsen,H., & Jensen,J.J. 1997.Observed Precipitation in Denmark 1961-90. Technical Report 97-8, 1-38. Copenhagen, Danish Meteorological Institute.
- [2] Scharling,M. & Kern-Hansen,C. 2002. Klimagrid-Danmark. Nedbør og fordampning 1990-2000. Beregningsresultater til belysning af vandbalancen i Danmark. Technical Report 02-03, 1-16. Copenhagen, Danish Meteorological Institute.
- [3] Scharling,M. 2000.Klimagrid-Danmark. Normaler 1961-90. Månedso- og årsværdier: Nedbør 10\*10, 20\*20 & 40\*40 km, temperatur og potentiel fordampning 20\*20 & 40\*40 km. Metodebeskrivelse & datasæt. Technical Report 00-11. Copenhagen, Danish Meteorological Institute.
- [4] Allerup,P., Madsen,H., & Vejen,F. 1998.Standardværdier (1961-90) af nedbørkorrektioner. Technical Report 98-10. Copenhagen, Danish Meteorological Institute.
- [5] Vejen,F., Madsen,H., & Allerup,P. 2001.Korrektion for fejlkilder på måling af nedbør. Teknisk Rapport 01-09. Copenhagen, Danmarks Meteorologiske Institut.
- [6] Scharling,M. & Kern-Hansen,C. 2000. Praktisk anvendelse af nedbørkorrektion på gridværdier. Tabeller samt kort over sammenhæng mellem nedbørkorrektionsregioner og gridceller. Technical Report 00-21. Copenhagen, Danish Meteorological Institute.

# 5 Vandbalance

Pileanlægs evne til at fordampe vand indgår som en vigtig faktor i dimensioneringen af anlæggene. For lukkede anlæg (anlæg med membran) skal anlæggene på årsbasis være i stand til at fordampe både den mængde regn, der falder i anlægget, og det spildevand der tilledes anlægget.

$$\text{Fordampning} = \text{Nedbør} + \text{Tilført spildevand}$$

Derudover er årstidsvariation i fordampning og i nedbør vigtig for at bestemme det nødvendige bassinvolumen til opmagasinering af vand i vinterperioden.



Figur 5.1.

Vandbalance i et lukket pileanlæg. På årsbasis skal fordampningen være lig med summen af nedbør og spildevandsmængde.

## 5.1 Fordampning

Fordampning beskriver den proces, der foregår, når vand omsættes fra væskeform til dampform. I pileanlæg fordamper vand fra anlægget ved tre processer: (i) vand fordamper direkte fra jordoverfladen ved en proces, der kaldes evaporation; (ii) vand fordamper fra planternes grønne dele ved en proces, der kaldes transpiration; og (iii) endelig sker der en fordampning af regn, der fanges på blade og grene, ved en proces der kaldes interception af nedbør. Den samlede fordampning fra et anlæg er summen af de tre og benævnes total evaporation (total fordampning) eller evapotranspiration.

### 5.1.1 Evaporation

Begrebet evaporation anvendes til at beskrive den proces, hvorved vand omdannes til vanddamp og føres bort i atmosfæren. Evaporation er en proces, der kræver tilførsel af energi (vands fordampningsvarme,  $\lambda = 2,45$  MJ/kg ved  $20^\circ\text{C}$ ). Denne energi kommer hovedsageligt fra solen, men også den omgi-

vende luft kan afgive varme (energi) til evaporation og derved selv blive afkølet. Den dannede vanddamp diffunderer bort fra den våde overflade på grund af forskelle i vanddamptryk ved overfladen og i den omgivende luft. Den omgivende luft vil efterhånden blive vandmættet som følge af evaporationen, hvorved processen bliver langsommere og kan gå helt i stå, hvis vanddampen ikke transporteres bort til atmosfæren. Vind er af stor betydning for at udskifte den fugtige luft med tør luft fra omgivelserne og dermed vigtig for størrelsen af evaporationen. Evaporationen påvirkes således af solindstråling, lufttemperatur, luftfugtighed og vindhastighed.

Tilgængeligheden af vand ved jordoverfladen og graden af skygge fra planter har også betydning for størrelsen af evaporationen fra jorden. Såfremt de øverste jordlag tørrer ud, falder evaporationen fra jorden kraftigt. Ligeledes vil evaporationen fra jordoverflader, der er dækket af f.eks. nedfaldne blade, blive kraftigt reduceret.

### 5.1.2 Transpiration

Transpiration er betegnelsen for vandtabet til atmosfæren fra levende planter. Planter mister især vand til atmosfæren gennem bladenes spalteåbninger (stomata), men der kan også mistes vand ved fordampning gennem planternes overflade. Omdannelsen af vand fra væskeform til dampform sker inde i hulrummene i planternes blade, og herfra diffunderer vanddamp gennem spalteåbningerne til den omgivende luft. Planter kan regulere tabet af vanddamp ved at åbne og lukke spalteåbningerne. Dette sker ofte, hvis planterne lider af vandmangel.

Transpiration kræver - ligesom evaporation fra jord - tilførsel af energi. Transpirationen påvirkes af solindstråling, lufttemperatur, luftfugtighed og vindhastighed. Endvidere kan vandtilgængeligheden i jorden samt faktorer som salinitet og plantetype have betydning for transpirationen.

### 5.1.3 Interception

Tabet af vand ved interception kan defineres som forskellen mellem den totale mængde nedbør, der falder på bevoksningen, og den mængde nedbør der passerer plantens øvre dele og når jordoverfladen. For træer og skove kan tabet af vand ved interception være af betydeligt omfang (typisk 20-40% af nedbøren). Fordampningen fra en træbevoksning, der har stor interception af nedbør, er derfor betydeligt større end fordampningen fra en urte- eller afgrødebevoksning.

Der er to hovedårsager til det øgede vandtab. For det første udgør træer en meget ru overflade for vind, hvilket bevirker, at der er større grad af turbulent flow i luften i trækronen sammenlignet med i luften over en urteafgrøde. Dette bevirker, at transporten af vanddamp væk fra bladene til den omkringliggende luft bliver en størrelsesorden mere effektiv. For det andet vil der ved interception dannes en vandfilm på plantens overflade, hvorfra vand let kan fordampe uden at skulle passere en spalteåbning.

Tabet af vand ved interception er hovedsageligt afhængigt af strukturen af trækronen, der bestemmer, hvor meget vand der kan bindes til overfladerne samt nedbørsmængde og nedbørens fordeling i tid. Ved korte, intensive regnskyl er mængden af vand, der kan bindes til planternes overflade af stor be-

tydning for vandtabet. Ved mere langvarige og lavintensive regnhændelser er raten, hvormed vandet kan fordampe fra planteoverfladen vigtig for tabet, idet der under disse regnhændelser kan ske en stor fordampning til atmosfæren. Det skyldes, at det turbulente flow i luften sikrer en effektiv bortførelse af vanddampen - selv under regn.

#### 5.1.4 Total evaporation

Evaporation og transpiration foregår simultant, og der er ingen let måde at adskille de to processer på. Evaporation dominerer på bar og sparsomt bevokset jord, men når vegetationen dækker hele jordoverfladen, og der ikke trænger solindstråling ned på jordoverfladen, bliver evaporationen fra jordoverfladen minimal. Evaporation sker også fra overfladen af våde planter under og efter regn. I det totale vandbudget for en bevoksning er det imidlertid ikke afgørende, om vandtabet skyldes evaporation eller transpiration. Derfor anvendes ofte betegnelsen total evaporation, der er summen af evaporation fra jord og våde planteoverflader og transpiration. Begrebet "evapotranspiration" anvendes ofte som en betegnelse for den mængde vand, der tabes ved fordampning, men betegnelsen total evaporation er mere korrekt, idet vand, der transpireres af planterne, også evaporeres, blot i planternes indre. I landbrugs-sammenhæng anvendes begrebet fordampning ofte synonymt med total evaporation og evapotranspiration, hvilket vi også vil gøre i denne rapport.

Fordampning angives normalt i mm per tid. Raten angiver mængden af vand tabt fra en overflade målt i vanddybde (på tilsvarende måde som nedbør). Vanddybder kan imidlertid også udtrykkes i energienheder per overfladeenhed. Energien refererer til den mængde energi (eller varme), der kræves for at overføre vand fra væskeform til vanddamp. Vands fordampningsvarme ( $\lambda$ ) er 2,45 MJ/kg, dvs. der kræves 2,45 MJ for at fordampe 1 kg eller 0,001 m<sup>3</sup> vand. Der kræves således en energitilførsel på 2,45 MJ per m<sup>2</sup> for at fordampe 0,001 m eller 1 mm vand, og derfor er 1 mm vand ekvivalent med 2,45 MJ/m<sup>2</sup>.

#### 5.1.5 Potentiel evaporation (=potentiel fordampning)

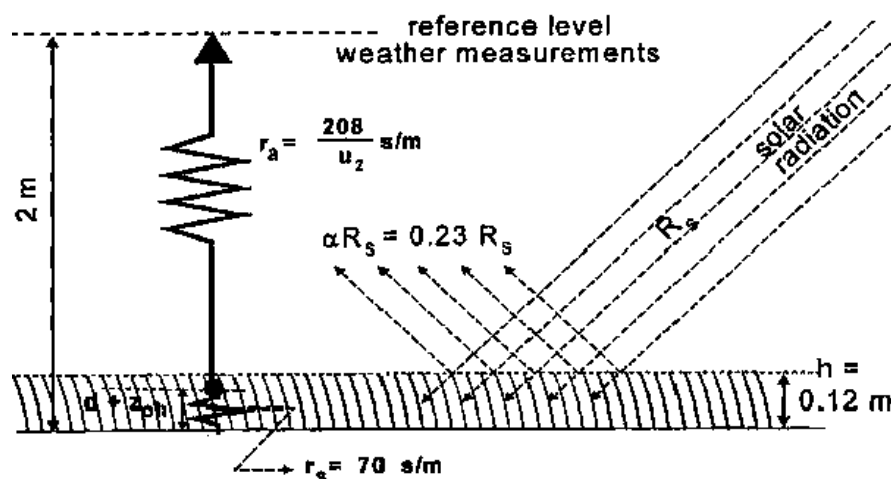
Begrebet potentiel evaporation blev først defineret af Penman /1/ som fordampningen fra en fri vandoverflade, men der er generelt nogen forvirring omkring begrebet, idet det ofte bruges til at beskrive den maksimale fordampning fra forskellige typer af bevoksninger og afgrøder. Potentiel evaporation eller potentiel evapotranspiration er dog en meget brugbar parameter, der beskriver en øvre grænse for, hvor stor den totale fordampning kan være i et givet miljø.

De vigtigste parametre, der bestemmer den potentielle fordampning, er solindstråling, lufttemperatur, fugtighed og vindhastighed. Fordampningen af vand kræver energi, der kan tilføres enten som stråleenergi eller varmeenergi. Derfor er fordampningens størrelse begrænset af, hvor meget energi der tilføres bevoksningen. Den potentielle fordampning kan beregnes ud fra kendskab til energi input, idet den mængde energi, der tilføres, skal modsvare den energi, der forbruges i en bevoksning. Der er i tidens løb udviklet mange forskellige mere eller mindre raffinerede metoder til bestemmelse af den potentielle fordampning baseret på dette princip om konservering af energi. Danmarks Meteorologiske Institut anvender i deres Klimagrid Danmark en modificeret Penman formel /2/, hvori indgår registreret globalstråling, temperatur, relativ fugtighed og vindhastighed samt nogle empirisk bestemte konstanter. Den



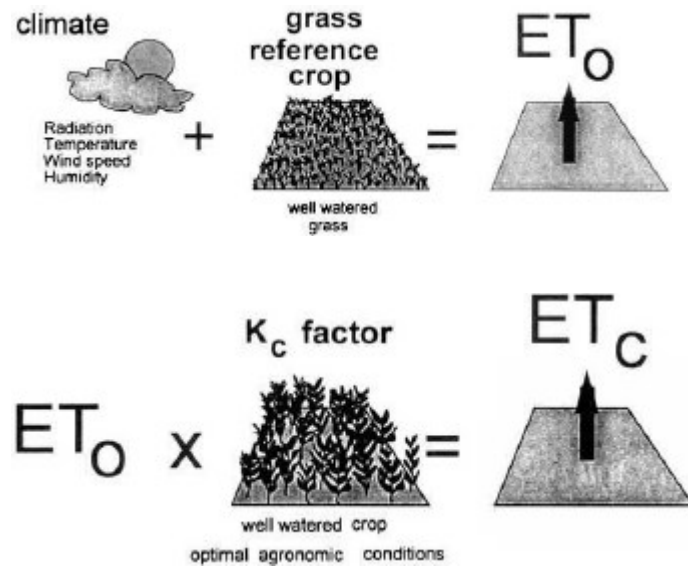
potentielle fordampning estimeret med denne metode repræsenterer den maksimale fordampning fra en klippet græsbevoksning, der ikke på noget tidspunkt lider af vandmangel.

Allen et al. /3/ definerer en "reference afgrøde evapotranspiration ( $ET_0$ )" som den potentielle fordampning fra en 'hypotetisk reference afgrøde med en højde på 12 cm, en overflade modstand på  $70 \text{ s m}^{-1}$  og en albedo på 0,23' (figur 5.2). Reference afgrøden ligner til forveksling en bevoksning af lavt, grønt græs med ensartet højde, i god vækst, af en tæthed, så jordoverfladen skygges fuldstændigt, og med tilstrækkelig vandforsyning. Bevoksningen skal have en stor udstrækning og være ensartet, fordi alle fluxe antages at være én-dimensionale. Modellen tager ikke hensyn til situationer med øget turbulens, f.eks. som følge af større ruhed i bevoksningen (som hos træer).



Figur 5.2. Karakteristik af den hypotetiske reference afgrøde. På baggrund af måling af klimaet i 2 meters højde kan den potentielle fordampning beregnes. Fra /3/.

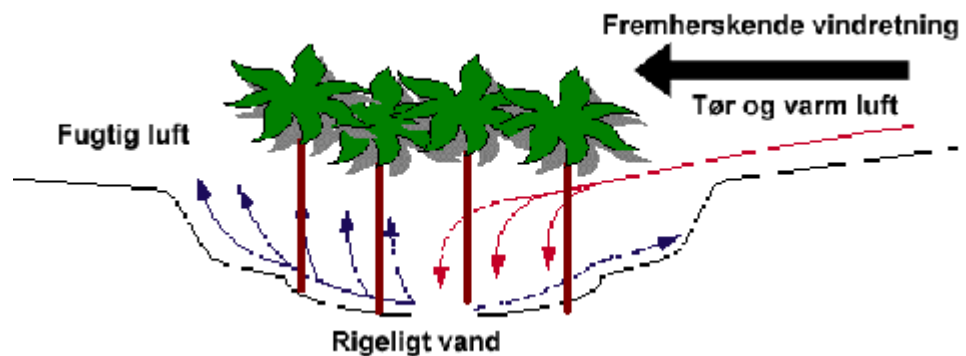
Allen et al. /3/ definerer også en "afgrøde koefficient ( $K_c$ )" for at beskrive fordampningen fra forskellige typer af planter i forhold til reference værdien ( $ET_0$ ).  $K_c$  er forholdet mellem den aktuelle fordampning og reference afgrøde fordampningen.  $K_c$  tager hensyn til effekten af plantetype og aerodynamisk modstand i forhold til reference afgrøden (figur 5.3). Afgrødekoefficienten antager ofte værdier, der er mindre end én (dvs. den aktuelle fordampning er mindre end reference afgrødens), men for visse typer af planter og på særlige tidspunkter af året kan afgrødekoefficienten være betydeligt større end én.



Figur 5.3. Reference afgrøde evapotranspiration ( $ET_0$ ) er bestemt af de klimatiske forhold (øverste panel). Hvis afgrøden afviger fra referenceafgrøden f.eks. i højde, tæthed, mv., modificeres  $ET_0$  med den såkaldte afgrødekoeficient ( $K_c$ ). Fra /3/.

#### 5.1.6 Oase effekt

Oase effekten er et fænomen, der opstår, når en bevoksning med rigeligt vand i jorden omgives af relativt tørre områder, f.eks. en ørken (figur 5.4). Varm og tør luft fra de tørre omgivelser vil passere bevoksningen og afgive varme til fordampning og fraføre vanddamp ved advektion /4-6/.

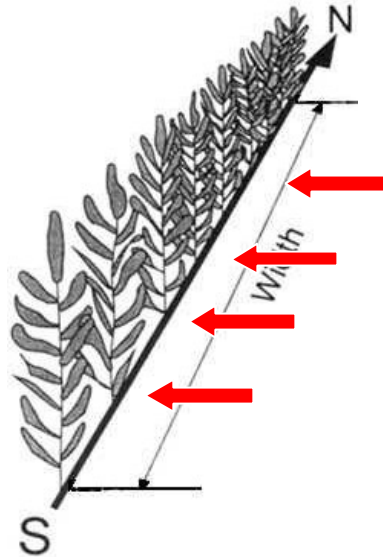


Figur 5.4. Oase effekt: Vandindholdet i jorden er højere under vegetationen end i omgivelserne. Varm og tør luft fra de tørre omgivelserne blæser gennem bevoksningen, afgiver varme og øger fordampningen.

### 5.1.7 Tøjsnors effekt

Den såkaldte tøjsnors effekt (figur 5.5 og 5.6) findes hos planter, der vokser på række, og som er væsentligt højere end planterne i omgivelserne (f.eks. læbælter).

På grund af vindpåvirkning vil luftudskiftningen – og dermed både tilførsel af energi fra luften og fraførsel af vanddamp – være større end i en ensartet høj bevoksning /3/.



Figur 5.5.

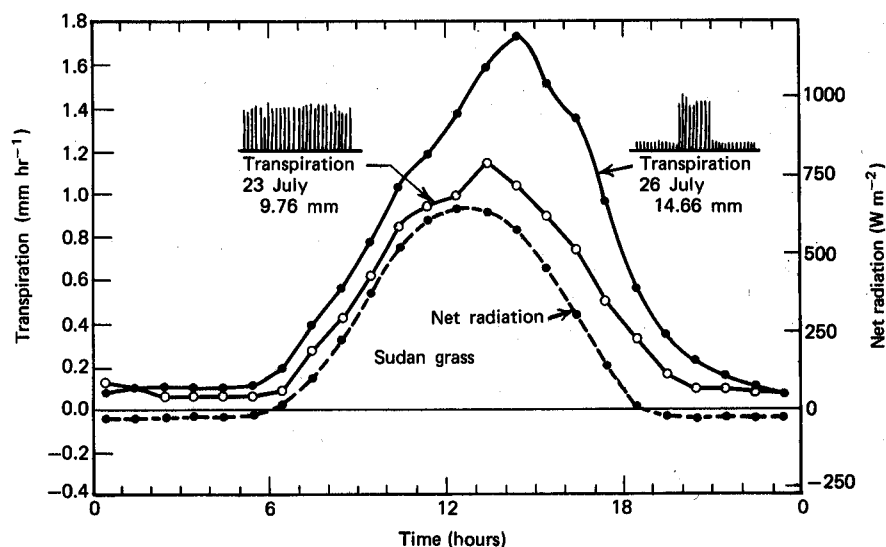
Tøjsnors effekt findes hos planter, der vokser på række, og som er væsentligt højere end planterne i omgivelserne (f.eks. læbælter). På grund af vindpåvirkning vil luftudskiftningen – og dermed både tilførsel af energi fra luften og fraførsel af vanddamp – være større end i en ensartet høj bevoksning.

Et eksempel på betydningen af tøjsnors effekten for fordampningen ses i figur 5.6. Fordampningen (transpirationen) fra en græsart (Sudan græs) blev målt i to døgn med tre dages mellemrum.

Det første døgn (den 23. juli) blev transpirationen målt i en intakt sammenhængende bevoksning.

Herefter blev bevoksningen skåret ned, undtagen én kvadratmeter, og transpirationen fra den ikke-nedskårne bevoksning blev målt tre døgn efter den første måling (den 26. juli).

Temperatur og solindstråling var næsten ens de to måledøgn, men fordampningen fra planterne var ca. 50% højere, når den omgivende vegetation var skåret ned. Dette skyldes en bedre luftudskiftning omkring planterne; – tøjsnors effekten.



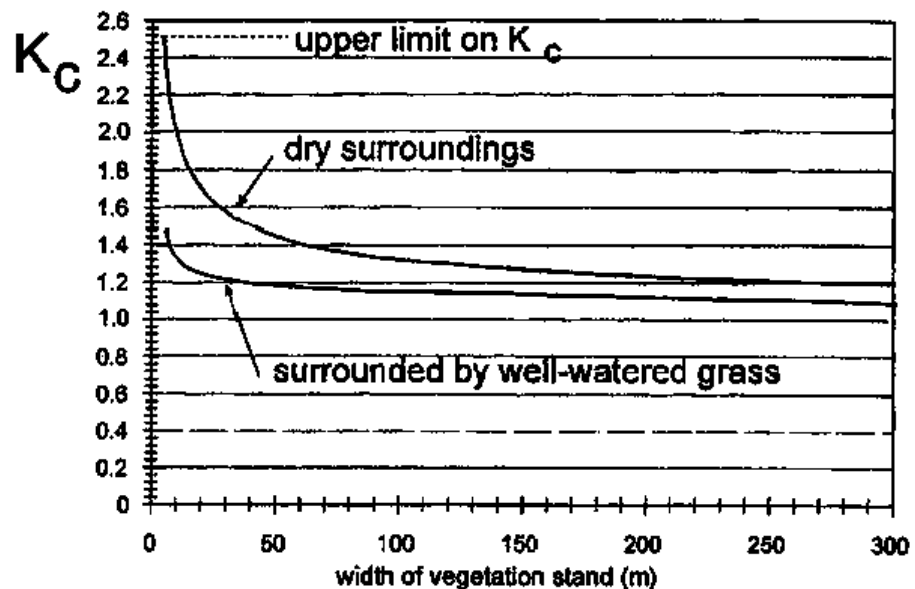
Figur 5.6.

Transpiration fra en tæt sammenhængende bestand af Sudan græs i Phoenix, Arizona, den 23. juli og fra en isoleret 1 m<sup>2</sup> bestand i den samme bevoksning tre dage senere, hvor den omgivende bevoksning var skåret ned. Indstrålingen de to dage var næsten ens. Fra /7/.

#### 5.1.8 Forhold af betydning for oase og tøjsnors effekterne

Oase og tøjsnors effekterne er størst for en lille bevoksning, hvor grænsefladen med omgivelser er stor. Fordampningen er størst, hvis planterne står på række (som et læhegn), og hvis rækken står vinkelret på den fremherskende vindretning. Under danske forhold vil det sige, at pileanlæggene skal placeres som smalle bevoksninger i nord-syd retning på vindåbne lokaliteter. Derved maksimeres tilførslen af energi fra vinden. Planternes højde har også stor betydning. Jo højere planterne er, jo større ruhed og dermed mulighed for at absorbere energi fra vinden.

Betydningen af bredden af vegetationen for fordampningen – her illustreret ved afgrødekoefficienten - er vist i figur 5.7. Afgrødekoefficienten ( $K_c$ ), som er forholdet mellem den aktuelle fordampning og den potentielle fordampning, er større jo smallere bevoksningen er. I et 10 meter bredt plantebælte i tørre omgivelser er fordampningen 2,5 gange den potentielle fordampning. Er plantebæltet bredere, aftager effekten. Pileanlæg skal derfor etableres som så smalle bede som muligt for at maksimere fordampningen. Figuren viser også, at fordampningen er størst når anlægget placeres i tørre omgivelser.



Figur 5.7.

