

Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov i markdræn



Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne



Naturerhverv.dk
Danmark og Europa investerer i landdistrikterne

Se 'European Agricultural Fund for Rural Development' (EAFRD)

Videncentret for Landbrug 

Dette tilbud er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af DNV for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse.



DNV Business Assurance, Danmark A/S

Godkendt af

X

Approved by

Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov i markdræn

Numerisk modellering

Udarbejdet for Videncentret for Landbrug
Repræsenteret ved Janne Nielsen



Illustration text

Projektleder	Morten Just Kjølby
Projektnummer	11815564
Godkendelsesdato	27 marts 2014
Revision	Version 2.0
Klassifikation	Restricted

© DHI. Alle rettigheder forbeholdt DHI. Ingen dele af dette dokument må uden forudgående skriftlig tilladelse fra DHI reproducere, transmitteres eller på anden måde formidles i nogen form eller på nogen måde uden for modtagerens organisation.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning	1
1.1	Formål	1
1.2	Projekt afvikling	1
1.2.1	Delprojekt 1 – Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov	2
2	Designforhold for mark drænanlæg	3
2.1	Designkriterier for drænanlæg	3
2.2	Afvandingsintensiteten	3
2.3	Jordens drænbare porevolumen	4
2.4	Drænrørs faldforhold	5
2.5	Rørdimensioner og vandhastigheder	5
2.6	Drænudløb	5
3	Model beregninger af hydraulik og sediment transport.....	7
3.1	Hvornår aflejres sediment i mark dræn?	7
3.2	Reduktion af hydraulisk kapacitet i drænrør	7
3.3	Design model for model beregninger til vurdering af sediment transport kapaciteten	8
3.4	Valg af design- og klima nedbør	8
3.5	Model scenarie opsætning	12
3.6	Model scenarier og resultater	13
4	Sammenfatning.....	17
5	Referencer	19

1 Indledning

Dræning af landbrugsarealer omfatter omkring halvdelen af Danmarks areal og sikrer, at landbrugsarealerne kan dyrkes med gode vækstbetingelser for afgrøderne og herved sikre et godt afkast. Det er derfor af afgørende betydning at drænene afleder vandet fra markerne henover året således at det sikres at landbrugsmaskinerne er i stand til at køre på markerne specielt i det tidlige forår og sene efterår samt at afgrøderne har optimale vækstbetingelser ved optimalt vandindhold i jorden.

På baggrund af klimaforandringer forventes større og mere intense regnhændelser hvilket rejser følgende spørgsmål:

- Er det nødvendigt at øge diameteren for at sikre afledning af de forventede større regnhændelser ved klimaforandringer?
- Kan en øget diameter have den konsekvens, at drænet ikke længere er selvrensende og giver anledning til sedimentationsproblemer?

1.1 Formål

Videncentret for Landbrug ønsker i denne forbindelse en vurdering af følgende forhold omkring drænfunktionen ved mark dræn ved en eventuelt ændret praksis.

1. Forhold til sikring af god drænfunktion (generel oversigt, generel viden)
2. Dimensioner, hældninger og tæthed (med udgangspunkt i eksisterende anbefalinger og tommelfingerregler)
3. Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov (med beregningseksempler)
4. Dykkede og frie udløb (med beregningseksempler)

1.2 Projekt afvikling

Vurderingen af ovennævnte forhold vil blive opdelt i to delprojekter, hvor

- delprojekt 1 "Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov" omhandler vurdering af punkterne 1, 2, og 3 med fokus på risikoen for aflejring af sediment og den påkrævede selvrensningseffekt.
- delprojekt 2 "Vurdering af drænfunktionen ved dykket udløb versus frit udløb" omhandler punkterne 1, 2 og 4 hvor fokus vil være lagt på dykkede og frie udløb.

Vurderingen vil blive gennemført baseret på alment kendt viden omkring design af mark drænsystemer.

Denne rapport omhandler rapporteringen af delprojekt 1, "Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov". Der henvises til selvstændig rapport vedrørende rapporteringen af del projekt 2, "Vurdering af drænfunktionen ved dykket udløb versus frit udløb".

1.2.1 Delprojekt 1 – Risiko for aflejring af sediment og rensningsbehov

Der udarbejdes et notat som tager udgangspunkt i en beskrivelse af eksisterende anbefalinger og tommelfingerregler, generel viden på området samt en beskrivelse af vurderingerne gennemført i punkterne 2 og 3 understøttet med modelberegninger. Notatet leveres i et almindeligt sprog egnet til brug på hjemmesider.

Ved vurdering af punkterne 2 og 3 opstilles der en MIKE URBAN model for et dræn system baseret på eksisterende design anbefalinger. Herefter opstilles der 4 model scenarier hvor der ændres på rørdiametrene. Hældninger på rørene og tætheden dræn rørene fastholdes i model scenarierne. I alle model scenarierne er det antaget at der er frit udløb fra markdræn til vandløb. Dette gøres i modellen ved at sætte en vandstandsrand under koten for udløbet.

Modelberegningerne gennemføres med nuværende designregn og klimaregn. Ved beregningerne gennemføres der en vurdering af risikoen for sedimentation i rørene. Der er en forventning om at hvis blot diameteren øges og der kommer den samme tilstrømning til drænrørene vil vandhastigheden blive reduceret hvormed risikoen for sedimentering øges og selvrensningseffekten reduceres. Dog forventes det at de mere ekstreme regnhændelser vil give en øget tilstrømning og dermed have en positiv effekt på selvrensningseffekten.

2 Designforhold for mark drænanlæg

2.1 Designkriterier for drænanlæg

Afvanding kan antage forskellige former afhængig af topografi, grundvandsstand, afgrøder, jordbund, miljøeffekter, infrastruktur og økonomi. I Danmark anvendes åbne grøfter primært i skovbruget eller som hovedledninger på flade arealer, men langt overvejende er der tradition for nedgravede drænrør /3/.

