



FarmTest

Optimering af markvandingsanlæg

Maskiner og planteavl 130





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

Titel: Optimering af markvandingsanlæg
Forfatter: Specialkonsulent Henning Sjørslev Lyngvig, Videncentret for Landbrug
Landskonsulent Søren Kolind Hvid, Videncentret for Landbrug
Energi- og teknikrådgiver Gunnar Schmidt, Byggeri & Teknik I/S
Teknisk hjælp: Specialkonsulent Rita Hørfarter, Videncentret for Landbrug
Layout: Connie Vyrtez/Lisbeth A. Larsen, Videncentret for Landbrug
Oplag: 40 stk.
Udgiver: Videncentret for Landbrug
Agro Food Park 15, Skejby
8200 Aarhus N
Telefon 8740 5000 | Fax 8740 5010
E-mail farmtest@vfl.dk
www.farmtest.dk
ISSN 1601-6777

Optimering af markvandingsanlæg

Henning Sjørsløv Lyngvig, Videncentret for Landbrug

Søren Kolind Hvid, Videncentret for Landbrug

Gunnar Schmidt, Byggeri & Teknik I/S



VIDENCENTRET FOR LANDBRUG

INDHOLD

Indhold	4
Sammendrag.....	5
1. Baggrund og formål.....	6
Baggrund	6
Formål.....	6
2. Markvanding og vandingsregnskab	7
Bestemmelse af vandingsbehovet	7
Tildeling og prioritering af vand ved markvanding.....	8
Dråbestørrelse og vandingsintensitet	10
Beregning af vandingskapacitet på ejendomsniveau	11
Vandingsregnskab - et vigtigt redskab til styring af markvanding	12
Økonomi og merudbytter ved markvanding	12
3. Vandingsanlæg	18
Flytteafstanden – den effektive arbejdsbredde	18
Opbygning af anlæg	18
Dimensionering af anlæg.....	19
Tryktabsberegningen - et dimensionerings- og planlægningsværktøj	20
Boringer	21
Pumper	21
Jordledningsrør og hydranter	22
Vandingsmaskiner	22
Kanoner - fordeling af vandet	24
Test af vandfordelingen på de tre ejendomme.....	27
Maskiner med lange slanger	28
4. Kontrol af ydelsen på bestående anlæg.....	32
5. Cases	35
Case 1 - casebeskrivelse	35
Teknisk optimeringsplan for case 1	39
Økonomi i optimering af case 1	40
Case 2 - casebeskrivelse	42
Teknisk optimeringsplan for case 2.....	45
Økonomi i optimering af case 2.....	46
Case 3 - casebeskrivelse	48
Optimeringsplan for case 3.....	52
Økonomi i optimering af case 3.....	55
6. Konklusion.....	57
Overslagspriser, bilag 1	58
Tryktabstabeller, bilag 2	59
Dysediagram og formelsamling, bilag 3	62
Vejledning for optimering af et markvandingsanlæg, bilag 4	64
Litteraturliste.....	66

SAMMENDRAG

FarmTesten "Optimering af markvandingsanlæg" har haft til formål at beskrive, hvordan en teknisk optimering af et vandingsanlæg foretages. Det har været en målsætning at samle den nødvendige viden for at

- vurdere vandingsbehovet på ejendomme
- måle og beregne et eksisterende vandingsanlægs ydelse og tryk
- beregne og udføre en teknisk optimering, på baggrund af den nuværende ydelse og behovet
- foretage en økonomisk sammenligning af udgiften til optimeringen og den mulige gevinst.

I FarmTesten er vandingsanlæggene på tre landbrug beskrevet som cases. De tre landbrug er valgt ud fra, at der skulle være et optimeringsbehov, og at der skulle være tale om tre forskellige typer landbrug. De tre cases er:

- Case 1 - Et planteavlbrug med 25 pct. kartofler og 75 pct. vårbyg
- Case 2 - Et svinebrug med fokus på korn til foder
- Case 3 - Et kvægbrug med en stor del af grovfoder i markdriften

Fælles for alle tre landbrug var, at vandingsanlæggene ikke kunne yde de 2 m³ vand pr. time, pr. ha, som der normalt anvendes, når der dimensioneres efter ved 20 timers drift. Fælles var også, at vandfordelingen var for dårlig. I flere tilfælde meget dårlig. Denne viden bør føre til, at der fokuseres på, hvordan vandfordelingen måles og forbedres.

Der er beregnet tekniske optimeringer af ejendommenes vandingsanlæg. Både til optimale og til alternative niveauer. Disse optimeringer er beskrevet og prissat. For eksempel case 2 - her er den økonomiske gevinst beregnet og holdt op imod den årlige omkostning ved tre forskellige optimeringsforslag. Det mulige merudbytte i korn er vurderet til at være 23 hkg pr. ha ved fuld optimering. Der regnes på optimering til 35, 45 og 60 m³/h.

Beregningerne viste, at det rigtige valg afhænger af, hvilket prisniveau på afgrøderne der regnes med. Ved en kornpris på 120 kr./hkg var det økonomisk optimale niveau 45 m³/h. Ved en kornpris på 150 kr./hkg var det økonomisk optimale niveau 60 m³/h.

FarmTesten indeholder en grundig beskrivelse af, hvordan optimeringerne af anlæggene er udført, samt de mest nødvendige tryktabstabeller, overslagspriser, formelsamling mv.

Dårlig vandfordeling er et af hovedkritikpunkterne. Der vil i 2014 blive lavet en opfølgende FarmTest, der sætter fokus på optimering af spredbilledet ved forskellige kanoner.

1. BAGGRUND OG FORMÅL

Historisk set har investering i et vandingsanlæg skullet ses over en relativ lang tidshorison, for at være rentabel. I årene 2010, 2011 og 2012 har behovet - og hermed interessen - for markvanding været lille på grund af relativt meget nedbør de fleste steder.

Modsat har eksempelvis 1992, 1993 og 2013 været år med store vandingsbehov. 2013 bød på en meget tør sommer, hvor der i visse områder af Danmark stort set ingen nedbør faldt. Eksempelvis led græs under vandmangel i en sådan grad, at udbytterne blev reduceret væsentligt. De vejrmæssige forskelle mellem disse år illustrerer, at rentabiliteten ved investering i et markvandingsanlæg vil være endog meget varierende.

Baggrund

Når den gennemsnitlige hvedepris i perioden 2000 til 2007 sammenlignes med 2007 til 2013, kan man se, at prisniveauet for hvede gennemsnitligt er steget med over 50 pct. Ved at sammenligne prisniveauet for kartofler i samme perioder, ses det, at der har været en prisstigning på ca. 20 pct. De højere afgrødepriser har rykket ved den gennemsnitlige rentabilitet i markvanding.

Samtidig er der i perioden fra 2007 til 2013 investeret mindre end normalt i landbruget, på grund eftervirkningerne af finanskrisen. Derfor forventes der at være et efterslæb vedrørende investering i markvanding. Både i forhold til vedligeholdende investeringer og i forhold til en optimering af eksisterende vandingsanlæg med baggrund i det højere afgrødeprisniveau.

Formål

FarmTesten skal give et overblik over emnet dimensionering og optimering af markvandingsanlæg og generere et værktøj, som gør det muligt at bestemme en given ejendoms vandingsbehov og samtidig gøre det muligt at vurdere det eksisterende vandingsanlægs ydeevne. Herved kan optimeringspotentialet opgøres og anvendes som beregningsgrundlag for rentabiliteten i den mulige optimering.

Tak

Tak for godt samarbejde til de tre FarmTest-værter: Lars Mathiassen ved Brande, Søren Johnsen ved Give og Ole Midtgård Rasmussen ved Ribe.

Desuden tak til Peter Birk Christiansen fra Scanregn A/S samt Peter Flø Pedersen og Steen Alexandersen fra FASTERHOLT Maskinfabrik A/S, ligeledes for et godt samarbejde.

2. MARKVANDING OG VANDINGSREGNSKAB

Bestemmelse af vandingsbehovet

Nedbørsmængden varierer i Danmark. Historiske data viser, at vi i gennemsnit får 662 mm nedbør pr. år, men at der er stor variation mellem de egne, der får mindst nedbør og de egne, der får mest. Eksempelvis får Samsø og Storebæltskysten i gennemsnit kun 500-550 mm pr. år, hvor det centrale Sønderjylland får over 800 mm pr. år.

Ud over nedbørsmængderne er jordens vandholdende evne (markkapacitet) meget betydende for vandingsbehovet. Markkapaciteten beskriver jordens evne til at holde på vand og bestemmes af jordens tekstur. Kun en del af markkapaciteten er plantetilgængelig.

Det tilgængelige vand findes i porer med en størrelse på 0,2-30 µm (1 µm = 1 mikrometer = 0,001 mm). Antallet af porer i denne størrelse bestemmer altså det tilgængelige vand på en given jordtype. Sandjorder har en relativ grov tekstur, hvorfor mængden af tilgængeligt vand er mindre end på lerjorder.

En tredje faktor, der er betydende, er den effektive roddybde. Den effektive roddybde defineres som den dybde, hvor planten henter 80-90 pct. af dens næring. Den effektive roddybde er mindre på sandjord end på lerjord.

Tabel 1. Jordtypers plantetilgængelige vandmængde og effektive roddybde. Der er tale om typetal (typiske værdier), da variationen indenfor et JB nr. kan være stor

JB nr.	Maksimal effektiv roddybde (cm)	Plantetilgængelig vandmængde (mm)
1	50	60
2	60	120
3	60	90
4	60	115
5	90	150
6	90	170
7	90	175
8	90	190

Herunder vises forskellige afgrøders roddybder. Forskellene er med til at forklare, hvorfor nogle afgrøder er mere tørkefølsomme end andre.

Tabel 2. Effektiv roddybde sidst i vækstperioden for forskellige plantearter på let lerjord (typetal)

25 cm	50 cm	75 cm	100 cm
Salat	Jordbær	Gulerødder	Vinterrug
Løg	Bønner	Græs (frø og hø)	Vinterhvede
Spinat	Tidlige kartofler	Sildige kartofler	Kålroer
	Kål	Vårrug	Bederoer
	Ært	Vårhvede	Gul sennep
	Græs (kortklippet)	Havre	Raps
		Byg	Asparges
			Lucerne

Det betyder, at planter på sandjord har mindre plantetilgængeligt vand til rådighed end planter på lerjord. Denne sammenhæng ses af nedenstående tabel.

Tabel 3. Jordtypers roddybde samt plantetilgængeligt vand. Markkapaciteten beskriver, hvor meget vand marken totalt kan indeholde

Jordtype	Roddybde	Markkapacitet	Tilgængeligt	Utilgængeligt
Let sandjord	0 - 50 cm	64	51	13
Sandjord	0 - 50 cm	94	68	26
Lerjord	0 - 100 cm	260	142	118
Svær lerjord	0 - 100 cm	390	156	234
Marsk (Ribe)	0 - 100 cm	498	228	270

Nogle afgrøders roddybde varierer ydermere i forhold til forskellige jordtyper. Det ses i nedenstående tabel.

Tabel 4. Forskellige afgrøders roddybde i cm på JB 1-7

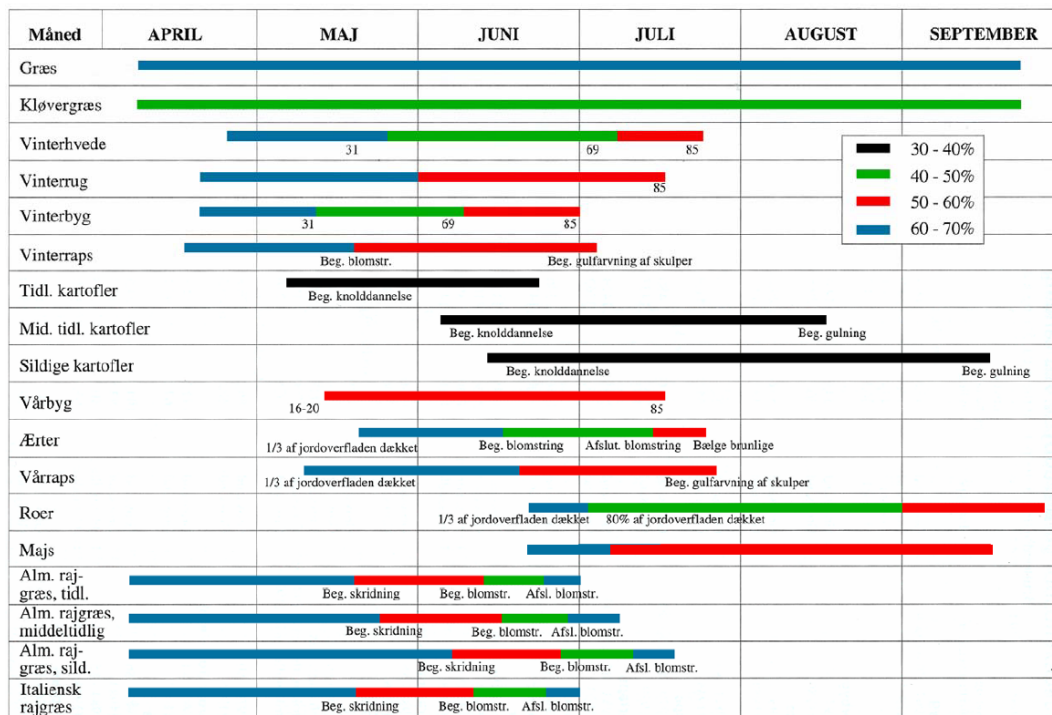
Jordtype	Græs, kort	Græs, lang	Vinterhvede	Vårbyg	Kartofler	Bederøer
1	50	50	50	50	50	50
2	50	75	75	75	75	75
3	50	50	50	50	50	50
4	50	100	100	75	75	100
5	50	100	100	75	75	100
6-7	50	100	100	75	75	100

Tildeling og prioritering af vand ved markvanding

Ved vanding skal det sikres, at der ikke tilføres mere vand end jorden kan tilbageholde. Ellers vil noget af det tilførte vand udvaskes og i processen trække næringsstoffer med sig. Desuden medfører overdreven vanding unødvendige energiomkostninger, og forsinker vanding af andre afgrøder med et samtidigt vandingsbehov.

Planterne kan som tommelfingerregel maksimalt udnytte 50 pct. af den tilgængelige vandmængde i jorden uden udbyttetab. Når dette punkt nås, begynder planternes vækst at blive hæmmet. Derfor skal prioriterede afgrøder vandes, når 50 pct. af det tilgængelige vand er brugt. Optimal vanding kan ikke foretages uden vandingsregnskab (se næste afsnit).

Investering i markvanding er som regel kun rentabel på lettere jorder, medmindre der er tale om specialafgrøder. Nedenstående tabel viser forskellige afgrøders tørkefølsomhed, samt hvornår de enkelte afgrøder har vandingsbehov.



Figur 1 viser de perioder, hvor afgrøderne bør holdes velforsynet med vand. Signaturerne angiver, hvor stor en procentdel af det plantetilgængelige vand, der må være opbrugt, før der vandes. Der bør vandes ved det lavest angivne underskud i perioder med stor fordampning. Tabellen ved bjælkerne angiver planternes udviklingstrin.

Eksempel 1:

Vi vælger en mark med JB 1 jord. JB 1 jord har en tilgængelig vandmængde på 50-60 mm. Vanding bør ske, før 50 procent af den tilgængelige vandmængde er fordampet. Det vil sige, når der er sket en fordampning på 25-30 mm. Derfor skal marken tildes 25-30 mm, når vandingsregnskabet anbefaler det. En vandmættet jord kan forsyne afgrøden i 6-7 dage. Herefter skal der vandes igen, alt efter fordampning og eventuel nedbør.

Den ønskede tildeling skal herefter tillægges det forventede tab af vandingsvand, som især afhænger af vindforholdene. Det nødvendige tillæg vises i nedenstående tabel.

Tabel 5. Tab under vandning. Kolonnen "stor spredning" svarer til en vandingsmaskine

Vejrforhold	Stor spredning
Normal sommerdag, vindhastighed på 2-5 m/s 20-25 °C, 50 pct. relativ fugtighed (RF)	< 5 pct.
Varm, tør og blæsende sommerdag, vindhastighed på 5 m/s 25-30 °C, 30 pct. RF	5-10 pct.
Nat, svag vind	< 2 pct.

Som følge af tab af vandingsvand under vandning bør den planlagte vandmængde tillægges op til 10 pct. vand, jævnfør **Tabel 5**. Dog er der en øvre grænse på 30-35 mm pr. time ved vandning med én stor kanon (se næste afsnit om vandingsintensitet).

Dråbestørrelse og vandingsintensitet

Vandingsvandet må ikke tilføres hurtigere, end at jorden kan nå at optage det. Desuden skal dråbestørrelsen tilpasses, så der ikke sker skade på jorden og planterne under vanding. 60 m flytteafstande (afstanden mellem vandingssporene) har i mange år været standard og er stadig det mest almindelige.

Vandingsintensitet er et udtryk for, hvor hurtigt vandmængden tilføres og opgives i mm vand pr. time. Et vandingsanlægs intensitet kan måles ved at måle nedbørsmængden, når anlægget vander på samme sted i en time. En enklere måde er at beregne intensiteten. Dette udføres ved at dividere anlæggets timeydelse med det areal, som fordelersystemet vander, når fordelersystemet (bom eller kanon) er stationært. Ved maskiner med vandingskanon kan vandingsintensiteten beregnes med følgende formel:

$$\frac{\text{vandmængde, m}^3/\text{h} \times 1000 \times 360}{(\text{kastelængde}/2)^2 \times 3,14(\pi) \times \text{sektorvinkel, grader}}$$

Erfaringsmæssigt vil en vandingsintensitet på 35 mm pr. time ved vanding på almindelige jorder og i flad til let kuperet terræn sjældent give anledning til overfladeafstrømning af betydning. Vanding i mere kuperet terræn eller med højere vandingsintensitet vil almindeligvis bevirke nogen overfladeafstrømning, alt efter afgrødens og overfladens art.



Billede 1. Kanonvanding medfører en høj vindfølsomhed, men har en relativ lav vandingsintensitet. Foto: Henning Sjørsløv Lyngvig.

I landbruget vandes der stort set kun med vandingsmaskiner, der tildeler vandet med én stor kanon. Sådanne vandingsmaskiner er billigere at producere end vandingsmaskiner udstyret med en bom. Til gengæld er vandfordeling med én stor kanon følsom over for vindpåvirkning.



Billede 2. Bomvanding giver lille vindfølsomhed, men en relativt høj vandingsintensitet. Foto: Rodney Industries.

Bomvanding anvendes stort set ikke til markvanding. Ved bomvanding fordeles vandet ens i hele bredden. Da det forventes, at vand til markvanding bliver en knap ressource, kan det komme på tale at anvende bomvanding for at få større nyttevirkning af den vandmængde, man har til rådighed.

Ulemperne ved bomvanding er, at vandingsintensiteten er højere end ved vanding med en vandingsmaskine med kanon. Det skyldes, at bommens sprede-fordelersystem fordele vandingsvandet på et betydeligt mindre samtidigt areal end en vandingskanon. En anden betydelig ulempe er, at det tager længere tid at flytte en vandingsmaskine med bom, end en som har vandingskanon. Dertil kommer, at anskaffelse af vandingsbommen medfører en betydende merinvestering, sammenlignet med at vande med traditionel vandingskanon.

Den mulige skade ved høj vandingsintensitet varierer stærkt. Kamdyrkede afgrøder er mest følsomme, da kammen kan skades ved for hård vanding. Modsat er veletableret græs meget lidt følsom.

Beregning af vandingskapacitet på ejendomsniveau

En afgrøde fordamper typisk 1-5 mm vand pr. dag. Nedenstående tabel viser fordampningen i forhold til forskellige vejrforhold.

Tabel 6. Fordampning pr. dag ved forskellige vejrtyper fra afgrøder med fuldt bladareal og hvor fordampningen ikke er begrænset på grund af vandmangel

Vejrtype	Fordampning
Bygevejr, høj luftfugtighed	1 mm vand pr. døgn
Overskyet, høj luftfugtighed	2 mm vand pr. døgn
Let skyet, ret tør luft og middeltemperatur	3 mm vand pr. døgn
Skyfrit, tør luft og høj temperatur, blæsende	4 mm vand pr. døgn
Skyfrit, ekstremt tørt og høj temperatur, blæsende	5 mm vand pr. døgn

Dimensioneringsmæssigt regnes der normalt med 4 mm vand pr. ha, pr. døgn eller 40 m³ vand pr. døgn, pr. ha. Udregnet efter 20 timers drift svarer det til 2 m³ vand pr. time, pr. ha for landbrugsafgrøder. For grøntsager dimensioneres der efter 3 m³ vand pr. time, pr. ha.

Ved dimensionering af vandingsanlæg til landbrugsafgrøder er det ikke altid nødvendigt at kunne forsyne hele arealet med 2 m³ vand pr. time. Man kan nøjes med at dimensionere efter det antal hektar i sædskiftet, der kræver samtidig vanding.

Hvis man for eksempel har både korn, som har et tidligt vandingsbehov, og majs der har et sent vandingsbehov i sædskiftet, kan man nøjes med at dimensionere anlægget efter det maksimale antal hektar, der skal have vand samtidigt.

Eksempel 2: Beregning af nødvendig ydelse ved samtidig vanding af JB 1 jord

$$\text{Beregning af timeydelse : } \frac{30 \text{ ha} \times 40 \text{ m}^3 \text{ vand / døgn / ha}}{20 \text{ driftstimer pr. døgn}} = 60 \text{ m}^3 \text{ vand i timen}$$

Vandingsbehovet kan dog ikke alene vurderes ud fra markens JB nr. i markplanen, men kræver jordprøver, da underjorden ikke nødvendigvis har samme sammensætning som overjorden.

JB 3 jord adskiller sig ofte ikke meget fra JB 1. I virkeligheden er behovet for 4 mm uafhængig af jordtypen i en tør periode, men rentabiliteten i at have en høj vandingskapacitet bliver dårligere, jo mindre vandingsbehovet er. Så dimensionering skal ikke alene relateres til JB nr., men til vandingsbehov og vandingsøkonomi.

Vandingsregnskab - et vigtigt redskab til styring af markvanding

Vandingsregnskab bør føres for at holde regnskab med jordens vandreserve. Herved kan markvandingen planlægges og styres. Vandregnskab online er et vigtigt redskab til dette. Se mere på www.LandbrugsInfo.dk (LandbrugsInfo/Planteavl/Vanding).

