

## **Erfaringer fra og undersøgelser af pilerenseanlæg i Tappernøje**

## Erfaringer fra og undersøgelser af pilerenseanlæg i Tappernøje

Annette Holtze og Arne Backlund  
Storstrøms Amt

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.

## Indholdsfortegnelse

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Forord .....                                                                                    | 7  |
| Sammenfatning .....                                                                             | 9  |
| Anlæggets konstruktion og drift .....                                                           | 9  |
| Pejlinger af vandstanden i anlægget .....                                                       | 10 |
| Fordamning, kapacitet og dimensionering .....                                                   | 10 |
| Pilenes tilstand, vækst og produktion .....                                                     | 11 |
| Stofomsætning og stofophobning .....                                                            | 11 |
| Miljøfremmede stoffer, herunder tungmetaller .....                                              | 11 |
| Ophobning af salt .....                                                                         | 12 |
| Forædling af kloner .....                                                                       | 12 |
| Driftskrav .....                                                                                | 12 |
| Pris .....                                                                                      | 13 |
| Summary .....                                                                                   | 14 |
| The plantations' construction and operation .....                                               | 14 |
| Sounding the water level in the plantation .....                                                | 15 |
| Evaporation, capacity and dimensioning .....                                                    | 15 |
| The condition, growth and production of the willow .....                                        | 16 |
| Compound processes and compound accumulations .....                                             | 16 |
| Environmentally hazardous matters, hereunder heavy metals .....                                 | 17 |
| Accumulation of salt .....                                                                      | 17 |
| Cultivation of clones .....                                                                     | 18 |
| Production demands .....                                                                        | 18 |
| Costs .....                                                                                     | 18 |
| 1 Indledning .....                                                                              | 19 |
| 1.1 Baggrunden for projektet .....                                                              | 19 |
| 1.2 Projektets formål .....                                                                     | 19 |
| 1.3 Andre undersøgelser af pileproduktion i relation til spildevand .....                       | 19 |
| 1.4 Koncepter for pileanlæg .....                                                               | 20 |
| 1.5 Baggrunden for etableringen af et pileanlæg på Marjatta i<br>Tappernøje .....               | 21 |
| 1.6 Rapportens indhold .....                                                                    | 22 |
| 2 Undersøgelser- og måleprogram .....                                                           | 23 |
| 3 Anlæggets godkendelse .....                                                                   | 25 |
| 3.1 Myndighedsforholdet og krav til pileanlæg i henhold til<br>spildevandsbekendtgørelsen ..... | 25 |
| 3.2 Tilladelsens indhold .....                                                                  | 25 |
| Tilladelsens omfang .....                                                                       | 25 |
| Anlægget .....                                                                                  | 25 |
| Drift .....                                                                                     | 26 |
| Måling og kontrol .....                                                                         | 26 |
| 3.3 Midlertidige ændringer af tilladelsens indhold .....                                        | 26 |
| 4 Anlæggets koncept og etablering .....                                                         | 27 |



|       |                                                                                           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Koncept .....                                                                             | 27 |
| 4.2   | Anlæggets størrelse .....                                                                 | 27 |
| 4.3   | Udgravning af anlægget .....                                                              | 28 |
| 4.4   | Anlæggets konstruktion (se også figur 4.1 samt billedserien,<br>bilag 2) .....            | 28 |
| 4.5   | Brønde, fordelerrør dræn med videre .....                                                 | 28 |
| 4.6   | Tilplantning med pil .....                                                                | 29 |
| 4.7   | Anlægsomkostninger .....                                                                  | 29 |
| 5     | Erfaringer med og undersøgelser af anlæggets drift og funktion .....                      | 31 |
| 5.1   | Tømning af hustank .....                                                                  | 31 |
| 5.2   | Drift af sandfilterbrønd .....                                                            | 31 |
| 5.3   | Drift af efterklaringsbrønd .....                                                         | 31 |
| 5.4   | Pasning af fordelerrøret .....                                                            | 31 |
| 5.5   | Pasning af drænrøret under anlægget .....                                                 | 32 |
| 5.6   | Høst .....                                                                                | 32 |
| 5.6.1 | Høstarbejdets udførelse .....                                                             | 33 |
| 5.7   | Diverse oplysninger om husstanden af betydning for driften .....                          | 33 |
| 5.7.1 | Vaner med hensyn til vandforbrug .....                                                    | 33 |
| 5.7.2 | Brug af rengøringsmidler .....                                                            | 33 |
| 5.7.3 | Fødevarer .....                                                                           | 33 |
| 5.8   | Driftsomkostninger .....                                                                  | 34 |
| 6     | Undersøgelse af jordbundsforholdene og røddernes fordeling i<br>anlægget .....            | 35 |
| 6.1   | Prøveboring i anlægget juni 1993 .....                                                    | 35 |
| 6.2   | Karakteristik af jordlagene i pileanlægget på baggrund af<br>undersøgelserne i 1999 ..... | 35 |
| 6.2.1 | Jordens porevolumen .....                                                                 | 36 |
| 6.3   | Røddernes fordeling i jordlagene .....                                                    | 36 |
| 6.3.1 | Iagttagelser den 14. januar 1999 .....                                                    | 36 |
| 6.3.2 | Iagttagelser i juni 1999 .....                                                            | 36 |
| 6.3.3 | Iagttagelser den 20. juli 1999 .....                                                      | 37 |
| 6.3.4 | Sammenfattende vurdering af røddernes størrelse<br>og forekomst .....                     | 37 |
| 7     | Måling af spildevandstilledningen, nedbør og pejlestand i anlægget .....                  | 39 |
| 7.1   | Tilledning af spildevand til pileanlægget .....                                           | 39 |
| 7.1.1 | Tidligere registreringer af spildevandsproduktionen .....                                 | 39 |
| 7.1.2 | Spildevandsproduktionen i projektperioden .....                                           | 39 |
| 7.2   | Nedbør til pileanlægget .....                                                             | 39 |
| 7.2.1 | Nedbøren i og uden for vækstsæsonen .....                                                 | 40 |
| 7.3   | Pejlinger af vandstanden i anlægget .....                                                 | 41 |
| 7.3.1 | Vandstanden i anlægget fra januar 1999 til juni 2000 .....                                | 43 |
| 7.3.2 | Vandstanden i anlægget juli 1992 – juni 1993 .....                                        | 44 |
| 7.3.3 | Ændringer i vandspejlsniveauet over kort tid i løbet af året .....                        | 44 |
| 7.3.4 | Vandets fordeling i anlægget .....                                                        | 45 |
| 8     | Anlæggets fordampning og kapacitet .....                                                  | 47 |
| 8.1   | Anlæggets fordampningsevne .....                                                          | 47 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fordamningsevnen vurderet ud fra data fra 1992-1996 .....                          | 47 |
| Fordamningsevnen vurderet med 1999 som beregningsgrundlag.....                     | 47 |
| Anlæggets fordamningsevne .....                                                    | 47 |
| 8.2 Anlæggets kapacitet .....                                                      | 48 |
| 9 Pilekulturens tilstand og vækst.....                                             | 51 |
| 9.1 Iagttagelser af pilebeplantningens tilstand og vækst .....                     | 51 |
| 9.2 Forædling af kloner .....                                                      | 51 |
| 9.3 Høstens størrelse/måling af pileproduktionen .....                             | 52 |
| 9.3.1 Første høst januar 1993/produktion i 1992 .....                              | 52 |
| 9.3.2 Tredje høst i 1995/produktion i 1994.....                                    | 52 |
| 9.3.3 Ottende høst i 2000/produktion i 1999 .....                                  | 53 |
| 10 Omsætning af næringsstoffer .....                                               | 55 |
| 10.1 Jordbundsundersøgelser .....                                                  | 55 |
| 10.2 Tilførsel af næringsstoffer til anlægget .....                                | 56 |
| 10.3 Optagelse af næringsstoffer i pil.....                                        | 57 |
| 10.4 Fjernelse af næringsstoffer ved høst.....                                     | 57 |
| 10.5 Ophobning af næringsstoffer i jorden.....                                     | 58 |
| 11 Tilførsel (ophobning) af andre stoffer .....                                    | 59 |
| 11.1 Tilførsel af andre stoffer .....                                              | 59 |
| 11.2 Pilenes evne til at optage miljøfremmede stoffer .....                        | 59 |
| 11.3 Undersøgelse af indholdet af miljøfremmede stoffer<br>i Pilehusets anlæg..... | 60 |
| 11.3.1 Sammenligning af analyserne fra de to dybder i anlægget.....                | 60 |
| 11.3.2 Ophobning af miljøfremmede stoffer i anlægget.....                          | 61 |
| 11.4 Ophobning af salt .....                                                       | 63 |
| 12 Hygiejne.....                                                                   | 65 |
| 13 Sammenfattende diskussion og konklusioner .....                                 | 67 |
| 13.1 Anlæggets opbygning og funktion.....                                          | 67 |
| 13.2 Pejlinger af vandstanden i anlægget .....                                     | 67 |
| 13.3 Dimensionering (fordampningsevne/kapacitet) .....                             | 67 |
| 13.4 Produktion/stofomsætning.....                                                 | 69 |
| 13.5 Ophobning af tungmetaller .....                                               | 70 |
| 13.6 Driftsforhold/driftskrav.....                                                 | 70 |
| 13.7 Pris .....                                                                    | 71 |
| 14 Bilag.....                                                                      | 73 |
| 15 Referencer/litteraturliste .....                                                | 85 |



## Forord

Storstrøms Amt har i forbindelse med "Aktionsplanen for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning" undersøgt det ældste pileanlæg i Danmark, som ligger i Tapernøje. Anlæggets konstruktion, dets funktion og driftsforholdene i det hele taget er undersøgt for at tilvejebringe en større viden om denne relativt nye anlægstype.

Arne Backlund, A&B Backlund ApS, har været konsulent på projektet og har medvirket til udarbejdelse af rapporten.

Projektet har haft en styregruppe bestående af:

Peter Steen Mikkelsen, Danmarks Tekniske Universitet  
Mogens Kristian Kaasgaard, Miljøstyrelsen  
Helle Vind, Fladså Kommune  
Mette O. Jepsen, Nakskov Kommune (ved projektets start ansat i Rudbjerg Kommune)  
Bent Rasmussen, Vandmiljøkontoret, Storstrøms Amt

Storstrøms Amt vil gerne takke styregruppens medlemmer for konstruktive kommentarer og forslag.

Desuden rettes en tak til:

John Bay Sørensen, Marjatta, som utrætteligt har besvaret spørgsmål angående anlægget. Tak også for husly gennem hele projektperioden.

Erik Johansen, Marjatta, som har varetaget pejlinger i anlæggets brønde i projektperioden, og som velvilligt har rakt en hjælpende hånd ved løsning af mange forskellige praktiske problemer.

Amdi Hansen, tidligere ansat ved Marjatta, der har bidraget med mange værdifulde oplysninger om anlæggets etablering og driften i de første år.

Entreprenør Skaarup Nielsen, Skaarup Nielsen A/S, der har været behjælpelig med oplysninger om anlæggets etablering og anlægsomkostninger.

Anneke Stubsgaard, tidligere DHI (Institut for vand og miljø), som har bidraget med data og konstruktive diskussioner.

Keld Hauge Nielsen, tidligere Forskningscentret for skov og landskab i Vejle, for væsentlige oplysninger om anlæggets etablering og målingerne i de første år.



## Sammenfatning

Anvendelse af plantebaserede anlæg til rensning af spildevand er en teknologi, der har været kendt i adskillige år. Der findes imidlertid kun relativt få anlæg i Danmark, som er tilplantet med pil (anslået 30-60 stk.). Koncepterne er forskellige, men det er fælles for dem, at de ved normal drift er afløbsfrie. I Tappernøje ved bofællesskabet Pilehuset ligger, så vidt vides, det ældste pilebedsanlæg i Danmark. Det blev etableret i vinterhalvåret 1991/92. Bofællesskabet er en del af "Marjatta", en institution for handicappede, hvis pædagogiske fundament bygger på Rudolf Steiners filosofi og principper.

Der er behov for at tilvejebringe en større viden om, hvordan disse anlæg er opbygget, hvordan de fungerer og ikke mindst om, hvordan de skal dimensioneres. Det er baggrunden for, at Storstrøms Amt har iværksat dette projekt, som er et af projekterne under "Aktionsplanen for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning", der er støttet af Miljøstyrelsen.

I det følgende bringes et sammendrag af projektets resultater. Det omfatter en beskrivelse af anlæggets konstruktion og drift, dets fordampningsevne og kapacitet. Endvidere har undersøgelsen omfattet pilekulturens tilstand og vækst samt tilledningen og omsætningen af såvel næringsstoffer som miljøfremmede stoffer, herunder tungmetaller.

### Anlæggets konstruktion og drift

På baggrund af undersøgelsens resultater vurderes det, at anlægget fungerer rigtig godt. Anlægget er dimensioneret tilstrækkelig stort til, at de tilledte mængder spildevand fra 11 PE og den nedbør, som falder på anlægget, har kunnet fordampe fra det. Der forekommer således ikke overløb, og det vurderes, at anlægget er tæt.

Det projekterede areal var 578 m<sup>2</sup>, men arealet inden for geomembranen (fra voldmidte til voldmidte) er opmålt til 707 m<sup>2</sup>. Lagene over plastmembranen består af 10 cm sand, 10 cm ral, 70-85 cm råjord ved henholdsvis indløbs- og slutbrønden og øverst ca. 30 cm muld. Råjorden og fordelerlaget (rallaget) er adskilt af en fibertex-membran. Sidernes hældning er ca. 45 grader. Rumfanget er beregnet til 690 m<sup>3</sup> over fibertekstilen og til 150 m<sup>3</sup> for sand- og rallaget (fordelerlaget). Anlægget er afgrænset mod den omgivne jord af en 0,75 mm LDPE-membran.

Spildevandet ledes til anlægget og fordeles i anlæggets bund ved gravitation. Derved har det været muligt at undgå etablering af pumpebrønd og pumpe.

Problemer med tilfrysning af fordelingssystemet opstår ikke ved den dybe underjordiske fordeling. En anden fordel er, at man undgår en eventuel smitterisiko og eventuelle lugtgener, der kan opstå ved tilledning på overfladen.

Der har kun været behov for at spule fordelerrøret en enkelt gang, og det efter anlægget havde været i funktion i 7 år. Tilstopningen tilskrives driftsproblemer med sandfilterbrønden, som blev ombygget til efterklaringsbrønd ved projektperiodens start. Der er ikke fundet rødder i fordelingssystemet. Efterklaringsbrønden fungerer efter hensigten, idet den fanger slam udledt fra hustanken.

Det er konstateret, at der dannes flydeslam i bundfældningstankens 2. kammer allerede cirka ½ år efter den ordinære tømning. Derfor anbefales det at tømme bundfældningstanken 2 gange om året. Det vurderes ikke at være noget problem, at bundfældningstanken efter tømning efterfyldes med afvandingsvand (rejektvand) fra slamsugeren. Efterklaringsbrønden kan eventuelt fyldes med rent vand i stedet for med rejektvand for at mindske risikoen for

slamaflejringer i fordelersystemet. Ved denne tømningsskik er der intet til hinder for, at tanken kan indgå i den kommunale tømningsskik.

En fjerdedel af pilearealet høstes hvert år. Det overvejes at ændre praksis til høst af en tredjedel af arealet hvert år. Arbejdet udføres af husets beboere på en weekend. Den høstede ved bruges til pileflet eller flishugges og bruges som jordforbedringsmiddel i blomsterbedene omkring Pilehuset.

## Pejlinger af vandstanden i anlægget

Den aktuelle vandstand i anlægget er resultatet af tilledning af spildevand i bunden af anlægget og tilledning af nedbør via overfladen samt fordampning fra jorden, men i vækstperioden især som følge af pilenes transpiration. Kurveforløbet over vandstands niveauet følger det samme mønster år efter år. Vandstanden stiger markant og falder markant i henholdsvis efterår og forår, men ændrer sig ikke så meget midt på vinteren. Det samme mønster er registreret af Anneke Stubsgaard, DHI (2001) i andre pileanlæg i landet.

Ved pejling af vandstanden i inspektionsbrønde på fordelerrøret skal man være opmærksom på disse årskaraktistika. Pejlingerne er mest egnede til en sammenligning af den maksimale vandstand i anlægget fra år til år og ikke til variationer over kort tid.

## Fordampning, kapacitet og dimensionering

Et pileanlæg skal dimensioneres således, at arealet med pil er tilstrækkelig stort til, at de tilledte vandmængder kan fordampes. Endvidere skal anlægget kunne rumme de vandmængder, som tilledes uden for vækstsæsonen, hvor fordampningen er minimal.

Anlæggets fordampningsevne er beregnet ud fra mængden af tilledt spildevand og nedbør pr. m<sup>2</sup> og svarer til den aktuelle fordampning fra anlægget.

Med perioden 1992-1996 som beregningsgrundlag kan den aktuelle fordampning fra anlægget opgøres til 1,31 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> eller 1310 mm, idet den årlige mængde spildevand udgjorde 0,52 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (365 m<sup>3</sup>) og nedbøren 0,79 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (555 m<sup>3</sup>). Med 1999 som beregningsgrundlag er den aktuelle fordampning beregnet til 1370 mm, mens den ud fra 30-års-gennemsnittet for nedbøren og den nuværende tilledning af spildevand kun beregnes til 1030 mm pr. m<sup>2</sup>. Anlægget har således rigelig fordampningskapacitet.

Fordampningen i pileanlæg er væsentligt højere, end hvad man regner med i pileplantager. Dette tillægges det forhold, at pilene i anlæggene altid har rigelig tilgængelighed af vand, og at anlæggene generelt er små og lange. Det vil sige, at der er tale om en meget stor randeffekt, som også forøger fordampningen på grund af stor påvirkning fra sol og vind, en slags oaseeffekt.

Anlæggets teoretiske kapacitet beregnet ud fra rumfang og porevolumen udgør 245 m<sup>3</sup> pr. år. Dette tal svarer til den vandmængde, som anlægget skal kunne rumme i vinterperioden. Tilførslen af spildevand og nedbør i perioden november-marts, fratrukket den potentielle fordampning, udgør 253 m<sup>3</sup> (30-års-gennemsnit). Vandspejlets maksimale niveau i vintrene 1998 og 1999 var imidlertid 40 cm under terræn. Dette indikerer, at den periode, hvor der ikke sker fordampning (transpiration) via pilene, reelt er kortere.

Under alle omstændigheder er det vigtigt, at et anlæg dimensioneres på baggrund af faktiske forhold vedrørende antal personer og faktisk produceret spildevand i husstanden samt aktuelle tal for områdets nedbør.

## Pilenes tilstand, vækst og produktion

Ved tilsyn med anlægget har pilebeplantningen generelt fremstået sund og i god vækst. Bladene er friske og grønne og viser ingen tegn på sygdomme. En god ukrudtsbekæmpelse i etableringsårene har bevirket, at pilen har kunnet etablere sig rigtig godt.

Pilenes levetid kan forventes at være på ca. 25-30 år ud fra erfaringer med styning af pil og med plantager med energipil. Herefter skal der genplantes. Af hensyn til anlæggets for-dampningsevne skal genplantningen foretages over flere år.

Efter høsten i januar 2000 konstateredes det, at nogle af pilestokkene var angrebet af svamp, og nogle var gået helt ud (ca. 5-10% af pilene). Dette tilskrives høstproceduren, som derfor vil blive ændret. På det høstede areal bør der foretages ukrudtsbekæmpelse, især for at sikre en bedre vækst for genplantede pilestiklinger til erstatning for dem, som er gået ud.

Pilenes rodvækst synes, ud fra en kvalitativ bedømmelse, at følge vandspejlets bevægelse over året.

Da pilene kun sætter fine rødder i anlægget, og da vækstlaget er adskilt fra fordelerlaget af en fibertekstil, vurderes der ikke at være risiko for, at rødder kan trænge gennem plastmembranen eller ud i fordelersystemet.

Produktionen i 1999 (4-årige skud på 8-årige rødder) blev bestemt til 8,5 t/ha/år. Produktionen svarer til den gennemsnitsproduktion på 7,5 t/ha/år, som Morsing m.fl. (1995) har fundet i en række danske pileplantager, dog med stor spredning (fra 1,8-22,6 t/ha/år). Produktionen er imidlertid lavere end gennemsnitsproduktionen på 13 t/ha/år, som er målt på pileparceller i FAIR-projektet (Larsson, 2001). Det kan ikke på dette grundlag vurderes, om der er sket et fald i pilenes produktivitet i Marjatta-anlægget siden dets etablering.

## Stofomsætning og stofophobning

Der tilledes langt større mængder næringsstoffer til pileanlægget, end der fraføres. I projektet er der kun målt på de tilførte mængder samt på jordens indhold af stoffer. Værdierne for omsætningen er teoretiske.

Tilførslen af kvælstof til anlægget er ud fra analyser af det tilledte spildevand bestemt til 512 kg N/ha. Fraførslen (blade og ved) er beregnet til 171,5 tons N pr. ha.

Hvad angår et overskud af kvælstof og organisk stof vil de mikrobiologiske processer i anlægget bevirke, at stofferne omsættes.

Resultaterne af jordbundsanalyserne indikerer, at der er sket en forøgelse af indholdet af fosfor siden anlæggets etablering i 1991/92. Dette er uden problemer for pilens vækst og giver jorden en større næringsværdi, hvis anlægget en dag skal nedlægges, og jorden eventuelt udspredes på landbrugsjord.

Der er ikke tegn på, at indholdet af kalium i jorden er forhøjet. En forøgelse heraf vil dog umiddelbart være uden betydning for pilenes vækst.

## Miljøfremmede stoffer, herunder tungmetaller

Da der aldrig udledes vand fra pileanlægget, vil tilførte tungmetaller enten optages i pilene eller ophobes i pileanlægget. Derimod vurderes de organiske miljøfremmede stoffer at blive omsat i anlægget ved mikrobiologiske processer i det skiftevis aerobe og anaerobe miljø.



Der er forskel på, i hvor høj grad forskellige kloner optager tungmetaller. Dette afhænger til dels af koncentrationen af tungmetallerne i vækstmediet. Måleresultater fra Peder Gre-gersen (personlig meddelelse) og Anneke Stubsgaard (2001) tyder på, at der ikke umiddelbart er risiko for, at mængden af tungmetaller i veddet er så stor, at det ikke er forsvarligt at bruge den høstede, flishuggede pil som jorddække i haven eller brænde den i brændeovn.

Den teoretiske tilledning af tungmetaller til pileanlægget er beregnet ud fra indholdet af tungmetaller i husspildevand. På baggrund af disse beregninger vurderes en ophobning af tungmetaller ikke at begrænse pileanlæggenes levetid. I den sammenhæng er pileanlæggenes relativt store størrelse i forhold til andre anlægstyper som rodzoneanlæg og sandfilteranlæg vigtig. Selv om der er udløb fra disse anlæg, kan det godt tænkes, at ophobningen af tungmetaller i disse er større end i pileanlæg, simpelthen fordi deres rumfang er væsentligt mindre.

Alt i alt vurderes der at være behov for yderligere undersøgelser af tungmetallernes skæbne i pileanlæggene.

## Ophobning af salt

Saltkoncentrationen i anlægget kan blive den begrænsende faktor, der bestemmer anlæggets levetid. Det er derfor af stor betydning at begrænse salttilførslen.

Anlæggene bør projekteres således, at en begrænset vandmængde med koncentreret salt kan suges ud af anlægget. Dette skal naturligvis gøres sidst på sommeren, hvor indholdet af vand er mindst og saltkoncentrationen størst.

## Forædling af kloner

I forædlingsprogrammer i dag er der især fokus på at forædle kloner til pileplantager, hvor det er hensigten at opnå så stor produktion som muligt i forhold til de tilgængelige ressourcer af næringsstoffer og vand. Hvad angår forædling af kloner, der skal plantes i pileanlæg, kan der med fordel sættes på typer med luksusoptyag, da der er rigelig tilgængelighed af vand og næringsstoffer. Desuden bør det overvejes, om det er en fordel, at de valgte kloner ikke optager tungmetaller i stor stil. Dette afhænger af, om man fortrækker at koncentrere disse i jorden eller i veddet. Endelig er det en fordel at fremelske kloner med stor salttolerance.

## Driftskrav

Det kan diskuteres, hvor ofte anlægsbrugerne skal kontrollere brønde/pejle vandstand m.m. I de første år efter etableringen er det en god idé med hyppig kontrol, f.eks. hver måned. I et ældre er det tilstrækkeligt med pejlinger 1 gang i kvartalet. Pejlingerne bør da gentages med et par dages mellemrum, idet der tilsyneladende kan forekomme udsving i vandspejlets niveau i brøndene på fordelerrøret, f.eks. på grund af midlertidige udsving i tilledningen af spildevand og midlertidige stuvninger i systemet.

Det er primært den maksimale vintervandstand, der har interesse. Dels som kontrol af, om der sker overløb eller er risiko herfor, dels for at vurdere, om anlægget er tæt, eller dets fordampningsevne ændres over årene.

Det er tilstrækkeligt at aflæse vandforbruget 1-2 gange om året.

## Pris

Anlægget kostede i 1992 ca. 92.300 kr. + moms. Entreprenøren vurderer, at prisen i dag vil være 20-25% højere. Pilestiklingerne blev dengang købt til ca. 2 kr. pr. stk. + moms. De er i dag væsentligt billigere.

Priserne på de øvrige anlæg i landet varierer meget, bl.a. på grund af forskelle på priser for gravearbejde.

Der bør fortsat arbejdes med udvikling af anlæggenes opbygning med henblik på at reducere deres størrelse og dermed også prisen på dem. Det er her især vigtigt at se på mulighederne for at reducere tilførslen af nedbør.

## Summary

The use of plantations for wastewater treatment, is a technology that has been known through several years. However, only few wastewater works exist in Denmark which have planted willow (estimated 30-60 systems). The concepts vary, but they all have in common that by normal operation they are free from drainage. In Tappernøje by "Pilehuset", a shared living complex - there exists as far as is known, the eldest willow bed plantation in Denmark. It was established during the winter of 1991/92. The shared living complex is a part of the institution for handicapped, "Marjatta", whose pedagogical fundament builds on the philosophy and principles of Rudolf Steiner.

There is a necessity to establish a greater knowledge about how these plantations are constructed, how they work, and not least on how they must be dimensioned. This is the background for the project which the county of Storstrøm initiated, and which is one of the projects under the Action Plan for promotion of ecological urban renewal and wastewater treatment, supported by the National Agency of Environmental Protection.

The following will contain a summary of the project results. This includes a description of the plantations' construction and operation, its evaporating capacity and capability. The investigation has furthermore involved the condition and growth of the willow plants, as the application and the transformation of fertilisation, as well as substances foreign to the environment, among others heavy metals.