Drænanlæg består oftest af en kombination af hoved- og sideledninger der enten dræner direkte til vandløb eller til mindre grøfter. Målet med et systematisk anlagt drænanlæg er, at tilvejebringe en passende og ensartet afvanding af en mark eller et større område og her udgør de lokale terrænforhold, drænuvløbenes placering og højde som oftest de væsentligste faktorer i planlægningen af et drænanlæg.

Nedenstående afsnit har til hensigt, at give en kortfattet fremstilling af de væsentligste overordnede forhold omkring design af drænanlæg.

2.2 Afvandingsintensiteten

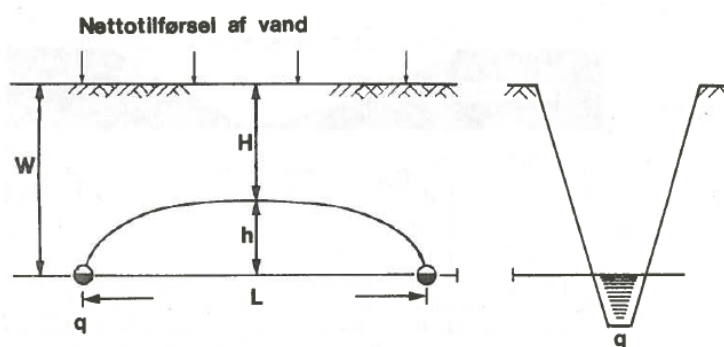
For en given nettonedbør og forudsat at drænen har frit afløb bestemmes et drænanlægs afvandingskapacitet i praksis med den afstand og dybde som drænene placeres i /1/.

Men det som drænenes placering i virkeligheden påvirker, er potentialegradienten, som er den egentlige styrende faktor for afvandingsintensiteten. For en homogen vandfyldt jord kan det illustreres med nedenstående formel:

$$v = K \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

hvor v er strømningshastigheden i jorden, $\Delta h/\Delta L$ er potentialegradienten bestemt af h den hydrauliske trykhøjde og L afstanden mellem drænrør, K er den jordens hydrauliske ledningsevne.

Formlen betyder, at med en tættere drænafstand eller en større drændybde øges potentialegradienten og jorden afdræner hurtigere. Jordens hydrauliske egenskaber påvirker effekten af potentialgradienten der i praksis kan være en meget variabel størrelse fra et jordlag til et andet.



Figur 2.1 Dræn- afstand og dybde

Hvilken drænafstand og drændybde der i praksis vælges bør ideelt set afhænge af afgrødevalg og jordtype og dermed den vandspejlsdybde som ønskes opnået for at afgrøderne kan opnå den optimale rodudvikling. Dette ønske kan dog være begrænset af lokale terræn- og vandspejlsforhold. I sidste ende er det imidlertid en vurdering af hvad der er anses profitabelt.

Drændybder og - afstande afhænger af jordens hydrauliske egenskaber og beskaffenhed i øvrigt, og fastsættes oftest ud fra en skønsmæssig vurdering baseret på erfaring, eventuelt suppleret med en teksturanalyse. Der er også udviklet formler til beregning af drænafstande. I Tabel 2.1 ses vejledende drændybder og drænafstande. Forholdene på de enkelte marker bør altid tages i betragtning, før der drænes.

Tabel 2.1 Vejledende drændybder og drænafstande i forskellige jordtyper.

Betegnelse - jordtyper	Ler [%]	Dybde [m]	Afstand [m]
Meget svær lerjord	over 45	1,0	10 – 12
Svær lerjord (FK6)	25 – 45	1,2	12 – 16
Lerjord (FK5)	15 – 25	1,2	16 – 18
Sandblandet lerjord (FK4)	10 – 15	1,2	18 – 20
Lerblandet sandjord (FK3)	5 – 10	1,2	20 – 25
Sandjord (FK2)	under 5	0,7 – 0,9	25 – 40
Lavmose	-	1,2 – 1,5	10 – 25
Højmose	-	1,0 – 1,2	10 – 40
Jorde med stor hydraulisk ledningsevne	-	1,0 – 2,0	50 – 100

2.3 Jordens drænbare porevolumen

Dræning giver en transportvej for at overskudsvand kan forlade rodzonen. Den mængde vand som potentielt er drænbar afhænger af jordens tekstur og struktur og defineres ofte som jordens luftindhold ved markkapacitet også kaldet jordens drænbare porevolumen.

I forsøg på at opnå et for planterne passende vandindhold i jorden anvendes denne størrelse som et af de væsentligste kriterier til at afpasse afvandingsintensiteten dvs. dræn-dybde og drænafstand. I Danmark anvendes oftest normalt 1 l/s/ha men intervallet fra 0,8-1,2 l/s/ha kan være aktuelt, som dimensioneringsstørrelse, hvilket svarer til en dræningskapacitet på ca. 7-10 mm/døgn /1/.

For at beskytte afgrøderne tilstræbes en afvandingskapacitet, der er i stand til at kunne fjerne vand over markkapacitet fra pløjelaget i løbet af 1 til 2 døgn efter en kraftig nedbørshændelse.

2.4 Drænrørs faldforhold

Det fald drænrør kan anlægges med afhænger af terrænet, og kan variere imellem drænrør og strækninger.

Af Tabel 2.2 fremgår anbefalede minimums fald anvendt under danske forhold /3/.

Tabel 2.2 Oversigt over anbefalede minimumsfald på forskellige typer af drænrør /3/.

Drænledningstype	Minimumsfald (‰)	Fald pr. 100 m
Større hovedledninger	1 ‰	10 cm
Mindre hovedledninger	2 ‰	20 cm
Sideledninger	3 ‰	30 cm

2.5 Rørdimensioner og vandhastigheder

Den maksimale mængde vand et drænrør kan aflede (dets kapacitet) afhænger af dets indvendige diameter, faldet drænledningen er lagt med og hvilken type af rør der er tale om, forudsat at røret har et frit udløb.

