

NEDSIVNING FRA VÆKSTHUSE

Test af ny metode på to gartnerier



Rekvirent: Dansk Gartneri

DMR-sagsnr.: 2024-2601

Dato: 23. januar 2026

Version: 4



Dansk Miljørådgivning A/S

Din rådgiver gør en forskel ...

Vi er landsdækkende. Find nærmeste kontor på www.dmr.dk.

Nedsivning fra væksthuse – Test af ny metode på to gartnerier

Indholdsfortegnelse

1. Registreringsblad	2
2. Indledning	3
2.1 Baggrund	3
2.2 Konceptuel forståelse	3
2.3 Formål	6
3. Strategi og feltundersøgelser	7
3.1 Undersøgelsesstrategi	7
3.2 Projektlokaliteter	8
3.3 Indledende feltundersøgelser og geofysiske analyser	9
3.4 Logning af vandindhold og porevandspotentiale og vandingsforsøg	9
3.5 Vandingsforsøg	11
4. Resultater	14
4.1 Feltobservationer	14
4.2 Analyseresultater for jordprøver	14
4.3 Tidsserier for vandindhold og porevandspotentiale	15
4.4 Tidsserier for Luftfugtighed og temperatur	18
5. Modellering og vurdering af nedsivning	19
5.1 Modelopsætning	19
5.2 Modellering af nedsivning på lokalitet 1	23
5.3 Modellering af nedsivning på lokalitet 2	24
5.4 Sammenligning af beregnet nedsivning på de to lokaliteter	26
6. Sammenfatning	27
7. Perspektivering	28
8. Referencer	29

Bilagsfortegnelse

Bilag 1.	Boreprofiler
Bilag 2.	Analyseresultater
Bilag 3.	HYDRUS-1D opsætning

Sagsbehandler



Poul Larsen

Civilingeniør, ph.d.

Kvalitetskontrol



Andreas Houlberg Kristensen

Civilingeniør, ph.d.

1. Registreringsblad

Rekvirent	Dansk Gartneri Vesterbrogade 6D, 3. sal. 1620 København V
Rådgiver for rekvirent	HortiAdvice Hvidkærvej 29 5250 Odense Trine Andersen
DMR-sagsnr.	2024-2601

Sagsbehandler	Poul Larsen, civilingeniør, ph.d.
Kvalitetskontrol	Andreas Houlberg Kristensen, civilingeniør, ph.d.

2. Indledning

2.1 Baggrund

Dansk Miljørådgivning A/S (DMR) er rekvireret af Dansk Gartneri til at teste en ny metode til undersøgelse af nettoinfiltrationen fra væksthuse – altså hvor meget vand, der siver ud af jorden lige under væksthuse. Nettoinfiltrationen af vand fra overfladespild, vanding eller rengøring er relevant, da den potentielt kan indebære udvaskning af pesticider fra umættet zone. Den nye metode er i dette projekt testet i væksthuse på to gartnerier.

Forud for dette projekt har Teknologisk Institut i 2023 udført en undersøgelse for Dansk Gartneri med tilsvarende formål på to andre gartnerier. Det tidligere projekt omfattede udelukkende monitoring af vandindholdet i tre dybder over en periode på 21-39 dage. Sensorerne var fordelt fra terræn til 1 m u.t. Det blev ved undersøgelsen vurderet, at vandindholdet "var i den lave ende" og, at der ikke kunne konstateres nedsivning ned gennem forskellige lag, selvom der forekom afvaskning af det ene gartneri under målingerne /1/.

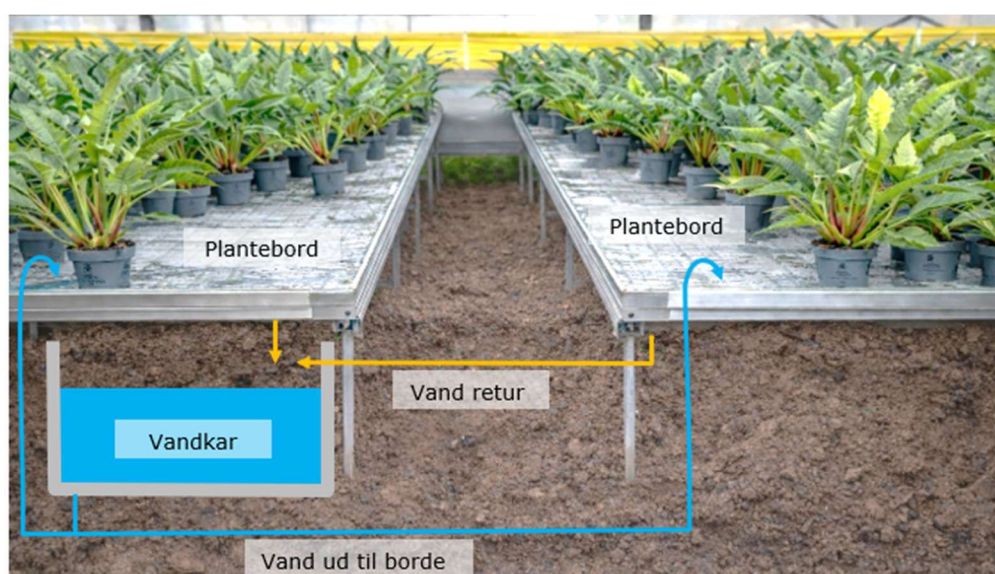
Undersøgelsen fra 2023 er efterfølgende kommenteret af Odense Kommune og Københavns Universitet v. Professor Karsen Høgh Jensen, som begge rejser forskellige kritikpunkter i den anvendte strategi /2/-/3/. Overordnet går kritikken på:

- Dokumentation i feltundersøgelserne
- Planlægning og udførelse af feltundersøgelserne
- Vurdering og generalisering ud fra resultaterne

På baggrund af ovenstående har Dansk Gartneri ønsket at udbygge den viden man har om nedsivningen fra væksthuse. Første skridt i den forbindelse vurderes at være udviklingen af en egnet målemetode.

2.2 Konceptuel forståelse

Undersøgelserne i dette projekt har fokuseret på væksthuse med prydplanter. Planterne vokser i potter placeret på hæve-/sænkeborde, der kan skubbes rundt på skinner i gartneriet. Bunden i væksthuse er delvist ubefæstet. Indretningen af væksthuse er illustreret i figuren nedenfor.

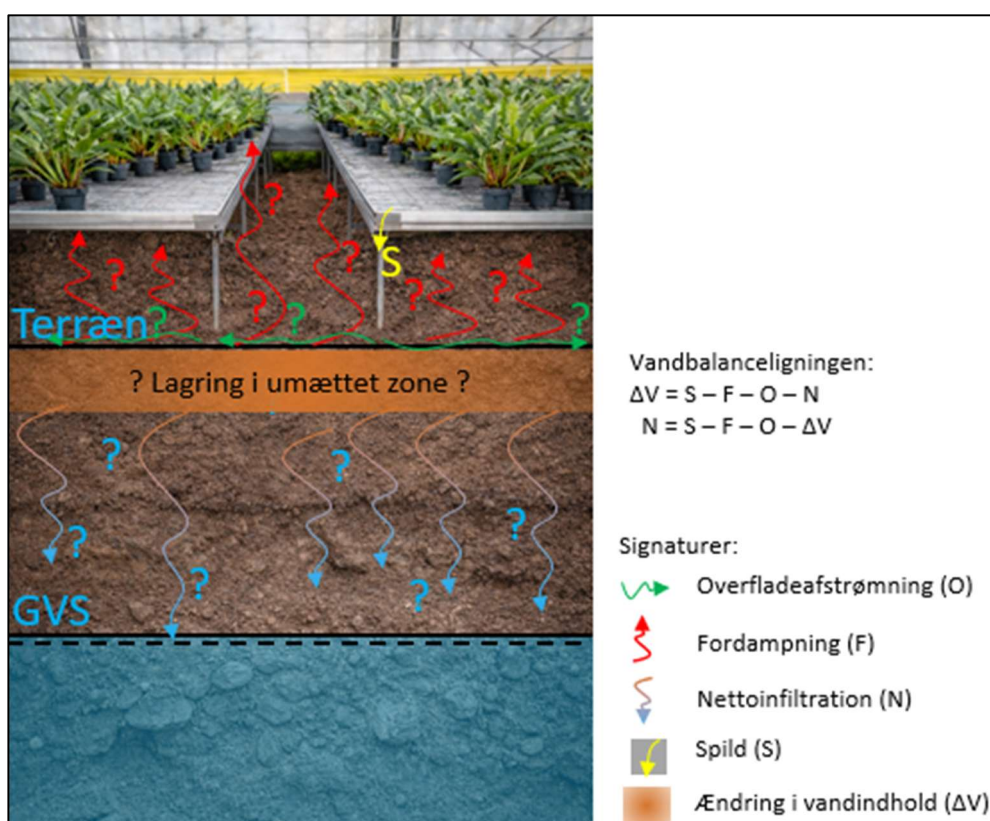


Figur 2.1: Typisk opbygning af planteborde med returvandssystem.

Som det fremgår af figuren, er bordene koblet til et nedgravet betonkar, der fungerer som reservoir for vandingsvand. Overfladespild med vand kan forekomme fra utætheder i f.eks. borde, rørføringer eller vandkar. Utætheder vil løbende blive tætnet, for at minimere vandforbruget. Ud over potentielle utætheder i returvandssystemet kan der også være andre vandspild ved terræn, som potentielt kan forårsage spredning af vand til grundvandet. Det kan f.eks. være:

1. Utætheder i drivhusenes tag
2. Kondens på kolde flader i drivhuset
3. Afvaskning af gangarealer og installationer

Spredning af vand fra eventuelle spild er illustreret i nedenstående konceptuelle model. Den konceptuelle forståelse vil være næsten den samme selvom lige meget hvordan vandspildet forekommer. De væsentligste processer beskrives nedenunder.



Figur 2.2: Konceptuel model for spredning af vandspild i væksthuse.

I figuren er der indsat et potentielt overfladespild fra utætheder i returvandssystemet (gul pil). Dertil er der visualiseret tre forskellige vandspredningsveje, hhv. overfladeafstrømning, fordampning og nettoinfiltration. Sidstnævnte er nedsivningen gennem jorden ned mod grundvandet. Hvis summen af spredningsvejene er mindre end spildet, vil det ifølge vandbalanceligningen lede til ophobning af vand i umættet zone (dvs. et højere vandindhold), og i sidste ende til en nettoinfiltration mod grundvandet.

Hvis jorden som udgangspunkt er udtørret – dvs. vandindholdet er under den pågældende jordtypes markkapacitet – vil den vertikale transport foregå relativt langsomt, hvilket i et kortere tidsperspektiv kan betragtes som ophobning af vand i den umættede zone. Hvis der samtidig forekommer væsentlig fordampning, f.eks. som følge af høj temperatur i væksthuset, kan

det betyde, at der reelt ikke er en nettoinfiltration. Størrelsen af de forskellige massestrømme sammenholdt med tilførslen af vand er dermed helt afgørende.

Spild

Spildstørrelser der arbejdes med i dette projekt er baseret på en overordnet vurdering af hvad der realistisk kan forekomme i væksthuse.

I forbindelse med den tidligere undersøgelse fra 2023 blev det beskrevet, at der ved en nedvaskning af et væksthuse på 10.000 m² var blevet anvendt 30-35 m³ vand svarende til 3,5 L/m², eller 3,5 mm /1/. Dette er efterfølgende vurderet at være en urealistisk lav vandmængde til nedvaskning, og at der i stedet kan være tale om ca. 30 mm /3/. Nedvaskning af væksthuse foretages dog typisk ikke på gartnerier med grønne planter, som der fokuseres på i dette projekt.

Med henblik på at vurdere et realistisk spild, antages der en situation med en mindre utæthed i et rør til vandingssystemet, som medfører, at det drypper med ca. 1 dråbe pr. sekund. Dette antages at fortsætte i 1-3 døgn inden det opdages og utætheden udbedres. Vandvolumenet af en dråbe kan i litteraturen estimeres til ca. 0,05 ml /4/ hvilket betyder, at der på 1-3 døgn sker et punktudslip på ca. 4-13 L. Hvis det antages at vandet fra spildet fordeles på 0,5 m² (0,7 x 0,7 m), svarer det til ca. 8-26 L/m²/døgn. En sådan spildmængde vurderes også at være konservativ for spild relateret til f.eks. kondens, vanding og mindre spild i tag. Større utætheder udbredes typisk så snart de opdages.

Overfladeafstrømning

Overfladeafstrømningen vil variere afhængigt af geologi, kompaktering og mætningsgraden af jorden. Generelt vil der forekomme overfladeafstrømning hvis topjorden er vandmættet og der dermed ikke kan trænge mere vand ned. Det vil opstå nemmest i finkornede aflejringer, da de dræner langsommere og dermed nemmere mættes terrænnært. Det er dermed ikke muligt at komme med generelle betragtninger omkring overfladeafstrømning. Da der i dette projekt fokuseres på nedsivning fra ubefæstede arealer, vurderes overfladeafstrømning fra f.eks. betonflader ikke.

Fordampning

Fordampningen vil afhænge af bl.a. luftfugtighed, temperatur, jordfugtighed, jordoverfladens ruhed og luftskiftet i væksthuset. Ofte vil man også se på transpiration i kombination med fordampning (evapotranspiration), men i dette projekt er der fokuseret på væksthuse uden beplantning direkte i jorden, og transpirationen sættes derfor til 0. Et detaljeret litteraturstudie af værdier for fordampning i drivhuse ligger ud over rammerne for dette projekt, men det vurderes, at hvis der i beregningerne antages en maksimal potentiel fordampning på 1 mm/døgn (ca. 0,04 L/time/m²), vil det være konservativt for opvarmede drivhuse hvor der kan ses bort fra transpiration. Det bemærkes, at beregningerne udføres i HYDRUS-1D, fordampningen antages at blive lavere når jorden tørrer ud. Det vurderes, at beregninger med denne fordampning vil være konservative i forhold til vurdering af nedsivning fra væksthuse. Til sammenligning er fordampningen fra udendørs arealer på en varm sommerdag i størrelsesordenen 10 mm/døgn.

Opmagasineret vand i umættet zone

Ophobning af vand i umættet zone og nettoinfiltrationen mod grundvandet er begge processer, der afhænger af jordens retentionsegenskaber, dvs. jordtype og tekstur, der styrer hvordan jorden holder på vandet. Disse parametre skal undersøges lokalitetsspecifikt. En af de vigtigste parametre for vurdering af nedsivningen er den umættede hydrauliske ledningsevne.

Samlet set vurderes det, at den umættede zone i væksthuse vil være relativt tør meget af tiden, da der ikke er nedbør samtidigt med at der typisk er en temperatur på $>18^{\circ}\text{C}$. Om sommeren kan der blive $>30^{\circ}\text{C}$. Det medfører generelt en meget høj fordampning. Dertil kommer, at fordampningen over tid kan udtørre jorden, hvilket betyder, at der skal tilføres mere vand før der forekommer reel nedsivning. Nettoinfiltrationen vil meget afhængig af hvilken jordtype der er tale om og mægtigheden af den umættede zone.

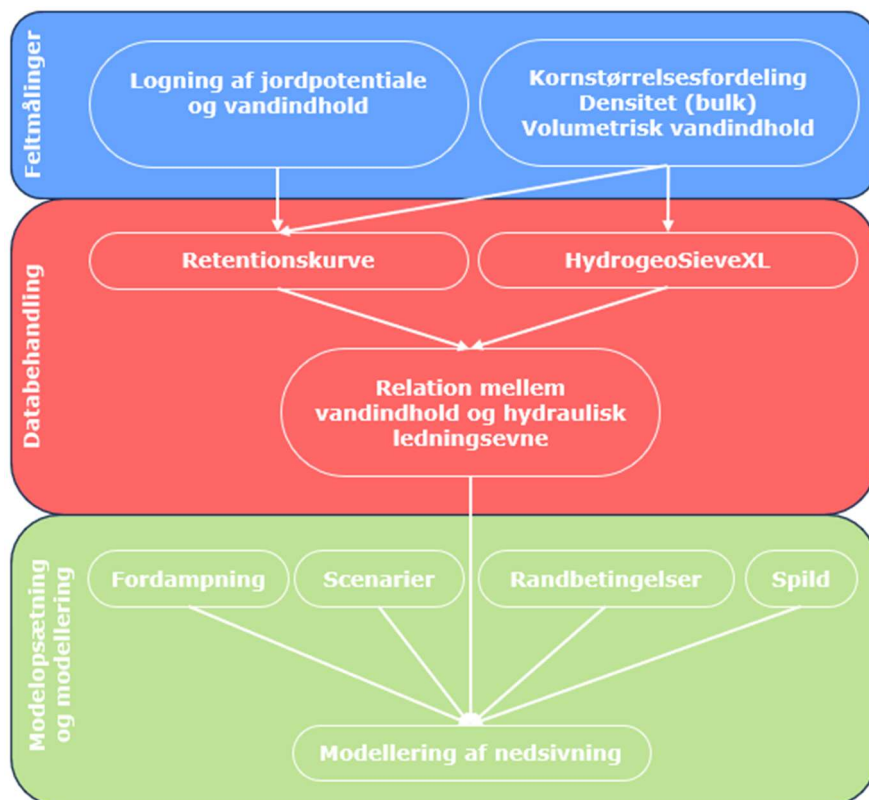
2.3 Formål

Projektets formål er at afprøve en ny eksperimental og beregningsmæssig tilgang til bestemmelse af nedsivning i væksthuse. Med udgangspunkt i en test på to forskellige gartnerier foretages en indledende vurdering nettoinfiltrationen under forskellige geologiske og anvendelsesmæssige forhold.

3. Strategi og feltundersøgelser

3.1 Undersøgellesstrategi

Der er lagt op til en flerstrengt undersøgelsesstrategi til afdækning af nedsivningen i væksthuse. Undersøgelsesstrategien er visualiseret i nedenstående figur.

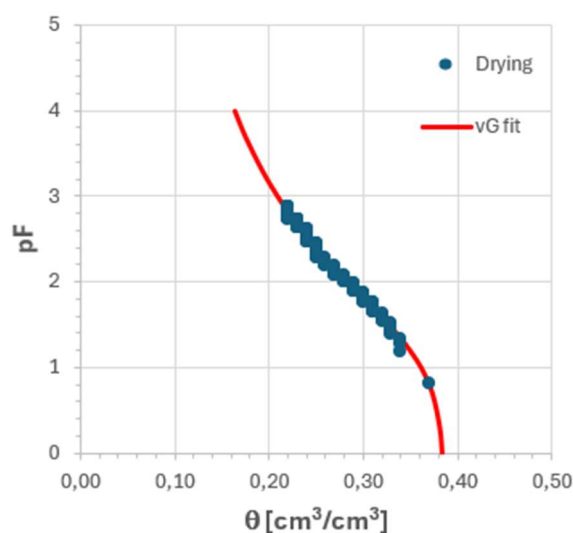


Figur 3.1: Undersøgelsesstrategi for vurdering af risiko for nedsivning.

Som det fremgår af figur 3.1, er strategien opdelt i tre faser: felt- og laboratiormålinger, databehandling og modellering.

Kendskab til jordens retentionsegenskaber er en forudsætning for at forstå sammenhængen mellem vandindhold og hydraulisk ledningsevne (K_{θ}). Retentionsegenskaberne kan være vanskelige at bestemme, og der er derfor lagt op til en strategi med to forskellige måder at bestemme dem på: feltmålinger af porevandspotentiale og vandindhold (se eksempel fra anden lokalitet i figur 3.2) samt laboratoriebestemmelse af kornstørrelsesfordeling og massefylde, dvs. jordens densitet.

Ved logning af porevandspotentiale og vandindhold over tid er det hensigten først at bestemme "baseline" for begge parametre, hvilket også kan



Figur 3.2: Eksempel på data fra in situ måling af jordpotentiale og volumetrisk vandindhold ved vandingsforsøg.

bruges som randbetingelse i modellen. Derefter udføres vandingsforsøg med henblik på at opnå måleresultater under varierende vandindhold.

Anvendelse af kornstørrelsesfordeling og densitet til bestemmelse af retentionskurven tager udgangspunkt i et indbygget modul (Rosetta DLL) i modelleringsværktøjet HYDRUS-1D. Dette modul kan via kendskab til fraktionerne af sand, silt, ler og evt. densiteten anvendes til at estimere van Genuchten-parametrene, som sammen med mættet hydraulisk ledningsevne ligger til grund for bestemmelse af relationen mellem vandindhold og hydraulisk ledningsevne (K_θ) i umættet zone.

Kornstørrelsesfordelingen anvendes desuden til bestemmelse af mættet hydraulisk ledningsevne via Excel-værktøjet HydroGeoSieve /5/.

3.2 Projektlokaliteter

Basale oplysninger og driftsforholdene på de to projektlokaliteter (lokalitet 1 og lokalitet 2) er undersøgt af HortiAdvice ved forespørgsel på gartnerierne.

Lokalitet 1:

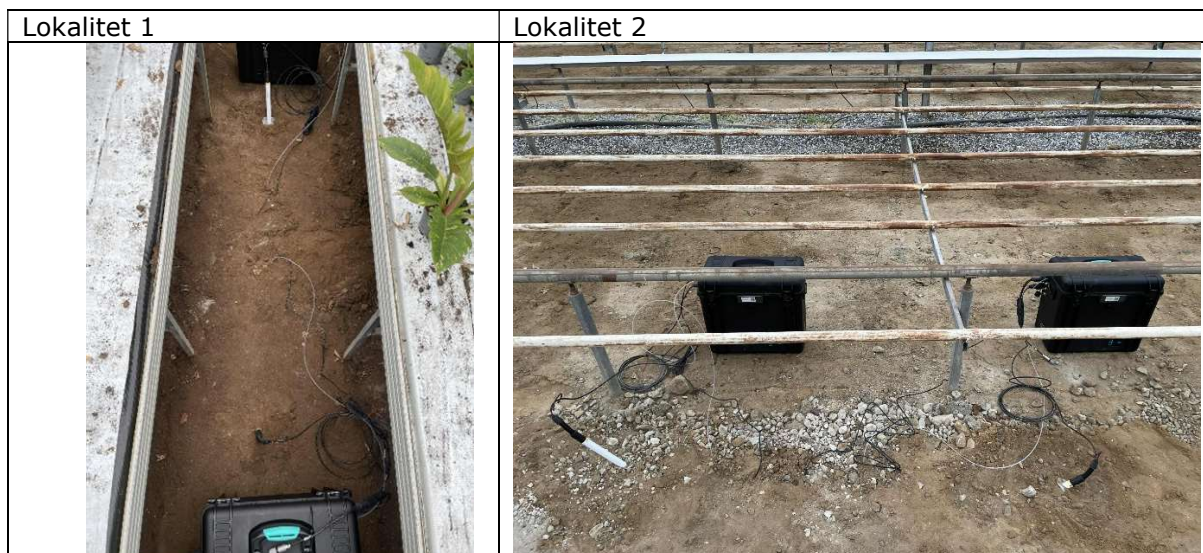
- Gartneriets størrelse er 11.600 m².
- Selve det væksthuse, som der er lavet målinger i, er på 1.240 m².
- Væksthuset er opført i 1988.
- Der dyrkes grønne planter året rundt. Der kan være tale om forskellige slags grønne planter. Gartneriet holder en konstant temperatur på minimum 19°C.
- Gartneriet vasker ikke væksthuse indvendigt (ingen nedvask).

