

Fugtmålinger i havemuren ved Marienlyst Slot 2015 - 2020

Poul Klenz Larsen

Miljøarkæologi og Materialeforskning, Nationalmuseet

Sammenfatning

Fugtindholdet i havemuren ved Marienlyst slot er målt nitten gange med regelmæssige mellemrum i løbet af fem år. Målingerne er udført i otte forskellige murfelter. Der er benyttet et elektronisk instrument, som registrerer det absolutte fugtindhold i forskellige dybder via vandret indborede målerør. I hvert felt der målt i tre højder, henholdsvis 40 cm 100 cm og 180 cm over terræn. Fugtindholdet er bestemt med en afstand på 10 cm mellem målepunkterne.

Målingerne dokumenterer et varierende fugtindhold på 0 – 15 % volumen i det massive murværk. Fugtindholdet varierer betydeligt gennem perioden, og bestemmes overvejende af indtrængende fugt fra jordfyldet på bagsiden. Jordens fugtindhold afhænger i nogen grad af nedbørsmængden, men påvirkes også af fordampning. Der er ingen generel udtørring eller opfugtning af murværket som kan relateres til de forskellige overfladebehandlinger.

Baggrund

I forbindelse med årsmødet i Nordisk Kalkforum i oktober 2014 blev der udført forskellige overfladebehandlinger i syv felter på havemurens forside. Felterne blev beskyttet mod nedbør af et halvtag ca. 1 meter ud fra muren. Murens bagside ind mod slotshaven var ikke beskyttet. I juni 2015 blev fugtmålingerne påbegyndt. I oktober 2016 blev halvtaget nedtaget, og prøvefelterne har herefter været udsat for nedbør på forsiden.

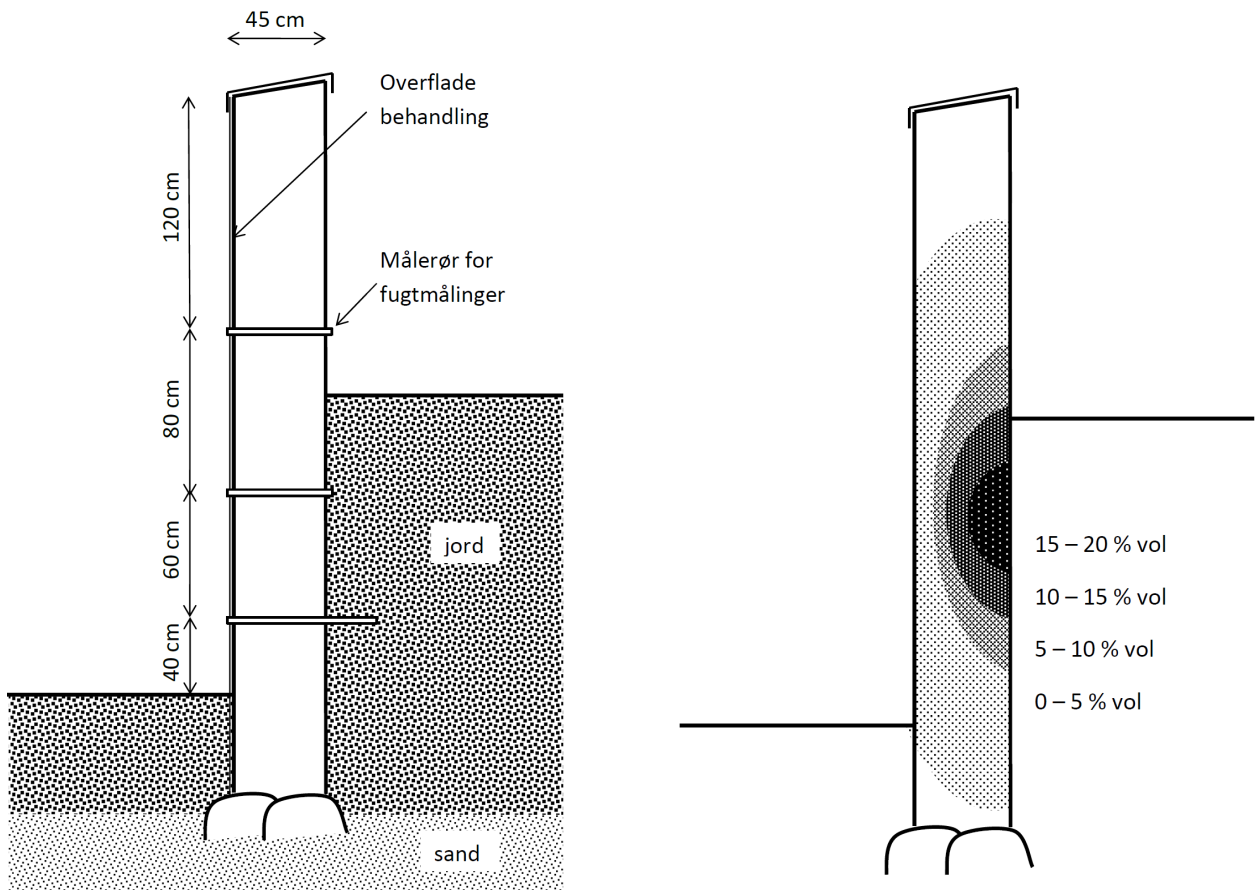
Målinger

Fugtmålingerne er udført med et elektronisk instrument, som er udviklet til måling af fugt i jord. Apparatet udsender et svingende magnetisk felt, som påvirkes af di-elektricitets konstanten i det omgivende materiale. Di-elektricitets konstanten er ca. 10 gange højere i vand end i luft. Ved at registrere denne fysiske egenskab kan vandindholdet i et porøst materiale måles med rimelig god nøjagtighed. Føleren består af to metalringe, monteret på en stang med 50 mm's afstand (se foto i bilag). Feltet er retningsbestemt, så hvert enkelt måleresultat består af tre målinger, idet føleren drejes 120 ° mellem hver aflæsning.

Under måling placeres føleren i et vandret målerør ø27 mm, som er fast installeret i murværket. Herved kan der måles på nøjagtig samme position over længere tidsrum. Føleren er ikke i direkte kontakt med murværket, men målingerne påvirkes af hulrum rundt om målerøret. Da det ikke er muligt at bore et perfekt passende hul i så stor dybde, vil der være en usikkerhed på målingernes absolutte værdi. Ændringer i fugtindholdet vil dog registreres korrekt.