I valget af drænrørs dimension skal sikres at røret har den kapacitet som er nødvendig for, at det kan bortlede vandet fra marken til recipienten uden at afgrøden tager væsentligt skade og herudover skal det kunne være selvrensende.

I forbindelse med dimensioneringen af et drænanlægs kapacitet laver rørproducenter for forskellige rørtyper såkaldte nomogrammer. Disse diagrammer gælder for fuldt løbende rør og anvendes til for en given vandføring og fald at finde en rørdimension og en vandhastighed, som dels sikrer en passende kapacitet og derudover sandsynliggør at drænrørene opretholder en selvrensende effekt i røret.

Ved analysen i dette projekt tages der udgangspunkt i producenters standard dimensioner i materiale af PVC.

Rørdiameteren kan varieres mellem 0,050 – 0,180 m, (50, 65, 80, 113, 145, 180 mm). Der vælges i udgangspunkt 80 mm og materiale PVC. Det er valgt at sætte ruheden (Manning) til $M = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, hvilket er en relativ høj ruhed for PVC rør. Dette er valgt for at tage hensyn til at drænrør i markerne består af både ler og PVC samt at man må forvente en øget ruhed med tiden.

2.6 Drænudløb

I et drænanlæg er selve drænudløbet en vigtig del af hele anlægget. Forholdene omkring drænudløb er væsentlige for funktionen af et drænanlæg og kræver løbende opmærksom og vedligeholdelse med henblik på, at grøde, sediment eller skadedyr ikke forhindrer den frie afledning fra drænudløbene.

I del projekt 2, vurderes drænfunktionen ved dykket udløb versus frit udløb herunder i hvilket omfang afvandingen og sedimenttransporten påvirkes af en stigende vandstand i drænudløbet således at drænudløbet i længere perioder er dykket.

3 Model beregninger af hydraulik og sediment transport

3.1 Hvornår aflejres sediment i mark dræn?

Typisk anvendes en grov tilnærmelse for hvornår drænrør er selvrensende. Denne tilnærmelse siger, at vandhastigheden skal være større end 0,2 m s⁻¹ for at lerpartikler forbliver opslemmet og for finsand mindst 0,35 m s⁻¹ /3/. Disse tilnærmelser er ikke anvendelige for detaljerede og nøjagtige beskrivelser af hvornår sediment aflejres.

Sediment aflejres når bundforskydningsspænding (vandets friktion mod partikler på bunden af røret) falder under den kritiske værdi bestemt af Shields lov:

$$\theta = \frac{\tau}{\gamma(s - 1)d} \quad (1)$$

Hvor θ er den dimensionsløse bundforskydningsspænding eller også kaldet Shields parameter. τ er bundforskydningsspændingen; γ er vandets relative massefylde og s er sedimentets relative densitet og d er sedimentets kornstørrelse. Der gælder at sediment aflejres for

$$\theta \leq 0,06 \quad (2)$$

Dvs. for samme strømningsforhold gælder der at jo tungere og større sedimentet er jo lettere aflejres det. Kender man sedimentets størrelse og vægt kan formel (2) bruges til at undersøge om ændrede strømningsforhold vil give anledning til sedimentaflejring. Dette gøres ved at den nye bundforskydningsspænding beregnes og indsættes i formel (2) og det undersøges om **θ bliver mindre end 0,06**.

3.2 Reduktion af hydraulisk kapacitet i drænrør

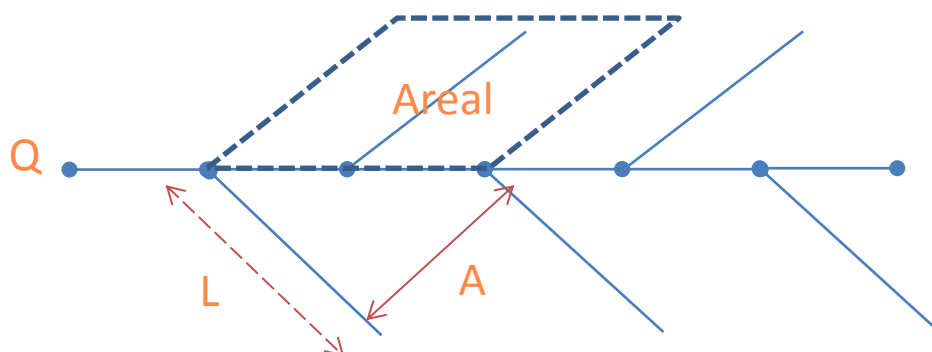
Sedimentaflejring i drænrør reducerer den hydrauliske kapacitet af røret, da sedimentet reducerer arealet af røret og ændrer ruheden af røret, idet aflejret sediment typisk har en større ruhed end drænrøret. Konsekvensen er at røret vil have en dårligere funktion end oprindeligt planlagt og en påbegyndt sedimentaflejring forstærkes derved.

Når vandstanden i vandløb eller grøft bliver så høj at den påvirker udløbet fra drænrøret, vil det få konsekvenser for sedimenttransport og aflejring i drænrøret. Det vil ligeledes medføre en tilbagestuvning i drænrøret, som forøger vanddybden, reducerer vandhastigheden, reducerer sedimenttransport kapaciteten og derved forøger sedimentaflejring, som yderligere medfører en reduktion af drænrørets kapacitet ud over effekten af dykket udløb.

En forøgelse af rørdimensionen alene vil med uændret dræningsbehov lede til lavere hastigheder og dermed reduceret sedimenttransportkapacitet.

3.3 Design model for model beregninger til vurdering af sediment transport kapaciteten

Der vælges følgende design model for dræn anlægget.