Eksempel på hvorledes afgrødekoeficienten ( $K_c$ ) påvirkes af oase og/eller tøjsnors effekten. Kurverne viser hvorledes  $K_c$  afhænger af vegetationens bredde ved følgende konditioner:  $RH_{\min}=30\%$ ; vindhastighed = 2 m/s, vegetationshøjde = 2 m; bladarealindeks = 3. Fra /3/.

#### 5.1.9 Forhold, der maksimerer fordampning

Ud fra ovenstående gennemgang kan det ses, at en stor fordampning opnås under følgende forhold:

1. Ved stor energiindstråling (solindstråling), da fordampningen drives af eksternt tilført energi.
2. Ved høje lufttemperaturer, da varm luft kan indeholde mere vanddamp end koldere luft.
3. Ved lav relativ fugtighed i luften, da forskelle i vanddamptryk er den drivende kraft for at føre fordampet vand væk fra planter og jordoverflade.
4. Ved stor vindhastighed, da vind er af stor betydning dels for at føre vanddamp væk fra bevoksningen og dels for at tilføre energi i form af varme, der kan anvendes til fordampning. For at eksemplificere kan det beregnes, at såfremt vindhastigheden i en 3 m høj og 1 m bred bevoksning er 3 m/s, og vinden ved passage gennem bevoksningen afkøles med blot  $0,1^\circ\text{C}$ , vil det svare til, at der tilføres en energimængde svarende til en øget fordampning på 1 mm per time.
5. En bevoksning med stor ruhed (f.eks. træer med grene, der rager ud i luften), da der dannes et turbulent flow, som øger fraførslen af vanddamp
6. En bevoksning med stort bladarealindeks, dvs. et stort bladareal, da det øger planternes evne til at tilbageholde nedbør ved interception.
7. En bevoksning med en lille albedo, dvs. lille refleksion og stor absorption af den indstrålede energi. En plantebestands albedo afhænger af bestandens 'farve', bladstilling, mv.. Generelt er skoves albedo mindre end græsbevoksningers.
8. En bevoksning med planter, der ikke regulerer (lukker) deres stomata (spalteåbninger) i stor udstrækning.
9. For bar jord (og om vinteren) opnås stor fordampning, når jorden er vandmættet helt til overfladen og ikke er dækket af nedfaldne blade, mv.

10. Ved den såkaldte ”oase effekt”, hvilket er et fænomen, der opstår når en bevoksning med rigelig vandtilgængelighed omgives af relativt tørre områder. Varm og tør luft vil passere bevoksningen og afgive varme til fordampning og fraføre vanddamp ved advektion.
11. Ved den såkaldte ”tøjsnors effekt”, som bl.a. er betegnelsen for planter på række, der er væsentligt højere end planterne i omgivelserne (læbælter). På grund af vindpåvirkning vil luftudskiftningen – og dermed både tilførsel af energi fra luften og fraførsel af vanddamp – være større end i en ensartet høj bevoksning.

## 5.2 Fordampning fra pilebevoksninger

I de følgende gives en oversigt over undersøgelser, hvor fordampningen fra pil og pilebevoksninger er målt. Der er anvendt forskellig metodik i undersøgelserne, hvorfor de målte værdier ikke kan overføres direkte til forholdene i pileanlæg. Der kan dog udledes nogle generelle konklusioner fra undersøgelserne, der kan anvendes til vurdering af fordampningen fra pileanlæg.

### 5.2.1 Fordampning fra pil i lysimeter, Lake Oneida, NY, USA /8/

Fordampningen fra 0,16 m<sup>2</sup> (40 x 40 cm) lysimetre med planter blev målt i et område med varmt klima. Planternes krone var væsentligt større i omfang end potterne. Derfor kan fordampningsraterne ikke omregnes til arealbasis (poteffekt). En art af pil (*Salix babylonica*) havde højere fordampning (16 mm/døgn) end andre sumpplanter. Generelt var fordampningen fra planterne væsentligt højere (8x) end fordampningen fra en fri vandoverflade og våd jord (2 mm/dag). Der var ikke formindsket fordampning om middagen, dvs. bladenes spalteåbninger blev ikke lukket. De høje fordampningsrater skyldes delvist 'poteffekten', dvs. det faktum, at plantens udstrækning går ud over potens dimensioner. Undersøgelsen viser også, at oase og/eller tøjsnors effekt kan øge fordampningen fra planter betydeligt.

### 5.2.2 Fordampning fra pil i lysimeter, Arlon, Belgien /9/

Forsøg i 1 m<sup>2</sup> lysimetre med *Salix cinere*: Fordampningen fra *S. cinere* var væsentligt højere end fra de andre undersøgte sumpplanter og 10 gange højere end den potentielle fordampning (>20 mm/dag). Under ekstremt varme og tørre forhold sås delvis lukning af spalteåbninger midt på dagen hos *Salix viminalis*. Målingerne tyder på, at *S. viminalis* har god kontrol over spalteåbningerne.

### 5.2.3 To pilebevoksninger ved Tjele, Danmark /10/

Fordampningen fra to pilebevoksninger blev bestemt ved hjælp af den svenske COUP-model, der er en én-dimensional model udviklet til at beskrive forskellige afgrøders vandbalance. Modellen er baseret på to koblede differentiaalligninger, der beskriver vand- og varmeflow i en én-dimensional jordprofil. Modellen kræver som input døgn- eller timeværdier af klimatiske data samt parameterværdier, der beskriver vegetationen og jordprofilen. Fordampningen estimeres ved Penman-Monteith ligningen. De undersøgte pilebevoksninger var 12 x 13 m og bestod af to kloner af *Salix viminalis*, klon 78-112 og 78-183. Pile blev plantet i 1993 og skåret ned i vinteren 1996-97. Målingerne

af vandbalance blev foretaget for perioden 1997-99, dvs. 1. til 3. år efter høst. Den gennemsnitlige årlige fordampning fra de to pilekloner var henholdsvis 530 og 445 mm/år (figur 5.8).

	Klon 112	Klon 183
Total transpiration 1997-99	1047 mm	785 mm
Årlig transpiration	349 mm/år	262 mm/år
Total fordampning 1997-99	1589 mm	1336 mm
Årlig fordampning	530 mm/år	445 mm/år

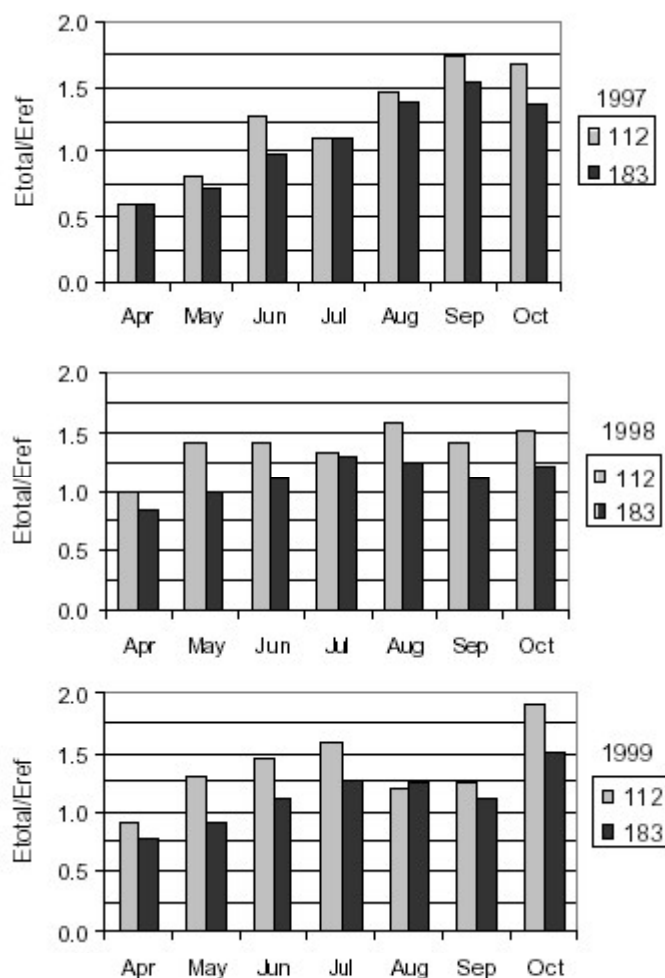
Figur 5.8.

Estimeret transpiration og total fordampning fra to kloner af pil (*Salix viminalis*) ved Landbrugets Forskningscenteret i Foulum 1. til 3. år efter høst i vinteren 1996-97 /10/.

Den totale fordampning (evaporation fra jord, transpiration, tab ved interception) fra pilebevoksningerne var høj sammenlignet med den beregnede potentielle reference fordampning fra klippet græs ( $ET_0$ ). Forholdet mellem den aktuelle totale fordampning og reference fordampningen kan tolkes som en afgrødekoefficient,  $K_c$ , for pil. Figur 5.9 viser afgrødekoefficienten udregnet måned for måned for de to kloner i de tre undersøgte år. Generelt var fordampningen fra klon 112 større end fordampningen fra klon 183, og den aktuelle fordampning var ofte større end den potentielle fordampning. Afgrødekoefficienten var større end én i stort set hele vækstsæsonen, dvs. pilene fordampere mere vand end den potentielle fordampning.

Jørgensen & Schelde /10/ angiver, at der er to hovedårsager til, at den aktuelle fordampning overstiger den potentielle. For det første danner en pilebevoksning en ru overflade sammenlignet med klippet græs, og derfor bliver den aerodynamiske modstand mindre som følge af turbulens i luften. Det betyder, at nedbør, der bindes på overfladen af planterne ved interception, nemt kan fordampe, og på grund af den gode luftudskiftning vil der stadig være energi til at drive transpirationen. For det andet bevirker den store ruhed af en pilebevoksning – sammenlignet med klippet græs – at overflademodstanden er mindre. For klon 112 blev overflademodstanden i perioden maj-august estimeret til at være  $35-50 \text{ s m}^{-1}$ , hvilket er betydeligt lavere end modstanden for kortklippet græs ( $70 \text{ s m}^{-1}$ ). Det resulterede i, at transpirationen alene oversteg den potentielle fordampning betydeligt. For klon 183 blev overflademodstanden estimeret til at være  $70-90 \text{ s m}^{-1}$  i perioden maj til august og altså på samme niveau som kortklippet græs.

De målte årlige fordampningstal, 445 og 530 mm per år, er dog stadig væsentligt lavere end de 1200-1500 mm per år, der er registreret i pileanlæg. Dette skyldes formodentligt, at fordampningen om sommeren har været begrænset af vandtilgængelighed, og at bevoksningerne ikke har været frit eksponeret, således at tøjsnors effekten har været lille.



Figur 5.9. Gennemsnitlig (på månedsbasis) forhold mellem total fordampning ( $E_{total}$ ) fra to pilebevoksninger (klon 112 og 183) og potentiel fordampning ( $E_{ref}$ ). Forholdet kan tolkes som afgrødekoefficienten. Figur 6 fra /10/.

#### 5.2.4 To pilebevoksninger i Ultuna, Uppsala (Sverige) /11;12/

Fordampning i pilebevoksningerne blev modelleret ud fra klima og jordvand-status. Fordampningen var større end den potentielle fordampning (op til 31% større i 3 ud af 4 år). Fordampningen var 416-584 mm i perioden maj-oktober. Tab ved interception udgjorde 5-23% af nedbøren. Planterne led af vandmangel i en periode, hvilket har mindsket fordampningen. Målingerne er foretaget i tæt og sammenhængende bevoksning. Derfor var der ikke samme tilførsel af energi ved advektion som i pileanlæg. De målte fordampningsrater var påvirket af perioder med vandmangel.

### 5.3 Fordampning fra pileanlæg

#### 5.3.1 Pileanlægget i Tappernøje, Danmark /13;14/

Den totale fordampning fra pileanlægget Marjatta i Tappernøje over en 4 årig periode (1992-1996) angives at være 1310 mm/år baseret på tilledt mængde spildevand og registreret nedbør. Den aktuelle fordampning i 1999 er estimeret til 1370 mm/år. At fordampningen kan blive så stor kan skyldes, at der konstant er rigeligt med vand til pilene, da der konstant er vand i anlægget. An-



læggets udstrækning i forhold til energiskove er desuden så lille, at der er tale om en stor randeffekt, en slags oaseeffekt.

### 5.3.2 Pileanlæggene i Gesten, Vejle og Hjortshøj /14/

Stubsgaard /14/ har undersøgt fordampningen fra 6 pileanlæg, inklusive anlægget i Tappernøje (Marjatta). Det ses at fordampningen fra anlæggene var 1,96–2,93 gange højere end den beregnede potentielle fordampning (figur 5.10).

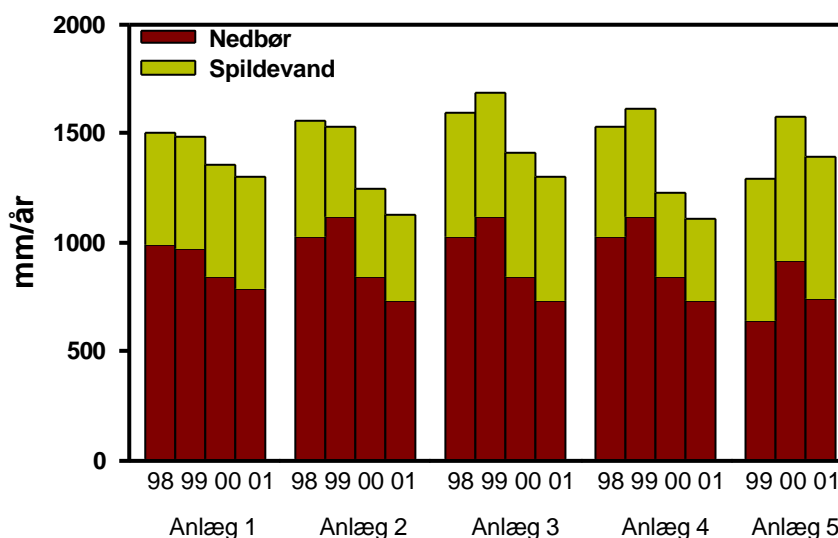
	Gesten Anlæg 1-3	Vejle Anlæg 4	Hjortshøj Anlæg 5	Marjatta Anlæg 6
Fordampning ud fra tilført væske/ år (01-11-99 – 31-10-00)	1600 mm	(1300 mm)*	1100 mm	1200 mm
Potentiel fordampning, normaler fra DMI	545 mm	556 mm	560 mm	572 mm

Figur 5.10.

Fordampning fra de 6 pileanlæg, der indgik i projektets /14/ undersøgelser samt beregnet normal potentiel fordampning. \*: I anlæg 4 sker der overløb via dræn i vintermånederne. Fordampningen er således lavere end angivet. Fra /14/.

### 5.3.3 Fordampning fra 24 pileanlæg

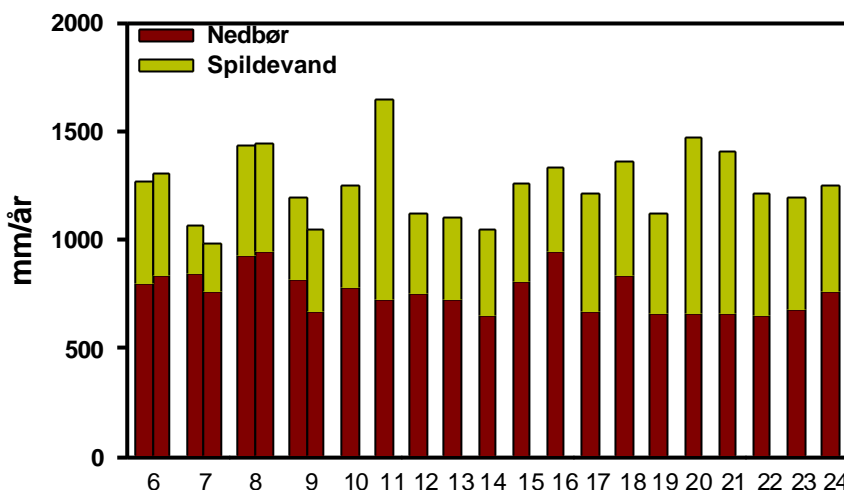
Der er indhentet oplysninger fra ejere af danske pileanlæg om spildevandsbelastning i anlæggenes totale driftsperiode, og for 24 anlæg er der brugbare data. For fire anlæg er der data for en 4 års periode (1998-2001); for ét anlæg er der data for en 3 års periode (1999-2001), og for de resterende 19 anlæg er der data for ét eller to år (2000-2001). Der er indhentet data for nedbør fra den nærmeste og/eller den mest repræsentative meteorologiske station, og disse er anvendt til at opgøre den samlede vandbelastning af anlæggene i perioden.



Figur 5.11.

Tilledte vandmængder med spildevand og nedbør til 5 pileanlæg i årene 1998-2001. Anlæggene har været i drift siden henholdsvis 1997 og 1998.

I de fem anlæg, der har været i drift siden 1997/98, har nedbøren varieret mellem 636 mm/år i 1997 til 1115 mm/år i 1999 (figur 5.11). Den tillædte mængde spildevand har varieret mellem 383 og 658 mm/år. Den samlede tillædte mængde vand var mellem 1110 og 1685 mm/år. Anlæg 5 er ikke omgivet af en høj kant, og der er derfor ikke registreret spildevand på overfladen af anlægget. For de øvrige anlæg var der vand på overfladen om foråret.

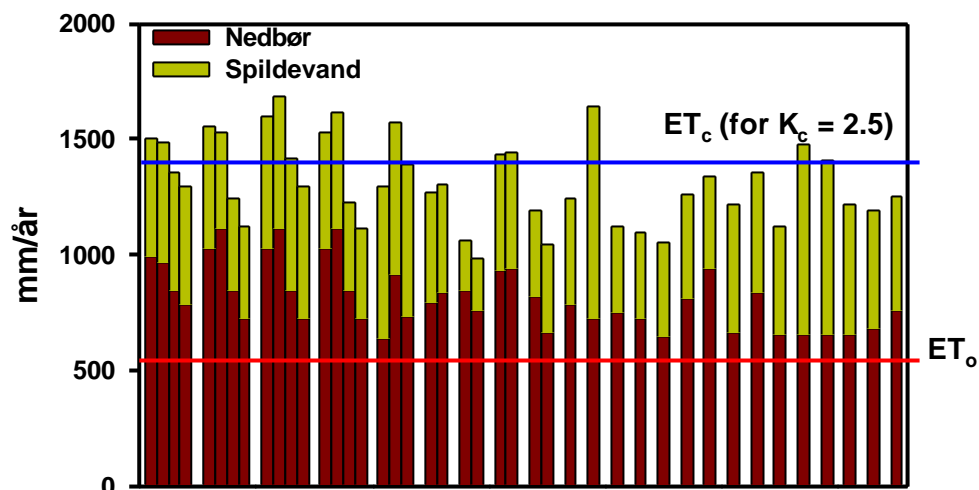


Figur 5.12. Tillædte vandmængder med spildevand og nedbør til 19 pileanlæg i årene 2000-2001 (de første 4 anlæg) og 2001 (resten).

For de resterende 19 anlæg, der har været i drift i mindst et år, er nedbørsbelastningen gennemsnitlig 758 mm/år, spildevandsbelastningen 485 mm/år og den totale belastning 1249 mm/år (figur 5.12). Ved ca. halvdelen af anlæggene har der været vand på overfladen den første vinter. For et enkelt anlæg blev der pumpet vand væk fra anlægget, og et anlæg blev ikke belastet med spildevand den første vinter i perioden november-marts.

#### 5.4 Vurdering af mulig fordampning fra pileanlæg

På baggrund af ovenstående gennemgang vurderes det, at fordampningen fra pileanlæg efter første års vækst kan være op til ca. 1500 mm/år forudsat, at anlæggene er opbygget som lange, smalle anlæg, at de ligger relativt åbent og vindeksponeret i landskabet, at der er en god og sund bestand af pil i anlæggene, og at bevoksningen holdes sund ved årlig høst af en del af anlægget. En fordampning på 1500 mm/år er større end 2½ gange den potentielle fordampning fra velvandet kortklippet græs og svarer til en afgrødekoefficient på > 2,5 (figur 5.13). Fordampningen er væsentligt mindre det første år, hvor pilene er små, og derfor skal der sandsynligvis ske bortpumpning af vand fra anlægget den første vinter.



Figur 5.13.

Vandtilledning med spildevand og nedbør til 24 danske pileanlæg i perioden 1998-2001.  $ET_0$  angiver den gennemsnitlige potentielle fordampning i Danmark, og  $ET_c$  angiver den aktuelle fordampning ved en afgrødekoefficient på 2,5. (samme data som i figur 5.11 og 5.12).

## 5.5 Anbefalinger

Det anbefales, at der ved dimensionering af pileanlæg tages udgangspunkt i den potentielle fordampning på lokaliteten, hvor pileanlægget skal etableres, og at der anvendes en afgrødekoefficient på 2,5. Fordampningskapaciteten fra anlægget beregnes derfor som 2,5 gange den potentielle fordampning. Pileanlæg skal anlægges som lange, smalle anlæg og placeres åbent og vindeksponeret i landskabet, helst vinkelret på den fremherskende vindretning (nord-syd) for at maksimere fordampningen. Den første vinter efter etablering skal der muligvis bortpumpes vand for at undgå overløb og modvirke, at pilenes vækst hæmmes pga. for meget vand.

## 5.6 Referencer

- [1] Penman, H.L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Lond.*, A 193, 120-146.
- [2] Scharling, M. 1999. Klimagrid-Danmark. Nedbør, lufttemperatur og potentiel fordampning 20x20 & 40\*40 km. Metodebeskrivelse. Technical Report 99-12, 1-48. Copenhagen, Danish Meteorological Institute, Ministry of Transport.
- [3] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy, FAO.
- [4] Brakke, T.W., Verma, S.B., & Rosenberg, N.J. (1978) Local and regional components of sensible heat advection. *Journal of Applied Meteorology*, 17, 935-963.

- [5] Kai, K. (1997) Oasis effect observed at Zhangye Oasis in Hexo Corridor, China. *J. Meteor. Soc. Japan*, 75, 1171-1178.
- [6] Rosenberg, N.J. (1969) Advective contribution of energy utilised in evapotranspiration by alfalfa in the East Central Great Plains. *Agricultural Meteorology*, 6, 179-184.
- [7] Rosenberg, N.J., Blad, B.L., & Verma, S.B. 1983. Microclimate. The biological environment. 2nd edition, 1-495. New York, John Wiley & Sons.
- [8] Pauliukonis, N. & Schneider, R. (2001) Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the eastern United States. *Aquat. Bot.*, 71, 35-46.
- [9] Kucerová, A., Pokorný, J., Radoux, M., Nemcova, M., Cadelli, D., & Dusek, J. (2001) Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species. In *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands* (Vymazal, J., ed), pp. 413-427. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- [10] Jørgensen, U. & Schelde, K. 2001. Energy crop water and nutrient use efficiency. IEA Bioenergy Task 17, Short Rotation Crops, 1-36. The International Energy Agency.
- [11] Persson, G. & Lindroth, A. (1994) Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons. *Journal of Hydrology*, 156, 21-46.
- [12] Lindroth, A., Verwijst, T., & Halldin, S. (1994) Water-use efficiency of willow: variation with season, humidity and biomass allocation. *Journal of Hydrology*, 156, 1-19.
- [13] Holtze, A. & Backlund, A. 2001. Erfaringer fra og undersøgelser af pile-rensaneanlægget i Tappernøje. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning Nr. 17, 1-89. Miljøstyrelsen.
- [14] Stubsgaard, A. 2001. Danske Pileanlæg. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning Nr. 5, 1-96. Miljøstyrelsen.



