



Alternativ glatførebekæmpelse i København virkning på beplantninger og jord

Ingerslev, Morten; Skov, Simon; Bjerager, Per Eduard Robert; Pedersen, Lars Bo

Publication date:
2014

Document version
Peer-review version

Citation for published version (APA):
Ingerslev, M., Skov, S., Bjerager, P. E. R., & Pedersen, L. B. (2014). *Alternativ glatførebekæmpelse i København: virkning på beplantninger og jord*. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport



Alternativ glatførebekæmpelse i København

– virkning på beplantninger og jord

Morten Ingerslev
Simon Skov
Per Bjerager
Lars Bo Pedersen

IGN Rapport
Marts 2014

Titel

Alternativ glatførebekæmpelse i København
– virkning på beplantninger og jord

Forfattere

Morten Ingerslev¹, Simon Skov¹, Per Bjerager¹ og Lars Bo Pedersen²

¹ Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning

² Danske Juletræer

Bedes citeret

Morten Ingerslev, Simon Skov, Per Bjerager og Lars Bo Pedersen (2014):
Alternativ glatførebekæmpelse i København – virkning på beplantninger
og jord. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns
Universitet, Frederiksberg. 109 s. ill.

Udgiver

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning
Københavns Universitet
Rølighedsvej 23
1958 Frederiksberg C
Tlf. 353 31500
ign@ign.ku.dk
www.ign.ku.dk

Ansvarshavende redaktør

Niels Elers Koch

ISBN

978-87-7903-654-3

Grafisk arbejde

Sidsel Lotz Jespersen

Publicering

Rapporten er udelukkende/også publiceret på www.ign.ku.dk

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele
af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame.

Forord og læsevejledning

Denne rapport samler resultaterne af en række undersøgelser, der tilsammen belyser, hvordan tømidler påvirker træer, jord og stofkredsløb. Projektet er udført som et samarbejde mellem Københavns Kommune og IGN, KU. Projektet udmærker sig ved, at være et fuldskalaforsøg i felten, og ved at kombinere en lang række plantefysiologiske målemetoder med stofkredsløbsundersøgelser. Tilsammen skaber målingerne et grundlag for at forstå tømidlernes effekt på planter og miljø. Undersøgelsen har varet i tre år fra planteåret og forventes derfor ikke at give et samlet billede af træernes livslange respons på tømidler.

Undersøgelserne er baseret på kemiske analyser af blade, jord og jordvand, måling af træers og blades vækst, farve og funktion samt scoring af parametre, der vurderes visuelt. Der indgår tre lokaliteter: Fælledparken (FÆ), Center Boulevard (CB) og Øster Allé (ØA). FÆ er en parklokalitet, hvor der ikke anvendes tømidler. Denne lokalitet anvendes som sammenligningsgrundlag eller reference til målingerne på de to andre lokaliteter. CB og ØA er veje med tilnærmelsesvist ens trafik, men på CB anvendes salt (NaCl), og på ØA anvendes kaliumformiat.

Bagerst i hvert kapitel findes en kortfattet konklusion på kapitlets emne. Bagerst i rapporten findes et kapitel: ”Hvis det er tømidlerne...”. Kapitlet er skrevet ud fra forudsætningen: ”Hvis det er tømidlerne, der er årsag til de konstaterede effekter, så...”. Dette kapitel har til formål at fokusere på tømidlernes mulige effekter uden inddragelse af forbehold vedrørende generelle forskelle mellem de undersøgte lokaliteter.

Idéen til projektet opstod på et møde i 2001 mellem Jens Jacob Knudsen, Kim Sørensen, begge fra Københavns Kommune, og Lars Bo Pedersen, der dengang arbejdede på Skov & Landskab/IGN. Siden har idéerne udviklet sig med fokus på alternative tømidler. Sammen med Morten Ingerslev blev der gennemført en grundlagsgivende international litteraturundersøgelse af alternative tømidler samt et efterfølgende seminar. Lars Bo Pedersen var projektleder i projektets første halvdel og satte de overordnede rammer. Senere overtog Morten Ingerslev ansvaret for projektet i tæt samarbejde med Simon Skov. Lars Bo Pedersen har været tilknyttet projektet som konsulent i den sidste del af projektperioden.