Økonomi og merudbytter ved markvanding

Økonomien i etablering af markvanding - eller i optimering af et eksisterende markvandingssystem - afhænger af en række forhold:

- Vandingsbehov ved optimal markvanding
- Vandmængde til rådighed (vandingstilladelse)
- Vandingskapacitet og andel af vandingsbehov, der kan dækkes.
- Merudbytter for markvanding og værdi af merudbytterne
- Variable vandingsomkostninger
- Dækningsbidrag for markvanding (før faste omkostninger)

Vandingsbehov ved optimal markvanding

Vandingsbehovet i en afgrøde afhænger af jordens bonitet og dermed rodzonekapaciteten, nedbøren i vækstsæsonen og fordampningen fra jord og afgrøde. Da nedbør og vejrforhold i øvrigt varierer meget fra år til år, er der også en stor variation i vandingsbehovet fra år til år. Vandingsbehovet defineres derfor normalt som det gennemsnitlige behov set over en lang årrække på 20-30 år. Statens Planteavlfsforsøg har i 1981 publiceret normalværdier for vandingsbehov, afstrømning (reinfiltration) og nettovandbehov ved forskellig rodzonekapacitet i beretning nr. S 1537.

Normalværdierne for vandingsbehov er beregnet på grundlag af data for perioden 1957-1976, dvs. for en 20-årig periode. Videncentret for Landbrug, Planteproduktion har beregnet vandingsbehov på grovsandet jord (JB 1) for perioden 1987-2010 (24 år). Efter den første opgørelse af vandingsbehov i 1981 har det vist sig, at fordampningen fra afgrøder med fuldt bladareal blev undervurderet med ca. 10 pct. Der er også en anden markant forskel mellem de to opgørelser af vandingsbehov. I den seneste periode (1987-2010) har vandingsbehovet i forsommeren været markant større end i den tidligere opgørelsesperiode. Til gengæld har vandingsbehovet i juli-august været mindre.

På baggrund af både opgørelsen af normalværdier for vandingsbehov fra 1981, der dækker perioden 1957-1976 og opgørelsen for perioden 1987-2010, er der i **Tabel 7** udarbejdet nye værdier for det sandsynlige gennemsnitlige vandingsbehov i en række afgrøder afhængigt af rodzonekapacitet.

Tabel 7. Sandsynlige gennemsnitlige vandingsbehov i landbrugsafgrøder afhængig af rodzonekapacitet, mm pr. år. Delvis efter beretning nr. S 1537 og Markvandingsbehov 1987-2010, Videncentret for Landbrug

Afgrøde	Rodzonekapacitet, mm						
	60	70	80	90	100	110	120
Vårbyg	100	95	90	85	80	70	60
Havre	100	95	90	85	80	70	60
Vinterbyg	100	95	90	85	80	70	60
Vinterhvede	130	125	120	115	110	100	90
Triticale	130	125	120	115	110	100	90
Vinterrug	100	95	90	85	80	70	60
Kernemajs	80	75	70	65	60	50	40
Vinterraps	110	105	100	95	90	80	70
Markært	100	95	90	85	80	70	60
Kartofler, middel tidl.	110	105	100	95	90	80	70
Kartofler, sene	100	95	90	85	80	70	60
Helsæd, vårbyg	100	95	90	85	80	70	60
Græs u. kløver	180	170	160	150	140	120	100
Kløvergræs	180	170	160	150	140	120	100
Silomajs	80	75	70	65	60	50	40

Det skal bemærkes, at vandingsbehovet er udtryk for den mængde vandingsvand, der skal tilføres for at sikre næsten fuld fordampning fra afgrøden frem til og med begyndende modning. I praksis er vandingsbehovet opgjort ved at tilføre vand hver gang vandbalanceunderskuddet er 50 pct. af rodzonekapaciteten, og der ikke er udsigt til nedbør af betydning de nærmeste 2-3 dage.

Nettovandbehovet (vandingsbehov minus merafstrømning) er udtryk for den merfordampning, som vanding med de angivne vandmængder vil medføre. Nettovandbehovet eller merfordampningen er i gennemsnit ca. 70 pct. af vandingsbehovet.

Vandmængde til rådighed

I nogle kommuner afhænger størrelsen af vandingstilladelsen af jordtypen. Der gives typisk 1.000 m³ pr. ha til grovsandet jord (JB 1). Til øvrige jordtyper tildeles typisk 750 m³ pr. ha. Kommunerne i det tidligere Ringkøbing Amt tildeler typisk 1.200 m³ pr. ha.

Ved beregning af økonomien i etablering af markvanding eller optimering af markvanding skal der tages udgangspunkt i enten vandingsbehovet eller vandmængden, der er til rådighed, afhængig af hvilken der er mindst.

Vandingskapacitet og andel af vandingsbehov, der kan dækkes

Det har traditionelt været almindeligt at projektere med en vandingskapacitet på 4 mm pr. ha med samtidigt vandingsbehov. Fra afgrøder med fuldt bladareal kan fordampningen være omkring 5 mm pr. dag i en varm og solrig periode. Derfor er en vandingskapacitet på 4 mm pr. dag ikke altid tilstrækkeligt til at dække afgrødernes vandingsbehov fuldt ud.

I en længerevarende tørkeperiode er den nødvendige vandingskapacitet, der skal være til rådighed for at kunne vande optimalt, uafhængig af jordens bonitet og dermed rodzonekapaciteten. Men jo større rodzonekapacitet, jo sjældnere forekommer det, at der er brug for en høj vandingskapacitet på 4-5 mm pr. dag. Det vil ofte være for dyrt at projektere efter altid at kunne vande efter afgrødernes behov, med mindre der er tale om højværdi-afgrøder. Hvad der er den økonomisk optimale vandingskapacitet kan ikke forudsiges med sikkerhed på forhånd, da det afhænger af vejrforholdene i de kommende år.

Som grundlag for beregningerne i denne rapport er antaget, at en vandingskapacitet på 4 mm pr. dag, pr. ha giver mulighed for at dække 90 pct. af afgrødernes vandingsbehov som gennemsnit over en årrække. 4 mm pr. dag, pr. ha svarer til 2 m³ pr. time, pr. ha ved en driftstid på vandingsanlægget på 20 timer pr. døgn. Man skal være opmærksom på, at det stiller ret store krav til flytning af vandingsmaskinen at opnå så høj driftstid.

Table 8. Vejledende sammenhæng mellem vandingskapacitet og andel af en afgrødes vandingsbehov, der kan dækkes. Der er forudsat en effektiv driftstid på vandingsanlægget på 20 timer pr. døgn. I et sædskifte med afgrøder, der har vandingsbehov i forskellige perioder, er beregningen af dækningen af vandingsbehov mere kompleks. Videncentret for Landbrug har udviklet et regneark til beregning af dækning af vandingsbehov i sædskifter

Vandingskapacitet m ³ pr. time, pr. ha	Dækning af vandingsbehov som gennemsnit over en årrække, pct.
2,0	90
1,8	85
1,6	80
1,4	70
1,2	60
1,0	50
0,8	40
0,6	30
0,4	20
0,2	10

For at beregne økonomien i markvanding er det nødvendigt at vurdere, i hvilken udstrækning en given vandingskapacitet kan dække afgrødernes vandingsbehov, er der anført nogle vejledende sammenhænge mellem vandingskapacitet og andel af en afgrødens vandingsbehov, der kan dækkes.

Merudbytte for markvanding

Merudbyttet for markvanding varierer meget. Det afhænger af afgrøden. Der er også forskelle mellem sorterne. Det afhænger desuden af vækstfasen. De største merudbytter for vanding af afgrøder til modenhed opnås typisk, hvis tørken indtræffer op til begyndende blomstring, under blomstringen eller i begyndelsen af kernefyldningsfasen. Merudbyttet afhænger desuden af graden af tørkestress. Jo større daglig fordamning, jo større merudbytte vil der typisk være for markvanding.

Desuden afhænger merudbyttet af rodzonekapaciteten (jordens bonitet). Jo større rodzonekapacitet, jo mindre merudbytte vil man typisk opnå pr. mm vandingsvand. Det skyldes, at kraftig og meget tabsgivende tørkestress indtræffer langsommere, jo større rodzonekapaciteten er.

Det er også veldokumenteret, at merudbyttet afhænger af det udbyttensniveau, der opnås ved god vandforsyning. Den generelle udbyttestigning, der er opnået over en lang årrække på grund af nye sorter med højere udbyttepotentiale og bedre dyrkningsmetoder, har også medført stigende merudbytter for markvanding. Endelig er den generelle driftsledelse og i særdeleshed styringen af markvandingen afgørende for de merudbytter, der opnås ved markvanding.

Table 9. Sandsynlige gennemsnitlige merudbytter for markvanding i landbrugsafgrøder afhængig af rodzonekapacitet, kg eller FE i gns. pr. mm vandingsvand tilført. Delvis efter beretning nr. S 1668 og egne beregninger

Afgørde	Rodzonekapacitet, mm						
	60	70	80	90	100	110	120
Vårbyg	25	24	23	22	21	20	19
Havre	25	24	23	22	21	20	19
Vinterbyg	23	22	21	20	19	18	17
Vinterhvede	27	26	25	24	23	22	21
Triticale	27	26	25	24	23	22	21
Vinterrug	12	11,5	11	10,5	10	9,5	9
Kernemajs	25	24	23	22	21	20	19
Vinterraps	12	11,5	11	10,5	10	9,5	9
Markært	23	22	21	20	19	18	17
Kartofler, lægge	85	80	75	70	65	55	45
Kartofler, spise	115	110	105	100	95	85	75
Kartofler, proces	130	125	120	115	110	100	90
Kartofler, stivelse	130	125	120	115	110	100	90
Helsæd, vårbyg	30	28	26	24	22	20	18
Græs u. kløver	20	19	18	17	16	15	14
Kløvergræs	20	19	18	17	16	15	14
Silomajs	34	32	30	28	26	22	18

Der er anført sandsynlige gennemsnitlige merudbytter for markvanding afhængig af rodzonekapaciteten ved god styring af markvandingen og ved et middelhøjt til højt udbyttiveau. Det skal bemærkes, at merudbytterne er beregnet på grundlag af vandingsforsøg, hvor vandingsvandet generelt er tilført rettidigt og med en ensartet vandfordeling. I praksis ved vanding med vandingskanoner er vandfordelingen ofte ringere.

Værdi af merudbytte

Etablering af et markvandingsanlæg eller udbygning af et eksisterende anlæg er en langsigtet investering. Derfor skal man vurdere rentabiliteten over en lang årrække, f.eks. 20 år. Man skal være forsigtig med at anvende aktuelle afgrødepriser i en økonomiberegning. Der bør anvendes priser, der forventes at afspejle de langsigtede prisforhold for afgrøder og indsatsfaktorer.

Afgrødepriserne er meget afgørende for økonomien i markvanding. Derfor kan det anbefales at beregne økonomien ved flere prisniveauer.

Der kan med fordel anvendes nettopriser efter fradrag af de omkostninger, der er forbundet med at høste et højere udbytte, eksklusive vandingsomkostninger. Det betyder, at afgrødeprisen skal fastsættes ud fra en salgspris på afgrøden og meromkostninger til PK-gødning, tørring, mejetærskning og transport. For kornafgrøder udgør disse udbytterelaterede omkostninger i størrelsesordenen 10-20 kr. pr. hkg kerne.

Variable omkostninger til markvanding

De variable omkostninger til markvanding er elforbruget ved pumpningen, slitage på slanger og rør og vedligehold i øvrigt samt traktoromkostninger inkl. brændstof til flytning af vandingsmaskinen. Dertil kommer arbejdskraft til flytning af vandingsmaskinerne og tilsyn. Omkostningerne afhænger af en række forhold som elpris, boringsdybde, tryktab i

rørsystemet og type af vandingsanlæg. I **Tabel 10** er angivet nogle vejledende niveauer for de variable omkostninger ved markvanding.

Tabel 10. Vejledende variable omkostninger ved markvanding, kr. pr. mm, pr. ha

	Kr. pr. mm pr. ha
Elforbrug (ved 0,60 kr. pr. kWh)	2,70 kr.
Vedligehold	2,00 kr.
Flytning og tilsyn (traktor og arbejdskraft)	3,00 kr.
Variable omkostninger pr. ha	7,70 kr.

Dækningsbidrag for markvanding

Dækningsbidraget skal beregnes ud fra forskellen mellem bruttoværdien af afgrøderne uden markvanding og med markvanding. Heri kan indgå ændret afgrødevalg med markvanding, forskelle i afgrøde kvalitet og afgrødepriser. Til bruttoudbyttet kan f.eks. også indregnes sparede omkostninger til sikring mod fodermangel i tørkeår i form af et øget bufferlager. De variable omkostninger fratrækkes bruttoudbyttet.

Dækningsbidraget skal sammenholdes med omkostningerne til forrentning og afskrivning af vandingsanlægget, dvs. både boring, pumpeanlæg, jordfaste rørledninger og vandingsmaskiner.

Det skal dog bemærkes, at et vandingsanlæg sædvanligvis fortsat har en værdi efter en afskrivningsperiode på f.eks. 20 år. Denne langvarige øgning af jordens dyrkningsværdi vil formentlig kunne realiseres i forbindelse med salg af jorden.

3. VANDINGSANLÆG

Flytteafstanden – den effektive arbejdsbredde

Vandingsmaskinens netto arbejdsbredde er centerafstanden imellem vandingssporene. Denne afstand vælges i reglen, så den går op med modulbredden på såmaskinen og marksprøjten. I praksis bør flytteafstanden på vandingsmaskinen afpasses efter 3 eller 5 gange marksprøjtens bredde, eksempelvis $5 \times 12 \text{ m} = 60 \text{ m}$, $3 \times 20 \text{ m} = 60 \text{ m}$, $3 \times 24 \text{ m} = 72 \text{ m}$ mv. Den mulige flytteafstand på vandingsmaskiner hænger sammen med maskinens timeydelse, m^3/h .

Jo større flytteafstand man ønsker, desto større timeydelse må både vandingsmaskine og det samlede anlæg have. Nedenstående **Tabel 11** giver vejledende værdier, målt helt ude ved vandingsmaskinens kanon.

Tabel 11. Vejledende nødvendig vandydelse og vandtryk for at opnå de forskellige spredbredder

Effektiv spredbredde	60 m	72 m	80 m	105 m
Vejledende nødvendig vandydelse og vandtryk	$40 \text{ m}^3/\text{h}$ 4 bar	$50 \text{ m}^3/\text{h}$ 4 bar	$60 \text{ m}^3/\text{h}$ 5 bar	$95 \text{ m}^3/\text{h}$ 6 bar

Opbygning af anlæg

Et vandingsanlæg dimensioneres individuelt til den opgave, som det pågældende anlæg skal løse. Det gælder vandydelse, spredbredde samt placering af boring, pumpeanlæg og jordledningsrør.

De enkelte komponenter, som indgår i anlægget, er standardkomponenter, der udvælges til den aktuelle opgave. Pumper, rør og vandingsmaskiner mv. findes alle i et betydeligt antal størrelser og modeller. Hovedkomponenterne i et vandingsanlæg er:

- Boring
- Pumpeanlæg
- Jordledning og hydranter
- Vandingsmaskine
- Spredesystem (kanon eller vandingsbom)

Tryktab

Vand drives igennem rør, ventiler og øvrige komponenter i et system, da vandet ved udløbet har et lavere trykpotentiale (kan måles i eksempelvis kPa, bar eller meter vandsøjle (mVs)) end ved systemets begyndelse. Hvis man afspærrer udløbet, opstår der samme trykpotentiale overalt i systemet. Hvis man i denne situation måler trykket med et manometer, vil man få samme resultat, uanset hvor man måler, hvis målepunkterne ligger i samme geometriske højde.

Ved strømning igennem komponenterne taber vandet noget af dets trykpotentiale, på grund af de respektive indvendige overfladers ruhed. Vandets friktion mod overfladerne virker som modstand imod vandets strømning.

Tryktabets størrelse:

- Øges proportionalt med længden på rør og slanger
- Øges for hver ændring af vandets retning, dvs. ved passage af bøjninger, vinkler, T-stykker, hydrantventiler og overgangsstykker mv.
- Øges med kvadratet af vandhastigheden; når denne fordobles, øges tryktabet med en faktor 4.

Find eller beregn tryktabet

Tryktab udregnes for hver enkelt delkomponent, som vandingsanlægget er opbygget af. Tryktabet for hver enkelt rørstrækning og -dimension findes eller beregnes særskilt. Den enkleste måde er at bruge tabeller, hvor man kan slå det specifikke tryktab op, f.eks. pr. 100 m rør. Alternativt kan man anvende et tryktabsnomogram. I **Tablet 12** vises tryktabs-tabeller for hårde slanger (PE slanger) og bløde slanger til vandingsmaskiner.

Tablet 12. Tryktabstabeller for hårde og bløde slanger til vandingsmaskiner

PVC jordledningsrør efter DS/R 2138. Tryktabstabel, mVs pr. 100 m rør samt vandhastighed, m/s

Tryk-klasse	Ø, mm			Vandføring, m ³ /h																Max. m ² v. 1 m/s
	D	d		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
PN 6	90	84,4	mVs m/s	1,68 1,19	2,18 1,42	3,05 1,68	4,01 1,92	5,10 2,18												21,2
	110	103,2	mVs m/s	0,66 0,81	0,95 0,97	1,23 1,14	1,56 1,30	1,92 1,47	2,33 1,63	2,78 1,78	3,36 1,98	3,93 2,17								30,6
	125	117,2	mVs m/s	0,35 0,63	0,50 0,76	0,64 0,89	0,84 1,02	1,02 1,13	1,21 1,24	1,42 1,37	1,70 1,52	2,10 1,67	2,40 1,79	2,69 1,91	2,94 2,01	3,18 2,12				38,9
	140	131,4	mVs m/s	0,20 0,49	0,28 0,60	0,37 0,69	0,47 0,80	0,58 0,90	0,69 0,99	0,84 1,10	1,02 1,22	1,19 1,32	1,35 1,41	1,50 1,50	1,62 1,58	1,78 1,67	2,01 1,78	2,18 1,87	2,42 2,00	50,4
	160	150,2	mVs m/s		0,15 0,47	0,20 0,54	0,24 0,61	0,31 0,69	0,36 0,75	0,43 0,84	0,53 0,94	0,62 1,02	0,70 1,09	0,78 1,17	0,87 1,23	0,98 1,30	1,05 1,38	1,14 1,43	1,28 1,51	64,8
	200	187,6	mVs m/s				0,09 0,40	0,11 0,46	0,13 0,50	0,16 0,56	0,19 0,62	0,22 0,66	0,25 0,70	0,28 0,75	0,31 0,80	0,34 0,86	0,38 0,90	0,42 0,95	0,47 1,01	99,0
PN 10	90	83,0	mVs m/s	1,89 1,25	2,68 1,51	3,50 1,76	4,45 2,00	5,50 2,25												19,8
	110	101,6	mVs m/s	0,74 0,85	1,02 1,02	1,36 1,19	1,70 1,35	2,15 1,52	2,48 1,67	2,97 1,84	3,58 2,05	4,30 2,22								29,9
	125	115,4	mVs m/s	0,40 0,66	0,56 0,79	0,74 0,94	0,92 1,07	1,18 1,21	1,38 1,31	1,59 1,44	1,91 1,57	2,22 1,72	2,51 1,85	2,78 1,96	3,15 2,08	3,58 2,22				38,2
	140	129,2	mVs m/s	0,24 0,53	0,30 0,65	0,44 0,74	0,55 0,85	0,70 0,97	0,82 1,06	1,00 1,19	1,19 1,30	1,33 1,38	1,50 1,48	1,74 1,61	1,90 1,69	2,15 1,80	2,40 1,91	2,62 2,01	2,95 2,15	48,6
	160	147,6	mVs m/s			0,22 0,57	0,27 0,65	0,35 0,73	0,41 0,87	0,48 0,96	0,57 1,03	0,68 1,12	0,78 1,21	0,87 1,30	0,98 1,38	1,08 1,45	1,21 1,52	1,32 1,60	1,45 1,60	62,6
	200	184,6	mVs m/s					0,15 0,48	0,14 0,52	0,17 0,57	0,20 0,62	0,24 0,68	0,27 0,73	0,29 0,77	0,33 0,82	0,38 0,88	0,41 0,93	0,44 0,97	0,50 1,02	98,0
PN 12,5	90	81,4	mVs m/s	2,05 1,29	2,90 1,57	3,80 1,82	4,80 2,08	5,90 2,35												19,1
	110	99,4	mVs m/s	0,77 0,86	1,08 1,05	1,43 1,22	1,80 1,38	2,25 1,57	2,61 1,70	3,15 1,88	3,76 2,08	4,50 2,30								28,4
	125	113,0	mVs m/s	0,42 0,67	0,58 0,81	0,76 0,94	0,97 1,08	1,23 1,23	1,45 1,34	1,68 1,45	2,00 1,61	2,42 1,78	2,72 1,90	3,02 2,01	3,36 2,14	3,75 2,27				36,5
	140	126,6	mVs m/s			0,48 0,78	0,61 0,88	0,76 1,00	0,89 1,10	1,04 1,20	1,26 1,31	1,50 1,46	1,70 1,56	1,88 1,66	2,12 1,77	2,35 1,87	2,61 2,00	2,86 2,11	3,20 2,22	45,0
	160	144,6	mVs m/s				0,30 0,67	0,38 0,75	0,46 0,82	0,53 0,90	0,62 0,98	0,75 1,09	0,84 1,18	0,93 1,25	1,04 1,32	1,16 1,41	1,31 1,50	1,46 1,59	1,62 1,68	60,5
	200	180,8	mVs m/s						0,15 0,53	0,18 0,58	0,21 0,64	0,25 0,70	0,28 0,75	0,32 0,79	0,36 0,84	0,40 0,90	0,44 0,95	0,48 1,00	0,52 1,03	95,0

Udfærdiget efter SBI-nomogram 11.

Flere tryktabstabeller kan findes i bilag 2, sammen med en større udgave af ovenstående tabel.

Dimensionering af anlæg

Ved valg af komponenter til vandingsanlægget må man sikre, at det samlede anlæg kan løse den stillede opgave. Når timeydelsen er fastlagt, kan dimensioneringen udføres. Dimensionering består i valg af komponentstørrelser, samt beregning af det nødvendige pumpetryk. Hvis man har beregnet, at man eksempelvis har brug for en timeydelse på 68 m³ pr. time, skal alle komponenter være i stand til at indvinde, levere og fremføre vandet på en sådan måde, at det har det ønskede tryk umiddelbart før det passerer spredesystemet.