Lokalitet 2:

- Hele gartneriet er på 32.000 m². Selve det væksthuse, der er lavet målinger i, er på 8.000 m².
- Gartneriet har været ejet af nuværende ejer siden 2007.
- Der produceres udelukkende hortensia i gartneriet, og der er planter i gartneriet fra oktober/november til og med juli måned.
- I månederne august, september og det meste af oktober står væksthuse tomt.
- Gartneriet vasker ikke væksthuse indvendigt.

3.3 Indledende feltundersøgelser og geofysiske analyser

På begge projektlokaliteter er der udvalgt et undersøgelsespunkt inde i midten af et drivhus, så der måles på en repræsentativ position, der vil blive influeret af driften. Målepunktet er placeret mellem to planteborde (målepunkterne ses på nedenstående fotos).



Figur 3.3: Målepunkter efter installation af loggere.

Som det fremgår af figur 3.3, er der planter på bordene ved installationen d. 4. november 2025 på lokalitet 1, mens der på lokalitet 2 ikke var planter på installationstidspunktet.

På hver lokalitet var der aftalt følgende feltarbejder, som blev udført af DMR d. 4. november 2025:

- Håndboring til 2,0 m u.t. med feltregistrering af jordtekstur og vandindhold.
- Udtagning af jordprøver for hver 20 cm til måling af gravimetrisk vandindhold.
- Udtagning af jordprøver til analyse for kornstørrelsesfordeling 0,5 og 1,0 m u.t.
- Udtagning af
- Installation af sensorer til logning volumetrisk vandindhold og porevandspotentiale.

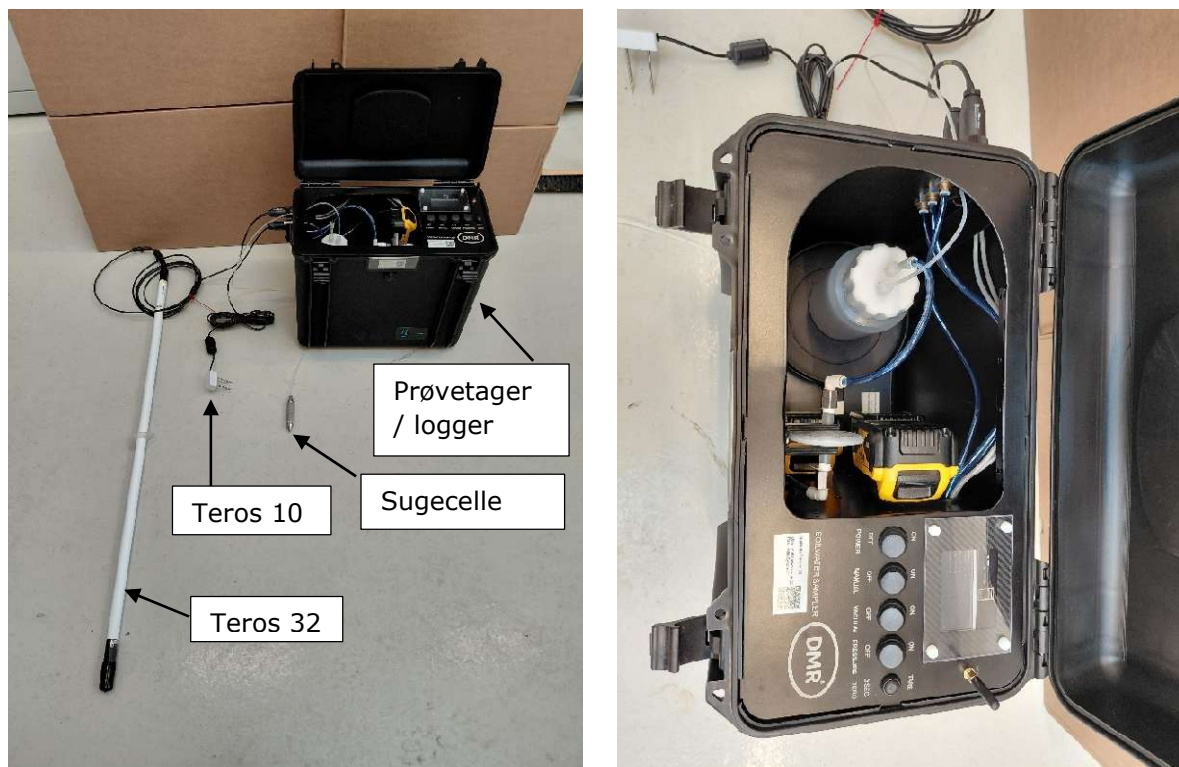
Jordprøverne blev sendt til analyse på DMR's geotekniske laboratorium i Jerslev.

Udover de aftalte undersøgelser blev der også udtaget kerneprøver (såkaldte B-rør) i dybden 0,5 og 1,0 m u.t.. Det var ikke muligt at få tilfredsstillende kvalitet på intaktprøver på Lokalitet 1, og de blev derfor ikke sendt til analyse. Intaktprøver fra Lokalitet 2 blev tørret og vejet i laboratoriet med henblik på at estimere volumetrisk vandindhold og den tørre densitet (masse af jordpartikler pr. volumen). Boreprofiler ses af bilag 1.

3.4 Logning af vandindhold og porevandspotentiale og vandingsforsøg

Den 4. november 2025 blev der installeret sensorer til logning af volumetrisk vandindhold (Teros 10 fra Metergroup) og porevandspotentiale (Teros 32 fra Metergroup). Begge sensorer er prækalibrerede fra producenten, men testet (og godkendt) i henhold til databladet for hver sensor inden installation.

Sensorerne er koblet til DMR's porevandsprøvetager, som indsamler data og sender til DMR's cloudplatform, hvor de løbende er overvåget. Da Teros 32 måler summen af porevandspotentiale og atmosfæretryk, så logger porevandsprøvetagerne også atmosfæretryk i drivhusene for kontinuert at beregne porevandspotentialet (ved at fratrække atmosfæretrykket). Porevandsprøvetageren ses af figur 3.4 sammen med de to sensorer.

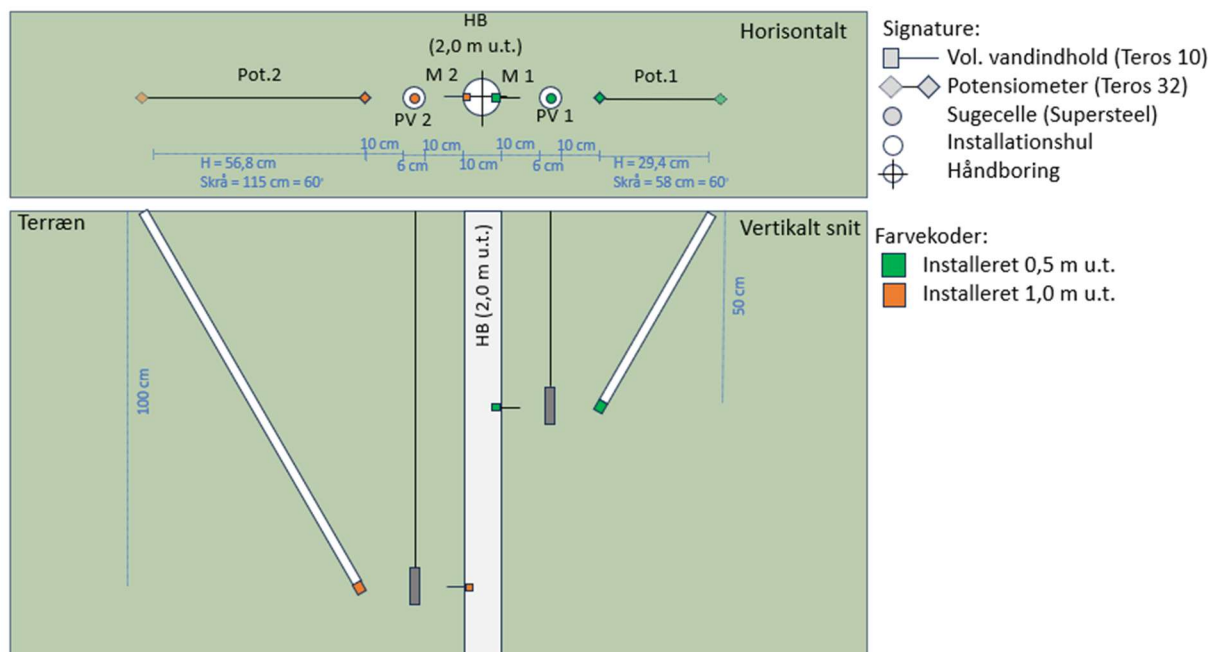


Figur 3.4: Porevandsprøvetager og tilhørende sensorer.

Af figur 3.4 ses endvidere en stålsugecelle (<https://www.dmr.eu/product/steel-suction-cells/>) som ligeledes blev installeret i samme punkt som sensorerne. Formålet med at installere sugecellen var, at kunne forcere udtørringen af jordmatrixen og dermed opnå målepunkter på retentionskurven under udtørrede forhold. Installation af en sugecelle i samme punkt giver endvidere mulighed for udtagning af porevandsprøver der kan sendes til kemisk analyse (ikke en del af dette projekt). Ved kombination af målte parametre på porevandsprøven og den estimerede vandflow giver det mulighed for at estimere en masseflux i af den målte parameter i målepunktet.

I figur 3.5 ses horisontal og vertikal fordeling af sensorer og sugeceller i området omkring håndboringen. Da installationen på de to feltlokaliteter var identisk er der kun vist én figur. Overordnet set er der installeret et sæt med to sensorer og én sugecelle hhv. 0,5 og 1,0 m u.t.

Efter installation af Teros 32 sensorerne er der en indledende tilpasningsperiode på 4-6 døgn, som skyldes at sensorerne skal skabe hydraulisk kontakt til jordmatrixen. Efter tilpasningsperioden er basistilstanden for porevandspotentiale og volumetrisk vandindhold målt i perioden 9. november til 9. december 2025.



Figur 3.5: Installation af sensorer og sugecelle i og omkring håndboring.

Som det fremgår af figur 3.5, er der installeret relativt mange sensorer og sugeceller i håndboringen (2 stk. Teros 10) og omkring i separate installationshuller (2 stk. sugeceller og 2 stk. Teros 32). Det fremgår desuden at sensorer og sugecelle i hver dybde sidder med op til 26 cm horizontal afstand. Jordvolumen indenfor denne afstand betragtes dermed som ét installationspunkt i den pågældende dybde.

Efter installation af sensorer og sugeceller blev den opgravede jord tilbagefyldt og kompakteret manuelt løbende under tilbagefyldningen.

Ved en af loggerne i hvert gartneri blev der desuden logget temperatur og relativ luftfugtighed til overordnet vurdering af potentialet for fordampning.

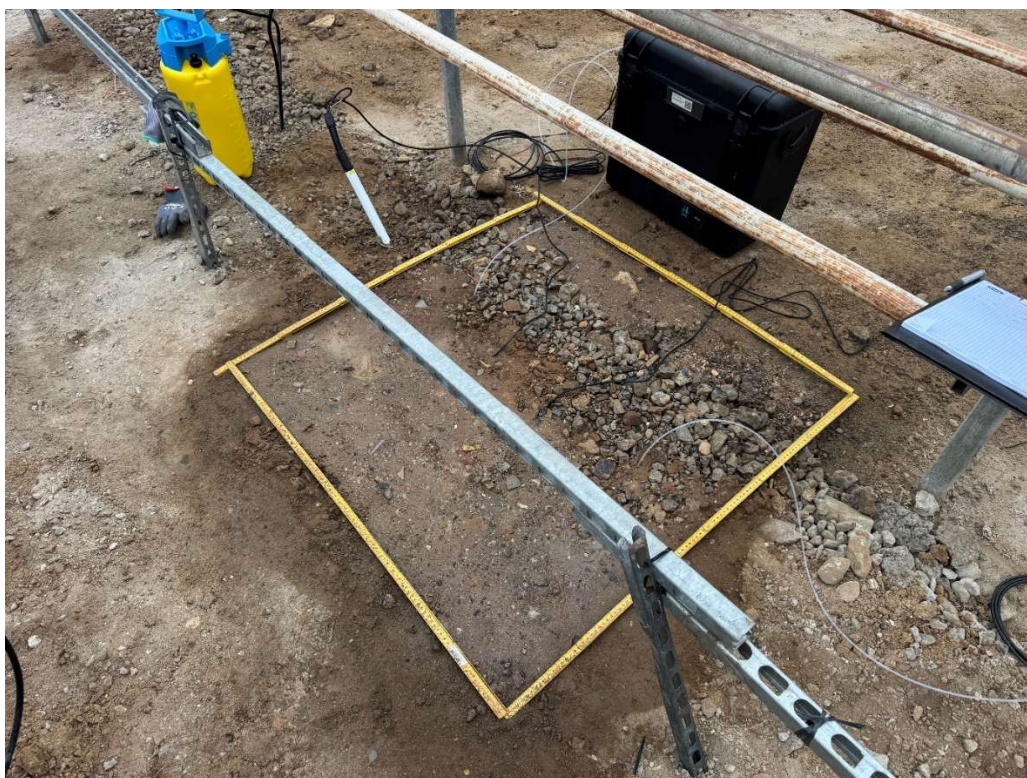
3.5 Vandingsforsøg

Der er lavet to typer vandingsforsøg:

- Langsom vanding for at minimere risiko for overfladeafstrømning og spredning til installationshuller hvor der kan forekomme præferentiel vertikal spredning. Denne type forsøg vil være sammenlignelig med en langsom dryppende lækage i intensitet.
- Momentan vanding. Denne type forsøg vil være sammenlignelig med et pludseligt spild af en større vandmængde. Dette er dog ikke realistisk i den type væksthuse, som dette projekt har omhandlet.

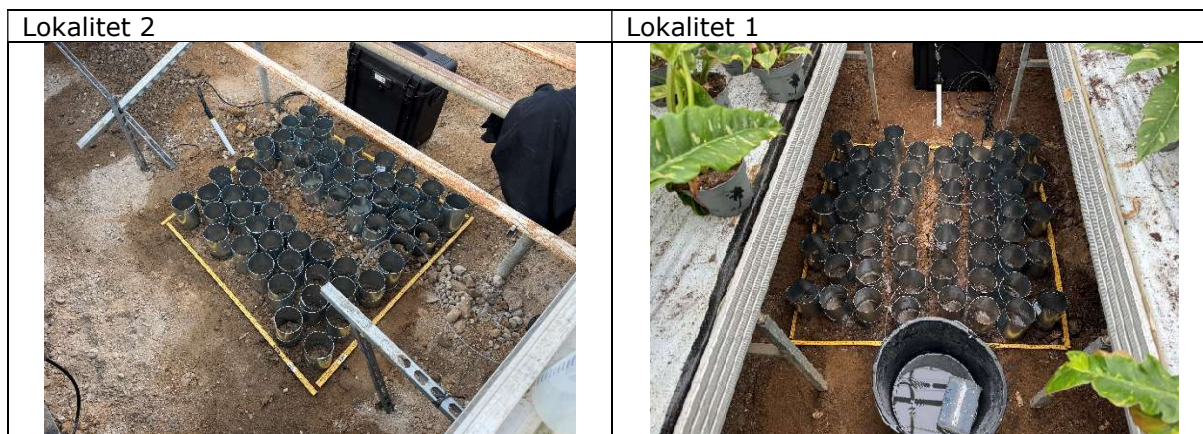
Den langsomme vanding blev udført ved installationen på lokalitet 2 d. 9. december 2025. Forsøget blev udført ved at markere 1 x 1 m (1 m²) med sensorerne placeret i midten. Et billede fra forsøget ses på figur 3.6. Efterfølgende blev vandingen foretaget med en håndsprøjte for at fordele vandet langsomt og jævnt indenfor det markerede område. Der blev under hele vandingen sikret at der ikke blev tilført mere vand end jorden kunne nå at optage. Der blev samlet set tilført 10 L vand over 6,5 timer.

Det kan ikke undgås, at noget af fugten vil trække ud i jordmatricen omkring vandingsarealet, og baseret på en feltvurdering skal der tillægges et areal omkring det opfugtede område på ca. 20 cm i alle retninger, så der reelt er tale om et område på $1,4 \times 1,4 \text{ m}$ ($1,96 \text{ m}^2$). Der er dermed tale om en vanding på ca. 5 mm. Ved forsøgsplanlægning var der lagt op til en større vandmængde (30 L), men da jorden ikke kunne optage det hurtigere end 10 L på 6,5 time (ca. 1,5 L/time), blev dette vandingsforsøg afsluttet, og der blev lagt en plan for en ny metode (momentan vanding) til hurtigere at kunne foretage vanding, og samtidig forsøge at undgå præferentiel spredning i installationshullerne. Der er dermed ikke udført langsomt vandingsforsøg på Lokalitet 1.



Figur 3.6: Langsom vandingsforsøg udført på Lokalitet 2.

Den momentane vanding blev udført ved brug af 60 stk. stålrør med en diameter på 100 mm og en længde på ca. 150 mm. Rørene blev fordelt indenfor et område på $1 \times 1 \text{ m}$ (1 m^2) presset 3-5 mm ned i jorden. Formålet med denne teknik var at kunne fordele 30 L i rørene fra starten for på denne måde at få en momentan og fokuseret vanding, men samtidig minimere risikoen for at vandet trængte ned igennem installationshullerne til sensorerne. Der blev udført forsøg med denne metode på Lokalitet 1 d. 12. december 2025 og Lokalitet 2 d. 16. december 2025 i samme installation hvor der d. 9. december 2025 var udført langsomt vandingsforsøg. Et billede af forsøget udført på begge lokaliteter ses af figur 3.7.



Figur 3.7: Momentan vandingsforsøg udført på Lokalitet 2 og lokalitet 1.

Som det fremgår af figur 3.7 var der også ved denne forsøgsstrategi horisontalt udtræk af vand (ses ved mørkere markeringer i overfladejorden) omkring det markerede område, som gør at vi her vurderer, at der skal regnes med ca. 2 m². svarende til et spild på 15 mm med de 30 L vand.

Det bemærkes, at der ved opsætning af rør er tilstræbt ikke at sætte rør inden i midten hvor installationshullerne er, men samtidig komme så tæt på som muligt for at den vertikale vand-transport skal blive opfanget af sensorerne.

4. Resultater

4.1 Feltobservationer

Boreprofiler er vedlagt som bilag 1. De væsentligste observationer i forbindelse med feltarbejdet er samlet i nedenstående tabel.

Lokalitet	Boreddybde	Bemærkninger:
	m	
Lokalitet 1	2,0	- 0,0-0,3 m u.t.: Fyld, sand, gruset, stenet, sv. leret og muldet. - 0,3-1,0 m u.t.: Primært sand, der er gruset og stenet, samt svagt leret. Tørt - 1,0-2,0 m u.t.: Primært sand der er gruset og stenet, men med stigende lerindhold fugtigt/vådt. - Der kunne ses frit grundvandsspejl i bunden af boringen.
Lokalitet 2	2,0	- 0,0-0,25 m u.t.: Fyld, primært sand, der er gruset, stenet, siltet samt svagt leret. Tørt. - 0,25-2,0 m u.t.: primært sand, der er gruset, stenet, siltet samt svagt leret. - 1,5-2,0 fugtigt, men ingen tegn på frit grundvandsspejl.

Tabel 4.1: Feltobservationer.

På lokalitet 1 blev jordlagene vurderet som relativt ensartede, med sand som den primære fraktion under fyldlaget. Fra ca. 1,1-2,0 m u.t. var indholdet af silt-/ler lidt højere end i overjorden, uden dog at blive den primære fraktion. Vandindholdet blev også vurderet at stige fra 1,0 m.

På lokalitet 2 var jordlagene ligeledes relativt ensartede med sand som den primære fraktion, men med indhold af grus, sten, silt og ler. Jorden var tør til ca. 1,5 m u.t. hvorefter den var fugtig til minimum 2,0 m u.t. Det blev ikke konstateret grundvand i boringen.

4.2 Analyseresultater for jordprøver

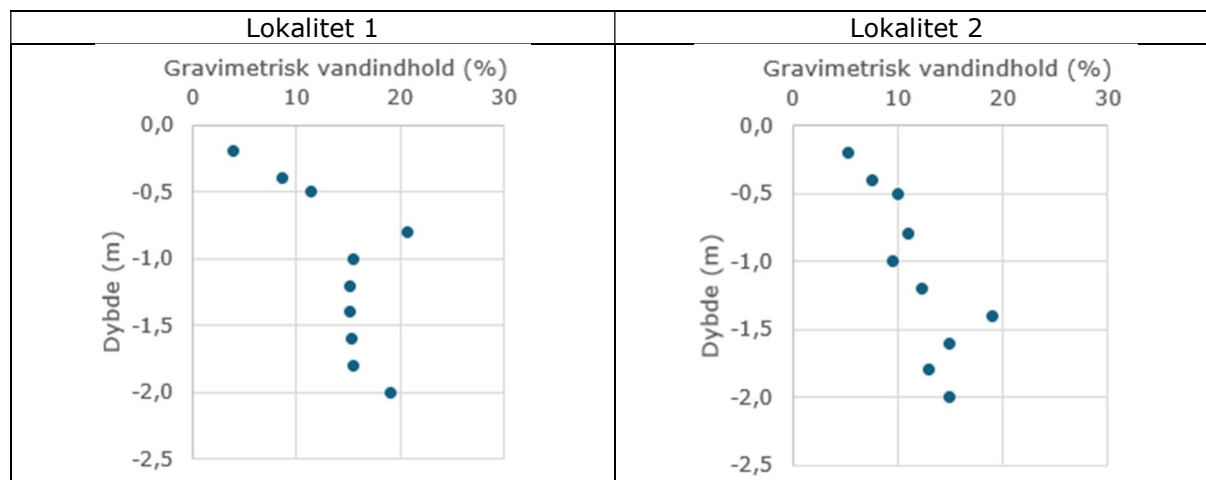
Analyserapporter fra bestemmelse af kornstørrelsesfordeling og intaktprøver ses af bilag 2, sammen med resultater fra softwaren HydrogeoSieve, der estimerer den mættede hydrauliske ledningsevne ud fra kornstørrelsesfordelingen. Beregnede hovedfraktioner og geofysiske data baseret på de analyserede jordprøver er samlet i nedenstående tabel.

Lokalitet	Lokalitet 1		Lokalitet 2	
Dybde (m u.t.)	0,5	1,0	0,5	1,0
Grus (%)	14	4,1	14	7,2
Sand (%)	70	74	58	61
Silt (%)	15	22	19	25
Ler (%)	1	0	9	6
Densitet, bulk (g TS/cm ³)	i.m.	i.m.	1,73	1,6
Vol. Vandindhold (cm ³ /cm ³)	i.m.	i.m.	0,175	0,154
Gravimetrisk vandindhold (%)	12	16	10	10

Tabel 4.2: Kornstørrelsesfordeling samt jordfysiske parametre beregnet ud fra intaktprøver. i.m.: ikke målt.

Som det fremgår af tabel 4.2, bekræfter kornstørrelsesfordelingerne, at der er sandede forhold på begge lokaliteter. På lokalitet 1 er indholdet af silt større end umiddelbart vurderet i felten, mens lerindholdet er relativt lavt. På begge lokaliteter er der væsentlige indhold grus, hvilket vurderes at have stor betydning for den hydrauliske ledningsevne.

På begge lokaliteter er der målt gravimetrisk vandindhold i hele profilet, og resultaterne er visualiseret nedenfor.