### The plantations' construction and operation

On the background of the results from the investigation, it is assessed that the plantation operates very well. The plantation has been dimensioned sufficiently large enough to ensure that the applied amounts of wastewater from 11 PE as well as rain, has been able to evaporate from it again. Overflow has therefore not been the case, and the plantation is assessed to be leak-tight.

The projected area was 578 m<sup>2</sup>, but the area within the waterproof geomembrane (from the middle of each bank) has been measured to be 707 m<sup>2</sup>. The layers above the plastic membrane consists of 10 cm's of sand, 10 cm's of pebble gravel, 70-85 cm's of raw soil by the inlet well and the outlet well comparatively, and topping this app. 30 cm's of humus. The raw soil and the distributing layer (the layer of pebble gravel) are separated by a fibre-textile-membrane. The inclination of every side is about 45 degrees. The cubic content has been calculated to 690 m<sup>3</sup> above the fibre textile, and 150 m<sup>3</sup> concerning the sand- and pebble gravel layer (the distributing layer). The plantation is enclosed against the surrounding soil by a 0,75 mm membrane.

The wastewater is conducted to the plantation and distributed throughout the bottom of the plantation by gravitation. It has thereby been possible to avoid establishing a pump well and a pump.

Problems with freezing over of the distributing system do not occur by the deep underground distribution. Another advantage is that one avoids an eventual risk of contamination and possible obnoxious smells, which may occur by distribution at the surface.

It has only once been necessary to flush the distribution pipe, and that was after the plantation had been in operation for 7 years. The blockage is attributed operational problems with the sand filter well, which was rebuilt to a final settling well by the project start. No roots have been found in the distribution system. The final settling well operates according to its purpose, as it catches up sludge discharged from the house tank.

It has been ascertained that floating sludge is developed in the second chamber of the settling tank already about ½ year after the usual draining of the tank. It is therefore recommended to drain the settling tank twice every year. It has not been considered to be a problem that the settling tank successive to draining is refilled with drainage water (reject water) from the vacuum slurry tanker. If desired, the final settling well can be filled with clean water, instead of the reject water, thereby reducing the risk of alluvial deposit in the distribution pipe. In having this practise of draining the sludge, there is nothing to hinder the tank from entering the municipal collection system.

One fourth of the willow area is harvested every year. Change of practise is considered, and to harvest one third of the area every year. The tenants of the shared living complex do this job during a weekend. What is harvested is used to make wickerwork, or woodchips to be employed as corrective in the flowerbeds around “Pilehuset”.

### Sounding the water level in the plantation

The current water level in the plantation is the result of the application of wastewater to the bottom of the system, and the fall of rain on the surface as well as evaporation from the ground. During the growth period however, the water level is influenced especially as due to the transpiration of the willows. The chart development of the water level follows the same pattern year after year. The water level raises significantly and decreases just as significantly in the fall and in the spring comparatively, but does not alter much during midwinter. Anneke Stubsgaard, DHI (2001), has observed the same pattern in other willow plantations over the country.

On sounding the water level in the inspection wells connected to the distribution pipe, one must be attentive of the characteristics, which follows the course of the year. The soundings are most suitably used to compare the maximum water level in the work from year to year - not for telling the variations over a shorter period of time.

### Evaporation, capacity and dimensioning

A willow plantation must be dimensioned in a way, where the area consisting of willow is adequately large enough to help the applied quantities of water to evaporate. Furthermore, the plantation must also be able to hold those quantities of water applied outside the growth season, where the evaporation is minimal.

The evaporation capacity of the plantation has been calculated on basis of the amount of applied wastewater and rain per m<sup>2</sup>, and corresponds to the actual evaporation from the plantation.

Having the period 1992-1996 as the basis of calculation, the actual evaporation from the plantation can be calculated to 1,31 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> or 1310 mm, as the annual amount of wastewater amounted to 0,52 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (365 m<sup>3</sup>) and rain amounted to 0,79 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (555 m<sup>3</sup>). Having the period of 1999 as the basis of calculation, the actual evaporation has been calculated to 1370 mm, and meanwhile, when looking at a 30-year average of the precipitation and the present application of wastewater, the evaporation can only be measures to 1030 mm per m<sup>2</sup>. The plantation has therefore plenty of evaporation capacity.

The evaporation from willow plantations used for wastewater treatment is considerably higher than what one would usually expect from ordinary willow plantations. This concerns the circumstance that the willow coppice in the plantations always have plenty of access to water, and that the plantations generally are small and oblong. This means that the situation is a very large border effect, which also increases evaporation due to the large influence from the sun and the wind, creating a kind of “oasis-effect”.

The plantation's theoretical capacity as calculated on the basis of volume and pore space, constitutes 245 m<sup>3</sup> per year. This number corresponds to the amount of water, which the plantation must be able to hold during the wintertime. The application of wastewater and rain during the period November - March, subtracting the potential evaporation, constitutes 253 m<sup>3</sup> (30-year average). The maximum height of the water level in the winters of 1998 and 1999 though, was 40 cm under the terrain. This indicates that the period where no evaporation takes place (transpires) via the willows, in reality is more brief.

Under all circumstances it is important that a plantation is dimensioned on the background of the factual circumstances, concerning the number of people and the actual amount of produced wastewater in the household, as well as up to date data concerning the precipitation of the area.

## The condition, growth and production of the willow

By inspection of the plantation, the willows have generally come through as being healthy and growing well. The leaves are fresh and green and show no sign of disease. Firm weed control during the years of establishing the plants has had the consequence that the willow has been able to establish itself very well.

The life span of the willow can be expected to be about 25-30 years, as seen from the experiences with pruning of the willow and from plantations with short-rotation willow coppice (high-yielding). After this there must be replanted. Of consideration to the evaporation capacity of the plantation, the replanting must take place over a span of several years.

After the harvest in January 2000, it was found that some of the willow shoots were attacked by mould, and some had perished (about 5-10% of the willow). This is attributed to the harvest procedure, which will therefore be altered. On the harvested area weed control should take place, especially in order to secure better growth for the replanted small willow cuttings which have been replaced instead of those that have perished.

The root growths of the willow seem, from a qualitative assessment, to follow the change of the water level during the year.

As the willow only sets very fine roots in the plantation, and as the cambium is separated from the distributing layer by fibre textile, it is assessed that there is no risk that the roots will penetrate the plastic membrane or go out into the distribution layer.

The production of 1999 (4-year old shoots on 8-year old roots) was determined to 8,5 tonnes/hectare/year. The production resembles the average production of 7,5 tonnes/hectare/year, as Morsing et. Al. (1995) has found to be the cases in a number of Danish willow plantations, though variation has been great (from 1,8-22,6 tonnes/hectare/year).

The production, however, is below the average production of 13 tonnes/hectare/year, which has been measured on willow lots in the FAIR project (Larsson 2001). On this basis it is not possible to ascertain if a decrease has happened in the productivity on the Marjatta plantation since its establishment.

## Compound processes and compound accumulations

Far greater amounts of nutrients are applied to the willow plantation, than is withdrawn. In the project only the applied amounts of compounds and that which is in the soil, has been measured. The standards of the metabolic process are theoretical.

From analysis of the applied wastewater, the application of nitrogen to the plantation has been calculated to 512 kg N/hectare. Withdrawal matters (leaves and branches) have been calculated to 171,5 tonnes N per hectare.

Concerning a surplus of nitrogen and organic matter, the microbiological processes in the plantation will cause the compounds to decompose.

The results of the soil constituent analysis indicate that an increase of phosphorus has been the case since the establishment of the plantation in 1991/92. This is without problems to the growth of the willow, and gives the soil greater nutritional value, if the plantation one day is terminated, and the soil eventually spread out on agricultural land.

There is no sign that the content of potassium in the ground has been increased. An increase hereof would nevertheless have no immediate consequences to the growth of the willow.

### Environmentally hazardous matters, hereunder heavy metals

As water is never discharged from the willow plantation, the conveyed heavy metals would either be absorbed by the willow or accumulated in the willow plantation. On the other hand, the organic environmental hazardous matter is assessed to decompose in the plantation by microbiological processes in an environment that changes between the aerobic and the anaerobic.

There is a difference concerning the extent to which the different clones absorb heavy metals. This depends partly of the concentration of heavy metals in the vegetation. Measurement results from Peder Gregersen (personal announcement) and Anneke Stubsgaard (2001), indicate that there is no immediate risk that the amount of heavy metals in the foliage is as much as to be hazardous to prevent the use of the harvested wood chips for soil cover in the garden, or to burn in the furnace.

The theoretically applied heavy metals to the willow plantation have been calculated on the grounds of the content of heavy metals in wastewater from the household. On the background of these calculations, an accumulation of heavy metals is assessed not to shorten the life span of the willow plantation. In this context, the relatively large size of the willow plantation is important, compared to other types of wastewater works, as root zone systems and sand filter systems. Even though there are outlets from these systems, one can imagine that the accumulation of heavy metals of these are greater than in willow plantations, simply because their volume are considerably smaller.

All in all, it is assessed that there is a need for further investigations concerning the destiny of heavy metals in the willow plantations.

### Accumulation of salt

The concentration of salt in the plantation can become the limitation factor, which determines the life span of the plantation. It is therefore of great importance to limit the application of salt to the system. The source is the use of salt in the household.

The plantation should be projected in a way to have a limited amount of water containing concentrated amounts of sodium chloride drained from the system. This must naturally be done during late summer, where the content of water is at its lowest, and the concentration of salt at its highest.

## Cultivation of clones

In cultivation programmes today, the focus is especially on the cultivation of clones for ordinary willow coppice plantations, where the purpose is to achieve as large a production as possible, compared to accessible resources of nutrients and water. Concerning the cultivation of clones destined for wastewater treatment plantations, high-demanding varieties can be a good solution, as there is access to plenty of water and nutrients. Furthermore, it should be considered if it really is an advantage that the chosen clones don't process a high quantum of heavy metals. All this depending on whether one prefers to accumulate these in the ground or in the foliage. Finally there is the advantage of developing clones containing a high tolerance of salt.

## Production demands

It is open to discussion, how often the plantation users must control the wells/water level and so on. During the first couple of years after the establishment of the plantation, it is a good idea with frequent control, ex. every month. In older plantations it should be sufficient with a sounding 4 times a year.

The soundings should then be repeated with a day or two in-between, as there appears to be some flux of the water level in the wells on the distribution pipe, because of ex. temporary fluctuations in the application of wastewater, and temporary stoppages in the system.

It is primarily the maximum water level of winter, which is interesting. Partly as control for overflow, or any risk hereof, and partly to assess whether the plantation is leak-tight, or if the evaporation capacity changes over the years.

It is sufficient to read the water consumption 1-2 times a year.

## Costs

The price of the wastewater treatment plantation in 1992 was about 92.300 Kr. + taxes. The Entrepreneur considers the price to be 20-25% higher today. The clones were at that time purchased for about 2 Kr. per stk. + taxes. Today they are considerably cheaper.

The prices concerning the remaining plantations in the country vary a lot, among other reasons because of price differences in excavation work.

Working on developing the construction of the plantations, with the intention of reducing their size, and thereby also their costs, is important. In this context it is also important to have a closer look at the possibilities of reducing precipitation on the plantation.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrunden for projektet

Anvendelse af plantebaserede anlæg til rensning af spildevand er en teknologi, der har været kendt i adskillige år. I Danmark tilplantes disse anlæg generelt med tagrør. Der sker en udledning af rensset spildevand fra disse anlæg, hvis renseevne er så velkendt, at Miljøstyrelsen har udgivet en vejledning for, hvordan rodzoneanlæg skal etableres (1/1999). Der findes til gengæld kun relativt få anlæg i Danmark, som er tilplantet med pil måske i alt ca. 30-60 anlæg (personlig meddelelse, Anneke Stubsgaard og Peder Gregersen), og næsten alle er etableret inden for de sidste 5 år. Koncepterne er forskellige, men det er fælles for dem, at de ved normal drift er afløbsfrie. I Tappernøje ved bofællesskabet Pilehuset i Risto-lahaven, der er en del af institutionen Marjatta, ligger, så vidt vides, det ældste pilebedsanlæg i Danmark. Det blev etableret i vinterhalvåret 1991/92. Institutionen er for handicap-pede og drives ud fra Rudolf Steiners principper.

Der er behov for at tilvejebringe en større viden om, hvordan disse anlæg er opbygget, hvordan de fungerer, og ikke mindst om, hvordan de skal dimensioneres. Mange borgere er interesserede i denne anlægstype, så der er behov for en vejledning svarende til vejledningen for etablering af rodzoneanlæg og for andre lavteknologiske anlæg. Storstrøms Amt ønsker med projektet "Erfaringer fra og undersøgelser af et pilebedsrenseanlæg etableret 1991-92" at bidrage til, at denne viden tilvejebringes.

## 1.2 Projektets formål

Formålet med projektet var at undersøge pileanlægget ved Pilehuset. Anlæggets konstruktion og driften af det skulle beskrives, herunder eventuelle hygiejniske aspekter i forbindelse med pasningen af anlægget. Anlæggets kapacitet og fordampningsevne skulle vurderes på baggrund af registreringer af de tilledte spildevandsmængder og nedbørsforholdene samt på baggrund af pejlinger af vandstanden i anlægget. Pilekulturens tilstand og vækst skulle endvidere beskrives og vedproduktionen bestemmes. På baggrund af undersøgelser af tilledningen af næringsstoffer til anlægget skulle omsætningen af disse undersøges, og det skulle vurderes, om der sker en ophobning af næringsstoffer, tungmetaller eller salte i anlægget. Endelig skulle resultaterne af undersøgelserne omfatte nogle anbefalinger vedrørende indretning og drift af pilerenseanlæg.

## 1.3 Andre undersøgelser af pileproduktion i relation til spildevand

En række personer og institutioner beskæftiger sig med eller har beskæftiget sig med anvendelse af pil i kombination med spildevand. Enkelte af dem fremhæves her.

Der er i Sverige ca. 15.000 ha energiskov tilplantet med hurtigtvoksende Salix (pil) i om-drift (Aronsson, Pär, 2000). En lille men stigende del bliver vandet og gødet med spildevand fra rensningsanlæg. Der kan både anvendes mekanisk rensset, biologisk rensset eller mekanisk-kemisk rensset spildevand. Det sker f.eks. ved Kågeröd og Bromölla i Syd-sverige. I vinteren 1999/2000 er der ved Enköping i Midtsverige etableret 30 ha, der skal modtage spildevand fra rensningsanlægget. Arealet ventes udvidet til 100 ha for at dække byens samlede behov (Willow Wastewater News, No. 5, August 2000).

I Polen er der en lang tradition for at tilledte spildevand til pilbeplantninger og for at beskæftige sig med forskning i mulighederne for denne anvendelse af spildevandet (Obarska-Pempkowiak, H., 1994).



I Sverige har især Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala, SLU og Kenneth Hasselgren, tidligere Svalövs Kommune, nu VBB VIAK AB, Malmö (et svensk rådgivende firma med bl.a. erfaringer med lavteknologiske anlæg) beskæftiget sig med koblingen spildevand og pil.

I Danmark har Keld Hauge Nielsen, tidligere ansat ved Forskningscentret for Skov og Landskab i Vejle, beskæftiget sig især med gødning af pil med spildevandsslam, men også med spildevand.

Peder Gregersen fra Sydjysk Universitetcenter i Esbjerg har været projektleder på et projekt, hvor der er blevet etableret en række pileanlæg og indsamlet erfaringer fra første års drift. Peder Gregersen beskæftiger sig fortsat med projektering af anlæg i "Center for re-cirkulation".

Anneke Stubsgaard, DHI (Institut for vand og miljø), undersøger en række pilebedsanlæg i projektet "Afløbsfrie pileanlæg til spildevandshåndtering i det åbne land" under Aktionsplanen for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Projektet er under afrapportering.

Der er i en række lande, bl.a. i England og i Nordirland, en stor interesse i at koble pil og spildevand. Der laves forsøg og forskes med forskellige indfaldsvinkler. Der er bl.a. blevet lavet nogle indledende forsøg med forskellige kloners vækst og optagelse af næringsstoffer og tungmetaller. Der er i det 4-årige projekt "Biomass short rotation Willow Coppice fertilized with nutrient from municipal Wastewater" (BWCW) bl.a. etableret et lille mark-forsøg i Nordirland med udgangspunkt i Drusilla Riddell-Black's resultater fra pottforsøg i England. (Larsson, Stig (redigering), 2000).

A & B Backlund beskæftiger sig med forskellige koncepter for udnyttelse af vand og næringsstoffer fra restprodukter som spildevand eller fraktioner heraf til at dyrke pil og planlægger p.t. etablering af et pileanlæg med begrænset tilledning af regnvand. A & B Backlund deltager bl.a. i det internationale projekt BWCW. Firmaet har endvidere fungeret som konsulent/samarbejdspartner for Storstrøms Amt i nærværende projekt.

## 1.4 Koncepter for pileanlæg

Pil er interessant at anvende i spildevandskoncepter. Den har en lang vækstsæson og kan ved god vækst med et veludviklet rodnet udnytte vand og næringsstoffer i spildevandet til produktion af biomasse i form af rødder, ved, bark og blade. Overskydende vand bortledes på grund af pilens transpiration og evaporationen fra overfladen.

Pil og spildevand kan kombineres i en række koncepter. Her skal blot nævnes nogle:

1. Det samlede spildevand fra en eller flere husstande kan direkte efter en mekanisk rensning i f.eks. en trixtank tilføres et pileanlæg.
2. Det grå spildevand fra en eller flere husstande kan direkte efter en mekanisk rensning i f.eks. en triktank tilføres et pileanlæg.

Disse anlæg (1 og 2) kan endvidere opdeles efter, hvordan spildevandet tilledes anlægget, og efter, om anlægget er forsynet med tæt medbran:

- A.1 Pileanlægget er et lukket bassin forsynet med en membran og uden afløb. Dette er normal anlægspraksis i Danmark. Spildevandet opmagasineres uden for vækstsæsonen i anlægget med henblik på fordampning og udnyttelse af næringsstofferne i den kommende vækstsæson.
- A.2 Pileanlægget er uden membran. Der tilledes kun spildevand i vækstsæsonen, eller det accepteres, at anlægget fungerer som et nedsivningsanlæg uden for vækstsæsonen (sommerhusløsning).

- A.3 Pileanlægget er enten som A.1 eller A.2, men konstrueret således, at regnvand kan opsamles fra overfladen og bortledes uden at komme i kontakt med spildevandet. Dette koncept er ikke afprøvet i praksis. Fordelen ved anlægget er reduktionen af den nødvendige lagerkapacitet.
  - B.1 Spildevandet tilledes fordelerlag/-rør ved gravitation.
  - B.2 Spildevandet pumpes ud på eller ud i anlægget.
  - C.1 Spildevandet tilføres i overfladen ved hjælp af slanger, sprinklers eller lignende. I Jylland er der anlagt flere af denne type, men man er ved at gå væk fra konceptet på grund af problemer bl.a. med tilfrysning af rørene.
  - C.2 Spildevandet tilledes via et fordelerrør placeret 60 cm nede i anlægget. Røret er placeret oven på f.eks. exponet. Fordelersystemet er indpakket i fibertex for at hindre rødder i at vokse ind i fordelerrøret. Der er anlagt mange af denne type de sidste par år.
  - C.3 Spildevandet tilføres i bunden af anlægget via et fordelerrør og/eller et fordelerlag (rallag) .
3. Urin kan opsamles fra kildesorterende toiletter eller vandfrie urinaler og transporteres til pileplantager og udspreddes som gødning i vækstsæsonen. Dette svarer til den konventionelle udnyttelse af husdyrgødning, blot med en anden afgrøde.
  4. Delvis rensat (mekanisk og delvis biologisk rensat) spildevand fra rensningsanlæg, der behandler spildevand fra en række husholdninger, kan via et vandingsanlæg tilføres en pileplantage. Det internationale projekt: "Biomass short rotation willow coppice fertilized with nutrients from municipal waste water" FAIR5-CT97-3947 (Miljøstyrelsens M 226-0055) beskæftiger sig såvel med dette koncept som med koncept 3. Her tilledes spildevandet kun i vækstsæsonen april-oktober. Ved en sådan udnyttelse af spildevandet i Danmark, skal spildevandet enten opmagasineres eller f.eks. kunne nedsives uden for pilenes vækstsæson.

Konceptet for pileanlægget ved pilehuset hos Marjatta i Tappernøje, som denne rapport omhandler er af typen 1, idet alt spildevand fra husstanden på 11 personer tilledes anlægget. Anlægget er lukket (A.1), og spildevandet tilledes ved gravitation (B.1) i bunden (C.3).

### 1.5 Baggrunden for etableringen af et pileanlæg på Marjatta i Tappernøje

Ved udbygningen af institutionen Marjatta med bebyggelsen på Bækkeskovstræde (Ristolahaven) og bl.a. Pilehuset øgedes antallet af beboere i området betragteligt og dermed udledningen af spildevand til Præstø Fjord. Fladså Kommune stillede ikke krav om forbedret spildevandsrensning i forbindelse med byggetilladelsen, men et sådant kunne på sigt forventes for bebyggelserne i området. Derfor og ud fra et ønske om at etablere en alternativ måde, at håndtere spildevandet på fra bofællesskabet Pilehuset udarbejdede Amdi Hansen (dengang ansat på Marjatta) en idéskitse: Piletræer som alternativ spildevandsrensning (16. maj 1991).

Inspirationen til at anvende pil kom fra Amdi Hansens tid som kloakmester, hvor han havde oplevet pilens fantastiske egenskaber med hensyn til at søge efter vandet. Under konkretisering af ideerne havde han kontakt til Keld Hauge Nielsen, dengang ansat ved Skovteknisk Institut i Vejle.

Udgangspunktet for dimensioneringen af anlægget var en generel opfattelse af (bl.a. fra artikel af Kent Hasselgreen), at en pilelund årligt kunne optage 1,5 m<sup>3</sup> vand pr. m<sup>2</sup>. Ud fra en gennemsnitlig nedbør på 600 mm i Præstø-området fastsatte Amdi Hansen en pilelunds optagelseskapacitet til 0,9 m<sup>3</sup> mekanisk rensat spildevand pr. m<sup>2</sup> pr. år. På baggrund af

vandforbruget beregnedes det nødvendige areal pr. person til 44 m<sup>2</sup>. Amdi Hansen vurderede, at overfladearealet burde være 10-20% større for at sikre en reservekapacitet, og at anlægget kunne etableres med overløbsdræn. Skitsen blev sendt til Keld Hauge Nielsen, som gjorde opmærksom på, at overløbsdræn burde undgås, og på pilens gode evne til at optage næringsstoffer (jfr. brev af 24. maj 1991).

Amdi Hansen besluttede at etablere et anlæg uden overløbsdræn.

## 1.6 Rapportens indhold

Kapitel 2 indeholder en beskrivelse af projektets måle- og undersøgelsesprogram.

Kapitel 3 omhandler indholdet af anlæggets godkendelse. Desuden gøres der rede for myndighedsforholdene ved meddelelse af tilladelse til etablering af et pileanlæg og krav til sådanne i henhold til spildevandsbekendtgørelsen (bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999).

Kapitel 4 omfatter en beskrivelse af anlæggets konstruktion og etablering, herunder omkostninger.

Kapitel 5 handler om driftsforholdene og institutionens erfaringer med driften. Erfaringer med pasningen af brønde og fordelerrør og med høstarbejdet. Desuden beskrives husets "rytme", herunder forbrugsvaner med hensyn til vand og rengøringsmidler, dvs. forhold af betydning for driften af pileanlægget.

I kapitel 6 gøres der rede for resultaterne af undersøgelserne af jordbundsforholdene og af røddernes fordeling i anlægget. Dels undersøgelser fra anlæggets første år, dels undersøgelser foretaget i projektperioden.

I kapitel 7 redegøres der for tilledningen af spildevand samt nedbør til anlægget. Resultaterne af pejlingerne af vandstanden i anlægget og vandets fordeling i anlægget beskrives og vurderes.

I kapitel 8 vurderes anlæggets kapacitet og fordæmningssevne.

Pilekulturens tilstand og vækst beskrives i kapitel 9. Pileproduktionen bestemmes på baggrund af resultatet af høsten i vinteren 1999/2000, og der sammenholdes med resultater af tidligere produktionsmålinger.

Kapitel 10 omhandler omsætning af de næringsstoffer, som tilledes anlægget. Dette vurderes dels på baggrund af resultaterne af undersøgelserne af de tilledte stofmængder samt af indholdet i jorden, dels ud fra litteraturangivelser af pilens optagelsesevne og stoffernes fordeling i planterne.

I kapitel 11 diskuteres risikoen for ophobning af miljøfremmede stoffer i pileanlæg, dels på baggrund af målinger af indholdet af sådanne stoffer i jorden i pileanlægget og i den tilstødende havejord, dels ud fra litteraturstudier. Endvidere omtales problematikken med hensyn til eventuel saltophobning i pileanlæg.

I kapitel 12 omtales meget kort eventuelle hygiejneproblemer som følge af behandling af spildevand i et pileanlæg.

Kapitel 13 rummer en sammenfattende diskussion og konklusion af resultaterne af undersøgelserne i projektet og de spørgsmål, de rejser.

Kapitel 14. Bilag.

Kapitel 15. Referencer/litteraturliste.

## 2 Undersøgelser- og måleprogram

Der er udført følgende undersøgelser og målinger i forbindelse med projektet:

### Anlæggets konstruktion samt jordens tekstur

Anlægget er beskrevet på baggrund af konstruktionstegninger fra etableringen i vinteren 1991 og foråret 1992 suppleret med opmålinger i 1999. Teksturen i forskellige dybder af anlægget er undersøgt af Anneke Stubsgaard (2001). Der er puljet prøver fra 3 jordprofiler og udtaget prøver for hver 15 cm ned gennem profilet. Det procentuelle indhold af følgen-de fraktioner er bestemt: Humus, calciumkarbonat, ler, silt, grovsilt, finsand og grovsand.

### Tilledte mængder spildevand til anlægget

Institutionen har kunnet oplyse om beboernes vandforbrug i perioden 1992-96. Institutionens medarbejdere har endvidere registreret vandforbruget løbende fra den 27. september 1998 til 30. juni 2000.

### Vandstanden i pilebedet

Der foreligger data vedrørende vandstanden i anlægget fra juni 1992 til juli 1993. Vandstanden er pejlet i inspektionbrønden, som fordelerrøret udgår fra, ca. 1 gang om ugen i denne periode. Vandstanden er desuden pejlet i perioden 14. januar 1999 til 30. juni 2000 i inspektionsbrøndene ved fordelerrørets start og slutning.

Endvidere er vandstanden registreret i 3 pejlerør placeret ude i anlægget, for derved at få et indtryk af anlæggets evne til at få fordelt vandet i hele anlægget. Rørenes placering fremgår af figur 7.3-1. Der er brugt filterrør med slidser (Ø 60 mm), som benyttes til geotekniske undersøgelser. Se bilag 3, figur 4. Rørene er gravet ca. 100 cm ned i anlægget, og hullerne er efterfyldt med filtersand. Det var hensigten, at de skulle hvile på fiberdugen men anlæggets overfladehældning er ikke helt på 10‰ som først antaget, så bunden af pejlerør nr. 3 befinder sig ca. 10-15 cm over fiberdugen.