# 6 Opmagasinerings af vand

## 6.1 Jordens porevolumen

Voluminet i pileanlægget skal være stort nok til at kunne opmagasinere alt tilledt vand (spildevand og nedbør) i vinterhalvåret, hvor fordampningen fra anlægget er lav. Vandet skal kunne akkumuleres i jorden i pileanlægget (og evt. som opstuvning over jordoverfladen), og derfor skal anlæggets dybde og dimension i øvrigt afpasses efter årstidsvariationen i nedbør og fordampning.

Jords porevolumen er typisk  $<50\%$  og afhænger af jordens tekstur og grad af pakning (sammenpresning). Jorde med et stort organisk indhold (tørvejorde) kan dog have højere porøsitet (figur 6.1). I naturlige jorde vil porøsiteten generelt være størst i de øverste jordlag og aftage med dybden på grund af pakning af jorden. Målinger i pileanlæg har vist at porevoluminet i jorden varierer mellem  $32\%$  og  $51\%$  og generelt aftager med dybden /1/.

	Porevolumen (%)	Grovporer (%)	Middelporer (%)	Finporer (%)
Sandjord	$42 \pm 7$	$30 \pm 10$	$7 \pm 5$	$5 \pm 3$
Muldjord	$45 \pm 8$	$15 \pm 10$	$15 \pm 7$	$15 \pm 5$
Lerjord	$53 \pm 8$	$8 \pm 5$	$10 \pm 5$	$35 \pm 10$
Tørvejord	70	5	40	25
Højmose	90	25	50	15

Figur 6.1.

Fordeling af porevolumen mellem grovporer (diameter  $> 10 \mu\text{m}$ ), mellemporer (diameter  $0,2-10 \mu\text{m}$ ) og finporer (diameter  $<0,2 \mu\text{m}$ ) i forskellige typer af jord. Fra /2/.

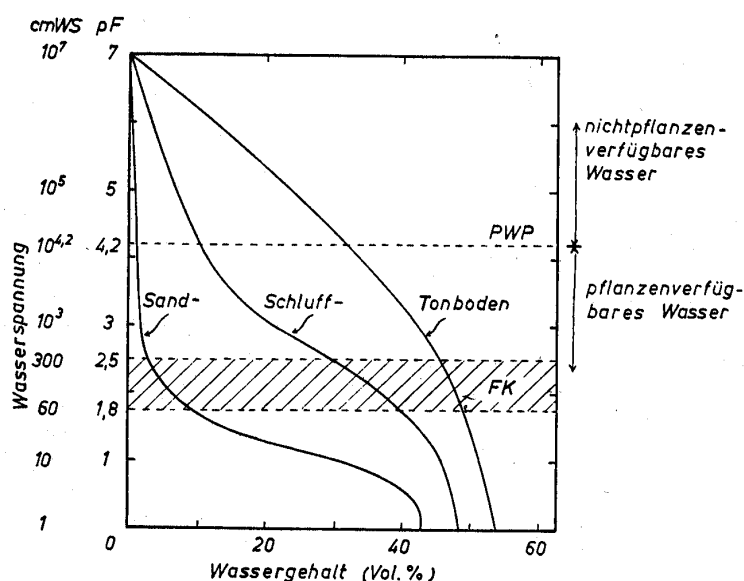
## 6.2 Porestørrelsesfordeling

Porevoluminet i jord afhænger af jordens tekstur, således at finkornede jorde (lerjorde) generelt har større porevolumen end grovkornede jorde, sand og grus. Porestørrelsesfordelingen er imidlertid forskellig i de forskellige jorde. Sandjorde har et stort indhold af grovporer, hvorimod lerjorde har et stort indhold af finporer (figur 6.2). Porestørrelsesfordelingen har stor betydning for, hvor meget vand en jord kan binde, idet vand i grovporer nemt dræner ud, hvorimod vand i finporer er hårdt bundet til jorden på grund af kapillærkræfter.

## 6.3 Plantetilgængeligt vand

Planter kan optage vand, der findes i grovporer og mellemporer, hvorimod vand i finporer er bundet så hårdt til jorden pga. kapillærkræfter, at det ikke er tilgængeligt for planter. Det permanente visnepunkt (engelsk: Permanent Wilting Point; PWP) er det vandpotentiale i jorden, hvorunder planter ikke længere kan optage vand og derfor visner. Den plantetilgængelige vandmængde i vandmættede jorde er differencen mellem det totale porevolumen og restvandmængden ved det permanente visnepunkt (se figur 6.2). Der vil

altid være en restmængde af vand i jorden, som ikke kan fjernes ved planter fordampning, og mængden er størst ved finkornede jorde (lerjorde), som har en stor andel af finporer. Af figur 6.2 kan aflæses, at det udnyttelige porevolumen i lerjord er <25%, og i muldjord og sandjord ca. 40%.



Figur 6.2.

Sammenhæng mellem jords vandindhold (Vol %) og vandpotentialet i jorden for tre jordtyper: Sandjord, muldjord (Schluffboden) og lerjord (Tonboden). Det plantetilgængelige vand for vandmættede jorde er forskellen mellem det totale porevolumen (linjernes skæring med x-aksen) og vandindholdet ved det permanente visnepunkt (linjernes skæring med PWP). Fra /2/.

#### 6.4 Udnytteligt porevolumen i pileanlæg

Ud fra ovenstående gennemgang kan antages, at det udnyttelige porevolumen i pileanlæg typisk kan være ca. 40% ved anvendelse af sandjord. Anvendes lerjorde kan det udnyttelige porevolumen være mindre, men til gengæld har lerjord svældningsegenskaber, der i nogen udstrækning kan kompensere for det lave udnyttelige porevolumen. Erfaringer med anlæg i lerjord er sparsom, og det kan ikke udelukkes, at der kan opstå problemer med opmagasinering af vand i vinterhalvåret.

Ved anlæg af pileanlæg med en bredde på 8 m, en dybde på 1,5 m og 45 grader hældning på siderne, vil det totale jordvolumen være  $6,5 \times 1,5 = 9,75 \text{ m}^3$  per løbende meter, eller  $1,22 \text{ m}^3/\text{m}^2$  overflade (der ses bort fra de skrå sider i anlæggets ender). Ved et udnytteligt porevolumen i jorden på 40% fås, at der kan opmagasineres  $0,40 \times 1,22 = 0,488 \text{ m}^3$  vand per  $\text{m}^2$  overflade (= 488 mm). Vandstandsvariationen i pileanlægget over året må derfor maksimalt være 488 mm, såfremt der ikke skal akkumuleres vand på anlæggets overflade. Ved en anlægsdybde på 2,0 m i stedet for 1,5 m fås på tilsvarende vis, at vandstandsvariationen maksimalt må være 600 mm over året. En større anlægsdybde vil således tillade akkumulering af mere vand over året.

Der kan dog ofte være anlægstekniske problemer med at etablere 2 m dybe anlæg, idet pileanlæg ofte vil blive etableret på lokaliteter med høj grundvandstand.

Det udnyttelige porevolumen kan forøges ved at etablere anlægget med mere stejle sider. Erfaringsmæssigt giver 45 grader sider dog nogle fordele under konstruktion, og nedskridning af sider og afstivning kan undgås.

#### 6.5 Anvendt porevolumen i dimensioneringsberegningerne

I dimensioneringsberegningerne anvendes følgende data som basis ved beregning af vandakkumuleringsevnen i pileanlæg:

Anlægsbredde:	8 m (5 m i bunden)
Anlægsdybde:	1,5 m
Sidehældning:	45°
Porevolumen:	40%
Vandakkumuleringsevne:	488 mm (488 liter pr m <sup>2</sup> )

Der korrigeres for de skrå sider i anlæggets ender, men der ses bort fra det øgede opmagasineringsvolumen i fordelersystem med plastkassetter. Pileanlæg etableres med en minimum 30 cm høj kant, der omgiver anlægget på alle sider, hvilket vil tillade opmagasinerung af vand over jordoverfladen i perioder.

#### 6.6 Referencer

- [1] Stubsgaard, A. 2001. Danske Pileanlæg. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning Nr. 5, 1-96. Miljøstyrelsen.
- [2] Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (1976) *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.





# 7 Vandforbrug og muligheder for vandbesparelser

I Miljøstyrelsens vejledninger for nedsivning, rodzoneanlæg og sandfiltre op til 30 pe er der angivet nogle relationer mellem antallet af personer, der belaster anlæggene, og det anlægsareal, der er nødvendigt for at rense spildevandet fra disse personer. Anlæggenes dimensioner er således bestemt af deres evne til at omsætte organisk stof og nitrificere ammoniak.

Pileanlæg dimensioneres derimod ud fra deres evne til at fordampe og opstuve det spildevand, der ledes til dem og den nedbør, der falder på dem. Det betyder, at husstandens vandforbrug er meget afgørende for anlæggenes dimensionering. Nedbørens bidrag vil være afhængig af anlæggets areal og de lokale nedbørsforhold

Dimensioneres pileanlæg efter de relationer mellem personbelastning og vandbelastning, der findes i Miljøstyrelsens vejledninger for nedsivning, rodzoneanlæg og sandfiltre op til 30 pe, vil de resulterende anlægsstørrelser og derved anlægsudgifterne blive u hensigtsmæssig store. De anlæg, der hidtil er bygget, er dimensioneret efter et målt vandforbrug, og der er i stort omfang anvendt renere teknologi for at nedbringe vandforbruget på disse ejendomme.

## 7.1 Vandforbrugsvaner og tekniske vandbesparelser

Vandforbruget i ejendomme i det åbne land er ikke særlig velbelyst, idet mange ejendomme har egen boring og ikke måler vandforbruget.

Det vandforbrug, der er forudsat i Miljøstyrelsens vejledninger for nedsivning, rodzoneanlæg og sandfiltre op til 30 pe svarer til 150 l/pe dag ( $55 \text{ m}^3/\text{pe}/\text{år}$ ). I de undersøgelser, der er gennemført i forbindelse med typegodkendelse af minirenselanlæg, er der fundet stor spredning i vandforbruget på de ejendomme, der indgår i undersøgelsen, men den generelle tendens er, at vandforbruget er højt i forhold til det, man finder i byerne /1/. I et projekt gennemført under Miljøstyrelsens Aktionsplan /2/ ligger vandforbruget på seks ejendomme fra 76 liter/pe/dag ( $28 \text{ m}^3/\text{pe}/\text{år}$ ) til 235 liter/pe/dag ( $86 \text{ m}^3/\text{pe}/\text{år}$ ).

Vandforbruget i de danske husholdninger ligger på et gennemsnit på 136 l/pe dag. I områder, hvor der har været gennemført oplysningskampagner om vandbesparelser, er vandforbruget reduceret til noget lavere værdier 100-120 l/pe dag ( $40\text{-}44 \text{ m}^3/\text{pe}/\text{år}$ ) i Albertslund, og i gennemsnit 117 l/pe/dag ( $43 \text{ m}^3/\text{pe}/\text{år}$ ) i Københavns Kommune.

Det store forbrug afspejler tre væsentlige forhold:

- *Teknologi* - de vandforbrugende installationer i husholdningerne er ikke tidssvarende. Specielt vil udskiftning af gamle wc'er med en skyllevandsmængde på 12-15 liter til nye wc'er med en skyllevandsmængde på 6/3 liter nedsætte vandforbruget væsentligt. Selv om installationerne er nye, medfører de ikke altid automatisk et mindre vandforbrug, med mindre

man bevidst er gået efter vandbesparende armaturer mm.. Mange af de armaturer og toiletter, der sælges, har et større vandforbrug end nødvendigt. Afløbsinstallationerne kan sætte grænser for de mulige vandbesparelser i eksisterende byggeri.

- *Komfort* - høje krav til komfort
- *Vaner* - forbrugsvaner er blevet bedre, men er på nogle punkter endnu for dårlige.

Ved en systematisk anvendelse af vandbesparende installationer og gode forbrugsvaner kan vandforbruget uden nogen komfortforringelser reduceres til under 100 l/pe dag (37 m<sup>3</sup>/pe år). De teknologiske muligheder for at reducere vandforbruget i husholdninger er beskrevet detaljeret i litteraturen /3/, /4/, /5/ og /6/. Standardløsningerne omfatter:

- To-skyls wc'er (6/3 liters)
- vandbesparende armaturer
- vandbesparende vaske- og opvaskemaskiner

I eksisterende ledningssystemer kan massive vandbesparelser (specielt wc'er med mindre skyllevandsmængder end 6 liter) føre til problemer med tilstopning af afløb som følge af for små mængder af skyllevand i toiletterne.

Ved nybyggeri eller renovering af afløbsinstallationer kan vandforbruget reduceres uden, at der opstår problemer. Dette kan ske ved:

- Tilpasning af forsynings- og afløbssystemer til det lave vandforbrug
- Tilpasning af vandtryk i egen vandforsyning, så det ikke overstiger de tryk, armaturerne er dimensioneret til
- Ejendomme, der forsynes fra fælles vandforsyningsanlæg, kan installere normstrømsregulatorer, der sikrer, at trykket i installationerne ikke er for højt til armaturerne
- Installation af toiletter med meget lavt vandforbrug (4 liters toiletter, sortende toiletter eller vacuum-toiletter)
- Installation af de mindst vandforbrugende vaske- og opvaskemaskiner

Komfortkrav og vandvaner er på nogle punkter to sider af samme sag. Gode vandvaner omfatter bl.a. færre og kortere bade, at man lukker for vandet mens man børster tænder og mens man sæber sig og at man i det hele taget har vandforbrug og -besparelser i tankerne – i hvert fald indtil adfærden er blevet til vaner.

I et projekt gennemført for Albertslund Kommune /7/ er der opstillet en række krav til vandinstallationerne, der tilsammen muliggør en reduktion af vandforbruget til i størrelsesorden 70 l/pe/dag (26 m<sup>3</sup>/år) i et nybyggeri. Projektet er udarbejdet under nogle forudsætninger om både teknologivalg, komfortkrav og vandvaner.

I figur 7.1 findes dette sparescenarium opstillet sammen med det kortlagte forbrugsmønster for årene 1989 og 2000 og Danske Vandværkers Forening (DVF – nu DANVA) opgørelse af forbruget i en normal husholdning.

	1989: 168 liter	2000: 128 liter	DVF	Spare- scenari- um	Spare-scenarium – forud- sætninger
Bad og personlig hygiejne	60	46	49	30	bad 3 minutter pr. dag
Toiletskyl	45	34	36	20	5 skyl/dag person
Tøjvask	22	17	18	5	Vaskemaskiner 39 l/vask – 1 vask/ 2 dage ved 4 personer pr. hus
Opvask og rengøring	17	13	13	8	Opvaskemaskiner 12 l/vask – 1 vask/ 2 dage ved 4 personer pr. hus – anden opvask og rengøring 6,5 l/dag person
Drikke og madlavning	12	9	10	4	4 l person pr. dag
Øvrigt	12	9	10	3	3 l person pr. dag
I alt	168	128	136	70	

Figur 7.1.

Vandforbrug pr. person i husholdninger – alle tal i liter pr. person pr. dag. Vandforbruget er opgjort efter forbruget i 1989 og år 2000 i Københavns Kommune, efter Danske Vandværkers For- enings (DVF) opgørelse af en forbruget i en normal husholdning. I tabellen er desuden opstillet et sparescenarium, der bygger på de kendte forbrugsmønstre, en opgørelse af de mulige vandbespa- relser ved vandbesparende teknologi og nogle forudsætninger om vandvaner og –forbrug.

## 7.2 Perspektiver

En dimensionering efter målt vandforbrug frem for efter personbelastning vil være et brud med Miljøstyrelsens hidtidige praksis og vil da også potentielt være forbundet med en række problemer, hvis vandforbruget på ejendommen forøges som følge af ejerskifte eller ændring i antal af beboere eller i vandfor- brugsvaner.

De økonomiske konsekvenser ved at dimensionere efter den sædvanlige model er dog så store, at det anbefales at :

- Dimensionere efter det målte vandforbrug. Kan der ikke måles, må det aktuelle vandforbrug skønnes.
- Gøre en systematisk indsats for at reducere vandforbruget f.eks. ved ud- skiftning af relevante armaturer mm. og ved at ændre forbrugsvaner.

For at forebygge problemer med anlæg, der er dimensioneret for småt, anbe- fales det dog, at anlæg ikke dimensioneres til et vandforbrug under 100 m<sup>3</sup>/år.

## 7.3 referencer

- [1] Personlig kommunikation, Mogens Kaagsgaard, Miljøstyrelsen, novem- ber 2002
- [2] Miljøkonsekvenser ved nedsivning af spildevand rensed i økologiske ren- seanlæg sammenlignet med traditionel nedsivning, Miljøstyrelsen 2001.
- [3] Ressourcebesparende afløbsinstallationer i boliger, Rørcenteranvisning 001, juni 1999
- [4] Ressourcebesparende vandinstallationer i boliger, Rørcenteranvisning 002, juni 1999
- [5] DS 432, Norm for afløbsinstallationer

- [6] DS 439 Norm for vandinstallationer
- [7] Miljøkrav til byggeriet på Teglmoesegrunden, Albertslund Kommune  
2002

# 8 Dimensionering af pileanlæg

Størrelsen af pileanlæg fastlægges ud fra mængden af spildevand, der skal behandles, under hensyntagen til balancen mellem årlig nedbør og fordampning fra pileanlægget. Desuden har nedbørsfordelingen over året betydning for dimensioneringen, idet der skal være plads i anlægget til opmagasinering af det vand, der tilledes anlægget i vinterhalvåret, hvor fordampningen er lille.

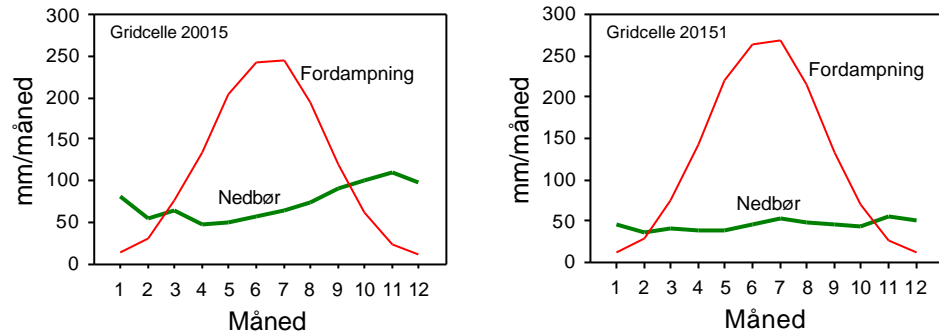
## 8.1 Dimensioneringsforudsætninger

Der er foretaget beregninger af det nødvendige areal til afledning af 100 m<sup>3</sup> spildevand pr år ved anvendelse af en dimensioneringsmodel med følgende forudsætninger:

1. Pileanlægget etableres som et 8 m bredt anlæg med en dybde på 1,5 m og 45° hældning på anlæggets sider og ender.
2. Det antages at der er et udnytteligt porevolumen i jordbunden på 40%. Ved beregning af det udnyttelige volumen i anlægget ses bort fra de skrå sider i anlæggets ender (dette korrigeres der for senere).
3. Det antages at fordampningen fra pileanlægget er 2,5 gange større end den potentielle fordampning beregnet af Danmarks Meteorologiske Institut.
4. Beregningerne foretages med udgangspunkt i 30-års normalværdier for månedlig nedbør og potentiel fordampning i 20 x 20 km gridceller (for nummerering, se Bilag A).
5. Arealdimensioneringen foretages således, at der i et år med normalnedbør ikke vil forekomme opstuvning af vand på overfladen af anlægget, og således, at der maksimalt vil opstuves 10 cm vand på overfladen ved en nedbørsmængde, der statistisk set forekommer ét ud af ti år.
6. Det antages at tilledningen af spildevand er jævnt fordelt over året, dvs. samme tilledning hver måned.

## 8.2 Dimensioneringseksempel

For at illustrere hvorledes dimensioneringen er foretaget, gennemgås i det følgende beregningerne for to gridceller: Gridcelle 20015, der ligger i et nedbørsrigt område (gennemsnitlig årsnedbør 890 mm/år), og gridcelle 20151, der ligger i et nedbørsfattigt område (gennemsnitlig årsnedbør 541 mm/år).



Figur 8.1. Gennemsnitlig nedbørsfordeling over året (30-års gennemsnit) og gennemsnitlig fordampning for pileanlæg i Gridcelle 20015 og 20151. Fordampningen er estimeret som 2,5 gange den potentielle fordampning i gridcellerne.

### 8.2.1 Nedbør og fordampning

Dimensioneringsberegningerne tager udgangspunkt i den gennemsnitlige årsnedbør i gridcellen (30-års gennemsnit fra DMI; figur 8.2, kolonne 1). Da registrering af nedbør på de meteorologiske målestationer er behæftet med systematiske fejl på grund af måleudstyrets opbygning og placering (se afsnit 4 om nedbørsstatistik), er fordelingen over året korrigeret med de af DMI publicerede korrektionsfaktorer i kolonne 2, dog således at den samlede årlige nedbør ikke øges. Da den systematiske fejl på nedbørsmåling især er stor, når der falder sne, er korrektionerne størst i vintermånederne.

Fordampningen fra anlægget bestemmes ud fra den af DMI beregnede potentielle fordampning (kolonne 3) og under antagelse af, at fordampningen i et pileanlæg er 2,5 gange den potentielle fordampning, svarende til en afgrødekoefficient ( $K_c$ ) på 2,5 (se afsnit 5 om vandbalance).

Måned	Kolonne 1 Nedbør 30-års gen- nemsnit (mm/måned)	Kolonne 2 Nedbør Korrigeret (mm/måned)	Kolonne 3 Potentiel fordampning 30-års gen- nemsnit (mm/måned)	Kolonne 4 Potentiel fordampning ved $K_c = 2,5$ (mm/måned)	Kolonne 5 Vandbalance (nedbør - fordampning) (mm/måned)
Jan	70	81	5	13	69
Feb	46	53	12	30	24
Mar	58	64	30	75	-11
Apr	45	45	54	135	-89
Maj	54	50	82	205	-155
Jun	63	57	97	243	-185
Jul	71	64	98	245	-181
Aug	82	74	78	195	-121
Sep	100	91	48	120	-29
Okt	106	99	25	63	37
Nov	108	109	9	23	87
Dec	87	98	4	10	88
I alt pr år	890 mm/år	890 mm/år	542 mm/år	1355 mm/år	-465 mm/år

Figur 8.2. Basisdata for dimensionering af gridcelle 20015. Kolonne 1: Gennemsnitlig nedbør (30-års gennemsnit fra 1960-1990); Kolonne 2: Korrigeret nedbørsfordeling; Kolonne 3: Beregnet potentiel fordampning for gridcellen; Kolonne 4: Beregnet potentiel fordampning fra pileanlæg (= 2,5 gange kolonne 3); Kolonne 5: Vandbalance for gridcellen på månedsbasis.

Det antages, at årstidsvariationen i fordampning følger variationen i potentiel fordampning (kolonne 4). Vandbalancen for pileanlægget kan herefter bereg-

nes som forskellen mellem nedbør og fordampning (kolonne 5). Beregningerne viser, at der på årsbasis kan tilledes 465 mm spildevand (= 465 liter/m<sup>2</sup>) i gridcelle 20015, mens der kan tilledes næsten dobbelt så meget (927 mm = 927 liter/m<sup>2</sup>) i gridcelle 20151.