Ved beregning af tryktab kan man bruge det billede, at man skal føre vand fra indvindingsstedet frem til spredesystemet, og at vandet ved spredesystemet skal have et bestemt tryk (mVs). Da der fra indvindingsstedet - og på vejen frem til spredesystemet - løbende forekommer tryktab, skal pumpen kunne både levere det nødvendige tryk ved sprederen samt kompensere for tryktabet på vejen frem til sprederen.

En tryktabsberegning må indeholde tryk og tryktab for følgende dele af anlægget:

- Arbejdstryk ved sprederen, svarende til dysetrykket
- Tab i vandingsmaskinens slange
- Tab i maskine, hydranter og bøjninger
- Tab i jordledning
- Tab ved terrænstigning
- Tab ved meter geometrisk løftehøjde i boring

Ved beregning af tryktab er det mest praktisk at anvende enheden mVs, idet man da kan indregne såvel terrænstigning som løftehøjde i vandboringen med direkte meterangivelser.

Tryktabsberegningen - et dimensionerings- og planlægningsværktøj

Forud for enhver form for ændringer på et vandingsanlæg bør man udarbejde en eller flere tryktabsberegninger, så man dels kan se status på anlægget, og dels kan forudsige konkret hvad konsekvensen bliver af en given ændring, eller man kan bruge tryktabsberegningerne til at finde frem til, hvilke ændringer der må udføres for at opnå et bestemt resultat.

Tryktabseksempel

I tabellen nedenfor ses et eksempel på en tryktabsberegning. De viste hovedpunkter indgår altid i en tryktabsberegning.

Tablet 13. Eksempel på tryktabsberegning

Tryktab i komponenter	Tryktab mVs
Ydelse, m ³ /h pr. maskine	49
Antal maskiner	1
Dysens arbejdsdruk, mVs	(4,25 Bar) 42,5
Slange på vandingsmaskinen, Ø-100 x 500 m	27,8
Jordledning, Ø-140 x 500 m	3,2
Terrænstigning meter	1,0
Tab i maskine, hydranter og bøjninger (erfaringsmæssigt 15-25 mVs)	18,0
Tryk ved jordoverfladen	(9,25 bar) 92,5
Løftehøjde i boring, meter (se note 1)	23,0
Tryktab i alt (nødvendigt pumpestryk), mVs	115,5

Note 1: Denne løftehøjde kan enten fastlægges ud fra data i borerapporten, som hører til den pågældende boring, eller ud fra aktuelle målinger, der er fundet ved nylig prøvepumpning. Bemærk, at når boringen er blevet nogle år gammel, er det sikrest at basere sin dimensionering på data fra en prøvepumpning.

Valg af pumper

Ud fra ovenstående tryktabsberegning kan man nu vælge sit pumpeanlæg, hvor vi i denne situation skal finde et pumpeanlæg, som kan levere 49 m³/h ved et totalt pumpetryk på 115,5 mVs. Dette svarer til ca. 11,5 Bar.

Boringer

Vand til markvanding indvindes næsten kun fra boringer. Kun ganske få steder har man opnået tilladelse til indvinding fra overfladekilder, dvs. fra søer, åer og bække. Derfor vil dette afsnit kun behandle indvinding fra boringer. Tilladelse til indvinding af vand til markvanding søges hos kommunen. Tilladelsen skal være givet før etablering påbegyndes.

Under etableringen af en boring skal brøndboreren udarbejde en borerapport, som efterfølgende sendes til GEUS (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland), som efterfølgende lægger borerapporten ud på Internettet. Alle registrerede boringer kan findes ved søgning på www.geus.dk.

Pumper

Et pumpeanlæg opbygges individuelt, fra anlæg til anlæg og består af minimum én pumpe. Når man vælger et anlæg med mere end én pumpe, kan sammenbygningen foregå som parallelkobling, seriekobling eller en kombination heraf.

Parallelkobling

Ved parallelkobling monteres pumperne ved siden af hinanden, sådan at den leverede vandmængde i anlæggets jordledning øges for hver ekstra pumpe i anlægget, der sættes i gang

Seriekobling

Hvis to eller flere pumper forbindes i serie, vil trykket i rørledningen øges, efterhånden som vandet passerer hver enkelt pumpe.



Billede 3. Eksempel på en in-line seriekobling. Dykpumpen tv. kan yde den nødvendige vandmængde og tryk ved et mindre ydelsesbehov. I denne driftssituation er in-line pumpen th. slukket, og vandet passerer frit igennem den. Ved et stort ydelsesbehov kan dykpumpen levere vandmængden, men ikke det nødvendige tryk. I denne driftssituation startes in-line pumpen og fungerer som en trykforøgerpumpe. Foto: www.Scanregn.dk.

Ved etablering af nye anlæg er det vigtigt at vælge en pumpeløsning, som har høj nyttevirkning, idet man derved både sparer el til driften og kan nøjes med at indkøbe færre ampere til sin elinstallation.

Drivkraft til pumpen er oftest el. Det er relativt dyrt at få oprettet en ny målerinstallation, da den lokale elforsyning kræver et væsentligt beløb til køb af forbrugsretten til ampere. Når el stadig er den hyppigst foretrukne energikilde, er det på grund af, at det giver den enkleste form for drift. Alternativet er at anskaffe og bruge et dieselgeneratoranlæg som energikilde.

Jordledningsrør og hydranter

Den mest praktiske og næsten arbejdsfrie måde at føre vandet fra pumpeanlægget og ud til det sted i den enkelte mark, hvor vandingsmaskinen skal køre, er at nedgrave rør til fremføring af vandingsvandet. Til det formål anvendes der jordledningsrør i PVC-plast. Som udgangspunkt er det ønskeligt at holde vandhastigheden i sådanne rør på maks. 1 m/s, idet en højere vandhastighed øger risikoen for rørsprængninger og medfører forøget tryktab. En større hastighed end 1,0 m/s må dog accepteres i visse situationer.

Tabel 14. Jordledningsrør, rørdiameter og maksimal tilrådelig vandmængde i forhold til rørdiameteren

Jordledningsrør i PVC, udvendig diameter, mm	Blå markvandingsrør, 8 bar ifølge DS/R-2138	10 bar rør ifølge DS/R-2138
Ø-90	21 m ³ /h	20 m ³ /h
Ø-110	31 m ³ /h	30 m ³ /h
Ø-125	39 m ³ /h	38 m ³ /h
Ø-140	50 m ³ /h	49 m ³ /h
Ø-160	65 m ³ /h	63 m ³ /h
Ø-200	99 m ³ /h	98 m ³ /h

Hydranter (vandudtag)

På jordledningen placeres der vandudtag – hydranter – så tæt som muligt på de placeringer, hvor vandingsmaskinen skal køre. Derved spares der arbejde og tid på, at man ikke skal flytte ekstra føderør og slanger til at forbinde vandingsmaskinen med en hydrant for hver opstilling.

Hydrantstørrelse	Maksimal tilrådelig ydelse
2"	20 m ³ /h
3"	45-50 m ³ /h
4"	75-85 m ³ /h
Skydeventil med kobling	Ydelse større end 85-90 m ³ /h

Vandingsmaskiner

Vandingsmaskiner findes i to hovedtyper:

- Selvkørende maskiner
- Indtræksmaskiner



Selvkørende maskiner kører hen over marken og ruller slangen op på slangetromlen, imens den kører tilbage mod startpunktet. Vandingskanonen er monteret på vandingsmaskinen. Fordelen ved denne maskintype er, at den er hurtig og enkel at flytte til en ny opstilling, og at slangen kan lægges i bløde buer. Eksempelvis hvis slangen er noget længere end den mark, der aktuelt vandes på. Foto: Henning Sjørsløv Lyngvig



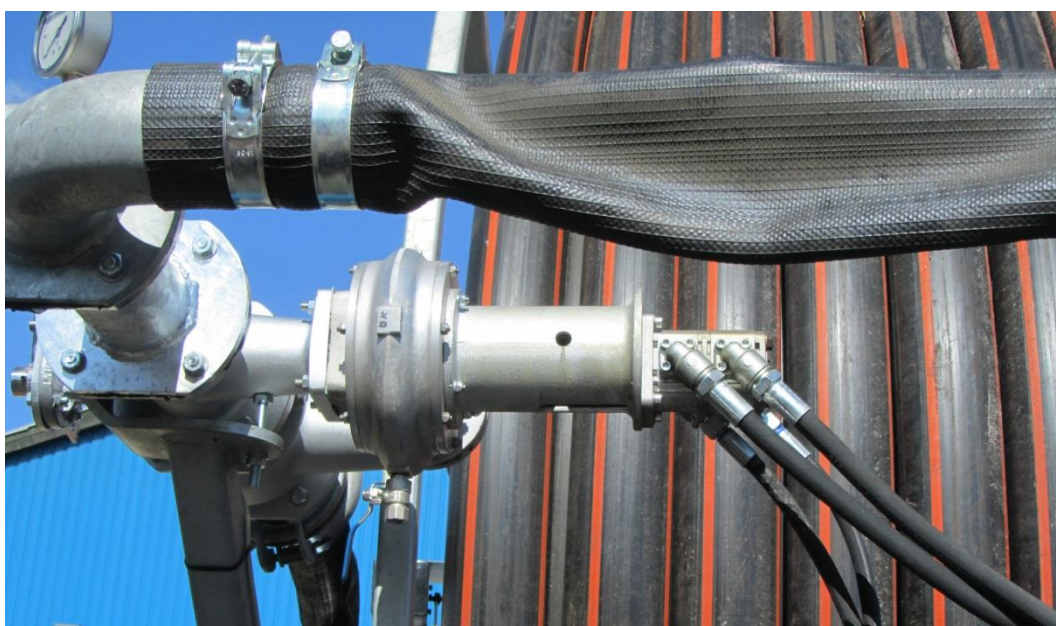
Indtræksmaskiner er opbygget sådan, at slangetromlen og drivværket bliver stående på forageren, mens kanonvogn og slange trækkes ud på marken. Når slangen er trukket helt, og maskinen sættes i gang, sørger tromlen for at trække kanonvogn og slange ind igen, alt imens maskinen vander. Foto: H.S. Lyngvig

Fremdrift af maskinerne og styring af fremdriften

Trækraft til maskinerne hentes fra vandstrømmen til kanonen. På selvkørende maskiner af ældre konstruktion ved hjælp af en rotor. På nye maskiner oftest via en turbine, hvor vandstrømmen undervejs igennem maskinen passerer en turbine, som via gear eller hydraulik sørger for maskinens fremdrift. Fremdriften styres på nye maskiner af elektronik, som både giver jævn kørehastighed og mulighed for programmerbare funktioner.

- Fremdrift opnået ved hjælp af rotor koster 3-5 m³/h, men intet tryktab
- Fremdrift opnået ved hjælp af turbine koster 0,6-0,7 bar, men intet ydelsestab

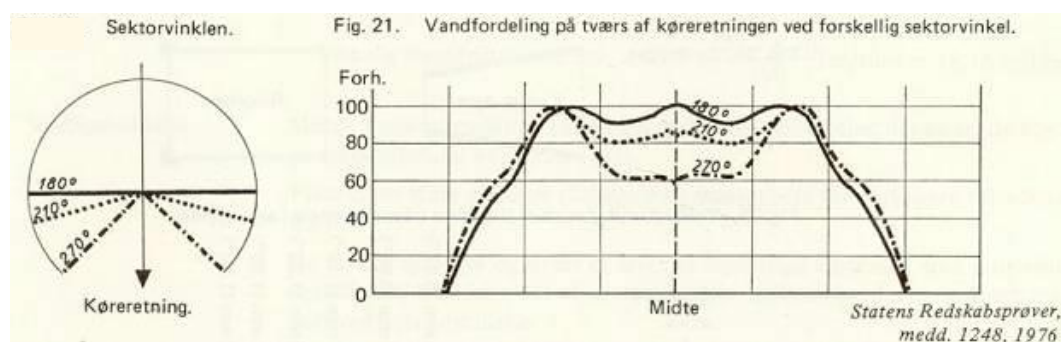
For indtræk af tromlen på selvkørende maskiner anbefales der remtræk til fladt terræn, fordi det er simpelt og billigt. Til kupperet terræn anbefales hydraulisk træk, da det automatisk kompenserer indtrækkets hastighed.



Billede 4. Vandturbine som drivmiddel til hydraulisk træk.

Kanoner - fordeling af vandet

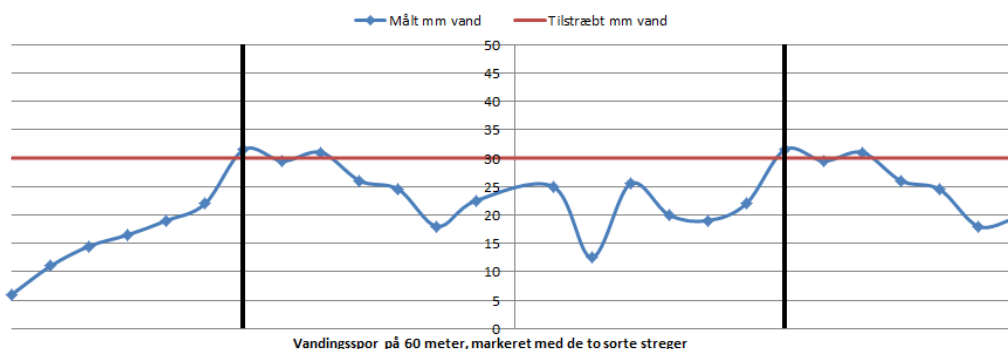
Forsøg har vist, at den bedste vandfordeling opnås med en sektorvinkel på 180° ved vandingsmaskiner, der anvender turbine som drivmetode. Vandingsmaskiner, der anvender rotor som drivmetode bør anvende en sektorvinkel på ca. 210°, da vandet fra rotoren fordeles lige omkring rotoren.



Figur 2. Vandfordelingen ved forskellige sektorvinkler.

Optimal fordeling af vandet kræver, at kanonen bruger 65-100 slag på en halvcirkel, samtidig med at vandet fra de enkelte "hammerslag" ligger ved siden af hinanden. Får arealer midt imellem vandingssporerne for lidt vand, kan sektorvinklen øges.

Uanset vandingmaskinens type og fabrikat, så har producenterne adgang til det samme sortiment af fabrikater af vandingsskanoner at vælge af.



Figur 3. Vandfordelingen mellem to vandingsspor, der er markeret af de to sorte streger.

Den optimale vandfordeling er, når vandet fordeles ensartet i hele maskinens arbejdsbredde. På figuren ovenfor ses, at der tildeles vand som ønsket lige omkring vandingmaskinen, der i dette tilfælde er udstyret med rotor. I den viste situation kan fordelingen forbedres lidt, hvis kanonen indstilles til at køre 210-220° i stedet for 180° (halvdelen af cirklen). Følgende faktorer påvirker vandfordelingen fra en kanon:

- Vandmængde og arbejdsstryk (→ kastelængde på vandet)
- Dysestørrelse
- Stigningsvinkel på kanonen
- Kanontype (gammel eller ny kanon, længde på strålerør, dysemateriale)
- Afstand imellem vandingsspor
- Påvirkning fra skiftende vinde, dvs. retning og intensitet, i forhold til vandingssporrets retning

I nogle tilfælde placeres der så lidt vand på arealet midt imellem vandsporene, at man kun kan få bedre fordeling ved at øge kanonens kastelængde. Ved ændring på eksisterende anlæg vil man i praksis kun kunne opnå det ønskede resultat ved at udskifte en aldrende vandingsskanon med en ny af anden type. Hvis man vælger en kanon med langt strålerør med plastdyser, bliver vandet kastet nogle få meter længere ud. Dysernes respektive kastelængder fås ved at slå op i dysetabellen for den enkelte kanon. Heri er også angivet kastelængden for hver enkelt dyse og arbejdsstryk.

Den optimale effektive arbejdsbredde - flytteafstanden - er som tommelfingerregel ca. 70 pct. af kanonens opgivne kastelængde. Den beregnes med: $2 \times \text{kastelængde} \times 70 \text{ pct.}$

Strålerørets stigningsvinkel

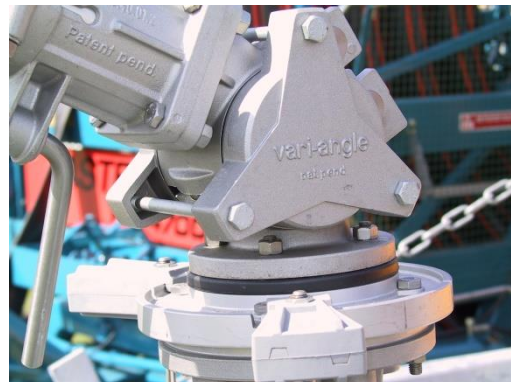
I forbindelse med optimering af vandfordelingen kan det nogle gange være en fordel at kunne justere strålerørets stigningsvinkel. Hvis man sjældent får den mulighed anvendt, er man bedre stillet med en kanon, som har fast vinkel. Her er en kanon med stigningsvinklen på 22-24° et godt kompromis. En større stigningsvinkel øger ganske vist kaste-

længden i stille vejr, men giver samtidig kraftig reduktion af kastelængden, når der er modvind!

Muligheden for indstilling rummer herved reelt en risiko for, at brugeren opnår det modsatte af det ønskede, særligt hvis brugeren mangler viden og erfaring.



Billede 5. Forskellige kanontyper.



Billede 6. Kanon med variabel kastevinkel.

Det nyeste indenfor vandingskanoner er programmerbare kanoner, hvor spredbilledet kan programmeres i forhold til forhindringer på marken, for eksempel en ejendom eller en vej. Kanonen kan også programmeres til at sprede væk fra forageren ved opstart, hvorefter sprederetningen ændres 180°, når en passende afstand fra forageren opnås.

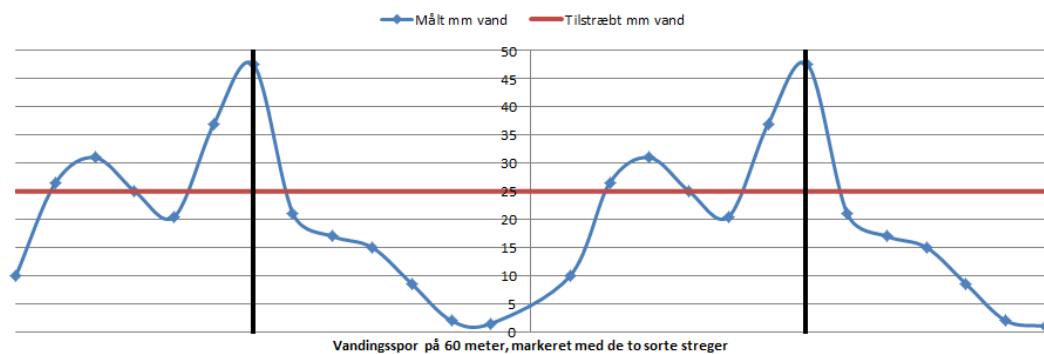
Monteret med en vindmåler kan kanonen desuden korrigere retning og kastevinkel for at minimere vindpåvirkningen af spredbilledet. Lige nu - i 2014 - er prisen for høj til, at den kan forrentes i primærlandbruget, men vi vil formentligt se mere af den type teknologi i fremtiden.



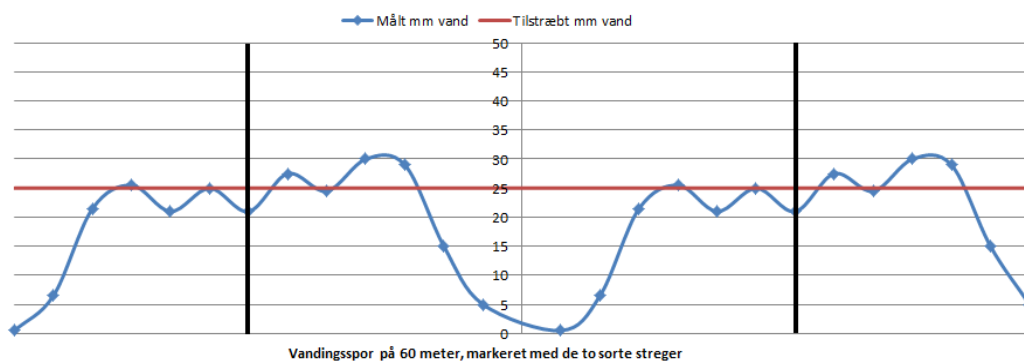
Billede 7. Programmérbar kanon med solceller.

Test af vandfordelingen på de tre ejendomme

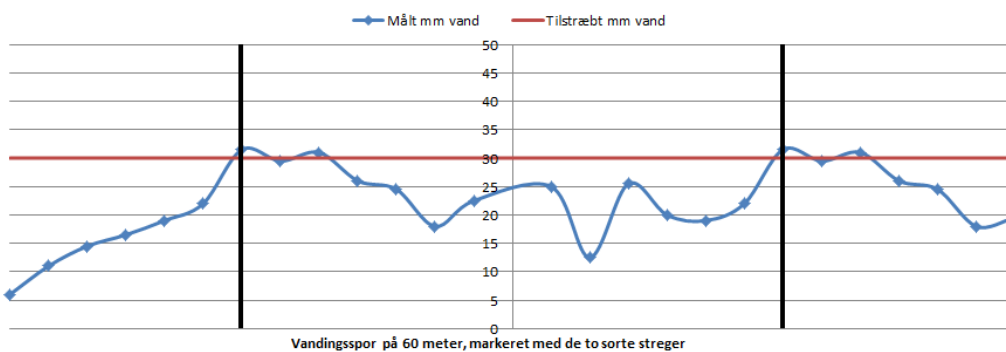
Vandfordelingen på de tre udvalgte ejendomme er målt ved opstilling af vandmålere med 5 meters afstand i dobbelt spredbredde. Der blev målt så langt væk fra boringerne som praktisk muligt. Flytteafstanden var på alle ejendomme 60 m.



Figur 4. Vandfordelingen ved case 1. Spredbilledet meget uens og tydeligvis påvirket af vind.



Figur 5. Vandfordelingen ved case 2. Bedre end case 1, men stadig med et "hul" i midten.



Figur 6. Vandfordelingen ved case 3. Tæt ved acceptabel. Vindpåvirkningen er også her tydelig.

Ingen af de tre målinger er acceptable. Kun vandfordelingen i case 3 er nogenlunde. Umiddelbart vil anbefalingen være at montere andre kanoner med længere strålerør for at hæve kastelængden en smule. Det kan heller ikke afvises, at de til tider meget gamle kanoner er blevet ru indeni, og herved ikke længere kaster vandet så langt, som da de var nye. Praktiske erfaringer viser desuden, at man skal være meget påpasselig med den fedt, som smøres på gevindet, hvor dysen monteres. Hvis der er fedt, hvor vandet skal strømme forbi, har det endog meget stor negativ effekt på vandets flow.