Figur 4.1: Gravimetrisk vandindhold som funktion af dybden.

På lokalitet 1 er der påvist stigende vandindhold ned til ca. 0,8 m u.t. hvorefter det ligger stabilt omkring ca. 15%. Der er målt et relativt højt indhold af vand ca. 0,8 m u.t., hvilket ikke blev observeret ved feltvurderingerne. Der er ikke fundet en forklaring på denne forskel. I dybden 2,0 m u.t. steg vandindholdet igen til ca. 19% hvilket skyldes at det er forholdsvis tæt på grundvandsspejlet.

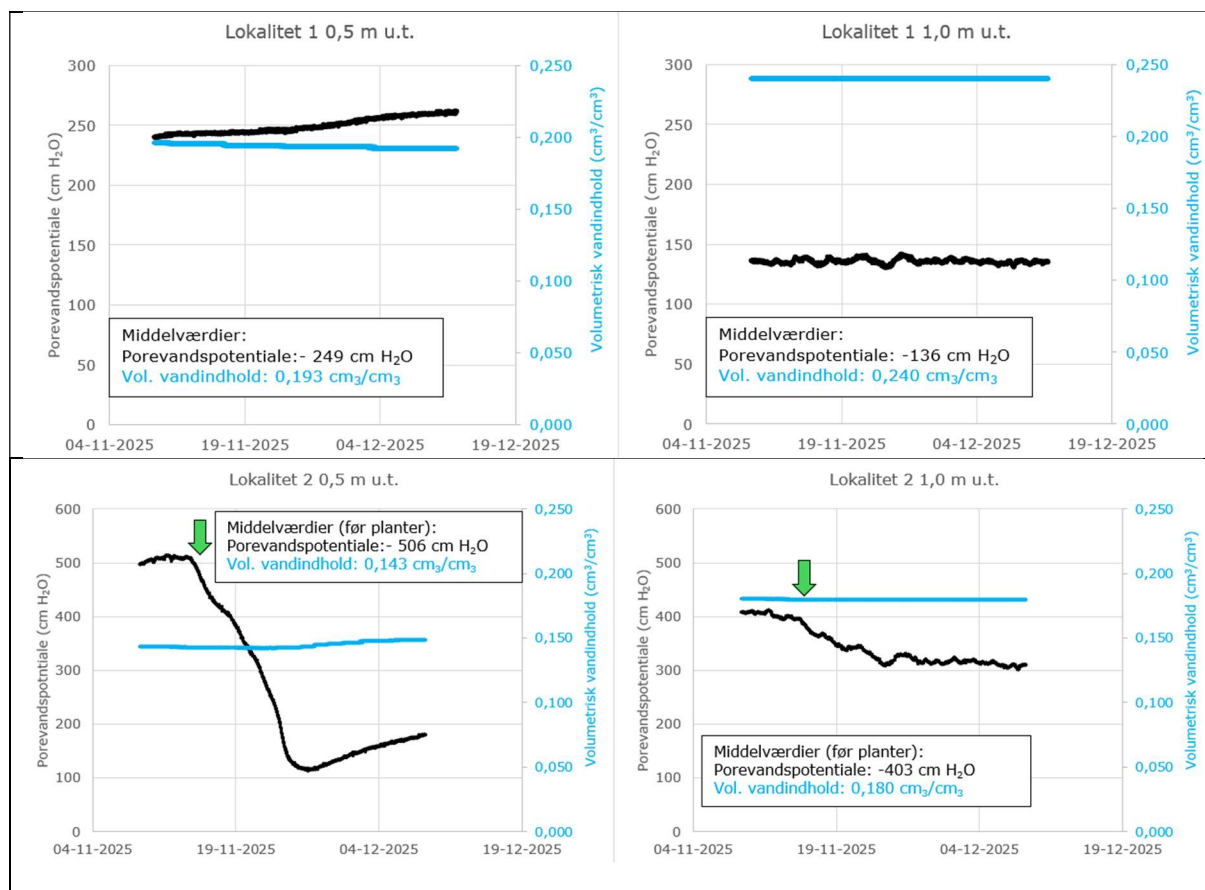
På lokalitet 2 er vandindholdet stigende ned til ca. 0,5 m u.t., og det var relativt stabilt ned til ca. 1,4 m u.t., hvorefter vandindholdet varierede i intervallet 13-19%. På begge lokaliteter sås indikationer af, at jorden var udtørret i de øverste 0,5 m.

4.3 Tidsserier for vandindhold og porevandspotentiale

Baseline

Figur 4.2 viser "baseline" målinger af porevandspotentiale og volumetrisk vandindhold. De målte gennemsnitsniveauer viser, at jorden var mere tør på lokalitet 2 end på lokalitet 1. Målingerne viser desuden, at der på begge lokaliteter er højere vandindhold i dybden 1,0 m u.t. end i dybden 0,5 m u.t., hvilket sandsynligvis skyldes udtørring af overjorden.

På lokalitet 2 blev der d. 14. november 2025 indsat planter i drivhuset, og som det fremgår af figur 4.2, er der i begge dybder påvist et pludseligt fald for porevandspotentialet netop denne dag. Det skyldes sandsynligvis et overfladespild af vand ved måleudstyret. Det bemærkes desuden, at spildet ikke registreres af sensorerne til måling af vandindholdet. Det indikerer, at der er tale om et begrænset spild til en relativt tør jord. Når jorden er tør, ligger jorden i "den stejle del" af retentionskurven, og udslaget på sensorerne til måling af vandindholdet vil forventeligt være relativt begrænset. En anden årsag kan være, at vandet er trukket ned gennem installationshullerne til TEROS 32 sensorerne, og ved et meget begrænset spild vil det dermed ikke påvirke sensorerne til volumetrisk vandindhold. I denne situation er der ikke tale om en reel vertikal transport i jordmatrixen, men en præferentiell spredning gennem installationshullet som ikke er repræsentativt for hvordan vand generelt spredes vertikalt. Samlet set vurderes resultaterne derfor ikke at indikere en væsentlig nedsivning på trods af et muligt overfladespild. Til beregning af "baseline" værdien på lokalitet 2 er der på grund af den mulige præferentielle spredning kun anvendt værdier før d. 14. november 2025.

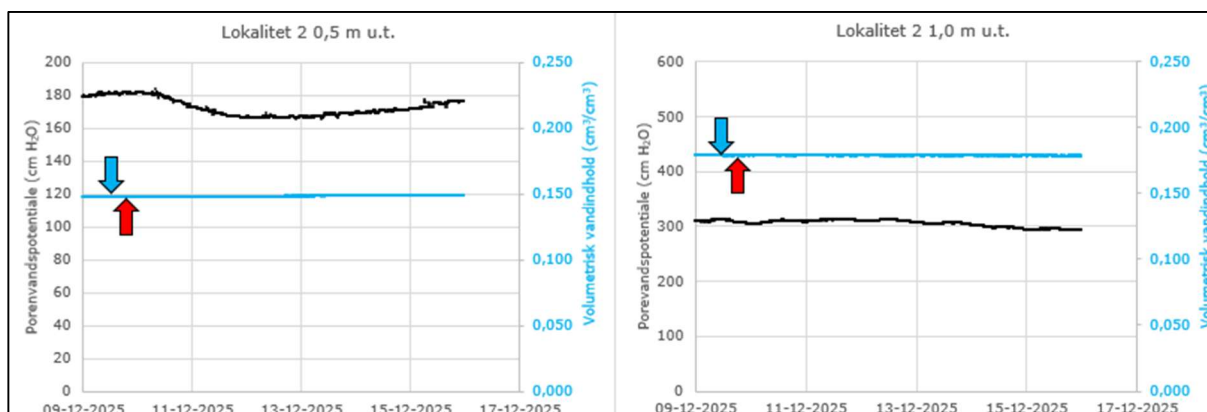


Figur 4.2: Måling af "baseline" inden vandingsforsøg. Den grønne pil på Lokalitet 2 markerer datoen for at der blev sat planter ind, som var d. 14. november 2025.

Langsom vanding

Resultater fra forsøg med langsom vanding på lokalitet 2 fremgår af nedenstående figur. Det ses af figuren, at vandindholdet i begge dybder ligger helt stabilt i hele måleperioden frem til 16. december 2025. Betragtes porevandspotentialiet ses det, at målingen 0,5 m u.t. falder med ca. 10 cm H₂O efter ca. 2-3 dage (11-12. december 2025) afhængigt af hvornår man betragter fronten. Der ses indenfor måleperioden ikke tydeligt udslag på målingerne udført 1,0 m u.t. Der er dermed tegn på nedsivning af vand til dybden 0,5 m u.t., men ikke til 1,0 m u.t. indenfor det målte tidsrum frem til d. 16. december 2025 (7 dage).

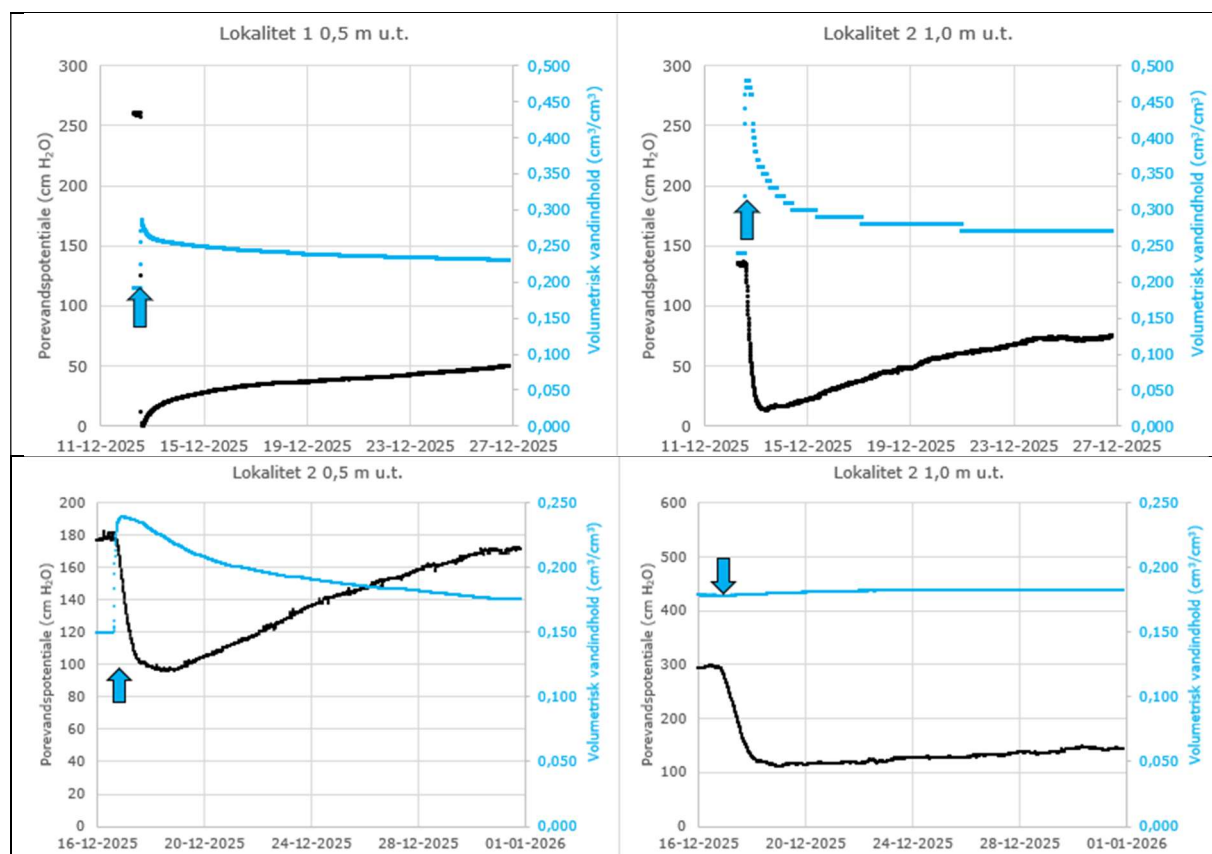
Når der registreres udslag på porevandspotentialiet, uden at det ses på vandindholdet, kan det som beskrevet ovenfor skyldes, at der er tale om en begrænset nedsivning, som måles i en udtørret jord. Det medfører, at små ændringer i vandindholdet vil slå tydeligst ud på målinger af porevandspotentialiet, afhængig af forløbet af retentionskurven for den pågældende jordtype.



Figur 4.3: Måling af porevandspotentiale og volumetrisk vandindhold under og efter langsomt vandingsforsøg. Den blå pil markerer start på vandingen og den røde pil markerer afslutningen. Der blev vandet 10 L vand over ca. 6,5 time.

Momentan vanding

Målinger under momentane vandingsforsøg ses af nedenstående figur.



Figur 4.4: Måling af porevandspotentiale og volumetrisk vandindhold ved og efter momentant vandingsforsøg. Den blå pil markerer tid for vandingen. Der blev vandet 30 L vand fordelt i de udplacerede rør.

Som det fremgår af figur 4.4, måles der på lokalitet 1 betydelige udslag med begge sensorer samme dag (d. 12. december 2025) som vandingsforsøget udføres. Vandindholdet i dybden 0,5 m u.t. stiger fra 0,192 til 0,282 cm^3/cm^3 , mens vandindholdet 1,0 m u.t. stiger fra 0,240 til

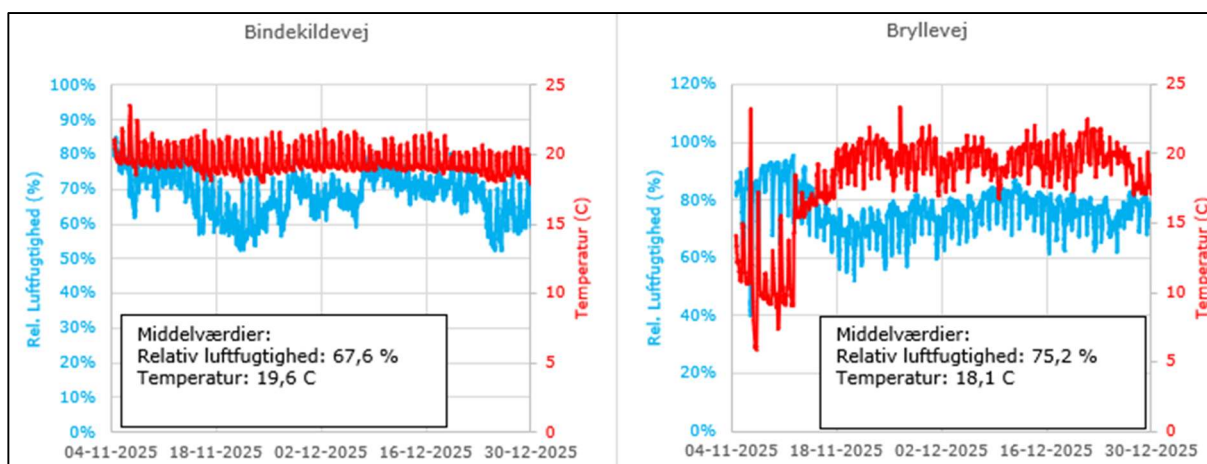
0,470 cm³/cm³. Når begge sensorer stiger omtrentligt på samme tidspunkt på samme dag, og udslaget på det nederste sensorsæt er større end den øverste, indikerer det, at der er forekommet præferentiel spredning gennem installationshullerne, og det vurderes derfor ikke at målingerne er et udtryk for en reel vertikal spredning i den uforstyrrede jordmatrice.

På lokalitet 2 ses der en relativt hurtig påvirkning af begge sensorer placeret 0,5 m u.t., mens det 1,0 m u.t. kun er sensoren til porevandspotentiale, der giver udslag på vandingsforsøget. Vandindholdet 0,5 m u.t. stiger fra 0,149 til 0,238 cm³/cm³. Det vurderes, at den relativt hurtige stigning i vandindhold målt 0,5 m u.t., hvilket er umiddelbart efter, at vandet er hældt ud i rørene, indikerer, at der også her kan være sket en spredning i installationshullerne. Dette underbygges af, at der 1,0 m u.t. ikke er sammenhængende udslag på sensorerne installeret i denne dybde.

Overordnet set vurderes det, at strategien med de langsomme vandingstests er den bedste, da det minimerer risikoen for præferentiel spredning, idet topjorden når at optage vandet inden det afstrømmer med risiko for spredning til et installationshul til sensorer.

4.4 Tidsserier for Luftfugtighed og temperatur

Der er målt relativ luftfugtighed og temperatur under perioden hvor der er logget i drivhusene og resultaterne ses af nedenstående figur.



Figur 4.5: Luftfugtighed og temperatur på de to lokaliteter.

Som det fremgår af figur 4,5, ligger middeltemperaturen nede ved jorden på begge lokaliteter relativt ens omkring 18-19°C. Luftfugtigheden på lokalitet 1 er ca. 68%, mens den på lokalitet 2 ligger omkring 75%. Fordampningen må dermed forventes at være højere på lokalitet 1 end på lokalitet 2, hvilket dog også afhænger af forhold som f.eks. luftskiftet.

5. Modellering og vurdering af nedsivning

På begge lokaliteter er der påvist lavere vandindhold og porevandspotentiale 0,5 m u.t. end i 1,0 m u.t. Det indikerer, at der på dette tidspunkt, hvor der ikke er tilsat vand, er en opadrettet vandtransport, pga. udtørring af topjorden. Dvs. fordampningen er større end vandtilførslen. Det er dog vanskeligt på dette grundlag at vurdere hvor stor fordampningen reelt er, så modelberegninger af nedadrettet transport bør tage udgangspunkt i en relativt lav fordampning for at sikre konservative vurderinger. Alternativt skal fordampningen måles direkte i væksthuse, hvilket ikke var en del af dette projekt.

Udgangspunktet for projektet var, at der skulle laves vandingsforsøg med 30 L vand på 1 m² (30 mm) og i den efterfølgende periode måles, om der kunne detekteres nedsivning i de to dybder (0,5 og 1,0 m u.t.). Det var dog vanskeligt at foretage forsøg med 30L med den anvendte forsøgssopstilling uden, at der forekom præferentiel spredning i installationshuller. Forsøget med langsom vanding med håndsprøjte var en mere hensigtsmæssig fremgangsmåde, idet topjorden nåede at optage vandet inden der skete væsentlig spredning i installationshullerne. Den langsomme vanding omfattede 10 L vanding over 6,5 timer, hvilket svarer til en nedsivning på ca. 5 mm. Der blev dog ikke indenfor den efterfølgende uge målt øgede vandindhold i sensorerne på lokalitet 2, og dermed ikke konstateret tegn på væsentlig vertikal transport.

Selvom der er konstateret en opadrettet gradient i væksthuse, og ikke er påvist en nedadrettet transport af vand ved det langsomme vandingsforsøg, er det ikke tilstrækkeligt til at konkludere, at ikke kan forekomme nedsivning efter et større spild. For at undersøge dette nærmere er der opsat en model i HYDRUS-1D /6/.

5.1 Modelopsætning

Modellens udgangspunkt er den konceptuelle forståelse, der er opnået gennem forsøgene samt nogle antagende konservative modelinput. Modelopsætningen omfatter følgende inputdata og konceptuelle antagelser:

- Vertikal modeludbredelse (1D)
- Opsætning af jordtype
- Valg af rand- og initialbetingelser
- Valg af modelscenarie

Vertikal modeludbredelse

Det er valgt at sætte modellen op til vandtransport i umættet zone fra 0-1 m u.t. Det skyldes målingerne af gravimetrisk vandindhold, som på begge lokaliteter indikerer et stigende vandindhold i overjorden. På Lokalitet 1 er der desuden konstateret grundvandsspejl ca. 2,0 m u.t., hvilket medfører, at der vil være en zone over dette niveau med kapillært vand der trækkes op i umættet zone fra grundvandet og dermed påvirker vandindholdet. Konceptuelt er det på baggrund af vandindholdsmålingerne antaget, at denne påvirkning sker fra 1-2 m u.t. Målingerne af vandindhold og porevandspotentiale er desuden udført indenfor denne dybde, hvilket kan bruges som input til modellens initialbetingelser og til validering af udvalgte parametre.

Opsætning af jordtype

Valg af jordtype til modelleringen er vigtigt fordi det styrer jordens hydrauliske egenskaber, f.eks. vil man forvente hurtigere nedsivning i sand end i ler. Jordtypen definerer konstanterne til "Mualem and van Genuchten"-modellen, der beskriver sammenhængen mellem vandindhold og hydraulisk ledningsevne i umættet zone. Disse konstanter skal bruges som modelinput i HYDRUS. Der var oprindeligt planlagt, at bestemme konstanterne via vandingsforsøgene, som

ideelt set havde resulteret i målinger forskellige steder på retentionskurven, hvorefter retentionskurven kunne fittes til data for at bestemme konstanterne. Dette er dog ikke muligt fordi vandingsforsøgene ikke gav resultater, der er anvendelige til dette formål.

I stedet er konstanterne estimeret ud fra kornstørrelsesfordelingen, som er indtastet i Rosetta modulet i HYDRUS-1D. I Rosetta estimeres konstanterne ud fra fordelingen af sand, silt og ler, og for Lokalitet 2, også densiteten. Rosetta estimerer hydrauliske parametre for finjordsfraktionen (< 2 mm) og tager ikke eksplicit højde for grus. Da grus holder særligt godt på vand, men optager volumen, korrigeres vandindholdsparemetrene der bestemmes med Rosetta (θ_s og θ_r), for grusindholdet for at repræsentere jordens effektive porøsitet.