	Kolonne 1	Kolonne 2	Kolonne 3	Kolonne 4	Kolonne 5
Måned	Nedbør 30-års gen- snit (mm/måned)	Nedbør Korrigeret (mm/måned)	Potentiel fordampning 30-års gen- snit (mm/måned)	Potentiel fordampning ved Kc = 2,5 (mm/måned)	Vandbalance (nedbør - for- dampning ) (mm/måned)
Jan	40	47	5	13	34
Feb	30	35	12	30	5
Mar	36	40	30	75	-35
Apr	38	39	57	143	-104
Maj	42	39	88	220	-181
Jun	49	45	105	263	-218
Jul	59	54	107	268	-214
Aug	53	48	86	215	-167
Sep	49	45	53	133	-88
Okt	45	42	28	70	-28
Nov	55	56	11	28	28
Dec	45	51	5	13	38
I alt pr år	541 mm/år	541 mm/år	587 mm/år	1468 mm/år	-927 mm/år

Figur 8.3.

Basisdata for dimensionering af gridcelle 20151. Kolonne 1: Gennemsnitlig nedbør (30-års gennemsnit fra 1960-1990); Kolonne 2: Korrigeret nedbørsfordeling; Kolonne 3: Beregnet potentiel for gridcellen; Kolonne 4: Beregnet potentiel fordampning fra pileanlæg (= 2,5 gange kolonne 3); Kolonne 5: Vandbalance for gridcellen på månedsbasis.

### 8.2.2 Opmagasineringskapacitet

Det næste trin i dimensioneringsprocessen er at vurdere, om opmagasineringskapaciteten i jordbunden er tilstrækkelig til at opmagasinere spildevandsmængde og nedbør i vinterperioden, hvor fordampningen er lille. Det udnyttelige porevolumen i jordbunden antages at være 40 volumen %. Omregnes porevoluminet i jordbunden til mm vand (under hensyntagen til en anlægsbredde på 8 m, en anlægsdybde på 1,5 m og 45 grader skrå sider) fås, at porevoluminet svarer til en vandmængde på 488 mm (=488 liter/m<sup>2</sup>). Det betyder, at forskellen mellem maksimal mængde vand i anlægget om vinteren og minimal mængde vand om sommeren maksimalt må være 488 liter/m<sup>2</sup> eller 488 mm. Viser beregningerne, at mængden af vand i anlægget vil variere mere end 488 mm mellem sommer og vinter betyder det, at der vil opstaves vand på overfladen af anlægget om vinteren.

Beregninger for gridcelle 20015 er vist i figur 8.4 og beregninger for gridcelle 20151 er vist i figur 8.5.

På baggrund af den månedlige vandbalance (kolonne 5) og den månedlige potentielle spildevandsbelastning (kolonne 6) beregnes en hypotetisk mængde vand i anlægget, måned for måned (Kolonne 7). Den beregnede mængde vand for gridcelle 20015 i januar bliver 69 mm (kolonne 5) + 38,8 mm (kolonne 6) = 107 mm (kolonne 7). Vandmængden i februar bliver på tilsvarende vis 24 mm + 38,8 mm; plus de 107 mm fra januar = 170 mm. Beregningerne fortsættes på tilsvarende vis måned for måned, og ved udgangen af december måned vil vandmængden i anlægget være nul - det samme som udgangspunktet i januar.



	Kolonne 5	Kolonne 6	Kolonne 7	Kolonne 8	Kolonne 9
Måned	Vandbalance (nedbør - fordampning) (mm/måned)	Potentiel spildevandsbelastning (mm/måned)	Beregnet akkumuleret vandmængde ved max belastning (mm)	Tilladt spildevandsbelastning (mm/måned)	Beregnet vandmængde (vandstand) ved tilladt belastning (mm)
Jan	69	38,8	107	31,8	-77
Feb	24	38,8	170	31,8	-21
Mar	-11	38,8	198	31,8	0
Apr	-89	38,8	148	31,8	-57
Maj	-155	38,8	32	31,8	-180
Jun	-185	38,8	-114	31,8	-334
Jul	-181	38,8	-256	31,8	-482
Aug	-121	38,8	-338	31,8	-488
Sep	-29	38,8	-328	31,8	-484
Okt	37	38,8	-252	31,8	-416
Nov	87	38,8	-127	31,8	-297
Dec	88	38,8	0	31,8	-177
	465 mm/år	465 mm/år	min – max = 536 mm	381 mm/år	min – max = 488 mm

Figur 8.4.

Basisdata for dimensionering af gridcelle 20015. Kolonne 5: Vandbalance for gridcellen på månedsbasis; Kolonne 6: Potentiel spildevandsbelastning baseret på anlæggets fordampningsevne; Kolonne 7: Beregnet vandmængde i anlægget akkumuleret måned for måned; Kolonne 8: Tilladt spildevandsbelastning beregnet således, at der netop ikke opstaves vand på overfladen af anlægget om vinteren; Kolonne 9: Beregnet vandmængde (vandstand) ved tilladt belastning.

	Kolonne 5	Kolonne 6	Kolonne 7	Kolonne 8	Kolonne 9
Måned	Vandbalance (nedbør - fordampning) (mm/måned)	Potentiel spildevandsbelastning (mm/måned)	Beregnet akkumuleret vandmængde ved max belastning (mm)	Tilladt spildevandsbelastning (mm/måned)	Beregnet vandmængde (vandstand) ved tilladt belastning (mm)
Jan	34	77,2	111	74,0	-118
Feb	5	77,2	194	74,0	-39
Mar	-35	77,2	236	74,0	0
Apr	-104	77,2	210	74,0	-30
Maj	-181	77,2	106	74,0	-136
Jun	-218	77,2	-34	74,0	-280
Jul	-214	77,2	-171	74,0	-420
Aug	-167	77,2	-260	74,0	-488
Sep	-88	77,2	-271	74,0	-488
Okt	-28	77,2	-221	74,0	-441
Nov	28	77,2	-116	74,0	-339
Dec	38	77,2	0	74,0	-226
	-927 mm/år	927 mm/år	min – max = 507 mm	888 mm/år	min – max = 488 mm

Figur 8.5.

Basisdata for dimensionering af gridcelle 20151. Kolonne 5: Vandbalance for gridcellen på månedsbasis; Kolonne 6: Potentiel spildevandsbelastning baseret på anlæggets fordampningsevne; Kolonne 7: Beregnet vandmængde i anlægget akkumuleret måned for måned; Kolonne 8: Tilladt spildevandsbelastning beregnet således, at der netop ikke opstaves vand på overfladen af anlægget om vinteren; Kolonne 9: Beregnet vandmængde (vandstand) ved tilladt belastning.

På baggrund af værdierne i kolonne 7 kan den nødvendige opmagasineringskapacitet i jordbunden ved den fastsatte belastning udregnes som forskellen mellem vandmængden i den måned, hvor vandstanden er højest (som regel marts) og den måned, hvor vandstanden er lavest (som regel august). For

gridcelle 20015 bliver det nødvendige opmagasineringsvolumen 536 mm (= 536 liter pr m<sup>2</sup>), og for gridcelle 20151 bliver det nødvendige opmagasineringsvolumen 507 mm (= 507 liter pr m<sup>2</sup>). Ved en anlægsbredde, dybde, osv., som antaget, og ved et udnytteligt porevolumen i jordbunden på 40%, er der kun kapacitet til 488 mm (= 488 liter pr m<sup>2</sup>). Altså må belastningen nedsættes således, at det maksimale udsving i opmagasineret vandmængde i anlægget over året bliver 488 mm.

Den tilladte spildevandsvandbelastning (kolonne 8) beregnes således, at forskellen mellem minimum og maksimum vandmængde i anlægget over året netop er 488 liter pr m<sup>2</sup>, og således at vandmængden opmagasineret i måneden med højest vandstand (som regel marts) netop er 488 liter pr m<sup>2</sup>. Dette er en iterativ proces, idet fordampningen i de tørreste måneder ofte vil blive begrænset af vandmangel, såfremt anlægget helt tømmes for vand. I praksis kan beregningen foretages i et regneark ved brug af funktionen "målsøgning". Ved beregningerne findes, at den tilladte spildevandsbelastning i gridcelle 20015 er 381 mm/år (figur 8.4, kolonne 8), og i gridcelle 20151 er 888 mm/år (figur 8.5, kolonne 8). Ved disse belastninger vil anlægget blive fuldstændigt tømt for vand i sensommeren, og jordbunden vil netop være vandmættet i marts (kolonne 9).

### 8.2.3 Opstuvning af vand ved 10-års nedbør

Næste trin i dimensioneringsprocessen er, at vurdere hvor meget vand der vil opstuves på overfladen af anlægget i et år med en nedbørsmængde, der statistisk set vil forekomme ét ud af ti år. Nedbørsmængden i et år med 10-års regn er gennemsnitligt 18% højere end den gennemsnitlige nedbør (se afsnit 4 om nedbørsstatistik).

Måned	Kolonne 10	Kolonne 11 & 12		Kolonne 13	Kolonne 14 & 15	
	10-års nedbør (mm/måned)	Beregnet opstuvning ved 10-års regn 1. år (mm)	Beregnet opstuvning ved 10-års regn 2. år (mm)	Tilladt spildevandsbelastning (mm/måned)	Beregnet opstuvning ved 10-års regn 1. år (mm)	Beregnet opstuvning ved 10-års regn 2. år (mm)
Jan	96	-62	14	30,7	-68	4
Feb	63	3	79	30,7	-3	68
Mar	76	36	112	30,7	28	100
Apr	54	-13	63	30,7	-22	50
Maj	59	-127	-51	30,7	-137	-65
Jun	68	-270	-194	30,7	-281	-209
Jul	76	-407	-331	30,7	-419	-348
Aug	88	-483	-407	30,7	-488	-424
Sep	108	-463	-387	30,7	-469	-406
Okt	117	-377	-301	30,7	-383	-320
Nov	129	-239	-162	30,7	-246	-183
Dec	116	-62	14	30,7	-68	4
	1050 mm/år	max opstuvning = 112 mm		368 mm/år	max opstuvning = 100 mm	

Figur 8.6.

Basisdata for dimensionering af gridcelle 20015. Kolonne 10: gennemsnitlig maksimal nedbør i et ud af ti år (er 18% større end 30-års gennemsnitlig nedbør); Kolonne 11 & 12: Beregnet akkumuleret vandmængde i anlægget i to år med 10-års regn; Kolonne 13: Beregnet tilladt spildevandsbelastning for at opstuvningen af vand på overfladen af pileanlægget netop bliver 100 mm i år med 10-års regn; Kolonne 14 & 15: Beregnet akkumuleret vandmængde (opstuvning) i anlægget i to år med 10-års regn og ved den tilladte spildevandsbelastning (kolonne 13).

Med udgangspunkt i 10-års nedbørsfordelingen (figur 8.6, kolonne 10) beregnes mængden af vand, der opstaves i anlægget om vinteren. Da udregningerne starter i januar måned, foretages beregningerne over to på hinanden følgende år for at inkludere en hel vinterperiode i beregningerne (kolonne 11 og 12). Beregningen for januar måned i første år tager udgangspunkt i vandmængden i anlægget i december måned i et gennemsnitsår (figur 8.4 og 8.5; henholdsvis -177 og -226 mm for gridcelle 20015 og 20151). Det ses af kolonne 12 i figur 8.6, at der i gridcelle 20015 i et år med 10-års regn vil være 112 mm vand opstuvet på overfladen af anlægget i marts måned, hvorimod der i gridcelle 20151 kun vil være 80 mm vand opstuvet på overfladen (figur 8.7, kolonne 12).

En sidste dimensioneringsforudsætning er, at der maksimalt må opstaves 100 mm vand på overfladen af pileanlæg i et år med en nedbørsmængde der statistisk set vil forekomme ét ud af ti år. Derfor skal belastningen i gridcelle 20015 reduceres således, at opstuvning i et år med 10-års regn kun bliver 100 mm, hvorimod der ikke er problemer i gridcelle 20151, da opstuvningen kun er 80 mm. Den tilladte spildevandsvandbelastning (kolonne 13) beregnes således, at opstuvningen af vand i marts måned det andet af to år med 10-års regn netop er 100 mm. Dette er igen en iterativ proces, og beregningen kan foretages i et regneark ved brug af funktionen "målsøgning". For gridcelle 20015 fås, at den tilladte spildevandsbelastning bliver 368 mm/år (figur 8.6, kolonne 13). Det ses af kolonne 14 og 15 i figur 8.6, at opstuvningen af vand i marts måned ved denne belastning netop bliver 100 mm.

Måned	Kolonne 10	Kolonne 11 & 12	
	10-års nedbør (mm/måned)	Beregnet opstuvning ved 10-års regn 1. år (mm)	Beregnet opstuvning ved 10-års regn 2. år (mm)
Jan	55	-110	-51
Feb	42	-24	34
Mar	47	22	<b>80</b>
Apr	46	-1	58
Maj	46	-100	-42
Jun	53	-236	-177
Jul	63	-366	-308
Aug	57	-450	-392
Sep	53	-456	-397
Okt	50	-402	-343
Nov	66	-289	-231
Dec	60	-168	-109
	638 mm/år	max opstuvning = 80 mm	

Figur 8.7.

Basisdata for dimensionering af gridcelle 20151. Kolonne 10: gennemsnitlig maksimal nedbør i et ud af ti år (er 18% større end 30-års gennemsnitlig nedbør); Kolonne 11 og 12: Beregnet akkumuleret vandmængde i anlægget i to år med 10-års regn.

#### 8.2.4 Arealkrav

Ved den ovenfor beskrevne dimensioneringsproces fås, at et pileanlæg i gridcelle 20015 vil kunne belastes med 368 mm spildevand pr år (368 liter pr m<sup>2</sup>), hvorimod et anlæg i gridcelle 20151 vil kunne belastes med 888 mm spildevand pr år (888 liter pr m<sup>2</sup>). Dette svarer til arealkrav på henholdsvis 272 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup> spildevand og 113 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup> spildevand for anlæg i gridcelle 20015 og 20151. Ved beregningerne af det udnytteligt porevolumen i jord-

bunden i anlæggene er der imidlertid set bort fra, at anlæggets ender er anlagt med 45 grader skråning, og at det udnyttelige volumen i jordbunden derfor er mindre end antaget. For at kompensere for dette adderes 12 m<sup>2</sup> til det nødvendige areal, der så bliver henholdsvis 284 og 125 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup> spildevand for gridcelle 20015 og 20151.

### 8.3 Dimensionering af anlæg i gridceller

Resultatet af dimensioneringsberegningerne for 20 x 20 km gridceller er vist på tabelform i Bilag B, og arealkravets geografiske fordeling i Danmark er vist i Bilag C. Resultaterne er summeret i figur 8.8.

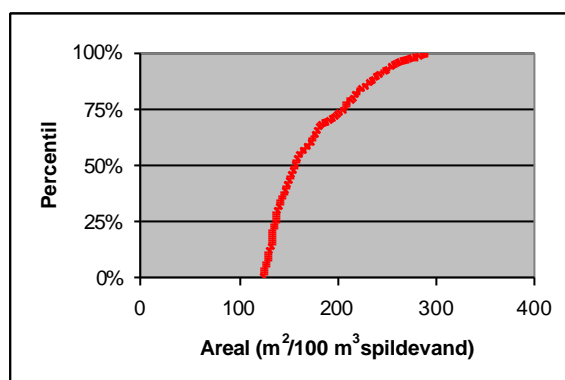
Den gennemsnitlige årlige nedbør varierer mellem 524 og 903 mm/år for gridcellerne, og fordampningen varierer mellem 1343 og 1470 mm/år (figur 8.8). Potentielt kan der således fordampes mellem 452 og 936 mm spildevand pr år afhængigt af gridcelle. På grund af manglende opmagasineringskapacitet i pileanlæggene kan der imidlertid kun tilledes 357-894 mm/år. Ved denne belastning vil der i år med normalnedbør ikke være opstuvning af vand på overfladen af anlæggene i marts. Ved ti-års regn vil der opstaves 57 til 100 mm vand på overfladen af anlæggene afhængigt af gridcelle. Den nødvendige størrelse af pileanlæg varierer mellem 124 og 292 m<sup>2</sup> pr 100 m<sup>3</sup> spildevand (middel 173 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup>) afhængigt af gridcelle.

	Årlig nedbør (mm)	Årlig fordampning (mm)	Mulig fordampning (mm)	Tilladt belastning (mm/år)	Areal (m <sup>2</sup> /100m <sup>3</sup> )	Længde Af anlæg (m)	Opstuvning marts ved normal nedbør (mm)	Opstuvning marts ved 10-års regn (mm)
Middel	679	1399	721	661	173	22	-2	92
min	524	1343	452	357	124	15	-12	57
maks	903	1470	936	894	292	37	0	100

Figur 8.8.

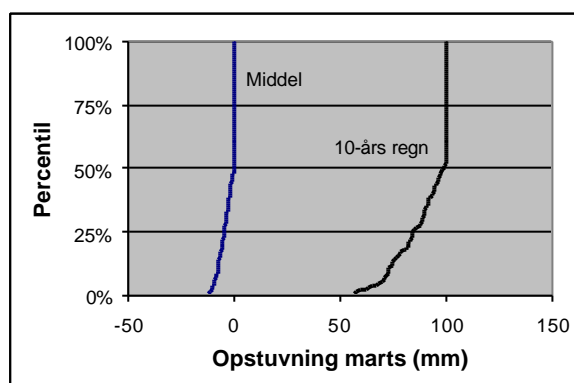
Gennemsnitlig, minimum og maksimum værdier i 20 x 20 km gridceller for årlig nedbør (30-års gennemsnit), årlig potentiel fordampning fra pileanlæg, mulig fordampning fra pileanlæggene (Potentiel fordampning minus nedbør), den tilladte spildevandsbelastning, nødvendigt areal og længde af pileanlæg, og den resulterende opstuvning af vand i anlæggene dels i år med normal nedbør og i år med 10-års regn.

I nedenstående figur 8.9 er fordelingen af arealkrav i Danmark illustreret. Det ses, at medianen af fordelingen er 156 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup>; det vil sige at i halvdelen af gridcellerne er arealkravet 124-156 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup> spildevand. Det ses ligeledes, at i de 25% mest nedbørsrige områder af Danmark er arealkravet 207-292 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup> spildevand.



Figur 8.9.  
Fordeling af arealkrav til pileanlæg i 20 x 20 km gridceller.

I ca. halvdelen af gridcellerne er kravet om, at der ikke må opstuves vand på overfladen i år med normalnedbør dimensionsgivende (figur 8.10), og i den anden halvdel er det kravet om, at der ikke må opstuves mere end 10 cm vand på overfladen i år med 10-års regn, der er dimensionsgivende. Deraf følger også, at anlæg i ca. halvdelen af gridcellerne teoretisk ikke bliver helt vandfyldte i normalår, og at der i anlæg i ca. halvdelen af gridcellerne vil opstuves mindre end 10 cm vand på overfladen i år med 10-års regn (figur 8.10).



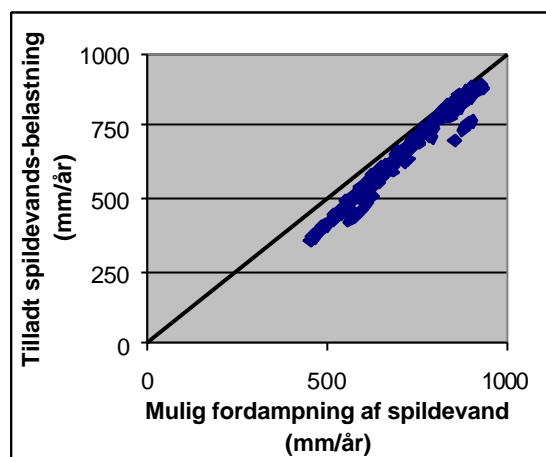
Figur 8.10.  
Fordeling af vandopstuvning i pileanlæg i marts ved middelårsnedbør og ved 10-års regn.

### 8.3.1 Belastning i forhold til potentiel fordampning

Ved det anvendte design af pileanlæg (en dybde på 1,5 m og 45 grader skrå sider) er det det udnyttelige volumen i jordbunden til opmagasinering af vand, snarere end forskellen mellem nedbør og fordampning, der bliver dimensionsgivende for anlæggenes størrelse. Det betyder, at risikoen for opstuvning af vand på anlæggenes overflade kan gøres mindre, såfremt der etableres et større opmagasineringsvolumen f.eks. ved at grave anlæggene dybere og/eller etableres med stejlere sider.

Anlægsteknisk kan det være besværligt at etablere dybere bede, f.eks. på steder med høj grundvandsstand. Stejlere sider øger risikoen for nedskridning under konstruktion. Derfor vælges i denne vejledning at dimensionere 1,5 m dybe anlæg med 45° sider. Kan anlæg etableres dybere og/eller med stejlere sider vil det imidlertid være en fordel.

Selv om pileanlæg dimensioneret efter de her præsenterede retningslinier ikke som gennemsnit vil akkumulere vand på overfladen af anlægget om vinteren, vil der i nedbørsrige år forekomme opstuvning af vand på overfladen om vinteren. Det er derfor vigtigt, at pileanlæg opbygges med en tæt vold, der omslutter anlægget og skaber det nødvendige opmagasineringsvolumen til særligt nedbørsrige år.



Figur 8.11. Beregnet tilladt spildevandsbelastning i pileanlæg plottet mod den mulige fordampning af spildevand (2,5 gange den potentielle fordampning minus nedbør) i 20 x 20 km gridceller. Den rette linie angiver situationer, hvor den tilladte belastning netop er lig med den mulige fordampning.



# 9 Dimensionering af pileanlæg med nedsivning

I pileanlæg med nedsivning bortskaffes det tilførte spildevand og det regnvand, der falder på anlægget, ved en kombination af fordampning og nedsivning. Ved dimensionering af pileanlæg med nedsivning er det altså muligt, som følge af at en del vand nedsiver, at reducere anlæggets dimensioner i forhold til arealet af et pileanlæg, der er anlagt med tæt bund. Hvor meget anlæggets areal kan reduceres er afhængig af de lokale jordbundsforhold.

Principperne for denne anvisning er, at pileanlæg med nedsivning dimensioneres med udgangspunkt i de tilsvarende dimensioner for et anlæg med tæt bund. Herefter er der to mulige dimensioneringer:

- anlægget med nedsivning dimensioneres sikkert og etableres med samme areal, som et anlæg der anlægges med tæt membran efter "Retningslinier for etablering af pileanlæg op til 30 pe", eller
- anlæggets areal reduceres med udgangspunkt i en undersøgelse af jordbunden og dens nedsivningsegnethed.

## 9.1 Dimensionering af pileanlæg med nedsivning

Udgangspunktet for dimensionering af pileanlæg med nedsivning er dimensionerne for et tilsvarende anlæg med tæt bund. Det nødvendige anlægsareal kan herefter reduceres med en faktor, der udregnes på baggrund af jordens hydrauliske ledningsevne.

De følgende afsnit danner baggrund for beregningerne af den mulige reduktion af anlægsstørrelsen og for beskrivelsen af fordelersystemet.

### 9.1.1 Sammenhæng mellem hydraulisk ledningsevne og jordtype

Sammenhængen mellem jordens hydrauliske ledningsevne og jordens kornstørrelse fremgår af nedenstående tabel, der viser den mættede jords hydrauliske ledningsevne for forskellige jordtyper. I litteraturen beskrives, at beplantede overfladers infiltrationskapacitet ligger i intervallet 0,1 - 10  $\mu\text{m/s}$ . Dette skyldes, at vandtransporten sker gennem sprækker og huller forårsaget af vegetationen /1/.

Jordtype	Kornstørrelse ( $\mu\text{m}$ )	Hydraulisk ledningsevne, K ( $\mu\text{m/s}$ )
grus	2.000-60.000	1.000-100.000
sand	50-2.000	10-10.000
silt	2-50	0,001-10
ler	0-2	<0,001
moræneler	-	0,0001-1

Figur 9.1. Sammenhæng mellem jordtype, jordens kornstørrelse og den hydrauliske ledningsevne, efter /1/.