Figur 3.1 Model skitse

Sektion	Længde af sidegren, L	Afstand mellem hver sidegren, A	Areal [m ²]	Areal [ha]
1 sidegren	160 (150+10)	20	3.200	0,32

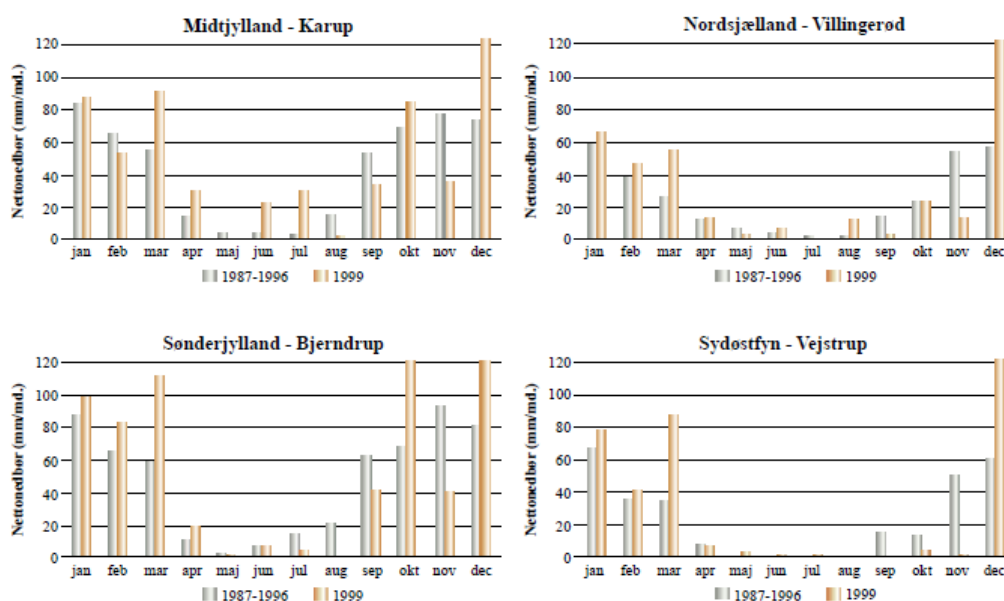
Drænanlægget er opbygget med række sidegrene der hver afvander et markareal. Med en valgt længde på 150 m og en tæthed på 20 m udgør arealet per gren 0,32 ha. Afstanden mellem sidegrenene er afgørende for størrelsen på arealerne som skal drænes gennem hver sidegren.

3.4 Valg af design- og klima nedbør

Ved valg af design- og klimanedbør til modelanalysen af markdræne tages der udgangspunkt i nettonedbøren.

Nettonedbøren er den del af nedbøren som ikke fordamper enten direkte fra overfladen eller via planternes transpiration. En del af nettonedbøren strømmer af til vandløbene enten i form af overfladisk afstrømning eller som drænvandsafstrømning (især af betydning i lerjorde), mens resten siver ned i jorden og danner grundvand.

I nedenstående Figur 3.2 er nettonedbøren målt ved 4 lokaliteter i Danmark hvoraf det fremgår at der er stor variation i nettonedbøren henover året og mellem vest og øst Danmark /5/.



Figur 3.2 Årsvariationen i nettonedbør for 1999 sammenholdt med gennemsnitlige værdier for 1987-1996 ved fire lokaliteter i Danmark /4/

Som det fremgår genereres langt hovedparten af nettonedbørsmængden i vinterhalvåret, hvor nedbørsmængden er forholdsvis stor og den aktuelle fordamning lille. Generelt for de 4 områder gælder, at der i 1999 i forhold til årene 1987-96 er dannet en stor mængde nettonedbør i årets første måneder, mens mængden af nettonedbør i årets sidste måneder udviser store udsving i forhold til de gennemsnitlige værdier.

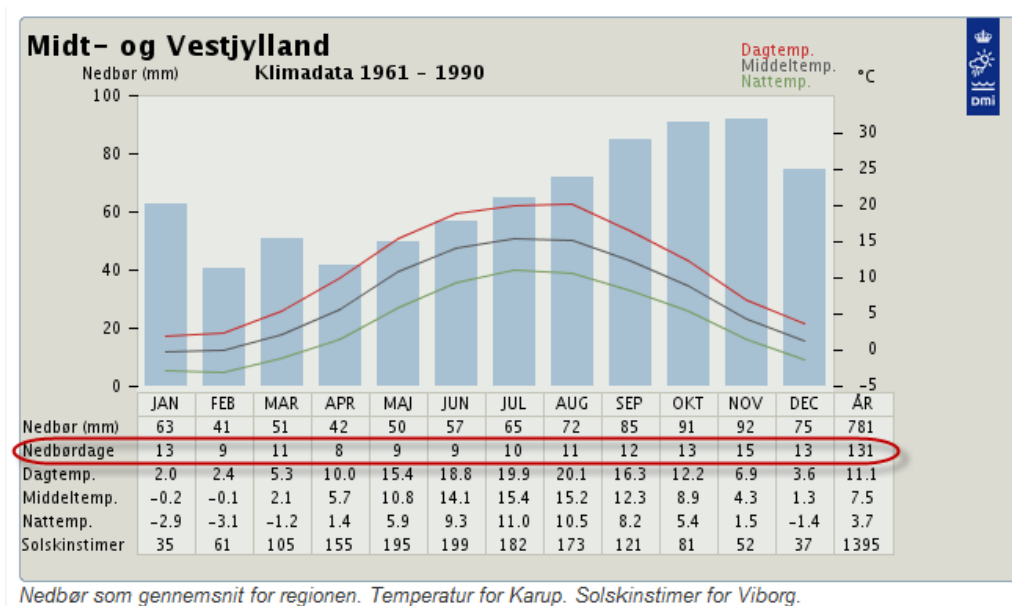
Den målte nettonedbør vist i Figur 3.2 kan listes i nedenstående tabel, Tabel 3.1 /5/.