Det kan anbefales, at landmændene laver en lignende måling med jævne mellemrum, da en så dårlig vandfordeling - som vist her - vil koste udbytte. Visuelt kan problemet ikke ses.

Problemstillingen med vandfordeling vurderes som en af de vigtigste opdagelser i Farm-Testen. Derfor vil der blive arbejdet videre med dette emne efter FarmTestens afslutning.

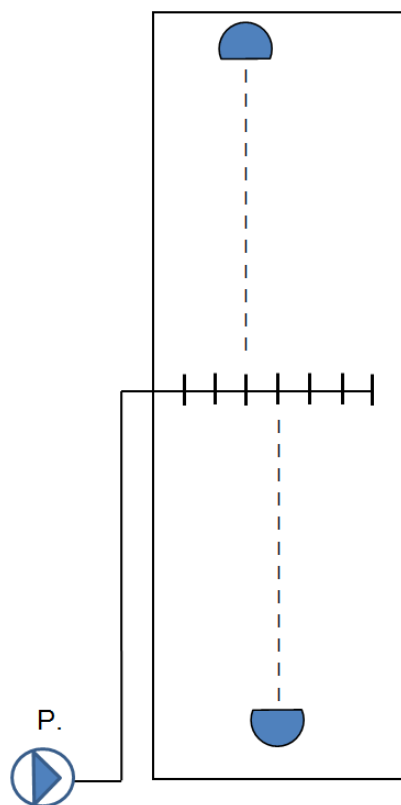
Maskiner med lange slanger

En del brugere har fattet interesse for at anskaffe vandingsmaskiner med 700-900 m slange. Begrundelsen er, at man kun skal flytte maskinen halvt så ofte, hvis man har en maskine med dobbelt så lang en slange. Teknisk set er det muligt at få lige så stor vandydelse pr. time som før, men det kræver investering i en vandingsmaskine med større indvendig slangediameter, for at kompensere for tryktabet i den længere slange.

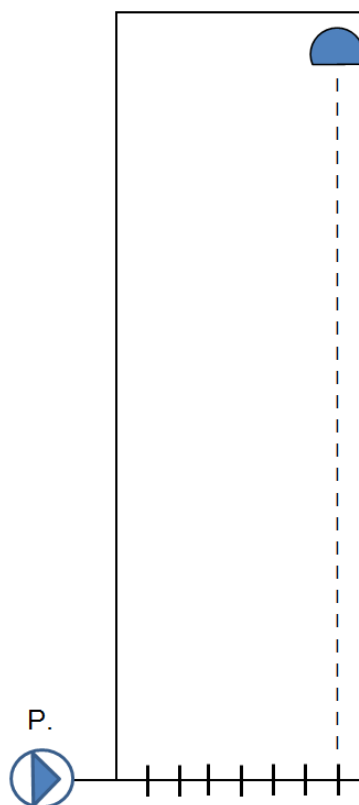
Såvel længere slange som øget diameter øger størrelse og vægt på vandingsmaskinen, hvilket igen bevirker større købspris på maskinen. Dertil kommer de følgeproblemer, som måtte opstå på grund af maskinernes størrelse. For selvkørende maskiner gælder, at de bliver udstyret med større hjul, for at marken kan bære den øgede vægtbelastning, mens det for indtræksmaskinerne gælder, at jo længere og tungere slange på maskinen, desto tungere traktor kræves for at trække slangen med den tilhørende vandingsvogn ud.

I det følgende gennemgår vi et eksempel, hvor en landmand har agre på 850 m længde. Indtil nu har disse agre været vandet fra hydranter midt på marken, med træk, der har en vandingsmaskine med 400 m slange, til begge sider fra den enkelte hydrant. Hvad bliver da konsekvensen, hvis der investeres i en maskine med 800 m slange?

Herunder viser skitse 1 og 2 nudrift (tv) og ændret drift med lang slange (th.).



Skitse 1. Hydranter midt på marken. Maskine med 400 m slange og afstand mellem vandingssporene på 72 m.



Skitse 2. Vandingsanlægget tilpasset en ny vandingmaskine med 800 m slange og hydranter i den ene ende.

Tabel 15 viser tryktabsberegningen for nudrift og for tre forskellige alternativer. Under tryktabsberegningerne er vist konsekvensen for elforbruget pr. m³ vand for de forskellige alternativer. Slutteligt ses såvel antal timer pr. år til flytning for hver af de fire løsninger samt den tidsmæssige og timemæssige besparelse.

Tabel 15. Konsekvenserne af forskellige alternativer til den nuværende løsning

	Nuværende løsning	Maskine m. lang slange	Løsning 3	Løsning 4
Literydelse	60 m ³ / time	60 m ³ / time	50 m ³ / time	60 m ³ / time
Slangelængde	400 m	800 m	800 m	800 m
Slangediameter	Ø-110 mm	Ø-110	Ø-110	Ø-125 mm
Komponent				
Dysetryk	45,0 mVs	45,0 mVs	45,0 mVs	45,0 mVs
Tab i maskinens slange, Ø-110 mm	20,5 mVs	43,6 mVs	30,2 mVs	
Tab i maskinens slange, Ø-125 mm				22,9 mVs
Jordledning, Ø-125 mm x 450 m				
Jordledning, Ø-140				
Jordledning, Ø-160 x 1000 m.	5,3 mVs	3,2 mVs	3,2 mVs	3,2 mVs
Tab i maskine, hydranter og bøjninger	15,0 mVs	18,0 mVs	15,0 mVs	18,0 mVs
Løftehøjde i boring, meter	15,0 mVs	15,0 mVs	13,0 mVs	15,0 mVs
Terrænstigning, meter	0,0 mVs	0,0 mVs	0,0 mVs	0,0 mVs
Tryktab i alt	100,8 mVs	124,8 mVs	106,4 mVs	104,1 mVs
Tryktab ved jordoverfladen	85,8 mVs	109,8 mVs	93,4 mVs	89,1 mVs
Pumper				
Effektivitet	77,0 pct.	77,0 pct.	77,0 pct.	79,0 pct.
Nødvendig effekt, kW	21,4 kW	26,5 kW	18,8 kW	21,5 kW
Nødvendig effekt, hk	29,1 hk	36,0 hk	25,6 hk	29,3 hk
EI-forbrug / m ³ vand	0,392 kWh	0,485 kWh	0,414 kWh	0,395 kWh
Øvrige resultater				
Areal, i alt	30,6 ha	30,6 ha	30,6 ha	30,6 ha
Opstillinger, antal	40 træk	20 træk	20 træk	20 træk
Tidsforbrug til flytning, 4 x 25 mm	36,7 timer	21,7 timer	21,7 timer	21,7 timer
Udgifter til flytning og tilsyn, pr gang	283 kr	342 kr	342 kr	342 kr
Udgifter til flytning og tilsyn pr år	11.320 kr	6.840 kr	6.840 kr	6.840 kr
Timer sparet årlig med lang slange		15,0 timer	15,0 timer	15,0 timer
Kr. sparet årlig med lang slange		4.480 kr	4.480 kr	4.480 kr

Af tryktabsberegningerne fremgår følgende:

- Det er teknisk muligt at få samme vandmængde ud med en ny maskine med lang slange, hvis den samtidig får større diameter.
- Vandydelsen reduceres, hvis man vælger en maskine med en lang slange i samme diameter som slangen på den bestående maskine.
- Der spares et begrænset antal timer pr. år til flytning.

Konklusionen er, at der spares tid til flytning, og der spares et tilsvarende beløb til flyttearbejdet. Med de anvendte forudsætninger bliver besparelsen minimal, i forhold til at den større vandingsmaskine vil have en merpris på 150-200.000 kr.

Ved etablering af nyt anlæg vil man kunne spare udgifter til at føre jordledningen frem til midten af marken ved at vælge løsningen med en lang slange i stedet for en kort. I begge

tilfælde skal man bruge rør til at føre vandet frem til hydranterne, der placeres ud for det enkelte træk med vandingsmaskinen.

Modsat ved ændring på bestående anlæg vil der ofte blive behov for at etablere ny jordledning med tilhørende hydranter ved markens ene ende, idet de bestående hydranter er placeret på tværs af marken, midt på i længderetningen.

4. KONTROL AF YDELSEN PÅ BESTÅENDE ANLÆG

Det enkelte vandingsanlæg er opbygget individuelt, efter den opgave det var planlagt til at skulle løse, da det blev etableret. Siden etableringen kan meget være hændt, så det dengang veldimensionerede anlæg ikke længere dækker opgaven tilfredsstillende. Årsagerne hertil kan være en af flere:

- Større areal, som skal vandes fra det pågældende anlæg
- Reduceret timeydelse (m^3/h), i forhold til da anlægget blev etableret
 - Boringen er blevet tilstoppet på grund af aflejringer af okker eller mangan
 - Aflejring af okker i jordledningsrørene, så lysningen er blevet reduceret
 - Slidt pumpeanlæg.

Nedenfor er vist, hvordan man finder frem til årsagen og får belyst mulighederne for løsning.

Find den nuværende timeydelse, m^3/h

Enhver form for overvejelser om ændringer bør indeholde status om: "hvor er vi nu". At finde timeydelsen på det anlæg, som tænkes udvidet, er at fastlægge: "hvor er vi nu". Timeydelsen kan findes på to forskellige måder.

Mulighed 1 – den enkle:

Anlæggets nuværende timeydelse kan findes ved at aflæse arbejdsstrykket umiddelbart før eller på vandingskanonen, fastslå dysetype (konisk eller ringdyse) og diameter, og slå herefter op i en dysetabel for den konkrete vandingskanon. Alternativt kan man bruge det generelle ydelsesdiagram for koniske dyser i bilag 3.

Mulighed 2 – den grundige:

Pumpeanlægget prøvepumpes ved hjælp af det bestående pumpeanlæg, uden adskillelse. Fremgangsmåden ved prøvepumpning er følgende:

- 1) Monter en vandmåler, som kan måle den øjeblikkelige vandgennemstrømning i m^3/h (vandets flow). Vandmåleren skal være udstyret med en afspærringsventil og et manometer. Se eksempel på **Billede 9**, side 32. Hvis man har en anden målemetode til måling af vandmængden, kan man løse opgaven med dette udstyr, såfremt man har en skydeventil og et manometer monteret på røret, i umiddelbar nærhed af udløbet.
- 2) Forud for prøvepumpningens begyndelse må man pejle vandspejlets stand under terræn.
- 3) Start pumpeanlægget. Brug skydeventilen til at afspærre udløbet, sådan at man kan efterligne det arbejdstryk, anlægget kører med, når det forsyner vandingsmaskinen. Mål og noter timeydelsen ved flere forskellige arbejdstryk. Samtidig må vandspejlets stand under terræn måles, for hver registreret tryk og ydelse.
- 4) Optegn et diagram for pumpens ydelse med hensyn til m^3/h og samhørende tryk.

Med disse oplysninger er man nu i stand til at kontrollere såvel boringens tilstand som pumpeanlæggets ydelsesmæssige tilstand.



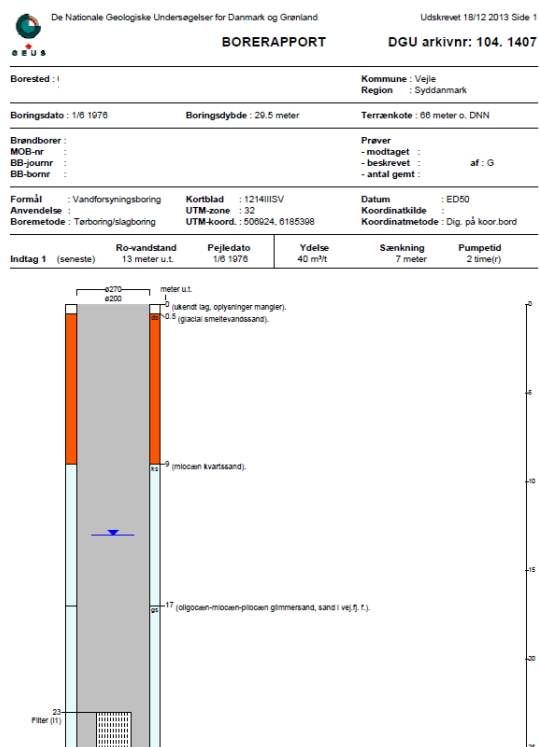
Billede 8. Okkerfyldt vand fra prøvepumpning af boring.



Billede 9. Prøvepumpning af boring med elektronisk vandmåler med direkte aflæsning af vandgennemstrømningen. Bemærk skydeventilen og manometeret.

Kontrol af boringens tilstand

På www.geus.dk kan man finde data for hver enkelt boring. Herunder er vist en borerapport fra GEUS i elektronisk version.



Kontrol af pumpeanlæggets ydeevne

Når man har data for prøvepumpningen og har optegnet et ydelsesdiagram for pumperne, kan man sammenligne de målte ydelser og tilhørende tryk med pumpernes respektive tekniske datablade. Hvis ydelsesdata (dvs. tryk og samhörrende timeydelse) afspejler sig i de målte resultater, er anlægget i orden.

Prøvepumpning af boringen på ejendom 2

Ved et af de besøgte anlæg, hvor ejeren oplyste, at han følte, han havde for lidt vandydelse på anlægget, lod vi udføre en prøvepumpning. I skemaet nedenfor er vist såvel data fra prøvepumpningen ved etableringen som data fra vores prøvepumpning i oktober 2013.

Tabel 16. Prøvepumpningen viste følgende data

	Ved etablering 1/6-1976	Ved prøvepumpning 14/10-2013
Vandspejl i ro, meter under terræn	13,00 m	14,2 m
Ydelse og afsenkning, uden vakuum (boring åben i toppen).	30 m ³ /h og 7,0 m	-
Ydelse og afsenkning, med vakuum (lufttæt lukket i toppen)	-	30 m ³ /h og 4,2 m (18,40 m u. terræn)
Ydelse og afsenkning, uden vakuum (åben pejlestuts)	-	16 m ³ /h og 4,2 m (18,40 m u. terræn)

Ved prøvepumpningen i 2013 var det kun muligt at afsænke vandspejlet til ca. 18,4 meter under terræn, da dyppumpen sad i ca. denne dybde. Flere indikationer tyder på, at boringens ydelse er reduceret på grund af tilstopning med okker. På nedenstående billede ses anlæggets trykforøgerpumpe, som er et år gammel. Bemærk de lodrette okkerstriber.



Billede 10. Trykforøgerpumpen er her placeret over jorden, uden beskyttelse for vejr og vind. Bemærk de tydelige okkerstriber, selvom pumpen kun er et år gammel.

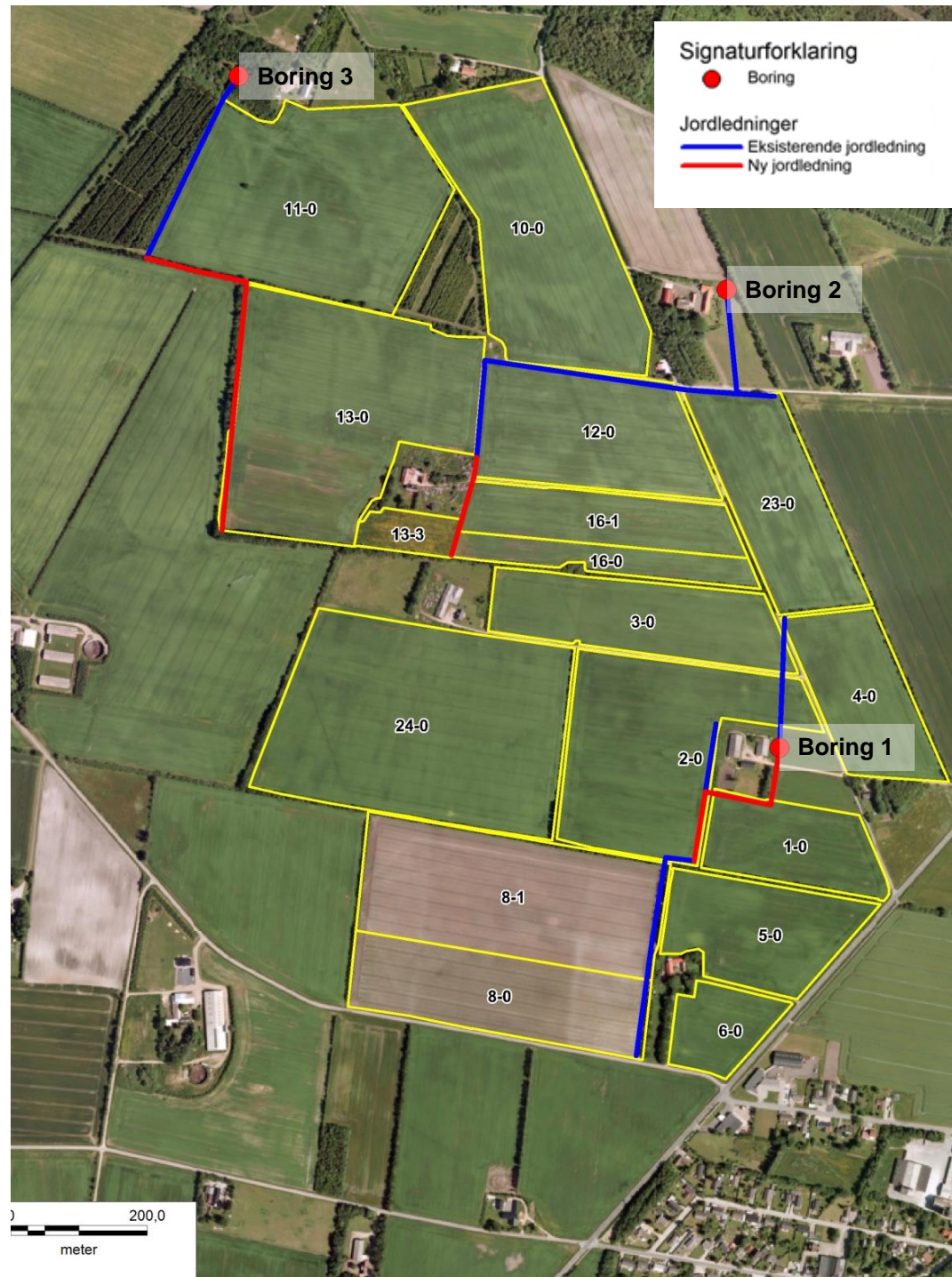
Konklusion på prøvepumpningen

Konklusionen på prøvepumpningen var, at der er en noget lavere ydelse på boringen nu, end da den var ny. Da pumpeanlægget er 0-2 år gammelt, må reduktionen i ydelse skyldes, at boringens filter er delvis tilstoppet, sandsynligvis af okkeraflejring. Brøndboreren anbefaler rensning af boringen med spuler monteret på en lanse samt sænkning af pumpen til tæt ved filterets top.

5. CASES

Som eksempel på en optimeringsplan er tre ejendomme udvalgt, fordi de alle har potenti-
ale for optimering. De tre ejendomme refereres til som case 1, 2 og 3. Der er valgt tre
forskellige ejendomstyper med forskellig driftsform og afgrødesammensætning.

Case 1 - casebeskrivelse



Kort 1. Placering af de tre borer samt eksisterende og nye jordledninger.

Nudrift

Case 1 er en planteavlsejendom på 299 ha. Afgrødesammensætningen er ca. 25 pct. lægge- og stivelseskartofler og 75 pct. vårbyg. Det er ønsket, at der fokuseres på et område med tre ejendomme med hver sin boring. Jordtypen på disse jorder er JB 1 og alle afgrøder har et samtidigt vandingsbehov.

Boring 1 (ejendom 1) forsyner 46 ha. 43 ha ønskes vandet. Der anvendes en eller to vandingsmaskiner ad gangen. For at anvende to vandingsmaskiner skal vandingsmaskinerne monteres med mindre dyser for at have vandmængde nok. Herved bliver vandfordelingen utilstrækkelig. I øjeblikket skal der altså vælges mellem undervanding eller utilstrækkelig fordeling.

Boring 2 (ejendom 2) forsyner 34 ha. Der anvendes en vandingsmaskine på arealet. Kapaciteten vurderes af landmanden som værende for lav og ønskes optimeret.

Boring 3 (ejendom 3) forsyner 9,4 ha. Der anvendes en vandingsmaskine på arealet. Kapaciteten vurderes af landmanden som værende tilstrækkelig, med overkapacitet.

Landmandens ønske til optimering

- Optimering af boring 1 til to vandingsmaskiner i samdrift.
- Optimering af boring 2 til én vandingsmaskine. Vanding af mark 13 foreslås overført til boring 3.
- Optimering af boring 3 til én vandingsmaskine. Vanding af mark 13 foreslås overført fra boring 2.
- Der ønskes vandingsspor på 72 meter. De nuværende er 60 meter. Ønsket er under forudsætning af en tilstrækkelig vandfordeling.
- Sammenkobling af to eller tre områder, hvis muligt, for større fleksibilitet.

Optimering af boring 1

Dimensioneringsmæssigt regnes der med 4 mm vand pr. ha, pr. døgn, svarende til 2 m³ vand pr. time (m³/h) pr. ha, hvis vi forudsætter 20 timers drift af vandingsmaskinerne. Boring 1 skal forsyne 43 ha. Ydelsesbehovet er derfor 86 m³/h. Ved trykmåling på en tilknyttet vandingsmaskine er der registreret et tryk på 4,25 bar ved anvendelse af en 0,9" dyse (22,9 mm). Det svarer til en ydelse på 48 m³/h inklusive rotorens forbrug.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland		Udskrevet 2/10 2013 Side 1
BORERAPPORT		DGU arkivnr: 104. 1623
Borested :		Kommune : Ikast-Brande Region : Midtjylland
Boringsdato : 1/6 1977	Boringsdybde : 64 meter	Terrænkote : 62 meter o. DNN
Brøndborer :		Prøver
MOB-nr :		- modtaget :
BB-journr :		- beskrevet : af : G
BB-bornr :		- antal gemt :
Formål : Vandforsyningsboring	Kortblad : 1214IIIISV	Datum : ED50
Anvendelse : Vandforsyningsboring	UTM-zone : 32	Koordinatkilde :
Boremethode :	UTM-koord. : 501939, 6192975	Koordinatmetode : Dig. på koor.bord
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand : 18.8 meter u.t.	Pejledato : 1/6 1977
	Ydelse : 24 m ³ /t	Sænkning : 2 meter
		Pumpetid : 1 time(r)

Borerapport 1. Boring 1 i case 1.