Målingerne er udført i otte forskellige felter af muren med hver sin overfladebehandling. I hvert felt der målt i tre højder, henholdsvis 40 cm 100 cm og 180 cm over terræn som vist i figur 1. I de to øverste niveauer går målerøret helt igennem murens tværsnit. I det nederste niveau forsætter målerøret ca. 30 cm ind i det bagved liggende jordlag. Herved er jordens fugtindhold også målt i dette lag. Der er målt med tre måneders mellemrum otte gange i løbet af to år.

Fugtmålingerne påvirkes af et eventuelt indhold af vandopløselige salte i murværket. Dette skyldes at de positive og negative ioner har indflydelse på di-elektricitetskonstanten. Der er derfor gennemført analyse af saltindholdet i fem pulverprøver udtaget fra forskellige dybder i felt 0 (referencefelt), 100 cm over terræn. Indholdet af ioner er bestemt ved hjælp af ion-chromatografi på en vandig ekstraktion af prøverne. Der er analyseret for følgende syv almindelige ioner: Natrium, kalium, calcium, magnesium, klorid, nitrat og sulfat. Ved et saltindhold over 0,1 % vægt skal resultaterne af fugtmålingen korrigeres for saltets indflydelse.



Figur 1. Placering af målepunkter i havemuren (tv) og skematisk illustration af fugtfordelingen over tværsnittet i referencefeltet (th).

Resultater og fortolkning.

Saltanalyse

Resultaterne af saltanalysen er vist i skemaet nedenfor. Indholdet af ioner er meget lavt i alle fem prøver. Den væsentligste ion er calcium, som forekommer naturligt i murværk på grund af fugernes kalkindhold. I den forreste del af muren (0 - 10 cm) er der dog et mindre indhold af saltet natriumklorid. Målingerne i overfladen kan derfor være påvirket af et saltindhold, som giver en for høj måleværdi. Det bemærkes at der kan være forskel i saltindhold fra sten til sten. I sin helhed kan murværket betragtes som saltfrit. Der er derfor ikke generelt behov for at korrigere resultaterne af fugtmålingerne.

Tabel A. Indholdet af ioner i murværket i felt O, 100 cm over terræn, i % vægt af pulverprøver.

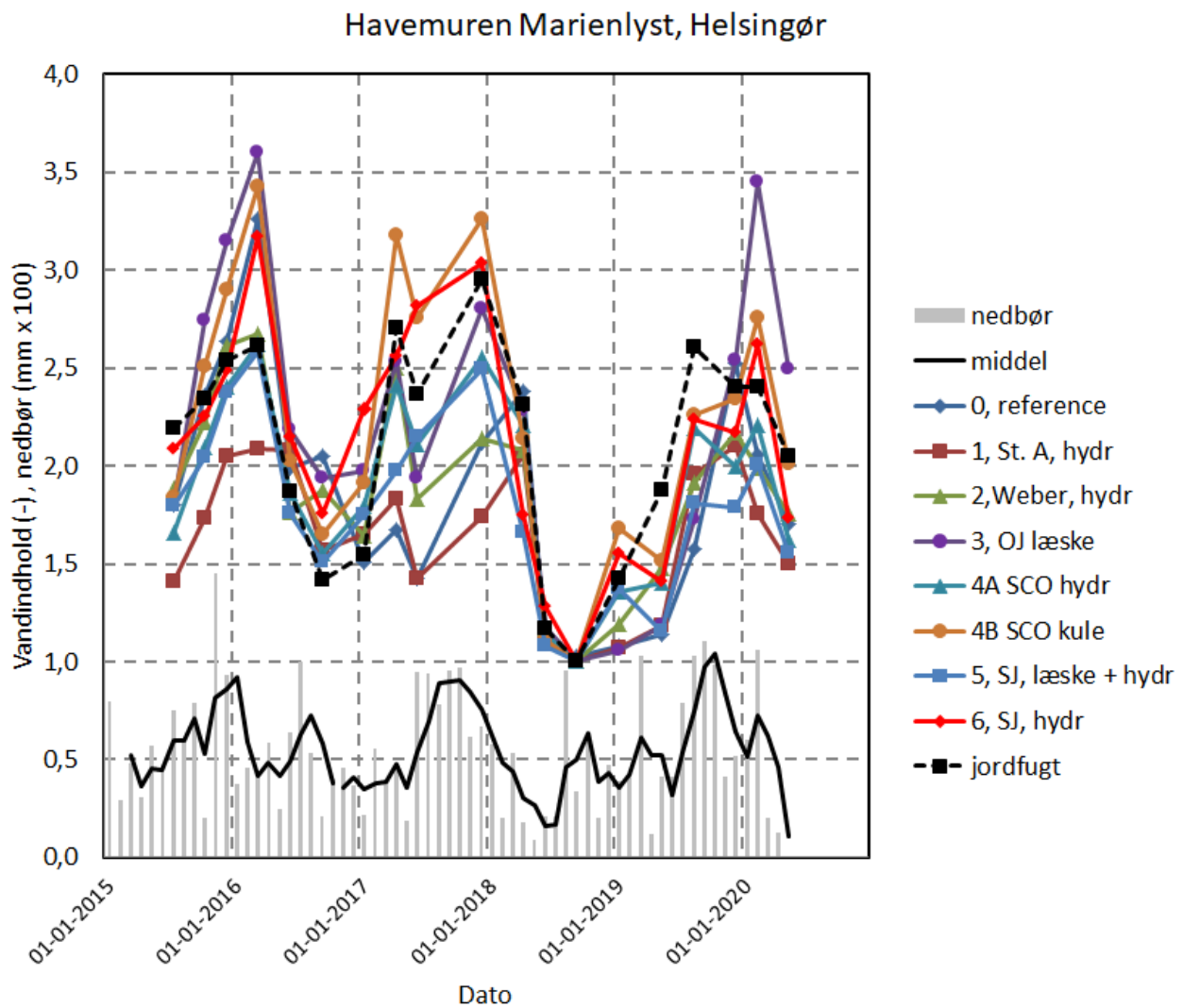
	Dybde fra udvendig overflade				
Ion	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-45 cm
Natrium (Na)	0,05	0,01	0,01	0,00	0,01
Kalium (K)	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Calcium (Ca)	0,07	0,06	0,06	0,08	0,09
Magnesium (Mg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Klorid (Cl)	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
Nitrat (NO ₃)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfat (SO ₄)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,19	0,10	0,07	0,09	0,11