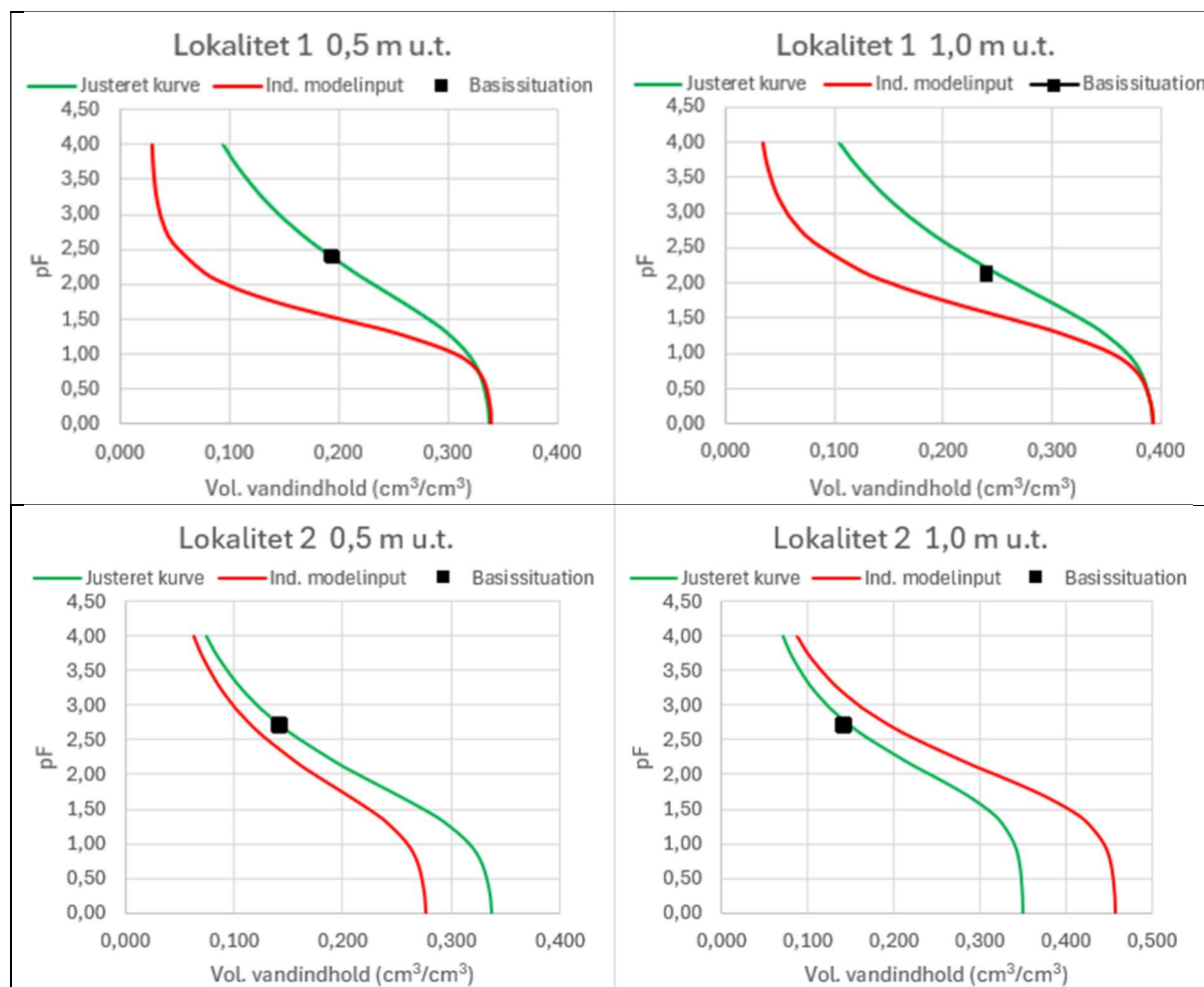
I nedenstående tabel fremgår en oversigt over fraktionerne af sand, silt, ler og grus bestemt ved kornstørrelsesfordelingerne, de korrigerede finjordsfraktioner, van Genuchten-parametre fra Rosetta, korrigerede vandindholdskonstanter samt mættet hydraulisk ledningsevne bestemt med HydroGeoSieve.

Korrigeringen af vandindholdsparemetrene blev udført ved først at normalisere finjordens (< 2 mm) tekstur så det tilsammen giver 100%. Dette er anvendt som input til Rosetta for estimering af hydrauliske parametre. Vandindholdsparemetrene θ_s og θ_r blev efterfølgende reduceret proportionalt med grusfraktionen. Formparametrene α og n samt den mættede hydrauliske ledningsevne K_s blev fastholdt. De korrigerede parametre blev herefter anvendt i HYDRUS-1D.

	Lokalitet	Lokalitet 1		Lokalitet 2	
	Dybde	0,5	1,0	0,5	1,0
Oprindelige data og mellemregninger	Overordnede jordfraktioner fra kornstørrelsesfordeling (ikke korrigeret)				
	Grus - %	14,2	4,1	58,4	60,9
	Sand - %	70,5	74	18,9	25
	Silt - %	14,6	21,7	8,8	5,9
	Ler - %	0,7	0	13,9	7,2
	Total fraktion < 2 mm - %	85,8	95,7	86,1	91,8
	Korrigeret finfraktion				
	Sand - %	82,2	77,3	67,8	66,3
	Silt - %	17,0	22,7	22,0	27,2
	Ler - %	0,80	0,00	10,22	6,4
	Van Genuchten konstanter estimeret i Rosetta				
	θ_r - cm^3/cm^3	0,033	0,029	0,037	0,042
	θ_s - cm^3/cm^3	0,395	0,394	0,323	0,494
	α (alpha) - $1/\text{cm}$	0,049	0,050	0,046	0,023
	n -	1,930	1,650	1,340	1,399
Indledende modelinput	Van Genuchten med korrigerede vandindholdsparemetre				
	θ_r (korrigeret) - cm^3/cm^3	0,029	0,027	0,032	0,039
	θ_s (korrigeret) - cm^3/cm^3	0,339	0,378	0,278	0,458
	α (alpha) - $1/\text{cm}$	0,049	0,050	0,046	0,023
	n -	1,930	1,650	1,340	1,399
	Mættet hydraulisk ledningsevne fra HydroGeoSieve				
	K_s (cm/dag)	81,13	50,63	4,69	7,79

Tabel 5.1: Overordnet fordeling af jordtexturer, samt korrigering af vandindholdsdata til HYDRUS-1D.

De indledende modelinput (uden K_s), som ses i tabel 5.1, blev efterfølgende indsat i Van Genuchten modellen for retentionskurven og plottet mod de målte data for porevandspotentiale og volumetrisk vandindhold fra basistilstanden. På baggrund af dette blev konstanterne justeret for at sikre, at retentionskurven, der anvendes i HYDRUS-1D, stemte med målingerne. I figur 5.1 ses retentionskurverne før og efter finjustering sammen med de justerede modelparametre.



Figur 5.1: Justering af parametre til van Genuchten-modellen.

Som det fremgår af figur 5.1, var der behov for justering af retentionskurven for alle jordprøver. I nedenstående tabel sammenlignes parametrene fra det indledende modelinput med de justerede parametre. Der er ikke ændret på K_s , som er direkte bestemt ved HydrogeoSieve. Som det fremgår af tabel 5.2, er det primært formfaktoren n og det mættede vandindhold der er ændret på.

Det bemærkes, at det er et relativt begrænset datagrundlag at ændre inputparametrene på, men det er dog stadig vurderet relevant at trække den tilgængelige information ud af dataene for at opnå den bedst mulige modelopsætning. Det optimale havde været at kunne bruge data fra en vellykket vandingstest med tydelig spredning af vand til 1 meters dybde.

	Lokalitet 1 - 0,5 m u.t.		Lokalitet 1 - 1,0 m u.t.	
	Oprindelig	Justerede	Oprindelig	Justerede
q_r	0,029	0,029	0,028	0,028
q_s	0,339	0,339	0,3939	0,3939
a	0,049	0,049	0,0501	0,0501
n	1,93	1,25	1,65	1,25
	Lokalitet 2 0,5 m u.t.		Lokalitet 2 1,0 m u.t.	
	Oprindelig	Justerede	Oprindelig	Justerede
q_r	0,032	0,032	0,0394	0,0394
q_s	0,278	0,339	0,458	0,35
a	0,046	0,046	0,023	0,023
n	1,34	1,32	1,398	1,42

Tabel 5.2: Oversigt over indledende modelinput fra tabel 5.1 sammenlignet med justerede modelinput. Røde baggrund markerer værdier der er justeret.

Valg af rand- og initialbetingelser

Ved opsætning af HYDRUS-1D skal der opsættes flere forskellige parametre, hvoraf mange har med selve den numeriske løsning af modellen at gøre. Bilag 3 beskriver hvilke valg, der er truffet for modellen, der er sat op til de to lokaliteter. I det følgende gengives udelukkende konceptuelle valg for modellen.

Overordnet set er det valgt i HYDRUS-1D at anvende en "single porosity model" – van Genuchten – Muelem til at håndtere forholdet mellem vandindhold og hydraulisk ledningsevne. Parametrene til denne model ses i tabel 5.1.

Som øvre randbetingelse anvendes "Atmospheric BC with surface Run-Off", hvilket muliggør indlæsning af nedbør eller – som i dette tilfælde – modellering af vandspild ved terræn. Som nedre randbetingelse er der valgt "Free drainage", hvilket indebærer, at der ikke pålægges hydraulisk modstand ved modellens nedre grænse, og at vand frit kan forlade modelområdet, hvis jordens hydrauliske forhold tillader det.

Som initialbetingelse er det valgt at bruge målingerne af porevandspotential i basistilstanden ("baseline"), og middelværdierne er indsat, hhv. 0,5 og 1,0 m u.t. Imellem de to niveauer, har modellen selv interpoleret, og mellem terræn og 0,5 m u.t. er ændringen (pr. cm) fra det dybere interval anvendt til at ekstrapolere, så jordprofilen er tørrest ved terræn. Reelt er dette sandsynligvis en konservativ antagelse, da udtørringen ved terræn vurderes at være endnu større som følge af fordampning, men denne effekt er ikke lineært aftagende med dybden.

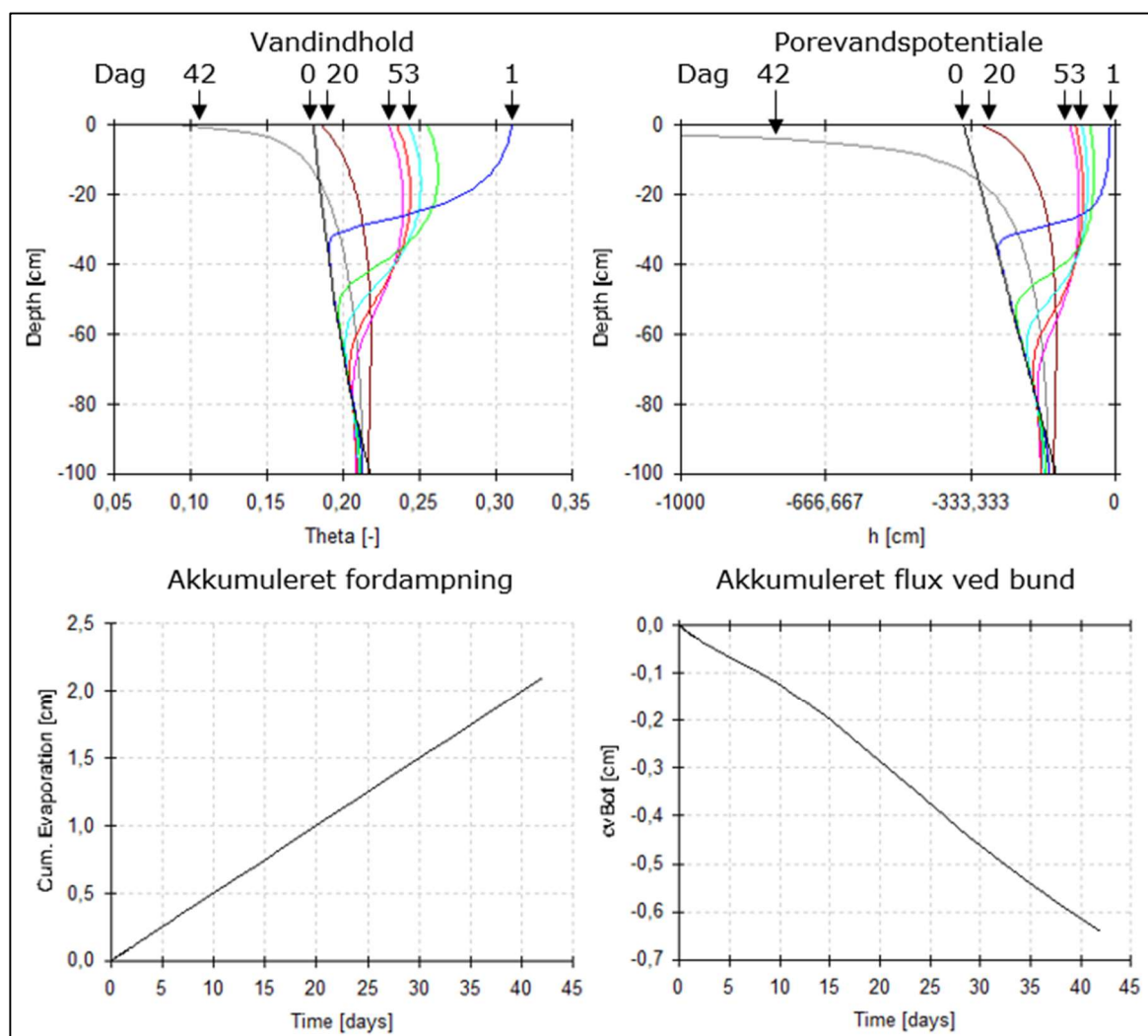
Valg af modelscenarie

Det er valgt at regne på et modelscenarie, hvor der på den første dag forekommer et spild på 30 mm, svarende til 30 L/m². Efterfølgende køres modellen i 42 døgn (6 uger) med henblik på at undersøge hvor langt ned vandfronten flytter sig.

Der er indsat en maksimal fordampning på 0,5 mm/dag, hvilket vurderes at være relativt lavt sat for de målte temperaturer omkring 20°C. Som gennemsnit over året forventes i Danmark en fordampning fra udearealer på 1-2 mm/dag, mens den på en sommerdag kan være op til 10 mm/år. Fordampningen i væksthuse skønnes på den baggrund at være i størrelsesordenen 2-10 mm/dag. Modellen justerer selv fordampningen ned, når vandindholdet i overfladen falder. Det bemærkes, at fordampningen er en relativt vigtig parameter, da det er den, der kan trække vand ud af systemet inden det siver ned.

5.2 Modellering af nedsivning på lokalitet 1

Den detaljerede modelopsætning af modellen på lokalitet 1 er vist i bilag 3. Af figur 5.2 ses udvalgte resultater fra modellering af jordprofilet på lokalitet 1.

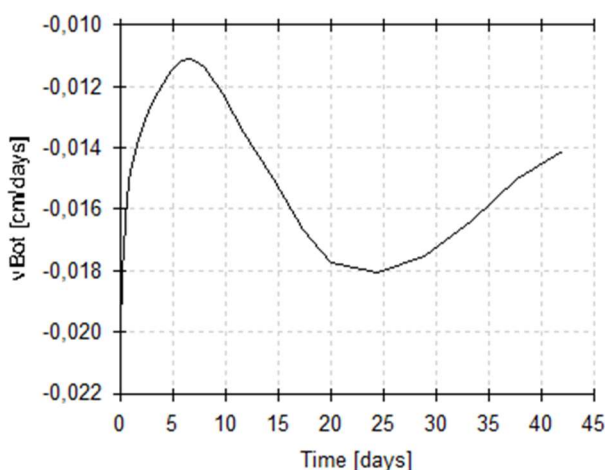


Figur 5.2: Udvalgte resultater fra modellering af nedsivning på lokalitet 1. På de to nederste grafer er positivt flow opadrettet og negativt flow nedadrettet.

Som det fremgår af figur 5.2 viser udviklingen for vandindhold og porevandspotentiale over tid, at der forekommer både fordampning og en nedsivning under de valgte modelopsætninger.

Betragtes dybdeprofilerne, ses det desuden, at vandfronten allerede efter 1 døgn kan forventes at være nået 35 cm ned i jorden og efter 3 døgn (lyseblå linjer) begynder fronten at nå ca. 60 cm ned i profilet, hvilket indikerer, at det planlagte forsøgssetup var realistisk, hvis der designs et vandingssystem der sikrer langsom vanding uden præferentiel spredning.

Af figur 5.3 ses flowet ud gennem bund af modellen (100 cm), dvs. ikke akkumuleret som i figur 5.2. Flowet falder ved bunden i starten med laveste flow efter 6-7 døgn. Derefter stiger det igen for at nå et nyt maksimalt flow efter ca. 24 døgn. Dette mønster indikerer, at modellen i starten mister vand ud gennem bunden inden vandfronten, som kommer fra spildet på 30 mm, opnår gennembrud. Det sker efter ca. 6-7 døgn, og når massetyngdepunktet for vandfronten har passeret bunden, reduceres flowet igen efter 24 døgn.



Figur 5.3: Flow ud gennem bund af profil.

Samlet set indikerer modelleringen, at der under de opstillede modelbetingelser forekommer nedsivning efter et spild på 30 mm. Men resultaterne indikerer også, at modelleringen er særdeles følsom overfor parametre som er usikkert bestemt, og som er styrende for denne transport.

Blandt disse er bl.a. fordampningen, som vurderes at være konservativt sat, fordi der ikke umiddelbart er fundet relevante litteraturværdier for den, eller at der er foretaget lokalitetsspecifikke målinger af fordampningen. Derudover foreligger der i hele profilet, der modelleres over, kun målinger af porevandspotentiale og vandindhold 0,5 og 1,0 m u.t. En bedre vertikal opløsning af specielt porevandspotentialet ville gøre, at man fra starten kunne have et bedre estimat på initialvandindholdet i jorden. Specielt i toppen af jordprofilet resulterer den anvendte initialrandbetingelse for porevandspotentialet sandsynligvis i, at vandindholdet i topjorden overestimeres, idet fordampningen sandsynligvis vil have udtørret de terrænnære jordlag.

En anden vigtig parameter, som ved et vellykket vandingsforsøg med større vandvolumen ville have forbedret modellen, er justering af van Genuchten parametrene.

5.3 Modellering af nedsivning på lokalitet 2

Den detaljerede modelopsætning af modellen på lokalitet 2 er vist i bilag 3. Af figur 5.4 ses udvalgte resultater fra modellering af jordprofilet på lokalitet 2.

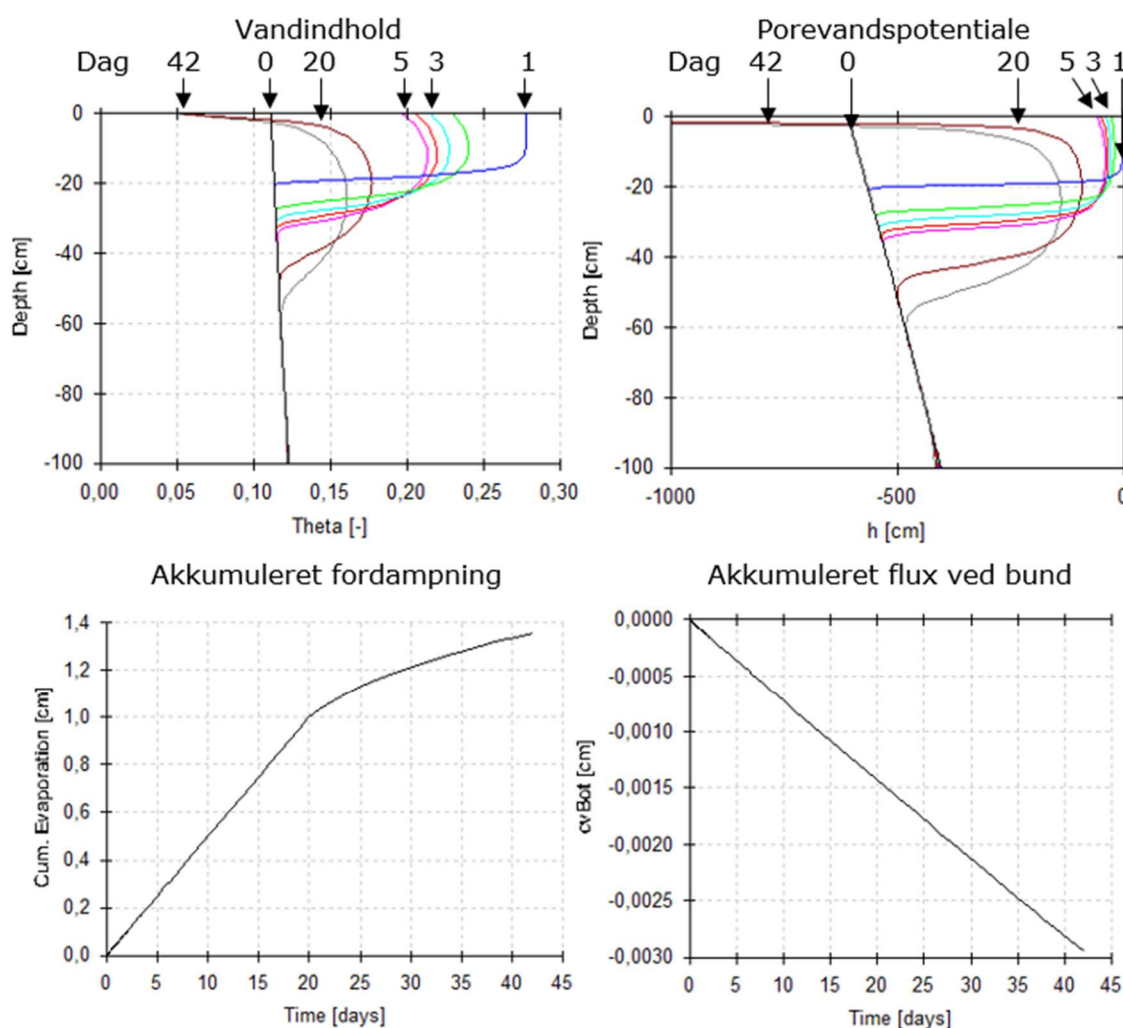
Som det fremgår trænger vandpulsene under de definerede modelantagelser op til 50-60 cm ned i jorden indenfor tidsrammen på 42 døgn, og der er dermed ikke indenfor denne tidsramme tegn på nedsivning i bunden (100 cm). Det hænger godt sammen med at jorden var relativt tør, og der er dermed en lagringskapacitet, der reducerer nedsivningen.

Betragtes den akkumulerede fordampning, forekommer der en relativt konstant fordampning frem til ca. 20 dage efter spildet, hvorefter den reduceres. Det hænger sammen med at jorden terrænnært udtørres, hvilket ses ovenfor, hvor der i de øverste cm sker en væsentlig udtørring fra 5 til 20 døgn. Det akkumulerede bundflow er ligeledes relativt konstant, hvilket skyldes, at den relativt begrænsede nedsivning skyldes nedsivning af vand der allerede er i jorden, og ikke

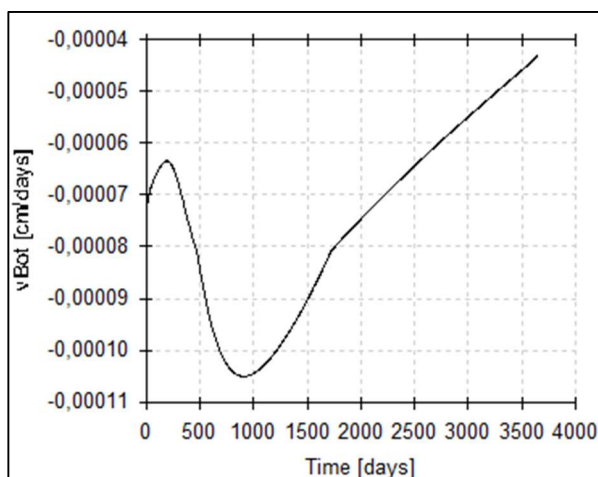
at vandfronten for spildet har nået bunden af profilet.

Der er kørt en ekstra simulering, hvor tidsrammen efter spildet udvides til 10 år, og bundflowet (ikke den akkumulerede) ses af figur 5.5. Som det fremgår, sker der frem til 200-250 døgn en kontinuert reduktion i flowet, hvorefter flowet stiger igen indtil den topper efter ca. 900 døgn, hvilket skyldes, at vandfronten fra spildet når bunden af profilet. Efterfølgende tørrer jorden i bunden ud igen.

Ligesom beregningerne på lokalitet 1 er fordampningen relativt usikker, men konservativt bestemt. Det betyder, at der er et potentiale i at undersøge fordampningen mere detaljeret, og på samme måde, vil det også være relevant at undersøge udtørringen af de terrænnære jordlag, da den lineære ekstrapolering sandsynligvis medfører en underestimering af den potentielle ophobning af vand i de terrænnære jordlag.



Figur 5.4: Udvalgte resultater fra modellering af nedsivning på lokalitet 2. På de to nederste grafer er positivt flow opadrettet og negativt flow nedadrettet.



Figur 5.5: Flow ud gennem bund af profil.