### Nedbørsforholdene

Oplysninger om nedbørsforholdene fra juli 1992 til december 1996 stammer fra Foulums 10 x 10 km<sup>2</sup> gritnet (station 959). Data vedrørende 1999 er indhentet fra Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI) 20 x 20 km<sup>2</sup> gritnet (gennemsnit fra stationerne 20158 & 20157). 30-års-gennemsnitsværdierne er beregnet som gennemsnit af data fra punktmålingerne fra DMI's klimastationer 31010 Gjorslev og 31270 Stege.

### Pilekulturen, vækstforhold og produktion

Pilens vækst og genvækst efter høst er fulgt i vækstsæsonerne 1999 og 2000. I forbindelse med høsten i januar 2000 blev antallet af pile, som var gået ud, eller som var angrebet af svamp (synligt), inden for det høstede areal talt op.

Røddernes fordeling i jorden er beskrevet i forbindelse med udtagning af jordprøver.

Pilevedsproduktionen blev bestemt i forbindelse med høsten i januar 2000. Den overjordiske vedproduktion fra et areal på 80 m<sup>2</sup> blev vejlet. Mængden af produceret tørstof pr. ha blev beregnet på baggrund af tørstofbestemmelser af stikprøver af veddet.

### Stofomsætningen

Jordens indhold af følgende stoffer er bestemt: Total-kulstof, total-kvælstof og total-fosfor, fosfortal, kalium- og calcium-tal. Der er foretaget et skøn over mængden af tilførte og fraførte næringsstoffer (total-kvælstof, total-fosfor og kalium) for jorden i pileanlægget. De tilledte mængder er bestemt ud fra analyse af spildevandsprøver, der er udtaget som daglige øjebliksprøver i en uge (7 dage). Prøverne er analyseret af ROVESTA Miljø I/S. De fraførte stofmængder er skønnet ud fra teoretiske værdier for indholdet i blade og ved.

#### Ophobningen af tungmetaller, miljøfremmede organiske stoffer og salt (NaCl)

Blandingsprøver fra 5 steder i anlægget er udtaget henholdsvis 45 cm og 75 cm under anlæggets overflade. Prøverne er analyseret for indhold af tungmetaller og miljøfremmede organiske forbindelser. Af sidstnævnte er der analyseret for de parametre, som er omfattet af slambekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, 2000), dvs. LAS, PAH, DEHP og nonylphenol. Analyserne er foretaget af ROVESTA Miljø I/S.

En eventuel risiko for ophobning af disse stoffer i anlægget er vurderet, bl.a. på baggrund af en sammenligning med indholdet af disse stoffer i jorden i den tilstødende have. Råjorden i anlægget er i sin tid taget herfra. Endvidere beregnes, til sammenligning, den teoretiske tilledning af tungmetaller til anlægget ud fra litteraturangivne værdier.

Problematikken omkring saltophobning behandles kort på baggrund af andre undersøgelser.

#### Hygiejne

Bakteriologiske undersøgelser af en række pileanlæg i Danmark, herunder Pilehusets anlæg, er foretaget og vurderet af Anneke Stubsgaard (2001). I nærværende projektrapport omtales vurderinger herfra.

#### Undersøgelser i øvrigt

John Sørensen, Marjatta, har givet oplysninger om erfaringer med driften af pileanlægget og husets rytme generelt, hvor denne har betydning for mængden, fordelingen og karakteren af spildevandet, som tilledes pilebedet. Endvidere har John Sørensen oplyst om forbrugsmønstre med hensyn til vandforbrug, vaske- og rengøringsmidler, kosttilberedning m.m.

### 3 Anlæggets godkendelse

Fladså Kommune meddelte den 31. august 1999 ny tilladelse til afledning af spildevand fra Pilehuset til eget pileanlæg til erstatning for den tidsbegrænsede tilladelse af 11. september 1991, som blev meddelt i forbindelse med anlæggets etablering.

#### 3.1 Myndighedsforholdet og krav til pileanlæg i henhold til spildevandsbekendtgørelsen

I henhold til spildevandsbekendtgørelsens (Miljøstyrelsen 1999) § 40 kan kommunen meddele tilladelse til etablering af afløbsfrie bassinanlæg, hvortil der ledes spildevand fra 1-2 husstande. Ved større anlæg er amtet tilladelsesmyndighed. Denne anlægstype var ikke omfattet af tidligere spildevandsbekendtgørelser, hvor tilladelsen skulle meddeles af amtet i henhold til miljøbeskyttelseslovens § 19. Den første tilladelse til afledning af spildevand fra Pilehuset blev imidlertid fejlagtigt meddelt af kommunen.

Kommunens tilladelser til disse anlæg kan ikke ankes til anden myndighed. Kommunen er tillige tilsynsmyndighed.

Ifølge spildevandsbekendtgørelsen skal afløbsfrie bassinanlæg overholde følgende krav:

- Anlægget skal udføres med tæt bund og sider.
- Der må ikke opstå risiko for overfladisk afstrømning fra anlægget.
- Der må ikke være risiko for sundhedsfare for mennesker og dyr.
- Der må ikke opstå gener for omboende.
- Afstandskravene til vandindvindingsanlæg, der er angivet i § 37, stk. 3-4, skal overholdes.

Tilladelsen til Pilehusets pileanlæg omfatter disse krav.

#### 3.2 Tilladelsens indhold

I forbindelse med afviklingen af projektet under Aktionsplanen for økologisk byfornyelse og spildevandsrensning er nogle af kravene i tilladelsen midlertidigt ændret. Disse er i det følgende markeret med \* og beskrevet nærmere i afsnittet ”Midlertidige ændringer af tilladelsens indhold.”

##### Tilladelsens omfang

Tilladelsen omfatter sanitært spildevand fra 11 PE.

Tag-og overfladevand må ikke ledes til anlægget.

##### Anlægget

Spildevandet skal ledes til en tokammer hustank med en slamopsamlingskapacitet på min. 5 m<sup>3</sup>.

Der skal etableres en sandfilterbrønd inden bundfældningstanken.\*

Efter sandfilteret skal spildevandet ledes til en spulebrønd, hvorfra det fordeles i pileanlægget.

Anlægget skal omgives af en vandtæt plastmembran, som hindrer udsivning af spildevand og er uigennemtrængelig for pilerødder. Plastmembranen skal beskyttes på begge sider med enten et 10 cm tykt sandlag eller fibertext-membran.

Mellem singelslaget og råjorden skal der lægges en fibertex-membran, der sikrer mod rod-gennemtrængning.

Drænledningen, som løber under pileanlæggets membran, skal passere gennem en mindre inspektionsbrønd umiddelbart efter anlægget før tilslutning til andre drænledninger.

### Drift

I tilladelsen fra 1991 var der krav om, at bundfældningstanken skulle være tilmeldt den kommunale tømningsordning. I tilladelsen fra 1999 er der krav om, at den ikke må indgå i den kommunale tømningsordning. Tanken skal efter tømning fyldes med rent vand i stedet for med rejektvand fra slamafvandingen, som normalt bruges i tømningsordningen. Dette for at undgå at eventuelt suspenderet stof i rejektvandet aflejres i fordelersystemet i pile-anlægget.

Tømningsfrekvensen er tillige ændret fra 1 til 4 gange om året.\*

Sandfilteret skal ved oprensning sikres mod tilstopning og overløb.\*

### Måling og kontrol

Vandstanden i pileanlægget skal registreres i en driftsjournal mindst hver 14. dag.

Vandstanden må ikke overstige et niveau på 10 cm under membranens overkant.

Sandfilteret skal kontrolleres og inspektionsbrønden på drænledningen skal tilses hver 14. dag.\*

Den tilledte vandmængde til hustanken skal registreres i en driftsjournal hver 14. dag ved at aflæse vandmåleren til friskvandsforbruget. I en driftsjournal skal endvidere noteres tidspunkt for nedskæring og reetablering af piletræer, tømning af hustanken, rensning af fordelerrør og andre forhold af betydning for anlæggets funktion.

Kommunen kan stille krav om udtagning af prøver til analyse. Det fremgår ikke af tilladelsen, om det drejer sig om prøver af tilløbet til anlægget eller af drænet under anlægget.

## 3.3 Midlertidige ændringer af tilladelsens indhold

I forbindelse med projektets gennemførelse er kommunens tilladelse efter ønske fra amtet ændret med hensyn til følgende forhold:

Sandfilterbrønden er ombygget til en efterklaringsbrønd på grund af mange års driftsproblemer med sandfilterbrønden. Det er amtets opfattelse, at en efterklaringsbrønd vil fungere bedre, det vil sige være mere driftsstabil end en sandfilterbrønd.

Hustanken kan indgå i den kommunale tømningsordning med mindst 1 tømning pr. år.

Tilsyn og kontrol med pejle-/inspektionsbrønde og med vandforbrug foretages mindst 4 gange om året eller efter behov.

Anlægget har i undersøgelsesperioden været drevet under disse betingelser, idet kommunen i tilladelsen har meddelt, at anlægget kunne anvendes som forsøgsprojekt i en periode, såfremt der skete en afrapportering til kommunen.

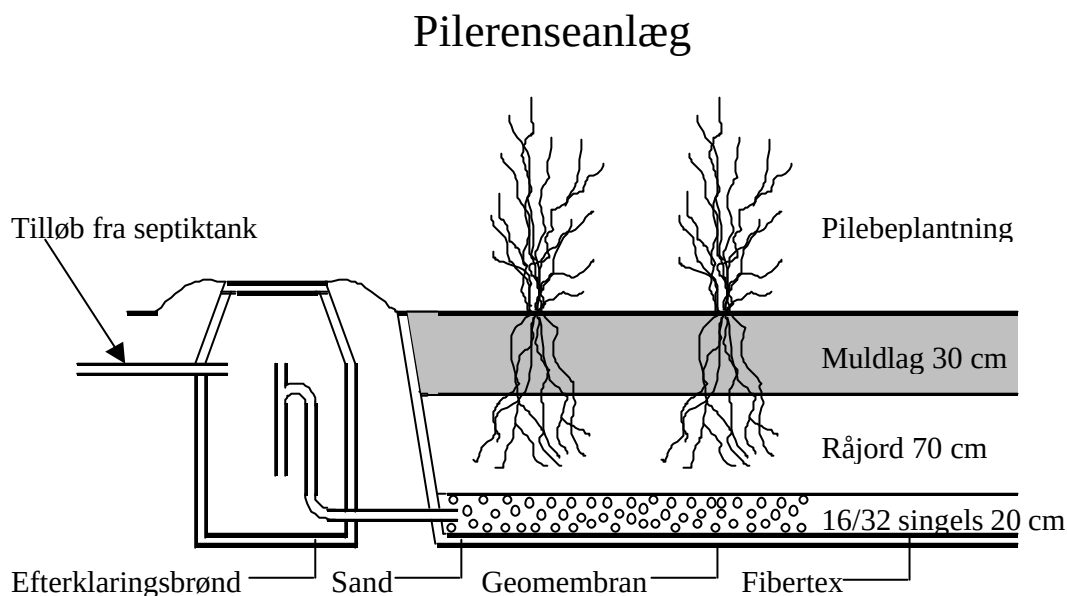
## 4 Anlæggets koncept og etablering

Pileanlæggets geografiske placering fremgår af kortskitsen, bilag 1. Anlæggets korte sider er orienteret VSV/ØNØ.

Anlægget blev etableret ved lokal entreprenør i marts 1992 og blev tilplantet i april 1992. Etableringens faser fremgår af en billedserie (bilag 2). Beskrivelsen er baseret på denne billedserie, ovennævnte tegninger, oplysninger i tilbud og specifikation heraf. Oplysningerne er suppleret ved samtaler med entreprenøren og Amdi Hansen, som fraflyttede institutionen i 1993), samt John Sørensen, Marjatta, for den resterende periode.

### 4.1 Koncept

Pileanlægget ved Pilehuset tilledes alt spildevand fra husstanden på 11 personer. Anlægget er lukket, og spildevandet tilledes ved gravitation i bunden af anlægget via et fordelerrør og et rallag. I figur 4.1 er vist en principskitse over anlægget, tegnet på baggrund af opmålinger af anlægget og principskitse (mål: 1:12,5) samt situationsplan (mål: 1:250) (Amdi Hansen, 7. oktober 1991 og 19. august 1992).



**Figur 4.1** Principskitse af pileanlægget ved Pilehuset. Rallaget er 20 cm tykt omkring fordelerrøret. I resten af anlægget er det 10 cm tykt.

### 4.2 Anlæggets størrelse

Anlæggets projekterede areal er 578 m<sup>2</sup>, men arealet er opmålt til 707 m<sup>2</sup> (20,2 m x 35 m) målt fra midte til midte af de omgivne jordvolde, dvs. det areal, som er inden for geomembranen. Det er et areal på 64,3 m<sup>2</sup> pr. PE. Nedbøren, der falder på dette areal, skal fordampes af pilene i anlægget. Arealet inden for jordvoldene er opmålt til 556 m<sup>2</sup> (17 m x 32,7 m). Det tilplantede pileareal udgør således 50,5 m<sup>2</sup> pr. person.

Anlæggets dybde til fibertekstilen er ved indløbsbrønden 1 m og ved slutbrønden på fordelerrøret ca. 1,15 m. Dertil kommer et sand- og rallag på hver 10 cm. Ud fra dybden af slutbrønden (129 cm) skønnes rallaget i bagenden af anlægget at være ca. 15-20 cm tykt.



På dette grundlag og under forudsætning af, at sidernes hældning er på 45 grader, er rumfanget beregnet til 690 m<sup>3</sup> over fibertekstilen og 150 m<sup>3</sup> for sand- og rallaget (fordelerlager), i alt 840 m<sup>3</sup>.

Det er primært jordvolumenet, der udgør magasinet for det vand, som skal opbevares i anlægget uden for vækstsæsonen. Dertil kommer, at cirka halvdelen af rumfanget under fibertekstilen skønnes at blive tømt for vand om sommeren, idet cirka halvdelen af fordelerrøret var tørt ved TV-inspektionen i august 1999. Endvidere stod der kun 15 cm vand i slutbrønden i sommeren 1999. Det samlede volumen, som indgår i magasinet, kan da sættes til 765 m<sup>3</sup>.

### 4.3 Udgravning af anlægget

Et 30 cm muldlag blev afrømmet og råjorden herunder opgravet. Fraktionerne blev holdt adskilt, da de skulle placeres i anlægget igen. Bunden/siderne blev afrettet og eventuelle sten fjernet. Bunden blev anlagt med 10‰ fald i længderetningen og fra midten mod siderne. Sidernes hældning er ikke specificeret, men den vurderes at være ca. 45 grader.

### 4.4 Anlæggets konstruktion (se også figur 4.1 samt billedserien, bilag 2)

Et lag grus på 10 cm's tykkelse blev lagt i bunden under plastmembranen, og et tilsvarende lag blev lagt oven på membranen for at beskytte denne.

Plastmembranen blev lagt ud, så den dækkede både bund og sider. Membranen går i sidevoldene op til et niveau over terrænniveauet i anlægget (konstateret i den bagerste vold i 1999). Membranen er af typen LDPE Blackline 750, formentlig fra Polysheet A/S ifølge anlægsbeskrivelsen og entreprenøren. Den er lavet af Low Density Polyethylene (LDPE) og har en vægtfylde på 0,929 gr/cm og en tykkelse på 0,75 mm (ifølge brochure fra Poly-sheet A/S). I Miljøstyrelsens vejledning til etablering af rodzoneanlæg (1/1999) anbefales en membrantykkelse på 0,50 mm.

Oven på gruslaget ligger et 10 cm tykt rallag (16/32), dog af 20 cm's tykkelse omkring fordelerrøret. Rallaget skal sikre en god fordeling af det tilledte spildevand i anlægget.

Der er udlagt fibertex over rallaget og op ad anlæggets sider for at sikre mod rodgennemtrængning. Den opgravede råjord blev lagt oven på fibertexen i et lag af 70 cm's tykkelse.

### 4.5 Brønde, fordelerør dræn med videre

Samtidig med etableringen af pileanlægget blev der nedsat en bundfældningstank med 2 kamre og med 5 m<sup>3</sup> slamopsamlingskapacitet, dvs. dimensioneret efter husstandens størrelse. 2.-kammeret er lavet ved nedsættelse af et Wawin-rør (plastrør) i hustanken.

Mellem hustanken og pilebedet er placeret en 1 m sandfilterbrønd, som i projektperioden er ombygget til en efterklaringsbrønd.

I sandfilterbrønden tilledes spildevandet i bunden, og afgangsrøret til pilebedet er placeret over filtermaterialet. Dette består af et bundlag af singels (32/64) og over dette et lag sand. Lagene er adskilt af en fibertekstil (Amdi Hansen, 17. oktober 1999).

I efterklaringsbrønden er til- og afgangsrør placeret øverst i tanken, og afgangsrøret er forsynet med et T-rør, jfr. figur 4.1.

Et fordelerrør, placeret i rallaget, løber ned gennem pileanlægget. Røret er et 160 mm PVC kloakrør, hvor der på undersiden er udskåret 6 huller (Ø 100 mm) med en indbyrdes afstand på 5 m til fordeling af spildevandet. Ved hver ende af fordelerrøret er placeret 315 mm spulebrønde.

For at kunne kontrollere, om der sker udsivning af spildevand fra anlægget, er der under anlægget og på tværs af dette lagt et 80 mm PVC drænrør. I volden, hvor drænrøret forlader pilebedsarealet, er der placeret en inspektionsbrønd.

Drænrøret vil imidlertid næppe opfange spildevand, som udsiver fra en eventuel lækage i anlægget. Røret vil snarere virke som en kapilær bremse. Der vil først trænge vand ind i det, når jorden er vandmættet. Drænrøret står i forbindelse med den tilstødende ejendoms drænsystem samt med hoveddrænet fra marken vest for anlægget, som passerer ned mellem anlægget og den tilstødende ejendom. Drænene er ifølge entreprenørens oplysninger tilsluttet en rørlagt grøft i vejen Bækkeskovstræde øst for anlægget og har udløb til Præstø Fjord (kortskitse, bilag 1).

En 1 m dyb grøft er anlagt langs de to af anlæggets sider, hvor det omgivne terræn er højere beliggende end selve anlægget. Dette for at undgå, at anlægget oversvømmes med overfladevand. Grøften har afløb til det ovenfor omtalte drænsystem.

#### 4.6 Tilplantning med pil

Det blev på anbefaling valgt at anvende to forskellige kloner (78-082 og 78-195) af *Salix Viminalis* i anlægget for at sikre en længst mulig vækstsæson.

Det blev besluttet at plante i alt 2.400 pilestiklinger, ligeligt fordelt på 1200 pilestiklinger (78-195), der skulle plantes i november 1991, og 1200 pilestiklinger (78-082), der skulle plantes i april 1992.

Anlægget var dog først klar til tilplantning i april 1992, hvor samtlige 2.400 stiklinger blev plantet. I dag anbefales det i øvrigt generelt at tilplante i foråret.

Dette giver ca. 41.522 stiklinger pr. ha, svarende til 4,3 stk. pr. m<sup>2</sup> i pileanlægget. I pileplantager plantes normalt 15.000–18.000 stiklinger pr. ha, svarende til 1,5–1,8 stk. pr. m<sup>2</sup>.

De 20-25 cm lange og 0,8-1,5 cm tykke stiklinger anslås at være sat ca. 20 cm ned i jorden med 5 cm stikkende op af jorden.

Det kan i dag være svært at se, om stiklingerne er plantet med en fast afstand mellem rækkerne og mellem stiklingerne i rækkerne. I nogle af rækkerne er der mange i andre meget få planter.

Billeder af pileanlægget fra november 1999 og juni 2000 er vist i bilag 3, figur 1 og 2.

#### 4.7 Anlægsomkostninger

Omkostningerne til etablering af hustank, sandfilterbrønd, kloakledning fra hus til pileanlæg, grøft incl. brønd, udgjorde i alt 27.500,00 kr. excl. moms, heraf sætning af hustank 10.800 kr.

Omkostningerne til etableringen af pileanlægget var 92.300 kr. excl. moms.



## 5 Erfaringer med og undersøgelser af anlæggets drift og funktion

Erfaringerne med anlæggets drift og funktion, som omtales i dette kapitel, er dels oplyst af Amdi Hansen for så vidt angår de første par år efter etableringen, dels oplyst af John Sørensens fra Marjatta. Oplysningerne er suppleret med erfaringer indhentet i forbindelse med amtets tilsyn med anlægget i perioden december 1998 til juni 2000.

### 5.1 Tømning af hustank

Hustanken er tilmeldt den årlige tømningsordning, og den er blevet tømt en gang om året siden anlæggets etablering. Tanken er dimensioneret efter den faktiske belastning.

Ved tilsyn i projektperioden er det konstateret, at der dannes et tykt lag flydeslam i tanken, og at der kan forekomme flydelag i andet-kammeret. Dette er set allerede midt i perioden mellem de årlige tømninger og kan indikere behov for at støde flydeslammet ned regelmæssigt og eventuelt behov for en ekstra tømning af tanken, altså 2 tømninger pr. år.

Tanke med rørindsats (typisk et Wawin-rør) synes ud fra en subjektiv vurdering ikke at være lige så effektive til at tilbageholde flydeslam som trekammertanke, f.eks. trixtanke.

Der har periodisk før projektperioden været problemer med tilbagestuvning af spildevand i hele ledningssystemet i forbindelse med tilstopning af sandfilterbrønden.

### 5.2 Drift af sandfilterbrønd

Der har helt fra starten været problemer med sandfilterbrønden. Sandet blev hurtigt hårdt som cement. Dette resulterede i en tilstopning, hvor vandet løb tiltage til hustanken med slamflugt til følge. I forbindelse med forsøg på at afhjælpe problemet er der blevet slået hul på filterlaget (sandlaget) og geotekstilen mellem sand- og rallaget. Sandet er herved blevet omrørt, og en del af det er blevet transporteret med spildevandet ind i pileanlæggets fordelerrør.

Brønden blev tømt og sammen med fordelerrøret spulet i januar 1999, fordi systemet var stoppet til, og institutionen ønskede at ombygge brønden til efterklaringsbrønd. Den blev imidlertid først ombygget efter TV-inspektion af røret i august 1999.

### 5.3 Drift af efterklaringsbrønd

Det er konstateret, at der fanges slam i brønden. Den fungerer således efter hensigten som et tredje kammer for hustanken. Der dannes kun et tyndt lag flydeslam på overfladen (figur 3, bilag 3), men i forbindelse med nedpumning af brønden efter 1½ års drift konstateredes det, at bundvandet i tanken (de nederste 20 cm) var meget slamholdigt. Efterklaringstanken bør således tømmes i forbindelse med den ordinære årlige tømning af hustanken.

### 5.4 Pasning af fordelerrøret

Fordeleerrøret er blevet spulet, første gang i januar 1999, på grund af tilstopning, som beskrevet ovenfor. Fordeleerrøret var lukket i en længere periode i sidste del af 1998. I den periode blev spildevandet tilledt i overfladen af anlægget. Det blev vurderet, at det ikke var nødvendigt at rodkære røret, idet spuleslangen var ca. 20 m inde i anlægget uden problemer. Der er heller ikke tidligere blevet rodkåret. Det blev ved TV-inspektion den 31. august 1999 bekræftet, at der ikke var rødde i fordelerrøret.

## 5.5 Pasning af drænrøret under anlægget

Der kan i perioder med megen nedbør og/eller ved høj grundvandstand i det omgivende terræn konstateres vand i brønden på drænet, som løber under anlægget. Der kan ikke ses bevægelse i vandet i brønden i disse situationer. Det vurderes, at tilstedeværelsen af vand i drænbrønden skyldes tilbagestuvning af vand fra de tilstødende arealers dræn, bl.a. i marken oven for anlægget, og ikke udsivning fra anlægget (jfr. afsnit 4.5). Drænet blev spulet i forbindelse med TV-inspektionen af fordelerrøret i august 1999, og der blev fjernet en klump rødder, som var vokset ind i drænrøret fra en række piletræer, som står i ca. 1 meters afstand fra pileanlægget. Der er udtaget prøver af vandet fra inspektionsbrønden på drænet under anlægget. Resultaterne heraf vises sammen med analyseresultater af spildevandet i tabel 5.1.

|                                           | pH  | COD<br>mg/l | BI <sub>5</sub><br>mg/l | Total-N<br>mg/l | NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> -N<br>mg/l | Total-P<br>mg/l |
|-------------------------------------------|-----|-------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------------|-----------------|
| Dræn<br>18. marts<br>1999 *               | 7,3 | 20          | 1,1                     | 3,0             | 0,48                                        | 0,29            |
| Dræn **                                   | 6,9 |             |                         |                 | < 0,5                                       |                 |
| Spildevand<br>fra<br>anlæggets<br>bund ** | 6,7 |             |                         | 58              | 67                                          |                 |
| Spildevand,<br>tilløb<br>November<br>1999 | 7,0 | 331         | 134                     | 112             | 109                                         | 21              |

**Tabel 5.1** Analyseresultater af prøver af drænvand og spildevand.

\*Prøve ved Storstrøms Amt. Med hensyn til spildevandet, jfr. tabel 10.4.

\*\*Prøver ved Anneke Stubsgaard 28. juni 1999. Bemærk analysefejl, idet indholdet af NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>-N er målt til at være større end Total-N.

Indholdet af forurenende stoffer i drænvandet ligger langt under niveauet i spildevandet. Endvidere er indholdet af BI<sub>5</sub> langt mindre end COD-indholdet. Det vil sige, at indholdet af letomsætteligt organisk stof er meget lavt. Det organiske stof kan hidrøre fra jord, blade, smådyr og snegle, som er set i brønden.

## 5.6 Høst

Der blev lavet en foryngelsesplan af Keld Hauge Nielsen i forbindelse med pilebevoksningens pleje (brev af 8. december 1993 til Amdi Hansen). Bevoksningen skulle forynges fra vest-sydvest (fjerne korte ende) mod øst-nordøst. Dette skulle ske af hensyn til lystilgangen til de nye skud og af hensyn til vindinfiltrationen i bevoksningen. En fjerdedel af bevoksningen skulle nedskæres hver vinter. Det første areal blev høstet januar-februar 1993, det andet i januar-februar 1994, det tredje i januar-februar 1995, det fjerde i januar-februar 1996 osv. Der er høstet efter planen i alle årene.

Der er tale om høst af pilestokke uden blade. Hvis man skulle høste ud fra en strategi om maksimal næringsstoffjernelse, skulle der høstes langt tidligere for at få bladene med.