Efter Vejledning for nedsivningsanlæg op til 30 pe kan nedsivningsanlæg anlægges i grov silt eller sand indeholdende mindre mængder af ler og i grus (se følgende afsnit og figur 9.3). Omregnet på baggrund af belastningen af nedsivningsanlæg svarer dette til, at den hydrauliske ledningsevne,  $K$ , for nedsivningsanlæg minimum skal være i størrelsesorden  $0,1 \mu\text{m/s}$

Hvis der skal ske en væsentlig nedsivning fra pileanlæg, der er anlagt i jord med ringere hydraulisk ledningsevne, kræver det, at både anlægget og anlæggets fordelingsystem dimensioneres større end praksis er for nedsivningsanlæg.

### 9.1.2 Dimensioneringspraksis efter vejledning for nedsivningsanlæg

Vejledning for nedsivningsanlæg mindre end 30 pe rummer anvisning på opbygning af tre standard nedsivningsanlæg:

- sivegrøft
- sivegrøft, hævet
- hævet siveanlæg i fælles udgravning

For sivegrøfter regnes med et siveareal på  $1 \text{ m}^2/\text{m}$ . For standardanlæg med en kapacitet større end 5 personer anbefales at anvende dimensionering som angivet i figur 9.2.

Kapacitet af nedsivningsanlæg (personer)	Samlet længde af sivegrøfter (m) eller siveareal ( $\text{m}^2$ )	
	Jordtype A (sand)	Jordtype B (sand/silt)
5	30	45
10	60	90
15	90	135
20	120	180
25	150	225
30	180	270

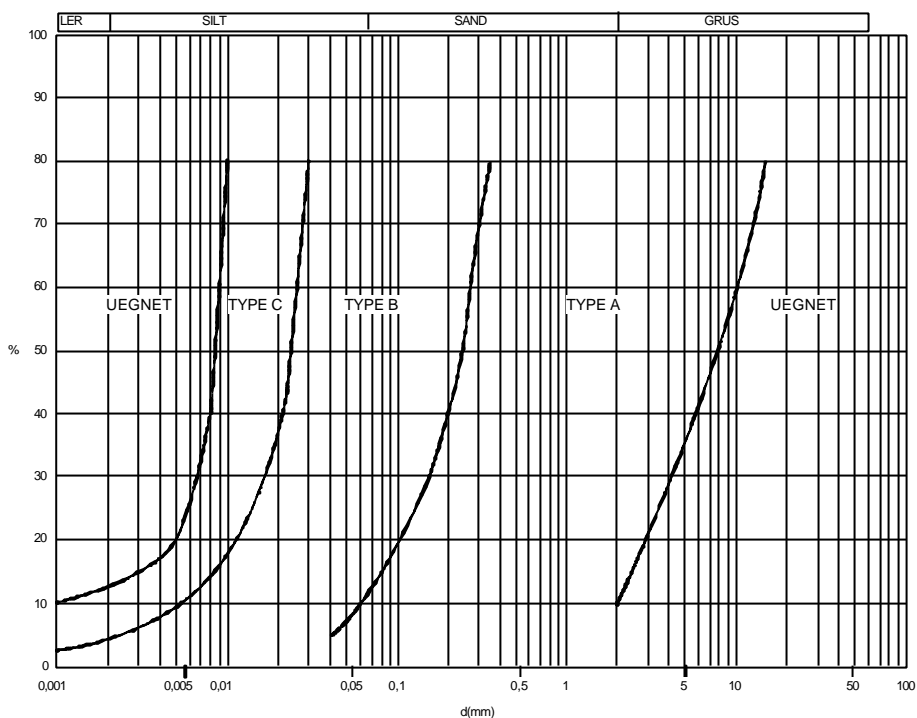
Figur 9.2. Dimensioneringsanvisning efter vejledning for nedsivningsanlæg mindre end 30 pe.

Hvis kornkurven er beliggende både i type A og type B-områderne (se figur 9.3), dimensioneres anlægget som type B. Hvis dele af kornkurven ligger til venstre for type B-området eller hvis dele af kornkurven ligger til højre for type A-området er jorden ikke velegnet til nedsivning, og standardudformning efter nedsivningsvejledningen kan ikke anvendes.

Den nødvendige størrelse af siveanlægget er afhængig af jordbundsforholdene. Jordtypen bestemmes ved at der udtages 2 jordprøver (mindst 5 kg hver) til sigteanalyse/hydrometeranalyse. Prøverne udtages ved den forventede bund af siveanlægget og med en afstand på ca. 10 m. Hvis prøverne synes meget forskellige, udtages en ekstra prøve i jordbunden midt imellem lokalisering af de 2 første prøvetagningspunkter.

De udtagne jordprøver sendes til sigteanalyse/hydrometeranalyse, som udføres i overensstemmelse med DS 405.9/DS 405.8. Indeholder prøven mindre end 10% materiale med kornstørrelse mindre end  $0,075 \text{ mm}$ , kan hydrometeranalysen udelades. Kornkurverne indtegnes i et diagram, figur 9.3. Da pileanlæg

med nedsivning fortrinsvis anlægges på leret jord, vil hydrometeranalysen ofte være nødvendig.



Figur 9.3.  
Kornkurve for forskellige jordtyper til vurdering af jordbundens nedsivningsegnethed.

Ved fastsættelse af krav til dimensionering af anlægget, tages der udgangspunkt i den mindst permeable jordprøve - det vil sige jordprøven med den mindste nedsivningskapacitet, for at give størst mulige sikkerhed for anlæggets drift og funktion.

Det anbefales, at jordbundsundersøgelserne suppleres med infiltrationsforsøg, hvor korttidsinfiltrationsevnen bestemmes 2 - 3 steder i den intakte og vandmættede jord, hvor nedsivningsanlægget er planlagt placeret.

## 9.2 Reduktion af pileanlæggets areal som følge af nedsivning

Arealet af pileanlæg med nedsivning kan reduceres på baggrund af en undersøgelse af kornstørrelsesfordelingen i jorden eller af jordbundens hydrauliske ledningsevne.

Dimensionering efter jordbundens kornstørrelsesfordeling gennemføres som beskrevet i Vejledning for nedsivningsanlæg, således at jordens kornkurve indtegnes i figur 9.3. Hvis kornkurven er beliggende i type A eller type B-områderne kan anlægget udføres som et traditionelt nedsivningsanlæg efter vejledningen for nedsivningsanlæg op til 30 pe.

Et pileanlæg med nedsivning vil være en særlig relevant løsning, hvis dele af kornkurven ligger til venstre for type B-området. I jordtype C, der er fastlagt med udgangspunkt i praktiske erfaringer, kan pileanlæggets størrelse reduceres med 40 procent i forhold til et tilsvarende anlæg med tæt bund.

I jordtyper, der ligger til venstre for jordtype C dimensioneres anlægget som et pileanlæg med tæt bund. Dog kan anlægsstørrelsen tilsvarende reduceres med udgangspunkt i en undersøgelse af jordbundens hydrauliske ledningsevne. Beregningerne af i hvilket omfang, det er muligt at reducere pileanlæggets areal som følge af nedsivning bygger på en række forudsætninger. I beregningerne antages det således, at:

- pilen har rigelig tilførsel af vand i sommerperioden og fordamper 1500 mm pr. år
- nedsivning foregår over hele året.
- nedsivning sker gennem hele anlæggets areal
- det er nedsivningen gennem anlæggets areal (og ikke udsivning fra fordelersystemet), der er begrænsende for nedsivningen

Figur 9.4 rummer en overslagsmæssig beregning af den nødvendige anlægsstørrelse for pileanlæg med tæt membran ved forskellig belastning med nedbør og spildevand. Beregningen omfatter alene det areal, der er nødvendig for at *fordampe* den regn- og spildevandsmængde, der tilføres et pileanlæg med tæt membran. Anlægsarealerne adskiller sig fra dem, der beregnes efter anvisningerne i kapitel 8 og i "Retningslinier for etablering af pileanlæg op til 30 pe", idet opstuvning af vand i anlægget ikke indgår i beregningerne i nedenstående tabel.

Nedbør (mm/år)	550			700			850		
Vandforbrug (m <sup>3</sup> /år)	100	135	170	100	135	170	100	135	170
Nødvendigt areal til fordampning (m <sup>2</sup> )	105	142	179	125	169	213	154	208	262

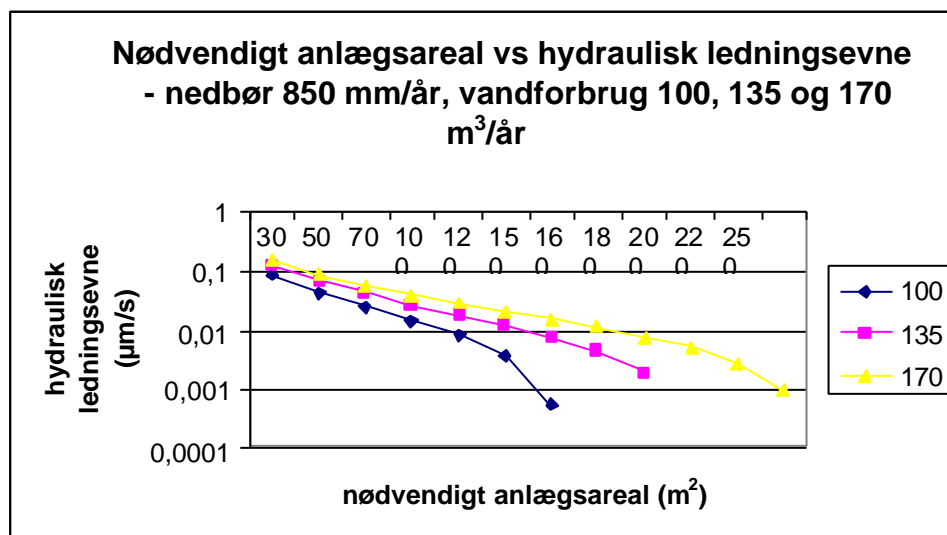
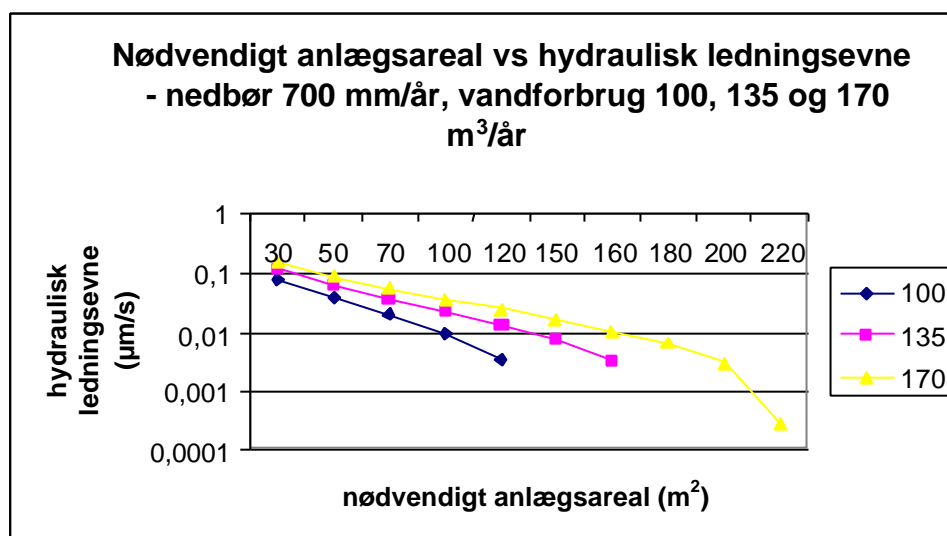
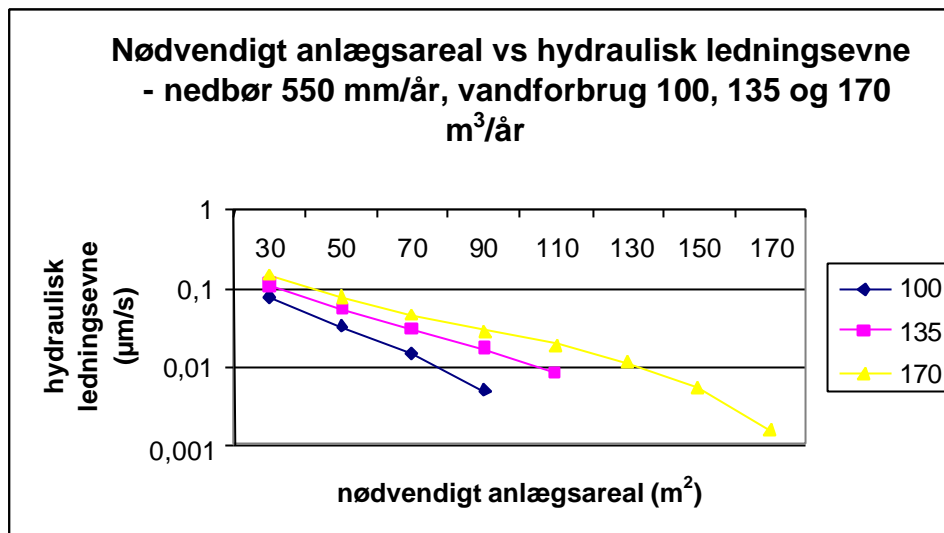
Figur 9.4.

Nødvendig anlægsstørrelse for pileanlæg med tæt membran ved forskellig belastning med nedbør og spildevand. Beregningen omfatter alene det areal, der er nødvendig for at fordampe den regn- og spildevand.

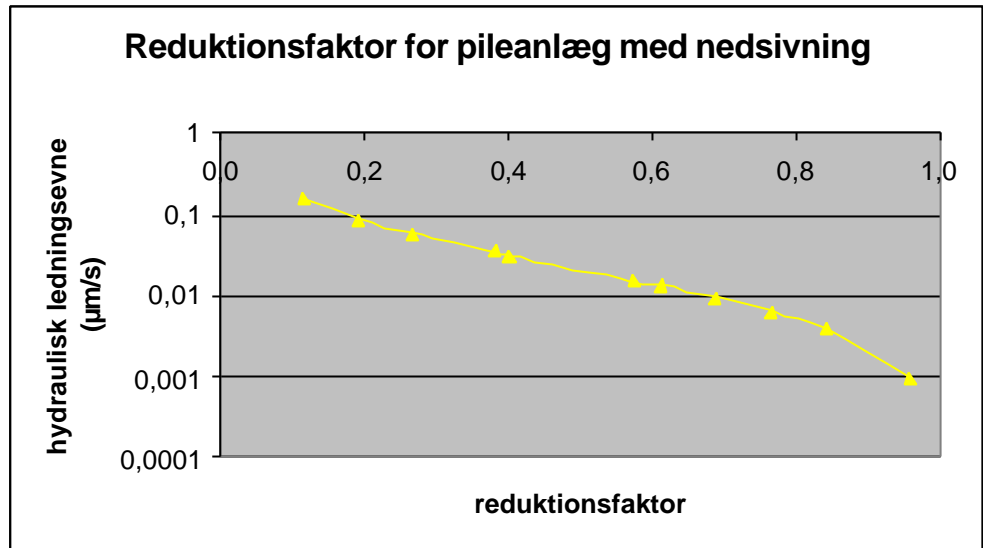
På baggrund af figur 9.4 er det nødvendige areal for anlæg, der kombinerer fordampning og nedsivning, beregnet. Figurerne 9.5 a-c illustrerer for hver af nedbørsmængderne 550, 700 og 850 mm/år, sammenhængen mellem jordens hydraulisk ledningsevne og den anlægsstørrelse, der er nødvendig for at det tilførte regn- og spildevand kan bortskaffes ved kombineret fordampning og nedsivning. I hver figur findes tre kurver, der illustrerer den nødvendige anlægsstørrelse ved kombineret fordampning af regn, der falder på anlægget og en spildevandsmængde på hhv. 100, 135 og 170 m<sup>3</sup> pr. år.

Til brug for retningslinierne for etablering af pileanlæg med nedsivning er resultaterne i figur 9.6 generaliseret til en reduktionsfaktor, der kan anvendes til dimensionering af pileanlæg med nedsivning. Figur 9.6 illustrerer således sammenhængen mellem jordens hydrauliske ledningsevne,  $K$  ( $\mu\text{m/s}$ ) og den faktor (reduktionsfaktor), arealet af et pileanlæg med nedsivning kan reduceres til i forhold til arealet af et pileanlæg med tæt bund. Reduktionsfaktoren er uafhængig af nedbør og vandforbrug.

Reduktionsfaktoren er opgjort i et interval for den hydrauliske ledningsevne, der spænder fra en nedsivningsevne, der er tilstrækkelig god ( $>0,1 \mu\text{m/s}$ ) til at der kan etableres et traditionelt nedsivningsanlæg, til en ledningsevne i ler, der er så lav ( $<0,001 \mu\text{m/s}$ ), at anlægsstørrelsen reelt ikke kan reduceres i forhold til pileanlæg med tæt bund.



Figur 9.5. Sammenhængen mellem jordens hydraulisk ledningsevne og den anlægsstørrelse, der er nødvendig for at det tilførte regn- og spildevand kan bortskaffes ved kombineret fordampning og nedsivning for tre forskellige spildevandsmængder og ved hver af nedbørsmængderne 550, 700 og 850 mm/år.



Figur 9.6. Sammenhængen mellem jordens hydrauliske ledningsevne, K ( $\mu\text{m/s}$ ) og den faktor (reduktionsfaktoren), arealet af et pileanlæg med nedsivning kan reduceres med i forhold til arealet af et pileanlæg anlagt med tæt membran. Reduktionsfaktoren er uafhængig af nedbør og vandforbrug.

I "Retningslinier for pileanlæg med nedsivning op til 30 pe" er kurven i figur 9.6 yderligere generaliseret til en tabel. I retningslinierne gives således nedenstående anvisninger for at reducere anlægsarealet.

Anlæggets størrelse kan reduceres med udgangspunkt i et infiltrationsforsøg. Jordbundens hydrauliske ledningsevne for spildevand bestemmes efter den metode, der findes angivet i retningsliniernes bilag 4. Undersøgelsen gennemføres 3-5 steder i det område, hvor anlægget skal placeres. Den laveste værdi for hydraulisk ledningsevne anvendes i det følgende.

Af figur 9.7 fremgår, hvor meget anlæggets areal som følge af nedsivning kan reduceres i forhold til et anlæg med tæt membran.

I praksis anbefales det ikke at anlægge pileanlæg med nedsivning med et areal under  $100 \text{ m}^2$ .

Hydraulisk ledningsevne	<0,001 ( $\mu\text{m/s}$ )	0,001-0,005 ( $\mu\text{m/s}$ )	0,005-0,01 ( $\mu\text{m/s}$ )	>0,01 ( $\mu\text{m/s}$ )
Reduktionsfaktor	0 %	10 %	20 %	40 %

Figur 9.7. Reduktionsfaktor for pileanlæg med nedsivning.

# 10 Masse- og stofbalance for pileanlæg

Masse- og stofbalancen omfatter sammen med miljøvurderingen i kapitel 11 en vurdering af belastning med og skæbne af organisk stof, næringsstofferne kvælstof og fosfor, de metaller, der indgår i slambekendtgørelsen, samt de salte, der kunne tænkes at blive ophobet i anlægget i større mængder.

Vurderingen af stofbelastningen tager udgangspunkt pileanlæg med tæt bund, i belastningen af anlæggene målt i pe og i spildevandsbekendtgørelsens og litteraturens data for sammensætningen af husspildevand. Vurderingen af stoffernes skæbne omfatter omsætning og ophobning af stoffer i jorden i pileanlægget samt fjernelse ved høst af biomasse, en beregning af resulterende koncentrationer i anlægget efter 20 og 50 år og en sammenligning af disse koncentrationer med gældende værdier for klassificering af metalforurenet jord.

For pileanlæg uden bund gives endvidere en kort vurdering af den potentielle nedsivning fra anlægget og dennes betydning for akkumulation af metaller og salte.

## 10.1 Belastning af pileanlæg med husspildevand

I forhold til den omgivende jord tilføres jorden og derved vegetationen i pileanlæg en række næringsstoffer og miljøfremmede stoffer med spildevandet. Denne tilførsel kan have betydning for jordkvalitet og pilenes vækst.

### 10.1.1 Karakteristik af husspildevand

I et netop udgivet projekt fra Miljøstyrelsen, "Miljøkonsekvenser ved nedsivning af spildevand rensset i økologiske renseanlæg sammenlignet med traditionel nedsivning" /1/, er der udtaget prøver på udløbene fra to bundfældningstanke, der betjener hhv. en almindelig ejendom med to personer og en familien på 4 personer og en lille frisørsalon. Idet pileanlæg belastes med husspildevand efter mekanisk rensning i bundfældningstank, anvendes sammensætningen af dette spildevand i de senere beregninger af stofbalancen for pileanlæg.

I nedenstående figur 10.1 findes analysedata for fra Miljøstyrelsens nedsivningsprojekt /1/ (husspildevand rensset i bundfældningstank) angivet sammen med resultater fra Miljøprojekt nr. 357 /2/ og de standardværdier, der er opgivet for råt spildevand i lærebogen Spildevandsrensning /3/ (Henze et al.).

Stof	Enhed	Husspildevand efter bund- fældning /1/	Husspildevand - råt /2/	Råspildevand /3/
Cl	mg/l	96	120	500
SO <sub>4</sub> -S	mg/l	20		
COD	mg/l	320	630	740
BI5	mg/l	128	260	350
Tot-N	mg/l	104	69	80
Tot-P	mg/l	20	13	23
Pb	µg/l	<1	32	80
Cd	µg/l	<0,1	0,6	4
Cr	µg/l	1,75	1,8	40
Cu	µg/l	75,5	105	100
Hg	µg/l	0,25	0,53	3
Ni	µg/l	<2	11	40
Zn	µg/l	150	217	300
sum PAH	µg/l	0,432	0,3	
DEHP	µg/l	14	31	
LAS	µg/l	4	570	
NPE	µg/l	10	10	

Figur 10.1.  
Indhold af forurenende stoffer i husspildevand.

### 10.1.2 Belastning af pileanlæg fra spildevand

På baggrund af de værdier for spildevands indhold af forurenende stoffer, der findes i figur 10.1 og et vandforbrug på 35 m<sup>3</sup>/pe/år, findes den årlige forureningsbelastning af pileanlæg beregnet i figur 10.2. De forskellige værdier i de tre søjler afspejler, ligesom i figur 10.1 forskellen på det spildevand, der er karakteriseret. Alle værdier er opgivet i gram stof pr. pe pr. år.

Stof	Enhed	Husspildevand efter bund- fældning /1/	Husspildevand - råt /2/	Råspildevand /3/
Cl	g/pe/år	3360	4200	17500
SO <sub>4</sub> -S	g/pe/år	700	0	0
COD	g/pe/år	11200	22050	25900
BI5	g/pe/år	4480	9100	12250
Tot-N	g/pe/år	3640	2415	2800
Tot-P	g/pe/år	700	455	805
Pb	mg/pe/år	<35	1120	2800
Cd	mg/pe/år	<3,5	21	140
Cr	mg/pe/år	61,25	63	1400
Cu	mg/pe/år	2642,5	3675	3500
Hg	mg/pe/år	8,75	18,55	105
Ni	mg/pe/år	<70	385	1400
Zn	mg/pe/år	5250	7595	10500
sum PAH	mg/pe/år	15,12	10,5	
DEHP	mg/pe/år	490	1085	
LAS	mg/pe/år	140	19950	
NPE	mg/pe/år	350	350	

Figur 10.2.  
Belastning af pileanlæg med husspildevand ved et vandforbrug på 35 m<sup>3</sup> /pe.