5.4 Sammenligning af beregnet nedsivning på de to lokaliteter

Sammenlignes modelresultaterne for lokalitet 1 og lokalitet 2 fremgår det tydeligt, at risikoen for nedsivning er væsentligt forskellig på de to lokaliteter, selv under identiske og konservative modelantagelser. Forskellene kan primært tilskrives variationer i initialt vandindhold, jordens hydrauliske egenskaber og muligheden for ophobning af vand i den umættede zone.

På lokalitet 1 er jorden generelt relativt fugtig, og der er dermed begrænset mulighed for at ophobe yderligere vand i den umættede zone. Modelleringen viser, at et spild på 30 mm kan resultere i, at vandfronten relativt hurtigt bevæger sig ned gennem profilet, og at der inden for få døgn kan forekomme nedsivning ud gennem bunden af det modellerede domæne.

På lokalitet 2 er jorden derimod markant tørrere i basistilstanden, hvilket medfører en betydeligt større mulighed for at tilbageholde nedsivende vand. Modelleringen viser, at vandfronten fra samme spildscenarie i dette tilfælde bremses væsentligt og ikke når bunden af modeldomænet (100 cm) inden for den betragtede periode på 42 døgn. Først ved simuleringer over meget lange tidsskalaer (flere hundrede døgn) ses en teoretisk effekt af spildet på bundflowet, og selv her er bidraget til nedsivning væsentligt mindre end på lokalitet 1.

Sammenligningen viser således, at nedsivningsrisikoen ikke alene er styret af spildets størrelse, men i høj grad af jordens initiale vandindhold, der i høj grad styres af jordtypen. Modelleringen understøtter, at tørre jordprofiler i væksthuse kan fungere som et effektivt midlertidigt magasin, der forsinker og reducerer nedsivningen, mens mere fugtige profiler er langt mere følsomme over for selv enkeltstående spild.

Det bemærkes, at resultaterne er følsomme over for især fordampning og fastlæggelse af initialbetingelser, som begge er behæftet med usikkerhed. Sammenligningen vurderes dog robust på et konceptuelt niveau og understøtter behovet for lokalitetsspecifik vurdering af nedsivningsrisiko i gartnerier frem for generelle konklusioner.

6. Sammenfatning

DMR har for Dansk Gartneri gennemført et udviklingsprojekt med test af en ny tilgang til at undersøge nettoinfiltrationen af vand ud af jorden under gartnerier med væksthuse til grønne planter. Nedenstående opsummerer projektets resultater:

- **Udførte feltundersøgelser:** Der er gennemført detaljerede feltundersøgelser i væksthuse på to gartnerier med installation af sensorer til kontinuerlig logning af porevands-potentiale og volumetrisk vandindhold i 0,5 og 1,0 m dybde. Der er udtaget jordprøver til bestemmelse af kornstørrelsesfordeling, vandindhold og densitet samt gennemført vandingsforsøg. Undersøgelserne er suppleret med målinger af temperatur og relativ luftfugtighed.
- **Modelberegninger:** Nedsivningen er simuleret ved brug af HYDRUS-1D. Feltmålinger er brugt til fastlæggelse af initial- og randbetingelser. Modellen er brugt til at teste konservative spildscenarier over både korte og lange tidshorisonter.
- **Vurdering af nedsivningsrisiko baseret på målinger i basistilstand:** Måledata fra basistilstanden (ikke under vandingsforsøg) viser på begge lokaliteter en opadrettet hydraulisk gradient, idet både porevandspotentiale og vandindhold er lavere i 0,5 m u.t. end i 1,0 m u.t. Dette indikerer, at den dominerende vandtransport under normale driftsforhold er opadrettet som følge af fordampning fra overjorden. Ud fra disse data alene vurderes der derfor ikke at forekomme aktiv nedsivning i basistilstanden.
- **Samlet vurdering af vandingsforsøgene:** Vandingsforsøgene viser, at langsom og kontrolleret vandtilførsel giver de mest pålidelige data, idet jorden når at optage vandet uden væsentlig risiko for præferentiel spredning i installationshuller til måleudstyret. Det langsomme forsøg på lokalitet 2 (10 L over ca. 6,5 timer) gav kun svag indikation af påvirkning i 0,5 m dybde og ingen målbar påvirkning i 1,0 m dybde inden for den efterfølgende uge. Det momentane vandingsforsøg med 30 L medførte derimod tydelige tegn på præferentiel transport via installationshuller, hvorfor disse resultater ikke vurderes repræsentative for naturlig vertikal nedsivning i den uforstyrrede jordmatrix.
- **Vurdering af nedsivning på de to lokaliteter:** På lokalitet 1 indikerer modelleringen, at nedsivning kan forekomme relativt hurtigt efter et større spild, bl.a. fordi jorden er mere fugtig og har begrænset lagringskapacitet. På lokalitet 2 er jorden væsentligt tørrere, hvilket giver en større lagringskapacitet og en markant forsinkelse af nedsivningen, som i modelleringen først ses efter længere tid. Feltforsøgene understøtter, at langsom vandtilførsel reducerer risikoen for hurtig vertikal transport.
- **Samlet vurdering af nedsivningsrisiko i gartnerier:** Samlet set viser projektet, at nedsivningsrisiko i væksthuse er stærkt lokalitetsafhængig og styret af jordtype, initialt vandindhold og fordampning. Risikoen vurderes generelt lav ved mindre og kortvarige spild, særligt i tørre jorde, men kan ikke udelukkes ved større eller gentagne spild. Den udviklede metode vurderes egnet som grundlag for fremtidige, lokalitetsspecifikke risikovurderinger, forudsat at forsøgsdesignet optimeres yderligere.

7. Perspektivering

Projektet har vist, at en kombination af feltmålinger og modellering kan give et solidt, lokalitetsspecifikt grundlag for vurdering af nedsivning i væksthuse, men også at der fortsat er centrale usikkerheder knyttet til især fordampning, initialbetingelser og forsøgsdesign. En væsentlig videreudvikling af metoden kunne derfor være at styrke den direkte måling af vandbalancens enkelte komponenter, herunder fordampningen.

I et fremtidigt forsøg vurderes der at være et stort potentiale i at kombinere de anvendte sensorer til måling af porevandspotentiale og vandindhold med kammerbaserede målinger af fordampning. Ved anvendelse af lukkede kamre, f.eks. ECOFlux-systemet, vil det være muligt at måle den faktiske fordampning direkte ved jordoverfladen i væksthuset. Dermed kan fordampning kvantificeres uafhængigt af modellering og anvendes som et direkte input til vurdering af den samlede vandbalance.

En sådan kombineret tilgang vil gøre det muligt samtidig at dokumentere både opadrettede flow (fordampning) og eventuelle nedadrettede flow (nedsivning) under kontrollerede forhold. Herved kan det bedre afgøres, om tilført vand primært fjernes ved fordampning, lagres midlertidigt i den umættede zone eller bidrager til egentlig nedsivning. Samtidig vil direkte målinger af fordampning reducere en af de største usikkerheder i den nuværende modellering og forbedre kalibreringen af numeriske modeller som HYDRUS-1D.

Desuden vil fremtidige forsøg med fordel kunne designes som automatiseret længerevarende, lavintensive vandtilførsler, der i højere grad repræsenterer realistiske spildscenarier og samtidig minimerer risikoen for præferentiel transport. Kombineret med en bedre vertikal opløsning af sensorer i de terrænnære jordlag vil dette kunne forbedre forståelsen af lagringskapacitet og forsinkelseseffekter i den umættede zone.

Samlet set peger projektet på, at en integreret metode, hvor feltmålinger af fordampning, jordens hydrauliske tilstand og kontrolleret vandtilførsel kombineres med modellering, vil kunne danne grundlag for en mere robust og dokumenterbar vurdering af nedsivningsrisiko i væksthuse. En sådan tilgang vil samtidig kunne bidrage til mere nuancerede og lokalitetsspecifikke vurderinger i fremtidig regulering og praksis i gartnerier.

8. Referencer

- /1/ Nedsivning i væksthuse. Risikovurdering for nedsivning i væksthuse. Teknologisk Institut. Udført for Dansk Gartneri 2023.
- /2/ Korrespondance udleveret fra Dansk Gartneri: Kritik fra Odense kommune
- /3/ Korrespondance udleveret fra Dansk Gartneri: Kritik fra KU
- /4/ Miljømæssige konsekvenser af valg af borgernes adfærd og daglige valg. Miljøstyrelsesrapport nr. 2. FORCE Technology 2006.
- /5/ HydrogeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis. Hydrology Journal 2015. J.F. Devlin.
- /6/ Modeling Nonequilibrium Flow and Transport Processes Using HYDRUS. Vadose Zone Journal 2008. J. Šimůnek og M. Th. van Genuchten.

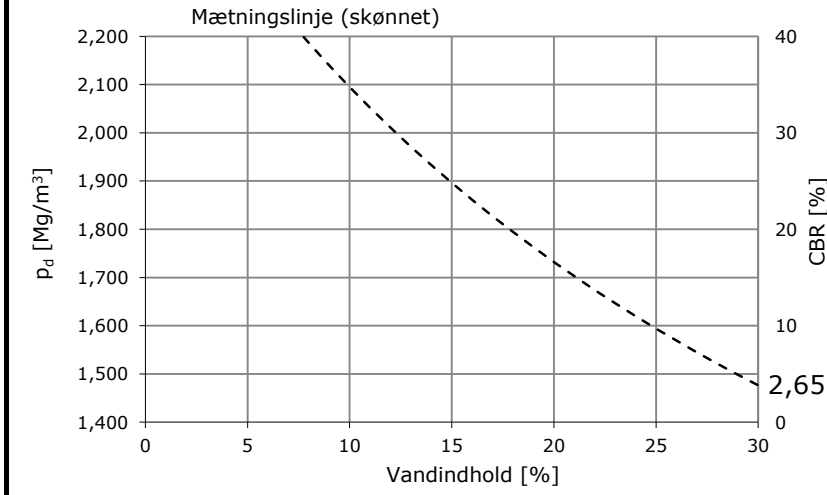
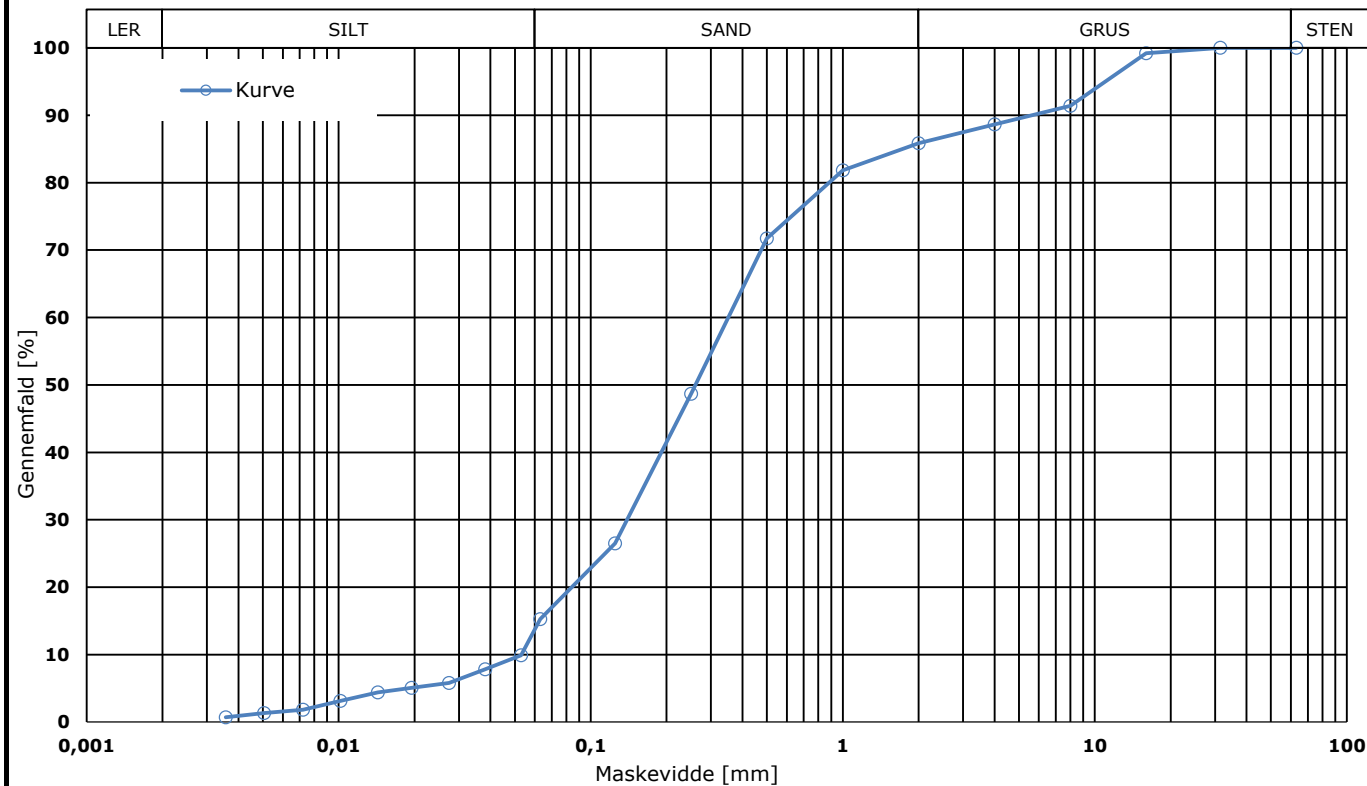
Bilag 1

Dybde (m)	Forsøgsresultater				Filtersætning	Kote (m)	Geologi	Prøve Nr.	Jordartsbeskrivelse	Miljø	Alder	Lugt	Misfarv.	PID	Lab.
	Kote Ukendt														
0						0			1 FYLD: SAND, GRUS, STEN, sv. leret, muldet, tørt				-		
									2 SAND, GRUS, enkelte sten, siltet, muldet, tørt				-		
1						-1			3 SAND, GRUS, STEN, siltet, muldet, tørt, fugtigt				-		
									4 SAND, leret, siltet, gruset, enkelte stem, kalkholdigt, fugtigt				-		
2						-2			5 SAND, lerert siltet, sv. gruset, stenet, vådt				-		
1 10 100 1000 PID (ppm)						Lokation 1									
10 20 30 40 W (%)						X=Prøve udtaget til analyse									
						! = Tydelig lugt observeret									
						+ = Misfarvet									
						- = Ikke Misfarvet									
						Boremetode: Håndboring									
						Projektion: UTM32E89									
						Plan:									
Sag: 2024-2601 Udsivning fra væksthuse															
Boret af: DMR OV				Dato: 2025.11.04 Bedømt af: OV				DGU Nr.:				Boring: HB1 (Lok1)			
Udarb. af: ADS				Kontrol: PLA Godkendt: PLA				Dato: 2026.01.15				Bilag: 1		S. 1/1	
DMR						Miljøprofil									

Dybde (m)	Forsøgsresultater				Filtersætning	Kote (m)	Geologi	Prøve Nr.	Jordartsbeskrivelse	Miljø	Alder	Lugt	Misfarv.	PID	Lab.
	Kote Ukendt														
0						0			1 FYLD: SAND, GRUS, STEN, siltet, sv. leret, tørt				-		
									2 SAND, GRUS, STEN, siltet, sv. leret, tørt, fugtigt				-		
1							-1		3 SAND, GRUS, STEN, siltet, sv. leret, tørt				-		
									4 SAND, GRUS, STEN, siltet, sv. leret, fugtigt				-		
2							-2		5 SAND - " -				-		
1 10 100 1000 PID (ppm)						Lokation 2									
10 20 30 40 W (%)						X=Prøve udtaget til analyse									
						! = Tydelig lugt observeret									
						+ = Misfarvet									
						- = Ikke Misfarvet									
						Boremetode: Håndboring									
						Projektion: UTM32E89									
						Plan:									
Sag: 2024-2601 Udsivning fra væksthuse															
Boret af: DMR OV				Dato: 2025.11.04 Bedømt af: OV				DGU Nr.:				Boring: HB1 (Lok2)			
Udarb. af: ADS				Kontrol: PLA Godkendt: PLA				Dato: 2026.01.15 Bilag: 1				S. 1/1			
						Miljøprofil									

Bilag 2

Kornkurve



Signaturforklaring			
Form	Ø 10 cm	Ø 15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	◇	□
Mod. proctor	●	◆	■

Proctor	Alm.	Mod.
$\rho_{d_{max}}$ [Mg/m ³]		
Vandindhold [%]		
$\rho_{d_{max, kor}}$ [Mg/m ³]		
Frasigtet 16 mm [%]		
Vibrationsbord		
$\rho_{d_{max}}$ [Mg/m ³]		
Vandindhold [%]		
Frasigtet > 80 mm [%]		

Permeabilitetskoefficient, k	[m/s]	Methylenblåt	[g/kg]	Maskevidde [mm] Gennemfald [%]				Fraktionsindhold			
Glødetab	[%]	Uensformighedstal, d ₆₀ /d ₁₀	[-]	63 100							
Glødetab, reduceret	[%]			31,5 100							
Kalkindhold, 0-1 mm	[%]	Frasigtet > 16 mm	[%]	16 99							
Flydegrænse, WL	[%]	Frasigtet > 80 mm	[%]	8 91							
Plasticitetsgrænse, WP	[%]			4 89							
Plasticitetsindeks, IP	[%]	Naturligt vandindhold	[%]	2 86							
PH-værdi	[-]	e _{min}	[gns]	1 82							
Beskrivelse: SAND, muldet				0,5 72							
Sigteanalyse i h.t. DS/EN 933-1				0,25 49							
Slemmeanalyse i h.t. DS/EN 17892-4				0,125 26							
Indleveret:				0,063 15,2							
13-11-2025				0,05299 9,9							
				0,03811 7,8							
				0,02740 5,8							
				0,01948 5,1							
				0,01430 4,4							
				0,01014 3,1							
				0,00721 1,8							
				0,00506 1,3							
				0,00356 0,7							



Din rådgiver gør en forskel..

Materialeanalyse

Sag:	2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C	Prøve ID:	PV3 0,5 m u.t.
Dato:	27-11-2025	Udført af:	SIN
Kontrolleret:	CRO	Godkendt:	CGT
Bilag:	1		



Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

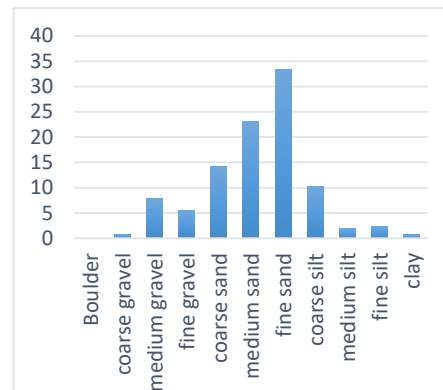
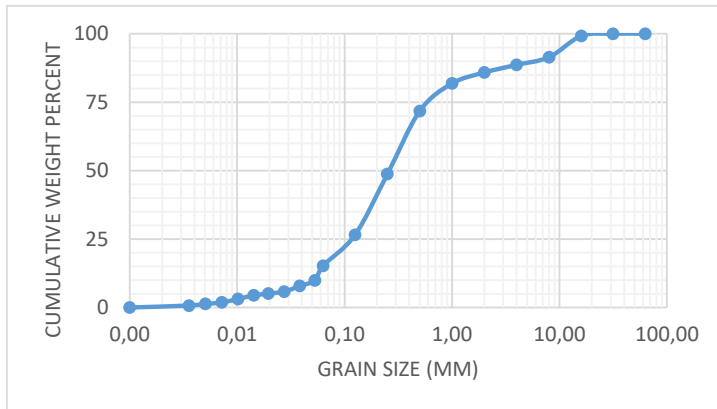
DMR-sagsnr.: 2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name: PV3 0,5 m u.t.

Mass Sample (g): 132,5

T (oC) 10

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Sieve opening (ps) di (mm)	Mass of retained (mr) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
63	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
16	1,06	0,01	99,20
8	10,30	0,08	91,43
4	3,70	0,03	88,63
2	3,70	0,03	85,84
1	5,30	0,04	81,84
0,5	13,40	0,10	71,72
0,25	30,51	0,23	48,69
0,125	29,41	0,22	26,50
0,063	14,91	0,11	15,25
0,052986	7,08	0,05	9,90
0,038111	2,742779	0,02	7,83
0,027397	2,742779	0,02	5,76
0,019477	0,91426	0,01	5,07
0,0143	0,91426	0,01	4,38
0,010144	1,671789	0,01	3,12
0,007212	1,724033	0,01	1,82
0,005063	0,653043	0,00	1,33
0,003562	0,835895	0,01	0,70
0,001	0,924708	0,01	0,00

Effective Grain Diameters (mm)		Other Useful Parameters	
d10	0,053	Uniformity Coef.	7,01
d17	0,073	n computed	0,32
d20	0,089	g (cm/s ²)	980,00
d50	0,264	ρ (g/cm ³)	0,9996
d60	0,373	μ (g/cm s)	0,0130
de (Kruger)	0,073	ρg/μ (1/cm s)	7,52E+04
de (Kozeny)	0,063	tau (Sauerbrei)	0,810
de (Zunker)	0,067	d _{geometric mean}	0,304
de (Zamarin)	0,070	σ _φ	2,535
lo (Alyameni)	0,000		
mm		0 % in sample	
>64		Boulder	
16 - 64		coarse gravel	0,8
8 - 16		medium gravel	7,8
2 - 8		fine gravel	5,6
0.5 - 2		coarse sand	14,1
0.25 - 0.5		medium sand	23,0
0.063 - 0.25		fine sand	33,4
0.016 - 0.063		coarse silt	10,2
0.008 - 0.016		medium silt	2,0
0.002 - 0.008		fine silt	2,4
<0.002		clay	0,7



K from Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

DMR-sagsnr.:

2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name:

PV3 0,5 m u.t.