Tabel 3.1 Nettonedbør i Danmark

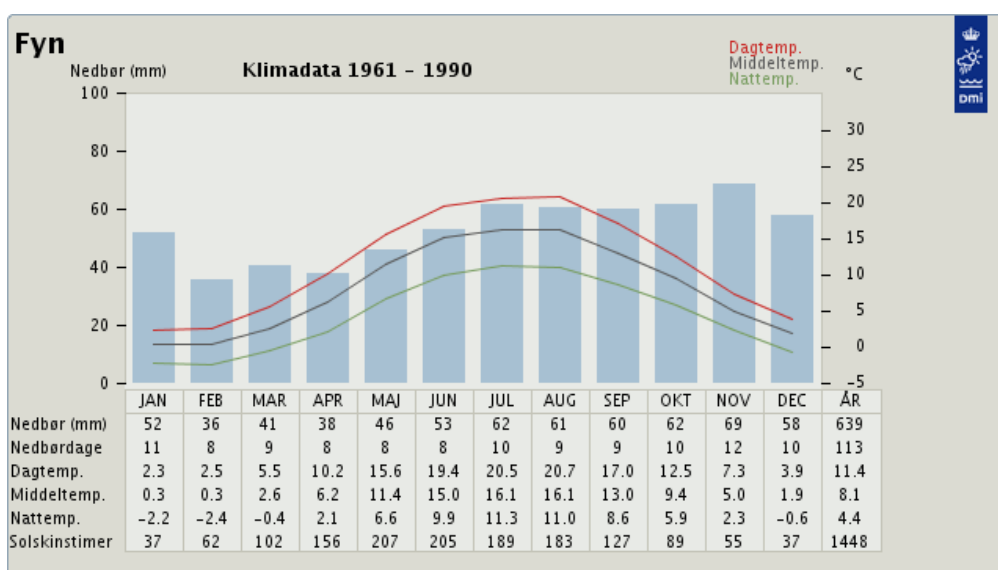
Nettonedbør [mm]	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Tot
Jylland	85	65	60	15	5	5	5	15	50	70	90	80	545
Fyn	65	35	35	10	1	1	1	1	7,5	7,5	50	60	274
Sjælland	60	40	25	7,5	4	3	2	2	7,5	7,5	50	60	286

Det er valgt i dette projekt at analysere sedimenttransportkapaciteten i markdrænene i Jylland for en middel januar og middel juli måned for at få sæsonvariationen inkluderet i analysen.

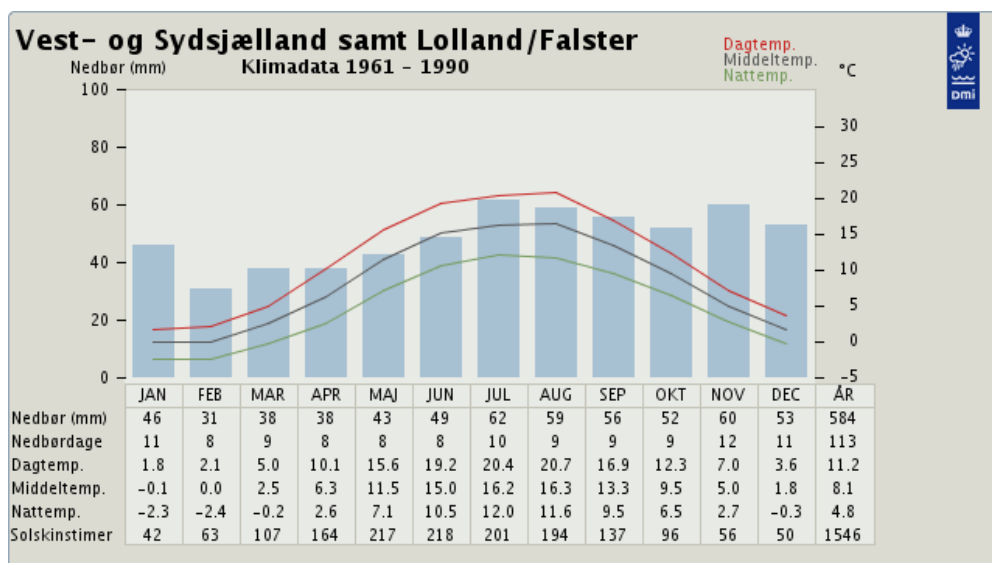
For omsætte en måneds nettonedbør til en intensitet tages der udgangspunkt i klimanormaler for Midt- og Vestjylland. Som det fremgår af nedenstående Figur 3.3 falder nedbøren i januar på 13 dage og i juli på 10 dage /4/



Figur 3.3 Klimanormaler for Midt- og Vestjylland for perioden 1961-1990 /4/



Figur 3.4 Klimanormaler for Fyn for perioden 1961-1990 /4/



Figur 3.5 Klimanormaler for Vest- og Sydsjælland for perioden 1961-1990 /4/

Arealet som der forventes afvandet per gren er sat til 3.200 m² – jf. afsnit 3.3. En omregning af nettonedbøren til en intensitet er vist i nedenstående tabel,

Tabel 3.2 Design og klima regn intensiteter

Område og periode	Nettonedbør, 30 dage [mm]	Klimanormal [dage]	Regn intensitet [l/s] per 3.200 m ² areal	Klima-nedbør (5 år, klima scenario 2100), Faktor: 1,238 [l/s]
Jylland, Januar	85	13	0,2422	0,2998
Jylland, Juli	5	11	0,0185	0,0229
Fyn, Januar	65	11	0,2189	0,2709
Fyn, Juli	1	10	0,0037	0,0046
Sjælland, Jan	60	10	0,2222	0,2751
Sjælland, Juli	2	11	0,0067	0,0083

Regn intensiteten i Tabel 3.2 er beregnet på følgende måde:

$$\text{Regn Intensitet} = 85\text{mm} * 3200\text{m}^2 / 13 \text{ dage} = 0,2422 \text{ l/s.}$$

Klimafaktorerne er bestemt ved scenarie A1B 2100 som er det scenarie der valgt i Danmark i forbindelse med udarbejdelsen af klimatilpasningsplaner.