Vi vil gerne rette en stor tak til de personer, som visionært har tænkt dette projekt ind i ombygningen af Øster Allé samt bidraget med godt samarbejde og konstruktive diskussioner: Jens Jacob Knudsen, Kim Sørensen, Jan Elvekjær, Helle Hagelund, Lars Christensen og Jens Ole Juul fra Københavns Kommune. Endvidere skal rettes en stor tak til laboranter og teknikere, der har arbejdet med projektets faste tekniske installationer og udført kemiske

analyser: Mads Madsen Krag, Allan Overgaard Nielsen, Preben Frederiksen og Xhevat Haliti. Katherine Poneta analyserede træerne på ØA og skrev sit kandidatspeciale om resultaterne. Undervejs deltog hun også effektivt og målrettet i målingerne til dette projekt – En stor tak til hende. Undervejs har studentermedhjælperne Jannik Hansen og Sidsel Lotz Jespersen bidraget på bedste vis med hhv. feltarbejde og databehandling. En del af analysearbejdet blev foretaget ved Prodana og Analytech, som også skal have tak for godt samarbejde. Projektet, og den tilhørende rapport, er bestilt og finansieret af Københavns Kommune.

Kemi: Alle stofkoncentrationer er opgivet på tørstofbasis. Der anvendes overvejende kemiske symboler for atomer: kulstof (C), kvælstof (N), fosfor (P), kalium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), svovl (S), jern (Fe), mangan (Mn), natrium (Na), og klor (Cl). Desuden anvendes forkortelser for opløst organisk kulstof (DOC) og exchangeable sodium percentage (ESP), som angiver den udbyttelige andel af Na i forhold til koncentrationen af udbytteligt Ca, Mg, K og Na tilsammen. I rapporten anvendes ordet ”salt” som synonym for NaCl.

Statistik: I rapporten anvendes et signifikansniveau på 0,05. Hermed menes, at forskelle med 95 % sikkerhed ikke beror på tilfældigheder, men skyldes faktiske forskelle. Det er bl.a. dataseriernes varians, der afgør, om to forskellige gennemsnit også er signifikant forskellige.

Indhold

Forord og læsevejledning	3
Baggrund	7
Forsøgslokaliteterne	9
Jord	12
Tekstur	12
Allétræsmuld	12
Råjord	13
Densitet	14
Jordkemi	15
Udtagning og analyse af jordprøver	15
Kulstof (C)	17
Kvælstof (N)	18
Kulstof (C) / kvælstof (N)-forholdet	18
Glødetabet	19
Fosfor (P)	20
Kalium (K)	21
Calcium (Ca)	22
Magnesium (Mg)	23
Jern (Fe)	24
Mangan (Mn)	24
Natrium (Na) og klorid (Cl)	25
pH	27
Kationbytterkapaciteten (CEC)	28
Konklusioner	28
Vand	31
Vandkemi	31
Vandbalance	42
Stofbalancer	44
Konklusioner	48
Træer	50
Højde og stammeomkreds	50
Kronestørrelse og densitet	52
Løvtab	54
Grenvækst	56
Scoring af træerne	57
Beløvning	57
Grønfarvning	58
Blomstring	59
Barkskader	59
Døde grene	60
Kloroser	60
Nekroser	63
Insektgnav	66
Sundhed	69
Konklusioner	69

Blade	71
Bladstørrelse	71
Bladfarve	72
Klorofylkoncentration	81
Bladkemi	88
Udtagning og analyse af bladprøver	88
Bladvægten	88
Na, Cl og næringsstofferne	88
Konklusioner	91
Hvis det er tømidlerne...	93
Jord	93
Vand og stofbalancer	93
Træer	94
Blade	95
Salt-konklusion	95
Hovedkonklusioner	97
Abstract in English	98
If it is the de-icers...	99
Soil	99
Water and nutrient balances	100
Trees	100
Leaves	101
Salt conclusions	102
Referencer	103
Uddybende litteratur	106

Baggrund

Anvendelsen af vejsalt til glatførebekæmpelse har forbedret fremkommenligheden og trafikikkerheden på vejnettet i Danmark, men brugen er samtidig forbundet med en række miljømæssige problemer, herunder svækkelse af beplantningers vækst, sundhed og udseende. Det er også velkendt, at vejsalt forringer buske og træers vækstvilkår ved at forringe jordens frugtbarhed, men også at vejsalt har en negativ påvirkning på flora og fauna i både jord, vandløb og søer. Det har både den tidligere (Hedvard 1972, Dragsted 1978, Dragsted 1979, Dragsted 1980a, Dragsted 1980b og Dragsted 1988) og nuværende danske forskning vist (Randrup & Pedersen 1996, Randrup & Pedersen 1998, Pedersen et al. 2000a, Pedersen et al. 2000b, Pedersen et al. 2001, Pedersen 2003 og Pedersen 2004). Samtidig er der på den nordlige halvkugle registreret flere tilfælde af forringet grundvands- og drikkevandskvalitet, som følge af anvendelsen af vejsalt. Der har været mange tiltag undervejs i forbindelse med udvælgelse af velegnet plantemateriale, men også af mere vej- og spredeteknisk karakter. Ingen af disse tiltag har vist sig at være tilstrækkelige til at modvirke vejsaltets u hensigtsmæssige egenskaber. Dagsituationen hos de københavnske bytræer og virkningen af tre på hinanden følgende år med højt vejsaltstress på træer og buske langs de danske hoved- og motorveje har sat deres tydelige spor.