Der mangler altså forskellen mellem 86 og 48 m³/h. Det er 38 m³/h. Før der arbejdes videre, skal det vurderes, om boringen kan yde 86 m³/h. Til dette formål kan data for boringen hentes på Jupiter databasen på www.geus.dk.

Borerapport 1 viser, at boringen er 64 meter under terræn (u.t.), og at vandspejlet er 18,8 meter u.t. uden forbrug. Ved prøvepumpning i en time med en ydelse på 24 m³/h er vandspejlet sænket med 2 meter.

Ved simpel forholdsregning kan det estimeres, hvor meget vandspejlet vil falde ved den nye ønskede ydelse på 86 m³/h. I dette tilfælde bliver vandspejlet sænket 7,2 meter. Det afsænkede vandspejl bliver herved 26,0 meter u.t. Det afsænkede vandspejl bør som udgangspunkt ikke være lavere end 5-6 meter over filteret i bunden af boringen. I bore-rapporten kan det ses, at toppen af filteret er 58 meter u.t.

Herved vurderes det muligt at hente 86 m³/h fra boringen. Ældre boringer kan være til-slemmet, så ydelsen er reduceret. Derfor bør der altid foretages en prøvepumpning for at fastslå, om ydelsen og sænkningen af vandspejlet passer med borerapporten.

Ud over pumpens ydelse skal modtrykket, der skal overvindes, fastslås:

Tabel 17. Beregning af tryktab ved case 1, boring 1, nudrift samt efter optimering

Tryktab i komponenter	Tryktab mVs (nudrift) 1 x 48 m ³ /h	Tryktab mVs (optimeret) 2 x 45 m ³ /h
Dysetryk, bar	(4,25 bar) 42,5	(4,5 bar) 45,0
Slange på vandingsmaskinen, Ø100 x 500 m	27,8	27,8
Jordledning, Ø140 x 500 m	3,2	3,2
Terrænstigning, + 1 meter længst væk fra boringen	1,0	1,0
Tab i bøjninger, fremdrift mv. (erfaringsmæssigt 15-25 mVs)	18,0	18,0
Tryk ved jordoverfladen	(9,25 bar) 92,5	(9,5 bar) 95,0
Løftehøjde i boring	23,0	26,0
Beregnet tryktab i alt (nødvendigt pumpetryk)	115,5	121,0
Tryktab justeret i forhold til kendte forhold	103,0	115,0

Det vides, at den nuværende pumpe er en Flygt 6FX 58-12 dykpumpe, som yder 48 m³/h ved 103 mVs. Derfor ved vi, at tryktabet er lavere end beregnet og kan vælge pumpe herefter. Ydelserne skal kunne leveres i to driftssituationer:

- 1) Ved anvendelse af to vandingsmaskiner skal pumpeydelsen være 86 m³/h, som rundes op til 90 m³/h ved et modtryk på 115 mVs.
- 2) Ved anvendelse af kun én vandingsmaskine skal pumpeydelsen ydermere kunne reduceres til 45 m³/h ved et lidt lavere modtryk, men der regnes med 115 mVs.

En mulig løsning kan være et in-line anlæg, hvor en dykpumpe kan forsyne én vandingsmaskine med den nødvendige ydelse ved det nødvendige modtryk. Når der anvendes to vandingsmaskiner kan dykpumpen stadig levere den nødvendige ydelse, men ved et for lavt modtryk.

Der opstilles en trykpumpe på jordoverfladen, der hæver trykket til det ønskede niveau. Trykpumpen skal have tilstrækkelig fri gennemgang til, at vandet kan passere, når dyk-pumpen skal arbejde i driftssituation 2 med slukket trykpumpe.

En anden mulighed er en frekvensstyret pumpe, hvor pumpens omdrejninger styres.

Til sidst skal jordledningernes dimension vurderes. Vi ønsker som udgangspunkt ikke en vandhastighed større end 1 m/s, da det forøger risikoen for rørsprængninger. Dette må dog accepteres i visse situationer. Ved en fordobling af vandmængden firedobles modtrykket.

Tabel 18. Maksimal tilrådelig vandmængde ved rørdiameter (landbrugsrør)

Diameter, mm	8 bar (rør til landbrug)	10 bar (rør til landbrug)
Ø90	21 m ³ /h	20 m ³ /h
Ø110	31 m ³ /h	30 m ³ /h
Ø125	39 m ³ /h	38 m ³ /h
Ø140	50 m ³ /h	49 m ³ /h
Ø160	65 m ³ /h	63 m ³ /h
Ø200	99 m ³ /h	98 m ³ /h

Ændringer i rørføring:

- Generelt er der Ø140 mm rørføring, svarende til en maksimal ydelse på 49 m³/h. Det er tilstrækkeligt til én vandingsmaskine.
- Fra boringen mod nord er der 200 m Ø110 mm jordledning. På grund af den korte strækning accepteres det til én vandingsmaskine.
- Fra pumpen og mod syd bør jordledningen udskiftes til Ø200 mm til mark 8-1, da der på denne strækning skal kunne køre to vandingsmaskiner på en gang. Alternativt kan man lægge en Ø160 mm parallel med den eksisterende til mark 8-1.

Den fjerneste del af mark 24-0 (2-3 ha) kan ikke vandes. Den nødvendige merinvestering i ny rørføring (265 m Ø140 mm jordledning) eller ny vandingsmaskine vurderes for stor.

Optimering af boring 2

Ønsket til boring 2 var optimering til én vandingsmaskine ved overførsel af mark 13-0 til boring 3, såfremt det samlet set kan anbefales for begge borer.

Boring 2 skal forsyne 23 ha, når mark 13-0 ikke medregnes. Ydelsesbehovet er derfor 46 m³/h. Ved trykmåling på en tilknyttet vandingsmaskine er der registreret et tryk på 3,5 bar ved anvendelse af en 0,9" dyse (22,9 mm). Det svarer til en ydelse på 43,7 m³/h inklusiv rotorens forbrug. Der mangler altså 2,3 m³/h.

Optimering af boring 3

Ønsket til boring 3 var optimering til én vandingsmaskine ved overførsel af mark 13-0 fra boring 2, såfremt det samlet set kan anbefales for begge borer.

Boring 3 skal forsyne 19,5 ha, når mark 13-0 medregnes. Ydelsesbehovet er derfor 39 m³/h. Ved trykmåling på en tilknyttet vandingsmaskine er der registreret et tryk på 3,25 bar ved anvendelse af en 0,9" dyse (22,9 mm). Det svarer til en ydelse på 40,0 m³/h inklusive rotorens forbrug. Behovet er altså dækket.

Teknisk optimeringsplan for case 1

Bevarelse af flytteafstanden på 60 meter anbefales, da større bredde kræver andre vandingsmaskiner med slanger af større diameter. Vandfordelingen i nudrift er dårlig. Der anbefales nye kanoner med større rækkevidde. Prøvepumpning af alle boringerne tilrådes, før det nedenstående udføres for afdækning af, om boringerne har tilstrækkelig kapacitet.

Boring 1 (ejendom 1). Anlægget optimeres ved ombygning og udvidelse, så det kan håndtere to vandingsmaskiner af hver 45 m³/h:

- Ny dykpumpe, der kan levere 45 m³ vand i timen ved et modtryk på 115 mVs. Pumpen skal desuden kunne levere 90 m³ vand i timen ved et lavere modtryk.
- Ny in-line trykpumpe, der skal supplere dykpumpens manglende tryk ved ydelse af 90 m³ vand i timen. Sammenlagt skal trykket på de to pumper være 115 mVs.
- Opgradering af jordledningen fra boringen til mark 8-1 til Ø200 mm.
- Ved senere investering i ny vandingsmaskine bør der købes maskiner med 125 mm slanger og turbine til fremføring i stedet for rotor.

Anlæggets ydelse muliggør tildeling af 2,0 m³ vand pr. time, pr. ha (100 pct. af optimum).

Boring 2 (ejendom 2). Overførsel af mark 13-0:

Der anbefales ingen investering. Mark 13 overføres til boring 3. Anlæggets ydelse muliggør herefter tildeling af 1,9 m³ vand pr. time, pr. ha (95 pct. af optimum).

Boring 3 (ejendom 3). Overførsel af mark 13-0 ved tilkobling af ny jordledning:

- Forlængelse af eksisterende jordledning på mark 11-0 til den syd-vestlige ende af mark 13-0, for at muliggøre vanding af mark 13. Det estimerede behov for ny jordledning er 500 meter Ø140 mm.

Anlæggets ydelse gør det muligt at tildele 2,1 m³ vand pr. time, pr. ha (103 pct. af optimum). Nye vandingskanoner med lange slanger for at forbedre vandfordelingen anbefales.

Alternativ - en billigere løsning

Et alternativt og billigere forslag kunne være at genanvende pumpen, der kasseres i boring 1, i boring 3. Herved hæves ydelsen fra 40 m³ til ca. 50 m³. Mark 24-0 (11,52 ha) overføres til boring 3, ved anlæggelse af en ny jordledning fra mark 13-0. Ydelsen fra boring 3 muliggør herefter tildeling af 1,6 m³ vand pr. time, pr. ha (80 pct. af optimum).

Der monteres en ny pumpe i boring 1, der muliggør en ydelse på 60 m³/h til en vandingsmaskine i en bredde af 72-80 m. Ydelsen muliggør herefter tildeling af 1,9 m³ vand pr. time, pr. ha (95 pct. af optimum).

Prisoverslag for alternativ 1

Pris på fuld optimering af vandingsanlægget på ejendommene:	
270 m Ø200 mm jordledning x 150 kr./m (inkl. gravearbejde)	40.500 kr.
600 m Ø140 mm jordledning x 80 kr./m (inkl. gravearbejde)*	48.000 kr.
Ny pumpe: Grundfos SP95-6, 26 kW og Grundfos TP80-400/2, 15 kW	99.900 kr.
Elinstallation (anslået af landmandens elektriker)	40.000 kr.
I alt	228.400 kr.

Prisoverslag for alternativ 2

Pris på den alternative optimering af vandingsanlægget på ejendommene:	
1.150 m Ø140 mm jordledning x 80 kr./m (inkl. gravearbejde)	92.000 kr.
Ny pumpe: Grundfos SP60-16, 26,0 kW	74.000 kr.
Elinstallation (anslået af landmandens elektriker)	20.000 kr.
I alt	186.000 kr.

*Pris på samlet optimering af boring 2 og 3.

Økonomi i optimering af case 1

Vandingsbehov ved optimal vanding

Jordtypen er JB 1. Rodzonekapaciteten er vurderet til ca. 80 mm. Det kan anbefales at få foretaget teksturanalyser, så rodzonekapaciteten kan fastslås med større sikkerhed. Arealet dyrkes med kartofler til stivelse og pulver (25 %) og vårbyg (75 %). Det gennemsnitlige vandingsbehov over en længere årrække er med det aktuelle afgrødevalg vurderet til 90 mm (900 m³ pr. ha).

Vandmængde til rådighed

- Boring 1 og 2 har tilsammen en indvindingstilladelse på 102.000 m³ pr. år.
- Boring 3 har en indvindingstilladelse på 12.000 m³ pr. år.
- Der er tildelt 1.200 m³ pr. ha (120 mm).

Vandingskapacitet og andel af vandingsbehov, der kan dækkes

Det er forudsat, at kartoflerne ved nudriften vandes optimalt. Gevinsten ved optimering af vandingsanlægget består da alene i en bedre vanding af vårbyg. Det er beregnet, i hvilken grad vandingsbehovet kan dækkes før og efter optimering af vandingsanlægget. Der er regnet med en effektiv driftstid på 20 timer pr. døgn.

Alternativ 1:

	Areal	Timeydelse	Ydelse pr. ha	Vandingskapacitet	Dækning af vandingsbehov, pct.
	ha	m ³ /time	m ³ /time/ha	mm/dag	
Boring 1 før	43,0	48	1,1	2,2	53
Boring 1 efter	43,0	90	2,1	4,2	95
Boring 2 før	25,3	44	1,7	3,4	80
Boring 2 efter	23,0	44	1,9	3,8	88
Boring 3 før	9,4	40	4,3	8,6	100
Boring 3 efter	19,5	40	2,1	4,2	95

Alternativ 2:

	Areal	Timeydelse	Ydelse pr. ha	Vandingskapacitet	Dækning af vandingsbehov, pct.
	ha	m ³ /time	m ³ /time/ha	mm pr. dag	
Boring 1 før	43,0	48	1,1	2,2	53
Boring 1 efter	31,5	60	1,9	3,8	88
Boring 2 før	25,3	44	1,7	3,4	80
Boring 2 efter	23,0	44	1,9	3,8	88
Boring 3 før	9,4	40	4,3	8,6	100
Boring 3 efter	31,0	50	1,6	3,2	76

Merudbytte for markvanding

Der dyrkes vårbyg. Ud fra jordtypen og rodzonekapaciteten vurderes, at der i gennemsnit kan opnås et merudbytte på 23 kg kerne pr. mm vandingsvand, jf. tabel 9. Det er under forudsætning af rettidig vanding og en god vandfordeling på markerne. Da vandingsbehovet er vurderet til 90 mm i gennemsnit pr. år, så er det forventede gennemsnitlige merudbytte 20,7 hkg kerne pr. ha, pr. år ved optimal vanding.

Økonomi i optimering af vandingsanlæg

Der er anvendt en netto kornpris på henholdsvis 120 og 150 kr. pr. hkg. Nettoprisen er salgspris efter fradrag af omkostninger til tørring, rensning og transport. Der er regnet med 7,70 kr. pr. mm i variable omkostninger. Det skal bemærkes, at det er inklusiv arbejdskraft til flytning af vandingsmaskinerne og opsyn.

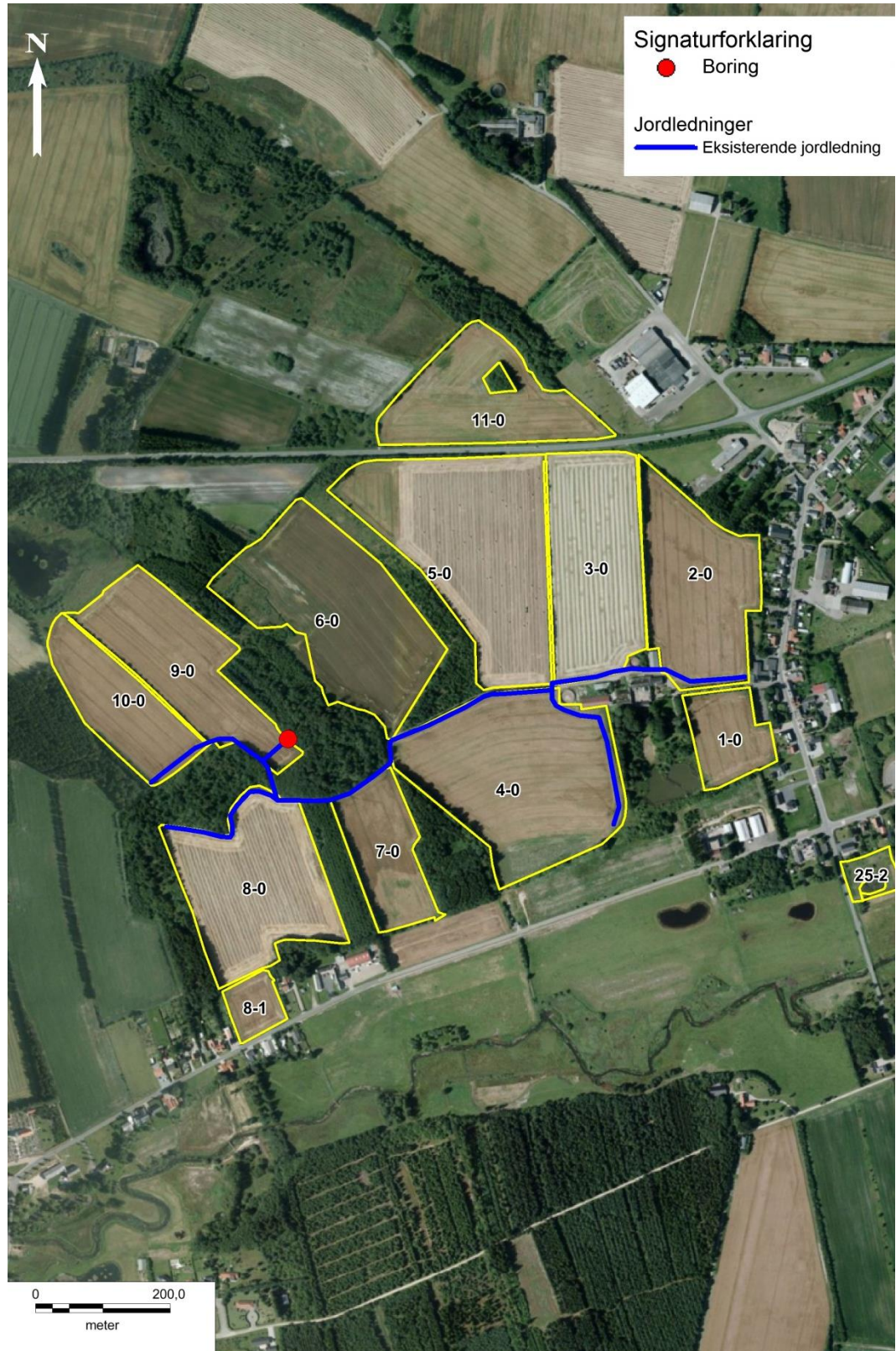
Ved alternativ 1 er der regnet med en samlet investering på 228.400 kr. og ved alternativ 2 er den samlede investering 186.000 kr. Der er regnet med en rente på 5 % og afskrivning over 20 år. Den årlige omkostning til forrentning og afskrivning er da henholdsvis 17.488 kr. ved alternativ 1 og 14.241 kr. ved alternativ 2.

Sammenligning af alternativerne (kr. i alt):

	Alternativ 1		Alternativ 2	
	120 kr./hkg	150 kr./hkg	120 kr./hkg	150 kr./hkg
Merudbytte for bedre vanding	75.968	92.850	53.347	65.202
Variable omkostninger til ekstra vanding	18.839	18.839	13.229	13.229
Dækningsbidrag for bedre vanding	57.129	74.011	40.118	51.973
Forrentning og afskrivning af investering	17.488	17.488	14.241	14.241
Resultat (merindtjening)	39.641	56.523	25.877	37.732

Der er en god rentabilitet i at optimere vandingsanlægget ved både den høje og den lave kornpris, og alternativ 1 giver det bedste økonomiske resultat.

Case 2 - casebeskrivelse



Kort 2. Placering af boringen samt de eksisterende jordledninger.

Nudrift

Case 2 er en ejendom med slagtesvin og 126 ha planteavl. Jordtypen i det område, der ønskes optimeret, er ifølge markplanen JB 3. Der dyrkes i dette område 43 ha med vårbyg, hvede, vinterbyg, vinterraps og vinterrug. Alle afgrøder har et samtidigt vandingsbehov

Landmandens ønske til optimering

- Der er mistanke om fejl på anlægget, da der er stort tryktab. Fejlen skal findes. Anlægget har været stoppet med tryk. Efter nogle timer er der registreret, at trykket ikke er faldet. Derfor er anlægget ikke utæt.
- Ydelsen og anlæg ønskes optimeret til én ny vandingsmaskine, hvis muligt. Type og fabrikat er ikke besluttet endnu.
- Der er en ny tørpestillet trykpumpe fra 2011. Den kan eventuelt anvendes på en anden ejendom, hvis pumperne skal udskiftes.
- Det ønskes, at flytteafstanden hæves fra 60 til 72 meter, hvis muligt.

Optimering af anlægget

På jordtypen JB 3 kan der i nogle tilfælde dimensioneres med mindre end de 2 m³ vand pr. time, pr. ha, der blev anvendt i Case 1. Men overjorden alene bestemmer ikke behovet. For at fastslå underjorden er der taget jordbundsprøver, der har fastlagt underjordens tekstur tilsvarende JB 1. Derfor regnes der også på denne ejendom med 2 m³ vand pr. time, pr. ha. Boringen skal forsyne 43 ha. Ydelsesbehovet er derfor 86 m³/h.

Ved trykmåling på en tilknyttet vandingsmaskine er der registreret et tryk på 2,8 bar ved anvendelse af en 0,8" dyse (20,3 mm). Det svarer til en ydelse på 31,5 m³/h inklusive rotorens forbrug. Der er målt et tryk på 7,8 bar ved pumpen, der bør yde 40-50 m³/h. Der laves en tryktabsberegning for at undersøge, hvad trykket ved kanonen bør være:

Tabel 19. Beregning af tryktab ved case 2, nudrift samt efter optimering

Tryktab i komponenter	Tryktab mVs (nudrift) 1 x 32 m ³ /h	Tryktab mVs (optimeret) 1 x 60 m ³ /h
Dysetryk, bar	28,0	45,0
Slange på vandingsmaskinen, Ø100 x 300 m	8,3	4,8
Jordledning, Ø125 x 900 m	5,0	5,0
Terrænstigning, + 1 meter længst væk fra boringen	2,0	2,0
Tab i bøjninger (erfaringsmæssigt 15-25 mVs)	15,0	15,0
Tryk ved jordoverfladen	58,3	71,8
Løftehøjde i boring	18,0	26
Tryktab i alt (nødvendig pumpetryk)	76,3	97,8

Beregningen viser, at for at opnå et dysetryk på 2,8 bar (28,0 mVs) kræves der 5,8 bar (58,3 mVs) på jordoverfladen ved boringen. Der er registreret 7,8 bar. Vi har altså et uforklarligt tryktab på 2 bar. Den mest sandsynlige forklaring er en indsnævring i et rør eller på vandingsmaskinen.

Det bør undersøges ved to tiltag:

- 1) Først skal en anden vandingsmaskine tilkobles, for at udelukke at fejlen er her. Hvis der kan findes en lignende vandingsmaskine, er det at foretrække.
- 2) Herefter skal der foretages prøvepumpning. Der startes ved boringen uden jordledninger tilkøbet. Herefter måles der på hydranter i stigende afstand fra boringen. Herved kan flaskehalsen lokaliseres.

Når fejlen er rettet, bør vi kunne hæve ydelsen fra de nuværende 32 til ca. 45 m³/h og trykket fra 2,8 til ca. 4,5 bar. Vandfordelingen er p.t. for dårlig. Teoretisk beregnet bør vandfordelingen blive forbedret fra 45-50 meter til ca. 60 meter effektiv spreddebrede.