Klimafaktorerne er opgivet for følgende forskellige gentagelsesperioder.

Tabel 3.3 Klimafaktorer

Gentagelsesperiode	Klima-faktor ved klima scenario 2100
5	1,238
10	1,300
20	1,311
50	1,344
100	1,400

3.5 Model scenarie opsætning

Som følge af klimaforandringer er der en forventning til at markdrænene skal kunne håndtere en større mængde regn – herunder ekstrem regn med højere intensitet samt en forventning om højere vandstande i vandløbene i længere perioder og dermed risiko for reduceret udledningskapacitet. For at analysere disse forhold nærmere gennemføres der MIKE URBAN model beregninger. Der opstilles forskellige model scenarier af det skitserede mark dræn anlæg i afsnit 3.3.

De opstillede scenarier vil indeholde ændringer i:

- Øget rør diameter og regn intensitet som følge af klimaændringer

Data og forudsætninger for basis model scenarie for eksisterende situation er følgende:

- Diameter for alle rør varieret mellem 80, 113 og 145 mm
- Drænrør materiale: Ler/PVC (Manning = $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), Hældning = 1 ‰
- Distance mellem sidegrene er sat fast til 20 m, Frit udløb
- Regn-input er beskrevet som middel månedlig netto nedbør i Jylland og Sjælland for henholdsvis januar og juli.
- Sedimentet er valgt med en kornstørrelse på 0,1 mm og densitet på 2650 kg/m³.

Klimaforandringen er vurderet ved ændring nettonedbøren:

- Øgning af nettonedbøren ved en 5 års gentagelsesperiode ved at gange med en faktor på 1,238 (klima scenario 2100)

3.6 Model scenarier og resultater

I nedenstående Tabel 3.4 konfigurationen af hvert scenarie angivet.

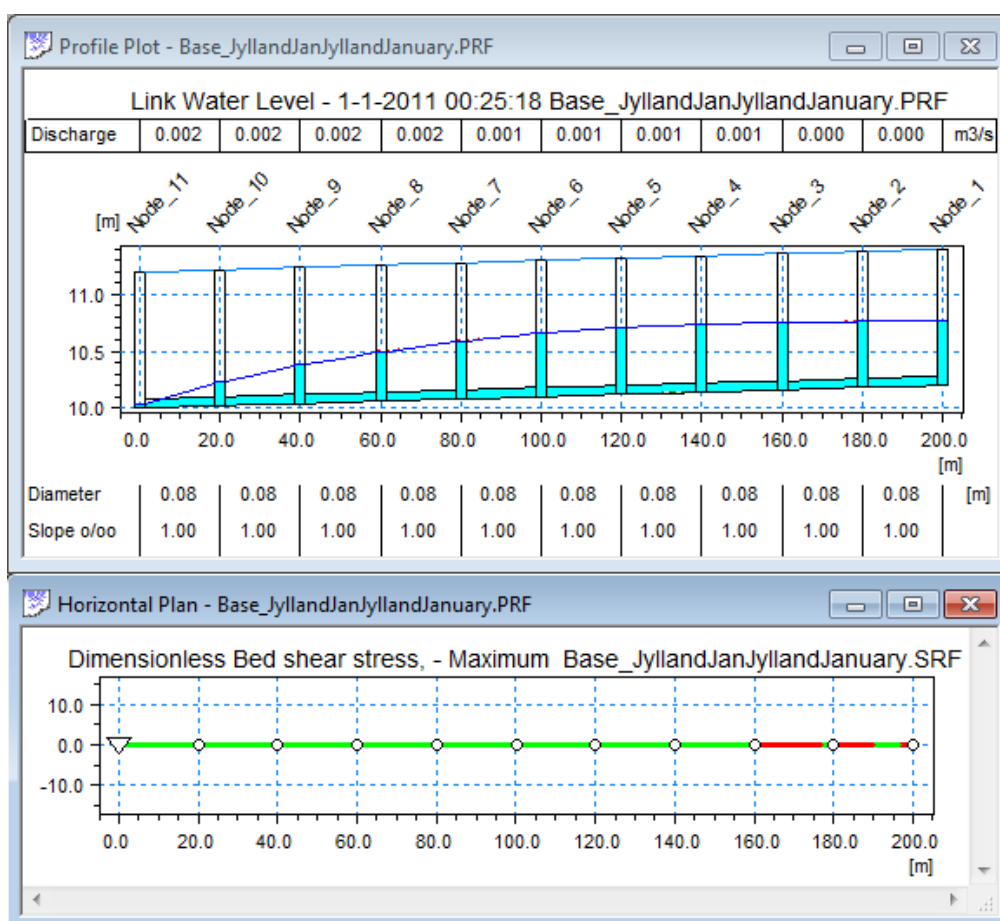
Tabel 3.4 Model scenarier

Scenario Navn	Rørdiameter [mm]	Hældning [promille]	Manning [M]	Regn input	Udløb
Base	80	1	70	1 l/s	Frit
Manning100	80	1	100	1 l/s	Frit
Diam113	113	1	70	1 l/s	Frit
Diam145	145	1	70	1 l/s	Frit
JyllandJan	80	1	70	2.42 l/s	Frit
JyllandJuli	80	1	70	0.19 l/s	Frit
SjællandJan	80	1	70	2.22 l/s	Frit
SjællandJuli	80	1	70	0.07 l/s	Frit
JyllandJan145	145	1	70	2.42 l/s	Frit
JyllandJuliCC	80	1	70	0.23 l/s	Frit
JyllandJan-Drain25	80	1	70	3.03 l/s	Frit

Model scenarierne er beregnet og der er foretaget en vurdering af den dimensionsløse bundforskydningsspænding for hvert enkelt drænrør.