Fugtmåling

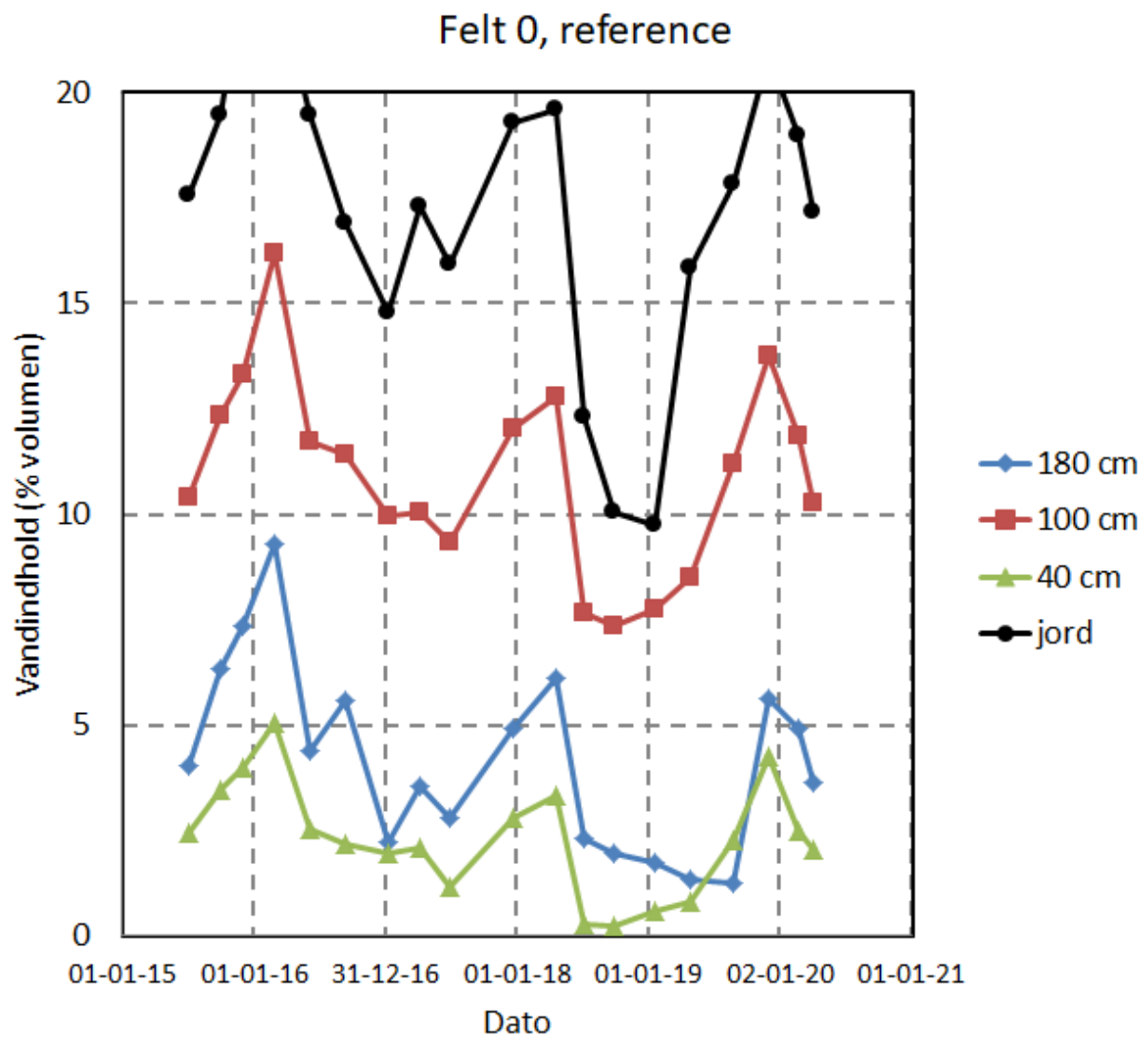
I figur 2 nedenfor er vist en sammenfatning af måleresultaterne. Det gennemsnitlige vandindhold i hvert murfelt er beregnet for hver af de otte måleserier. Værdierne er normaliseret i forhold til målingen i juli 2018. Vandindholdet varierer på samme måde i alle murfelter. Der er ingen tegn på gradvis opfugtning eller udtørring af enkelte felter.

Data for nedbøren i Nordsjælland i hver måned er vist med søjler foruden i diagrammet. Værdierne er hentet på DMI's hjemmeside. Der er tydelig sammenhæng mellem den gennemsnitlige nedbør og udviklingen i fugtindhold. Fugtindholdet i jordfyldet på bagsiden er vist med stiplede sort kurve. Der er god sammenhæng mellem stigende og faldende fugtindhold i jord og murværk. Det antages at murens fugtindhold primært bestemmes af fugttilgangen fra jorden på bagsiden.