## 10.2 Pilens optag af metaller og salte

Pil optager og akkumulerer metaller og salte fra den jord, den dyrkes i. Dette fænomen kaldes phytoekstraktion. I litteraturen diskuteres dette forhold både med det udgangspunkt, at piledyrkning kan anvendes som renseteknik for forurenede jord og med det udgangspunkt, at pilens indhold af metaller kan udgøre et problem ved genanvendelse eller bortskaffelse af aske fra piletræ anvendt til energiformål.

Phytoekstraktion af metaller udnytter altså planternes evne til at ekstrahere metaller fra jorden samt dens evne til at optage og opkoncentrere disse i plantematerialet. Princippet i at anvende phytoekstraktion som oprensningsteknik er, at planterne via jordvæsken optager metal, der frigives fra jorden. De overjordiske plantedele kan efterfølgende høstes, hvorved en metalmængde svarende til planternes indhold fjernes fra arealet. I princippet er der herefter flere muligheder for efterbehandling af det høstede plantemateriale. Plantedele kan f.eks. forbrændes som biobrændsel og asken efterfølgende genanvendes som gødning eller, hvis den indeholder for høje koncentrationer af metaller, deponeres.

Foruden optag af metaller fra jorden bidrager deposition af metaller fra luften til planters indhold af metaller.

### 10.2.1 Parametre med betydning for planters optag af metaller og salte

Visse planter kan optage metaller i koncentrationer, der normalt vil være toksisk for plantevækst. En lang række mekanismer har betydning for den samlede proces, herunder særligt tilstandsformen og biotilgængeligheden af forureningsstofferne i jorden og planternes evne til at akkumulere og isolere de toksiske stoffer

I relation til phytoekstraktion er der to forskellige typer af planter, som adskiller sig ved de mekanismer, hvorved metallerne optages i planterne. Den ene type er de såkaldte hyperakkumulerende planter, der er kendetegnet ved gennem aktivt optag at kunne akkumulere høje koncentrationer af visse tungmetaller. Den anden type er de ikke-hyperakkumulerende planter, som gennem høj tolerance og/eller stor biomasseproduktion også kan optage væsentlige mængder af tungmetaller. /8/.

Pil hører til de ikke hyperakkumulerende planter.

Pil høstes normalt i vinterperioden med et vandindhold omkring 50%, oftest med 3-4 års mellemrum. Er formålet en maksimal fjernelse af salte og metaller kan pilen høstes med grønne blade om efteråret.

De jordbundsfaktorer, der har betydning for planternes metaloptag, er jordens pH, jordtypen, koncentrationsniveauet af metallerne, jordens indhold af organisk stof, tilførsel af gødning og jordvæskens sammensætning. De enkelte faktorer sammenhæng med planters optag af de forskellige metaller er ikke klarlagt. /8/.

I jorden er pH den altovervejende styrende parameter for planternes optag af metaller og for fordelingen af tungmetaller mellem jord og jordvæske.



Den generelle viden om optag af metal i planter bygger primært på forekomsten af metal som totalkoncentration i jorden eller som en ekstraherbar del af jordens totale indhold. Flere studier har således vist en god korrelation mellem koncentrationer af f.eks. Cd i planter og koncentrationer af Cd i jord. /8/.

### 10.3 Fjernelse af salte og metaller med høst af pil

I nedenstående figur 10.4 findes en opsamling af data for indhold af metaller og salte i pil. Opsamlingen er baseret på referencerne /6/, /8/, /9/ /10/.

Stof	enhed	/8/	Andre referencer	Elsam /9/	Foulum /10/ <sup>1)</sup>	Data til videre beregning
Cl	mg/kg			180-250		200
S	mg/kg			300-700		500
Tot-N	mg/kg		4000 (/8/)	3500-4400	8800-12800	4000
Tot-P	mg/kg		1100(/8/)	600-810	2600-2800	800
Pb	mg/kg	<0,4-40			0,04-0,05	<0,04
Cd	mg/kg	1,1-9,8	0,678(/6/)	0,42-3,6	0,18-0,35	1
Cr	mg/kg	0,15-0,62			0,83-1,94	0,15
Cu	mg/kg	3,7-19	7,73(/8/)		1,55-2,31	1,55
Hg	mg/kg				0,019	0,019
Ni	mg/kg	0,47-1,7	1,1(/6/)		0,16-0,21	0,16
Zn	mg/kg	193-1430	125(/6/)		20,5-25,1	20,5

Figur 10.3.

Indhold af metaller og salte i pil, <sup>1)</sup> tal for førsteårsskud. Supplerende undersøgelser har vist, at indholdet af næringsstoffer i veddet falder år for år.

Det vurderes, at data fra /9/, "Kemiske brændselsdata for dansk energipil, Elsam Projekt (1995), er veldokumenterede og repræsentative for danske forhold, idet de stammer fra analyser af 8 prøver udtaget af pil af forskellig alder, klon og voksested i Danmark. En middelværdi af disse analyser anvendes derfor i det følgende. For de metaller, der ikke findes analyseret i /9/, anvendes den laveste værdi i de videre beregninger. Dette valg er foretaget for at beregningerne af metalakkumulering i pileanlæggets jordvolumen kan betragtes som "worst case".

De mængder af salte og metaller, der fjernes fra et pileanlæg ved høst er opgjort i figur 10.4 på basis af data i figur 10.3 og under forudsætning af, at anlægget er dimensioneret med 50 m<sup>2</sup>/pe og at der høstes pil fra anlægget svarende til en mængde på 10 t ts/ha/år.

Det antages, at høst sker om vinteren. Fjernelsen af næringsstoffer kan forøges ved at høste, mens pilen endnu bærer friske blade, idet friske blade indeholder væsentlig højere koncentrationer af N og P end ved. Der er ikke fundet dokumentation for at noget tilsvarende gælder metaller og salte /10/.

	Fjernet ved høst (g/pe/år)
Cl	10
SO <sub>4</sub>	25
Tot-N	200
Tot-P	40
Pb	0,002
Cd	0,05
Cr	0,0075
Cu	0,0775
Hg	0,00095
Ni	0,008
Zn	1,025

Figur 10.4.

Fjernelse af salte og metaller med høst af pil fra et pileanlæg. Alle tal opgjort på basis af figur 10.3 og angivet g stof pr. pe pr. år og under antagelse af et høstudbytte på 10 t tørstof/år og en dimensionering af anlægget på 50 m<sup>2</sup> pr. pe.

#### 10.4 Massebalance for metaller, salte og miljøfremmede stoffer i pileanlæg med bund

I et pileanlæg, hvor det tilførte vand alene forlader anlægget ved fordampning, vil der ske en akkumulation af spildevandets indhold af salte, metaller og ikke-nedbrydelige organiske forbindelser.

Ved høst af biomasse fjernes en del af de tilførte stoffer. Kvælstof vil desuden kunne fjernes fra anlægget ved denitrifikation, mens svovl vil kunne fordampe som svovlbrinte. Det er uden for dette projekts område at forsøge at kvantificere disse strømme. Det er dog velkendt, at denitrifikation i våde enge pr. arealenhed kan antage samme størrelsesorden, som de mængder af kvælstof, der tilføres pileanlæg.

Fjernelse af miljøfremmede organiske stoffer (PAH, LAS, NPE og DEHP) ved høst af biomasse er ikke vurderet, idet det ikke har været muligt at finde data for indhold af disse stoffer i pil. Pil er meget brugt ved phytoremediering af jord, der er forurenet med organiske forbindelser, men det har ikke været muligt at finde forsøg, der dækker det meget lave koncentrationsområde, der er relevant i pileanlæg.

På baggrund af tal for belastning (figur 10.2) og fjernelse ved høst (figur 10.4) er der i figur 10.5 opstillet en massebalance for salte og metaller i et pileanlæg. Alle tal er opgivet i kg pr. ha pr. år.

	Tilførsel med spildevand (kg/ha/år)	Høst med pil (kg/ha/år)	Balance (kg/ha/år)
Cl	672	2	670
SO <sub>4</sub>	140	5	135
tot-N	728	40	688
tot-P	140	8	132
Pb	0,007	0,0004	0,0066
Cd	0,0007	0,01	-0,0093
Cr	0,01225	0,0015	0,01075
Cu	0,5285	0,0155	0,513
Hg	0,00175	0,00019	0,00156
Ni	0,014	0,0016	0,0124
Zn	1,05	0,205	0,845

Figur 10.5.

Massebalance for metaller og salte tilført pileanlæg. I kolonnerne findes tilført og fjernet mængde i kg pr. ha. pr. år (beregnet på baggrund af data i figur 10.2 og 10.4). I sidste kolonne er opstillet en massebalance for pileanlæg ligeledes opgjort i kg pr. år på hektarbasis. Ved opgørelsen af de mængder af metaller, der tilføres med spildevand og fjernes ved høst er der ikke taget højde for deposition eller optagelse af metaller fra luft.

Sammenfattende ses af figur 10.5, at der i jorden i anlægget sker en ophobning af alle måleparametre bortset fra cadmium. Deposition eller optagelse af metaller fra luft indgår ikke i den opstillede balance. Det betyder, at den tilsyneladende nettofjernelse af cadmium næppe er reel, idet en stor del af pilens indhold af cadmium sandsynligvis er optaget fra luften.

#### 10.5 Udvaskning af salte, metaller og miljøfremmede stoffer fra pileanlæg med nedsivning

Et pileanlæg med nedsivning er, hvad angår udvaskning af metaller og salte, principielt sammenligneligt med et nedsivningsanlæg. Nedsivning skal derfor indgå som en parameter i massebalancen for et pileanlæg med nedsivning.

Pileanlæggets store areal betyder dog, sammen med piletræerne fordampning af vand og optag af metaller og salte, at fladebelastningen fra et pileanlæg med nedsivning vil være væsentlig mindre end tilsvarende belastning fra et nedsivningsanlæg. Da nedsivning i nedsivningsanlæg etableret efter vejledningen betragtes som en acceptabel afledning af spildevand (se bl.a. /1/), forudsættes det, at det samme gælder for pileanlæg med nedsivning, i det omfang, at de anlægges, så de respekterer de afstandskrav, der findes i nedsivningsvejledningen.

I det følgende opsummeres derfor blot en række kvalitative betragtninger omkring nedsivningens betydning for massebalancen i pileanlæg med nedsivning.

##### 10.5.1 Tungmetaller

Generelt sker der en væsentlig tilbageholdelse af tungmetallerne i jorden ved nedsivning af spildevand. Graden af tilbageholdelse er specifik for de enkelte metaller og afhænger desuden af en række jordbundsparametre (tekstur, pH,

indhold af organisk stof mm.) En mindre andel af de metaller, der tilføres med spildevandet, udvaskes dog. Ophobningen af metaller i pileanlæg med nedsivning vil derfor være mindre end i lukkede anlæg og den resulterende forøgelse af metalkoncentrationerne i jorden mindre end i nedsivningsanlæg.

### 10.5.2 Klorid

Modsat de lukkede pileanlæg vil klorid i pileanlæg med nedsivning vil på årsbasis blive vasket ud med vandet i forbindelse med nedsivning.

### 10.5.3 Miljøfremmede stoffer

Ligesom for metallerne gælder det, at de miljøfremmede organiske stoffer, der er mobile, udvaskes med vandet og de stoffer, der tilbageholdes, ophobes i jorden i pileanlæg med nedsivning. Idet, der paralleliseres til undersøgelser af miljøforholdene ved nedsivning i nedsivningsanlæg /1/, hvor fladebelastningen er større end i pileanlæg, vurderes hverken nedsivning eller ophobning af miljøfremmede organiske stoffer at være et problem i pileanlæg med nedsivning. Der er derfor ikke foretaget en vurdering af pilens betydning for fjernelse (nedbrydning eller optag) af miljøfremmede stoffer.

## 10.6 Referencer

- [1] Miljøkonsekvenser ved nedsivning af spildevand renses i økologiske renselanlæg sammenlignet med traditionel nedsivning, Miljøstyrelsen 2001, .
- [2] Miljøfremmede stoffer i husholdningsspildevand – måleprogram for udvalgte stoffer, Miljøprojekt nr. 357, Miljøstyrelsen 1997.
- [3] Spildevandsrensning, Henze et al., Polyteknisk forlag
- [4] Baggrundskoncentrationer for tungmetaller i jord jf. ”Tungmetaller i jord og vand”, Larsen M., Langtofte C., Bak J, Vand og Jord, 1, 1998.
- [5] Tungmetaller i danske jorder, DMU, Temarapport 4, 1996
- [6] Removal of N and P from municipal wastewater by willow – a laboratory approach, by Obarska-Pempkowiak, H. in Willow vegetation filters for municipal wastewater and sludges. Swedish university of agricultural science, Dept. of ecology and environmental research, 1994.
- [8] Phytooprensning af metaller, Forprojekt. Miljøprojekt Nr. 536 2000, Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening.
- [9] Kemiske brændselsdata for dansk energipil, Otto Sindberg, Notat EP95/468, Elsamprojekt (1995).
- [10] Personlig kommunikation, Uffe Jørgensen, Foulum 2002
- [11] ”Forurenede jord på Sjælland og Lolland-Falster – Vejledning i håndtering og bortskaffelse”, Kbh. amt mfl., 2000.



# 11 Miljøvurdering af pileanlæg

På baggrund af de opstillede vand- og stofbalancer er der i det følgende gennemført en miljøvurdering af pileanlæg. I vurderingen er der fokuseret på følgende områder:

- Opgørelse af spildevandets forurening af jorden i pileanlægget i forhold til forurening fra andre kilder
- Miljøvurdering af den jord, der indgår i pileanlæg ved nedlæggelse af anlægget med fokus på metaller
- Den potentielle grundvandsbelastning fra pileanlæg med nedsivning
- Anvendelse af ved fra pileanlæg til flis eller forbrænding.

Kloridproblemet i pileanlæg vurderes selvstændigt i kapitel 12

Miljøbelastningen ved etablering og bortskaffelse af pileanlæg vurderes.

Tømning af bundfældningstank og forbruget til pumpning af spildevand til anlægget at være af samme størrelsesorden som for nedsivningsanlæg, sandfiltre og rodzoneanlæg. Disse forhold indgår derfor ikke i miljøvurderingen.

Idet, der ikke sker afløb fra pileanlæg med nedsivning, indgår der heller ikke en vurdering af recipientbelastningen fra denne type af anlæg.

## 11.1 Stofbelastning af pileanlæg

Den massebalance, der er opgjort i figur 10.5 i kapitel 10, sammenfatter tilførslen af metaller med spildevandet, og fjernelse med høst af piletræer. Af balancen ses, at fjernelsen af metaller ved høst er mindre eller meget mindre (flere størrelsesordner) end tilførslen med spildevand. Det betyder, at der sker en ophobning af metaller i jorden i pileanlæg. På grund af metallernes ringe mobilitet gælder dette både pileanlæg og pileanlæg med nedsivning.

	Nettotilførsel til pileanlæg (kg/ha/år)
Cl	670
S	135
Tot-N	688
Tot-P	132
Pb	0,0066
Cd	-0,0093
Cr	0,01075
Cu	0,513
Hg	0,00156
Ni	0,0124
Zn	0,845

Figur 11.1.

Nettotilførsel af metaller og salte til pileanlæg. Tallene er udregnet på baggrund af spildevandets bidrag af metaller og salte fratrukket den mængde, der fjernes ved høst. Tallene er udregnet pr. hektar af hensyn til videre sammenligning med andre kilder til metaller og salte. (efter figur 10.5, kapitel 10). Deposition fra atmosfæren indgår ikke.

En tilsvarende vurdering kan gøres gældende for de salte, der ledes til anlægget med spildevandet, idet de tilføres i langt større mængder end der fjernes ved høst. For kvælstof, fosfor, klorid og svovl gælder således:

- Kvælstof vil næppe ophobes, idet skiftende redoxforhold og rigelig tilgængelighed af letomsætteligt organisk stof skaber ideelle betingelser for denitrifikation.
- Fosfor vil på grund af ringe mobilitet ophobes i både pileanlæg med og uden bund.
- Klorid vil ophobes i anlæg med bund, men udvaskes fra anlæg med nedsivning, se i øvrigt afsnit kapitel 12.
- Svovl kan ophobes i anlægget, men kan også under anaerobe forhold fordampe som H<sub>2</sub>S.

I nedenstående figur 11.2 sammenstilles spildevandets belastning af jorden i pileanlæg med den belastning af jorden, der sker ved deposition og med den forurening, der accepteres fra spredning af gylle, slam og handelsgødning på landbrugsjord. Omfanget af belastningen er for hver af de fire kilder opgjort ved at udregne, hvor mange års belastning, der skal til, for at jordbundens koncentration af de enkelte metaller er forøget med 1 procent.

Ved beregning er der taget udgangspunkt i normalkoncentrationer for dansk jord /4/, /5/. Ved deposition og spredning af gylle, handelsgødning og slam antages metallerne spredt i de øverste 30 cm af jordbunden. I pileanlægget, hvor tilledning af vand sker midt i anlægget, antages fuld opblanding i hele jordvolumenet (1,5 meter).

	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
Deposition*	21	14	23	170	3	89	16
Gylle*	71	7	0,3	22		9	0,7
Handelsgødning*	9-113	6		24	25	79	
Slam*	5	4	0,5	13	1	8	0,5
Pileanlæg	350	60	3	200	5	90	6

Figur 11.2.

Angivelse af hvor mange års belastning, der skal til, for at jordbundens koncentration af de enkelte metaller er forøget med 1 procent.

\* På basis af /5/.

## 11.2 Miljøvurdering af jord i pileanlæg

Som en del af miljøvurderingen af pileanlæg indgår en vurdering af, om jorden i anlægget forurenes i et omfang, så den skal håndteres som forurennet jord.

Vurderingen gennemføres med udgangspunkt i de metalkoncentrationer, der findes i typiske danske jorde /4/, /5/ i den metalbelastning, der er beregnet i kapitel 10 og i de forureningsklasser for jord, der er opstillet af de sjællandske amter /11/. I beregningerne forudsættes metalforureningen opblandet i hele pileanlæggets jordvolumen (1,5 meter).

I figur 11.3 findes en sammenstilling af typiske metalkoncentrationer i danske jorde med forureningsklasserne 1-3. I sidste søjle findes for hvert enkelt metal en beregning af, hvor mange års belastning med spildevand, der skal til for at

jorden i et pileanlæg vil ende i klasse 1. Af figuren ses, at ophobning af metaller fra husspildevand i pileanlæg ikke udgør et problem i anlæggenes levetid.

	Baggrunds-koncentration i jord (mg/kg)	Tilførsel med spildevand (kg/ha/år)	Klasse 1 (mg/kg)	Klasse 2 (mg/kg)	Klasse 3 (mg/kg)	Antal år før Klasse 1 nås (år)
Pb	11,3	0,007	<40	<120	<400	18222
Cd	0,18	0,0007	<0,5	<1	<5	2032
Cr	10,7	0,01225	<500	<500	<750	177524
Cu	7,8	0,5285	<500	<500	<750	4139
Ni	5,7	0,014	<30	<40	<100	7714
Zn	29	1,05	<500	<500	<1500	1994

Figur 11.3.

Typiske metalkoncentrationer i dansk landbrugsjord sammenstillet med metalbelastningen af pileanlæg fra spildevand og forureningsklasserne 1-3 for jord /11/. Søjlen længst til højre i tabellen viser, hvor mange år, der vil gå, før koncentrationen af de enkelte metaller i et pileanlæg er forøget fra de typiske jordbundskoncentrationer og til klasse 1.

Beregningerne hviler på en forudsætning om at metalbelastningen opblandes i hele jordvolumenet (1,5 meter) og at jorden har en densitet på 1,5 t/m<sup>3</sup>.

### 11.3 Belastning af grundvand fra pileanlæg med nedsivning

Miljøkonsekvenserne ved nedsivning findes nyligt vurderet i et projekt fra Miljøstyrelsen /1/, og nedsivningsanlæg er, forudsat de udføres efter den gældende vejledning, godkendt til bortskaffelse af husspildevand.

I pileanlæg med nedsivning bortskaffes spildevandet dels ved fordampning og dels ved nedsivning. Dimensioneringskravene til pileanlæg med nedsivning er således baseret på en vurdering af pilens fordampning i kombination med hvor meget spildevand, der på årsbasis kan nedsives i den jord, hvor anlægget er placeret. Pileanlæg med nedsivning er således tænkt som en løsning i områder, hvor jordbundens permeabilitet er for ringe til at der kan etableres anlæg efter vejledningen for nedsivningsanlæg.

Det har ikke været muligt inden for rammerne af dette projekt at skaffe data til en miljøvurdering af nedsivning af husspildevand i disse jordtyper. Det er dog givet, at en række forhold er anderledes ved nedsivning i pileanlæg med nedsivning end i nedsivningsanlæg. Det gælder særligt, at:

- fladebelastningen (tilført spildevandsmængde pr. m<sup>2</sup> anlæg) vil være mindre i pileanlæg med nedsivning
- hvis anlægget ikke dimensioneres meget småt, kan der ikke forventes nogen væsentlig nedsivning i de måneder, hvor pilen bærer blade og fordamper vand
- pil anvendes til phytoremediering af forurenede jord, hvor beplantning med piletræer accelererer fjernelsen af miljøfremmede organiske stoffer
- meget tætte jorde kan til gengæld føre til opstuvning af vand og lokalt vandmættede forhold, der igen kan resultere i anaerobe betingelser og derved længere halveringstider for miljøfremmede organiske stoffer,
- hurtig nedsivning gennem sprækker er et kendt fænomen fra bl.a. meget tætte jorde.



#### 11.4 Anvendelse af pil fra pileanlæg

Det er kendt, at indholdet af Cd i flis fra pil, der dyrkes som energipil, kan give problemer med recirkulering af asken i jordbruget /9/. Dette skyldes en kombination af pilens evne til at akkumulere metaller (se endvidere afsnit 10.2.1) og den deposition af metaller fra luften, der sker på al vegetation.

På grund af spildevandets ringe bidrag til metalbelastningen - og derved til pilens optag af metaller - vurderes det ikke, at ved fra pil dyrket i pileanlæg er hårdere belastet med metaller end pil, der dyrkes til energiformål. Der er heller ikke fundet data i litteraturen, der kan underbygge, at pil fra pileanlæg skulle være særlig forurenede.

Endelig bør en vurdering af problemet ved spredning af asken fra forbrænding af lokalt dyrket pil ses i det perspektiv, at der snarere er tale om at flytte metaller rundt mellem forskellige steder på marken end der er tale om tilførsel af metaller udefra.

Anvendelse af pil fra pileanlæg til energiformål vil under ingen omstændigheder få nogen større betydning for anlægsejernes energiproduktion, idet den forventede høst vil udgøre 50 kg ts pr. pe pr. år, svarende til 20 liter olie pr. pe pr. år.

Mængden af Cd i asken fra forbrænding af pil fra pileanlæg vil udgøre ca. 0,05 g pr. pe pr. år, svarende til den mængde cadmium, der årligt må spredes med slam på et areal på 0,007 ha.