I Figur 3.6 er der givet en illustration af længdeprofilen for basis modellen (Base_JyllandJanuar) med 10 drænrør, rørdiameter = 80 mm og hældning på 1‰.

Desuden er der i figuren vist resultatet af beregningen af risikoen for sedimentation for hvert enkelt drænrør, således at rød illustrerer at den dimensionsløse bundforskydningsspænding er under 0,06 og grøn illustrerer at den er større hvormed der ikke er risiko for sedimentation.

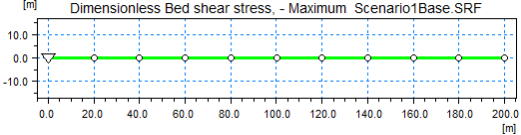
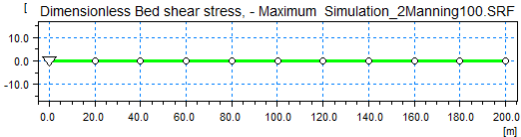
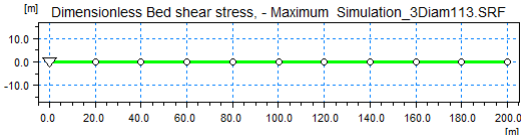
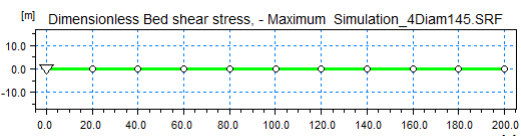
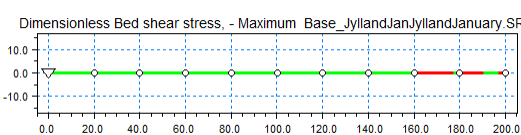
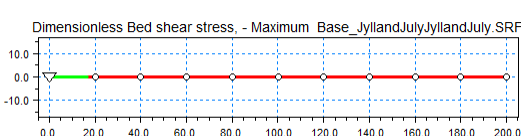
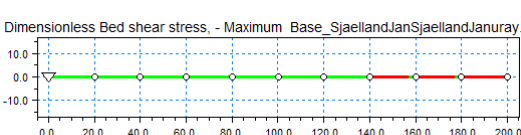
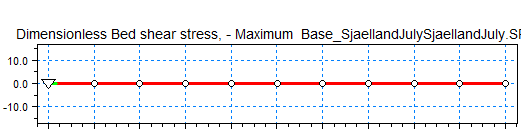
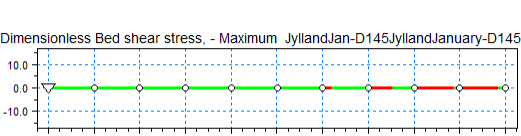


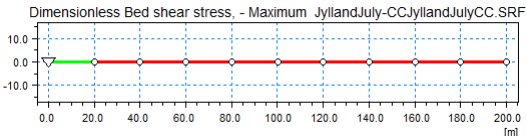
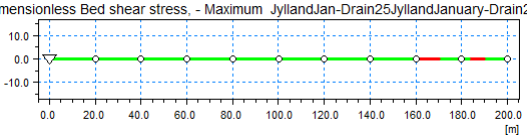
Figur 3.6 Model længdeprofil og den dimensionløse bundforskydningsspænding ($\Theta \leq 0,06$: rød, $\Theta > 0,06$: grøn)

Model resultaterne er summeret for hvert scenarie i Tabel 3.5.

Resultaterne er givet ved en illustration af den beregnede dimensionløse bundforskydningsspænding for hvert drænrør i form af farvekodning, ($\Theta \leq 0,06$: rød, $\Theta > 0,06$: grøn). Der er til hver model scenarie givet en vurdering af risikoen for sedimentation.

Tabel 3.5 Model resultater

Scenario Navn	Resultat, dimensionsløs bundforskydningsspænding ($\Theta \leq 0,06$: rød, $\Theta > 0,06$: grøn)	Vurdering af risikoen for sedimentation
Base		<p>Ingen drænrør har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta > 0,06$</p>
Manning100		<p>Ingen drænrør har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta > 0,06$</p>
Diam113		<p>Ingen drænrør har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta > 0,06$, og Θ mindre end Base</p>
Diam145		<p>Ingen drænrør har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta > 0,06$, og Θ generelt mindre end Base.</p>
JyllandJan		<p>De to mest opstrøms drænrør har en risiko for sedimentation da $\Theta < 0,06$. Drænrørene er fuldtløbende.</p>
JyllandJuli		<p>Alle drænrør (undtagen udløb) har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta < 0,06$. Drænrørene er ikke fuldtløbende.</p>
SjællandJan		<p>De tre mest opstrøms drænrør har en risiko for sedimentation da $\Theta < 0,06$. Drænrørene er fuldtløbende.</p>
SjællandJuli		<p>Alle drænrør har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta < 0,06$. Drænrørene er ikke fuldtløbende</p>
JyllandJan145		<p>De 2 mest opstrøms drænrør er kritiske og de efterfølgende 2 drænrør er delvist kritiske med bundforskydningsspændingen, ($\Theta < 0,06$) Drænrørene er ikke fuldtløbende (50% af deres kapacitet). Forøgelsen af diameteren reducerer som forventet fyldningsgraden i rørene og bundforskydningsspændingen er stadig acceptabel</p>

<p>JyllandJuliCC</p>		<p>Alle drænrør (undtagen udløb) har risiko for sedimentation da den dimensionsløse bundforskydningsspænding i drænrørene er, $\Theta < 0,06$. Drænrørene er ikke fuldtløbende.</p>
<p>JyllandJan-Drain25</p>		<p>De 2 mest opstrøms drænrør er delvist kritiske med $\Theta < 0,06$. Der er oversvømmelse til terræn så dimensionen på drænrørene skal øges.</p>

Den dimensionsløse bundforskydningsspænding er blevet beregnet for de enkelte scenarier for at vurdere risikoen for sedimentering. I alle tilfælde på nær to scenarier er bundforskydningsspændingen tilstrækkelig til at forebygge sedimentation og risikoen for afsætning af materiale vurderes som lille.