Ydelsesbehovet var oprundet 90 m³/h. Hvis det anslås, at ydelsen på vandingsmaskinen bliver 45 m³/h, mangles der 45 m³/h. Det skal vurderes, om boringen kan yde 90 m³/h.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland		Udskrevet 23/6 2013 Side 1			
B O R E R A P P O R T		D G U arkivnr: 104. 1407			
Borested :		Kommune : Vejle Region : Syddanmark			
Boringsdato : 1/6 1976	Boringsdybde : 29,5 meter	Terrænkote : 66 meter o. DNN			
Brøndborer :	Prøver				
MOB-nr :	- modtaget :				
BB-journr :	- beskrevet : af : G				
BB-bornr :	- antal gemt :				
Formål : Vandforsyningsboring	Kortblad : 1214IIISV	Datum : ED50			
Anvendelse :	UTM-zone : 32	Koordinatkilde :			
Boremethode : Tørboring/slagboring	UTM-koord. : 506924, 6185398	Koordinatmetode : Dig. på koor.bord			
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand 13 meter u.t.	Pejledato 1/6 1976	Ydelse 40 m ³ /t	Sænkning 7 meter	Pumpetid 2 time(r)

Borerapport 2. Borerapport i case 2.

Vandspejlsænkning vil blive 16 meter ved en ydelse på 90 m³/h. Dybden u.t. bliver hermed 29 meter. Eftersom toppen af filteret er 23 meter u.t., kan det ikke lade sig gøre. Det kan konkluderes, at der skal laves en ny boring for at imødekomme vandingsbehovet.

Ydermere er der et misforhold mellem den elektroniske borerapport og en gammel indscannet borerapport. Den elektroniske borerapport viser en prøvepumpning med 40 m³/h, mens den gamle viser en prøvepumpning med 30 m³/h. Det er sandsynligvis den gamle, der er korrekt. På den baggrund er det ikke sandsynligt, at vi kan opnå de først estimerede 45 m³/h. Ydelsen bliver sandsynligvis ikke større end 35-40 m³/h efter en rensning.

Prøvepumpning af boringen på ejendom 2

Som beskrevet i kapitel 4 blev der foretaget en prøvepumpning af boringen. Ydelsen ved prøvepumpningen svarer til den gamle borerapport på 30 m³/h, men ydelsen opnås ved hjælp af vakuum. Det var ikke tilfældet, da boringen var ny. Da pumpeanlægget er 0-2 år gammelt, må reduktionen i ydelsen uden vakuum skyldes, at boringens filter er delvist tilstoppet. Sandsynligvis af okkeraflejring. Der er desuden et uforklaret tryktab på 2 bar. Indsnævringen skal lokaliseres og fjernes samtidig med, at brøndboreren renser boringen med spuler monteret på en lanse. Herefter skal pumpen sænkes til tæt ved filterets top.

Teknisk optimeringsplan for case 2

Selv når tryktabet er fjernet, tør vi ikke estimere anlæggets ydelse til mere end 35 m³/h. Anlæggets ydelse muliggør hermed tildeling af 0,8 m³ vand pr. time, pr. dag (41 pct. af optimum). Vandfordelingen med de nuværende 60 m vandingsspor er dårlig. Fjernelse af indsnævringen bør forbedre vandfordelingen, men 72 meter vandingsspor kan ikke anbefales. Hvis vi opnår et højere arbejdsstryk, vil det forbedre spredebilledet. Desuden anbefales kanonen udskiftet til en type med længere strålerør.

Den manglende ydelse på 51 m³/h kan ikke hentes fra den nuværende boring. Det er nødvendigt at lave en ny boring, hvis ydelsen skal hæves til 86 m³/h. Det vil desuden medføre behov for udskiftning af alle jordledningsrør til Ø160 og helst Ø200 mm rør.

Det vurderes til at blive for dyrt. Den eksisterende vandingsmaskine er nedslidt og skal udskiftes, uanset hvad der ellers foretages. For at kunne nøjes med indkøb af én vandingsmaskine og ud fra en vurdering af, at landmanden ikke har tid til at flytte to vandingsmaskiner på ejendommen, anbefales det at købe én vandingsmaskine og nøjes med en kapacitet på 60 m³/h. Det er den kapacitet, der forventes at kunne opnås i det ene alternativ. På ovenstående baggrund opstilles der tre alternativer:

Alternativ 1, 35 m³/h

Brønden renses, og pumpen sænkes til filterets top. Indsnævringen i jordledningsrørene findes og udbedres.

Alternativ 2, 45 m³/h

Den gamle boring opgives. Der laves en ny boring tæt ved den gamle, der er dybere, og dykpumpen flyttes hertil. Trykforøgerpumpen byttes til en større. Indsnævringen i jordledningsrørene findes og udbedres, men der udskiftes ikke rør til en større dimension.

Alternativ 3, 60 m³/h

Den eksisterende brønd renses. Indsnævringen i jordledningsrørene findes og udbedres. Der laves en ny boring tæt ved den gamle, der er dybere. Den nye boring udstyres med en ny dykpumpe og trykforøgerpumpe. Der nedgraves 400 m supplerende Ø140 mm jordledning mellem den nye brønd og gylletanken. Den gamle Ø110 mm jordledning bevares. Til dette scenarie anbefales en selvkørende vandingsmaskine med 550 m 110 mm slange. Længden gør det muligt at udlægge slangen i et U, hvorved der kan vandes to træk pr. flytning. Det vurderes muligt at fordele vandet på 72 meters bredde med 60 m³/h. Der regnes kun på merprisen for maskinen, da der skal købes en ny, uanset hvilket alternativ der vælges.

Prisoverslag

Opgave / ydelse	35 m ³	45 m ³	60 m ³
Rensning af boring	6.000		6.000
Sænkning af dykpumpe	5.000		
Jordledning, rensning og udbedring	5.000		5.000
Ny boring, 36 m x 900 kr./m		32.400	32.400
Udskiftning af trykforøgerpumpe		16.000	
Flytning, VVS		10.000	
EI, flytning og udvidelse		10.000	
Ny dykpumpe, SP30-13, alt inklusive			74.500
Ny jordledning, 400 m Ø140 mm á 80 kr./m (inkl. gravearb.)			32.000
Elinstallation, ny boring*			39.000
Nyere selvkørende vandingsmaskine, 550 m Ø110 mm. (Kun merpris for større maskine til 60 m ³ på 72 m)			70.000
I alt, ekskl. moms	16.000	68.400	258.900

*Dækker elskab og installation + nødvendig forøgelse af tarif-sikringen med 17 A til 80 A.

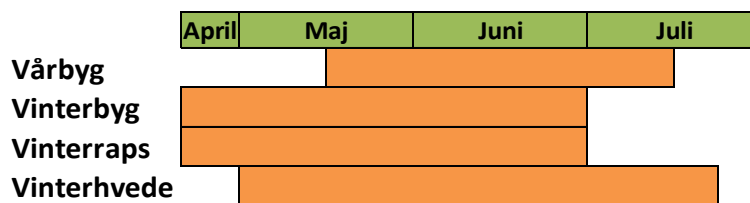
Økonomi i optimering af case 2

Det reelle vandingsbehov er afhængigt af jordtype, afgrødevalg samt nedbør. Derfor er det afgørende at fastsætte nogle forudsætninger. Ud fra jordbundsprøver i de tre niveauer 0-25 cm, 25-50 cm og 50-75 cm er den effektive roddebyde vurderet til at være gennemsnitligt 75 cm. Den gennemsnitlige rodzonekapacitet vurderes til at være 80 mm.

Set over en lang årrække vil vandingsbehovet være 100 mm pr. ha eller 1.000 m³ pr. ha. Merudbyttet for vandingen afhænger af følgende:

- Afgrøden samt den vækstfase hvor tørken indtræffer
- Merudbyttet er stigende ved stigende udbyttensiveau, på samme jordtype
- Jo bedre jordtype, jo mindre merudbytte pr. mm vand der tildeles

Det gennemsnitlige merudbytte i korn vurderes til at være 23 kg kerne pr. ha, pr. mm. Ved tildeling af 100 mm medfører det et merudbytte på 23 hkg pr. ha. Nedenstående figur og tabel viser, hvornår der er samtidigt vandingsbehov, samt hvor stor del af behovet der dækkes ved tildeling af de tre alternative mængder.



Figur 7. Hvornår har afgrøderne samtidigt vandingsbehov.

Tabel 20. Dækning af vandingsbehovet ved de tre alternativer

	Nudrift	35 m ³	45 m ³	60 m ³
Ydelse, m ³ pr. time, pr. ha	0,7	0,8	1,0	1,4
Vandingskapacitet, mm pr. dag	1,4	1,6	2,1	2,8
Dækning af vandingsbehov, pct.	46	51	64	78

Ud fra disse forudsætninger kan merindtægten ved vanding beregnes ud fra et valgt prisniveau. Der regnes på de to prisniveauer 120 og 150 kr./hkg.

Tabel 21. Økonomisk gevinst ved alternativerne (120 kr./hkg)

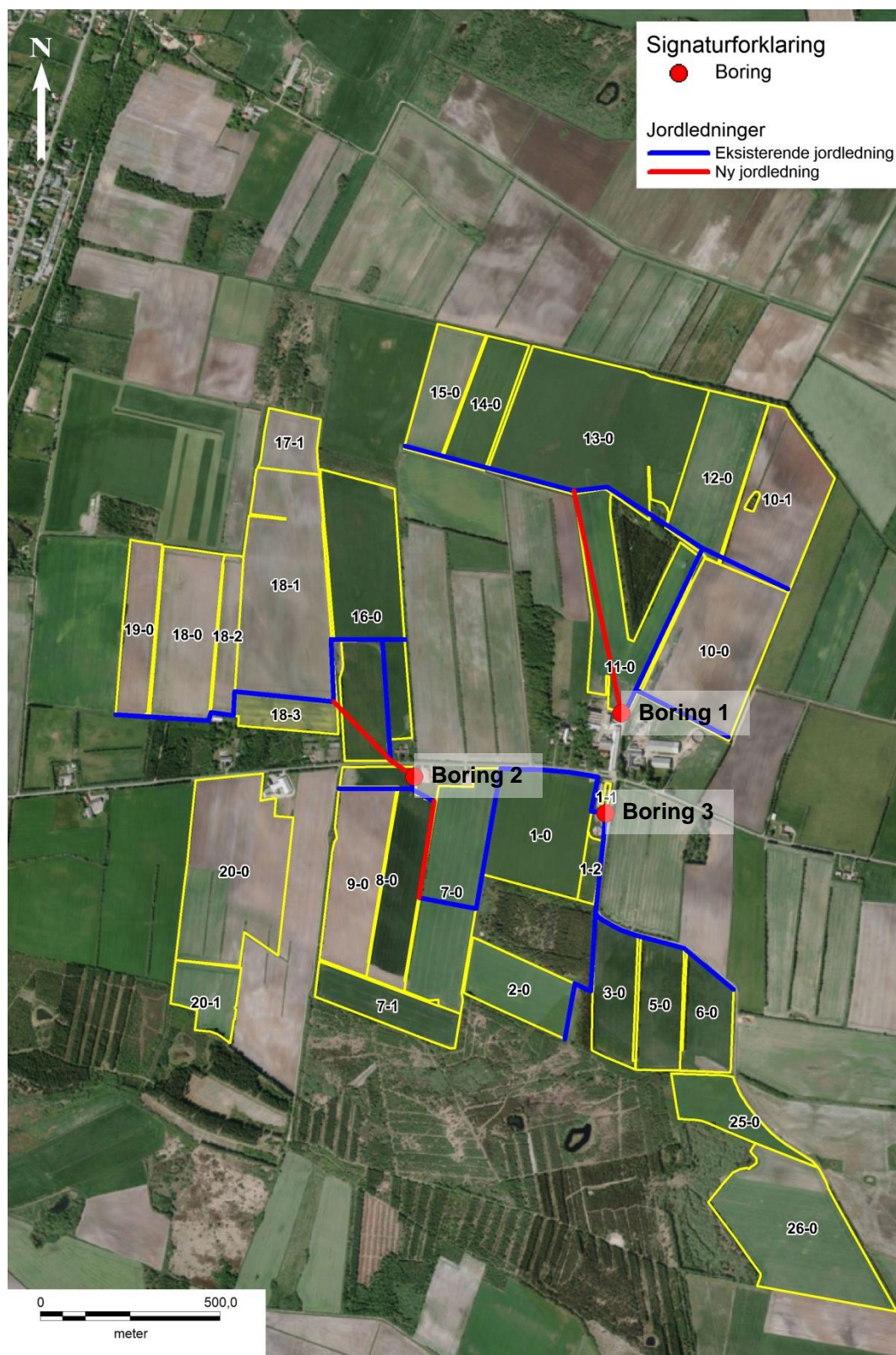
	Nudrift	35 m ³	45 m ³	60 m ³
Dækning af vandingsbehov, pct.	46	51	64	78
Merudbytte pr. ha, hkg/ha i gns.	10,6	11,7	14,7	17,9
Bruttoudbytte (ved 120 kr./hkg), kr.	63.000	68.000	85.000	104.000
Variable omkostninger (7,70 kr./mm)	15.000	17.000	21.000	26.000
DB for vanding, kr.	48.000	51.000	64.000	78.000
Øget DB, kr.		3.000	16.000	30.000
Investering, kr.		16.000	68.400	258.900
Forrentning og afskrivning, 20 år		1.000	5.000	20.000
Økonomisk gevinst, kr./år		2.000	11.000	10.000

Tabel 22. Økonomisk gevinst ved alternativerne (150 kr./hkg)

	Nudrift	35 m ³	45 m ³	60 m ³
Dækning af vandingsbehov, pct.	46	51	64	78
Merudbytte pr. ha, hkg/ha i gns.	10,6	11,7	14,7	17,9
Bruttoudbytte (ved 150 kr./hkg), kr.	75.000	83.000	104.000	127.000
Variable omkostninger (7,70 kr./mm)	15.000	17.000	21.000	26.000
DB for vanding, kr.	60.000	66.000	83.000	101.000
Øget DB, kr.		6.000	23.000	41.000
Investering, kr.		16.000	68.400	258.900
Forrentning og afskrivning, 20 år		1.000	5.000	20.000
Økonomisk gevinst, kr./år		5.000	18.000	31.000

Ved en kornpris på 120 kr./hkg er optimering til 45 m³ vand i timen økonomisk optimalt. Ved en kornpris på 150 kr./hkg er optimering til 60 m³ vand i timen økonomisk optimalt.

Case 3 - casebeskrivelse



Kort 3. Placering af de tre borer samt eksisterende og nye jordledninger.

Nudrift

Case 3 er en kvægejeendom på 285 ha fordelt på fem ejendomme. Jorderne i det område, der ønskes optimeret, er JB 1. Afgrødesammensætningen er 51 pct. korn, 22 pct. græs, 9 pct. majs og 5 pct. kartofler. På de resterende 13 pct. dyrkes spinat, raps, pil og lucerne.

Majs har ikke behov for vanding samtidig med korn. Derfor kunne det overvejes at fradrage de 9 pct. majs i dimensioneringsberegningen. Der vælges dog at dimensionere efter vanding samtidigt, da der er kartofler og en stor andel af græs i sædskiftet.

Boring 1 (ejendom 1) forsyner 63 ha. Jordledningen er Ø140 mm og vandingsmaskinen er en Perrot France indtræksmaskine fra 1980 med 350 meter Ø100 mm slange, der ønskes udskiftet. Boring 1 og 3 er forbundet med rørføring af lille diameter, som ikke anvendes.

Boring 2 (ejendom 2) forsyner 60 ha. Der er yderligere 15 ha tæt ved, som ikke p.t. kan vandes. Jordledningerne er Ø160 mm, og vandingsmaskinen er en selvkørende Smedemesteren fra 2011 med 900 meter 4" blød slange.

Boring 3 (ejendom 3) forsyner 39 ha. Jordledningerne er Ø125 mm, og vandingsmaskinen er en Bauer indtræksmaskine fra 1996 med 400 meter Ø125 mm slange.

Landmandens ønske til optimering

- Optimering af boring 1 til to vandingsmaskiner i samdrift.
- Optimering af boring 2 til én vandingsmaskine, hvis muligt
- Optimering af boring 3 til én vandingsmaskine. Landmanden vurderer, at området har tilstrækkelig kapacitet.
- Der ønskes et vandingsspor på 72 meter. De nuværende er 60 meter. Ønsket er under forudsætning af en tilstrækkelig vandfordeling.
- Sammenkobling af to eller tre områder, hvis det er formålstjenligt, for større fleksibilitet.

Optimering af boring 1

Der dimensioneres efter 4 mm vand pr. ha, pr. døgn, svarende til 2 m³ vand pr. time (m³/h), pr. ha, hvis vi forudsætter 20 timers drift af vandingsmaskinerne. Boring 1 skal forsyne 63 ha. Ydelsesbehovet er derfor 126 m³/h. Ved trykmåling på den tilknyttede vandingsmaskine er der registreret et tryk på 3,7 bar (med turbinen tilkøbet) ved anvendelse af en 24 mm dyse. Det svarer til en ydelse på 41 m³/h.

Der mangler altså 85 m³/h. Det skal vurderes, om det er sandsynligt, at boringen kan yde 126 m³/h. Borerapport 3 viser, at boringen er 172 meter under terræn (u.t.), og at vandspejlet er 2,1 meter u.t. uden forbrug. Ved prøvepumpning i 24 timer med en ydelse på 100 m³/h er vandspejlet sænket med 5,2 meter.

**BORERAPPORT**

DGU arkivnr: 140. 988

Borested :		Kommune : Esbjerg
		Region : Syddanmark
Boringsdato : 12/7 1989	Boringsdybde : 172 meter	Terrænkote : 10 meter o. DNN
Brøndborer : Lønne Brøndboring, Ribe	MOB-nr : 7727	Prøver
BB-journr :	BB-bornr :	- modtaget : 6/12 1989 antal : 41
		- beskrevet : 14/12 1990 af : JFR
		- antal gemt : 38
Formål : Vandforsyningsboring	Kortblad : 1112 ISV	Datum : ED50
Anvendelse : Markvanding/gartneri	UTM-zone : 32	Koordinatkilde : Amt
Boremethode : Rotaryboring	UTM-koord. : 484574, 6124522	Koordinatmethode :
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand 2,07 meter u.t.	Pejledato 12/7 1989
		Ydelse 100 m ³ /t
		Sænkning 5,2 meter
		Pumpetid 24 time(r)
Tilbagepejling		
Indtag 1	Tid: 3min Vsp: 2,89m , Tid: 10min Vsp: 2,44m , Tid: 30min Vsp: 2,1m	
Notater : Gruskastning nr.3 DGU symboler 20 til 40 m u.t. er ændret den 17.06.2013, idet der tilsyneladende var tastefejl. HJG/GEUS 17.06.2013		

Borerapport 3. Boring 1 i case 3.

Ved en ydelse på 126 m³/h vil vandspejlsænkningen blive sænket ca. 6,6 meter. Det af-sænkede vandspejl bliver herved 8,3 meter u.t. Det er muligt at hente 126 m³/h fra borin-gen, da vandspejlsænkningen er lille i forhold til ydelsen.

Ud over pumpens ydelse skal modtrykket, der skal overvindes, fastslås:

Tabel 23. Beregning af tryktab ved case 3, boring 1, nudrift samt efter optimering

Tryktab i komponenter	Tryktab mVs (nudrift) 1 x 41 m ³ /h	Tryktab mVs (optimeret) 2 x 65 m ³ /h
Dysetryk, bar	37,0	50,0
Slange på vandingsmaskinen	(Ø100x350m) 14,7	(Ø110x400m) 15,1
Jordledning, ny Ø160 og eks. Ø140 sideløbende	-----	5,3
Jordledning, Ø140 x 550 m	(Ø140x1350m) 7,8	(Ø140x550m) 6,9
Terrænstigning, + 1 meter længst væk fra boringen	0,0	0,0
Tab i bøjninger (erfaringsmæssigt 15-25 mVs)	20,0	20,0
Tryk ved jordoverfladen	79,5	97,3
Løftehøjde i boring	4,2	8,6
Tryktab i alt (nødvendig pumpetryk)	83,7	105,9

Der er på nuværende tidspunkt en 30 hk (22,4 kW) selvansugende pumpe. Den skal skiftes for at opnå den ønskede ydelse på ~130 m³/h ved et modtryk ~110 mVs.

Som i case 1 skal ydelserne kunne leveres i to driftssituationer:

- 1) Ved anvendelse af to vandingsmaskiner skal pumpeydelsen være 130 m³/h ved et modtryk på 110 mVs.
- 2) Ved anvendelse af kun en vandingsmaskine skal pumpeydelsen ydermere kunne reduceres til 65 m³/h ved et lavere modtryk, men der regnes med 110 mVs.

Da der er flere forskellige vandingsmaskiner, vil en frekvensstyret dykpumpe være opti-malt, da den automatisk vil tilpasse sig det indstillede driftspunkt for vandingsmaskinerne.




Billede 11. Ny Ø160 mm jordledning som supplement til de eksisterende Ø140 MM.

Som supplement til den eksisterende Ø140 mm jordledning skal der nedgraves en ny Ø160 mm (vist som den tykke sorte streg i **Billede 11**). Der kan vandes samtidig med to vandingsmaskiner, hvis begge maskiner ikke vander på venstre side af trekanten.

Optimering af boring 2

Boring 2 forsyner 63 ha. Det kan overvejes at forbinde boring 2 med jordledningen på mark 7-0 (160 m Ø160). Herved kan de 7,2 ha, som boring 3 har i underkapacitet, vandes fra boring 2. Der dimensioneres herfor efter 70 ha og et ydelsesbehov på 140 m³/h.

Ved trykmåling på den tilknyttede vandingsmaskine er der registreret et tryk på 3,1 bar ved anvendelse af en 30 mm dyse. Det giver en ydelse på 58 m³/h. Der mangler 82 m³/h.