#### 11.5 Referencer

- [1] Miljøkonsekvenser ved nedsivning af spildevand renses i økologiske renselanlæg sammenlignet med traditionel nedsivning, Miljøstyrelsen 2001, .
- [2] Miljøfremmede stoffer i husholdningsspildevand – måleprogram for udvalgte stoffer, Miljøprojekt nr. 357, Miljøstyrelsen 1997.
- [3] Spildevandsrensning, Henze et al., Polyteknisk forlag
- [4] Baggrundskoncentrationer for tungmetaller i jord jf. "Tungmetaller i jord og vand", Larsen M., Langtofte C., Bak J, Vand og Jord, 1, 1998.
- [5] Tungmetaller i danske jorder, DMU, Temarapport 4, 1996
- [6] Removal of N and P from municipal wastewater by willow – a laboratory approach, by Obarska-Pempkowiak, H. in Willow vegetation filters for municipal wastewater and sludges. Swedish university of agricultural science, Dept. of ecology and environmental research, 1994.
- [8] Phytooprensning af metaller, Forprojekt. Miljøprojekt Nr. 536 2000, Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening.
- [9] Kemiske brændselsdata for dansk energipil, Otto Sindberg, Notat EP95/468, Elsamprojekt (1995).
- [10] Personlig kommunikation, Uffe Jørgensen, Foulum 2002

[11] "Forurenet jord på Sjælland og Lolland-Falster – Vejledning i håndtering og bortskaffelse", Kbh. amt mfl., 2000.



# 12 Kloridproblemet i lukkede pileanlæg

## 12.1 Akkumulering af salt i pileanlæg

Der bruges meget salt i husholdninger, bl.a. som blødgøringsmiddel i opvaskemaskiner. Da der ikke er afløb fra pileanlæg, vil salt der tilføres med spildevandet ophobes og potentielt have indflydelse på planternes vækst og fordampningsevne. Af afsnit 10 fremgår det, at der netto tilføres ca. 3 kg klorid per person pr år til pileanlæg. For et typisk anlæg på ca. 150 m<sup>2</sup>, hvor der tilledes 100 m<sup>3</sup> spildevand pr år (svarende til tre personer), kan det beregnes, at der netto ophobes ca. 9 kg klorid pr år, eller ca. 15 kg salt (som NaCl). Vandvoluminet i et 150 m<sup>2</sup> stort anlæg er ca. 75 m<sup>3</sup>, når det er vandfyldt. Det tilførte salt vil derfor resultere i, at saliniteten i anlægget øges med ca. 0,2‰ per år, når anlægget er vandfyldt, og med mere end 1 ‰ per år i sensommeren, når vandindholdet i anlægget er lille. Det kan således forventes, at saliniteten i pileanlæg i løbet af ganske få år kan blive så høj, at planternes vækst og fordampningsevne påvirkes.

## 12.2 Effekten af salt t på planter

Store mængder af salt fører til en række problemer for planter. Stresspåvirkningen fra salt kan opdeles i tre hovedtyper: (1) osmotisk stress, (2) ernæringsstress og (3) stress fra giftvirkning.

### 12.2.1 Osmotisk stress

Osmotisk stress (også kaldet fysiologisk tørke) opstår fordi salt formindsker vandpotentialet udenfor en plantecelle i forhold til potentialet inden i cellen. Plantecellen vil udtørre (dehydrere) som følge af at vand trækkes ud af cellen. Osmotisk stress skyldes ofte, at for meget salt i jordvandet formindsker jordvandets vandpotentiale i forhold til vandpotentialet inden i rødderne. Høje saltkoncentrationer i jordvæsken vanskeliggør røddernes vandoptagelse, og planten må anvende mere energi på aktivt at optage vand.

### 12.2.2 Ernæringsstress

Ernæringsstress skyldes konkurrence imellem forskellige stoffer f.eks. natrium og kalium i forbindelse med planteoptag. Store mængder natrium kan føre til kalium mangel, mens store mængder klorid kan føre til fosfor mangel og kvælstofmangel. Skadebilledet varierer meget afhængig af plantearten og det enkelte næringsstof, men generelt observeres nedsat vækst og reduceret sundhed. Mange forskellige stofskifteprocesser påvirkes.

### 12.2.3 Giftvirkning

Stress fra giftvirkning skyldes primært, at høje koncentrationer af især klorid er giftig for planten. Røddernes struktur kan skades som følge af indtrængning af salt gennem planternes rødder. Både klorid og natrium transporteres let rundt med transpirationsstrømmen fra rødderne til plantens forskellige dele. Især i blade kan der akkumuleres store mængder natrium og klorid over tiden, fordi vandet transpireres, og fordi der kun er ringe tilbagetransport af salte til andre plantedele i plantens sivæv.

Klorid er et uundværligt næringsstof for planter, men kun i ganske små mængder, og er bl.a. vigtig for funktionen af fotosystem II i planternes fotosyntese. Klorid er naturligt tilstede næsten hvor som helst, og mangel ses derfor sjældent. Klorid tåles af de fleste planter indenfor et stort koncentrationsinterval, men niveauet for forgiftning er specifik for den enkelte plantart og/eller klon (typisk omkring 5 mg/g tørstof for løvtræer). Klorid forgiftning opstår før, og er værre end, natrium forgiftning. Symptomerne er svidninger, løvtab og endelig plantedød. Ældre blade hos planter, der er udsat for saltstress, har ofte højere kloridindhold end yngre blade, sandsynligvis fordi kloridtransporten til bladene er tæt korreleret med transpirationen. Ældre blade, der i længere tid har transpireret, har derfor et højere kloridindhold end yngre blade. Kloridstress kan medføre reduceret transpiration og fotosyntese.

Natrium regnes ikke for at være et essentielt plantenæringsstof, når der ses bort fra visse salttolerante plantearter. Natrium kan dog hos nogle planter næsten helt erstatte funktionerne af det vigtige plantenæringsstof kalium. Hos nogle planter stimulerer tilstedeværelsen af natrium væksten, mens hos andre er en ombytning med kalium slet ikke mulig. Natrium optages ikke i samme omfang som klorid, men akkumuleres i kviste.

### 12.2.4 Planters tolerance

Forskellige plantearter påvirkes meget forskelligt af salt. Nogle planter har gennem årtusinder udviklet en stor tolerance overfor salt, måske fordi de har vokset nær havområder, hvor der traditionelt bringes store mængder saltstøv med vinden ind over land, eller fordi de stammer fra ørkenagtige områder, hvor en stor fordampning til stadighed trækker grundvand og næringssalte op mod jordoverfladen. Andre plantearter påvirkes let af selv meget små saltmængder. Det kan være arter, der er tæt knyttet til ferske vådområder eller som har tilpasset sig områder langt væk fra havet.

De forskellige salttålende plantearter er indrettet anatomisk og fysiologisk så de kan modstå saltpåvirkning. Hvorledes den enkelte plantearts modstand er indrettet afhænger af en lang række forhold, bl.a. om saltpåvirkningen især er på de overjordiske eller underjordiske plantedele. Der findes dog flere generelle forhold i planternes reaktion.

Planter klassificeres som 'udelukkere' eller 'optagere'. Udelukkerne søger at undgå saltoptagelse, mens optagerne har en forholdsvis stor optagelse og transport til bladene, hvor de søger at tåle større koncentrationer. I de fleste tilfælde hører træarterne hverken til den ene eller anden gruppe, men er mere eller mindre intermediære.

Udelukker planten optag af salt, minimerer den samtidig stress fra giftvirkningen, men accelererer vandmanglen og det osmotiske stress (fysiologisk tørke).

Optager planten saltet, balanceres det osmotiske tryk inden i planten med jordvæsken udenfor, men risikoen for giftvirkning og næringsstofubalance forøges. Her forsøger planterne, i modsætning til ved fysiologisk tørke, at beskytte sig ved at udskille indtrængende salt, men jo mere salt der trænger ind, des større bliver skaden. Det er ofte vanskeligt at henføre stresssituationen til fysiologisk tørke eller giftvirkning, når saltindholdet i jordvæsken er ekstremt højt, men hos saltfølsomme arter ses væksthæmning selv ved lave saltkoncentrationer.

### 12.2.5 Skadebilleder og symptomer på saltstress

Det første og mest almindelige symptom på saltskade er reduceret vækst. Skaderne kan f.eks. komme til udtryk ved at skud ikke er i stand til at springe ud, og til sidst kan skaden resultere i tilbagevisning og død. Den reducerede vækst er som regel ledsaget af tidlige efterårsfarver, bronzering og afløvning. Ofte hæmmes væksten, og de grønne blade bliver mørkere og mere blålige end normalt. Visse planters blade bliver nærmest sukkulente, dvs. mere vandholdige end normalt, bl.a. på grund af en forøget længde af bladenes palisadevæv. Det modsatte, hvor planterne bliver mindre sukkulente, kan dog også forekomme. Generelt mindskes skudvæksten mindre end rodvæksten.

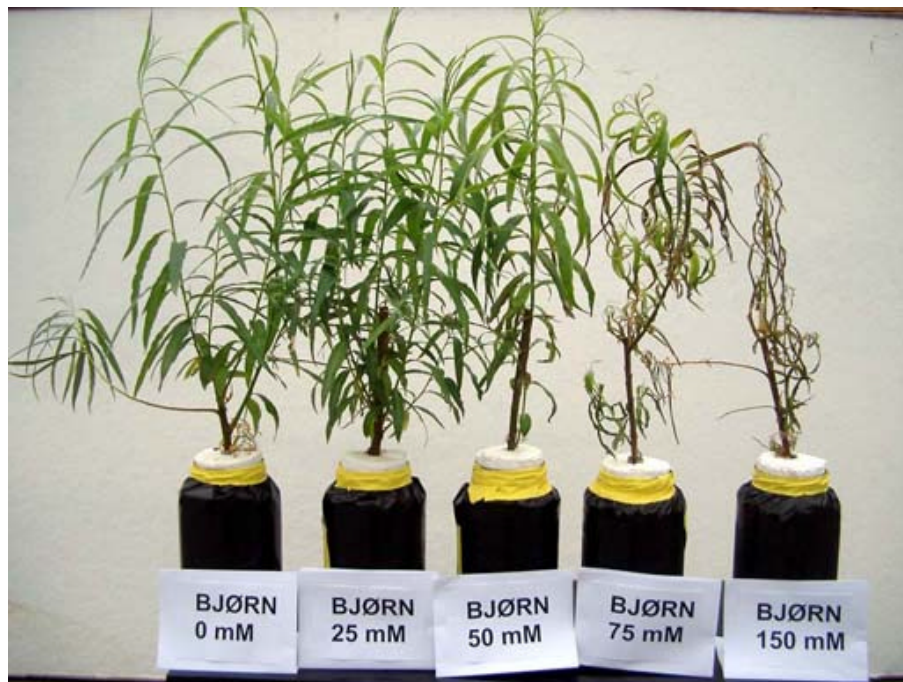
Det synlige skadebillede der opstår som følge af saltpåvirkning på følsomme planter, der udsættes for saltholdige jorde eller saltsprøjt, vil typisk være rand- eller spidssvidninger på bladene (bladrandsnækroser). Skaderne omtales ofte som klorotiske eller nekrotiske. Klorose er mangel på normal grøn farve. Klorose skyldes et formindsket antal eller nedsat størrelse af bladets kloroplaster (grøn-korn), nedbrydning af klorofyl, det grønne farvestof i kloroplasterne, eller manglende evne til at opbygge klorofyl. Nekrose er en gradvis bortdøen af væv. Det er typisk for de fleste træer under saltstress, at skaden starter med at vise sig som marginale kloroser eller nekroser. Fra randen breder nekrosen sig typisk ind på bladpladen mellem bladnerverne. Dette bevirker, at bladet til sidst krøller sig sammen. Disse ultimative nekroser er en følge af celledød og udtørring og starter fra den yderste ende af transpirationskæden, altså fra bladene. I forbindelse med kloroser og nekroser er kloridindholdet i bladene ofte meget højt, hvilket indikerer at giftvirkningen af klorid er den alvorligste stressfaktor.

### 12.3 Effekten af salt på pil

Der er kun sporadiske data i litteraturen på pils salttolerance, og disse undersøgelser peger på, at pil er forholdsvis følsom overfor påvirkning af salt. Glenn et al (1998) /1/ undersøgte salttolerancen hos seks arter af vådbundstræer, herunder en pileart (*Salix gooddingii*). Den undersøgte pileart kunne gro i vandkultur op til en NaCl-salinitet på 8 ‰. De fandt at den relative vækstrate (og transpiration) faldt med 7-9% pr promille salinitet /1/.



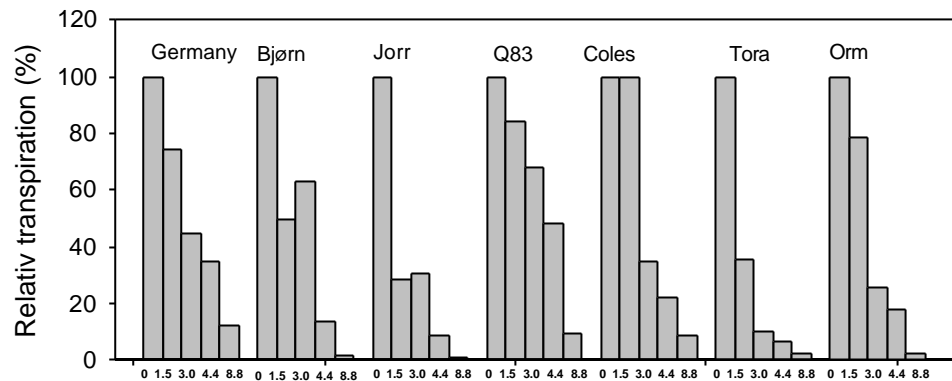
Figur 12.1.  
Forsøg ved Aarhus Universitet, Afdeling for Botanisk Økologi, til belysning af forskellige pileklo-  
ners salttolerance (Foto: Lone Hansen).



Figur 12.2.  
Pilestiklinge af klonen "Bjørn" udsat for stigende koncentration af salt i næringsvæsken. 150 mM  
svarer til en salinitet på ca. 9‰. (Foto: Lone Hansen).

Ved Aarhus Universitet, Afdeling for Botanisk Økologi, er der iværksat en undersøgelse til belysning af forskellige pilekloners salttolerance (figur 12.1 og figur 12.2). Undersøgelserne er foretaget i vandkultur med pilestiklinge og ved tilsætning af stigende koncentration af salt (NaCl) til rodmediet. Målingerne inkluderer registrering af planternes fordampning i forhold til kontrolplanter, der ikke har forhøjet indhold af salt i rodmediet. Foreløbige resultater af disse undersøgelser er vist i figur 12.3. Det ses af figuren, at der for alle kloner, med undtagelse af Coles, er en negativ effekt på transpiration allerede ved en salinitet på 1,5‰. Det ses ligeledes, at der er forskel mellem klonerne, således at nogle kloner synes at være mere tolerante end andre. Det skal understreges at

undersøgelserne endnu ikke er færdige, og at de viste resultater kun er foreløbige data.



Figur 12.3.

Effekt af salt på syv pilekloner. Søjlerne viser den relative transpiration som funktion af salinitet i rodmediet (0 – 1,5 – 3,0 – 4,4 – 8,8 ‰), hvor transpirationen ved 0‰ er sat til 100% (Data fra Lone Hansen).

Stubsgaard /2/ målte en ledningsevne i væskefasen af pileanlæg på op til ca. 2,5 mS/cm (en salinitet på ca. 1,5‰). I efteråret 2002 målte Afdeling for Botanisk Økologi (Lone Hansen) en ledningsevne på ca. 3,3 mS/cm (en salinitet på næsten 2‰). Dette svarer til de laveste undersøgte saliniteter i den ovenfor beskrevne undersøgelse. Det kan derfor ikke udelukkes, at ophobningen af salt i eksisterende pileanlæg allerede har en negativ effekt på pilenes fordampningsevne. Det skal dog påpeges, at resultatet af laboratorieundersøgelserne, der er udført med pilestiklinge, ikke direkte kan overføres til voksne træer i pileanlæg. Ofte vil salttolerancen af store træer være større end for stiklinge.

#### 12.4 Foranstaltninger til at undgå væksthæmning fra klorid

På grundlag af den foreliggende viden er det ikke muligt at fastsætte en præcis grænse for, ved hvilken koncentration klorid vil udgøre et problem for funktionen af pileanlæg. En række parametre som saltbelastningens størrelse, jordtypen, vandbelastning, de valgte kloners alder og kloridfølsomhed etc. vil have indflydelse på, hvornår klorid vil begynde at udgøre et problem for anlæggets evne til at fordampe vand.

Hvis kloridkoncentrationen når et niveau, så anlæggets fordampningsevne hæmmes, vurderes det, at pilen ved en reduktion af kloridkoncentrationen vil retablere fordampningsevnen.

For at bevare pileanlæggets fordampningsevne anbefales det at pumpe vand bort, når kloridkoncentrationen bliver for høj. Det forventes, uden at dette er dokumenteret, at et pileanlæg ved normal kloridbelastning kan fungere i 10 år, før det vil være nødvendigt at pumpe vand bort. På sandede jorde og ved højere kloridbelastning kan de 10 år reduceres væsentligt. Efter de 10 første år forventes det, at det vil være nødvendigt at pumpe vand bort. Dette skal heretter gentages ca. hvert 5. år, idet kun en mindre mængde vand (og klorid) kan pumpes ud af anlægget.



I Retningslinier for pileanlæg op til 30 pe anbefales følgende:

- Hvis pilen viser tegn på dårlig vækst i løbet af sommeren, udtages, så snart det er muligt, en vandprøve til måling af ledningsevne.
- Ledningsevnen i vandet i pileanlægget måles hvert 5. år. Målingen gennemføres tidligt på efteråret, når det står 10-20 cm frit vand i bunden af anlægget.
- Hvis ledningsevnen overstiger 7 mS/cm, anbefales det at tømme anlægget for vand via tømmebrønde og køre vandet til renseanlæg. For at have størst effekt, skal bortpumpningen ske tidligt på efteråret, når der står frit vand i bunden af anlægget.

Beregningsmæssigt svarer den angivne ledningsevne til en saltkoncentration på ca. 5000 mg/l (5‰) under forudsætning af, at alt klorid i anlægget er vasket ned i de nederste 20 cm vand. Denne koncentration vil under de givne forudsætninger nås efter 10 år.

## 12.5 Referencer

- [1] Glenn,E., Tanner,R., Mendez,S., Kehret,T., Moore,D., Garcia,J., & Valdes,C. (1998) Growth rates, salt tolerance and water use characteristics of native and invasive riparian plants from the delta of the Colorado River, Mexico. *Journal Of Arid Environments*, 40, 281-294.
- [2] Stubsgaard,A. 2001.Danske Pileanlæg. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning Nr. 5, 1-96. Miljøstyrelsen.

# 13 Høstudbytte

## 13.1 Høstudbytter og potentielle høstudbytter i lukkede pileanlæg

Der er foretaget måling af høstudbytter i pil dyrket i lukkede pileanlæg. Høstudbytterne er opgjort ved vejning af de enkelte kloner i forbindelse med normal høst, der er foretaget med buskrydder monteret med en savklinge. De enkelte pilekloner er høstet rækkevis og derefter båret ud til vejning. Under høst med buskrydder vil de mindste skud blive knust og slynget bort fra rækken, hvorefter det ikke vil være muligt at bestemme til hvilken klon de hører. Der er således et spild i forhold til den potentielle høstmængde. Fordelen ved måling af høstudbytter er at eventuelle variationer i væksten opfanges, mens ulempen er at kun den anvendelige del vejes med. Udbyttet er et udtryk for hvor meget anvendelig biomasse pilene producerer.

Der er også målt mere nøjagtige potentielle høstudbytter i pil fra lukkede pileanlæg. Måling er her foretaget på få tilfældigt udvalgte pil fra hver række (klon). Høsten er her foretaget ved at alle stokke klippes af med håndkraft. Med denne metode er det muligt at få al biomasse med i målingen. Udbyttet er således et udtryk for det potentielle høstudbytte.

På grund af de meget store nedbørsmængder i 1998 og starten af 1999 blev der høstet i fire anlæg i frostvejr for at høsten kunne foregå på isen i februar. I samme anledning blev planterne talt op i de 4 anlæg. Det bevoksede areal, defineret som arealet af beplantningen plus en halv rækkeafstand ved side og ender, blev opmålt ved samme lejlighed.

Til tørstofbestemmelse i den høstede pil er anvendt en metode efter Keld Hauge Nielsen: Til analysen er udtaget en tilfældig stamme af de høstede pilestængler fra hvert anlæg. Efter balancering af stængelen på håndkant er udsåret et 40 cm stykke (20 cm til hver side fra balancepunktet).

Tørstofbestemmelsen er foretaget ved vejning af friskvægt, findeling, tørring i tørreskab ved 105 °C indtil vægttab ved tørring standses og vejning foretages. Herefter er tørstofprocenten beregnet.

### 13.1.1 Anlæg 1

Bevokset areal : 7 x 31,5 m

Anlægsretning : Nordvest-sydøst

Udbytte i første driftår i pil fra pileanlæg, beplantet april 1997 med 406 stiklinger. Høst februar 1998. Der er høstet 45 planter fra hver klon

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg biomasse	Tørstof %	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Bjørn 116	45	22,0	44,3	9,746	4,00
Jor 174	45	15,75	44,1	6,946	2,84
Tora 116	45	21,2	46,3	9,816	4,01

Figur13.1.

Høstudbytte i første års pil på første års rod. 1,841 plante pr. m<sup>2</sup>.

Udbytte i andet driftår i pil fra samme pileanlæg. Høst februar 1999. Antallet af planter i anlægget er reduceret til 333 på grund af bortskygning efter nedskæring af pil i rækker mellem ubeskarne rækker.

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg biomasse	Tørstof % Gns. alle	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Bjørn	65	82,7	41,1	33,990	7,92
Jor	115	88,9	41,1	36,538	4,81
Tora	46	60,2	41,1	24,74	8,14

Figur 13.2.

Høstudbytte i anden års pil på anden års rod. 1,513 planter pr. m<sup>2</sup>.

Udbytte i andet driftår i pil fra samme lukkede pileanlæg, hvor der er målt udbytte på de planter der har overlevet skygning fra andre rækker efter nedskæring, altså første års vækst på andet års rod. De oprindelige 135 planter er reduceret til 107.

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg Biomasse	Tørstof % Gns. alle	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Bjørn	41 (45)	7,1	41,1	2,918	1,07
Jor	23 (45)	2,7	41,1	1,110	0,61
Tora	43 (45)	9,6	41,1	3,946	1,38

figur 11.3.

Høstudbytte i første års pil på anden års rod, hvor pilene har været udsat for skygning på grund af beskæring mellem rækker med fortsat vækst. 1,513 planter pr. m<sup>2</sup>.

### 13.1.2 Anlæg 2

Bevokset areal: 6,8 x 59,7 m

Anlægsretning: Nord - syd

Der er plantet total 772 pil i anlægget i 1997. Alle pil i anlægget er skåret ned til 20 cm i februar 1998 uden vejning. I februar 1999 er der høstet total 259 eller 37 planter fra hver række i en samlet blok eller ca. 1/3 af anlægget på tværs. Høst er foretaget med buskrydder. Klonerne er vejret rækkevis og klonvis og holdt adskilt for om muligt at kunne se forskel i produktion i forhold til placering i anlæg. Resultatet af første års vækst på andet års rod er vist nedenstående i rækkefølge fra øst mod vest.

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg Biomasse	Tørstof % Gns. Alle	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Tora	37	38,5	40,5	15,593	8,00
Jor	37	48,8	40,5	19,764	10,15
Bjørn	37	46,8	40,5	18,954	9,73
Jor	37	36,0	40,5	14,580	7,48
Tora	37	35,7	40,5	14,459	7,41
Jor	37	31,8	40,5	12,879	6,62
Bjørn	37	32,6	40,5	13,203	6,76

Figur 13.4.  
Høstudbytte i første års pil på anden års rod. 1,901 planter pr. m<sup>2</sup>.

### 13.1.3 Anlæg 3

Bevokset areal: 6,8 x 43,5 m

Anlægsretning: Nord - syd

I anlægget er der plantet totalt 571 planter i april 1997. Alle planter i anlægget er skåret ned i februar 1998 uden vejning. I februar 1999 er der høstet 203 planter og resultaterne er vist i nedenstående figur.