I januar (JyllandJan) er der en mindre risiko for sedimentering i de 2 opstrøms drænrør ved en rørdiameter på 80 mm. Risikoen for sedimentering er størst i juli (i den periode med den mindste nettonedbør).

Det observeres i model scenarierne for Jylland og Sjælland at der forekommer fuldtløbende rør i nuværende og fremtidig klima scenarie i januar. I det fremtidige klimascenarie for Jylland i januar registreres der oversvømmelse terræn. Der er ikke observeret fuldtløbende rør i juli. En forøgelse af diameteren løser problematikken relateret til fuldtløbende rør i vinterhalvåret med risiko for stuvning til terræn uden at risikoen for sedimentering øges signifikant.

Beregningerne viser at klimaforandringerne vil øge risikoen for oversvømmelse i vinterhalvåret uden at reducere sedimentationsrisikoen i juli.

4 Sammenfatning

Den hydrauliske funktion af et markdræn anlæg er i nærværende fremstilling blevet undersøgt under påvirkning af klimaforandringer. Der er en forventning om, at klimaforandringerne vil lede til mere ekstreme regnhændelser med et forventelig forøget afvandingsbehov til drænanlægget ved af dræning af et øget vandvolumen og vandføring.

For at sikre optimale vækstbetingelser for afgrøderne ved en optimal afvanding af markerne er det afgørende af drænanlægget har den nødvendige afvandingskapacitet til at bortlede den forventede øgede vandmængde. I nærværende fremstilling er der redegjort for i hvilket omfang ændringer i udformningen af drænanlægget, såsom øget drænrørs diameter, er afgørende for, hvorvidt der er risiko for sedimentation.

Transporten af sediment, der befinder sig i drænrørene, sker på baggrund af den fysiske kraft fra vandet - kaldet bundforskydningsspændingen, som påvirker sedimentpartiklerne. Falder den dimensionsløse bundforskydningsspænding under en kritisk værdi ($< 0,06$), som bl.a. afhænger af sedimentstørrelse, densitet og vandhastighed, kan sedimentet ikke transporteres og sedimentet aflejres.

For at undersøge risikoen for sedimentation ved udvidelse af afstrømningskapaciteten er der opstillet en hydraulisk model for et design markdræn anlæg. Der er lavet en række model scenarier, som er beskrevet i Tabel 3.4. Model scenarierne bygger på en række beregningsforudsætninger om drænrørets ruhed, hældning, indbyrdes afstand og at der er frit udløb samt nedbør under påvirkning af klimaforandring. Et frit udløb er karakteriseret ved at vandstanden i vandløbet altid er under udløbsrørets bundkote hvorved afvandingen uhindret kan strømme fra markerne til vandløbet.

Efterfølgende er der gennemført en række model beregninger af den dimensionsløse bundforskydningsspænding. Resultaterne for de enkelte scenarier er opsummeret i Tabel 3.5. Beregningerne viser at det med den øgede nedbør og afstrømning, som følge af klimaforandringer, er muligt at undgå overskridelse af rørens hydrauliske kapacitet med fuldtløbende rør og i visse tilfælde stuvning til terræn ved at øge diameteren fra 80 mm til 145 mm.

Den beregnede bundforskydningsspænding er tilstrækkelig til at forebygge sedimentation og risikoen for afsætning af materiale vurderes som lille i alle scenarier med undtagelse af de to scenarier for juli, hvor beregningerne viser at der er risiko for aflejring af sediment. Sedimentationsrisikoen er således størst i sommerhalvåret på grund af de lave strømningshastigheder i rørene. Beregningerne viser også, at risikoen øges med en øget drænrørs diameter om sommeren.

Beregningerne relaterer sig til dimensionering af drænrør hvor den faktiske variation af drænafstrømning i tid og sted vil kunne være større end det der er udtrykt i model beregningerne. Periodevist vil afstrømningen nærme sig nul og den vil ved højintensive/ekstreme regn hændelser kortvarigt kunne øges over det niveau beregningerne dækker. Derfor kan vurderingen af bundforskydningsspændingen i sommer perioden være for konservativ da en hurtigere tilstrømning vil have en positiv effekt på sedimenttransport kapaciteten og reducere risikoen for af aflejring af sediment.

5 Referencer

/1/ Jensen, C. R. (1992): Dræning i jordbruget. Kulturteknik III. DSR-Forlag. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. 295 sider.

/2/ By- og Landskabstyrelsen (2010): Virkemiddelkatalog. Til brug for vandplanindsatsprogrammer for: Overfladevand, Grundvand, Sø- og vandløbsrestaurering, Spildevand, Regnvand, Dambrug. By- og Landskabstyrelsen, Miljøministeriet. November 2010. 46 sider.

/3/ Aslyng, H. C. (1980): Afvanding i jordbruget. Kulturteknik III. 3. udgave. DSR-Forlag. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. 228 sider.

/4/ Klimanormaler (2013): Klimanormaler i Danmark,
<http://www.dmi.dk/vejr/arkiver/normaler-og-ekstremer/klimanormaler-dk/>, DMI.

/5/ Grundvandsovervaagning, g-o-2000-kap6.pdf.
<http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g-o-2000-kap6.pdf>,
GEUS. 81 sider.