Det overvejes at overgå til treårig omdrift i fremtiden for at høste pil med lidt mindre stammediameter end nu. Den høstede pil benyttes dels til flethegn, dels til flis. Flisen bruges i bedene i haven omkring Pilehuset. De fineste grene benyttes til kurveflet.

Det er meget vigtigt at holde det høstede areal fri for ukrudt det følgende forår. Dette er også sket i anlæggets første år. I forbindelse med høsten i januar 2000 plantedes nogle

pilestiklinger til erstatning for udgåede pil i et område på 5-6 m<sup>2</sup> omkring indløbsbrønden. Væksten af nogle af disse blev hæmmet på grund af den kraftige urtevegetation i denne åbne del af anlægget. Genvæksten fra stubbene var derimod fin og hæmmedes tilsyne-ladende ikke af ukrudtet (bilag 3, figur 7).

Resultater af produktionsmålinger fremgår af kapitel 9.

#### **5.6.1 Høstarbejdets udførelse**

Høsten foretages i løbet af et par dage, typisk i en weekend, af husets beboere. Både de udviklingshæmmede beboere og personalet hjælpes ad. Beboernes deltagelse i arbejdet har resulteret i nogle skader på piletræerne. Nogle af snitfladerne er flossede, hvilket har givet grobund for svampeangreb. Man overvejer derfor fremover at ændre på fordelingen af arbejdsopgaverne i forbindelse med høsten. Det har imidlertid høj prioritet, at beboerne deltager i dette arbejde (bilag 3, figur 7).

I forbindelse med høsten i januar 2000 blev der rejst tvivl om, hvorvidt pilene afskæres for tæt på jorden. Stubbhøjden er ca. 10-15 cm. Men i manualen ”Short Rotation Willow Coppice” (Danfors m.fl., 1998) anbefales en stubhøjde på 5-10 cm. En lav stubhøjde skulle ikke give problemer ifølge Stig Larsen, SW (personlig samtale, 2000).

### **5.7 Diverse oplysninger om husstanden af betydning for driften**

I Pilehuset bor 6 udviklingshæmmede beboere samt familien Sørensen, som består af 2 voksne og 2 børn. Beboerne er væk fra huset, på værksteder og lignende, fra 8.30 om morgenen til 16-16.30 om eftermiddagen. 5 af dem har en hjemmedag pr. uge. På hverdage er der en medarbejder i huset i 8 timer og lørdag/søndag en fra kl. 8 til 22. Nogle aftener om ugen er der forskellige aktiviteter i de andre huse, som beboerne deltager i. Beboerne er normalt alle bortrejst 4 uger om sommeren og 1-2 uger i forbindelse med julen. Huset benyttes altså som i en ”almindelig” familie og svarer blot i antal til 2 husstande.

#### **5.7.1 Vaner med hensyn til vandforbrug**

Institutionen har en miljøbevidst grundholdning til forbrug af vand til rengøring og personlig hygiejne. Der benyttes de gængse vandbesparende installationer, vaskemaskinen fyldes helt op før vask etc. Beboerne instrueres også i fornuftige vaner med hensyn til forbrug af vand til personlig hygiejne m.v. Dette afspejler sig da også i husets relativt lave forbrug af vand, som er på ca. 0,9 m<sup>3</sup> i døgnet, svarende til 81 l pr. PE/døgn.

#### **5.7.2 Brug af rengøringsmidler**

Institutionen ønsker at bruge miljøvenlige rengøringsmidler. Bofællesskabet har tidligere benyttet rengøringsmidlerne fra den såkaldt grønne serie ”Optimal” fra firmaet Je-Fa Nykøbing F. Aps. Firmaet har oplyst, at serien forventes at opnå miljømærket ”Svanen” i januar 2001. Det sidste ½-1 år har man benyttet den svanemærkede serie ”Blue Care” fra FDB.

Det er kun de beboere, som forstår at betjene maskinerne rigtigt og dosere vaskemidlerne korrekt, der har disse arbejdsfunktioner. I øvrigt benyttes generelt en forholdsvis lav dosering af vaskemidlerne. Der anvendes ikke skrappe rengøringsmidler som klorin mv. i bofællesskabet. Dette betyder, at der tilledes relativt små mængder miljøfremmede stoffer til pileanlægget og overvejende nedbrydelige stoffer med rengøringsmidlerne sammenlignet med en gennemsnitshusholdning.

#### **5.7.3 Fødevarer**

Husets beboere bruger stort set kun biodynamisk eller økologisk dyrkede råvarer, som de selv i vid udstrækning producerer og forarbejder. Der laves overvejende vegetarisk mad.

## 5.8 Driftsomkostninger

Der betales gebyr for tanktømning til kommunen over ejendomsskatten. Taksten varierer lidt fra kommune til kommune og er typisk 500–1.000 kr. I Fladså Kommune er afgiften i 2001 på 585 kr. incl. moms.

Fordelerrøret er kun spulet én gang på 9 driftsår. Udgiften hertil beløb sig til 4.845 kr. incl. moms og lossepladsafgift, hvilket svarer til en gennemsnitlig årlig udgift på 538 kr., forudsat røret skal spules hvert 9. år. Det vurderes, at spulevandet kan leveres til et renseanlæg, hvilket kan reducere prisen.

Der er ingen udgifter forbundet med høsten, eftersom denne udføres af beboerne selv. Da den høstede pileved benyttes af institutionen selv og ikke afbrændes, er der ingen indtægter.

De samlede årlige driftsomkostninger er således på 1.240 kr. incl. moms ved en årlig tømning.

## 6 Undersøgelse af jordbundsforholdene og røddernes fordeling i anlægget

Jordbundsforholdene i pilebedet og røddernes fordeling i anlægget er beskrevet på baggrund af prøveboringer foretaget dels i 1993, dels den 14. januar 1999 (3 stk.) samt ud fra iagttagelser foretaget i forbindelse med udtagning af jordprøver i sommeren 1999. Der blev udtaget jordprøver til teksturanalyse samtidig med nedgravning af 3 pejlerør i juni. Jordprøverne blev endvidere analyseret for indhold af næringsstoffer og miljøfremmede stoffer.

### 6.1 Prøveboring i anlægget juni 1993

En prøveboring blev foretaget på det sted, der skønnedes at være det fugtigste: Midt i den nordlige halvdel af det areal, hvor pilen er høstet. Der er der mindst løvmasse, mindst sol-indstråling og lavest kote (Nielsen, Keld Hauge, 1993). Resultatet blev således:

|          |                                                                               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 0-50 cm  | Jorden tør, smuldrende, rødbrun.                                              |
| 50-90 cm | Jorden let fugtig, rødbrun m. grå pletter.                                    |
| 70 cm    | Første synlige tegn på aktiv rodvækst.                                        |
| 80-90 cm | Jorden tæt gennemvævet af lange, kraftige, nydannede og helt hvide finrødder. |

Keld Hauge Nielsens konkluderer på denne baggrund: "Der er ikke noget sted så meget vand i jordsøjlen, at der kan udtages prøver. Pilen har været i stand til at flytte sin rodvækst ned sammen med vandsænkningen: 60 cm på 1½ måned." (Brev af 29. juni 1993 fra Keld Hauge Nielsen til Amdi Hansen).

Keld Hauge Nielsens konklusioner i 1993 kan bekræftes af iagttagelserne i projektperioden.

### 6.2 Karakteristik af jordlagene i pileanlægget på baggrund af undersøgelserne i 1999

Øverste 20-30 cm: Brunt, lerholdigt muldlag. I de fleste områder af anlægget med et stort indhold af teglsten i størrelse fra få millimeter til flere centimeter diameter.

30-100/110 cm (til fast bund, fibertex): Mellem-lysbrun meget lerholdig jord. Når jorden er våd, er den klæg og svær at "bryde". Når den er tør, kan der være sprækker, f.eks. langs teglsten, hvor jorden har trukket sig sammen. Varierende indhold af teglsten. Eventuelt gange i jorden efter nedbrudte rødder. Når man skiller en lerkump ad, er der både rustfarvede/lyse områder (iltede zoner) og blågrå områder (reducerede).

I 60-75 cm's dybde forekom der i flere af borehullerne en del sand i jorden.

Resultatet af teksturanalysen fremgår af tabel 6.1. På denne baggrund kan jorden karakteriseres som "sandet morænejord" til trods for, at jorden i våd tilstand virker klæg og leret. Fraktionerne er angivet som procent af tørret prøve.



| Dybde i anlæg     | 15 cm | 30 cm | 45 cm | 60 cm | 75 cm | 90 cm |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| >200 µm grovsand  | 27,2  | 23,6  | 20,2  | 24,2  | 26    | 21,6  |
| 63-200 µm sand    | 26,6  | 26,4  | 23,8  | 25,0  | 24,6  | 23,4  |
| 20-63 µm grovsilt | 9,9   | 9,2   | 11,1  | 12,0  | 10,1  | 10,4  |
| 2-20 µm silt      | 15,5  | 19,2  | 20,0  | 16,3  | 16,3  | 20,1  |
| <2 µm ler         | 17,5  | 19,8  | 24,0  | 20,7  | 19,7  | 23,9  |
| Humus             | 2,5   | 1,8   | 0,9   | 0,9   | 0,5   | 0,6   |

**Tabel 6.1** Resultater af teksturanalyse af jorden i pileanlægget ved Pilehuset.

Der er ikke den store forskel på lagenes tekstur. Der er lidt mere ler og silt og dermed mindre sand i lagene i 45 cm's og 90 cm's dybde end i de øvrige lag. Det øverste muldlag har det største indhold af sand og humus.

### 6.2.1 Jordens porevolumen

Jordens porevolumen i anlægget er på baggrund af teksturanalysen bestemt til 32%.

Udgangspunktet for dimensioneringen af anlægget var, at jorden kunne rumme et vandindhold på 50%. Peder Gregersen og Pär Aronsson (personlig samtale) mener ligeledes, at jordens vandindhold kan komme op på 50% trods et lavere porevolumen, målt på tør jord. Spørgsmålet er, om jorden (lerpartiklerne i denne) kan svulme op, når jorden er våd, hvor-ved jorden kan rumme ekstra vand. Dette tyder Anneke Stubsgaards undersøgelser af vandindholdet i forskellige pileanlæg på (2001). Endvidere kan man ved at grave i pileanlægget om sommeren, hvor jorden er meget tør, se små luftfyldte sprækker, f.eks. langs teglsten. Disse sprækker fyldes så med vand om efteråret. Dette må også give plads til ekstra vand.

## 6.3 Røddernes fordeling i jordlagene

Rødderne forekommer ikke ligeligt fordelt gennem jordsøjlen, og fordelingen synes at afhænge af årstiden. Det var tanken, at røddernes fordeling skulle registreres løbende via gennemsigtige rør, som skulle nedgraves forskellige steder i anlægget. På grund af mange stumper af tagsten i jorden, lod det sig imidlertid ikke gøre at nedgrave disse rør. De knækkede. Derfor er røddernes fordeling kun kvalitativt beskrevet i forbindelse med prøveboringer og prøveudtagninger i januar 1999 og sommeren (juni/juli) 1999.

### 6.3.1 Iagttagelser den 14. januar 1999

Der blev foretaget 3 prøveboringer i anlægget den 14. januar 1999. De tre boreprofiler viste, at der var flest rødder i overfladen. Derefter var der først rødder at finde i laget over geotekstilen, dvs. 80-100 cm under terræn (bilag 3, figur 5).

### 6.3.2 Iagttagelser i juni 1999

Der er nedgravet et pejlerør for hver tredjedel af anlægget. Hul nr. 1 er tættest på indløbet, hul nr. 3 længst væk fra indløbet. Hullernes/pejlerørenes placering i anlægget er vist i figur 7.1. Centimeterangivelserne er målt fra terrænoverfladen.

#### Hul til pejlerør nr. 1

Øverste 60 cm: Gange i jorden med rester af nedbrudte rødder. Rodbark ligger tilbage langs gangenes væg.

Fra 75 cm's dybde: Lidt fine rødder.

#### Hul til pejlerør 2 (zonen høstet vinteren 1998/99)

20-30cm: Enkelte små rødder ( $\varnothing < 1 \text{ mm}$ ), omgivet af blå zone, måske under nedbrydning.

60 cm: Mange bittesmå ( $\varnothing < 1 \text{ mm}$ ) mørke, forgrenede rødder.  
60-75cm: Laget meget sandholdigt, ingen rødder.  
80 cm: Relativt mange lange rødder, op til  $\varnothing 3 \text{ mm}$ .  
90 cm: Fine rødder.

#### Hul til pejlerør 3 (zonen med de højeste/ældste pile)

Øverste 60 cm: Fine rødder, men ikke i stort antal.  
70 cm: Tykke, lange rødder op til  $1 \text{ cm}$   $\varnothing$  med birødder. Dette kan skyldes, at hullet er gravet tæt på en stub i god vækst ( $15 \text{ cm}$ 's afstand).  
90-100 cm: Relativt tæt rodnet,  $\varnothing < 1\text{-}5 \text{ mm}$ .

### **6.3.3 Iagttagelser den 20. juli 1999**

Hullerne 1 og 2 er gravet i første tredjedel af anlægget (fra indløb), hullerne 3 og 4 i den midterste del og 5 samt 6 i sidste tredjedel af anlægget.

#### Hul 1

75 cm: Jord lidt fugtig, klæg. Lidt fine rødder ( $\varnothing -1 \text{ mm}$ )

#### Hul 2

75 cm: Jord fugtig/klæg, enkelte fine rødder.  
90 cm: Lidt flere fine rødder.

#### Hul 3

35-40 cm: Rødder af ukrudt.  
60 cm: Flere fine pilerødder,  $\varnothing 1 \text{ mm}$ .  
75-80 cm: Endnu flere rødder,  $\varnothing 1\text{-}3 \text{ mm}$ .  
90-95 cm: Fine rødder, men færre end ved 75-80 cm.

#### Hul 4

Mulden ikke helt så tør som i de første 3 huller.  
I muldlaget og ned til 45 cm: Mange regnorme samt rødder, formentlig af ukrudt.  
75 cm: Jorden klæg, ingen tegl. Flere rødder op til  $\varnothing 2\text{-}3 \text{ mm}$ .  
80-85 cm: Flere rødder,  $\varnothing 2\text{-}3 \text{ mm}$ , træagtige (figur 6, bilag 3).

#### Hul 5

Jorden ekstremt tør, både i muldlaget og råjordslaget og helt til bunden.  
Der ses ikke rødder i øvre lag. Bunddækket bestod også af vissent græs.  
60 cm: Lidt fine rødder ( $\varnothing 1 \text{ mm}$ ).  
75 cm: Fine rødder. Lidt flere end ved 60 cm.  
85 cm: Fine rødder. Lidt flere end ved 60 cm.

#### Hul 6. 3. zone fra indløb

Muldlaget ikke så tørt som de første 3 huller. Bunddække af skvalderkål.  
70 cm: Stor fed regnorm. Fine rødder,  $1 \text{ mm}$ .  
85 cm: Mange fine rødder,  $1\text{-}2 \text{ mm}$ .

### **6.3.4 Sammenfattende vurdering af røddernes størrelse og forekomst**

Det fremgår af "Growers Manual" (Danfors, B., m.fl. 1998), at rodvæksten i pilekulturer afhænger meget af jordtype og vandtilgængelighed. Vore iagttagelser bekræfter formodningen om, at pilenes rodvækst følger vandstanden i anlægget. I vintermånederne, hvor anlægget er fyldt med vand, er det overfladiske rodlag mest dominerende. Om sommeren er der flest rødder i anlæggets dybere lag. Rodnettet synes at være rykket længere ned mod fibertexten i løbet af juli måned, hvor der er registreret en vandstand svarende til eller lavere end fibertextens niveau i den forreste halvdel af anlægget (figur 7.3). Det skal dog bemærkes, at registreringsmetoden er kvalitativ og dermed er behæftet med nogen usikkerhed.

Det er vigtigt at fremhæve, at der på intet tidspunkt er fundet store, kraftige pilerødder i anlægget. Dette gælder også for andre typer pileanlæg (Stubsgaard, Anneke, 2001). Der vurderes således ikke at være nogen risiko for, at pilerødder vil kunne gennembore hverken fibertexen eller geomembranen. Der er som nævnt i kapitel 5 heller ikke konstateret rødder i fordelerrøret, og der vurderes heller ikke at være risiko herfor.

## 7. Måling af spildevandstilledningen, nedbør og pejlestand i anlægget

### 7.1 Tilledning af spildevand til pileanlægget

Man begyndte at tilføre anlægget spildevand omkring 1. juli 1992. Der blev sat en vandmåler op på ejendommen til registrering af vandforbruget i september 1992.

Der er ikke måler på spildevandsstrømmen til anlægget, men bortset fra nogle få kubik-meter vand, som årligt bruges til udendørs støvlevask og havevanding, er det registrerede vandforbrug på ejendommen identisk med spildevandsproduktionen. Tilledningen af spildevand til pileanlægget sættes derfor lig det målte vandforbrug.

Overfladevandet, som tilledes anlægget, er kun den nedbør, som falder direkte på det.

Vandmåleren blev i efteråret 1997 udskiftet. Dette skete desværre uden slutaflæsning.

Der er foretaget en systematisk registrering af spildevandsproduktionen i perioden september 1992 til juni 1993. Derefter har vi kun enkelte tal, indtil registrering igen er sat i system ultimo 1998.

#### 7.1.1 Tidligere registreringer af spildevandsproduktionen

##### September 1992 til juni 1993

Der er foretaget 17 registreringer af vandforbruget i perioden primo september 1992 til medio juni 1993. Det samlede vandforbrug i løbet af periodens 293 dage var 318 m<sup>3</sup>. Forbruget af vand og dermed spildevandsproduktionen har ligget stabilt på 1 m<sup>3</sup>/dg. Det svarer til ca. 90 l/PE/dg, når der regnes med 11 personer i husstanden.

##### Juni 1993 til august 1995

Måleren er aflæst til 1.114 m<sup>3</sup> i juli 1995 (brev fra Amdi Hansen, 3. august 1995). Der er således brugt 796 m<sup>3</sup> fra medio juni 1993 til ultimo juli 1995. Der er tale om en uændret spildevandsproduktion, svarende til i alt 1 m<sup>3</sup>/dg, fordelt på 11 personer svarer det til 90 l/PE/dg.

##### August 1995 til september 1996

Ifølge opgørelse af 20. september 1996 viste vandmåleren primo september 1996 1.487 m<sup>3</sup>. Forbruget i perioden (ca. 385 dage) var således 373 m<sup>3</sup>, svarende til 0,97 m<sup>3</sup>/dg eller 88 l/PE/dg.

#### 7.1.2 Spildevandsproduktionen i projektperioden

Vandmåleren er løbende aflæst i projektperioden fra den 27. september 1998 til den 30. juni 2000. Måleren viste den 27. september 1998 425 m<sup>3</sup> og den 30. juni 2000 994 m<sup>3</sup>. Det vil sige et vandforbrug på 569 m<sup>3</sup> over 642 dage, svarende til 0,89 m<sup>3</sup> i døgnet eller 80,8 l/PE/dg.

Alt i alt er spildevandsproduktionen faldet med ca. 10 l pr. PE i døgnet siden anlæggets etablering. Den årlige produktion af spildevand er nu 325 m<sup>3</sup>.

### 7.2 Nedbør til pileanlægget

For at vurdere anlæggets evne til at opmagasinere og fordampe vand er det nødvendigt at kende nedbøren i området.

I tabel 7.1 er vist den registrerede nedbør og fordampning på relevante klimastationer i området (henholdsvis DMI's og Foulum's gritnet, jfr. kapitel 2) i perioden fra den begyndende

tilførsel af spildevand til anlægget 1. juli 1992 til den 31. december 1996 samt for 1999. Tabellen omfatter således de perioder, hvor ejendommens vandforbrug er registreret.

| Periode                          | Nedbør<br>(N)<br>mm | Aktuel<br>fordampning (F)<br>mm | Nettonedbør<br>(N-F)<br>mm |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1992 (1.7.-31.12.)               | 423,8               | 163,2                           | 260,6                      |
| 1992                             | 662,5               | 365,4                           | 297,1                      |
| 1993                             | 910,4               | 402,4                           | 508                        |
| 1994                             | 970,8               | 415                             | 555,8                      |
| 1995                             | 663,1               | 427,6                           | 235,5                      |
| 1996                             | 499,5               | 382                             | 117,5                      |
| 1996 (1.1.-30.6.)                | 172,0               | 202,6                           | -30,6                      |
| 1999                             | 906,86              | 619 *                           | 286,96                     |
| Gennemsnit<br>1992 – 1996 + 1999 | 768,9               | 435,2                           | 333,7                      |
| Gennemsnit<br>30 år, 1961–1990   | 562 **              |                                 |                            |

**Tabel 7.1** Nedbør og fordampning for området ved Pilehuset.

\* Skønnet aktuel fordampning ud fra den potentielle fordampning fra en græsbevoksning.

\*\* Gennemsnit af punktmålinger ved klimastationer 31010 Gjorslev og 31270 Stege.

Det fremgår af tabellen, at der forekommer meget store årsvariationer. Gennemsnittet for årsnedbøren i perioden efter anlæggets etablering har været 769 mm, mens 30-års-gennemsnittet for området kun er på 562 mm. Ved dimensioneringen tog man udgangspunkt i en gennemsnitlig årlig nedbør på 600 mm. Nedbøren i 1993, 1994 og 1999 var dog ca. 50% større.

Nettonedbøren udgør kun cirka halvdelen af nedbøren. Det vil dog fremgå af afsnittene nedenfor, at pilenes transpiration er væsentlig større end værdierne for den aktuelle fordampning, der fremgår af tabellen.

Tallene for den aktuelle fordampning er et udtryk for den fordampning, der ville forekomme fra anlægget, hvis det var bevokset af tætklippet græs og ikke af piletræer. I de måneder, hvor pilene ikke bærer løv, vil der fortsat være en fordampning fra anlægget svarende til værdierne for den aktuelle fordampning.

### 7.2.1 Nedbøren i og uden for vækstsæsonen

Den nedbør, der falder på anlægget i vækstsæsonen, fordampes via pilene, mens den nedbør, der falder uden for vækstsæsonen, opmagasineres i anlægget til den følgende vækstsæson. Dog med undtagelse af den mængde, som fordampes via urtevegetationen i anlægget og fra jordoverfladen samt fra overfladen af pilene (ikke transpiration).

Nedbøren i de enkelte måneder i 1999 og som 30-års-gennemsnit fremgår af tabel 7.2. Det ses, at der er meget stor forskel på nedbørsmængderne i 1999 i forhold til 30-års-gennemsnittet. I flere måneder i 1999 er nedbøren dobbelt så stor som normalt. Det gælder ikke mindst mængden af nedbør uden for pilenes vækstsæson (november-marts). Den er 220 mm, opgjort på baggrund af 30-års-gennemsnitsværdierne, og 410 mm på baggrund af månedsværdierne i 1999.

| 1999      | Nedbør<br>mm | Potentiel/aktuel<br>fordamning *<br>mm | Nettonedbør<br>mm | Nedbør<br>30-års-gennemsnit<br>mm |
|-----------|--------------|----------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Januar    | 101,93       | 4,79                                   | 97,14             | 45,5                              |
| Februar   | 62,68        | 11,74                                  | 50,89             | 30,0                              |
| Marts     | 80,83        | 26,94                                  | 53,89             | 35,5                              |
| April     | 39,23        | 78,09                                  | -30,86            | 37,5                              |
| Maj       | 63,74        | 94,31                                  | -30,57            | 40,0                              |
| Juni      | 92,19        | (92,03) *                              | 0,16              | 46,0                              |
| Juli      | 55,60        | (119,55) *                             | -63,95            | 61,0                              |
| August    | 115,46       | (97,28) *                              | 18,18             | 58,0                              |
| September | 54,49        | (57,78) *                              | -3,29             | 50,5                              |
| Oktober   | 76,01        | 24,4                                   | 51,6              | 48,0                              |
| November  | 23,25        | 6,21                                   | 17,04             | 59,0                              |
| December  | 141,45       | 6,7                                    | 134,74            | 50,0                              |
| Året      | 906,86       | 619,0                                  | 286,96            | 562                               |

**Tabel 7.2** Nedbør og fordamning i 1999 fra pileanlægget ved Pilehuset og 30-års-gennemsnittet. Tallene for 1999 er gennemsnit af data fra målestationer 20157 + 20158, DMI's gritnet. 30-års-gennemsnitsværdierne er gennemsnit af data fra DMI's klimastationer 31010 og 31270.

\* Den aktuelle fordamning skønnes at være næsten lig den potentielle (jfr. teksten nedenfor).

Den aktuelle fordamning i vintermånederne kan sættes lig den potentielle. I perioden oktober/november til marts forekommer der et stort nedbørsoverskud, og der tilledes tillige spildevand til anlægget. Rodzonen er således vandmættet. I sommermånederne vil den aktuelle fordamning ligeledes i princippet svare til den potentielle, hvis man ser bort fra pilene, på grund af det store overskud af vand i jorden i anlægget fra vinterhalvåret. Pilenes store transpiration bevirker imidlertid, at jordens magasin af vand stort set fjernes over sommeren, selv om porerne i jorden altid vil indeholde noget vand (typisk ca. 10% af volumen).

### 7.3 Pejlinger af vandstanden i anlægget

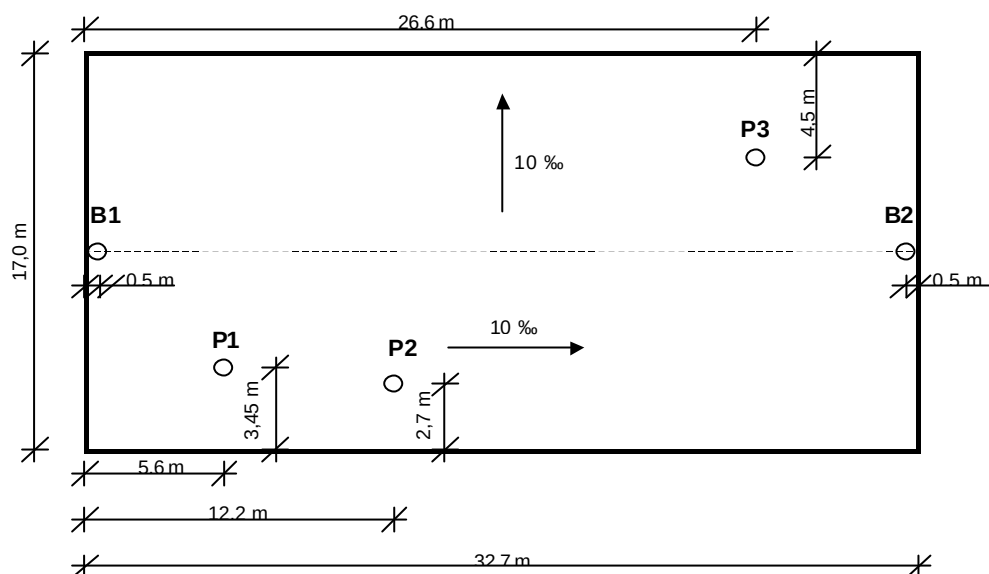
Pilenes fordampningsevne kan illustreres ud fra pejlinger af vandstanden i anlægget. Pejledata kan desuden bruges til kontrol af, om anlæggets vinterkapacitet er tilstrækkelig stor.