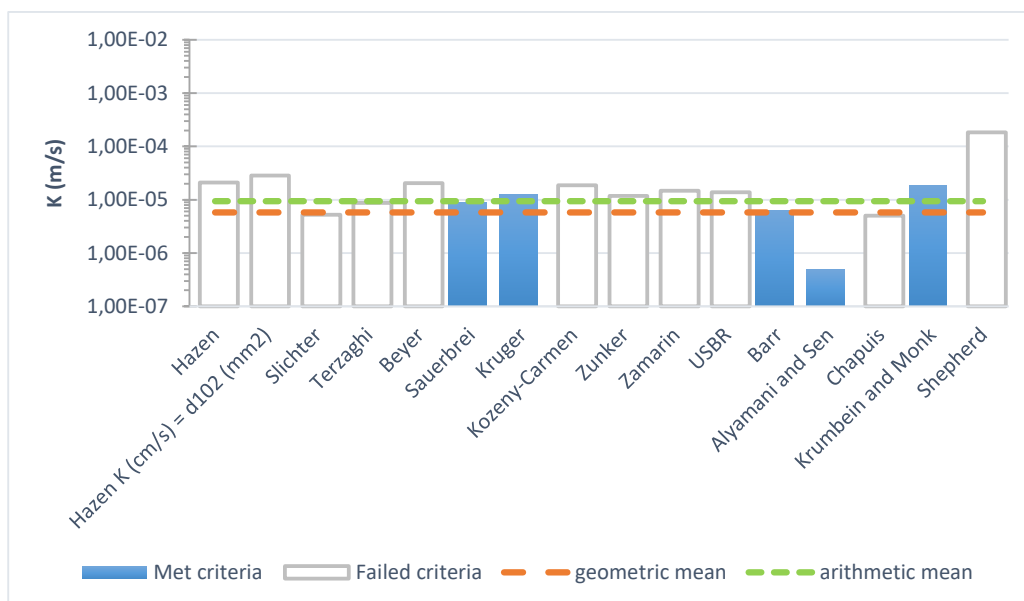
Mass Sample (g):

132,5

T (oC)

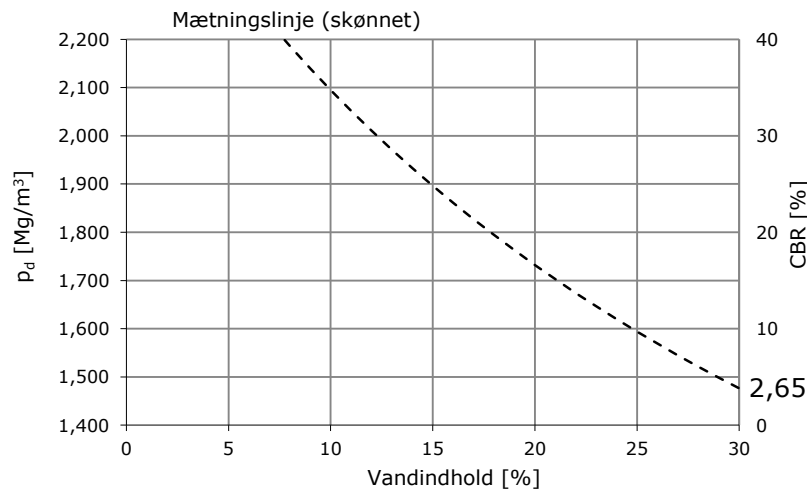
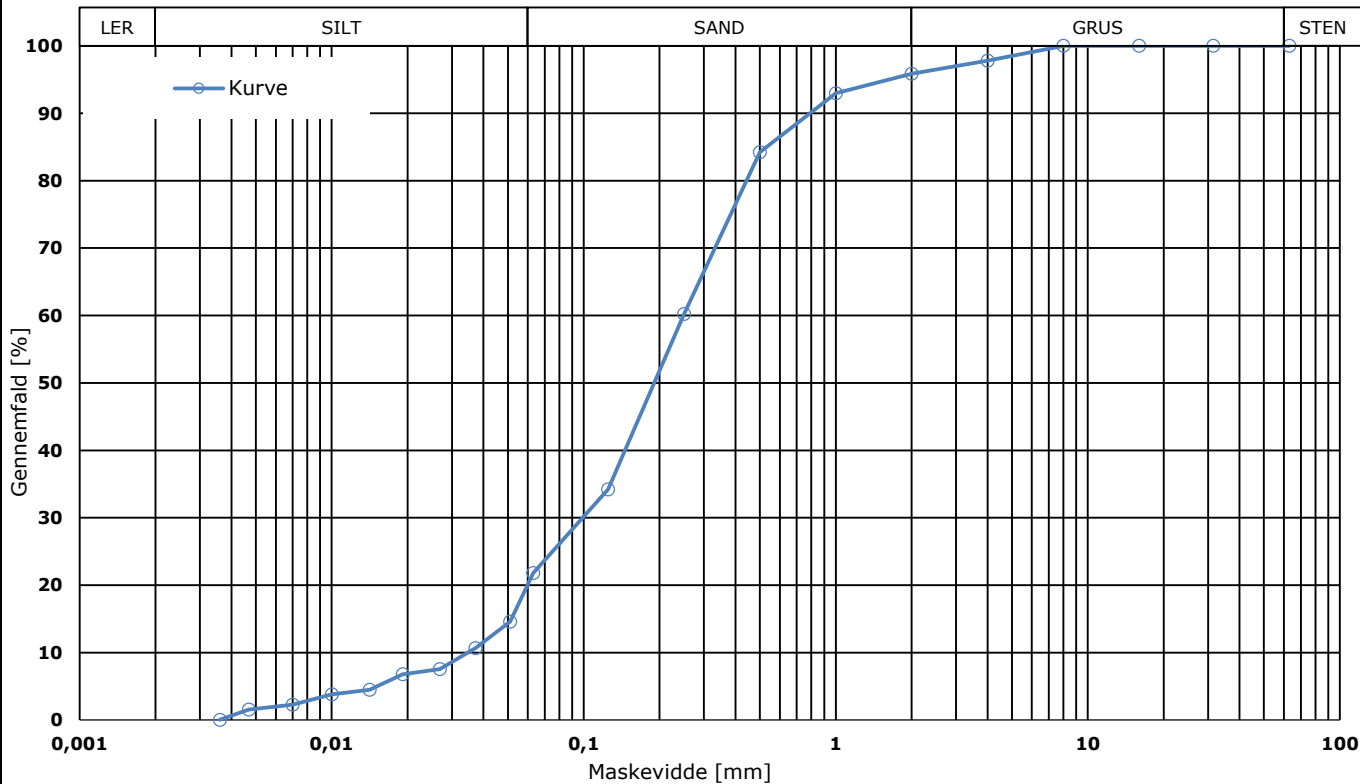
10

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	2,09E-03	2,09E-05	1,81E+00	
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	2,83E-03	2,83E-05	2,44E+00	
Slichter	5,23E-04	5,23E-06	4,52E-01	
Terzaghi	8,73E-04	8,73E-06	7,54E-01	
Beyer	2,05E-03	2,05E-05	1,77E+00	
Sauerbrei	8,98E-04	8,98E-06	7,75E-01	
Kruger	1,23E-03	1,23E-05	1,06E+00	
Kozeny-Carmen	1,87E-03	1,87E-05	1,62E+00	
Zunker	1,19E-03	1,19E-05	1,02E+00	
Zamarin	1,47E-03	1,47E-05	1,27E+00	
USBR	1,39E-03	1,39E-05	1,20E+00	
Barr	6,36E-04	6,36E-06	5,50E-01	
Alyamani and Sen	4,87E-05	4,87E-07	4,20E-02	
Chapuis	5,04E-04	5,04E-06	4,36E-01	
Krumbein and Monk	1,89E-03	1,89E-05	1,63E+00	
Shepherd	1,84E-02	1,84E-04	1,59E+01	
geometric mean	5,78E-04	5,78E-06	4,99E-01	
arithmetic mean	9,39E-04	9,39E-06	8,12E-01	

Kornkurve



Signaturforklaring		
Form	Ø 10 cm	Ø 15 cm
Forsøg	Komprimering	CBR
Proctor	○	◇
Mod. proctor	●	◆

Proctor	Alm.	Mod.
pd _{max} [Mg/m ³]		
Vandindhold [%]		
pd _{max, kor} [Mg/m ³]		
Frasigtet 16 mm [%]		

Vibrationsbord	
pd _{max} [Mg/m ³]	
Vandindhold [%]	
Frasigtet > 80 mm [%]	

Permeabilitetskoefficient, k [m/s]	Methylenblåt [g/kg]
Glødetab [%]	Uensformighedstal, d ₆₀ /d ₁₀ [-]
Glødetab, reduceret [%]	Frasigtet > 16 mm [%]
Kalkindhold, 0-1 mm [%]	Frasigtet > 80 mm [%]
Flydegrænse, WL [%]	Naturligt vandindhold [%]
Plasticitetsgrænse, WP [%]	e _{min} [gns]
Plasticitetsindeks, IP [%]	e _{max} [gns]
PH-værdi [-]	

Maskevidde [mm]		Gennemfald [%]		Fraktionsindhold			
Sigte	63	100		Sigte	Minimum	Maksimum	Aktuelt
	31,5	100					
	16	100					
	8	100					
	4	98					
	2	96					
	1	93					
	0,5	84					
	0,25	60					
	0,125	34					
Slemme	0,063	21,8		Slemme	Minimum	Maksimum	Aktuelt
	0,05106	14,6					
	0,03718	10,7					
	0,02689	7,5					
	0,01912	6,8					
	0,01413	4,5					
	0,01001	3,8					
	0,00701	2,3					
	0,00469	1,5					
	0,00360	0,0					

Beskrivelse: SAND, muldet	d	Maskevidde [mm]
Sigteanalyse i h.t. DS/EN 933-1	10	0,035
Slemmeanalyse i h.t. DS/EN 17892-4	15	0,052
Indleveret: 13-11-2025	50	0,190
Udtaget:	60	0,249
	85	0,531



Din rådgiver gør en forskel..

Materialeanalyse

Sag:	2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C	Prøve ID:	PV3 1,0 m u.t.
Dato:	27-11-2025	Udført af:	SIN
Kontrolleret:	CRO	Godkendt:	CGT
Bilag:	1		



Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

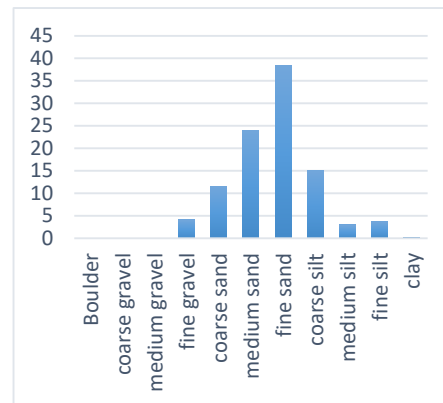
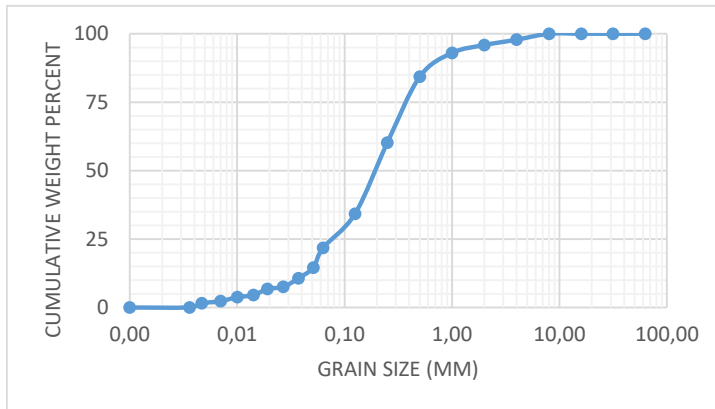
DMR-sagsnr.: 2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name: PV3 1,0 m u.t.

Mass Sample (g): 132,7

T (oC) 10

Poorly sorted sand low in fines



Sieve opening (ps) di (mm)	Mass of retained (mr) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
63	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	100,00
4	2,90	0,02	97,81
2	2,60	0,02	95,86
1	3,80	0,03	92,99
0,5	11,60	0,09	84,25
0,25	31,90	0,24	60,21
0,125	34,50	0,26	34,21
0,063	16,50	0,12	21,78
0,051059	9,56	0,07	14,57
0,037183	5,178718	0,04	10,67
0,026887	4,142974	0,03	7,55
0,019116	1,035744	0,01	6,77
0,014133	3,018453	0,02	4,49
0,010009	0,946966	0,01	3,78
0,007008	1,982709	0,01	2,28
0,004693	0,976558	0,01	1,55
0,003598	2,012302	0,02	0,03
0,001	0,04143	0,00	0,00

Effective Grain Diameters (mm)		Other Useful Parameters	
d10	0,035	Uniformity Coef.	7,12
d17	0,055	n computed	0,32
d20	0,060	g (cm/s ²)	980,00
d50	0,201	ρ (g/cm ³)	0,9996
d60	0,249	μ (g/cm s)	0,0130
de (Kruger)	0,064	ρg/μ (1/cm s)	7,52E+04
de (Kozeny)	0,061	tau (Sauerbrei)	0,810
de (Zunker)	0,062	d _{geometric mean}	0,174
de (Zamarin)	0,063	σ _φ	1,835
lo (Alyameni)	0,000		
mm		0 % in sample	
>64		Boulder	
16 - 64		coarse gravel	0,0
8 - 16		medium gravel	0,0
2 - 8		fine gravel	4,1
0.5 - 2		coarse sand	11,6
0.25 - 0.5		medium sand	24,0
0.063 - 0.25		fine sand	38,4
0.016 - 0.063		coarse silt	15,0
0.008 - 0.016		medium silt	3,0
0.002 - 0.008		fine silt	3,7
<0.002		clay	0,0



K from Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

DMR-sagsnr.:

2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name:

PV3 1,0 m u.t.

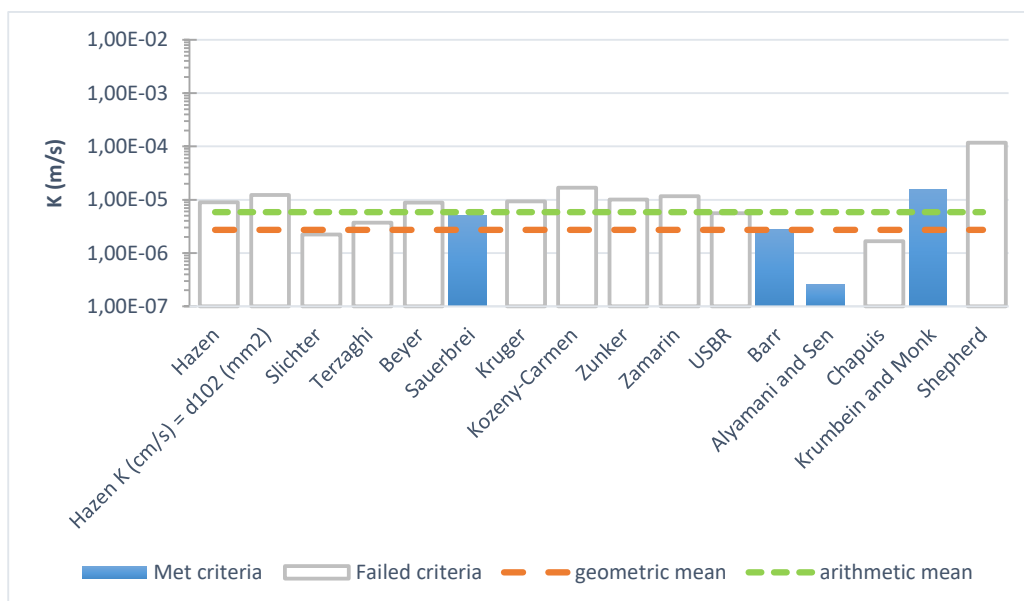
Mass Sample (g):

132,7

T (oC)

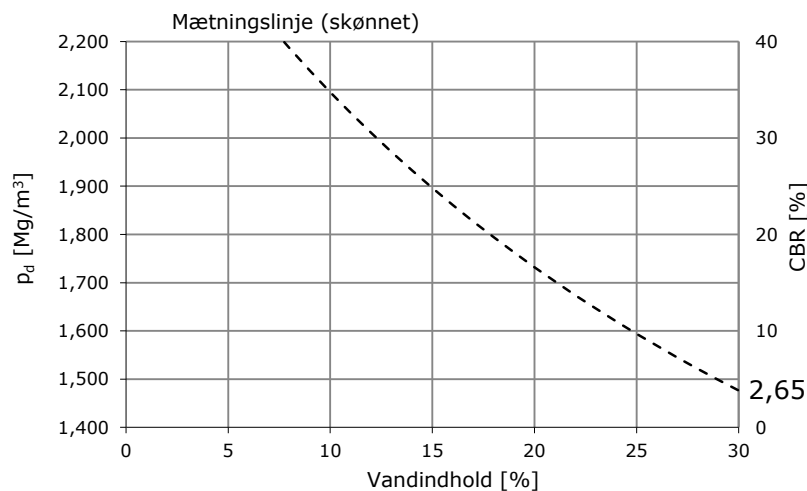
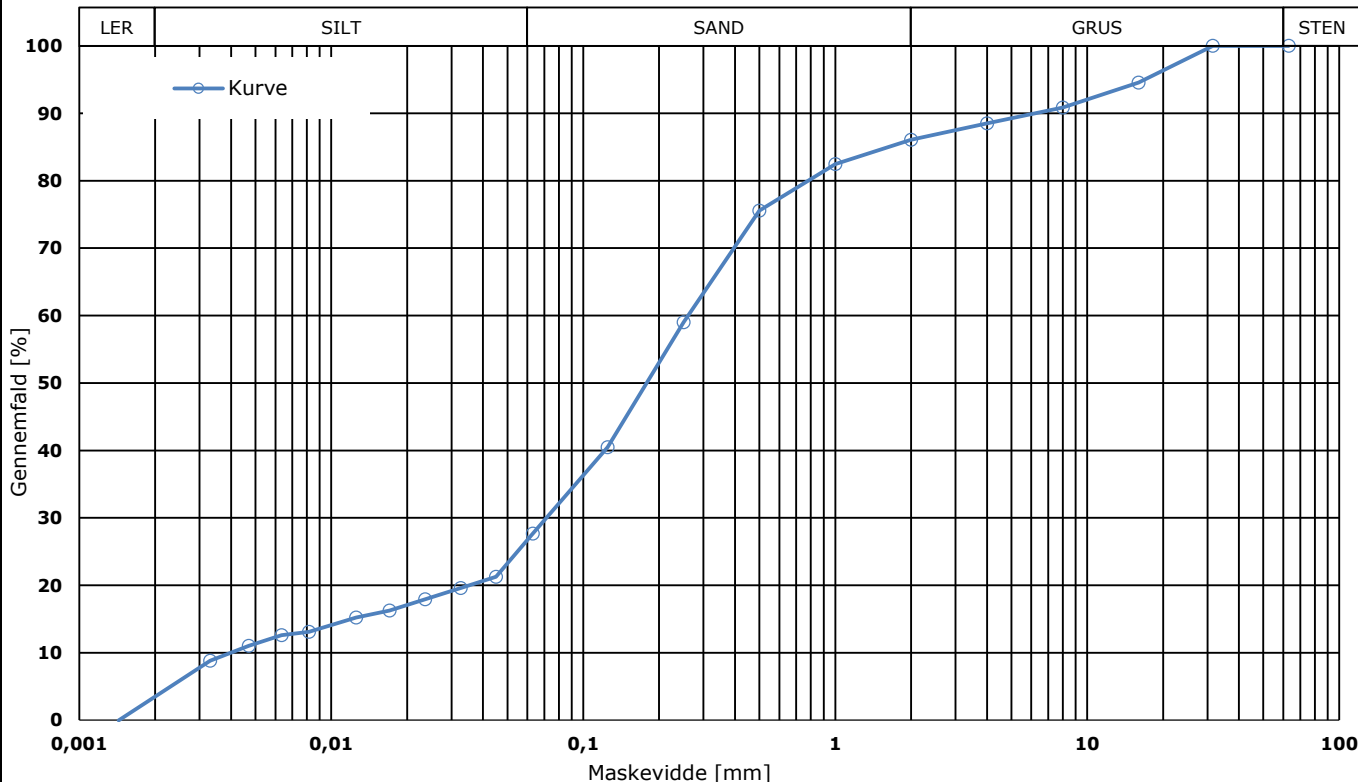
10

Poorly sorted sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	8,98E-04	8,98E-06	7,76E-01	
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	1,22E-03	1,22E-05	1,06E+00	
Slichter	2,23E-04	2,23E-06	1,93E-01	
Terzaghi	3,72E-04	3,72E-06	3,21E-01	
Beyer	8,83E-04	8,83E-06	7,63E-01	
Sauerbrei	5,07E-04	5,07E-06	4,38E-01	
Kruger	9,30E-04	9,30E-06	8,04E-01	
Kozeny-Carmen	1,68E-03	1,68E-05	1,45E+00	
Zunker	1,00E-03	1,00E-05	8,66E-01	
Zamarin	1,17E-03	1,17E-05	1,01E+00	
USBR	5,60E-04	5,60E-06	4,84E-01	
Barr	2,71E-04	2,71E-06	2,34E-01	
Alyamani and Sen	2,59E-05	2,59E-07	2,24E-02	
Chapuis	1,68E-04	1,68E-06	1,45E-01	
Krumbein and Monk	1,54E-03	1,54E-05	1,33E+00	
Shepherd	1,17E-02	1,17E-04	1,01E+01	
geometric mean	2,72E-04	2,72E-06	2,35E-01	
arithmetic mean	5,86E-04	5,86E-06	5,06E-01	

Kornkurve



Signaturforklaring			
Form	Ø 10 cm	Ø 15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	◇	□
Mod. proctor	●	◆	■

Proctor	Alm.	Mod.
$p_{d_{max}}$ [Mg/m ³]		
Vandindhold [%]		
$p_{d_{max, kor}}$ [Mg/m ³]		
Frasigtet 16 mm [%]		

Vibrationsbord	
$p_{d_{max}}$ [Mg/m ³]	
Vandindhold [%]	
Frasigtet > 80 mm [%]	

Permeabilitetskoefficient, k [m/s]	Methylenblåt [g/kg]
Glødetab [%]	Uensformighedstal, d_{60}/d_{10} [-]
Glødetab, reduceret [%]	Frasigtet > 16 mm [%]
Kalkindhold, 0-1 mm [%]	Frasigtet > 80 mm [%]
Flydegrænse, WL [%]	Naturligt vandindhold [%]
Plasticitetsgrænse, WP [%]	e_{min} [gns]
Plasticitetsindeks, IP [%]	e_{max} [gns]
PH-værdi [-]	

Maskevidde [mm]		Gennemfald [%]		Fraktionsindhold			
Sigte	63	100	Sigte	Minimum	Maksimum	Aktuelt	[mm]
	31,5	100					
	16	95					
	8	91					
	4	89					
	2	86					
	1	82					
	0,5	76					
	0,25	59					
	0,125	40					
Slemme	0,063	27,7	Slemme			Aktuelt	[mm]
	0,04503	21,3					
	0,03260	19,6					
	0,02357	17,9					
	0,01703	16,3					
	0,01255	15,2					
	0,00815	13,1					
	0,00635	12,6					
	0,00470	11,0					
	0,00330	8,8					
	0,00143	0,0					

Beskrivelse: SAND, siltet	d	Maskevidde [mm]
Sigteanalyse i h.t. DS/EN 933-1	10	0,004
Slemmeanalyse i h.t. DS/EN 17892-4	15	0,012
Indleveret:	50	0,178
Udtaget:	60	0,260
13-11-2025	85	1,6



Din rådgiver gør en forskel..

Materialeanalyse

Sag: 2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Prøve ID: PV1 0,5 m u.t.

Dato: 27-11-2025 Udført af: SIN Kontrolleret: CRO Godkendt: CGT Bilag: 1



Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

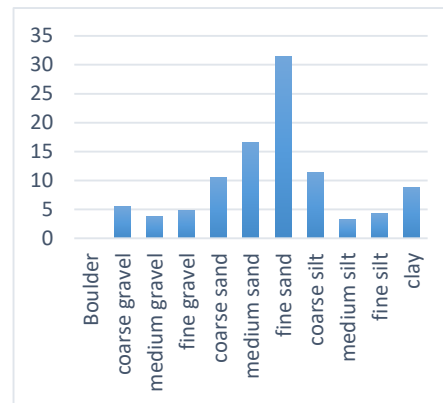
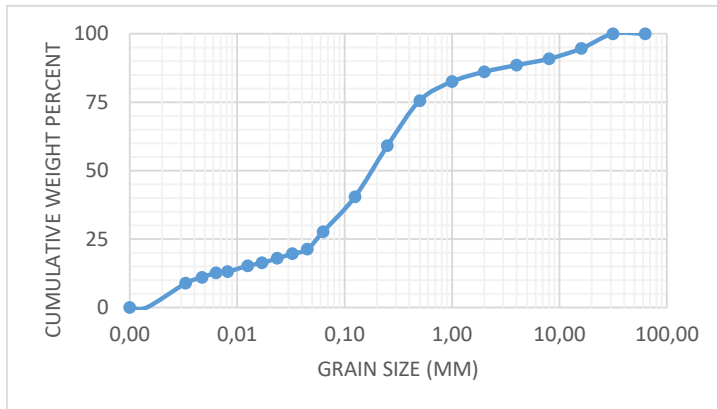
DMR-sagsnr.: 2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name: PV1 0,5 m u.t.