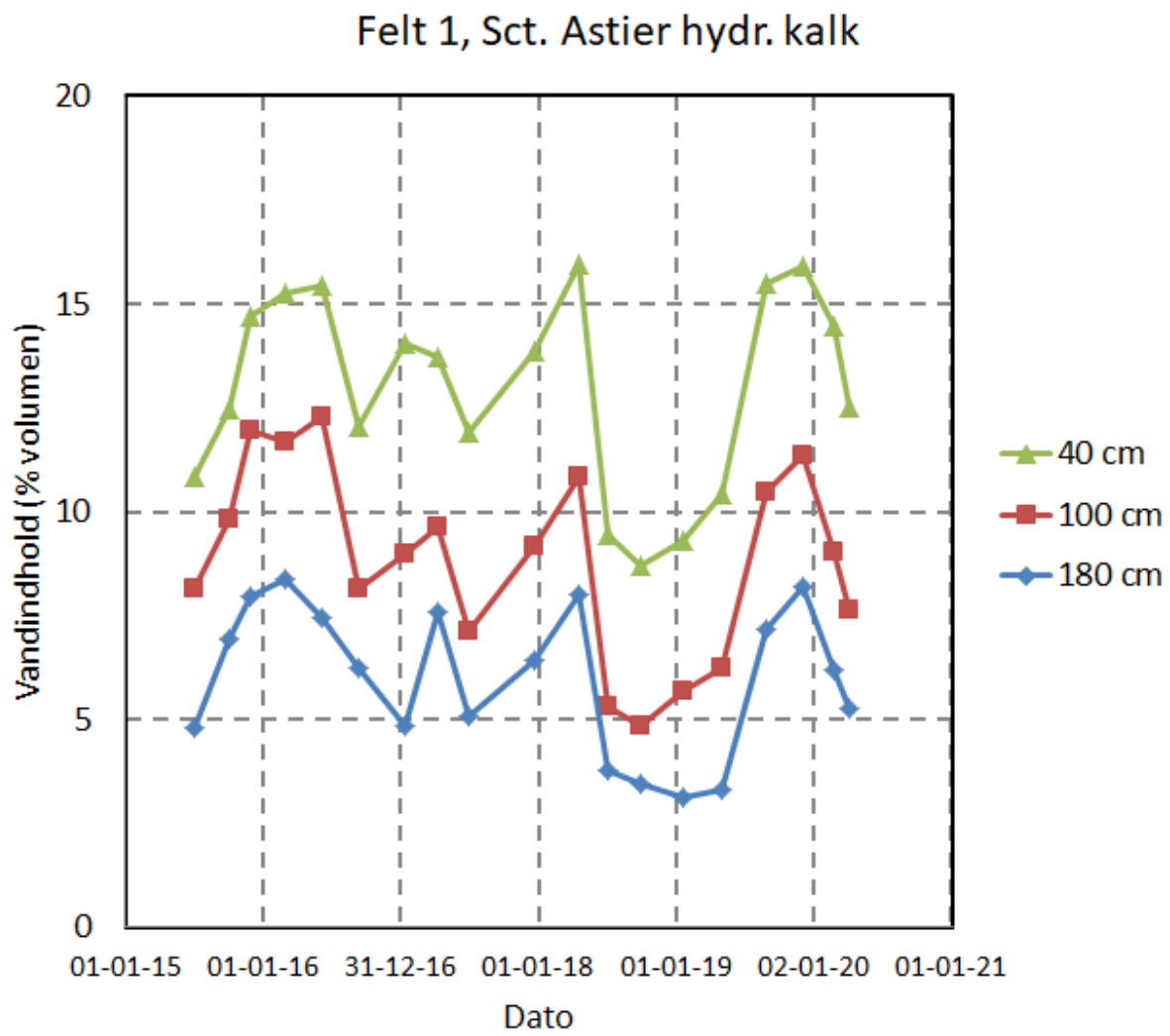
I diagrammerne i figur 3- 10 er vist fugtindholdet i de enkelte murfelter i tre forskellige højder over terræn. Hver kurve repræsenterer middelværdien af fire målinger i forskellige dybder på samme niveau. Figur 11 viser en detaljeret måling af fugtprofilen i felt O, 100 cm over terræn, med afstand på 1 cm mellem hver måleposition. Fugtindholdet er mindre i fuger end i teglsten, hvilket giver et uregelmæssigt fugtprofil. En skematisk illustration af fugtfordelingen over murens tværsnit er vist i figur 1.



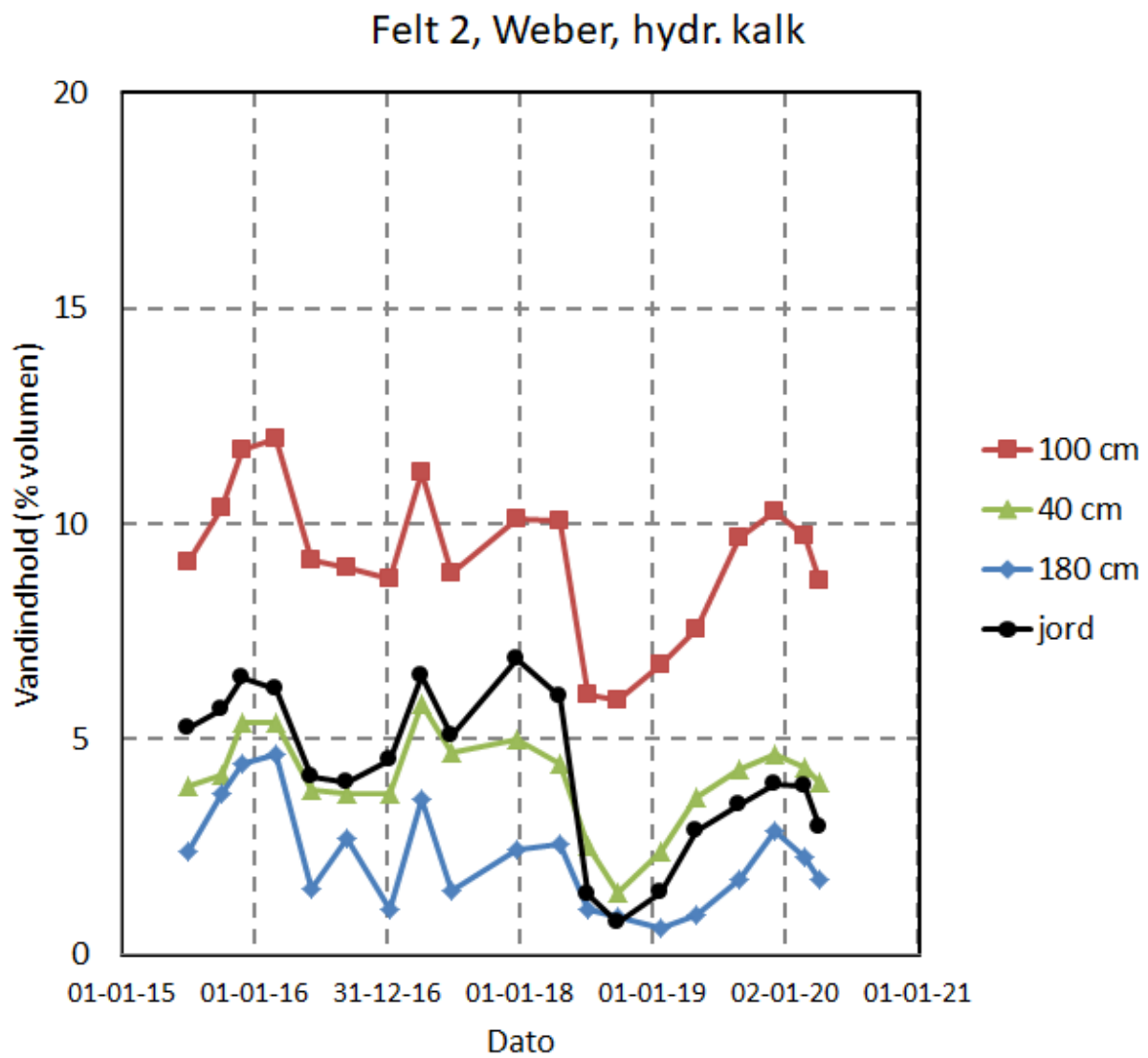
Figur 2. Gennemsnitligt vandindhold i de otte murfelter over måleperioden på 5 år. Alle værdier er normaliseret i forhold til målingen i juli 2018. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med stiptet sort kurve. Samlet nedbør for hver måned er vist med grå søjler og det løbende gennemsnit over tre måneder er vist med sort kurve (fra DMI).