Institutionen foretog pejlinger i perioden juli 1992 til juni 1993. Der er ikke kendskab til pejlinger i perioden op til årsskiftet 1998/99, hvor pejlingerne er sat i system igen.

Pejlingerne i den førstnævnte periode er foretaget i spulebrønden ved fordelerrørets start. I projektperioden 1999-2000 er vandstanden tillige pejlet i spulebrønden for enden af fordelerrøret samt i 3 pejlerør i anlægget med henblik på at undersøge, om spildevandet fordeles sig jævnt ud i anlægget.

Placeringen af pejlebrønde og -rør fremgår af figur 7.1 og 7.2.

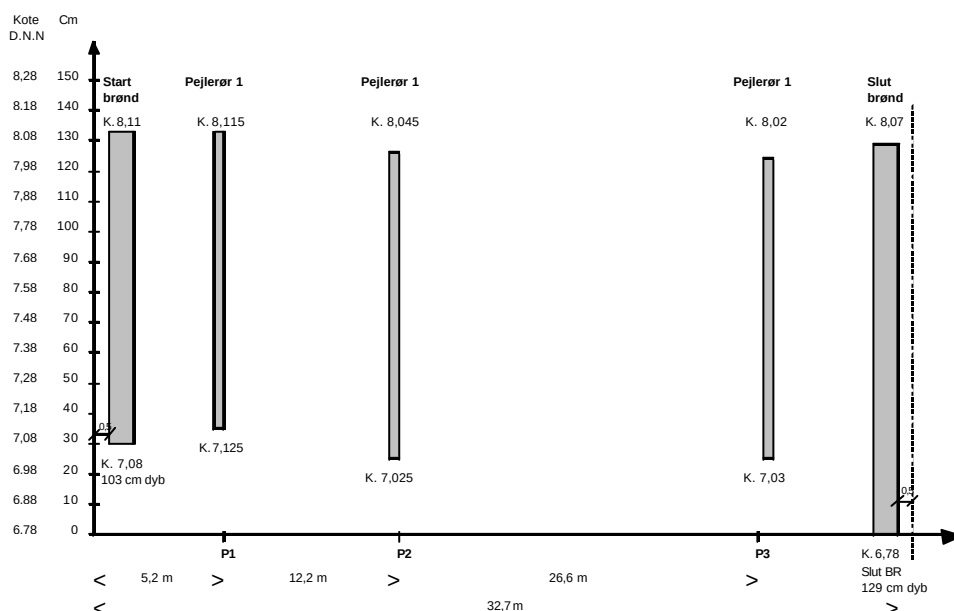
## Nedgravning af pejlerør



**Figur 7.1** Placeringen af pejlebrønde (spulebrønde) og pejlerør i pileanlægget ved Pilehuset, horisontalt snit.

Vandstanden er typisk pejlet hver 14. dag. I sommeren 1999, hvor vandstanden stod helt nede i bunden af anlægget, er der dog kun pejlet én gang pr. måned. I 2000 er vandstanden pejlet hver uge. Langt de fleste pejlinger er foretaget af institutionen selv (af den samme medarbejder). Amtet har tillige pejlet vandstanden, dels i spulebrøndene, dels i de specielle pejlerør i forbindelse med tilsyn med anlægget.

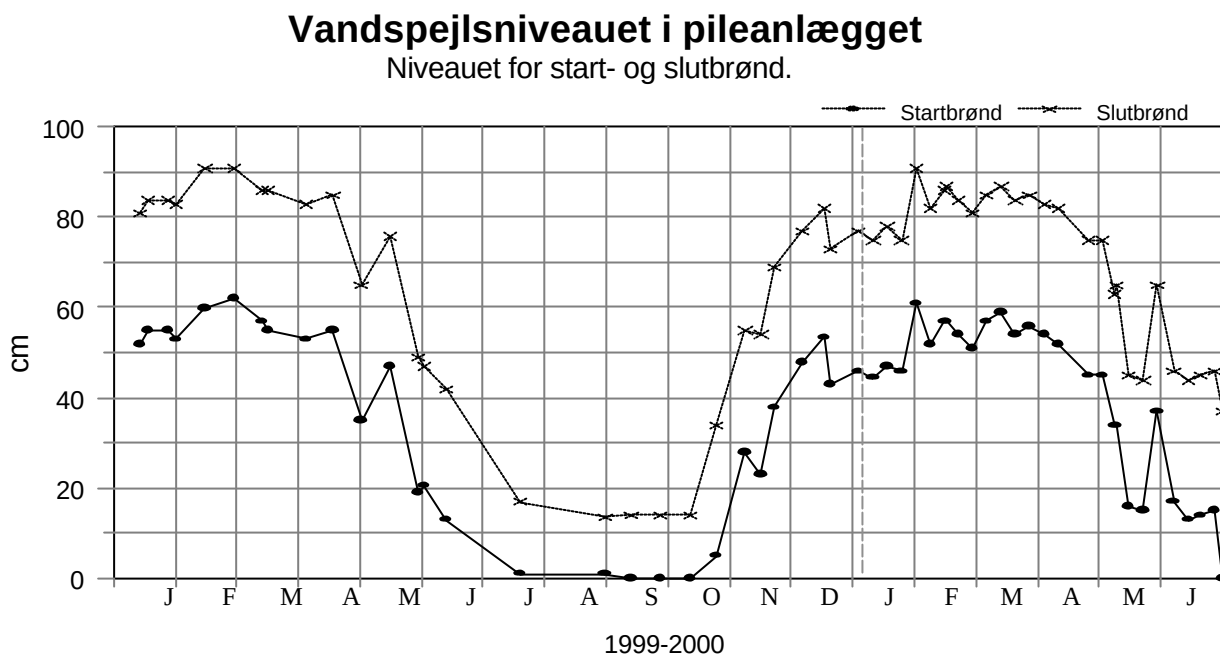
## Pejlebrønde og pejlerør i vertikalt snit



**Figur 7.2** Placeringen af pejlebrønde og pejlerør, vertikalt snit.

### 7.3.1 Vandstanden i anlægget fra januar 1999 til juni 2000

Resultatet af pejlingerne af vandstanden i de to brønde i perioden januar 1999 til og med juni 2000 er vist i figur 7.3.



**Figur 7.3** Vandspejlsniveauet i pileanlægget ved Pilehuset målt i centimeter over bunden i spulebrøndene.

Terrænoverfladen ved startbrønden er ca. 100 cm over fibertex-laget (brønddybde 103 cm).  
Terrænoverfladen ved slutbrønden er ca. 115 cm over fibertex-laget (brønddybde 129 cm).

Det ses, at vandstanden i anlægget øges markant i perioden oktober til december. Herefter sker vandstandsstigningen meget langsommere. Fra vækstsæsonens start, dvs. lige fra blomstringen medio marts, og især efter bladene springer ud i april, falder vandstanden meget hurtigt. Ved udgangen af juni er der kun vand i fordelerlaget under fibermembranen i den ende af anlægget, hvor spildevandet tilledes, og i sommeren 1999 har fordelerlaget endda næppe været vandfyldt. Vandet står lidt højere, dvs. op til 25 cm over fibertexlaget i den bagerste ende af anlægget (ved slutbrønden). Vandstanden har på intet tidspunkt været i nærheden af terrænoverfladen.

I startbrønden blev den højeste vandstand i vinteren 1998/99 registreret i februar-marts 1999. Den maksimale vandstand i startbrønden var på 62 cm den 1. marts 1999, dvs. 38 cm under terrænoverfladen. Den maksimale vandstand i 2000 var på 61 cm, og den blev registreret den 20. januar. Til sammenligning er vandstanden den 15. januar 2001 (efter projektperioden) registreret til 47 cm, dvs. lidt lavere end i det nedbørsrige 1999. Den maksimale vandstand i projektperioden var ca. 10-15 cm lavere end i vinteren 1992/93. Dette til trods for, at nedbøren i vinteren 1998/99 var væsentligt større end i 1992/93 (tabel 7.1). Den høje vandstand den første vinter skyldes formentlig, at pilene var unge, plantet i april 1992, så deres fordæmningsevne har i vinteren 1992/93 været ringere end nu.

I slutbrønden er den registrerede maksimale vandstand (vandsøjle) ca. 30 cm højere end i startbrønden. Dette er som forventet, eftersom hældningen gennem anlægget skulle være 10%, og afstanden mellem de to brønde er målt til 32 m. Koterne på vandspejlene i de 2



brønde er de samme (jfr. tabel 7.3 og figur 7.4). Differencen er mindre om sommeren (figur 7.3), idet vandstanden i den forreste del af anlægget ikke kan registreres lavere end svarende til niveauet af fibertexten. På grund af gravitation står der vand i den bagerste del af anlægget, jfr. tabel 7.3. Pilene kan ikke få fat i vandmængden under fibertexten, og dermed udnyttes pilens fordampningsevne ikke optimalt i den forreste del af anlægget.

Det giver umiddelbart anledning til undren, at vandstanden ikke øges mere i vintermånederne, hvor der falder megen nedbør, og hvor der konstant tilledes spildevand. Det samme mønster har Anneke Stubsgaard konstateret ved sin undersøgelse af andre pileanlæg i Danmark (2001). Dette kan bl.a. skyldes, at anlæggene først fyldes op omkring fordelerrøret. Først, når der er et vist vandtryk her, presses vandet ud i hele anlægget. Der opstår også en forsinkelse i systemet i og med, at den nedbør, der falder på anlægget, først bruges til at mætte jorden, før den bliver en del af vandspejlet. Inden da vil noget af den endvidere være fordampet igen.

En anden forklaring på fænomenet kan være, at lerpartiklerne i jorden måske kan binde en større vandmængde, end porevolumenet målt på tør jord indikerer. Dette tyder Anneke Stubsgaards undersøgelser af vandindholdet i jorden i forskellige pileanlæg på (2001). Det er naturligvis en forudsætning, at anlæggene ikke er utætte. Anlægget ved Pilehuset vurderes at være tæt (kapitel 5.5), hvilket også til dels bekræftes af, at vandstanden i januar 2001 er lavere end maksimum-vandstandene i 1998 og 1999.

### **7.3.2 Vandstanden i anlægget juli 1992 – juni 1993**

Beskrivelsen af vandstandsændringerne i anlæggets første år er foretaget på baggrund af en skitse tegnet af Amdi Hansen.

1. juli 1992 er der 0 cm vand i anlægget. Vi går ud fra at spildevandstilledningen blev startet i forbindelse med denne pejling.

Kurveforløbet svarer generelt til kurveforløbet fra projektperioden. Vandstanden øges markant gennem efteråret.

Lidt før midten af december 1992 viser pejligen en vandstand på 47 cm under terræn. Herefter falder vandstanden igen til et lokalt minimum på 60 cm under terræn 1. januar 1993. Det skal dog bemærkes, at husets beboere har været 14 dage på ferie i perioden.

I februar 1993 topper vandstanden ca. 30 cm under terrænoverfladen for derefter at falde.

I de første dage af marts 1993 falder vandstanden brat med 20 cm, og herefter er der meget små ændringer i resten af marts frem til slutningen af april.

Fra slutningen af april til afslutning af registrering midt juni 1993 er der et jævnt fald i vandspejlsniveauet, som slutter på ca. 5 cm.

### **7.3.3 Ændringer i vandspejlsniveauet over kort tid i løbet af året**

Vandspejlets niveau i anlægget, målt i spulebrøndene, ændres markant imellem 2 på hinanden følgende målinger flere gange i løbet af projektperioden (figur 7.3). Dette kan der ikke gives en entydig forklaring på.

I perioden 1992/93 blev sådanne spring registreret i oktober og november. I projektperioden ses det i april-maj og december 1999 samt i maj 2000.

I december måned er de fleste af husets beboere på ferie hos deres familier i 14 dage, hvilket næsten stopper tilledningen af spildevand. En begrænsning af tilledningen på 14 m<sup>3</sup> svarer til 20 mm vandsøjle og en ændring i vandspejlet på 4,5 cm (ved porevolumen på 32%). Der er imidlertid registreret ændring i vandspejlet på ca. 10 cm over en sådan 14-dages periode. Det

kan ikke udelukkes, at der kan ske en større fordæmning fra anlægget end umiddelbart forventet, hvis der kommer nogle dage med stærk sol og blæst, og at det er en del af forklaringen.

I april og maj 1999 er der i alt et nedbørsunderskud på 62 mm (tabel 7.2), og desuden springer pilen ud i april, hvilket fint begrundes det markante fald i vandstanden i anlægget. Det samme ses i april 2000. Men begge år stiger vandstanden igen, dels medio maj 1999 og dels i slutningen af maj 2000.

Det er en vigtig faktor, at vandspejlets niveau registreres som øjebliks aflæsninger. Der kan formentlig ske mindre stuvninger i og omkring fordelerrøret og brøndene herpå i forbindelse med, at der inden for kort tid bruges meget vand i huset til vask, bad og rengøring. Dertil kommer diverse forsinkelser i fordelingen af vandet i anlægget som beskrevet i afsnit 7.3.

#### 7.3.4 Vandets fordeling i anlægget

Vandspejlets niveau under terræn, målt dels i spulebrøndene, dels i pejlerørene, fremgår af tabel 7.3 og figur 7.4. Det ses, at vandet fordeles jævnt i hele anlægget. Når der ses bort fra registreringerne i efteråret, er de relative koter stort set ens i alle målepunkter. Vandspejlet i pejlerør 3 står nogle centimeter lavere end i de øvrige rør og brønde i maj og juni 2000. Det kan skyldes, at røret er placeret i den del af anlægget, hvor pilene på registreringstidspunktet var ældst (4-årige) og dermed mest vandforbrugende.

| Dato     | Startbrønd<br>cm | Slutbrønd<br>Cm | Pejlerør 1<br>cm | Pejlerør 2<br>cm | Pejlerør 3<br>cm |
|----------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 31.08.99 | Tør              | 13,5            | Tør              | Tør              | Fugtig           |
| 16.11.99 | 53               | 54              | 46,5             | 41,5             | 42               |
| 17.12.00 | 83,5             | 82              | 84               | 83,5             | 84,5             |
| 10.01.00 | 74,5             | 75              | 76               | 78,5             | 74,5             |
| 15.02.00 | 87               | 87              | 88               | 89,5             | 88,5             |
| 09.05.00 | 64               | 65              | 64               | 64,5             | 61,5             |
| 30.06.00 | Tør              | 37              | 36,5             | 39,5             | 32,5             |

**Tabel 7.3** Vandspejlsniveauet under terræn i spulebrønde og pejlerør angivet som relative koteværdier. Bundkoten for slutbrønden (678 cm) er sat til 0.

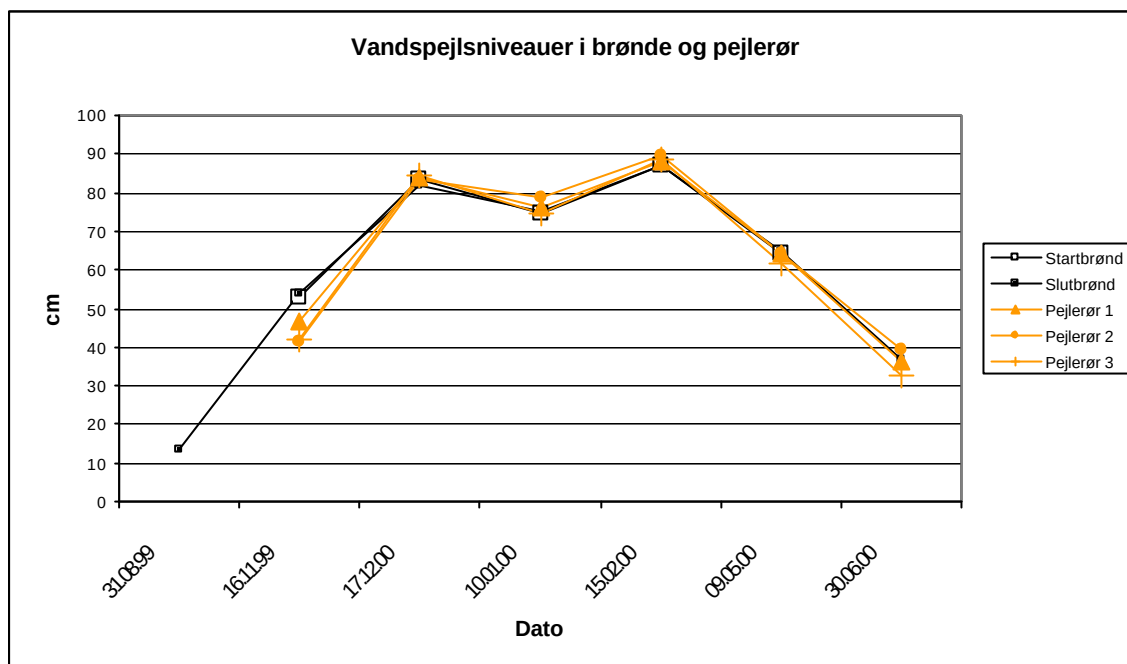
Der er tilsyneladende en forsinkelse i vandets fordeling i anlægget om efteråret. Dette fremgår også af tabel 7.4 og figur 7.5, som viser ændringerne i vandspejlsniveauerne fra én aflæsningsdato til en anden, dels for start- og slutbrøndene, dels målt i pejlerørene.

| Dato/interval     | Startbrønd<br>cm | Pejlerør 1<br>Cm | Pejlerør 2<br>cm | Pejlerør 3<br>cm | Slutbrønd<br>cm |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 31.08.-16.11.99   | 23,0             | 12,0             | 17,0             | 17,0             | 40,5            |
| 16.11.-17.12.99   | 30,5             | 37,5             | 42,0             | 42,5             | 28              |
| 17.12.99-10.01.00 | -9,0             | -8,0             | -7,0             | -10              | -7              |
| 10.01.-15.02.00   | 12,5             | 12,0             | 13,0             | 13,0             | 12,0            |
| 15.02.-09.05.00   | -23              | -24,0            | -25,0            | -27,0            | -22             |
| 09.05.-30.06.00   | -34              | -27,0            | -25,0            | -29,0            | -28             |

**Tabel 7.4** Vandspejlsændringerne i spulebrønde og pejlerør.

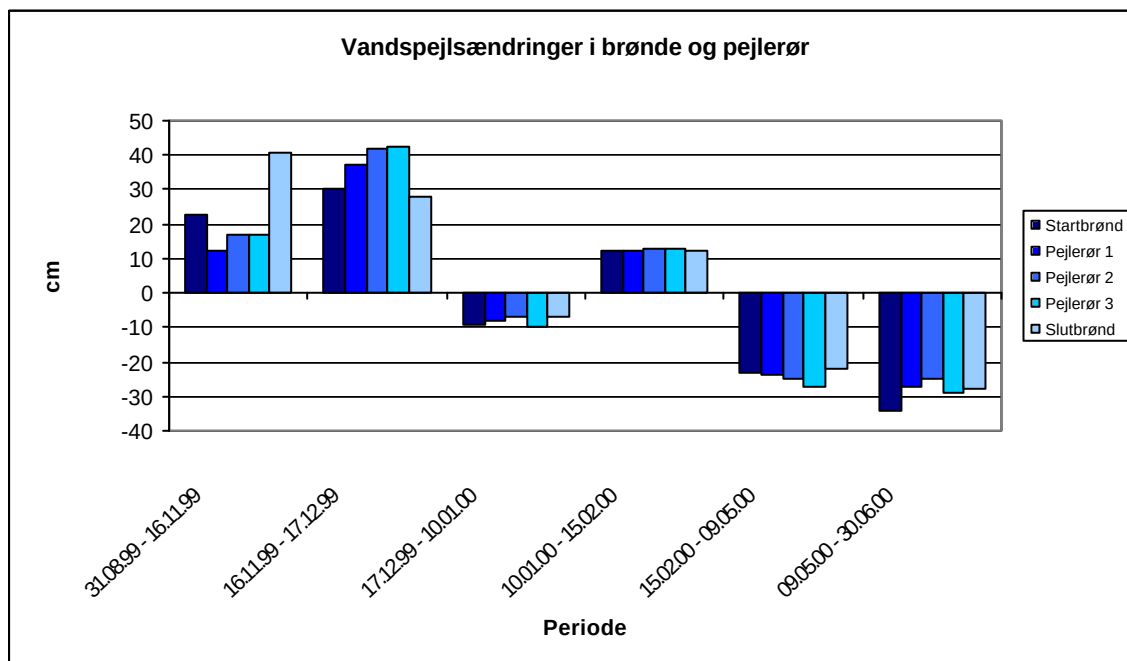
Det ses, at ændringen i niveau fra aflæsning til aflæsning er den samme i alle brønde og rør fra 17. december 1999 til den 9. maj 2000. I første periode, 31. august 1999 til 16. november 1999 er niveauet ekstra højt i slutbrønden, men væsentlig lavere i pejlerørene, som om vandet stuvet omkring fordelerrøret. I løbet af den følgende periode frem til 17. december 1999 stiger vandspejlet relativt mere i pejlerørene end i startbrønden. Ved pejling af vandstanden i start- og slutbrønden om efteråret vurderes den generelle vandstand i anlægget

således for højt. I forsommeren (9. maj til 30. juni 2000) falder vandspejlet tilsyneladende lidt hurtigere i startbrønden end i pejlerørene og i slutbrønden. Noget tyder på, at pilene lettere kan fjerne (transpirere) de tilledte vandmængder om foråret, hvor jorden i anlægget er fugtig, end først på efteråret, hvor den er tør. Transpirationen er muligvis også større om foråret, hvor pilene er i kraftig vækst, end om efteråret.



**Figur 7.4** Pejlede vandstands-niveauer i perioden 31.august 1999 til 30. juni 2000.

Vandstandene er relative i forhold til bundkoten for slutbrønden. Koten for slutbrønden er 6,78 meter i forhold til DNN.



**Figur 7.5** Vandspejlsændringer i forskellige perioder.

## 8 Anlæggets fordampning og kapacitet

### 8.1 Anlæggets fordampningsevne

Anlæggets fordampningsevne er beregnet ud fra de tilførte vandmængder i form af nedbør og spildevand. Nedbørsmængden er, som tidligere beskrevet, ikke registreret lige på lokaliteten. Vi kender ikke den eventuelle afvigelse mellem nedbøren ved klimastationer og den aktuelle over anlægget. Der er desuden ikke set på solskinstimer, temperatur samt vindforhold, der også er af stor betydning for fordampningen. Beregningen er således behæftet med nogen usikkerhed, men vurderes at give et rimeligt skøn over anlæggets fordampningsevne.

Anlægget har kunnet fordampe de tilførte vandmængder i projektperioden og ifølge institutionens oplysninger har det været tilfældet siden anlæggets etablering i 1991/92.

#### Fordampningsevnen vurderet ud fra data fra 1992-1996

Der foreligger data for anlæggets hydrauliske belastning for perioden 1. juli 1992 til 31. december 1996. Det vurderes imidlertid at være bedre at beregne fordampningsevnen ud fra en 4-års periode fra opstarten 1. juli 1992 til 30. juni 1996. Vandstanden må da antages at have været lav på begge skæringsdatoer, således at den fordampede vandmængde er lig den tilledte vandmængde i perioden.

Anlægget skulle i perioden fra 1. juli 1992 til 30. juni 1996 have modtaget ca. 1.460 m<sup>3</sup> spildevand og 3.140,1 mm nedbør (tabel 7.2-1), svarende til 2.220 m<sup>3</sup> nedbør (ved et areal på 707 m<sup>2</sup>), i alt 3.680 m<sup>3</sup> over 4 år. Det svarer gennemsnitligt pr. år til 365 m<sup>3</sup> spildevand (0,52 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) og 555 m<sup>3</sup> nedbør (0,79 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).

Den gennemsnitlige årlige fordampning fra anlægget med de givne usikkerheder bliver da 920 m<sup>3</sup>, svarende til ca. 1.301 mm. Der er ikke her taget hensyn til vand i anlægget på opgørelsestidspunktet.

Der er tale om et tal for den totale fordampning bestående af såvel evaporation fra jordoverfladen i anlægget og transpiration gennem bladene.

#### Fordampningsevnen vurderet med 1999 som beregningsgrundlag

Ud fra data for nedbør og vandforbrug i 1999 kan anlæggets fordampningsevne beregnes til følgende:

Mængden af spildevand: 325 m<sup>3</sup>, svarende til 0,46 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Nedbør: 907 mm, svarende til 641 m<sup>3</sup> (0,91 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).

I alt er der tilledt 966 m<sup>3</sup>, svarende til, at fordampningen har været 1.366 mm.

#### Anlæggets fordampningsevne

Der er ikke stor forskel på de fordampningstal, som kan beregnes ud fra de to tidsperioder. Men alt i alt må fordampningen anses for at være meget høj. Ved de jyske anlæg målt dog allerede i etableringsåret fra 900 mm til 1.200 mm (Peder Gregersen, personlig med-delelse). Anneke Stubsgaard har desuden beregnet fordampningstal på op til 1.600 mm for de anlæg, hun har undersøgt (2001).

Til at understøtte de store fordampningstal kan nævnes, at der for to bassiner på hver 100 m<sup>2</sup>, tilplantet med tagrør, i et slammineraliseringsanlæg ved Regnstrup i Jernløse Kommune

beregnedes en fordampning fra det ene på 1.650 mm i perioden 12. februar 1990 til 8. oktober 1990 og på 1.700 mm for det andet i perioden 12. februar 1990 til 21. november 1990 (Miljøstyrelsen, Spildevandsforskning, 1992/38).

At fordampningen kan blive så stor kan skyldes, at der konstant er rigeligt med vand til pile-  
ne, da der konstant er vand i anlægget. Anlæggets lille udstrækning i forhold til energisko-  
ve er desuden så lille, at der er tale om en stor randeffekt, en slags oaseeffekt.

## 8.2 Anlæggets kapacitet

Pileanlæggets kapacitet skal opfattes som den vandmænde, der kan opbevares i anlægget i  
vintermånederne, hvor pilene ikke er løvbærende, og hvor der derfor kun er en minimal  
fordampning fra anlægget.

Anlæggets teoretiske kapacitet kan beregnes som anlæggets rumfang inden for plastmem-  
branen gange porevolumen.

Den teoretiske kapacitet for anlægget ved Pilehuset bliver da  $765 \text{ m}^3 \times 32/100 = 245 \text{ m}^3$ . I  
rumfanget er medregnet halvdelen af volumenet under fibertekstilen.

Hvis jordens vandindhold kan være på 50% som tidligere beskrevet, vil lagerkapaciteten  
udgøre  $383 \text{ m}^3$ .