Mass Sample (g): 180,4

T (oC) 10

Poorly sorted gravelly sand with fines



Sieve opening (ps) di (mm)	Mass of retained (mr) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
63	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
16	9,78	0,05	94,58
8	6,70	0,04	90,86
4	4,20	0,02	88,53
2	4,40	0,02	86,09
1	6,50	0,04	82,49
0,5	12,50	0,07	75,56
0,25	29,81	0,17	59,04
0,125	33,51	0,19	40,46
0,063	23,11	0,13	27,65
0,045032	11,54	0,06	21,26
0,032598	2,999276	0,02	19,59
0,023573	2,999276	0,02	17,93
0,01703	2,999276	0,02	16,27
0,012549	1,885259	0,01	15,22
0,008145	3,827647	0,02	13,10
0,006353	0,8855	0,00	12,61
0,004698	2,913582	0,02	11,00
0,003305	3,913341	0,02	8,83
0,001433	15,99614	0,09	-0,04
0,001	-0,07427	0,00	0,00

Effective Grain Diameters (mm)		Other Useful Parameters	
d10	0,004	Uniformity Coef.	65,19
d17	0,020	n computed	0,26
d20	0,036	g (cm/s ²)	980,00
d50	0,189	ρ (g/cm ³)	0,9996
d60	0,265	μ (g/cm s)	0,0130
de (Kruger)	0,018	ρg/μ (1/cm s)	7,52E+04
de (Kozeny)	0,016	tau (Sauerbrei)	0,810
de (Zunker)	0,017	d _{geometric mean}	0,171
de (Zamarin)	0,017	σ _φ	3,552
lo (Alyameni)	0,000		
mm		0 % in sample	
>64		Boulder	
16 - 64		coarse gravel	5,4
8 - 16		medium gravel	3,7
2 - 8		fine gravel	4,8
0.5 - 2		coarse sand	10,5
0.25 - 0.5		medium sand	16,5
0.063 - 0.25		fine sand	31,4
0.016 - 0.063		coarse silt	11,4
0.008 - 0.016		medium silt	3,2
0.002 - 0.008		fine silt	4,3
<0.002		clay	8,8

Data continue, additional pages required ...



K from Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

DMR-sagsnr.:

2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name:

PV1 0,5 m u.t.

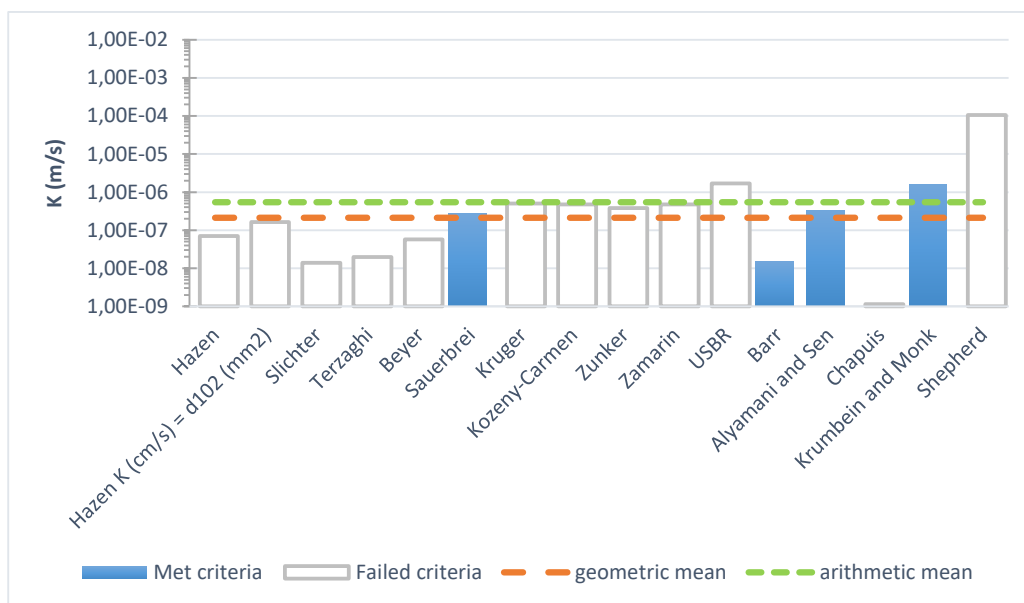
Mass Sample (g):

180,4

T (oC)

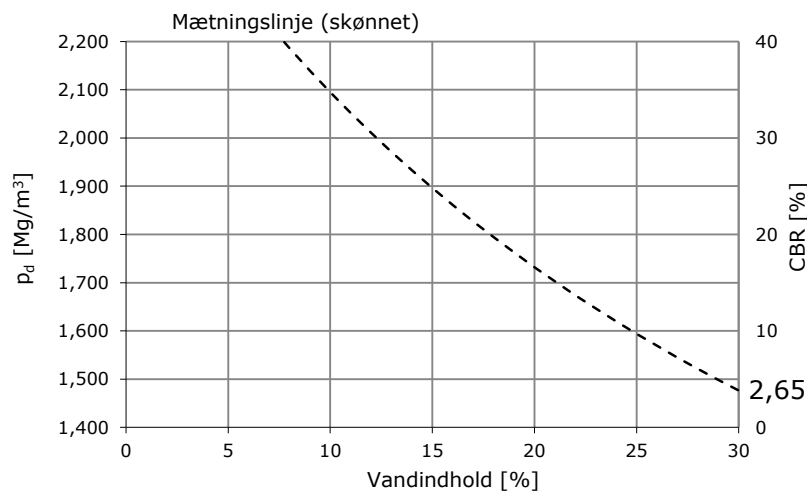
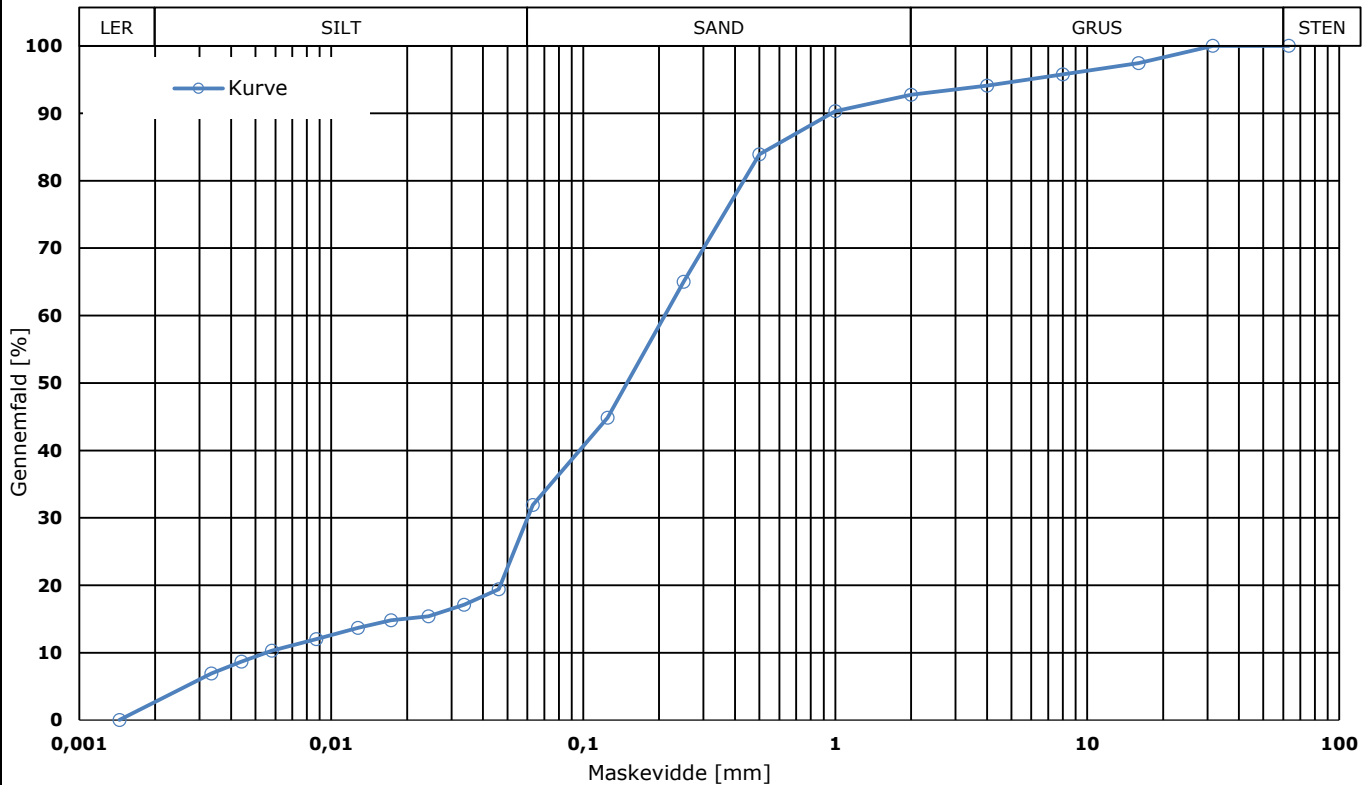
10

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	7,06E-06	7,06E-08	6,10E-03	
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	1,65E-05	1,65E-07	1,42E-02	
Slichter	1,39E-06	1,39E-08	1,20E-03	
Terzaghi	1,98E-06	1,98E-08	1,71E-03	
Beyer	5,70E-06	5,70E-08	4,92E-03	
Sauerbrei	2,70E-05	2,70E-07	2,34E-02	
Kruger	5,00E-05	5,00E-07	4,32E-02	
Kozeny-Carmen	4,76E-05	4,76E-07	4,12E-02	
Zunker	3,81E-05	3,81E-07	3,29E-02	
Zamarin	4,72E-05	4,72E-07	4,08E-02	
USBR	1,69E-04	1,69E-06	1,46E-01	
Barr	1,49E-06	1,49E-08	1,28E-03	
Alyamani and Sen	3,22E-05	3,22E-07	2,78E-02	
Chapuis	1,15E-07	1,15E-09	9,92E-05	
Krumbein and Monk	1,56E-04	1,56E-06	1,35E-01	
Shepherd	1,06E-02	1,06E-04	9,15E+00	
geometric mean	2,12E-05	2,12E-07	1,83E-02	
arithmetic mean	5,43E-05	5,43E-07	4,69E-02	

Kornkurve



Signaturforklaring		
Form	Ø 10 cm	Ø 15 cm
Forsøg	Komprimering	CBR
Proctor	○	◇
Mod. proctor	●	◆

Proctor	Alm.	Mod.
$p_{d_{max}}$ [Mg/m ³]		
Vandindhold [%]		
$p_{d_{max, kor}}$ [Mg/m ³]		
Frasigtet 16 mm [%]		

Vibrationsbord	
$p_{d_{max}}$ [Mg/m ³]	
Vandindhold [%]	
Frasigtet > 80 mm [%]	

Permeabilitetskoefficient, k [m/s]	Methylenblåt [g/kg]
Glødetab [%]	Uensformighedstal, d_{60}/d_{10} [-]
Glødetab, reduceret [%]	Frasigtet > 16 mm [%]
Kalkindhold, 0-1 mm [%]	Frasigtet > 80 mm [%]
Flydegrænse, WL [%]	Naturligt vandindhold [%]
Plasticitetsgrænse, WP [%]	e_{min} [gns]
Plasticitetsindeks, IP [%]	e_{max} [gns]
PH-værdi [-]	

Maskevidde [mm]	Gennemfald [%]	Fraktionsindhold			
63	100	Sigte	Minimum	Maksimum	Aktuelt
31,5	100				
16	97	Sigte	[mm]	[%]	[%]
8	96				
4	94				
2	93				
1	90				
0,5	84				
0,25	65				
0,125	45				
0,063	31,9				
0,04624	19,4				
0,0365	17,1	Slemme	[mm]	[%]	[%]
0,02429	15,4				
0,01729	14,8				
0,01276	13,7				
0,00873	12,0				
0,00581	10,3				
0,00440	8,7	Slemme	[mm]	[%]	[%]
0,00334	6,9				
0,00144	0,0				

Beskrivelse: SAND, siltet	d	Maskevidde [mm]
Sigteanalyse i h.t. DS/EN 933-1	10	0,006
Slemmeanalyse i h.t. DS/EN 17892-4	15	0,019
Indleveret:	50	0,149
Udtaget:	60	0,210
13-11-2025	85	0,562



Din rådgiver gør en forskel..

Materialeanalyse

Sag: 2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Prøve ID: PV1 1,0 m u.t.

Dato: 27-11-2025 Udført af: SIN

Kontrolleret: CRO

Godkendt: CGT

Bilag: 1



Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

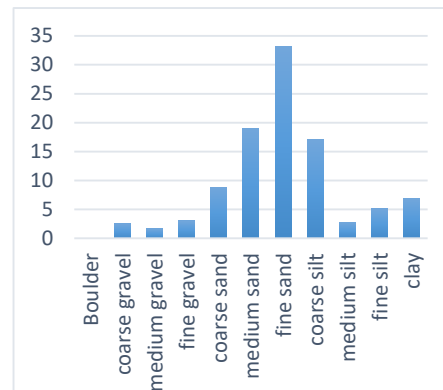
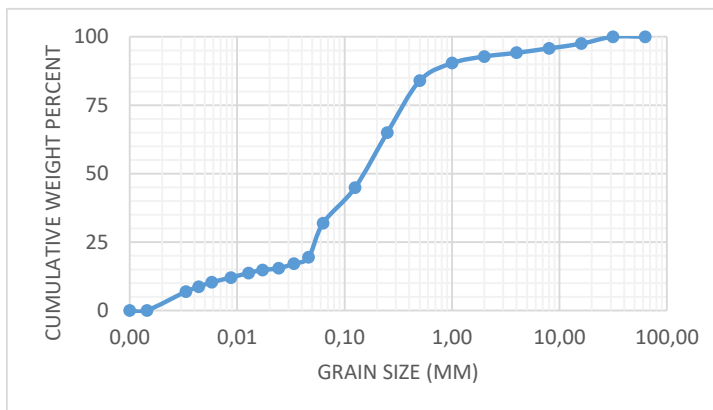
DMR-sagsnr.: 2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name: PV1 1,0 m u.t.

Mass Sample (g): 177,2

T (oC) 10

Poorly sorted sand with fines



Sieve opening (ps) di (mm)	Mass of retained (mr) (g)	mass fraction (mf)	Percent Passing (pp)
63	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
16	4,52	0,03	97,45
8	3,00	0,02	95,76
4	2,90	0,02	94,12
2	2,40	0,01	92,77
1	4,30	0,02	90,34
0,5	11,40	0,06	83,91
0,25	33,50	0,19	65,00
0,125	35,70	0,20	44,86
0,063	23,00	0,13	31,88
0,046236	22,07	0,12	19,43
0,03365	4,093767	0,02	17,12
0,024289	3,070325	0,02	15,39
0,01729	1,023442	0,01	14,81
0,012762	1,988401	0,01	13,69
0,008726	2,95336	0,02	12,02
0,005811	3,041084	0,02	10,30
0,004396	2,865637	0,02	8,69
0,003338	3,128807	0,02	6,92
0,001443	12,22282	0,07	0,02
0,001	0,040938	0,00	0,00

Effective Grain Diameters (mm)		Other Useful Parameters	
d10	0,006	Uniformity Coef.	39,48
d17	0,033	n computed	0,26
d20	0,047	g (cm/s ²)	980,00
d50	0,157	ρ (g/cm ³)	0,9996
d60	0,219	μ (g/cm s)	0,0130
de (Kruger)	0,021	ρg/μ (1/cm s)	7,52E+04
de (Kozeny)	0,018	tau (Sauerbrei)	0,810
de (Zunker)	0,019	d _{geometric mean}	0,129
de (Zamarin)	0,020	σ _φ	2,731
lo (Alyameni)	0,000		
mm		0 % in sample	
>64		Boulder	
16 - 64		coarse gravel	2,5
8 - 16		medium gravel	1,7
2 - 8		fine gravel	3,0
0.5 - 2		coarse sand	8,9
0.25 - 0.5		medium sand	18,9
0.063 - 0.25		fine sand	33,1
0.016 - 0.063		coarse silt	17,1
0.008 - 0.016		medium silt	2,8
0.002 - 0.008		fine silt	5,1
<0.002		clay	6,9

Data continue, additional pages required ...



K from Grain Size Analysis Report

Date: 27-11-2025

DMR-sagsnr.:

2024-2601 (T) (j) - Udsivning fra væksthuse, 5000 Odense C

Sample Name:

PV1 1,0 m u.t.

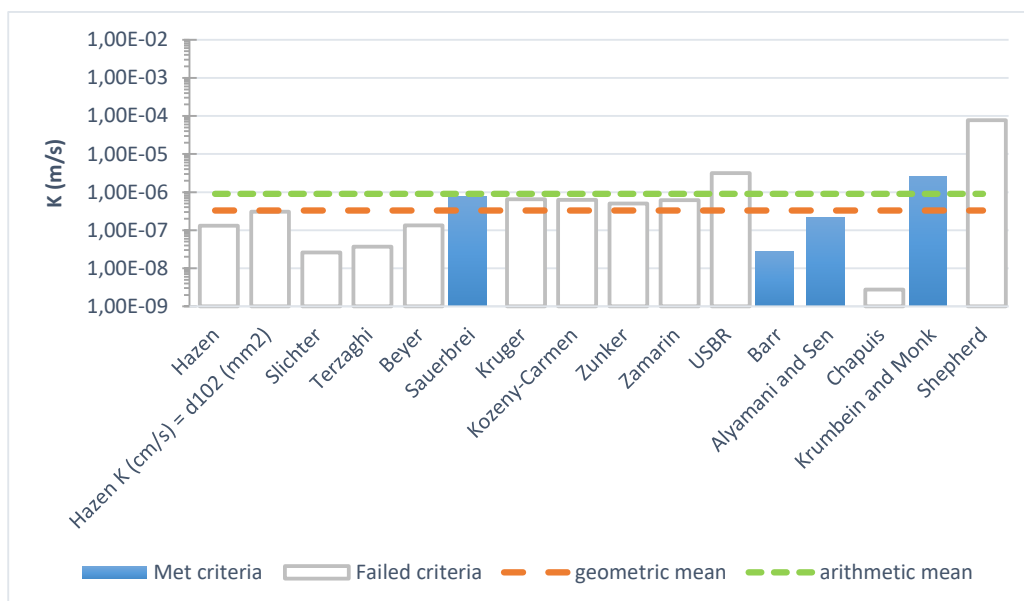
Mass Sample (g):

177,2

T (oC)

10

Poorly sorted sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	1,32E-05	1,32E-07	1,14E-02	
Hazen K (cm/s) = d ₁₀ (mm)	3,07E-05	3,07E-07	2,66E-02	
Slichter	2,59E-06	2,59E-08	2,24E-03	
Terzaghi	3,70E-06	3,70E-08	3,20E-03	
Beyer	1,33E-05	1,33E-07	1,14E-02	
Sauerbrei	7,45E-05	7,45E-07	6,44E-02	
Kruger	6,46E-05	6,46E-07	5,58E-02	
Kozeny-Carmen	6,31E-05	6,31E-07	5,45E-02	
Zunker	5,00E-05	5,00E-07	4,32E-02	
Zamarin	6,16E-05	6,16E-07	5,32E-02	
USBR	3,19E-04	3,19E-06	2,75E-01	
Barr	2,78E-06	2,78E-08	2,40E-03	
Alyamani and Sen	2,15E-05	2,15E-07	1,86E-02	
Chapuis	2,78E-07	2,78E-09	2,40E-04	
Krumbein and Monk	2,62E-04	2,62E-06	2,26E-01	
Shepherd	7,78E-03	7,78E-05	6,72E+00	
geometric mean	3,29E-05	3,29E-07	2,84E-02	
arithmetic mean	9,01E-05	9,01E-07	7,79E-02	

Rumvægtsbestemmelse

Initialer: SIN
Sagsnummer: 2024-2601
Adresse: Lokation 2
Boring: Pv 1
Dybde: 0,5
Bedømmelse:

Skål	nr.	
Skål + J + V	g	622,4
Skål + J	g	588,6
Skål	g	258,3
$V = (skål + J + V) - g$		33,8
$J = (skål + J) - g$		330,3
$W1 = 100 * V : g$		10,23

Cylinder højde:	14,02	cm						
Nedstik bund 1		cm	Nedstik top 1		cm	Diameter 1	4,15	cm
Nedstik bund 2		cm	Nedstik top 2		cm	Diameter 2	4,16	cm
Nedstik bund 3		cm	Nedstik top 3		cm	Diameter 3	4,17	cm
Nedstik bund 4		cm	Nedstik top 4		cm	Diameter 4	4,17	cm
Gennemsnit:	0	cm	Gennemsnit:	0	cm	Gennemsnit:	4,1625	cm

Volumen: 190,7859 cm³

Vægt cylinder med jord:	588,6	g
Vægt cylinder uden jord:	258,3	g
Vægt jord	330,3	g

Tyngdeacceleration: 9,80665 m/s²

Rumvægt: 16,97786 kN/m³

Rumvægtsbestemmelse

Initialer: SIN
Sagsnummer: 2024-2601

Adresse: Lokation 2

Boring: Pv 1

Dybde: 1,0
Bedømmelse:

Skål	nr.	
Skål + J + V	g	753,8
Skål + J	g	718,5
Skål	g	407,7
$V = (skål + J + \backslash g$		35,3
$J = (skål + J) - sg$		310,8
$W1 = 100 * V : \backslash \%$		11,36

Cylinder højde:	14,03	cm						
Nedstik bund 1		cm	Nedstik top 1		cm	Diameter 1	4,20	cm
Nedstik bund 2		cm	Nedstik top 2		cm	Diameter 2	4,19	cm
Nedstik bund 3		cm	Nedstik top 3		cm	Diameter 3	4,20	cm
Nedstik bund 4		cm	Nedstik top 4		cm	Diameter 4	4,21	cm
Gennemsnit:	0	cm	Gennemsnit:	0	cm	Gennemsnit:	4,2	cm

Volumen: 194,3776 cm³

Vægt cylinder med jord:	718,5	g
Vægt cylinder uden jord:	407,7	g
Vægt jord	310,8	g

Tyngdeacceleration: 9,80665 m/s²

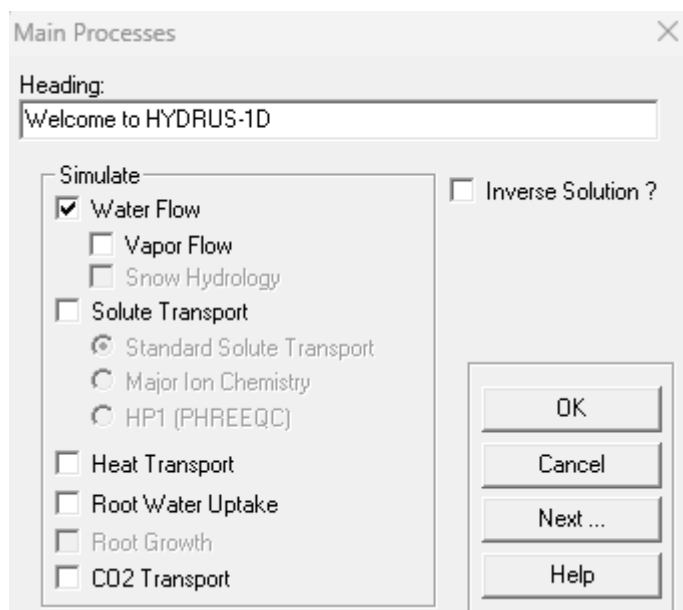
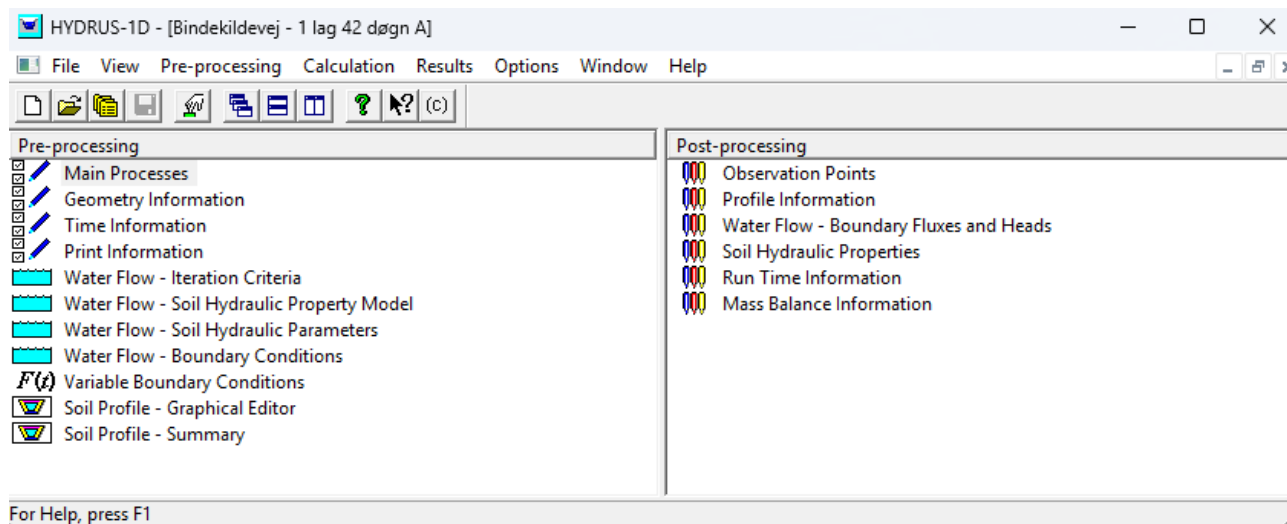
Rumvægt: 15,68034 kN/m³

Bilag 3

Bilag 3A: HYDRUS-1D opsætning for modellering på lokalitet 1

I det følgende gennemgås opsætningen af HYDRUS-1D for lokalitet 1. Først vises udklip af startside, og efterfølgende vises valgene på de enkelte menupunkter man kommer igennem i modelopsætningen. Konceptuelle valg er beskrevet i hovedrapporten.