 De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland		Udskrevet 21/6 2013 Side 1
BORERAPPORT		DGU arkivnr: 140. 989
Borested : Lundsmarkvej 20 6760 Ribe		Kommune : Esbjerg Region : Syddanmark
Boringsdato : 24/7 1989	Boringsdybde : 200 meter	Terrænkote : 17,3 meter o. DNN
Brøndborer : Lønne Brøndboring, Ribe MOB-nr : 7734 BB-journr : BB-bornr :		Prøver - modtaget : 6/12 1989 antal : 50 - beskrevet : 3/8 1995 af : DP/AGR - antal gemt : 44
Formål : Vandforsyningsboring Anvendelse : Markvanding/gartneri Boremethode : Rotaryboring	Kortblad : 1112 ISV UTM-zone : 32 UTM-koord. : 484001, 6124346	Datum : ED50 Koordinatkilde : Amt Koordinatmethode :
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand 9 meter u.t.	Pejledato 24/7 1989
	Ydelse 100 m ³ /t	Sænkning 4 meter
		Pumpetid 24 time(r)
Tilbagepejling		
Indtag 1 Tid: 3min Vsp: 9,87m , Tid: 10min Vsp: 9,36m , Tid: 30min Vsp: 9,1m		
Notater : Gruskastning nr.3		

Borerapport 4. Boring 2 i case 3.

Borerapport 4 viser, at boringen er 200 meter under terræn (u.t.), og at vandspejlet er 9,0 meter u.t. uden forbrug. Ved prøvepumpning i 24 timer med en ydelse på 100 m³/h er vandspejlet sænket med 4,0 meter. Ved en ydelse på 140 m³/h vil vandspejlsænkningen

blive sænket 5,6 meter. Det afsænkede vandspejl bliver herved 14,6 meter u.t. Boringen kan sandsynligvis yde 140 m³/h. Modtrykket i anlægget skal fastslås:

Tabel 24. Beregning af tryktab ved case 3, boring 2, nudrift samt efter optimering

Tryktab i komponenter	Tryktab mVs (nudrift) 1 x 58 m ³ /h	Tryktab mVs (optimeret) 2 x 70 m ³ /h
Dysetryk, bar	31,0	50,0
Slange på vandingsmaskinen	(Ø4"x900 m) 18,0	(Ø4"x900 m) 27,0
Jordledning, ny Ø160 og eks. Ø160 sideløbende	-----	3,7
Jordledning, Ø160 x 550 m	(Ø160x1400 m) 9,8	(Ø160x650 m) 6,1
Terrænstigning, - 4,25 m længst væk fra boringen	- 4,0	- 4,0
Tab i bøjninger (erfaringsmæssigt 15-25 mVs)	21,0	21,0
Tryk ved jordoverfladen	75,8	103,8
Løftehøjde i boring	4,2	8,6
Tryktab i alt (nødvendig pumpestryk)	80,0	112,4

De nye pumper skal altså levere en ydelse på min. 140 m³/h ved et modtryk på 113 mVs. Som ved boring 1 skal ydelserne leveres både ved drift af et og to vandingsmaskiner.

Optimering af boring 3

Boring 3 ønskes optimeret til én vandingsmaskine. Boring 3 skal forsyne 36,3 ha. Ydelsesbehovet er derfor 72,6 m³/h. Ved trykmåling på en tilknyttet vandingsmaskine er der registreret et tryk på 3,1 bar ved anvendelse af en 30,0 mm dyse. Det svarer til en ydelse på 58 m³/h og en effektiv spredbredde på 60 meter. Der mangler altså 14,6 m³/h.

Optimeringsplan for case 3

Boring 1 (ejendom 1) Større pumpeanlæg og nye vandingsmaskiner:

Optimeret vil anlægget kunne fordele vandet på 72 meter med to maskiner samtidig. De eksisterende Ø140 mm rør anbefales som udgangspunkt op til 50 m³/h. Der påregnes en ydelse på 65 m³/h, så vandhastigheden bliver højere end det optimale, hvilket kan medføre risikoen for rørsprængning. Der anbefales prøvepumpning af alle tre borer for at afklare boringernes ydelser. Herefter anbefales følgende:

- Montage af nye pumper, hvis ydelse muliggør drift med én vandingsmaskine med en ydelse på 65 m³/h og to med en samlet ydelse på 130 m³/h. Begge ydelser ved et modtryk på 110 mVs.
- Nedgravning af 600 meter Ø160 mm jordledning som supplement til den eksisterende nordgående Ø140 mm.
- Den nuværende Perrot France sælges eller beholdes som reservemaskine. Der investeres i to vandingsmaskiner med 400 m slange, egnet til en ydelse på 65 m³/h.
- Hydranter skal flyttes, så placeringerne passer med 72 meters flytteafstand. Der anbefales 4" hydranter til ydelsen på 65 m³/h.

Ovenstående muliggør tildeling af 2 m³ vand pr. time, pr. ha (100 pct. af optimum).

Et alternativ - en billigere løsning:

For at opnå 2 m³ vand pr. time, pr. ha, skal der investeres i en stor dykpumpe på 55 kW (75 hk). Et kompromis kunne være valg af en 37 kW (50 hk) dykpumpe, der yder 100 m³/h ved 110 mVs. Herved muliggøres tildeling af 1,6 m³ vand pr. time, pr. ha (80 pct. af optimum). Da der er afgrøder, der ikke har vandingsbehov samtidigt, er det acceptabelt.

Boring 2 (ejendom 2) Større pumpeanlæg og nye vandingsmaskiner:

Anlægget vil kunne fordele vandet på 72 meter med to maskiner samtidig. Følgende anbefales udført:

- Montage af nye pumper, hvis ydelse muliggør drift med én vandingsmaskine med en ydelse på 70 m³/h og to med en samlet ydelse på 140 m³/h. Begge ydelser ved et modtryk på 113 mVs.
- Nedgravning af 230 meter Ø160 mm jordledning som supplement til den eksisterende Ø160 mm og nedgravning af 160 meter Ø160. Desuden et skydespjæld til forbindelse af boring 2 og 3.
- Den nuværende Smedemesteren med 900 meter slange skal suppleres med en ny vandingsmaskine med 450 m slange, egnet til en ydelse på 70 m³/h.
- Hydranter skal flyttes, så placeringerne passer med 72 meters flytteafstand. Der anbefales 4" hydranter til ydelsen på 70 m³/h.

Ovenstående muliggør tildeling af 2 m³ vand pr. time, pr. ha (100 pct. af optimum).

Boring 3 (ejendom 3) Større pumpeanlæg og nye vandingsmaskiner:

Optimeringen af boring 3 er foretaget samtidig med optimeringen af boring 2, hvor anlæggene er sammenkoblet. Uden sammenkobling med boring 2 yder anlægget 1,6 m³ vand pr. time, pr. ha (80 pct. af optimum). Sammenkoblet yder anlægget 2,0 m³ vand pr. time, pr. ha (100 pct. af optimum).

Prisoverslag

Der regnes alene på optimering af boring 1 (fuld optimering samt alternativet).

Pris på fuld optimering af vandingsanlægget:	
600 m Ø160 mm jordledning x 110 kr./m (inkl. gravearbejde)	66.000 kr.
Ny pumpe: Frekvensstyret Grundfos SP125-6, 55 kW (75 hk)	198.000 kr.
Elinstallation	56.500 kr.
I alt	320.500 kr.
2 indtræksmaskiner (400 meter Ø110 mm hård slange) x 182.000 kr./stk.*	182.000 kr.
I alt inklusive ny vandingsmaskiner	502.500 kr.

*Der medregnes kun én vandingsmaskine, da den ene eksisterende alligevel skal udskiftes.

Pris på alternativ:	
600 m Ø160 mm jordledning x 110 kr./m (inkl. gravearbejde)	66.000 kr.
Ny pumpe: Frekvensstyret Grundfos SP95-9, 37 kW (50 hk)	144.000 kr.
Elinstallation	35.500 kr.
I alt	245.500 kr.
2 indtræksmaskiner (400 meter Ø110 mm hård slange) x 182.000 kr./stk.*	182.000 kr.
I alt inklusive ny vandingsmaskiner	427.500 kr.

Der medregnes kun én vandingsmaskine, da den ene eksisterende alligevel skal udskiftes.

Eksempler på muligheder ved valg af vandingsmaskine til boring 1:

Ocmis R4/1A. Indtræksmaskine med 400 m Ø110 mm hård slange	182.000 kr.
Ocmis VR6. Indtræksmaskine med 400 m Ø125 mm hård slange	217.000 kr.
Fasterholt FM 4800H. Selvkørende med 400 m Ø125 mm hård slange	293.000 kr.

Økonomi i optimering af case 3

Vandingsbehov ved optimal vanding

Jordtypen er JB 1. Rodzonekapaciteten er vurderet til ca. 80 mm. Det kan anbefales at få foretaget teksturanalyser, så rodzonekapaciteten kan fastslås med større sikkerhed.

Arealet dyrkes med korn (51 %), græs, majs, kartofler og raps. Det er forudsat, at de mest værdifulde afgrøder vandes optimalt ved nudrift. Optimering af vandingsanlægget vil først og fremmest kunne sikre en bedre vanding af kornafgrøderne. Det gennemsnitlige vandingsbehov over en længere årrække er for kornafgrøder vurderet til 100 mm (1.000 m³ pr. ha).

Vandingskapacitet og andel af vandingsbehov, der kan dækkes

Gevinsten ved optimering af vandingsanlægget er beregnet ud fra en bedre vanding af kornafgrøderne. Det er beregnet, i hvilken grad vandingsbehovet kan dækkes før og efter optimering af vandingsanlægget. Det er beregnet, at det nuværende anlæg med en vandingskapacitet på kun 1,3 mm pr. dag kan dække 48 % af sædskiftets vandingsbehov set over en årrække. Den høje dækning af behovet skyldes, at det aktuelle afgrødevalg giver en god fordeling af vandingsbehovet hen over vækstsæsonen. Alternativ 1 kan dække vandingsbehovet 100 %, og med alternativ 2 kan 88 % af vandingsbehovet dækkes.

Alternativer:

	Areal	Timeydelse	Ydelse/ha	Vandingskapacitet	Dækning af vandingsbehov, pct.
	ha	m ³ /time	m ³ /time/ha	Mm/dag	
Boring 1 før	63	41	0,65	1,3	48
Boring 1 efter (1)	63	126	2,0	4,0	100
Boring 1 efter (2)	63	100	1,6	3,2	88

Merudbytte for markvanding

Den forbedrede vanding sker i kornafgrøderne. Ud fra jordtypen og rodzonekapaciteten vurderes, at der i gennemsnit kan opnås et merudbytte på 23 kg kerne pr. mm vandingsvand, jf. tabel 9. Det er under forudsætning af rettidig vanding og en god vandfordeling på markerne. Da vandingsbehovet er vurderet til 100 mm i gennemsnit pr. år, er det forventede gennemsnitlige merudbytte 23 hkg kerne pr. ha, pr. år ved optimal vanding.

Økonomi i optimering af vandingsanlæg

Der er anvendt en netto kornpris på henholdsvis 120 og 150 kr. pr. hkg. Netto kornprisen er salgspris efter fradrag af omkostninger til tørring, rensning og transport. Der er regnet med 7,70 kr. pr. mm i variable omkostninger. Det skal bemærkes, at det er inklusive arbejdskraft til flytning af vandingsmaskinerne og opsyn.

Ved alternativ 1 er der regnet en samlet investering på 502.500 kr., og ved alternativ 2 er den samlede investering 427.500 kr. Der er regnet med en rente på 5 % og afskrivning over 20 år. Den årlige omkostning til forrentning og afskrivning er da henholdsvis 38.474 kr. ved alternativ 1 og 32.732 kr. ved alternativ 2.

Sammenligning af alternativerne, kr.i alt:

	Alternativ 1		Alternativ 2	
	120 kr./hkg	150 kr./hkg	120 kr./hkg	150 kr./hkg
Merudbytte for bedre vanding	101.720	124.324	78.246	95.634
Variable omkostninger til ekstra vanding	25.225	25.225	19.404	19.404
Dækningsbidrag for bedre vanding	76.495	99.099	58.842	76.230
Forrentning og afskrivning af investering	38.474	38.474	32.732	32.732
Resultat (merindtjening)	38.021	60.625	26.110	43.498

Der er en god rentabilitet i at optimere vandingsanlægget ved både den høje og den lave kornpris, og alternativ 1 giver det bedste økonomiske resultat.

6. KONKLUSION

Denne farmtest gennemgår mulighederne for optimering af markvandingsanlæg. Formålet er at skabe større nytteværdi af de eksisterende anlæg. Større nytteværdi, og herved et økonomisk merudbytte, kan opnås ved at investere i en optimering i anlægget. Det økonomiske merudbytte kan frembringes dels ved at udnytte vandingsvandet bedre, ved at skabe en mere jævn fordeling af vandingsvandet og dels ved at øge ydelsen på vandingsanlægget, hvor man af forskellige årsager har en for lille kapacitet i forhold til det areal, som anlægget skal vande. Rapporten angiver muligheder for - og metoder til - at optimere ydelsen på det enkelte anlæg. Farmtesten rummer en trin for trin vejledning til optimering, både hvad angår større timeydelse, måling og forbedring af vandfordelingen.

Større timeydelse

En betydelig del af danske markvandingsanlæg er etableret sidst i 1970'erne og først i 1980'erne. Meget er hændt siden da, og mange anlæg bærer i varierende grad præg af slidtage og forældelse. Dertil kommer, at mange har fået et større jordtilliggende at dække fra boringen, uden at anlæggets timeydelse er udvidet. Det betyder, at anlæg, som tidligere kunne løse vandingsopgaven, nu yder betydeligt mindre vand end vandingsbehovet.

På nogle anlæg kan mindre ombygninger og forbedringer løses ved mindre investeringer, mens der i andre situationer kræves ganske store investeringer til ombygning, fornyelse eller udvidelse af anlæggene, så den nødvendige vandingskapacitet opnås.

Den dyrkningsmæssige optimale løsning er at kunne dække vandingsbehovet 100 pct. Ved dyrkning af fx kartofler og specialafgrøder er vandingskapaciteten essentiel. De økonomiske beregninger i denne FarmTest viser dog, at den økonomisk optimale vandydelse kan ligge noget lavere ved dyrkning af kornafgrøder. Hvis en ejendom for eksempel både har kartofler og korn, vil kartoflernes vandingsbehov oftest være prioriteret. Derfor vil udgifterne til en optimering alene skulle betales af et højere kornudbytte.

Bedre vandfordeling

Ved måling af vandfordelingen på tre forskellige vandingsmaskiner viste det sig, at vandfordelingen var meget uensartet. Selv på den maskine, som havde den mest ensartede fordeling, var vandfordelingen dårlig. På de øvrige to var vandfordelingen yderst dårlig. Da udbyttet reduceres væsentligt ved uens fordeling, er udbyttepotentialet ved en forbedret vandfordeling stort.

Før vandfordelingen kan forbedres, skal den nuværende vandfordeling måles. Dernæst skal problemet fastslås. Der er i forbindelse med FarmTesten udarbejdet en vejledning til kontrol af et vandingsanlæg samt et regneark til vurdering af de målte vandmængder. Vejledningen kan downloades på www.farmtest.dk, hvor denne FarmTest er placeret.

Som en generel betragtning vurderes det, at gamle kanoner med "hurtig-retur", altså de der vander den ene vej for derefter hurtigt at køre retur til et stop i modsatte side, kan være tjenlige til udskiftning, da de består af aluminium, som kan blive ru i strålerør og dyse. Drejemekanismen kan desuden være slidt. Begge dele kan medvirke til en reduceret kastelængde. En løsning kan være at investere i en kanon med lang strålerør og plastdyser, da det er sandsynligt, at det kan forbedre kastelængden med 4-7 meter.

OVERSLAGSPRISER, BILAG 1

Vandingsmaskiner, priseksempler

Maskintyper	Priseksempler
Indtræksmaskine med 400 m Ø110 mm slange	182.000 kr.
Indtræksmaskine med 400 m Ø125 mm slange	217.000 kr.
Selvkørende vandingsmaskine med 400 m Ø110 mm slange	240.000 kr.
Selvkørende vandingsmaskine med 400 m Ø125 mm slange	293.000 kr.

Jordledninger inklusiv nedgravning koster anslået:

Rørdimension	Pris pr. løbende meter (inklusive gravearbejde)
Ø125	60 kr.
Ø140	80 kr.
Ø160	110 kr.
Ø200	150 kr.

Boring, rensning af brønde og prøvepumpning

Opgave	Prisoverslag
Boring af en ny brønd, pris pr. løbende meters dybde	900 kr.
Rensning af en eksisterende brønd	5-10.000 kr.
Prøvepumpning af en eksisterende brønd	4 - 5.000 kr.

TRYKTABSTABELLER, BILAG 2

SDI-nomogram 11

Statens Vandforskningsinstitut 1978

Gengivelse af dette nomogram kan tilladt efter skriftlig tilladelse fra SBI til enkelt tilfælde

SBI-nomogram 11 Tryktab for plastrør

Vand 10°C

Anvendelse

Rørledninger for brugsvand, hvor der ikke forventes afsætning.

Grundlag

Colebrook's formel med vandtemperatur $t = 10^\circ\text{C}$ og absolut ruhed $k = 1,0 \times 10^{-3}$ m.

Nomogrammet er baseret på målinger udført på pvc- og pel-rør.

Temperaturområde

Nomogrammet gælder for vand ved 10°C . Ved 0°C er fejlen på tryktabet maksimalt +10% og ved 55°C maksimalt -25%.

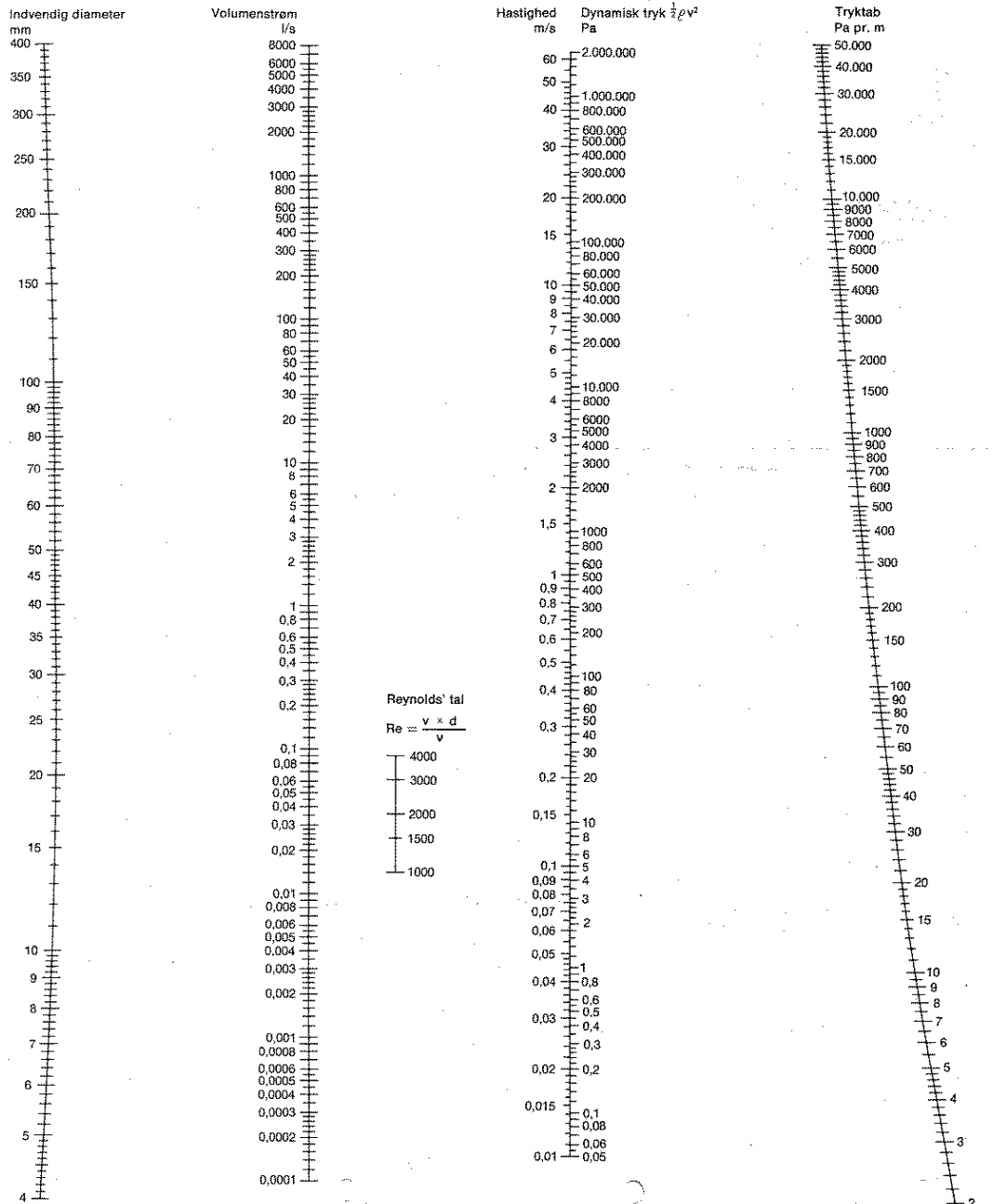
Det bemærkes, at den indvendige røroverflades ruhed – og dermed tryktabet – kan variere noget med fremstillingsprocessen og råmaterialet.