Den nødvendige/dimensioneringsgivende kapacitet kan desuden beregnes ud fra den vand-  
mængde, som tilledes anlægget i de måneder, pilen ikke er løvbærende.

Pilene blomstrede i 2000 i marts måned, og bladene sprang ud i april. Afhængigt af efter-  
årsvejret tabes bladene i løbet af november måned. I 2000 bevarede bladene dog helt hen i  
december. Der skal således opbevares tilledt vand i ca 5 måneder, fra november måned til  
og med marts.

På denne baggrund kan den nødvendige lagerkapacitet beregnes således:

|                                                                                |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 5 måneders spildevand udgør                                                    | 136 m <sup>3</sup>         |
| Nedbør november-marts (30-års-gennemsnit) 220 mm, svarende til<br>(tabel 7.2). | <u>156 m<sup>3</sup></u>   |
| I alt                                                                          | <u>292 m<sup>3</sup></u> . |

Med fradrag af den potentielle fordampning i perioden på  $39 \text{ m}^3$  bliver mængden, som skal  
opbevares, i alt på  $253 \text{ m}^3$ .

Det ses, at den nødvendige lagerkapacitet svarer nogenlunde til den teoretisk beregnede ka-  
pacitet, beregnet ud fra et porevolumen på 32%. Derimod er der overskud af kapacitet, hvis  
der regnes med, at jordens vandindhold kan udgøre 50%.

Beregnes den nødvendige lagerkapacitet på baggrund af 1999-data, bliver denne  $364 \text{ m}^3$ . Der  
er dog den usikkerhed på beregningen, at dataene følger kalenderåret og ikke vækst-  
sæsonen. Nedbøren i vinteren 1999/2000 har været større end gennemsnitsnedbøren for den  
30-årige periode. Det vil sige, at der teoretisk skulle opbevares mere vand i anlægget, end det  
kan rumme.

Imidlertid konstateredes det, at vandstanden i pileanlægget ikke kom højere op end 40 cm  
under terrænoverfladen. Dette indikerer, at enten er fordampningen fra anlægget større om  
vinteren end forudsat, eller anlæggets kapacitet et større end forudsat. Fordampningen er  
eventuelt større end tallene for den potentielle, hvis der er perioder med stor solinstråling og  
stærk vind. Det kan også tænkes, at noget af den nedbør, som falder på piletræerne,

fordamper, inden den når jorden. Endelig er de 5 måneder nok lidt højt sat. Pilene kan bære blade langt ind i november og bærer "gæslinge" allerede i marts.

På den baggrund kan det diskuteres, om lagerkapaciteten så eventuelt kan være mindre end 5 måneder. Dog skal der være en vis bufferkapacitet til særligt nedbørsrige år; og desuden er fordampningsevnen ikke nødvendigvis tilstrækkelig den første sæson. Sidstnævnte forhold kan der eventuelt kompenseres for ved ikke at belaste anlægget fuldt ud i første sæson.

Altafgørende for pileanlægs fordampningsevne de første år er, at de etableres om foråret og friholdes for ukrudt for at sikre en effektiv vækst af pilene fra starten (Danfors, B., m.fl., 1998).



## 9 Pilekulturens tilstand og vækst

Det blev på anbefaling valgt at anvende to forskellige kloner af *Salix Viminalis* i anlægget (78-082 og 78-195) for at sikre en så lang vækstsæson som muligt. Pilene blev alle plantet i april 1992 (afsnit 4.5). Det bemærkes, at det drejer sig om kloner, som ikke er forædlede og som forventes at have en lavere biomassetilvækst end senere forædlede kloner. Forædlingsprogrammet hos Svalöf Weibull beskrives kort i afsnit 9.2.

### 9.1 Iagttagelser af pilebeplantningens tilstand og vækst

Pilebeplantningen i anlægget fremstod generelt sund og robust. Bladene var friske og grønne og viste ingen tegn på mangelsygdomme eller andre sygdomme. Ved tilsyn i juni 2000 stod skuddene i det areal, som var høstet i februar samme år, tætte og bladfyldte og var godt 2 meter høje (bilag 3, figur 2). Pil plantes da også både i slam og i forurennet jord og regnes for at være meget robuste planter.

I forbindelse med og efter høsten i februar 2000 konstateredes det, at nogle af stubbene i det høstede område var angrebet af svamp (knap 5% af planterne) og andre 8-10% af pilene var gået ud. Det vurderes, at dette skyldes en lidt hårdhændet høstprocedure (afsnit 5.6). Nogle steder stod pilene imidlertid meget tæt. Det, at enkelte pile var gået ud, gav tilsyneladende en bedre vækst hos de resterende pile. I et område nær tilløbsbrønden, hvor pilene var gået ud på et 5-6 m<sup>2</sup> stort areal, blev der plantet nye stiklinger. De fleste af disse viste sig ved sommertid at være i god vækst, men det kneb for enkelte planter at klare sig i forhold til den kraftige vækst af ukrudt (afsnit 5.6).

### 9.2 Forædling af kloner

Et forædlingsprogram blev startet i 1987 hos Svalöf Weibull AB (SW) i Sverige. Her genereres årligt ca. 15.000 nye kloner, hvoraf der udvælges ca. 700 stk. til videre væksts-forsøg ud fra kriterier som resistens mod svampesygdomme, insekter, frost og generel vitalitet. Ca. 70 udvælges til markforsøg og af dem senere ca. 10 til markforsøg med registrering af produktion. Udvalgelsesprocessen tager i alt 10 år, og der frigives årligt 1-2 kloner til salg.

*Salix Viminalis* 78-195, der er anvendt i anlægget ved Pilehuset, er en af forældreklonerne til de forædlede kloner Orm og Rapp.

I 1994 blev Jorr og Jorunn givet fri. For tiden benyttes i energiskove højtydende kloner som Bjørn og Tora. Jorr er også en meget anvendt klon. Den anses ikke for at være så produktiv som Bjørn og Tora under optimale betingelser, men er bedre til at klare tørre perioder.

Nye, forventet højtydende, kloner er på vej. Svern og Torild ventes til foråret 2001 og Oluf i 2002.

Stig Larsson vurderer, at Tora og Bjørn under optimale betingelser bør kunne give en mertranspiration på 40-50% i forhold til *Salix Viminalis* 78-082, som er plantet i Pilehusets anlæg (personlig meddelelse, Stig Larsson, SW, 2000). Drusilla Riddell-Black vurderer for et tilsvarende scenarie, at den totale fordampning burde kunne stige med 20-30% (personlig meddelelse, 2000).

I Growers Manual (Danfors B., m.fl. 1998) er det anført, at 8 forædlede kloner, som var på markedet på det tidspunkt, giver en biomasseproduktion, der er 10-35% større end de indtil da ikke-forædlede kloner, f.eks. klonerne i anlægget ved Pilehuset, har kunnet præstere.



### 9.3 Høstens størrelse/måling af pileproduktionen

Pileproduktionen opgøres normalt i tons tørstof pr. ha pr. år. Produktionen i forskellige kulturer varierer meget, og en række faktorer kan spille ind, f.eks.:

1. Ukrudtsbekæmpelse i etableringsåret og i året efter høst.
2. Jordbundstype.
3. Klon.
4. Alder (skud/rod).
5. Planter pr. ha.
6. Tilgang til vand i vækstperioden.
7. Tilgang til næringsstoffer i vækstperioden.
8. Temperatur.
9. Solindstråling.
10. Vind.

Produktionen kan f.eks. opgøres for et antal enkeltstubbe, en defineret del af det samlede areal eller totalproduktionen på det samlede areal.

#### 9.3.1 Første høst januar 1993/produktion i 1992

På et areal på 130 m<sup>2</sup> (16,50 x 7,90 m) blev der høstet 103 kg friskvægt af 1-årige skud på 1-årige rødder. Da det gennemsnitlige tørstofindhold blev bestemt til 47,50%, er der produceret 3,8 tons t/ha. Idet der er taget højde for den store ydre rand, hvilket erfaringsmæssigt giver en større produktion, skønnes produktionen i midten at have været ca. 3 tons/ha/år. Det skønnes at være et rigtig godt resultat i et etableringsår. Til grund herfor lægges, at man på dette tidspunkt i en almindelig pileplantage regnede med 1-2 tons/ha/år (brev af 4. februar 1993 fra Keld Hauge Nielsen til Amdi Hansen).

Til sammenligning er der lavet målinger for produktionen på nogle anlæg, der er etableret i Jylland i 1997. Baseret på måling af stokke på et lille areal fandt man ved høst af 1-årige skud på 1-årige rødder for Jorr en tørstofproduktion på 0,33516 kg/m<sup>2</sup> ~ 3,35 t/ha, for Tora 0,47689 kg/m<sup>2</sup> ~ 4,77 t/ha og for Björn 0,52717 kg/m<sup>2</sup> ~ 5,27 t/ha. (personlig meddelelse, Peder Gregersen). Disse produktionstal er højere, end hvad man opnåede i anlægget ved Pilehuset. Det er også hvad man kan forvente, da Jorr og Björn er forædlede kloner.

Der er desuden nogle målinger fra de jyske anlæg baseret på vejning af 1-årige skud på 2-årige rødder. Fra en del af arealet, der udgjorde produktionen i 1998, har Jorr givet en tørstofproduktion på ca. 12 t/ha, Björn ca. 10 t/ha. (Peder Gregersen: Personlig meddelelse). Man kan ikke forvente, at Jorr giver en større produktion end Björn, men det kan skyldes ukrudt i bedet med Björn, eller at vækstbetingelserne på anden vis har været forskellige.

#### 9.3.2 Tredje høst i 1995/produktion i 1994

Der foreligger ikke noget om høsten af produktionen i 1993 af 2-årige skud på 2-årige rødder. Men i en artikel af Morsing m.fl. (1995) er der et tal for produktionen i 1994 i Pilehusets anlæg, dvs. pil høstet i 1995.

Produktionen er opgjørt ved metoden, der er baseret på vægten af enkeltstubbe. Der er her brugt 30 stubbe til at vurdere vægten og 6 stubbe til at vurdere tørstofindholdet.

Produktionen er opgjørt for klonen 78- 195. Målingerne er foretaget på 3-årige skud på 3-årige rødder. Antal planter er opgivet til 43.490 stk./ha +/- 900. Stubfriskvægten er 1370 g +/- 270. Tørstofindholdet er opgjørt til 54,8 % +/- 1,4.

På dette grundlag opgøres tørstofproduktionen i 1994 til 14,4 t/ha +/- 4,5. Der er tale om den gennemsnitlige årlige tilvækst i sæsonerne 1992-1993-1994, hvor 1992 er etablerings-året.

### 9.3.3 Ottende høst i 2000/produktion i 1999

Der er høstet efter planen i alle årene, og ifølge institutionen har høsten været god. Desværre er der ikke lavet målinger på produktionen, bortset fra efter første og tredje høst, før den igen er målt i forbindelse med dette projekt.

Vedproduktionen over jorden (dvs. uden rødder og blade) er bestemt ved at veje pilene fra et areal på 80 m<sup>2</sup>. Det er knap halvdelen af det areal, som blev høstet dette år. En fjerdedel af pilebedet blev høstet, dvs. der var tale om 4-årige skud. Tørstofprocenten blev ud fra prøver af veddet bestemt til 42,3. Denne tørstofprocent er lavere end ved tidligere bestemmelser.

Produktionen i disse 4-årige skud er beregnet til 34,12 t/ha, hvilket svarer til 8,5 t/ha/år. Dette må under hensyntagen til den målte tørstofprocent betragtes som et minimumstal.

I artiklen, nævnt i afsnit 9.3.2, af Morsing m.fl. (1995) sammenfatter man bl.a. produktionsresultater fra 50 pilekulturer i Danmark fra vækstårene 1989 til 1994. Man har opgjort, at pilekulturerne i gennemsnit har produceret 7,5 t tørstof pr. ha årligt. Gennemsnittet dækker over en variation i den årlige løbende produktion fra 1,8 til 22,6 t pr. ha. Den gennemsnitlige rodalder er her 3,9 år.

I årsrapporten (Larsson, 2001) over FAIR-projektet (BWCW) er der resultater af produktionsmålinger i pilekulturer. Tørstofproduktionen er målt på 3 arealer i 400 m<sup>2</sup> tilplantet med pilekulturen Jorr (2-årige skud på 3-årige rødder). Arealerne har været moderat gødet:

I 1999 med 54 kg N/ha, 2 kg P/ha, 18 kg K/ha  
og  
i 2000 med 80 kg N/ha, 3 kg P/ha, 28 kg K/ha.

Produktionen blev for de 3 arealer bestemt til henholdsvis 8,7 t/ha, 17,5 t/ha og 13,5 t/ha, svarende til 13,2 t/ha i gennemsnit. Det vil sige, at den gennemsnitlige produktion her er større, end hvad Morsing fandt, selv om der ikke er tale om den mest produktive klon af de forædlede kloner. Pilekulturers vækstpotentiale og dermed også deres "fordampningspotentiale" er større end det, vi ser i Marjatta.



## 10 Omsætning af næringsstoffer

### 10.1 Jordbundsundersøgelser

Der er lavet en jordbundsundersøgelse i 1988 på det areal, der anvendtes til pileanlæg i 1992, og igen i 1995, hvor anlægget havde fungeret i ca. 3 år. Der er målt reaktionstal samt fosforsyre-, kalium- og magnesiumtal på prøverne. Resultaterne fremgår af tabel 10.1-1. Reaktionstallet (Rt) er et mål for jordens surhedsgrad og går efter skalaen 0-14, hvor 7 er udtryk for, at jorden har en neutral reaktion. Reaktionstallet har indflydelse på plantenæringsstofferne tilgængelighed. Tilgængeligheden af kvælstof, kalium er således størst, når Rt er større end 6,5, og af fosfor, når Rt er mellem 6,5 og 7,5 (Norsk Hydro, 1995).

Fosforsyre-, kalium- og magnesiumtal er et udtryk for jordens indhold af tilgængelige plantenæringsstoffer. I landbruget tilstræbes analysetallene at ligge i et middelhøjt område. Disse værdier fremgår af tabel 10.1. (Norsk Hydro, 1995).

|                                | 1988 | 1995 | Middelhøjt niveau*       |
|--------------------------------|------|------|--------------------------|
| PH                             | 7,5  | 7,3  |                          |
| Fosforsyretal<br>mg/100 g jord | 1,9  | 1,9  | 5-8<br>2-4 for fosfortal |
| Kaliumtal<br>mg/100 g jord     | 9,5  | 7,0  | 7-10                     |
| Magnesiumtal<br>mg/100 g jord  | 2,6  | 7,7  | 4-8                      |

**Tabel 10.1** Resultater af jordbundsundersøgelser i 1988 og 1995.

\* (Norsk Hydro, 1995).

Bortset fra fosforsyretallet, som er relativt lavt, er de øvrige værdier på et optimalt niveau. På det foreliggende grundlag kan det ikke vurderes, om indholdet af magnesium i jorden er øget fra 1988 til 1995, eller om differencen skyldes, at prøverne ikke med sikkerhed er sammenlignelige, idet jorden har været omflyttet mellem de to prøvetagninger.

I projektperioden er jorden i pilebedet endvidere analyseret for indhold af næringsstoffer, dels i forbindelse med teksturanalysen (data i tabel 10.2), dels i forbindelse med analyse-ingen af indholdet af miljøfremmede stoffer (data i tabel 10.3).

|                             | Dybde<br>i anlæg<br>15 cm | Dybde<br>i anlæg<br>30 cm | Dybde<br>i anlæg<br>45 cm | Dybde<br>i anlæg<br>60 cm | Dybde<br>i anlæg<br>75 cm | Dybde<br>i anlæg<br>90 cm |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Fosfortal<br>mg/100 g jord  | 1,9                       | 1,3                       | 1,0                       | 0,9                       | 0,8                       | 0,8                       |
| Kaliumtal<br>mg/100 g jord  | 10,7                      | 7,1                       | 9,1                       | 7,2                       | 6,9                       | 8,0                       |
| Total-fosfor<br>ppm (mg/kg) | 518                       | 423-428                   | 346-350                   | 354-370                   | 338-349                   | 310-321                   |

**Tabel 10.2** Jordens indhold af næringsstoffer i pileanlægget (puljede prøver fra 3 jordprofiler udtaget 30. juni 1999).

Værdierne i tabel 10.2 svarer generelt til værdierne i tabel 10.1. Det fremgår dog, at indholdet af næringsstoffer er størst i det øverste muldrag.

|                            | Jorddybde<br>45 cm under terræn | Jorddybde<br>75 cm under terræn | Havejord<br>55 cm under terræn |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Total-kvælstof<br>mg/kg TS | 400                             | 400                             | 700                            |
| Total-fosfor<br>mg/kg TS   | 400                             | 400                             | 250                            |

**Tabel 10.3** Jordens indhold af kvælstof og fosfor i pileanlægget og den tilstødende havejord.  
(6 puljede prøver fra hver dybde).

Resultaterne i tabel 10.3 viser et lidt højere indhold af fosfor end i tabel 10.2. Prøverne er ikke analyseret på samme laboratorium. Pileanlægget er anlagt i den samme jord som den tilstødende have. Resultaterne tyder på, at mængden af fosfor i pileanlægget er øget, og mængden af kvælstof er blevet mindre. Det kan dog ikke bevises, at indholdet i pileanlægget, da det blev etableret i 1992, rent faktisk har været som indholdet i havejorden i dag. Mere om ændringen af stofindholdet i pilebedet i afsnit 10.5.

## 10.2 Tilførsel af næringsstoffer til anlægget

Anlægget modtager alt spildevand fra hustanden. Stoftilførslen til anlægget er bestemt ud fra analyser af prøver udtaget fra tilløbet til pileanlægget, dvs. efter den mekaniske rensning i septic- og efterklaringsbrønden. Der er udtaget daglige øjebliksprøver over en uge (22.-28. november 1999). Resultaterne heraf fremgår af tabel 10.4.

|                        | Temperatur | PH   | COD   | BI <sub>5</sub> | Tot-N | NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> -N | Tot-P | Kalium | Suspenderet stof |
|------------------------|------------|------|-------|-----------------|-------|-------------------------------------|-------|--------|------------------|
| Gennemsnit<br>mg/l     | 15,4       | 7,0  | 331   | 134             | 112   | 109                                 | 21    | 41     | 70*              |
| Standard-<br>afvigelse | 0,5        | 0,16 | 58,1  | 39,2            | 15,6  | 6,9                                 | 1,5   | 1,9    | -                |
| Tilledning<br>g/døgn   |            |      | 294,6 | 118,8           | 99,1  | 97,3                                | 18,3  | 36,4   | 62,2*            |
| Tilledning<br>kg/år    |            |      | 107,5 | 43,3            | 36,2  | 35,5                                | 6,7   | 13,3   | 22,6*            |

**Tabel 10.4** Stoftilførslen til pileanlægget.

\*En prøve udtaget den 30. oktober 2000.

Spildevandets indhold af COD og BI<sub>5</sub> svarer til indholdet i lavt/moderat urensset spildevand (Den Kommune Højskole, "Håndbog i drift af renseanlæg", udateret) og svarer nogenlunde til resultater af tidligere målinger på enkelttanke (Miljøstyrelsen, Spildevandsforskning, 16/1994). Koncentrationen af kvælstof, herunder af ammonium/ammoniak, er til gengæld meget højt og svarer til højt belastet urensset spildevand (Den Kommune Højskole), hvilket kan skyldes beboernes lave vandforbrug, samt at der er omsat noget af det organiske stof i hustanken og efterklaringstanken. Indholdet af suspenderet stof svarer til indholdet i rensset spildevand fra mekaniske fællesanlæg i Storstrøms Amt (Storstrøms Amt, 1999).

Beregnet ud fra anlæggets areal inden for geomembranen på 707 m<sup>2</sup> tilføres anlægget således:

512 kg N/ha/år  
95 kg P/ha/år  
188 kg K/ha/år

NPK-forholdet er da som 100:19:37.

### 10.3 Optagelse af næringsstoffer i pil

K. Hasselgreen fandt i et feltforsøg med forædlede kloner et NPK-forhold på 100:20:50 i 3-årige stammer på 4-årige rødder. Væksten var 4-12 tons TS/ha/år ved tilførsel af ca. 1.000 mm spildevand pr. sæson (Hasselgren sept. 1998). NPK-forholdet i det tillædte spildevand, som fremgår af afsnittet ovenfor, svarer således nogenlunde til optagelsen i veddet i feltforsøget. Det optimale NPK-forhold for gødskning af pil anses for at være 100:14:72 (Aronsson, personlig medd. 2001).

Det vurderes af Perttu, K. og Kowalik, P.J. (1989), at der skal tilføres ca. 120 kg N pr. ha til pileplantager for at muliggøre en potentiel årlig produktion på 20 metriske tons TS/ha/år. Pile optager kun en vis procentdel af de tilførte næringsstoffer, svarende til en vækstbetinget grænse for, hvad de kan udnytte (Riddell-Black, Drusila, 1994).

Pileanlægget tilføres således langt mere næringsstof, end der er behov for for at give en produktion på knap 10 tons TS pr. ha.

### 10.4 Fjernelse af næringsstoffer ved høst

Det fremgår af tallene nedenfor, at det kun er en mindre del af de næringsstoffer, der optages, som bindes i veddet, og som dermed kan fjernes ved høst. Størsteparten bindes i bladene.

H. Obarska-Pempkowiak (1994) fandt således følgende koncentrationer i procent af biomassen for *Salix viminalis*:

|        | <b>Kvælstof</b><br>% | <b>Fosfor</b><br>% |
|--------|----------------------|--------------------|
| Blade  | 3,46                 | 0,41               |
| Ved    | 0,40                 | 0,11               |
| Rødder | 0,93                 | 0,12               |

Ifølge disse tal er indholdet af kvælstof 8 gange så højt i bladene som i veddet, og indholdet af fosfor er 4 gange så højt.

Riddell-Black (1994) fandt følgende kvælstofkoncentrationer i ved og blade i relation til TS:

|       | <b>Kvælstof</b><br>% |
|-------|----------------------|
| Ved   | 0,3                  |
| Blade | 3,5                  |

Det vil sige et kvælstofindhold i bladene, som er 11 gange så højt som indholdet i veddet.

En del af de næringsstoffer, der er bundet i pileveddet og i bladene, fjernes fra anlægget ved høst. Ved høst, efter at bladene er visnet, vil en del af de næringsstoffer, som har været i bladene, dog være transporteret tilbage til veddet. De visne blade blæser generelt ud af anlægget. Der er i projektet ikke foretaget analyser af næringsstofindholdet i pilene. Vurderingen af, hvad der fjernes ved høst, er derfor baseret på andre undersøgelser.

Ifølge ovenstående fjernes der kun ca. 3 kg N pr. tons TS høstet ved. Koncentrationen af kvælstof er 10 gange højere i bladene end i veddet. Der kan derfor fjernes mere N ved at høste pilene med blade på, eller hvis bladene blæser ud af anlægget eller fjernes. Når de af sig selv blæser ud af anlægget, er der dog trukket næring tilbage til stammer og rødder. Spørgsmålet er, om det er nødvendigt at fjerne de overskydende næringsstoffer.

I vinteren 1999/2000 høstede beboerne i Pilehuset 8,5 tons TS pr. ha i anlægget, svarende til 25,5 kg N ved et indhold på 0,3% i veddet som anført af Riddell-Black. Under forudsætning af, at bladmassen udgør cirka den halve mængde af veddet og indeholder 3,5% N, fjernes 149 kg N pr. ha med bladene. Dette hvis alle blade blæser ud af anlægget, og indholdet af kvælstof ikke er transporteret tilbage til veddet. I alt fjernes så 171,5 kg N. Man ser ikke mange blade i anlægget efter løvfald. Randeffecten bevirker, at de fleste blæser ud af anlægget, men en mindre del vil blive tilbage.

## 10.5 Ophobning af næringsstoffer i jorden

Hvis der dimensioneres efter hydrauliske forhold, er der ikke balance mellem tilførte og via pilen fratrængte næringsstoffer, som det fremgår af afsnit 10.4.

Tages der udgangspunkt i, at pileanlægget tilføres 512 kg N/ha, og at der højst fjernes 171,5 tons N med ved og blade som beregnet i afsnittet ovenfor, tilføres anlægget et kvælstofoverskud. Tilsvarende forhold vil gælde for fosfor og kalium.

Hvad angår et overskud af kvælstof og af organisk stof vil de mikrobiologiske processer i anlægget bevirke, at stofferne omsættes. Da der skiftevis er iltrigt og iltfattigt i anlægget eller i zoner af anlægget, vil overskydende kvælstof i sidste instans frigives til atmosfæren som frit kvælstof.

Fosfor vil blive i anlægget enten i form af fosfationer eller som uopløselige fosfatforbindelser. Ved pH under 5 dannes jern- og aluminiumfosfater og ved høj pH calcium-fosfat. Ved en pH på mellem 5 og 7 som i det tilførte spildevand og i jorden i pileanlægget, findes størsteparten på opløselig form.

Resultaterne af jordbundsanalyserne (afsnit 10.1) indikerer da også, at der er sket en forøgelse af indholdet af fosfor siden anlæggets etablering i 1992. Dette er uden problemer for pilens vækst og giver jorden en større gødningsværdi, hvis anlægget en dag skal nedlægges, og jorden eventuelt skal udspredes på landbrugsjord. Dels er fosforen et gødningsmiddel, dels vurderes indholdet af eventuelle tungmetaller ofte i forhold til indholdet af fosfor.

Der er ikke tegn på, at indholdet af kalium i jorden er forhøjet, selv om det kunne forventes. En forøgelse vil dog umiddelbart være uden betydning for pilenes vækst.

Alt i alt er det ikke tilledningen af næringsstoffer til et pileanlæg, der skal danne baggrund for dimensioneringen.

## 11 Tilførsel (ophobning) af andre stoffer

Pileanlægget er et lukket anlæg uden afløb. Det betyder, at de stoffer, som tilføres anlægget, og som ikke enten optages af pilene eller omsættes i jorden, ophobes i anlægget. I dette afsnit gøres der rede for nogle af de problemer, en eventuel ophobning af uønskede stoffer kan have, dels for anlæggets funktion på længere sigt, dels for jordens genanvendelse/bortskaffelse, hvis anlægget nedlægges, og for anvendelsen af den høstede pil.

### 11.1 Tilførsel af andre stoffer

Spildevandet tilledes stoffer, som ikke er næringsstoffer, via beboernes føde, via rengøringsmidler og via brug af andre stoffer (kemikalier/maling osv.) i husførelsen. Da institutionen som en del af sit værdigrundlag har hensyntagen til naturen/miljøet, herunder bevidstheden om, at mennesket er en del af naturens kredsløb, benytter man ikke de såkaldte ”skrappe” husholdningskemikalier. Der benyttes miljøvenlige og til dels Svanemærkede rengøringsmidler (afsnit 5.7.2). Alligevel kan der som i andet husholdningsspildevand forventes et vist indhold i spildevandet dels af tungmetaller, dels af miljøfremmede organiske stoffer. Endvidere kan brugen af husholdningssalt i madlavningen give anledning til ophobning af salt i anlægget.