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg Biomasse	Tørstof % Gns. Alle	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Tora	29	40,9	40,0	16,36	10,89
Jor	29	33,9	40,0	13,56	9,01
Bjørn	29	29,9	40,0	11,96	7,95
Jor	29	32,1	40,0	12,84	8,13
Tora	27	32,7	40,0	13,08	9,86
Jor	31	33,7	40,0	13,48	8,38
Bjørn	29	40,9	40,0	16,36	10,89

Figur 13.5.  
Høstudbytte i første års pil på anden års rod. 1,93 planter pr. m<sup>2</sup>.

I samme anlæg er der foretaget en måling af det potentielle høstudbytte den 28.-9. 1998 ligeledes på første års skud på anden års rod. Der er både foretaget opgørelse på blade og stængler. Analyser og opgørelser er foretaget af Uffe Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning for Udviklingsafdelingen, SUC. De er omregnet til udbytte i t tørstof/ha/år.

Klon	Høst af antal planter	Stængel t tørstof/ha/år	Blade t tørstof/ha/år	Total t tørstof/ha/år
Bjørn	2	9,4	1,4	10,8
Jor	3	10,0	2,1	12,1
Tora	2	10,1	1,5	10,6

Figur 13.6.  
Potentielt udbytte i første års pil på anden års rod . Samme anlæg og høst år som figur 13.5.

I samme anlæg er der ligeledes foretaget en måling af det potentielle høstudbytte i stængler af treårs pil på fjerde års rod. Udbytter og tørstofprocenter er analyseret af Christina Lützen og Berit Eskerod Madsen i deres afgangsprøve fra Ingeniørhøjskolen Odense Teknikum. Der er omregnet til potentielt gennemsnitligt udbytte og potentielt udbytte pr m<sup>2</sup>.

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg Biomasse	Tørstof %	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Tora	1	5,421	46,54	2,523	16,23
Jor	1	4,858	50,66	2,461	15,83
Bjørn	1	3,832	48,18	1,845	11,87
Jor	1	4,906	49,48	2,428	15,61
Tora	1	5,8318	51,74	2,977	19,14
Jor	1	1,9894	54,04	1,075	6,90
Bjørn	1	5,9568	50,4	3,002	19,32

Figur 13.7.  
Potentielt udbytte i tredje års pil på fjerde års rod. 1,93 planter pr. m<sup>2</sup>.

#### 13.1.4 Anlæg 4

Bevokset areal: 6,8 x 44,5 m

Anlægsretning: Nord – syd.

Der er plantet total 572 planter i april 1997. Alle planter i anlægget er skåret ned i februar 1998 uden vejning. I februar 1999 er der høstet 201 planter med buskrydder. Resultater af første års vækst på andet års rod er vist i nedenstående skema. Anlægget har været præget af tæt ukrudtsvækst i det første driftår og der har været tilført meget tyndt spildevand til anlægget.

Klon og antal planter i anlæg	Høst af antal planter	Udbytte kg Biomasse	Tørstof % Gns. Alle	Udbytte kg tørstof	Udbytte i t tørstof/ha/år
Tora	29	18,6	42,9	7,979	5,19
Jor	29	17,4	42,9	7,464	4,85
Bjørn	30	20,5	42,9	8,795	5,54
Jor	30	15,2	42,9	6,521	4,10
Tora	27	13,2	42,9	5,663	3,95
Jor	27	15,6	42,9	6,692	4,69
Bjørn	29	13,4	42,9	5,748	3,74

Figur 13.8.  
Høstudbytte i første års pil på anden års rod. 1,89 planter pr. m<sup>2</sup>.

#### 13.2 Konklusion

Der er opnået udbytter i tørstof i første driftår i anlæg på op til ca. 4.00 tons tørstof pr. ha/år for klonerne Bjørn og Tora, der er henholdsvis en hanplante og en hunplante af *Salix viminalis*. Mens klonen Jor, der også er en klon af *Salix viminalis* kun har opnået en produktion på 2,84 tons tørstof pr. ha/år. I andet vækstår opnås der imidlertid næsten lige store potentielle tørstofproduktioner i stammer i klonerne Jor og Tora på ca. 10 tons tørstof pr. ha/år, mens Bjørn ligger lidt under 10 tons pr. ha/år. De tre kloner ligger næsten på linie i målinger på høstudbytter, hvor der dog er anvendt gennemsnit af tørstof indhold, som gør udbytterne en smule usikre. I anden, tredje og fjerde vækstår opnås gennemsnitlige potentielle udbytter på over 19 tons tørstof pr. ha/år i klonerne Bjørn og Tora. Her ligger Jor på lidt over 15 tons pr. ha/år, men taber noget i udbytte, når Bjørn er kraftigt producerende i en naborække vest for den.

Der ses en kraftig nedgang i produktionen, hvor der er en kombination af kraftig ukrudtsvækst og næringsfattigt spildevand (der er kun to personer i husstanden) i anlæg 4. Dette anlæg ligger i forlængelse af anlæg 3 i samme

bassin. Hertil er der ledt spildevand fra 5 personer og anvendt næsten samme vandmængde i måleperioden og her har anlægsarealet været holdt fri for ukrudtsvækst gennem første driftår. Det kan dog ikke udledes hvilken af de to faktorer, der har haft størst indflydelse på væksten.

I anlæg 1 blev der skåret rækker ned mellem blivende rækker for at måle tørstofproduktion. I figur 13.3. ses en tørstofproduktion på omkring 100 gram pr. m<sup>2</sup>. Forklaringen herpå er at disse pil er blevet hindret i produktion af mangel på lys, endda i en sådan grad at en hel del pil er gået ud i disse rækker. Dette fænomen ses ikke i de andre anlæg, som er skåret ned i hele anlæggets bredde. Det opleves heller ikke i anlæg uden for denne undersøgelse, hvor pilene skæres ned i den ene halvdel på langs på skift hvert andet år.

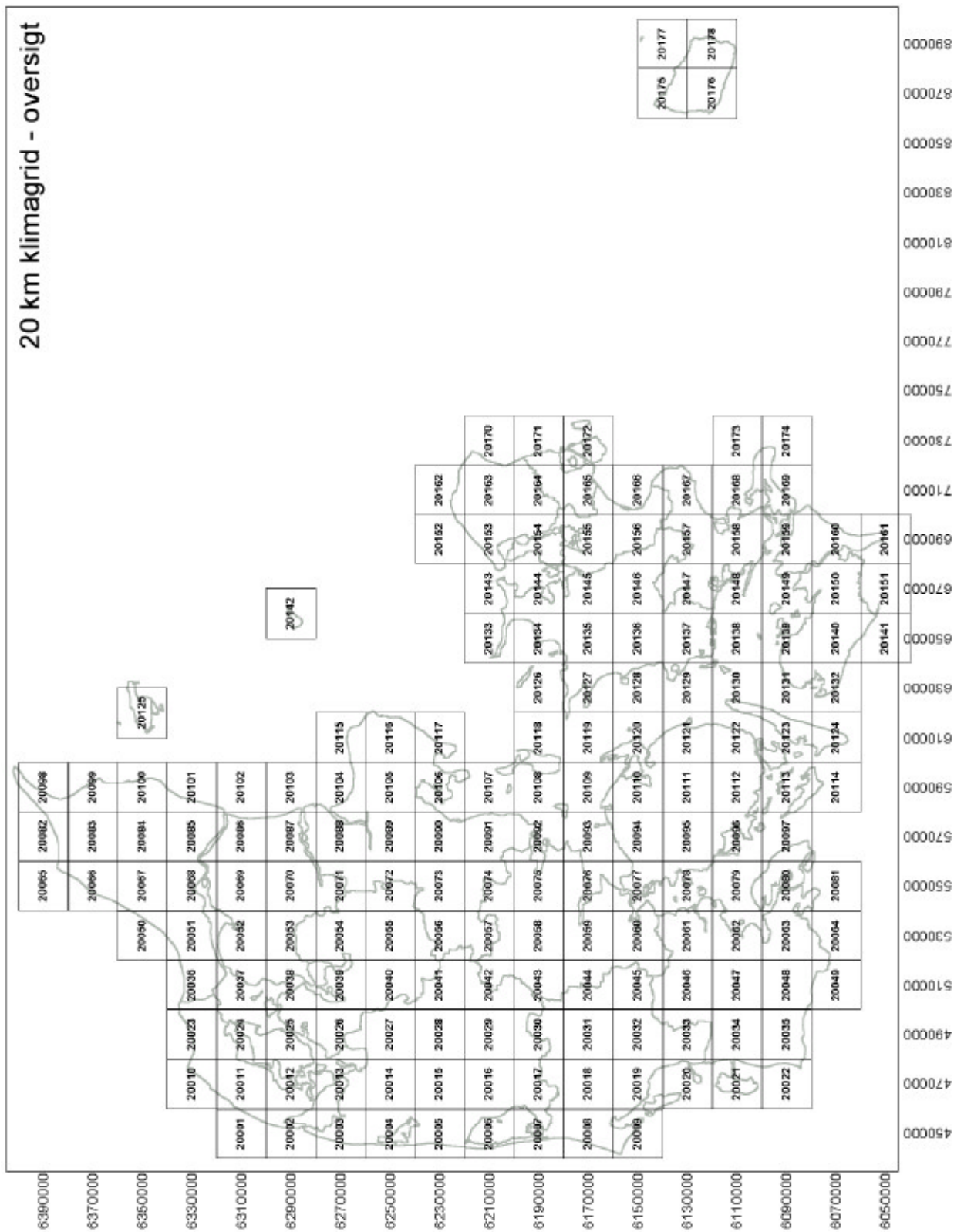
Det kan altså konkluderes at klonerne Tora, Bjørn og Jor i lukkede pileanlæg pr arealenhed fra og med 3. driftår i gennemsnit producerer op til mellem 15 og 19 tons tørstof pr. ha/år, mens der i en række danske energiskove er fundet tørstofproduktion på pil på mellem 6 og 8 tons tørstof pr. ha/år, og i en række svenske energiskove er fundet tørstofproduktion på pil på mellem 7 og 9 tons pr. ha/år. Grunden til forskellene skal sandsynligvis findes i de ideelle forhold pilen vokser under i pileanlæggene vedrørende forsyning med vand, næring og lys og også i blanding mellem tre forskellige kloner i kulturen af hensyn til smittetryk.

### 13.3 Litteraturliste

- [1] Lützen C., Madsen B. E. 2000. Saltbalance over pilerensningsanlæg K-PRO 7. Ingeniørhøjskolen Odense.
- [2] Jørgen Kelkjær 1992. Energiskov – dyrkning og driftsøkonomi.
- [3] Ericsson T. 1981. Growth and nutrition of three *Salix* clones in low conductivity solutions- *Physiol. plant.* 52: 239-244.
- [4] Perttu Kurth I. 1993. Biomass production and Nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. *Journal of Sustainable Forestry*, Vol 1(3).
- [5] Verwurst T. Stool Mortality and Development of a Competitive Hierarchy in a *Salix Viminalis* Coppice System. *Biomass and Bioenergy* Vol 10, Nos 5/6 pp. 245-250, 1996
- [6] Danfors B., Ledin S., Rosenquist H. Short -Rotation Willow Coppice, Growers Manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering, 1998.
- [7] Ridell-Black D. Clonal variation in heavy metal uptake by willow. *Aspects of Applied Biology* 49, 1997-
- [8] Nielsen K.H. Energi fra pil og slam . *Jord og Viden* 8, 1997: 14-16.
- [9] Ericsson T. Nutrient cycling in energy forest plantations. *Biomass and Bioenergy* Vol.6, 1 / 2 pp 115-121, 1994.

- [10] Perttu K.L. Kowalik P.J. Salix vegetation filters for purification of waters and soils. Biomass and Bioenergy Vol 12 No. 1 pp.9-19. 1997.
- [11] Rosenquist H., Aronsson P., Hasselgreen K., Perttu K.L. Economics of using municipal wastewater irrigation of willow coppice crops. Biomass and Bioenergy. Vol 12, No 1, pp.1-8, 1997.
- [12] Danfors B. Salix- biobränsla från skörd til värmeverk. JTI. 1996
- [13] Perttu K. Willow vegetation filters: Principles, results and economy.
- [14] Salix som kadmiumfilter. Rapport från en minikonferens den 7 September 1995. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- [15] Kowalik P.J. , Randerson P.F. Nitrogen and phosphorus Removal by willow stands irrigated with municipal wastewater- a review of the Polish experience. Biomass and bioenergy Vol 6, 1/2 PP. 133-139, 1994.
- [16] Bialkiewicz. F. Influence of waste water on the yield of willow plantations. Forest, Warszawa 1969. Report no. 737-ws-4,II.
- [17] Ledin, S, Alrikson, B. Rosenquist, H. Gödsel av salixodlingar. Ramprogram Energiskog 10 ref.
- [18] Nielsen K. H. Piledyrkning er en spændende nicheproduktion - men næppe rentabel. Agrologisk tidsskrift 12 pp. 11-12, 1989.
- [19] Gregersen P. 1995. Det jordnære energisystem. Sydjysk Universitetscenter

Bilag A: Gridnummerering i Danmark (20 x 20 km). Fra DMI Technical Report 99-12







## Dimensioneringsberegninger for gridceller

Årlig nedbør er 30-års (1960-90) gennemsnitlig årsnedbør i gridcellen; årlig fordampning er 2,5 gange den 30-års (1960-90) gennemsnitlige potentielle fordampning i gridcellen; Det nødvendige areal af pileanlæg er angivet som m<sup>2</sup> pr 100 m<sup>3</sup> spildevand pr år; længden af anlæg er angivet for et 8 m bredt anlæg ved en belastning på 100 m<sup>3</sup> spildevand pr år; Opstuvning marts angiver vandstanden i et anlæg i marts måned i et år med gennemsnitlig nedbør; og opstuvning ved 10-års regn angiver hvor meget vand der vil opstuves på overfladen af pileanlægget i et år med en nedbørsmængde der statistisk set forekommer et ud af ti år.

Anlægsdimensioner:

Bredde:	8	m
Dybde:	1,5	m
Bredde i bund:	5	m
Jordens porøsitet:	40	%

Grid	Årlig Nedbør (mm)	Årlig Fordampning (mm)	Arealkrav (m <sup>2</sup> /100 m <sup>3</sup> spildevand)	Længde af anlæg (m)	Opstuvning marts (mm)	Opstuvning ved 10-års regn (mm)
20001	789	1380	231	28,8	0	94
20002	769	1380	219	27,4	0	92
20003	768	1348	209	26,2	0	96
20004	801	1348	224	28,0	-1	100
20005	815	1355	229	28,6	0	99
20006	774	1355	209	26,1	0	97
20007	785	1353	214	26,8	0	99
20008	806	1353	225	28,1	0	100
20009	775	1360	208	26,0	0	95
20010	802	1380	238	29,8	0	96
20011	818	1380	249	31,1	0	95
20012	776	1380	219	27,3	0	89
20013	785	1348	215	26,9	-2	100
20014	863	1348	265	33,1	-5	100
20015	890	1355	284	35,5	-8	100
20016	843	1355	246	30,8	-2	100
20017	841	1353	244	30,5	-4	100
20018	853	1353	253	31,6	-3	100
20019	810	1360	223	27,8	-2	100
20020	779	1360	207	25,9	-3	100
20021	766	1360	200	25,0	-5	100
20022	752	1360	193	24,1	-9	100
20023	757	1385	209	26,1	0	84
20024	760	1375	206	25,7	0	84
20025	757	1375	200	25,0	0	86
20026	791	1348	217	27,2	-4	100
20027	819	1348	233	29,1	-5	100
20028	870	1343	271	33,9	-6	100
20029	887	1343	291	36,4	-7	100
20030	884	1355	277	34,6	-6	100

Grid	Årlig Nedbør (mm)	Årlig Fordampning (mm)	Arealkrav (m <sup>2</sup> /100 m <sup>3</sup> spildevand)	Længde af anlæg (m)	Opstuvning marts (mm)	Opstuvning ved 10-års regn (mm)
20031	892	1355	283	35,4	-5	100
20032	862	1363	253	31,7	-4	100
20033	844	1363	239	29,8	-8	100
20034	862	1398	233	29,1	-7	100
20035	841	1398	220	27,5	-9	100
20036	736	1385	193	24,1	0	82
20037	720	1375	183	22,9	0	88
20038	721	1375	179	22,4	-2	100
20039	721	1348	185	23,1	-12	100
20040	753	1348	198	24,7	-9	100
20041	789	1343	216	27,0	-11	100
20042	846	1343	252	31,5	-8	100
20043	881	1355	273	34,1	-5	100
20044	903	1355	292	36,5	-5	100
20045	872	1363	261	32,6	-4	100
20046	874	1363	261	32,6	-7	100
20047	895	1398	256	32,0	-6	100
20048	881	1398	245	30,6	-8	100
20049	876	1398	242	30,2	-7	100
20050	698	1383	175	21,9	0	82
20051	698	1383	170	21,3	0	100
20052	722	1365	181	22,6	-7	100
20053	726	1365	184	22,9	-4	100
20054	698	1350	177	22,1	-10	100
20055	707	1350	179	22,4	-10	100
20056	742	1365	190	23,7	-4	100
20057	827	1365	232	29,0	0	100
20058	822	1390	228	28,4	0	85
20059	792	1390	207	25,8	0	92
20060	777	1380	199	24,9	-3	100
20061	799	1380	210	26,2	-2	100
20062	791	1390	202	25,3	-2	100
20063	823	1390	217	27,1	-3	100
20064	861	1390	238	29,7	-5	100
20065	662	1388	169	21,2	0	73
20066	666	1388	164	20,5	0	83
20067	680	1383	166	20,7	0	97
20068	661	1383	159	19,9	-3	100
20069	718	1365	179	22,4	-8	100
20070	699	1365	174	21,8	-5	100
20071	659	1350	164	20,5	-11	100
20072	653	1350	163	20,3	-11	100
20073	704	1365	176	21,9	-8	100
20074	730	1365	185	23,2	-4	100
20075	710	1390	174	21,7	0	97
20076	672	1390	161	20,1	-2	100
20077	640	1380	154	19,2	-7	100
20078	640	1380	154	19,3	-5	100

Grid	Årlig Nedbør (mm)	Årlig Fordampning (mm)	Arealkrav (m <sup>2</sup> /100 m <sup>3</sup> spildevand)	Længde af anlæg (m)	Opstuvning marts (mm)	Opstuvning ved 10-års regn (mm)
20079	638	1390	152	19,0	-6	100
20080	688	1390	164	20,5	-8	100
20081	721	1390	174	21,7	-9	100
20082	674	1390	172	21,5	0	73
20083	706	1390	181	22,6	0	77
20084	721	1388	181	22,7	0	84
20085	660	1388	161	20,1	0	89
20086	656	1388	158	19,8	0	97
20087	641	1388	154	19,2	0	100
20088	648	1385	156	19,5	-1	100
20089	630	1385	151	18,9	-2	100
20090	659	1400	156	19,5	-1	100
20091	657	1400	155	19,4	-1	100
20092	624	1413	147	18,3	0	93
20093	585	1413	138	17,3	0	94
20094	639	1408	149	18,7	-2	100
20095	675	1408	158	19,7	-3	100
20096	624	1418	144	18,1	0	100
20097	615	1418	142	17,8	-2	100
20098	634	1390	157	19,6	0	74
20099	671	1390	169	21,2	0	71
20100	670	1388	167	20,8	0	77
20101	632	1388	156	19,5	0	79
20102	591	1388	144	18,0	0	90
20103	599	1388	146	18,2	0	91
20104	614	1385	148	18,5	-2	100
20105	626	1385	150	18,8	-4	100
20106	603	1400	142	17,8	-4	100
20107	530	1400	128	16,0	-6	100
20108	539	1413	129	16,2	0	98
20109	561	1413	134	16,8	0	92
20110	605	1408	142	17,7	-2	100
20111	673	1408	159	19,8	0	96
20112	683	1418	161	20,1	0	90
20113	568	1418	133	16,6	-2	100
20114	545	1418	129	16,1	-3	100
20115	587	1433	138	17,3	0	75
20116	590	1433	138	17,2	0	84
20117	582	1398	138	17,3	-4	100
20118	540	1445	128	16,0	0	75
20119	540	1445	130	16,2	0	65
20120	582	1435	136	17,0	0	84
20121	641	1435	153	19,1	0	63
20122	651	1440	152	18,9	0	73
20123	578	1440	134	16,7	0	88
20124	532	1468	125	15,6	0	69
20125	602	1388	150	18,8	0	71
20126	524	1445	127	15,8	0	67

Grid	Årlig Nedbør (mm)	Årlig fordampning (mm)	Arealkrav (m <sup>2</sup> /100 m <sup>3</sup> spildevand)	Længde af anlæg (m)	Opstuvning marts (mm)	Opstuvning ved 10-års regn (mm)
20127	526	1445	126	15,8	0	71
20128	536	1435	127	15,8	0	90
20129	526	1435	126	15,7	0	86
20130	567	1440	133	16,6	0	82
20131	561	1440	130	16,3	0	90
20132	546	1468	126	15,8	0	76
20133	528	1420	127	15,8	0	97
20134	573	1453	133	16,7	0	71
20135	608	1453	140	17,5	0	71
20136	600	1443	137	17,1	0	89
20137	571	1443	132	16,5	0	90
20138	538	1460	126	15,7	0	75
20139	576	1460	131	16,4	0	83
20140	594	1468	134	16,8	0	77
20141	536	1468	124	15,5	0	81
20142	593	1433	140	17,5	0	73
20143	555	1420	130	16,3	-2	100
20144	568	1453	132	16,5	0	75
20145	589	1453	136	17,0	0	73
20146	641	1443	146	18,3	0	84
20147	601	1443	137	17,2	0	88
20148	561	1460	129	16,1	0	82
20149	583	1460	133	16,7	0	75
20150	597	1468	134	16,8	0	78
20151	541	1468	125	15,6	0	80
20152	573	1435	132	16,5	0	99
20153	592	1435	135	16,8	-1	100
20154	590	1405	138	17,3	-7	100
20155	586	1405	138	17,2	-6	100
20156	630	1425	145	18,1	0	95
20157	641	1425	149	18,6	0	90
20158	609	1430	141	17,6	0	90
20159	597	1430	137	17,1	0	98
20160	591	1448	134	16,8	0	91
20161	546	1448	125	15,7	-1	100
20162	595	1435	135	16,9	-3	100
20163	656	1435	147	18,4	-4	100
20164	640	1405	148	18,5	-10	100
20165	595	1405	139	17,4	-7	100
20166	574	1425	134	16,8	0	95
20167	577	1425	135	16,9	0	92
20168	571	1430	133	16,6	0	92
20169	569	1430	133	16,6	0	94
20170	604	1435	137	17,1	-2	100
20171	606	1405	142	17,7	-6	100
20172	568	1405	134	16,8	-4	100
20173	546	1430	129	16,1	0	91
20174	537	1430	127	15,9	0	94

Grid	Årlig Nedbør (mm)	Årlig Fordampning (mm)	Arealkrav (m <sup>2</sup> /100 m <sup>3</sup> spildevand)	Længde af anlæg (m)	Opstuvning marts (mm)	Opstuvning ved 10-års regn (mm)
20175	591	1470	148	18,5	0	60
20176	574	1470	144	17,9	0	58
20177	564	1470	142	17,7	0	57
20178	614	1470	155	19,3	0	63



Bilag C: Arealkrav for pileanlæg i 20 x 20 km gridceller. Det nødvendige areal er angivet som areal pr 100 m<sup>3</sup> spildevand og aflæses i gridcellen, hvor pileanlægget skal etableres