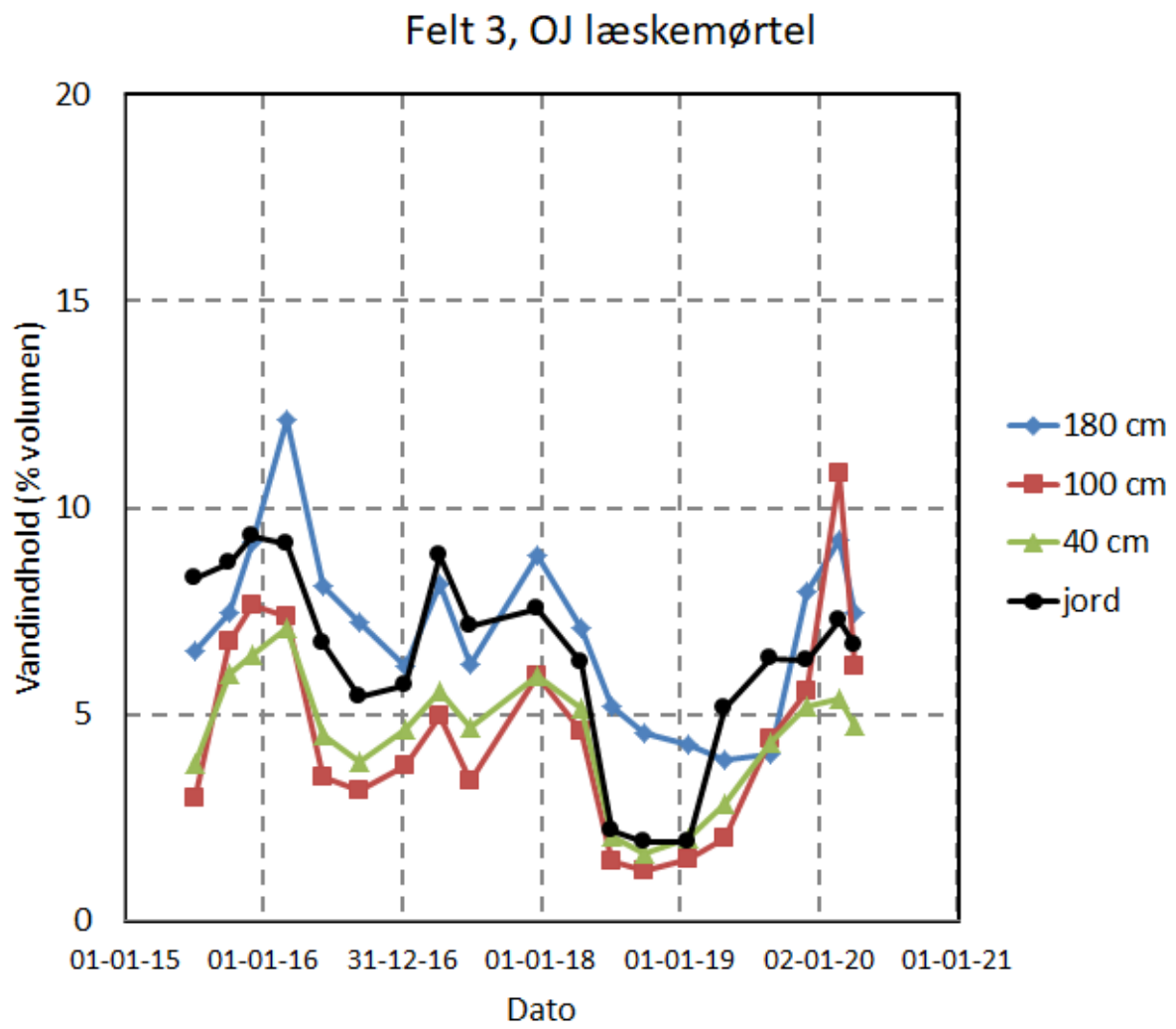
Figur 3. Gennemsnitligt vandindhold i reference murfeltet over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