### 11.2 Pilenes evne til at optage miljøfremmede stoffer

De undersøgelser, der er foretaget med hensyn til pilekulturers evne til at optage tungmetaller, viser meget forskellige resultater. Riddell-Black (1994) har således i deres undersøgelse fundet langt større optagne mængder, end hvad Anneke Stubsgaard (2001) har fundet i en analyseserie fra et enkelt pileanlæg. Dertil kommer, at de enkelte pilekloners evne til at optage tungmetaller er forskellige. Endvidere tyder Riddell-Blacks undersøgelser på, at pilene optager større mængder tungmetaller, hvis de gror i et højt belastet medie end ved vækst i et lavt belastet medie. Dog er Riddell-Blacks undersøgelser baseret på vækstforsøg med stiklinger, som vokser ved så høje koncentrationer af tungmetaller, at en del af stiklingerne går ud. Der registreres så indhold af tungmetaller i de overlevende planter. Det er utænkeligt, at koncentrationerne kan komme på så høje niveauer i et pileanlæg. Dog skal det bemærkes, at nogle pilekloner kan opkoncentrere cadmium i veddet til et højere niveau, end der er i jorden (Riddell-Black, 1994 og 1997).

Ifølge Pär Aronsson (personlig meddelelse) foreligger der en opgørelse over tungmetaller i pil fra 20 plantager, hvoraf nogle er gødet med spildevand. Hvad indholdet af cadmium angår var spændvidden fra 1,1 mg/kg TS pileved til 5,1 mg/kg TS med et snit på 2,4 mg/kg TS. Der er store forskelle fra klon til klon, forskelle på grund af koncentrationer i jorden samt forskelle betinget af binding til jorden. F.eks. sker der et mindre optag fra kalkholdig lerjord med høj pH.

Peder Gregersen oplyser, at han har lavet analyser af tungmetallindholdet på 2-årige skud på 3-årige rødder i et pileanlæg. Der målttes 1,645 g/ha ved en produktion på 9,4 tons TS/ha, svarende til 0,175 mg cadmium/kg TS. Disse tal svarer til Anneke Stubsgaards analyseresultater og er måske mere repræsentative for i hvert fald unge pileanlæg end Riddell-Blacks resultater ved meget høje tungmetalkoncentrationer.

På baggrund af Peder Gregersens og Anneke Stubsgaards resultater vurderes der ikke umiddelbart at være problemer forbundet med at udsprede flis af høstet pil fra et pilerenseanlæg i sin have. Dette forudsat, at slambekendtgørelsens (Miljøstyrelsen, 2000) grænseværdierne kan betragtes som retningsgivende. Ifølge denne er grænseværdien for cadmium 0,8 mg/kg TS. Hvis der tages udgangspunkt i P. Aronssons opgivne værdier, kan denne grænseværdi derimod godt blive overskredet.



For at dette spørgsmål kan blive afklaret, bør der foretages yderligere analyser af tungmetallindholdet i ved fra pilerenseanlæg.

### 11.3 Undersøgelse af indholdet af miljøfremmede stoffer i Pilehusets anlæg

I sommeren 1999 blev der udtaget jordprøver til analyse for indholdet af miljøfremmede stoffer. Der er ikke tidligere foretaget sådanne analyser. Der blev analyseret på blandingsprøver af 6 prøver udtaget forskellige steder i anlægget. En blandingsprøve fra 75 cm's dybde i anlægget, hvor der står spildevand en stor del af året, og en blandingsprøve fra 45 cm's dybde, hvor der kun står spildevand i vintermånederne.

Da stofniveauet i anlægget på etableringstidspunktet ikke kendes, sammenlignes med en blandingsprøve fra havejorden ved siden af anlægget. Det er samme jord, som anlægget i sin tid blev etableret af. Græsplænen har ikke været tilført gødning eller andet i de mellem-liggende år. Prøverne er analyseret for de tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer (samleparametre), som er angivet i slambekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, 2000). Prøverne er også analyseret for indholdet af kvælstof og fosfor. Slambekendtgørelsen angiver grænse- og afskæringsværdier for indhold af miljøfremmede stoffer, dels i forhold til indholdet af tørstof, dels i forhold til indholdet af fosfor.

Analyseresultaterne fremgår af tabel 11.1. I tabellen er tillige angivet slambekendtgørelsens grænse- og afskæringsværdier gældende fra juli 2000, de gældende jordkvalitetskriterier (Miljøstyrelsens Vejledning 6/1998) samt baggrundsniveauerne for stofferne anført i samme vejledning.

Hvis pileanlægget skal nedlægges, og jorden udspredes, skal den formentlig enten kunne karakteriseres som ren jord i henhold til jordkvalitetskriterierne eller vurderes at have en jordbrugsmæssig værdi og så kunne overholde grænseværdierne i slambekendtgørelsen. Der er ikke i denne sammenhæng taget hensyn til eventuelle hygiejniske problemer i forbindelse med en eventuel udspredning.

#### 11.3.1 Sammenligning af analyserne fra de to dybder i anlægget

Bortset fra enkelte parametre er der ingen forskel på indholdet af miljøfremmede stoffer i prøverne fra de to dybder i anlægget (tabel 11.1). Indholdet af nikkel er dog større i 75 cm's dybde end i 45cm's dybde. Indholdet af LAS og nonylphenol er under detektionsgrænsen. Det registrerede indhold af DEHP må tilskrives afsmitning fra prøveudstyr. Det kan ikke forklares, at der er konstateret PAH i jordprøven fra 45cm's dybde, da PAH ikke bør forekomme i spildevandet. Der har ligget et teglværk i området, og i jorden i pileanlægget og haven finder man mange stumper teglsten. Om der i den forbindelse også har været noget andet affaldsjord fra det tidligere teglværk, som kunne indeholde PAH, vides ikke.

Spildevandets indhold af tungmetaller kan eventuelt flyttes med spildevandet op i anlæggets øvre del om vinteren og blive der, når vandstanden falder igen, afhængigt af i hvilken grad det enkelte tungmetal er tilbøjeligt til enten at bindes til lerpartiklerne eller opløses i væskefasen. Bortset fra nikkel tyder resultaterne i tabel 11.1 ikke på, at der er sket en ændring i stoffernes fordeling i anlægget efter 9 år.

|                            | Pileanlæg<br>45 cm<br>under<br>terræn | Pileanlæg<br>75 cm<br>under<br>terræn | Gennem-<br>snit i<br>pileanlæg | Havejord<br>55 cm under<br>terræn | Afskærings-<br>værdi<br>(slambekendt-<br>gørelsen, juli<br>2000 ) | Jord-<br>kvalitets-<br>kriterie* | Baggrunds-<br>niveau |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Cadmium mg/kg<br>TS        | 0,095                                 | 0,089                                 | 0,092                          | 0,03                              | 0,8                                                               | 0,5                              | 0,03-0,5             |
| Kviksølv mg/kg<br>TS       | <0,12                                 | <0,12                                 | <0,12                          | 0,039                             | 0,8                                                               | 1,0                              | 0,04-0,12            |
| Bly<br>mg/kg TS            | 11                                    | 11                                    | 11                             | 13                                | 120                                                               | 40                               | 10-40                |
| Nikkel<br>mg/kg TS         | 14                                    | 18                                    | 16                             | 10                                | 30                                                                | 30                               | 0,1-50               |
| Chrom<br>mg/kg TS          | 11                                    | 12                                    | 11,5                           | 14                                | 100                                                               | 500                              | -                    |
| Zink mg/kg<br>TS           | 40                                    | 41                                    | 40,5                           | 33                                | 4000                                                              | 500                              | 10-300               |
| Kobber mg/kg<br>TS         | 10                                    | 10                                    | 10                             | 7,8                               | 1000                                                              | 500                              | 13                   |
| LAS mg/kg<br>TS            | < 50                                  | < 50                                  | <50                            | < 50                              | 1300                                                              | 1500**                           | -                    |
| DEHP<br>mg/kg TS           | 0,2                                   | 0,2                                   | 0,2                            | <0,1                              | 50                                                                | 25                               | -                    |
| Nonyl-phenoler<br>mg/kg TS | < 0,5                                 | < 0,5                                 | <0,5                           | < 0,6                             | 30                                                                | -                                | -                    |
| PAH mg/kg<br>TS            | 0,72                                  | 0,0                                   | 0,36                           | 0,0                               | 3                                                                 | 1,5                              | -                    |
| Total-P<br>mg/kg TS        | 400                                   | 400                                   | 400                            | 250                               |                                                                   |                                  |                      |
| Total-N<br>mg/kg TS        | 400                                   | 400                                   | 400                            | 700                               |                                                                   |                                  |                      |

**Tabel 11.1** Indholdet af miljøfremmede stoffer i Pilehusets anlæg samt i den tilstødende havejord.

\*Jordkvalitetskriterier henhold til Miljøstyrelsens Vejledning nr. 6, 1998.

\*\*Kriteriet gælder for nonioniske detergenter.

### 11.3.2 Ophobning af miljøfremmede stoffer i anlægget

En sammenligning af indholdet af miljøfremmede stoffer i pileanlægget med indholdet i den tilstødende havejord kan give et fingerpeg om, hvorvidt der er sket en ophobning af miljøfremmede stoffer i anlægget. Indholdet i havejorden sammenlignes med gennemsnitsværdien for indholdet i henholdsvis 45cm's og 75 cm's dybde, en værdi, som vurderes at være repræsentativ for pileanlægsgjordens gennemsnitlige indhold af tungmetaller. Det fremgår af tabel 11.1, at det kun er relevant at se på indholdet af tungmetaller. Der forekommer højere koncentrationer af cadmium, kviksølv, nikkel og zink i anlægget end i havejorden. Indholdet af zink er uden betydning, da indholdet i anlægget ligger langt under afskæringsværdierne. Det fremgår endvidere af tabellen, at koncentrationerne af tungmetaller ligger inden for baggrundsniveauet, kviksølvindholdet dog ved den øvre grænse.

Under forudsætning af, at indholdet inden og uden for anlægget var det samme, da anlægget blev etableret i 1992/93, og at ophobningen af tungmetaller i anlægget fortsat sker med samme hastighed, kan det beregnes, hvornår indholdet i jorden vil svare til grænseværdierne eller jordkvalitetskriterierne. Det fremgår af tabel 11.2.

| Parameter | Forøgelse<br>1993-1999 | Antal år til indhold<br>= afskæringsværdi i<br>slambekendtgørelsen | Antal år til indhold<br>= jordkvalitetskriterier |
|-----------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Cadmium   | 3 x                    | 29 år (2028)                                                       | 39 år (2038)                                     |
| Kviksølv  | 3 x                    | 52 år (2051)                                                       | 68 år (2067)                                     |
| Nikkel    | 0,9 x                  | 16 år (2015)                                                       | 16 år (2015)                                     |

**Tabel 11.2** Antallet af år til indholdet af tungmetaller i pileanlægget svarende til afskæringsværdier eller jordkvalitetskriterier.

Den afgørende parameter for levetiden for anlægget ved Pilehuset er på baggrund af disse resultater tilsyneladende nikkel. Denne parameter levner kun anlægget en yderligere levetid på yderligere 16 år, dvs. en levetid i alt på 25 år, uanset hvilke af de to kriteriesystemer, der benyttes.

Det er imidlertid spørgsmålet, om indholdet af nikkel i pileanlægget kan være øget så meget i løbet af anlæggets levetid, som tabellerne indikerer, dvs. om indholdet i havejorden kan bruges som mål for indholdet i pileanlægget ved dets etablering. Ifølge Miljøprojekt 357 (Miljøstyrelsen, 1997) tilskrives tilledningen af nikkel til renseanlæg generelt andre kilder end boligområderne. Der kan dog også forekomme nikkel i husspildevand på grund af afsmitning fra armaturer, stålvaske og lignende installationer. Derimod kan en tredjedel af cadmiumtilledningen til renseanlæg tilskrives boligområderne.

Tilledningen af nikkel med husspildevandet fra Pilehuset kan beregnes på baggrund af undersøgelserne af husspildevands indhold af miljøfremmede stoffer, som præsenteres i Miljøprojekt 357. Udledningen af nikkel i spildevandet er her opgjort til 1.800 µg/dg. pr. PE. Antages det, at udledningen pr. PE er den samme fra Pilehuset, er pileanlægget tilført 7.227 mg nikkel pr. år (ved 11 PE) og på 7 år 50,6 g. Ved en fordeling heraf i anlæggets volumen af jord på 690 m<sup>3</sup> (excl. sand- og rallaget) vil der være tilført 0,06 mg/kg TS (beregnet ud fra et polevolumen på 32% og en vægtfylde på 1,7) og ikke 6 mg, som tabel 11.1 indikerer.

Den samme beregning er lavet på baggrund af K. Sundbergs rapport (1995) over indholdet af tungmetaller i husspildevand. Han har generelt målt et højere indhold af tungmetaller end det, der er angivet i Miljøprojekt 357. Benyttelsen af disse tal sker ud fra et forsigtighedsprincip. Resultaterne af denne beregning fremgår af tabel 11.3.

| Parameter | Indhold i<br>spildevand<br>mg/l | Tilførsel pr. år<br>mg | Tilførsel pr. år<br>mg/kg TS | Tilførsel på 7 år<br>mg/kg TS | Restlevetid<br>år* |
|-----------|---------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Nikkel    | < 3,1                           | < 12.446,5             | 0,013                        | 0,09                          | > 1000             |
| Kviksølv  | < 0,07                          | < 281,0                | 0,0003                       | 0,002                         | > 2000             |
| Cadmium   | < 0,6                           | < 2.409                | 0,0025                       | 0,02                          | 280                |

**Tabel 11.3** Teoretisk beregning af ophobning af tungmetaller.

\*Det er forudsat, at ophobningen foregår ved en konstant rate.

På baggrund af disse beregninger synes ophobningen af tungmetaller i pileanlægget ikke at blive et problem inden for anlæggets forventede levetid. Beregningerne rejser endvidere tvivl om, hvorvidt resultaterne fra analyserne af indholdet i havejorden kan betragtes som repræsentative for jordens indhold i pileanlægget før tilledningen af spildevand. Graden af ophobning af tungmetaller i pileanlægget kan dog først endeligt belyses ved at gentage en analysing af jordens indhold efter yderligere nogle års tilførsel af spildevand.

Hvad angår tilledningen af organiske miljøfremmede stoffer, er der ingen grund til at tro, at indholdet af disse vil blive et problem. Dels er der målt et lavt indhold af disse (tabel 11.1),

dels forventes de at blive omsat. Der er skiftevis aerobe og anaerobe forhold i anlægget/dele af anlægget, der tilledes rigeligt med letomsætteligt organisk stof, så der er fine forhold for en mikrobiel omsætning af stofferne. Man må formode, at omsætningen er end-nu bedre i de anlæg, hvor spildevandet tilledes højere oppe i anlægget, da spildevandet generelt vil opholde sig i længere tid i aerobe dele af anlægget.

#### 11.4 Ophobning af salt

Pileanlæg tilledes salt med husspildevandet. Dette optages ikke af pilene og omsættes ikke i jorden, hvorfor koncentrationen vil stige med tiden. Upublicerede resultater af laboratorieforsøg med pil på SLU, Uppsala, har for to undersøgte kloner vist, at forhøjede saltkoncentrationer af henholdsvis natrium og klorid kan hæmme pilens vækst. En begyndende hæmning kunne registreres for selv en begrænset koncentration af natrium. (Pär Aronsson, personlig meddelelse 2000 og 2001).

Det er i anlæg med tilledning i bunden et problem, at saltkoncentrationen om sommeren kan blive meget høj. Der er kun lidt vand i anlægget, og saltet vil følge med vandet ned i bunden i takt med, at vandspejlet sænkes. Det kan derfor blive aktuelt i denne type anlæg med års mellemrum at pumpe noget af dette saltholdige vand af og transportere det til et renseanlæg. Denne problematik behandles også af Anneke Stubsgaard (2001) på baggrund af målinger af ledningsevnen i jordvæsken i flere pileanlæg.

Hvis det vand, som står i fordelerlaget sidst på sommeren i Pilehusets anlæg, skal fjernes, vil det dreje sig om ca. 50 m<sup>3</sup>. Det er en stor portion vand, men ikke en umulig opgave. Det er heller ikke sikkert, at hele vandmængden behøver at blive fjernet. På det foreliggende grundlag kan det imidlertid ikke vurderes, om dette vil blive aktuelt efter 10, 15 eller 20 års drift.



## 12 Hygiejne

I Pilehusets anlæg tilledes spildevandet i bunden, og det når langt fra op til overfladen i vintermånederne. I de to sidste vintre er det maksimale vandspejl som tidligere beskrevet registreret 40 cm under terrænoverfladen. Der vurderes ikke at være risiko for, at der kan opstå uhygiejniske forhold på terrænoverfladen i anlægget som følge af tilledning af spildevand. Det skulle således ikke være nødvendigt at indhegne denne type anlæg.

Der er ikke foretaget egentlige hygiejniske undersøgelser i dette projekt.

Anneke Stubsgaard (2001) vurderer følgende vedrørende fordeling (overjordisk/underjordisk) af spildevandet på baggrund af sine undersøgelser i projektet "Danske pileanlæg":

*"Der kan på det eksisterende datagrundlag ikke anbefales den ene form for fordeling af spildevandet frem for den anden. Det vurderes dog, at overjordisk fordeling indebærer en risiko for kontakt med spildevand indeholdende patogene mikroorganismer, således at underjordisk fordeling bør anbefales, med mindre andre forhold medfører, at overjordisk fordeling bør prioriteres."*



## 13 Sammenfattende diskussion og konklusioner

### 13.1 Anlæggets opbygning og funktion

På baggrund af undersøgelsens resultater vurderes anlægget at fungere rigtig godt. Anlægget vurderes at være tæt. Det er dimensioneret tilstrækkeligt stort til at kunne fordampe de tilledte mængder spildevand fra 11 PE samt den nedbør, der falder på anlægget. Der forekommer således ikke overløb.

Spildevandet tilledes anlægget og fordeles i anlæggets bund ved gravitation. Derved har det været muligt at undgå etablering af pumpebrønd og pumpe, ligesom driftsudgifter til pumpepen er sparet. Problemer med tilfrysning af fordelingsystem opstår heller ikke ved den dybe underjordiske fordeling. En anden fordel ved tilledning under terrænoverfladen er, at man undgår den smitterisiko, der kan opstå ved tilledning på overfladen.

En ulempe ved tilledningen i bunden kan være, at de tilledte forurenende stoffer mest befinder sig i anlæggets anaerobe zoner. Der kan muligvis opnås en større stofomsætning ved tilledning af spildevandet højere oppe i anlægget, som det sker i en del jyske anlæg.

### 13.2 Pejlinger af vandstanden i anlægget

Den aktuelle vandstand i anlægget er resultatet af tilledningen af spildevand i bunden af anlægget, tilledning af nedbør via overfladen samt fordampning fra jorden og pilenes transpiration. I projektperioden er den højeste vandstand registreret 40 cm under terrænoverfladen.

Kurveforløbet over vandstandsniveauet følger det samme mønster i de forskellige typer pileanlæg (Anneke Stubsgaard, 2001). Vandstanden stiger markant og falder markant i henholdsvis efterår og forår, men ændrer sig ikke så meget midt på vinteren. Kurveforløbet er formentlig resultatet af flere forhold. Der sker forsinkelser af vandets fordeling i anlægget på flere måder. Den nedbør, der falder på anlægget om efteråret, bliver først en del af det målte vandspejl, når jorden er vandmættet. Noget af nedbøren fordampes igen, enten fra pilenes eller jordens overflade eller ved pilenes transpiration.

Sammenligninger af pejlinger i brønde på fordelerrøret med pejlinger i pejlerør placeret ude i anlægget indikerer, at der sker en forsinkelse i vandets fordeling i anlægget i sensommeren. Anlæggene fyldes tilsyneladende først op omkring fordelerrøret. Først når der er et vist vandtryk her, presses vandet ud i hele anlægget. Endvidere peger Anneke Stubsgaard (2001) og andre på, at pileanlæggene kan rumme en større vandmængde, end porevolumenet målt på tør jord indikerer. Det er naturligvis en forudsætning, at anlæggene ikke er utætte. Endvidere må der kunne forekomme forhøjet vandstand i tilløbsbrønden i tilfælde af et ekstraordinært stort vandforbrug i hustanden inden for et relativt kort tidsrum. Det bekræftes af, at vandspejlet, der er registreret i spulebrøndene, kan variere en del fra måling til måling.

Der er behov for yderligere undersøgelser af hydraulikken i anlæggene.

Ved pejling af vandstanden i tilløbsbrønden på fordelerrøret skal man være opmærksom på disse årskaraktistika. Pejlingerne er mest egnede til en sammenligning af den maksimale vandstand i anlægget fra år til år og ikke til variationer over korte tidsrum.

### 13.3 Dimensionering (fordampningsevne/kapacitet)

Et pileanlæg skal dimensioneres, så arealet med pil er tilstrækkelig stort til, at de tilledte vandmængder kan fordampes. Endvidere skal anlægget kunne rumme de vandmængder, som tilledes uden for vækstsæsonen, hvor fordampningen er minimal.



Der kan være store nedbørsvariationer fra år til år. Til grundlag for dimensioneringen af anlægget lå en gennemsnitlig årlig nedbør på 600 mm. Årsnedbøren ved nærmeste vejstationer har dog været over 900 mm 3 gange siden anlæggets etablering (1993, 1994 og 1999). Det er således ikke tilstrækkeligt kun at dimensionere ud fra nedbørsgennemsnit. Dog var vandstanden i projektperioden maksimalt 40 cm under terræn, hvor den i første vintersæson skulle have stået højere oppe, dvs. ca. 30 cm under terræn. Dette tyder på, at når pilene først er etableret og i god vækst, så betyder årsudsvingene i nedbøren ikke så meget.

Anlæggets fordampningsevne er ud fra de tilledte vandmængder bestemt til at være 1300 mm/m<sup>2</sup> (årene 1992-1996) og endda 1370 mm/m<sup>2</sup> i 1999.

Ved dimensioneringen af anlægget tog Amdi Hansen udgangspunkt i en total fordampning på 1500 mm for et areal med pil. Dette er et meget højt tal. I en pileplantage regnes der ifølge bl.a. Kurth Perttu og Pär Aronsson (personlige meddelelser) med en meget lavere fordampning.

Peder Gregersen (personlig meddelelse) har registreret en fordampning på 1100–1300 mm i første år i et anlæg med klonerne Bjørn, Tora og Jorr. Anneke Stubsgaard (2001) har ligeledes fundet store fordampningstal i sine undersøgelser, og opgiver fordampningstal på op til 1600 mm/år.

Spørgsmålet om eventuel fordampning ud over, hvad der kan tillægges pilenes transpiration, er drøftet med forskere i FAIR-projektet. Resultater indikerer, at nogle pilekloner kan fordampe store mængder vand, når de altid har vand tilstede, hvilket ikke er tilfældet i pileplantager. Endvidere er pileanlæg generelt små og aflange. Dvs. der er tale om en meget stor randeffekt, som også forøger fordampningen på grund af stor påvirkning fra sol og vind. Der er tale om en slags oaseeffekt.

Pär Aronsson mener også, at der ud over transpirationen fra pilene, fordampningen fra overfladen af anlægget og fra nedbør på pilene uden for vækstsæsonen kan finde en vis fordampning sted gennem pilenes bark.

Beregnet ud fra antallet af måneder, pilene ikke bærer løv, skal der være et opmagasineringsvolumen svarende til 5 måneders tilledning af spildevand og nedbør (november-marts incl.). Dette svarer til anlæggets kapacitet beregnet ud fra rumfang og porevolumen. Den maksimale vandstand blev imidlertid registreret 40 cm under terræn, hvilket indikerer, at 5 måneders lagerkapacitet er rigelig. De øverste 40 cm af anlægget er dog ikke helt tørre, idet cirka halvdelen af porevolumenet typisk vil være vandfyldt. Da den maksimale vandstand er så langt under terrænoverfladen, kunne anlægget formentlig have været mindre og dermed billigere.

Pileanlæg er generelt store i forhold til f.eks. rodzoneanlæg (her 64 m<sup>2</sup>/PE). Dette sammenholdt med de store variationer i årsnedbør gør det meget relevant at forsøge sig med at lave anlæg, hvor regnvandet kan føres ud af anlægget. Det kan gøres ved hjælp af regulering af anlæggets overfladehældning og valget af materiale i overfladen. Der kan f.eks. laves systemer med bølge og dal, hvor regnvandet transporteres ud som i tagrender. Det kan anbefales at starte sådanne forsøg. Vellykkede forsøg kan få stor betydning for en minimerende dimensionering eller sikkerheden i anlæggene og også for prisen. Afledning af regnvand direkte fra overfladen af anlæggene kan selvfølgelig kun anbefales ved anlæg, der tilfører spildevandet underjordisk.

Toilettype, skylleadfærd, vandbesparende armaturer i bruser og vask har også stor betydning for vandforbruget.

Med et kildesorterende toilet ville man ikke bare kunne regulere vandforbruget, men også kunne regulere tilførslen af hovedparten af næringsstoffer. Urinen eller dele af den kan f.eks. sorteres fra og anvendes på andre arealer.

Under alle omstændigheder er det vigtigt, at anlæggene dimensioneres ud fra faktiske forhold vedrørende antal personer og faktisk produceret spildevand i husstanden og aktuelle tal for områdets nedbørsforhold. Med hensyn til dimensionering ud fra spildevandsproduktionen kan det diskuteres, om der altid skal tages udgangspunkt i en ”standard-husstand” på 4-5 personer. Der er behov for at tilvejebringe en større viden om, hvor meget vand jorden kan rumme og pilene fordampe, for at kunne dimensionere anlæggene korrekt.

### 13.4 Produktion/stofomsætning

En anslået produktion for 1-årige skud på 1-årige stammer i etableringsåret 1992 vurderet ud fra 1. høst i januar 1993 på 3,3,8 t/ha/år er en god start. Produktionen i 1994 for 3-årige skud på 3-årige rødder blev opgjort til 14,4 t/ha/år (+, - 4,5), hvilket indikerer, at pilen reagerer positivt på det tilførte spildevand. Anlægget har ved den gode vækst et stort fordampningspotentiale.