Indvendige diametre (uddrag efter DS 972, DS 719, og DS 2129)

Materiale og trykklasse	Udvendige diametre																
	12	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	160	200	225	250	315	400
PN 6																	
PN 10																	
PN 16	12,8	16,4	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0
PN 25	16,4	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0	
PN 32	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0		
PN 40	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0			
PN 50	32,0	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0				
PN 63	40,0	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0					
PN 75	50,0	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0						
PN 90	63,0	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0							
PN 110	75,0	90,0	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0								
PN 160	110,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0										
PN 200	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0											
PN 225	200,0	225,0	250,0	315,0	400,0												
PN 250	225,0	250,0	315,0	400,0													
PN 315	250,0	315,0	400,0														
PN 400	315,0	400,0															

Omsætningstabel for trykenheder

	Pa	bar	kg/cm ²	at
1 Pa	1	10 ⁻²	0,10197	1,01325 × 10 ⁻⁵
1 bar	10 ⁵	1	1,0197	1,01325
1 kg/cm ²	9,8067 × 10 ⁴	0,98067 × 10 ²	1	1,01325 × 10 ⁻¹
1 at	9,8067 × 10 ⁴	0,98067 × 10 ²	1	1



PVC jordledningsrør efter DS/R 2138. Tryktabstabel, mVs pr. 100 m rør samt vandhastighed, m/s

Tryk-klasse	Ø, mm		Vandføring, m³/h																Max. m² v. 1 m/s			
	D	d	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100				
PN 8	90	mVs	1,68	2,18	3,05	4,01	5,10													21,2		
		m/s	1,19	1,42	1,68	1,92	2,18														30,6	
	110	mVs	0,66	0,95	1,23	1,56	1,92	2,33	2,78	3,36	3,93											
		m/s	0,81	0,97	1,14	1,30	1,47	1,63	1,78	1,98	2,17											
	125	mVs	0,35	0,50	0,64	0,84	1,02	1,21	1,42	1,70	2,10	2,40	2,69	2,94	3,18							38,9
		m/s	0,63	0,76	0,89	1,02	1,13	1,24	1,37	1,52	1,67	1,79	1,91	2,01	2,12							
140	mVs	0,20	0,28	0,37	0,47	0,58	0,69	0,84	1,02	1,19	1,35	1,50	1,62	1,78	2,01	2,18	2,42				50,4	
	m/s	0,49	0,60	0,69	0,80	0,90	0,99	1,10	1,22	1,32	1,41	1,50	1,58	1,67	1,78	1,87	2,00					
160	mVs		0,15	0,20	0,24	0,31	0,36	0,43	0,53	0,62	0,70	0,78	0,87	0,98	1,05	1,14	1,28				64,8	
	m/s		0,47	0,54	0,61	0,69	0,75	0,84	0,94	1,02	1,09	1,17	1,23	1,30	1,38	1,43	1,51					
200	mVs						0,09	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,42	0,47		99,0	
	m/s						0,40	0,46	0,50	0,56	0,62	0,66	0,70	0,75	0,80	0,86	0,90	0,95	1,01			
PN 10	90	mVs	1,89	2,68	3,50	4,45	5,50														19,8	
		m/s	1,25	1,51	1,76	2,00	2,25															29,9
	110	mVs	0,74	1,02	1,36	1,70	2,15	2,48	2,97	3,58	4,30											
		m/s	0,85	1,02	1,19	1,35	1,52	1,67	1,84	2,05	2,22											
	125	mVs	0,40	0,56	0,74	0,92	1,18	1,38	1,59	1,91	2,22	2,51	2,78	3,15	3,58							38,2
		m/s	0,66	0,79	0,94	1,07	1,21	1,31	1,44	1,57	1,72	1,85	1,96	2,08	2,22							
140	mVs	0,24	0,30	0,44	0,55	0,70	0,82	1,00	1,19	1,33	1,50	1,74	1,90	2,15	2,40	2,62	2,95				48,6	
	m/s	0,53	0,65	0,74	0,85	0,97	1,06	1,19	1,30	1,38	1,48	1,61	1,69	1,80	1,91	2,01	2,15					
160	mVs			0,22	0,27	0,35	0,41	0,48	0,57	0,68	0,78	0,87	0,98	1,08	1,21	1,32	1,45				62,6	
	m/s			0,57	0,65	0,73	0,79	0,87	0,96	1,03	1,12	1,21	1,30	1,38	1,45	1,52	1,60					
200	mVs						0,15	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27	0,29	0,33	0,38	0,41	0,44	0,50			98,0	
	m/s						0,48	0,52	0,57	0,62	0,68	0,73	0,77	0,82	0,88	0,93	0,97	1,02				
PN 12,5	90	mVs	2,05	2,90	3,80	4,80	5,90															19,1
		m/s	1,29	1,57	1,82	2,08	2,25															
	110	mVs	0,77	1,08	1,43	1,80	2,25	2,61	3,15	3,76	4,50											28,4
		m/s	0,86	1,05	1,22	1,38	1,57	1,70	1,88	2,08	2,30											
	125	mVs	0,42	0,58	0,76	0,97	1,23	1,45	1,68	2,00	2,42	2,72	3,02	3,36	3,75							36,5
		m/s	0,67	0,81	0,94	1,08	1,23	1,34	1,45	1,61	1,78	1,90	2,01	2,14	2,27							
140	mVs			0,48	0,61	0,76	0,89	1,04	1,26	1,50	1,70	1,88	2,12	2,35	2,61	2,86	3,20				45,0	
	m/s			0,78	0,88	1,00	1,10	1,20	1,31	1,46	1,56	1,66	1,77	1,87	2,00	2,11	2,22					
160	mVs				0,30	0,38	0,46	0,53	0,62	0,75	0,84	0,93	1,04	1,16	1,31	1,46	1,62				60,5	
	m/s				0,67	0,75	0,82	0,90	0,98	1,09	1,18	1,25	1,32	1,41	1,50	1,59	1,68					
200	mVs						0,15	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52				95,0	
	m/s						0,53	0,58	0,64	0,70	0,75	0,79	0,84	0,90	0,95	1,00	1,03					

Udfærdiget efter SBI-nomogram 11.

Hårde slanger til selvkørende vandingsmaskiner. Tryktabstabel, mVs pr. 100 m PE slange

Gods, mm	Ø, mm		Vandføring, m ³ /h									
	D	d	21,6	25	30	32,4	40	50	60	70	100	
7,4	85,2	mVs	1,38		2,46		4,11	6,13	8,53	11,26	100	
9,0	110	mVs	1,23	1,70			2,84	4,22	6,08	7,75	14,79	
9,9	125	mVs				1,02	1,49	2,21	3,07	4,04	7,68	

Hårde slanger til indtræksmaskiner. Tryktabstabel, mVs for de opgivne længder PE slange

Slange, m	Gods, mm	Ø, mm		Vandføring, m ³ /h											
		D	d	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
300	6,7	90	76,6	mVs	12,24	21,42	33,66	48,96	66,30	86,70					
400	6,7	90	76,6	mVs	16,32	28,56	44,88	65,28	88,74						
500	6,7	90	76,6	mVs	20,40	35,70	56,10	81,60							
300	7,4	100	85,2	mVs	7,14	13,26	20,40	28,56	38,76	51,00	64,26	79,56			
400	7,4	100	85,2	mVs	9,18	17,34	26,52	38,76	52,02	68,34	85,68				
450	7,4	100	85,2	mVs	11,22	19,38	29,58	42,84	58,14	76,5					
300	8,2	110	93,6	mVs	4,08	8,16	12,24	18,36	24,48	31,62	40,80	49,98	60,18		
350	8,2	110	93,6	mVs	5,10	9,18	14,28	21,42	28,56	36,72	46,92	58,14	70,38		
400	8,2	110	93,6	mVs	6,12	10,20	16,32	23,46	32,64	42,84	54,06	66,30	80,58		
420	8,3	110	93,4	mVs	6,12	11,22	17,34	25,50	34,68	47,52	57,12	70,38			
500	8,6	110	92,9	mVs	8,16	14,28	21,42	30,60	41,82	56,08	70,38				
550	8,9	110	92,2	mVs	9,18	15,30	24,48	35,70	47,94	63,24					
400	9,3	125	106,4	mVs	3,06	5,10	9,18	12,24	17,34	22,4	28,56	34,68	42,84		
440	9,5	125	106,0	mVs	3,06	6,12	10,20	14,28	19,38	25,50	31,62	38,76	46,92		
500	9,7	125	105,6	mVs	4,08	7,14	11,22	16,32	22,44	31,32	36,72	45,90	55,08		
600	10,6	125	103,8	mVs	5,10	9,18	15,3	22,68	29,58	37,74	47,94	59,16			
700	12,2	125	100,6	mVs	7,14	13,26	20,40	28,58	39,78	52,02					
400	10,4	140	119,2	mVs	2,04	3,06	5,10	7,14	10,20	12,24	16,32	19,38	24,48		
500	10,9	140	118,2	mVs	2,04	4,08	6,12	9,18	12,24	16,32	21,42	25,50	31,62		
600	11,9	140	116,2	mVs	3,06	5,10	8,16	12,24	16,32	21,42	27,54	33,66	40,80		

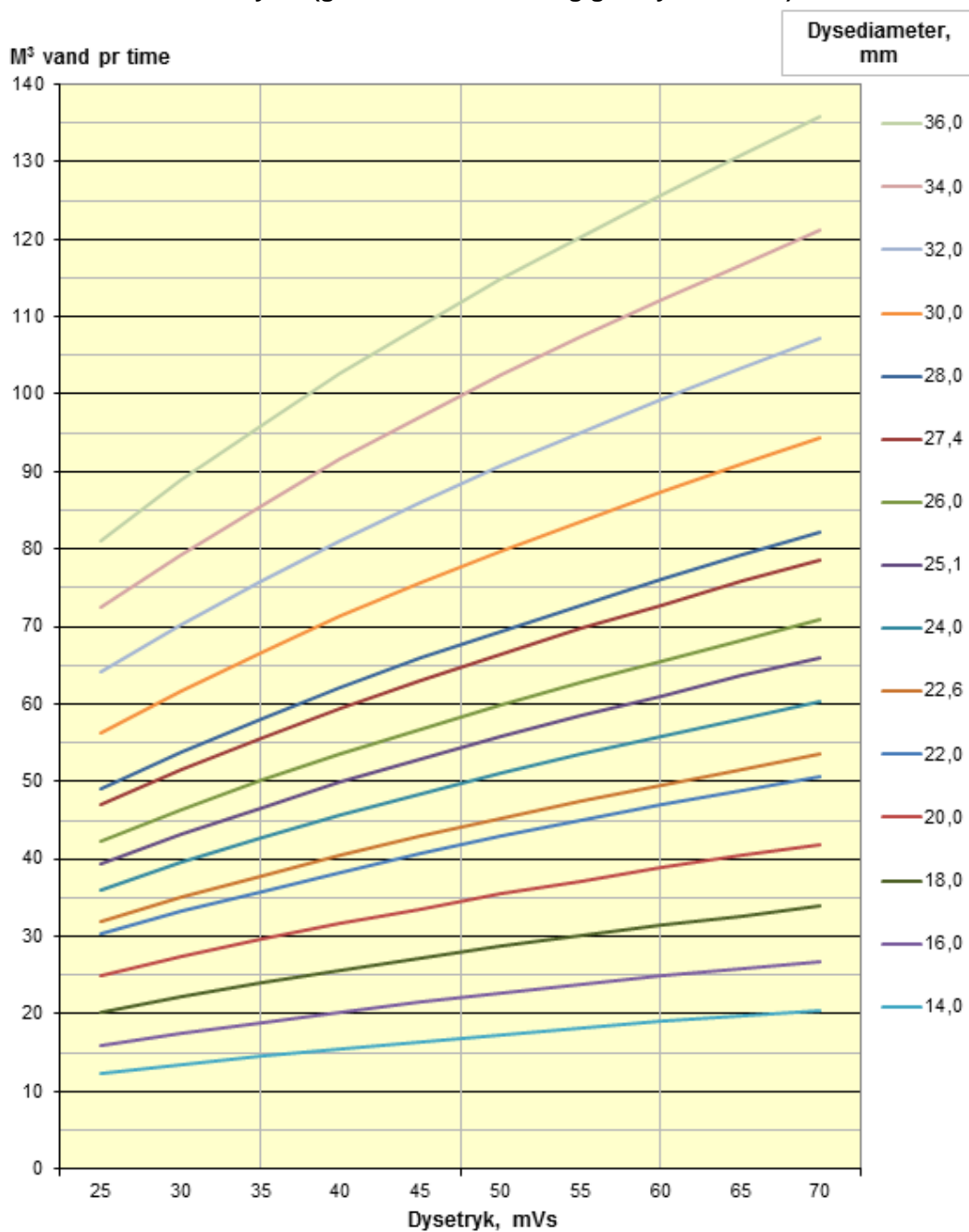
Bløde slanger til selvkørende vandingsmaskiner. Tryktabstabel, mVs pr. 100 m slange

Ø, tommers*	Ø, mm		Vandføring, m ³ /h								
	D	d	45	50	55	60	65	70	80	90	100
3,5"	102	95	mVs	2,1	2,6	3,2	3,8	4,4	4,9	6,5	
4,0"	116	108	mVs		1,8	2,3	2,6	3,0	3,8	4,7	5,8

* Bløde slanger udvider sig under tryk. Derfor er der ikke direkte sammenhæng mellem Ø i tommers og Ø i mm, hvor udvidelsen er indregnet

DYSEDIAGRAM OG FORMELSAMLING, BILAG 3

Ydelse ved koniske dyser (generel tabel uafhængig af dysefabrikat)



Omregning mellem enheder:

10 mVs ~ 1,0 bar

10 mVs ~ 1,0 atmosfære

10 mVs ~ 100 kPa eller 0,1 MPa

1" (1 tomme) = 25,4 mm

Formelsamling

Ved arbejde med vandingsanlæg har man ofte behov for at kende eller beregne en række forhold. Her er listet en række formler, som kan være nyttige i forbindelse med planlægning og udførelse af vanding.

Det man ønsker svar på	Nødvendige oplysninger og obligatorisk udstyr	Metode / formel
Dysens ydelse i m ³ pr. time	Dysetype Dysetørrelse, mm Arbejdsdruk, mVs	Dysetabel eller -diagram; ved koniske dyser gælder nedennævnte formel: Formel: $\sqrt{2 \times g \times h} \times 10 \times \left(\frac{\text{diameter, mm}}{2 \times 100} \right)^2 \times \pi \times 3,6 = \text{m}^3 \text{ vand/time}$ Hvor g = 9,81; h = vandtryk i mVs, og diameter, mm = dysens diameter, mm
Masjinens indtrækshastighed (kørehastighed) i meter pr. time	Centimetermål Ur med sekundviser	Mål masjinens fremdrift i 36 sekunder. Det målte antal cm er lig med masjinens kørehastighed i meter pr. time.
Kørehastighed som passer til ønsket vandingsmængde, i mm	Ønsket "nedbørs-mængde", mm Arbejdsbredde, m Timeydelse, m ³ vand	$\frac{\text{Timeydelse, m}^3/\text{h} \times 1000}{\text{mm vand} \times \text{arbejdsbredde, m}} = \text{meter pr. time}$
Indtrækstid i timer	Indtrækkets længde, meter Indtrækshastigheden	$\frac{\text{Indtrækkets længde}}{\text{Indtrækshastighed, m pr. time}} = \text{timer}$
Indtrækshastighed ved 11 timers indtrækstid - meter pr. time	Indtrækkets længde i meter	$\frac{\text{Indtrækkets længde}}{11 \text{ timer}} = \text{m pr. time}$
Så mange mm vand giver maskinen ved 11 timers indtrækstid	Ydelse i m ³ pr. time Indtrækslængde Flytteafstand, meter	$\frac{\text{m}^3 \text{ vand pr. time} \times 11 \times 1000}{\text{indtrækslængde} \times \text{flytteafstand}} = \text{mm vand}$
Vandingsintensitet	Ydelse i m ³ pr. Time Oversprøjet areal ved vanding på samme sted	$\frac{\text{m}^3 \text{ vand pr. time} \times 1000}{\text{oversprøjet areal, m}^2} = \text{mm pr. time}$
Pumpemes effektbehov, kW	Vandmængde i m ³ /h Modtryk i bar Pumpevirkningsgraden, %	$\frac{\text{Vandmængde, m}^3/\text{h} \times \text{modtryk, bar}}{0,36 \times \text{pumpevirkningsgrad, \%}} = \text{kW}$
El-motorenes effektforbrug, kW	Pumpemes effektbehov	$\frac{\text{Pumpemes effektbehov, kW} \times 100}{\text{Elmotorernes nyttevirkning, \%}} = \text{kW}$
kWh pr. mm vand pr. ha	El-motorens effektforbrug i kW Anlæggets timeydelse, m ³ vand.	$\frac{\text{kW} \times 10}{\text{m}^3 \text{ pr. time}} = \text{kWh pr. mm}$
Oppumpet vandmængde, m ³	Målt elforbrug i kWh Pumpetryk, bar Pumpenyttevirkning, %	$\frac{\text{kWh} \times 0,36 \times \text{pumpenyttevirkning, \%}}{\text{pumpetryk, bar}} = \text{m}^3 \text{ oppumpet vand}$

VEJLEDNING FOR OPTIMERING AF ET MARKVANDINGSANLÆG, BILAG 4

Optimering kan udføres med to formål:

- 1) Forbedring af vandfordeling: Målet er her at forbedre vandudnyttelsen.
- 2) Teknisk optimering: Målet er her at øge vandingsanlæggets ydelse, for at opnå en større vandingskapacitet. Ydelsen består af vandmængden og vandtrykket. Ved større optimeringer bør en rationalisering af arbejdsgangene tages i betragtning.

Måling af vandfordelingen og -ydelsen kan udføres af landmanden eller hans planteavlskonsulent og danne grundlag for en vurdering af, om anlægget er velfungerende. Ved mistanke om problemer indsamles data til en kontrollerende beregning, som bør foretages af en fagperson. Typisk en maskinkonsulent eller en person fra et relevant firma.

Forbedring af vandfordelingen

- a) Vandfordelingen måles ved at opstille regnmålere for hver femte meter på tværs af maskinens køreretning. Der skal måles i dobbelt spredbredde, hvilket vil sige fra vandingsmaskinen til næste vandingsspor på hver side. Der måles, når vandingsmaskinen kører længst væk fra boringen, eller på den mark, som er højest beliggende i forhold til pumpeanlægget. Der gennemføres minimum to målinger pr. boring. Målingerne registreres, så man efterfølgende kan lægge måleresultaterne ind i et regneark for at vurdere vandfordelingen.
- b) På Landbrugsinfo.dk kan man downloade et regneark, hvor målingerne kan testes ind, så vandfordelingen kan ses som en kurve.
[Hent regnearket](#) her eller under: [Landbrugsinfo.dk/Maskiner-markteknik/Vandingsteknik-og-pumper/Artikel 1698](https://landbrugsinfo.dk/Maskiner-markteknik/Vandingsteknik-og-pumper/Artikel%201698), se link til regnearket nederst i artiklen.
- c) Vurdering af måleresultaterne: Vandet skal tildeles så jævnt som muligt i hele vandingsmaskinens arbejdsbredde. Afvigelsen af faktisk tildelt vandmængde bør i praksis højst variere med +/-20 pct. Det vil fx sige, at ved en tildeling af 30 mm vand bør fordelingen af vandingsvandet ligge i området 24-36 mm. I praksis vil der i en del tilfælde blive tildelt for lav vandmængde imellem vandsporene. Dette problem kan i nogle tilfælde afhjælpes med indstilling af kanonen, mens kanonen i andre tilfælde må udskiftes.

Teknisk optimering – større ydelse på anlægget

- Hvad yder vandingsanlægget i dag (m³/h)?
- Hvad er vandingsbehovet på de arealer, som anlægget skal dække?
- Kan det nuværende anlæg ændres, så timeydelsen bliver større?

Fastslå anlæggets timeydelse

- a) Monter et nyt manometer på- eller i umiddelbar nærhed af vandingskanonen.
- b) Registrér dysetryk, dysetype og diameter. Trykket bør registreres med vandingsmaskinen så langt væk fra boringen som muligt, eller på den mark, som er højest beliggende i forhold til pumpeanlægget.
- c) Aflæs timeydelsen i kanonens dysetabel, efter dysens diameter og arbejdstryk.
- d) Normalt dimensioneres der efter 2 m³ vand pr. time, pr. ha ved 20 timers drifttid på vandingsmaskinen. Er der nogenlunde sammenhæng med det målte?

Er der behov for større timeydelse på anlægget end det målte, bør mulighederne for at forøge timeydelsen afdækkes af en fagperson. Typisk en maskinkonsulent eller en person fra et relevant firma. Til dette arbejde bør følgende data indsamles:

- 1) Landmandens egne ønsker til optimering afklares:
 - Ønsket ydelse i forhold til fremtidig afgrødefordeling
 - Antal maskiner nu og i fremtiden
 - Ønsket arbejdsbredde
 - Ønskes der fremadrettet indtræks- eller selvkørende vandingsmaskiner
- 2) Data til brug for teknisk optimering:
 - Antal ha, der ønskes holdt opvandet pr. boring
 - Markplan med JB tal
 - Antal boringer, placering og DGU arkivnummer (kan findes på www.geus.dk)
 - Hvilke pumper er der i/ved hver boring (minimum opgivelse af effekt)
 - Indtegn jordledninger på kort med opgivelse af diameter på rør og hydranter
 - Stigning eller fald på terræn (kan ses på www.arealinfo.dk)
 - Fabrikat på vandingsmaskiner, slangetype, meter slange samt slangens diameter
 - Fabrikat på vandingskanon
 - Hvor meget strøm er der til rådighed (tarifsikring – ampere, kabler, måler)
 - Kopi af vandingstilladelser

På baggrund af indsamlet data beregnes anlæggets nuværende ydelse og modtryk. Med baggrund i beregningen laves der en optimeringsplan af en fagperson, som beskrevet i FarmTesten. De nuværende vandingsmaskiner vurderes. Dækker de behovet efter optimeringen? Skal de eventuelt optimeres eller udskiftes?

- 3) Før optimeringsplanen sættes i værk, foretages der en prøvepumpning for at belyse, om boringen i praksis yder det beregnede.
- 4) Prisen for den nødvendige udbygning af elinstallation afklares med en elektriker
- 5) Der vælges en løsning, og optimeringen iværksættes.

Vejledningen kan også hentes her: [Landbrugsinfo.dk/Maskiner-markteknik/ Vandingsteknik-og-pumper/Artikel 1698](http://Landbrugsinfo.dk/Maskiner-markteknik/Vandingsteknik-og-pumper/Artikel%201698), se link til vejledningen nederst i artiklen.

LITTERATURLISTE

- Aslyng, H.C. (1978): *Vanding i jordbruget*
DSR Forlag, Den Kongelige Veterinær og Landbohøjskole, København
- Bailey, Roger (1990): *Irrigated Crops and Their Management*
Farming Press Books, 4 Friars Courtyard, 30-32 Princes Street, Ipswich
- Clausen, Asger (1994): *Kulturteknik*
Landbrugets Informationskontor, Århus N.
- Kristensen, H.K. & Schmidt, Gunnar (2013): *Maskiner til markarbejde*
Landbrugsforlaget, Århus N.
- LandbrugsInfo (2013): *Vanding*
Videncentret for Landbrug, Århus N.
- Mogensen, V.O. (1988): *Vanding af markafgrøder, Kulturteknik*
DSR Forlag, Den Kongelige Veterinær og Landbohøjskole, København
- Mogensen, V.O. (1990): *Markvandingssystemer, Kulturteknik II*
DSR Forlag, Den Kongelige Veterinær og Landbohøjskole, København
- Pedersen, Peder Clemens (1978): *Markvanding*
Landbrugets Informationskontor, Århus N.
- Sams, Tage (1975): *Vanding & vandingssystemer*
Landskontoret for Bygninger og Maskiner, Viby J.



VIDENCENTRET FOR LANDBRUG

Agro Food Park 15 T +45 8740 5000
Skejby F +45 8740 5010
DK 8200 Aarhus N vfl.dk