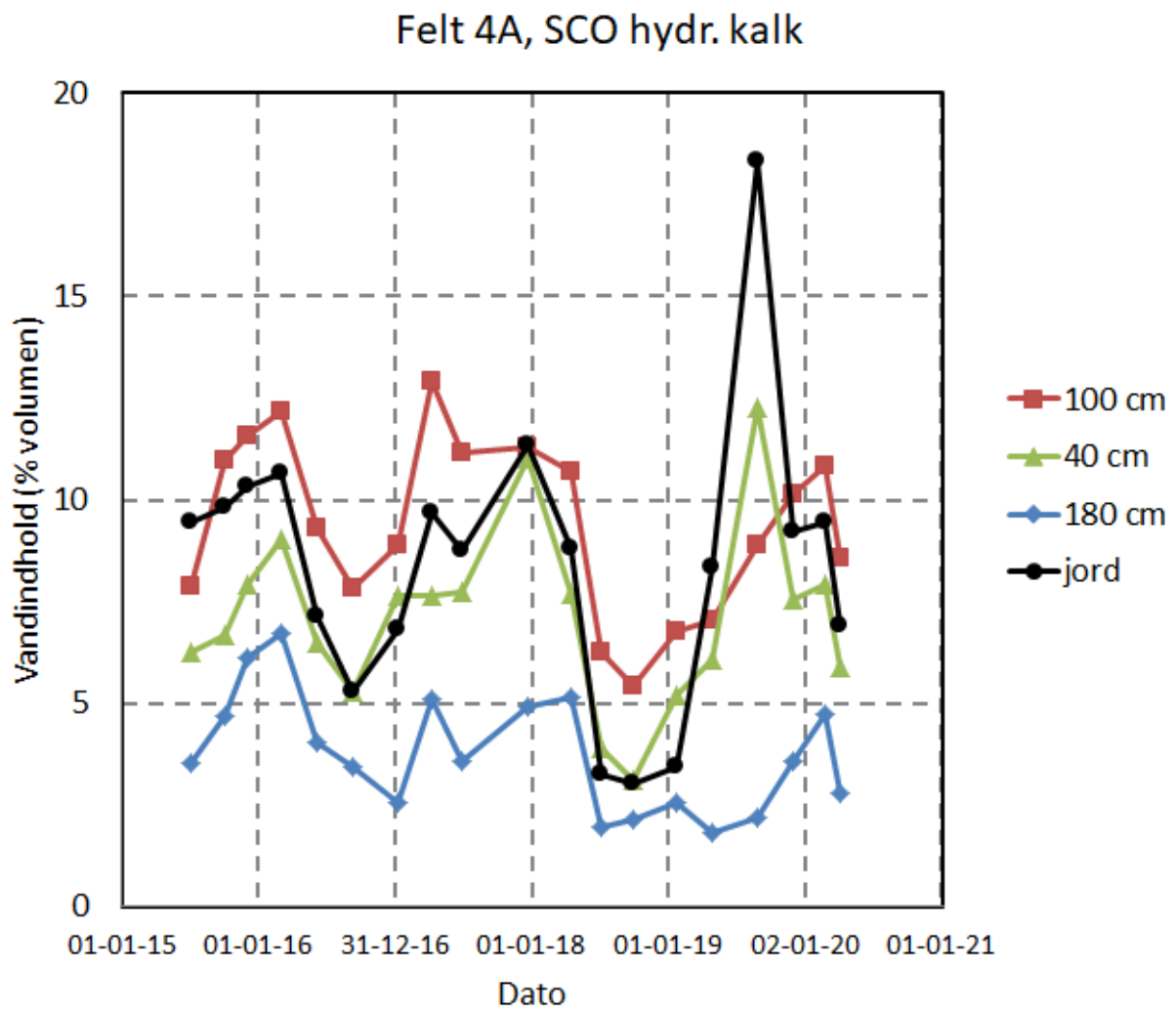
Figur 4. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 1 over måleperioden på 5 år.



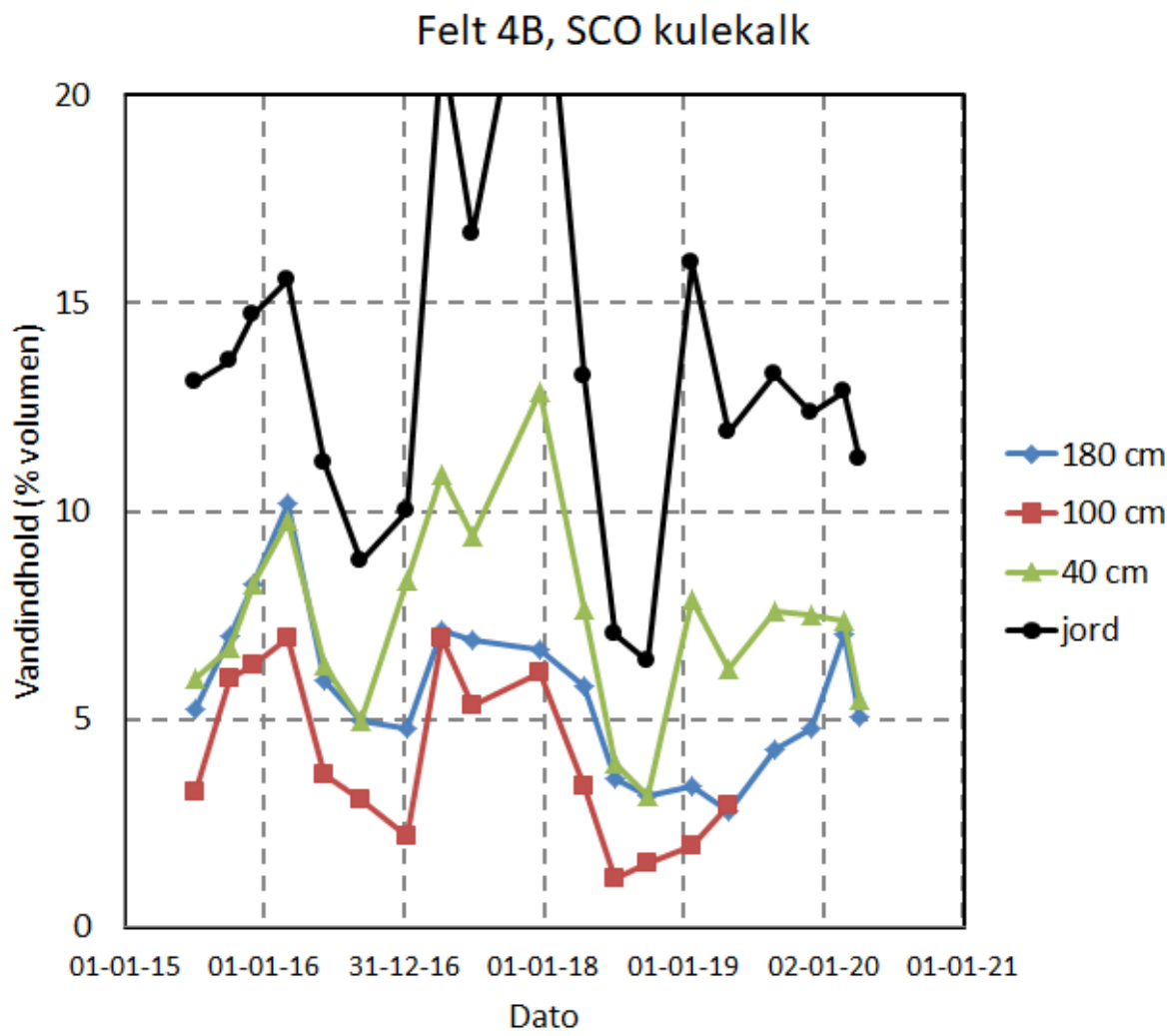
Figur 5. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 2 over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