Produktionen i 1999 (4-årige skud på 8-årige rødder) blev bestemt til 8,5 t/ha/år. Tørstofprocenten blev bestemt til 42,3, hvilket måske fejlagtigt er for lavt sammenlignet med resultatet af tørstofbestemmelsen i 1994, hvor den blev bestemt til 54,8%. I så fald er produktionen på 8,5 tons undervurderet. Produktionen svarer til den gennemsnitsproduktion, som Morsing m.fl. (1995) har fundet i en række danske pileplantager, og som var på 7,5 tons, dog med stor spredning (fra 1,8 til 22,6 tons). Produktionen er imidlertid lavere end det gennemsnit på 13,5 t, som er bestemt i FAIR-projektet (Larsson, 2001).

Om produktionen er lidt større eller mindre, har måske ikke så stor praktisk betydning, selv om en stor vækst i reglen også betyder, at pilen har en stor fordampningsevne. Høstes pilen med henblik på at blive brugt som brændsel, erstatter den mindre end 10% af en almindelig hustands forbrug af olie (Anneke Stubsgaard, 2001). Pilehusets beboere anvender da også den høstede pil til flethegn og flis. Flisen udsprede i blomsterbedene.

Det vurderes, at der tilledes langt større mængder næringsstoffer til pileanlægget, end der fraføres. I projektet er der kun målt på de tilførte mængder samt på jordens indhold af stoffer. Værdierne for omsætning er teoretiske.

Tilførslen af kvælstof til anlægget er ud fra analyser af det tilledte spildevand bestemt til 512 kg N/ha. Fraførslen er beregnet til at udgøre højst 171,5 tons pr. ha. Dette hvis fraførslen både omfatter ved og blade, omend en stor del kvælstof føres tilbage til veddet før bladtabet. Det vil sige, at der er tale om tilførsel af et stort næringsstofoverskud med hensyn til kvælstof. Tilsvarende forhold vil være gældende for fosfor og kalium.

Hvad angår et overskud af kvælstof og af organisk stof vil de mikrobiologiske processer i anlægget bevirke, at stofferne omsættes. Da der skiftevis er iltrigt og iltfattigt i anlægget eller i zoner af anlægget, vil overskydende kvælstof i sidste instans frigives til atmosfæren som frit kvælstof.

Fosfor vil blive i anlægget, enten i form af fosfationer eller som uopløselige fosfatforbindelser. Resultaterne af jordbundsanalyserne indikerer, at der er sket en forøgelse af indholdet af fosfor siden anlæggets etablering. Dette er uden problemer for pilens vækst og giver jorden en større værdi, hvis anlægget en dag skal nedlægges og jorden eventuelt skal udsprede på landbrugsjord. Dels er fosforen et gødningsmiddel, dels vurderes indholdet af tungmetaller ofte i forhold til indholdet af fosfor.

Der er ikke tegn på, at indholdet af kalium i jorden er forhøjet, selv om det kunne forventes. En forøgelse vil dog umiddelbart være uden betydning for pilenes vækst.

### 13.5 Ophobning af tungmetaller

Da der aldrig udledes vand fra pileanlægget, vil tilførte tungmetaller enten optages i pilene eller ophobes i pileanlægget. Derimod vurderes de organiske miljøfremmede stoffer at blive omsat i anlægget ved mikrobiologiske processer i det skiftevis aerobe og anaerobe miljø.

Laboratorieforsøg med pils evne til at optage tungmetaller (Riddell-Black, 1994) viser, at der er forskel på, i hvor høj grad forskellige kloner optager tungmetaller, og at dette også til dels afhænger af koncentrationen af tungmetallerne i vækstmediet. Måleresultater fra Peder Gregersen (personlig meddelelse) og Anneke Stubsgaard (2001) tyder på, at der ikke umiddelbart er risiko for, at mængden af tungmetaller i veddet er så stor, at det ikke er forsvarligt at bruge den høstede, flishuggede pil som jorddække i sin have eller at brænde den i sin brændeovn.

P. Aronsson refererer dog til undersøgelser af ved fra pileplantager (personlig meddelelse, 2000), (hvoraf nogle dog kan være gødet med spildevandsslam), hvor indholdet af cadmi-um i veddet har været større end grænseværdien i slambekendtgørelsen. Det spørgsmål bør belyses bedre ved målinger af indholdet af tungmetaller i veddet fra flere pileanlæg.

Ved af sammenligne analyser af indholdet af tungmetaller i pilebedet med indholdet i den tilstødende havejord er det søgt vurderet, i hvilket omfang tungmetallerne ophobes i pilebedet. Dette er gjort ud fra en antagelse om, at indholdet i pileanlægget ved dets etablering ville svare til indholdet i havejorden. En sammenligning med en teoretisk beregning af den forventelige stigning i indholdet af tungmetaller ud fra indholdet af disse i husspildevand indikerer imidlertid, at tilledningen er langt mindre. Dette rejser tvivl om, hvorvidt havejorden er repræsentativ for indholdet af tungmetaller i anlægget ved dets etablering. Analysegrundlaget er for spinkelt til at kunne afgøre dette.

På baggrund af de teoretiske beregninger vurderes en ophobning af tungmetaller ikke at begrænse pileanlæggenes levetid. I denne sammenhæng er pileanlæggenes relativt store størrelse i forhold til andre anlægstyper som rodzoneanlæg og sandfilteranlæg vigtig. Selv om der er udløb fra de sidstnævnte anlæg, kan det godt tænkes, at ophobningen af tungmetaller i disse er større end i pileanlæg, fordi deres rumfang er væsentligt mindre.

### 13.6 Driftsforhold/driftskrav

Der har kun været behov for at spule fordelerrøret én gang, efter anlægget havde været i funktion i 7 år. Tilstopningen tilskrives driftsproblemer med sandfilterbrønden, som blev ombygget til efterklaringsbrønd ved projektperiodens start. Efterklaringsbrønden fungerer efter hensigten, idet den fanger slam udledt fra hustanken. Ved regelmæssig tømning af efterklaringsbrønden forventes behovet for at spule fordelerrøret at blive endnu mindre. Det må konkluderes, at det er bedre at bruge brønden mellem hustank og pileanlæg som efterklaringsbrønd end som sandfilterbrønd.

Det er konstateret, at der dannes flydeslam i bundfældningstankens 2. kammer allerede ca. ½ år efter den ordinære tømning. Derfor vil der udledes slam til efterklaringstanken ("3.-kammeret"). Der vil formentlig udledes mindre slam fra hustanken, hvis flydeslammet oftere "stødes ned". Endvidere vil det være hensigtsmæssigt med halvårlige tømninger af tanken. Tanken er dimensioneret efter den aktuelle belastning, og endvidere har bofællesskabet et relativt lavt vandforbrug i forhold til mange almindelige husstande. Det rejser spørgsmålet, om flerkammertanke med rørindsatser ikke er lige så effektive til at tilbageholde slam som de trekamrede trixtanke.

Det vurderes ikke at være noget problem, at bundfældningstanken efter tømning efterfyldes med af-vandingsvand (rejektvand) fra slamsugeren. Eventuelt suspenderet stof heri vil bli-

ve fanget i efterklaringsbrønden. Til gengæld kan man overveje at efterfylde efterklaringsbrønden med rent vand frem for rejektvand. Ved denne tømningspraksis er der intet til hinder for, at tanken kan indgå i den kommunale tømningsordning.

Det kan diskuteres, hvor ofte anlægsbrugerne skal kontrollere brønde/pejle vandstand m.m. Hyppigheden afhænger også af, om der er tale om et nyetableret anlæg eller et ældre, vel-fungerende anlæg som det ved Pilehuset.

I de første år efter etableringen er det en god idé med hyppig kontrol, f.eks. hver måned. I et ældre anlæg er det tilstrækkeligt med pejlinger 1 gang i kvartalet.

Det er primært den maksimale vintervandstand, der har interesse, dels som kontrol af, om der sker overløb eller er risiko herfor, dels for at vurdere, om anlægget er tæt. Den maksimale vandstand ændres muligvis også med tiden ved begyndende salthæmning, eller hvis der sker anden hæmning af væksten. Der kan også ske en ændring i modsat retning, hvis pilen ikke påvirkes negativt, men har stigende produktion i anden og tredje omdrift.

Vandforbruget har været meget ensartet over årene, og det er tilstrækkelig at aflæse det 1-2 gange pr. år.

### 13.7 Pris

Anlægget har ikke været billigt at bygge. Det kostede i 1992 ca. 92.300 kr. + moms. Entreprenøren vurderer, at prisen i dag vil være 20-25% højere. Pilestiklingerne blev købt til ca. 2 kr. pr. stk. + moms. De er i dag væsentligt billigere.

Priserne på de øvrige anlæg i landet varierer meget, bl.a. på grund af forskelle fra region til region i prisen på udførelse af gravearbejde. Det er afgørende for anlæggenes prismæssige konkurrenceevne, at man undgår overdimensionering, og her kan det blive meget afgørende, om det fremover kan lade sig gøre at lede en del af nedbøren bort fra anlægget.

Forholdet mellem anlæggenes areal og rumfang har også afgørende betydning for prisen (Anneke Stubsgaard, 2001).

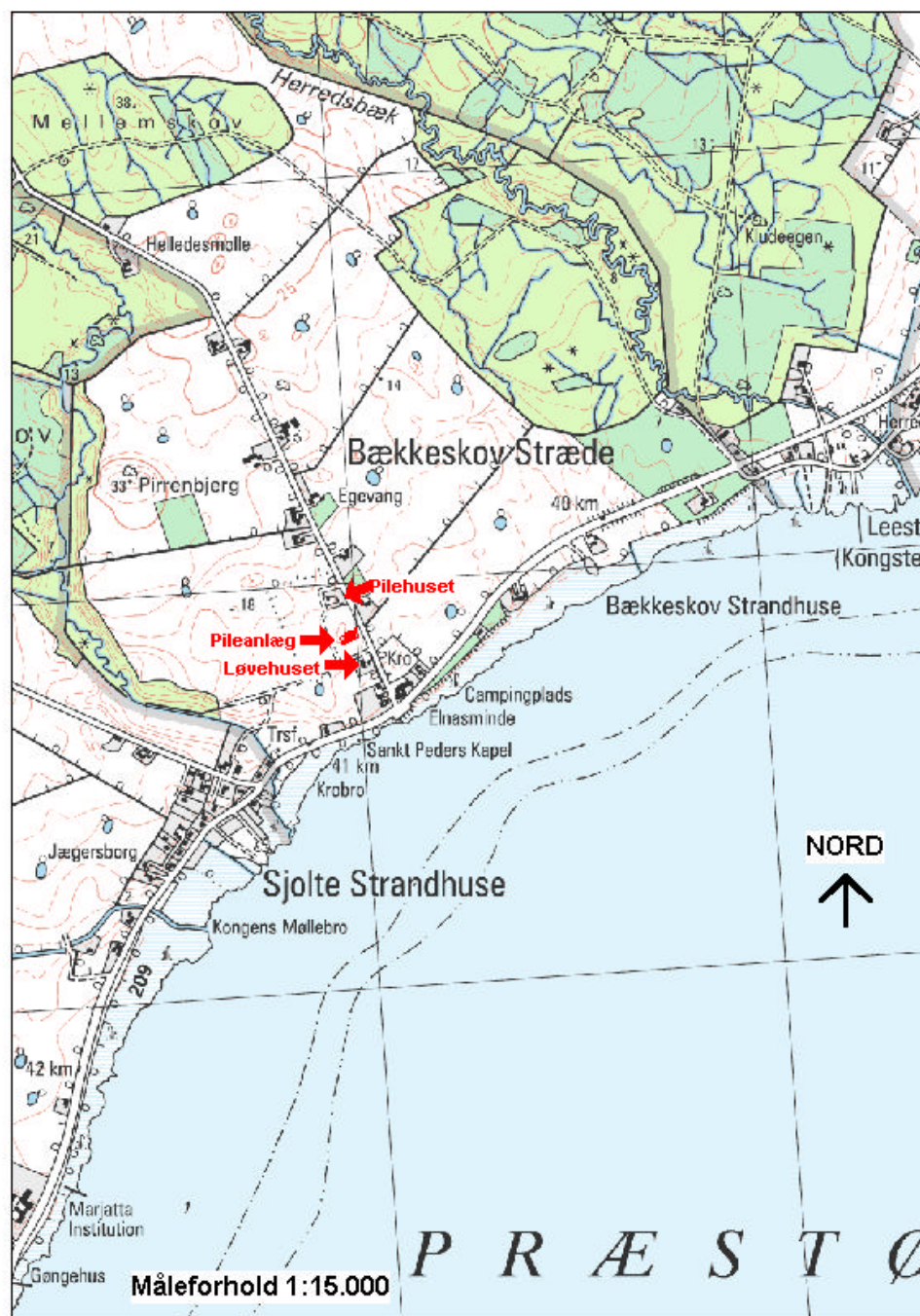


## 14 Bilag

|         |                                                     |
|---------|-----------------------------------------------------|
| Bilag 1 | Kortskitse over pileanlæggets geografiske placering |
| Bilag 2 | Billedserie fra anlæggets etablering                |
| Bilag 3 | Billedserie fra projektperioden                     |



## Bilag 1



**Pileanlægget ved Pilehuset  
Bækkeskovstræde 26 B,  
4733 Tappernøje**





### Billedserie fra anlæggets etablering

1. Anlæg udgraves, marts 1992.
2. Plastdug udlægges på gruslag.
3. Grus ud på plastdug.
4. Stenlag med fibertextdug og fordelerrør.
5. Råjord og muld pålagt.
6. Pile plantes, april 1992.
7. Grøft for regnvand.
8. Pile, september 1992.



1 Anlæg udgraves, marts 1992.



2 Plastdug udlægges på gruslag.



3 Grus ud på plastdug.





4 Stenlag med fibertextdug og fordelerrør.



5 Råjord og muld pålagt.







**Billedserie fra projektperioden**

1. Pileanlægget, november 1998.
2. Pileanlægget, juni 1999. Zonen først i billedet blev høstet vinteren 1998/99.
3. Efterklaringsbrønden med flydeslam.
4. Pejlerør.
5. Rødder fra 90 cm's dybde, hul 3, juni 1999.
6. Rødder fra 80-85 cm's dybde, hul 4, juli 1999.
7. Det høstede areal, februar 2000.
8. Septictanken, oktober 2000.









3 Efterklaringsbrønden med flydeslam.



4 Pejlerør.



5 Rødder fra 90 cm's  
dybde, hul 3, juni 1999.





6 Rødder fra 80-85 cm's dybde, hul 4, juli 1999.



7 Det høstede areal, februar 2000.



8 Septictanken, oktober 2000.

## 15 Referencer/litteraturliste

Andresen, Ole H. B.: Pilekrat som spildevandsanlæg. Artikel i "Natur og Miljø", nr. 1/1998.

Aronsson, Pär, 2000: Nitrogen Retention in Vegetation Filters of Short-Rotation Willow Coppice. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. ISSN 1401-6230. ISBN 91-576-5895-1.

Aronsson, Pär. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala: Personlige meddelelser(2000, 2001).

Backlund, Arne, 1995: Einige Reflexionen über die Anwendung von vor-gereinigtem Abwasser und Klärschlamm innerhalb kreislaforientierter Umwelt- und Energikonzepte mit Weiden-Kurz-Umtriebs-Plantagen. Foredrag ved 2. Umweltseminar des Leipziger Innovations- und Technologiezentrums, 28. september 1995.

Biomasseinstituttet ved Sydjysk Universitetscenter, SUC, udateret: Salix Positiv.

Danfors, Birger; Ledin, Stig; Rosenqvist, Håkan, 1998: Short-Rotation Willow Coppice. Growers Manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering. ISBN 91-7072-123-8.

Ir vold, Dorthe: Piletræer redder vandløb. Artikel i Landbrugsbladet, Markbrug, nr. 20, 15. maj 1997.

Fladså Kommune, 10. september 1991: Tilladelse til opførelse af pilerensningsanlæg på Marjattas bofællesskab beliggende Bækkeskov Stræde 26 B, 4733 Tappernøje.

Fladså Kommune, 31. august 1999: Tilladelse til afledning af spildevand til eget pilerenseanlæg på matr. nr. 2 at, Bækkeskov Hgd., Bækkeskov Stræde 26 B, 4733 Tappernøje.

Gregersen, Peder, Udviklingsafdelingen, Sydjysk Universitetscenter: Personlige meddelelser, 1999.

Gregersen, Peder, Center for recirkulation: Personlige meddelelser, 2000, 2001.

Gregersen, Peder: [www.pilerensning.dk](http://www.pilerensning.dk)

Grip, Harald, Halldin, Sven, Lindroth, Anders, 1989: Wateruse by intensitively cultivated willows using estimated stomatal parameter values. Hydrological Processes, Vol. 3, pp. 51-63. John Wiley & Sons, Ltd.

Hansen, Amdi, 18. april 1991: Pilerensningsanlæg, tegninger.

Hansen, Amdi, 16. maj 1991: Piletræer som alternativ spildevandsrensning.

Hansen, Amdi 7. oktober 1991: Tegning 1:12,5. Principskitse, del af længdeprofil.

Hansen, Amdi, udateret: Anlægsomkostninger.

Hansen, Amdi: Billedmateriale. 18 billeder fra etablering af anlæg.

Hansen, Amdi, 19. august 1992: Situationsplan 1:250. Bygninger, hovedkloak, pilerensningsanlæg.

Hansen, Amdi, udateret: Nedbørsoverskud 1992/1993 dag for dag.

Hansen, Amdi, udateret: Akkumuleret nedbørsoverskud 1992/1993.

Hansen, Amdi, udateret: Pejlinger, vandforbrug samt nedbør 1992/1993.

Hansen, Amdi, 3. august 1995: Brev vedrørende vandforbrug og fordampning.

Hansen, Amdi, 20. september 1996: Opgørelse over vandforbrug 1992-1996.

Hasselgren, Kenth, 1984: Municipal wastewater reuse and treatment in energy cultivation. In: Proceedings to: Symposium 3, San Diego, California, 26-31.08.1984.

Hasselgren, Kenth, 1996: Use of municipal waste products in energy forestry - highlights from 15 years of experience. Paper presented at the IEA Conference on Environmental Issues for Short Rotation Bioenergy Production, Vejle, Denmark, 29. June - 3. July 1996.

Hasselgren, Kenth, 1996: Municipal wastewater recycling in energy forestry. In: Proceedings to 9th. European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, 24. - 27. August 1996.

Hasselgren, Kenth, 1998: Use of municipal wastewater in short rotation energy forestry - Full-scale application.

Hasselgren, Kenth, sept. 1998: Wastewater recycling in energy forestry - results from a 5-year small scale study.

Jørgensen, Karl Richard; Dalgaard, Ole; Schack, Ulrik, 1992 : Biologisk rensning af spildevand fra enkeltjendomme. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 41/1992.

Larsson, Stig. Ed., 1999: First Annual Progress Report. "Biomass short rotation Willow Coppice fertilized with nutrient from municipal Wastewater" (BWCW). FAIR5-CT97-3947. Svalöv.

Larsson, Stig. Ed., 2000: Second Annual Progress Report. "Biomass short rotation Willow Coppice fertilized with nutrient from municipal Wastewater" (BWCW). FAIR5-CT97-3947. Svalöv.

Larsson, Stig. Ed., 2001: Second Annual Progress Report. "Biomass short rotation Willow Coppice fertilized with nutrient from municipal Wastewater" (BWCW). FAIR5-CT97-3947. Svalöv.

Larsson, Stig, Svalöf Weibull AB, Svalöv: Personlige meddelelser, 1999, 2000.

Knudsen, Ulla Skovsbøl, 1996: Piletrær skal rense spildevand. Artikel i Landsbladet, 22. november 1996.

Kommunale Højskole, Den, udateret: Håndbog i drift af renseanlæg.

Miljøstyrelsen: Spildevandsbekendtgørelsen. Bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999 om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4.

Miljøstyrelsen: Slambekendtgørelsen. Bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål.

Miljøstyrelsen: Vejledning nr. 6/1998. Oprydning på forurenede lokaliteter – hovedbind (vedrørende kvalitetskriterier for ren jord)

Miljøstyrelsen: Vejledning nr. 1/1999. Rodzoneanlæg op til 30 PE.

Miljøstyrelsen: Vejledning nr. 5/1999. Vejledning til bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4.

Miljøstyrelsen: Spildevandsforskning 38/1992. Biologisk slambehandling. Undersøgelse af tagrørsbeplantede slamafvandings- og mineraliseringsanlæg.

Miljøstyrelsen: Spildevandsforskning 16/ 1990. Septictanke.

Miljøstyrelsen: Miljøprojekt 357/1997. Miljøfremmede stoffer i husholdningsspildevand.

Morsing, Merete & Nielsen, Keld Hauge, 1995: Tørstofproduktionen i danske pilekulturer 1989-94. - Skovbrugsserien nr. 13-1995. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 1995.

Nielsen, Keld Hauge, Skovteknisk Institut, 24. maj.1991: Brev til Amdi Hansen angående design af anlæg.

Nielsen, Keld Hauge, Forskningscentret for Skov og Landskab, 8. december 1992: Brev vedrørende pleje og høst.

Nielsen, Keld Hauge, Forskningscentret for Skov og Landskab, 4. februar 1993: Brev vedrørende produktion i pilerenseanlægget.

Nielsen, Keld Hauge, Forskningscentret for Skov og Landskab, 29. juni 1993: Brev vedrørende prøveboring og fordampning.

Nielsen, Keld Hauge, rapport, 23. september 1994: Slamgødskning i energiskove af pil.

Nielsen, Keld Hauge: Sludge fertilization in willow plantations. Art. in. Ed. Aronsson & Perttu, Kurth, 1994: Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. A biological purification system. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental Research Section of Short Rotation Forestry. Report 50. Uppsala. ISSN 0282-6267. ISBN 91-576-4916-2.

Nielsen, Keld Hauge, 1999: Personlige meddelelser.

Nielsen, Steen; Christensen, Lars Bo; Andersen, Kresten, 1992: Undersøgelse af tagrørs-beplantede slamafvandings- og mineraliseringsanlæg.

Norsk Hydro, 1995: Gødning '95.

Obarska-Pempkowiak, H., 1994: Removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater by willow – a laboratory approach. In. Aronsson, Pär & Perttu, Kurth. Ed.: Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. A biological purification system. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental research. Section of Short Rotation Forestry. Report 50. Uppsala. ISSN 0282-6267. ISBN 91-576-4916-2.

Olsen, Finn, 1998: Økologi. Nybyggere sparer på kostbare kloakafgifter. Pilene peger på bæredygtighed. Artikel i Århus Stiftstidende, 19. juli 1998.

Parsby, Michael, Rosenqvist, Håkan, 1999: Energiafgrødernes produktionsøkonomi - med særlig focus på pil. Ministeriet for fødevarer, landbrug og fiskeri. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. SJFI - Working Paper no. 3/1999.

Perttu, Kurth, 1993: Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. Sustainable Forestry, Vol 1(3): 57-70.

Perttu, Kurth, 1994: Purification of sludge and wastewater using willow vegetation filters. In. Proceedings of Seminar on Sustainable utilisation of wastewater sludge, 27. sept. 1994 at Amsterdam RAI. ISWA General Secretariat, Bremerholm 1, Copenhagen, Denmark, pp 91-102.

Perttu, Kurth, 1999, upubliceret: Climate conditions and estimated evaporation at the experimental sites (in the FAIR-project).

Perttu, Kurth. Department of Short Rotation Forestry, SLU, Uppsala:  
Personlige meddelelser, 2000.

Planteavlskontoret, ved planteavlskonsulent Jørgen Ravn, udateret:  
Jordbundsundersøgelser 1989.

Planteavlskontoret, ved planteavlskonsulent Jørgen Ravn, udateret:  
Jordbundsundersøgelser 1995.

Polysheet A/S: Brochurer.

Riddell-Black, Drusilla, 1994: Heavy metal uptake by fast growing willow species. In: Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. A biological purification system. Ed. Aronsson, P & Perttu, K. Report 50. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental Research. Section of Short Rotation Forestry. Uppsala. ISSN 0282-6267. ISBN 91-576-4916-2

Riddell-Black, Drusilla, 1997: Clonal variation in heavy metal uptake by willow. Aspects of Applied Biology 49, 1997, Biomass and energy crops.

Riddell-Black, Drusilla, 2000: Personlig meddelelse.

Rytter, Lars, og Ericsson, Tom, 1993: Leaf nutrient analysis in *Salix viminalis* energy forest stands growing on agricultural land. Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde, Vol. 165, s. 349-356.

Rytter, Rose-Marie, and Hansson, Ann-Charlotte, 1996: Seasonal amount, growth and depth distribution of fine roots in an irrigated and fertilized *Salix viminalis* plantation. Biomass and Bioenergy, Vol. 11, Nos 2/3, pp. 129-137, Elsevier Science Ltd., UK.

Skaarup Nielsen 1987 A/S, 3. oktober 1991: Tilbud af 03.10.91.

Skaarup Nielsen 1987 A/S, udateret: Tekniske specifikationer og priser .

Skaarup Nielsen 1987 A/S: Personlige meddelelser.

Storstrøms Amt: Tilsyn med kommunale renseanlæg – 1999.

Stubsgaard, Anneke E., 2001: Danske Pileanlæg (rapport over projekt under Den Grønne Aktionsplan, under udarbejdelse/publicering).

Svalöv Municipality, 1998: Kågeröd recycling project. Svalövs Kommun.

Svalöf Weibull, 1997: *Salix*-sorter. Brochure.

Svalöf Weibull, 1996: Breeding of Willow. Brochure.

Sydjysk Universitetscenter, SUC, udateret: Pilerenseanlæg. Brochure.

Sydjysk Universitetscenter, SUC, Udviklingsafdelingen: Materiale lagt ud på Internettet:  
[http://www.suc.dk/afd/real 1 - 9.htm](http://www.suc.dk/afd/real%201%20-%209.htm)  
samt  
<http://www.suc.dk/gif/oversigt>.

Sørensen, John Bay, Marjatta (1998-2000): Personlige meddelelser.

Verwijst, Theo, 1996: Stool mortality and development of a competitive Hierachy in a *salix viminalis* coppice system. Artikel i Biomass and Bioenergy, Vol. 10 pp. 245-250, 1996.

Willow Wastewater News No. 1, December 1998, Newsletter for the project: " Biomass short rotation willow coppice fertilized with nutrient from municipal wastewater (BWCW)", FAIR5-CT97-3947. Ed.: Larsson, S. Svalöv.

Willow Wastewater News No. 2, March 1999, Newsletter for the project "Biomass short rotation willow coppice fertilized with nutrients from municipal wastewater (BWCW)", FAIR5-CT97-3947. Ed.: Larsson, S. Svalöv.

Willow Wastewater News No. 4, October 1999. Newsletter for the project "Biomass short rotation willow coppice fertilized with nutrient from municipal wastewater (BWCW)", FAIR5\_CT97-3947. Ed. Larsson, S. Svalöv.

Willow Wastewater News No. 5, August 2000. Newsletter for the project "Biomass short rotation willow coppice fertilized with nutrient from municipal wastewater (BWCW)", FAIR5-CT97-3947. Ed. Larsson, S. Svalöv.