Startsiden på HYDRUS-1D:



Geometry Information X

Length Units ☐ mm ☒ cm ☐ m	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: right;">1</td> <td>Number of Soil Materials</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td>Number of Layers for Mass Balances</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td>Decline from Vertical Axes (=1: vertical; =0: horizontal)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">100</td> <td>Depth of the Soil Profile [cm]</td> </tr> </table>	1	Number of Soil Materials	1	Number of Layers for Mass Balances	1	Decline from Vertical Axes (=1: vertical; =0: horizontal)	100	Depth of the Soil Profile [cm]	OK Cancel Previous ... Next ... Help
1	Number of Soil Materials									
1	Number of Layers for Mass Balances									
1	Decline from Vertical Axes (=1: vertical; =0: horizontal)									
100	Depth of the Soil Profile [cm]									

Time Information X

Time Units ☐ Seconds ☐ Minutes ☐ Hours ☒ Days ☐ Years	Time Discretization <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Initial Time [day]:</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Final Time [day]:</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>Initial Time Step [day]:</td> <td>0.0001</td> </tr> <tr> <td>Minimum Time Step [day]:</td> <td>1e-005</td> </tr> <tr> <td>Maximum Time Step [day]:</td> <td>5</td> </tr> </table>	Initial Time [day]:	0	Final Time [day]:	42	Initial Time Step [day]:	0.0001	Minimum Time Step [day]:	1e-005	Maximum Time Step [day]:	5	OK Cancel Previous ... Next ... Help
Initial Time [day]:	0											
Final Time [day]:	42											
Initial Time Step [day]:	0.0001											
Minimum Time Step [day]:	1e-005											
Maximum Time Step [day]:	5											
Time-Variable Boundary Conditions ☒ Time-Variable Boundary Conditions												
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: right;">2</td> <td>Number of Time-Variable Boundary Records (e.g., Precipitation)</td> </tr> </table>			2	Number of Time-Variable Boundary Records (e.g., Precipitation)								
2	Number of Time-Variable Boundary Records (e.g., Precipitation)											
☐ Repeat the same set of BC records n times: 1												
☐ Daily Variations of Transpiration During Day Generated by HYDRUS												
☐ Sinusoidal Variations of Precipitation Generated by HYDRUS												
Meteorological Data ☐ Meteorological Data												
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: right;">0</td> <td>Number of Meteorological Records (e.g., Radiation)</td> </tr> </table>			0	Number of Meteorological Records (e.g., Radiation)								
0	Number of Meteorological Records (e.g., Radiation)											
☒ Penman-Montheith Equation												
☐ Hargreaves Formula												
☐ Energy Balance Boundary Condition												
☐ Daily Variations of Meteo Data During Day Generated by HYDRUS												

Print Information ✕

Print Options

☒ T-Level Information
 Every n time steps:

☐ Print at Regular Time Interval
 Time Interval [day]:

☒ Screen Output

☒ Print Fluxes (instead of Temp) for Observation Nodes

☒ Hit Enter at End?

Print Times

Number of Print Times:

Iteration Criteria ✕

Iteration Criteria

Maximum Number of Iterations

Water Content Tolerance

Pressure Head Tolerance [cm]

Time Step Control

Lower Optimal Iteration Range

Upper Optimal Iteration Range

Lower Time Step Multiplication Factor

Upper Time Step Multiplication Factor

Internal Interpolation Tables

Lower Limit of the Tension Interval [cm]

Upper Limit of the Tension Interval [cm]

Soil Hydraulic Model [X]

Hydraulic Model

Single Porosity Models

- ☒ van Genuchten - Mualem
 - ☐ With Air-Entry Value of -2 cm
- ☐ Modified van Genuchten
- ☐ Brooks-Corey
- ☐ Kosugi (log-normal)

Dual-Porosity/Dual-Permeability Models

- ☐ Dual-porosity (Durner, dual van Genuchten - Mualem)
- ☐ Dual-porosity (mobile-immobile, water c. mass transfer)
- ☐ Dual-porosity (mobile-immobile, head mass transfer)

== Models below are recommended only for experienced users ==

- ☐ Dual-permeability (Kinematic wave equation)
- ☐ Dual-permeability (Gerke and van Genuchten, 1993)
- ☐ Look-up Tables

Hysteresis

- ☒ No hysteresis
- ☐ Hysteresis in retention curve
- ☐ Hysteresis in retention curve and conductivity
- ☐ Hysteresis in retention curve (no pumping, Bob Lenhard)
 - ☐ Initially drying curve
 - ☐ Initially wetting curve

OK Cancel Previous ... Next ... Help

Water Flow Parameters [X]

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/day]	l [-]
1	0,029	0,339	0,049	1,25	81,13	0,5

Soil Catalog [v] Neural Network Prediction ☐ Temperature Dependence

OK Cancel Previous ... Next ... Help

Water Flow Boundary Conditions

Upper Boundary Condition

☐ Constant Pressure Head
☐ Constant Flux
☐ Atmospheric BC with Surface Layer
☒ Atmospheric BC with Surface Run Off
☐ Variable Pressure Head
☐ Variable Pressure Head/Flux
☐ Triggered Irrigation

Lower Boundary Condition

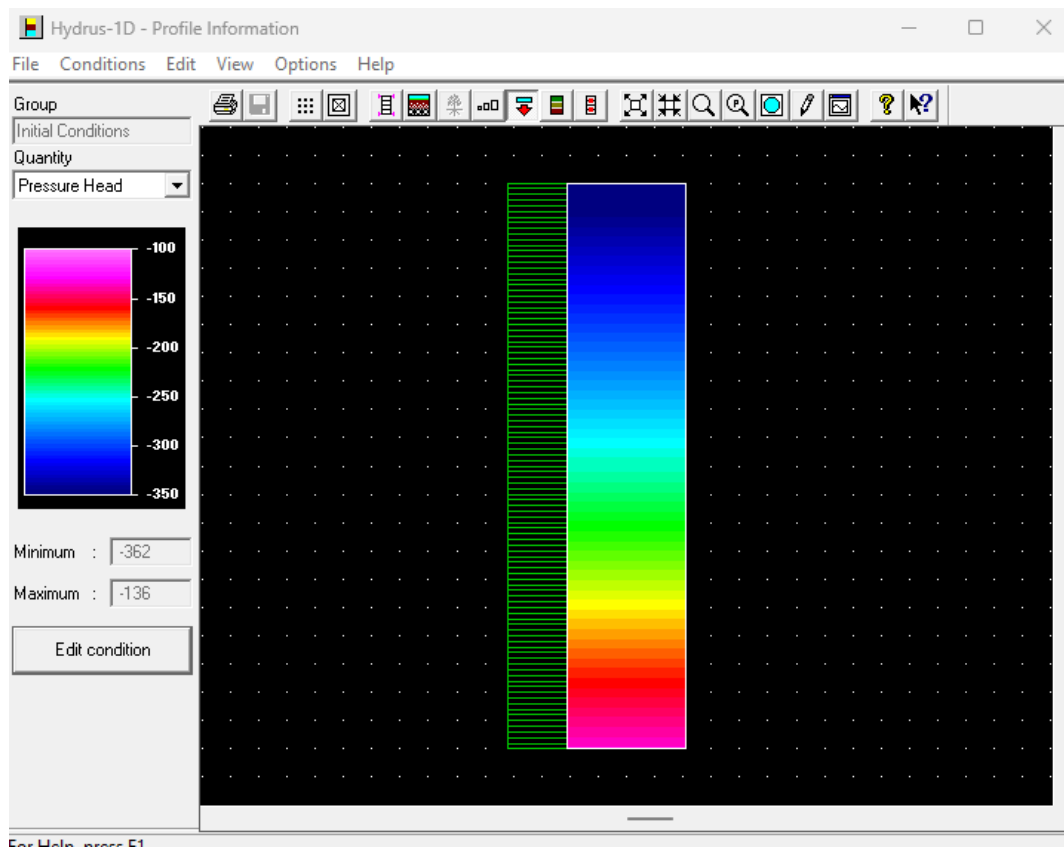
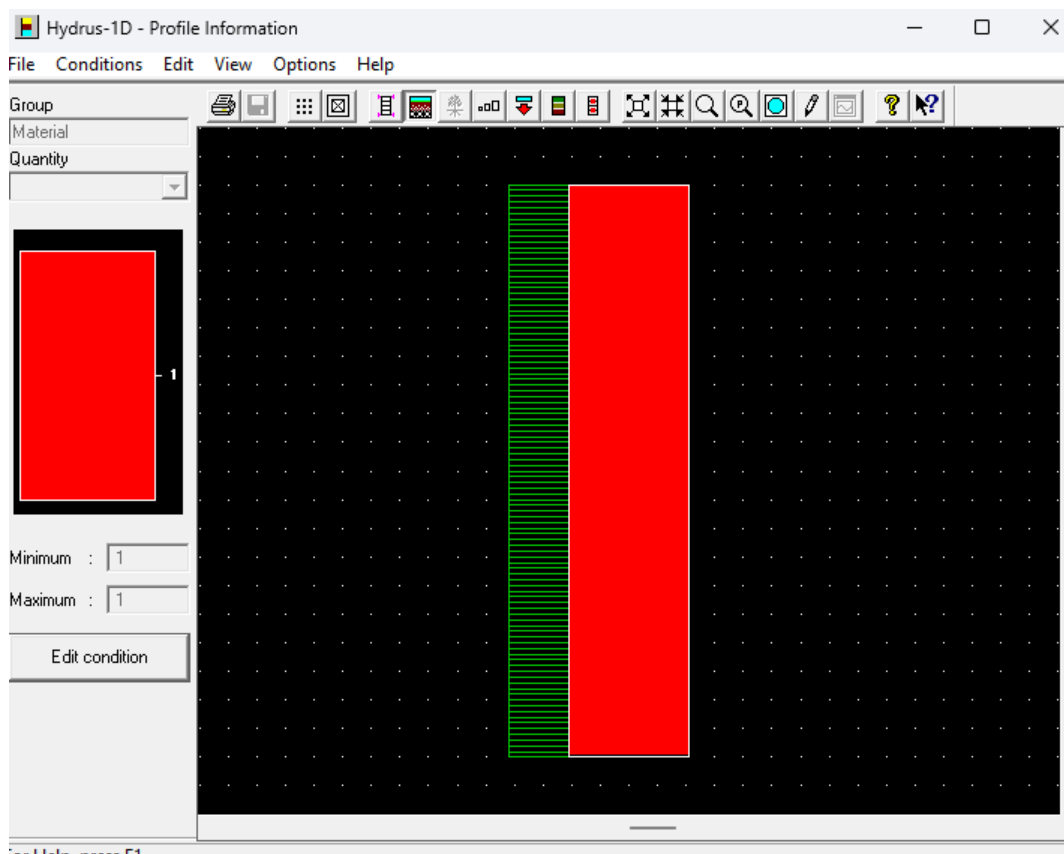
☐ Constant Pressure Head
☐ Constant Flux
☐ Variable Pressure Head
☐ Variable Flux
☒ Free Drainage
☐ Deep Drainage
☐ Seepage Face; $h =$
☐ Horizontal Drains

Initial Condition

☒ In Pressure Heads
☐ In Water Contents

Time Variable Boundary Conditions

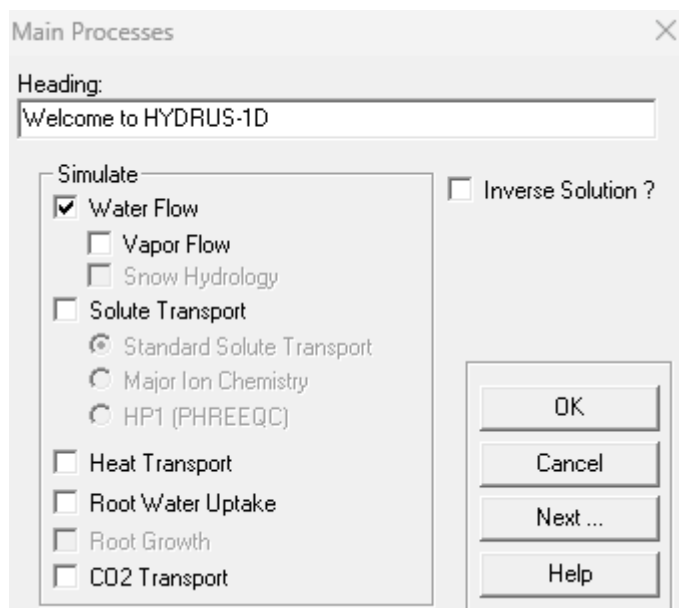
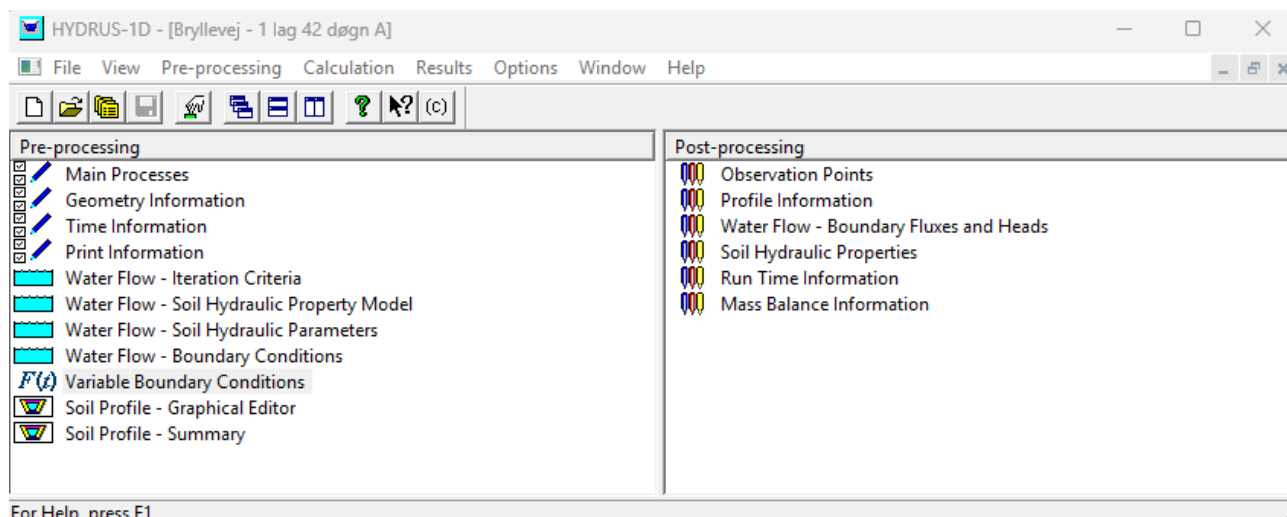
	Time [day]	Precip. [cm/day]	Evap. [cm/day]	hCritA [cm]
1	1	3	0,05	100000
2	42	0	0,05	100000



Bilag 3B: HYDRUS-1D opsætning for modellering på lokalitet 2

I det følgende gennemgås opsætningen af HYDRUS-1D for lokalitet 2. Først vises udklip af startside, og efterfølgende vises valgene på de enkelte menupunkter man kommer igennem i modelopsætningen. Konceptuelle valg er beskrevet i hovedrapporten.

Startsiden på HYDRUS-1D:



Geometry Information X

Length Units ☐ mm ☒ cm ☐ m	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: right;">1</td> <td>Number of Soil Materials</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td>Number of Layers for Mass Balances</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">1</td> <td>Decline from Vertical Axes (=1: vertical; =0: horizontal)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">100</td> <td>Depth of the Soil Profile [cm]</td> </tr> </table>	1	Number of Soil Materials	1	Number of Layers for Mass Balances	1	Decline from Vertical Axes (=1: vertical; =0: horizontal)	100	Depth of the Soil Profile [cm]	OK Cancel Previous ... Next ... Help
1	Number of Soil Materials									
1	Number of Layers for Mass Balances									
1	Decline from Vertical Axes (=1: vertical; =0: horizontal)									
100	Depth of the Soil Profile [cm]									

Time Information X

Time Units ☐ Seconds ☐ Minutes ☐ Hours ☒ Days ☐ Years	Time Discretization <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">Initial Time [day]:</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Final Time [day]:</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>Initial Time Step [day]:</td> <td>0.0001</td> </tr> <tr> <td>Minimum Time Step [day]:</td> <td>1e-005</td> </tr> <tr> <td>Maximum Time Step [day]:</td> <td>5</td> </tr> </table>	Initial Time [day]:	0	Final Time [day]:	42	Initial Time Step [day]:	0.0001	Minimum Time Step [day]:	1e-005	Maximum Time Step [day]:	5	OK Cancel Previous ... Next ... Help
Initial Time [day]:	0											
Final Time [day]:	42											
Initial Time Step [day]:	0.0001											
Minimum Time Step [day]:	1e-005											
Maximum Time Step [day]:	5											

Time-Variable Boundary Conditions

☒ Time-Variable Boundary Conditions

Number of Time-Variable Boundary Records (e.g., Precipitation)

☐ Repeat the same set of BC records n times:

☐ Daily Variations of Transpiration During Day Generated by HYDRUS

☐ Sinusoidal Variations of Precipitation Generated by HYDRUS

Meteorological Data

☐ Meteorological Data

Number of Meteorological Records (e.g., Radiation)

☒ Penman-Montheith Equation

☐ Hargreaves Formula

☐ Energy Balance Boundary Condition

☐ Daily Variations of Meteo Data During Day Generated by HYDRUS

Print Information ✕

Print Options

☒ T-Level Information
 Every n time steps:

☐ Print at Regular Time Interval
 Time Interval [day]:

☒ Screen Output

☒ Print Fluxes (instead of Temp) for Observation Nodes

☒ Hit Enter at End?

Print Times

Number of Print Times:

Iteration Criteria ✕

Iteration Criteria

Maximum Number of Iterations

Water Content Tolerance

Pressure Head Tolerance [cm]

Time Step Control

Lower Optimal Iteration Range

Upper Optimal Iteration Range

Lower Time Step Multiplication Factor

Upper Time Step Multiplication Factor

Internal Interpolation Tables

Lower Limit of the Tension Interval [cm]

Upper Limit of the Tension Interval [cm]

Soil Hydraulic Model

Hydraulic Model

Single Porosity Models

- ☒ van Genuchten - Mualem
 - ☐ With Air-Entry Value of -2 cm
- ☐ Modified van Genuchten
- ☐ Brooks-Corey
- ☐ Kosugi (log-normal)

Dual-Porosity/Dual-Permeability Models

- ☐ Dual-porosity (Durner, dual van Genuchten - Mualem)
- ☐ Dual-porosity (mobile-immobile, water c. mass transfer)
- ☐ Dual-porosity (mobile-immobile, head mass transfer)

== Models below are recommended only for experienced users ==

- ☐ Dual-permeability (Kinematic wave equation)
- ☐ Dual-permeability (Gerke and van Genuchten, 1993)
- ☐ Look-up Tables

Hysteresis

- ☒ No hysteresis
- ☐ Hysteresis in retention curve
- ☐ Hysteresis in retention curve and conductivity
- ☐ Hysteresis in retention curve (no pumping, Bob Lenhard)
 - ☐ Initially drying curve
 - ☐ Initially wetting curve

OK

Cancel

Previous ...

Next ...

Help

Water Flow Parameters

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/day]	I [-]
1	0,032	0,339	0,046	1,32	4,69	0,5

Soil Catalog Neural Network Prediction ☐ Temperature Dependence

OK Cancel Previous ... Next ... Help

Water Flow Boundary Conditions

Upper Boundary Condition

☐ Constant Pressure Head
☐ Constant Flux
☐ Atmospheric BC with Surface Layer
☒ Atmospheric BC with Surface Run Off
☐ Variable Pressure Head
☐ Variable Pressure Head/Flux
☐ Triggered Irrigation

Lower Boundary Condition

☐ Constant Pressure Head
☐ Constant Flux
☐ Variable Pressure Head
☐ Variable Flux
☒ Free Drainage
☐ Deep Drainage
☐ Seepage Face; h =
☐ Horizontal Drains

Initial Condition

☒ In Pressure Heads
☐ In Water Contents

Time Variable Boundary Conditions

	Time [day]	Precip. [cm/day]	Evap. [cm/day]	hCritA [cm]
1	1	3	0,05	100000
2	42	0	0,05	100000