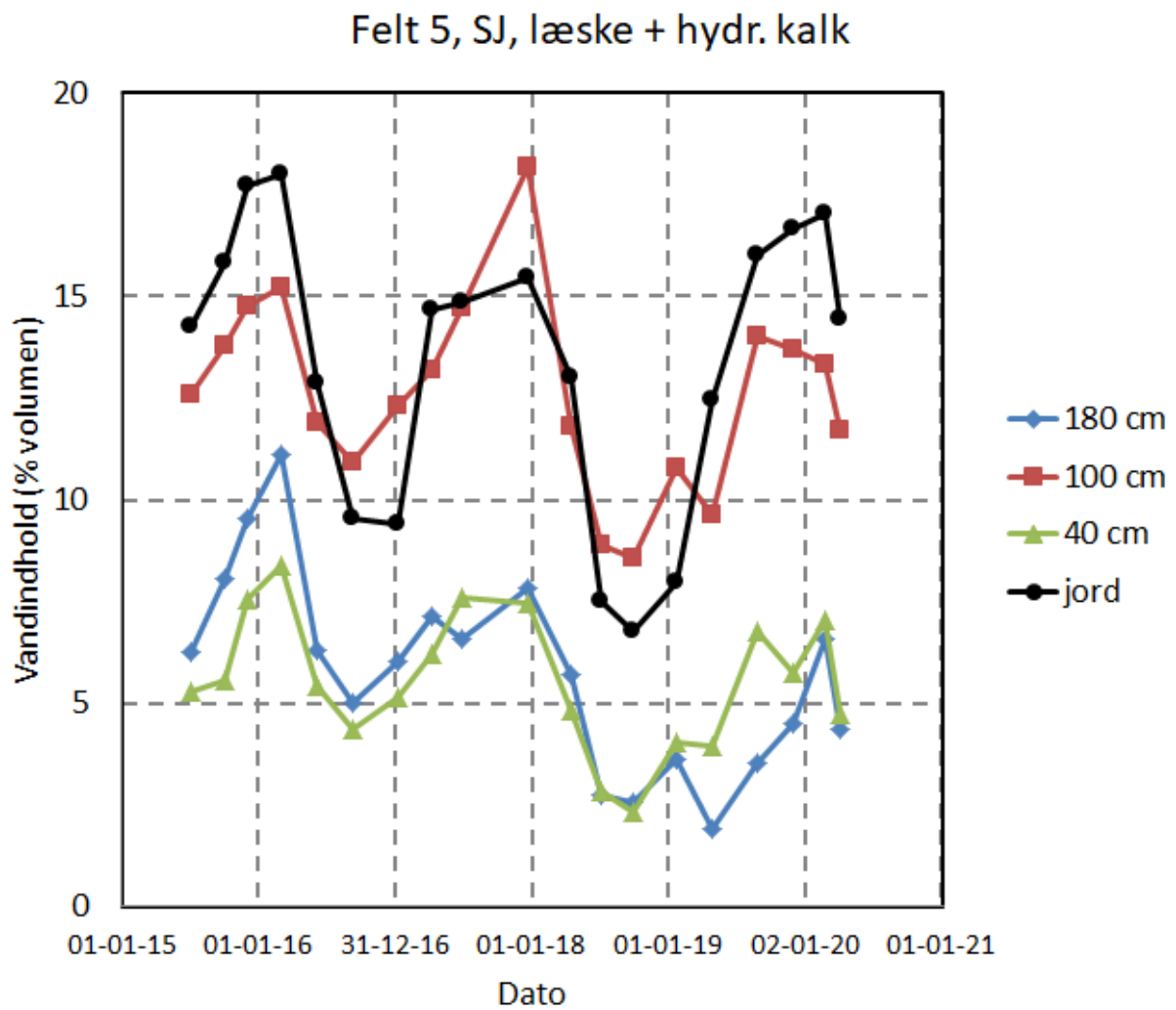
Figur 6. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 3 over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



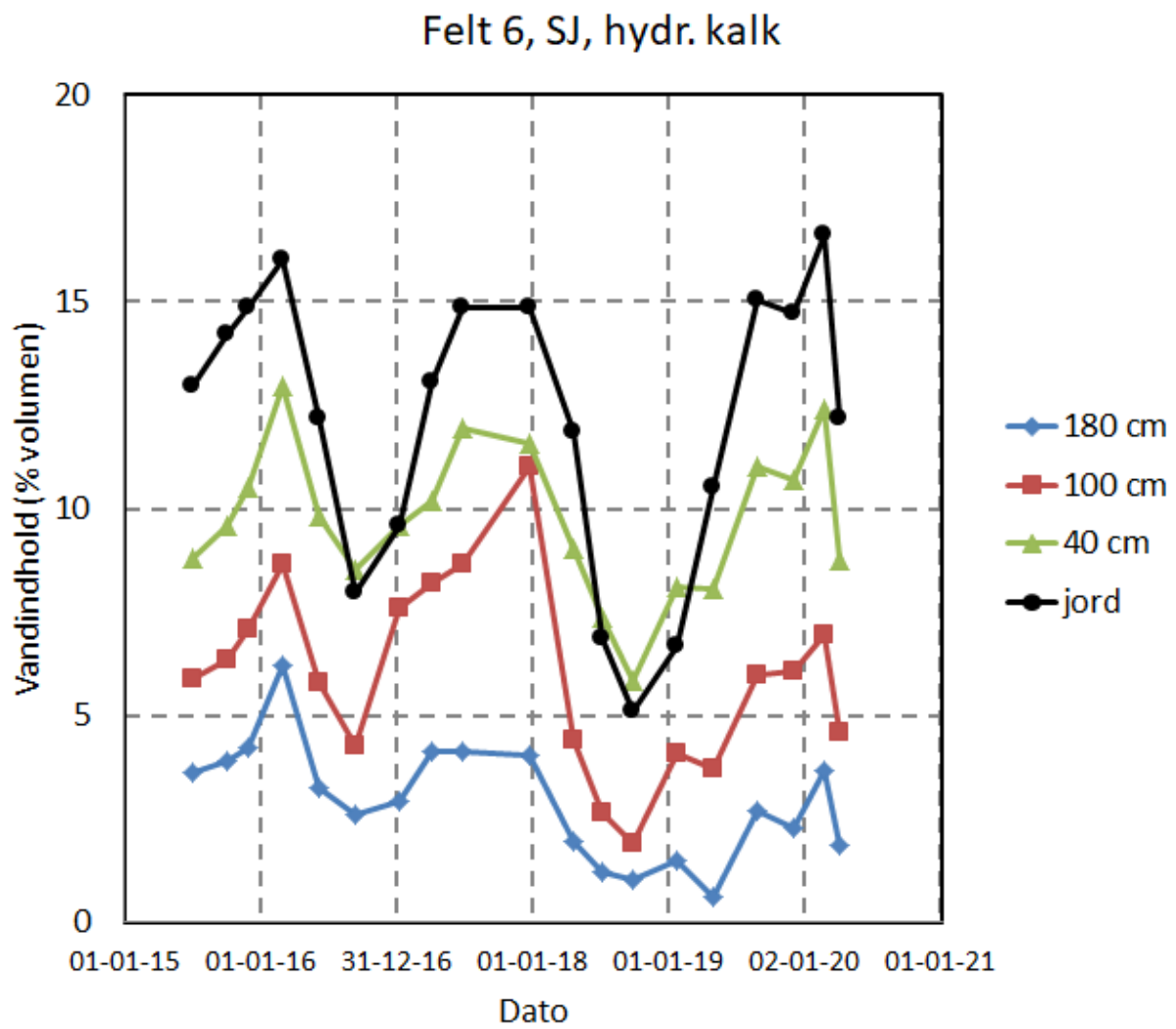
Figur 7. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 4A over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



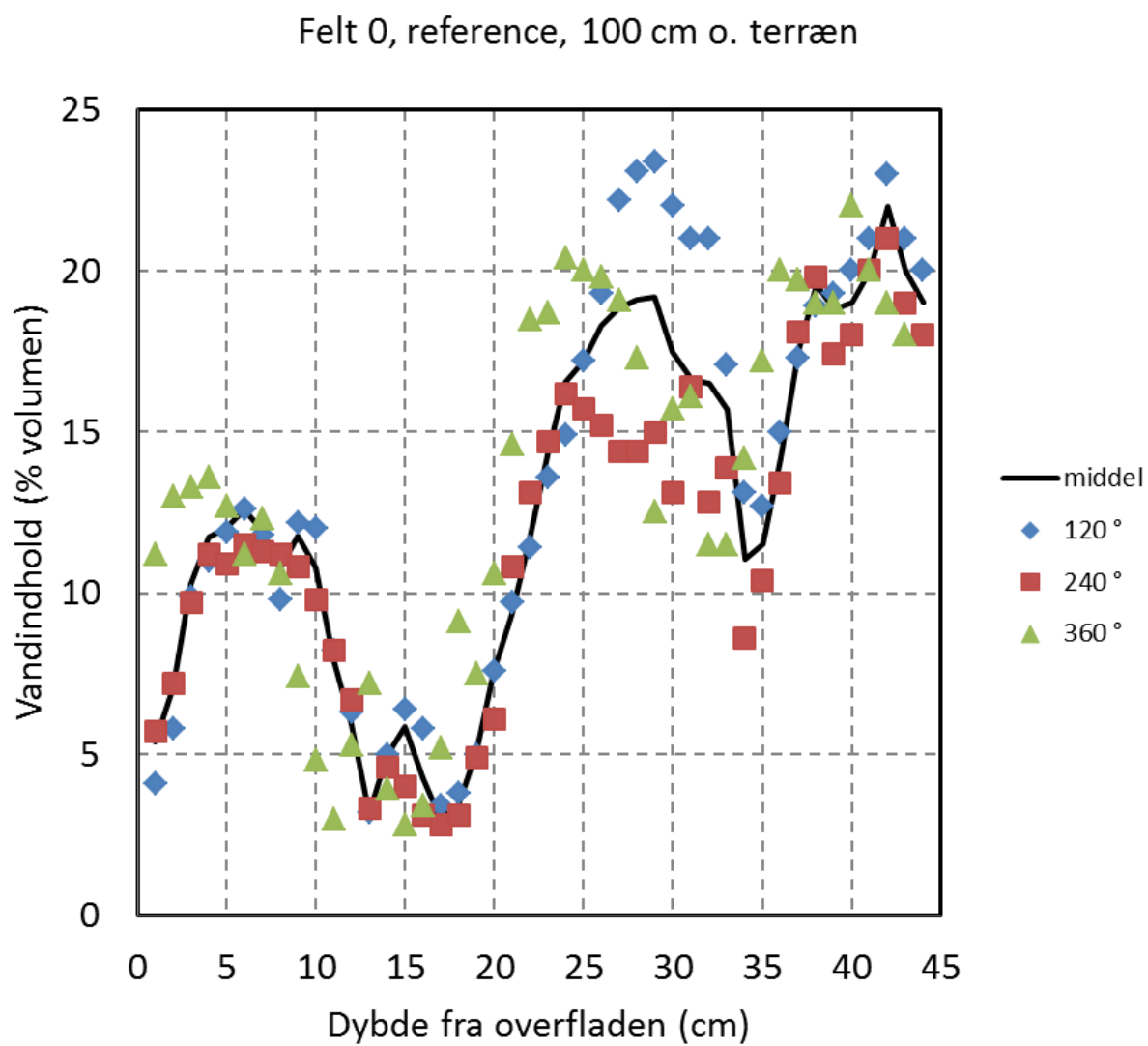
Figur 8. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 4B over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



Figur 9. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 5 over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



Figur 10. Gennemsnitligt vandindhold i murfelt 6 over måleperioden på 5 år. Vandindhold i jordfyld på bagsiden er vist med sort kurve.



Figur 11. Fugtprofil målt med 1 cm's afstand i felt 0, 100 cm over terræn.