Grundlaget for det nuværende fokus på alternativer til vejsalt tog oprindeligt udgangspunkt i flere næsten samtidige spørgsmål stillet af Vejdirektoratet: Hvad siger litteraturen om vejsaltets påvirkning på planterne langs vejene (Randrup & Pedersen 1996) og hvordan bedømmer de danske forvaltninger betydningen af vejsaltning, planteskader og beskyttelse langs det danske vejnet (Randrup & Pedersen 1998)? Litteraturundersøgelsen dokumenterede at salt skader vejens planter enten gennem direkte pålejring på planternes overjordiske dele eller gennem optagelse fra jorden. Vejsalt transporteres til planterne gennem overfladeafstrømning, saltsprøjt og som vindbårne partikler. De danske forvaltninger bedømte vejsalt til at være den mest betydende stressfaktor. Frederiksborg Amt (Pedersen et al. 2000b) og Københavns Amt (Pedersen et al. 2000a) stillede i kølvandet spørgsmål ved saltværns effekt og fik igangsat detailundersøgelser på udvalgte vejstrækninger, begge suppleret med ekstensive undersøgelser på adskillige lokaliteter. Hovedvægten lå her på at belyse vejafstandens og saltværns betydning. Her var konklusionerne, at saltværn virker fortræffeligt, når de opstilles rigtigt, og at planteafstanden er af vital betydning for beplantningerne, især hvis der ikke opstilles saltværn.

Parallelt hermed fik den daværende Søllerød Kommune (Pedersen 2003) igangsat tilsaltningsundersøgelser af ny vejjord, mens Frederiksberg Kommune fik etableret en undersøgelse over effekten af saltningsophør med NaCl. Tilsaltning af ny jord foregår hurtigt uden saltværn og selv klorid synes til tider at ophobes. Saltningsophør og ibrugtagning af urea som erstatning

viste sig slet ikke at være nogen forbar vej. Brugen af urea gav en voldsom stor kvælstofbelastning.

Disse forsøg fulgtes af vejsaltundersøgelser i Københavns Kommune, som især fokuserede på hævdede rabatters betydning som alternativ til saltværn. Hævede rabatter kan have en positiv effekt på saltbelastningen, men kan også føre til øget stress fra opkoncentreret vejsalt på grund af øget fordampning fra jorden på de meget sommervarme hævdede rabatter.

Det var under disse forsøg i starten af 00'erne at Københavns Kommune tog de første skridt mod et projekt med fokus på alternativer til vejsalt. De første streger blev trukket i 2004 af Kim N. Sørensen (Fagansvarlig for Vintertjenesten i Københavns Kommune) og daværende distriktsleder Jens Jacob Elkjær Knudsen i samarbejde med Lars Bo Pedersen fra det daværende Skov & Landskab. I forlængelse af en større workshop i 2006, så to forprojekter dagens lys i 2007: "Vurdering af alternative tømidler til brug for glatføreforebyggelse og bekæmpelse på Københavns Kommunes gangarealer, cykelstier og kørebaner" (COWI) og "Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen (Pedersen & Ingerslev, 2007)". Det var hensigten med disse to projekter, at de skulle danne grundlag for udvælgelsen af de alternative tømidler, som skulle afprøves i et efterfølgende in situ forsøg. Efter ½ års planlægning og tilpasning til dels det dengang igangværende vejanlæg på Øster Allé, dels Fælledparken og dels Center Boulevard, blev der i 2009 taget de første spadestik til et nytænkende studie og det største af sin art i verden: Storskala afprøvning af kaliumformiat på Øster Allé med Center Boulevard som vejsaltreference og Fælledparken som en decideret nulreference helt uden tilførsel af vejsalt.

Forsøgslokaliteterne

Den 23. november 2009 blev lindetræerne plantet på de tre forsøgslokaliteter. I forbindelse med plantningen blev diverse instrumenter installeret i jorden. På udplantningstidspunktet havde træerne ikke tabt løvet og var derfor ikke afhærdede. Træerne kom fra Kortegaards Planteskole, havde samme alder og kom fra samme klon.

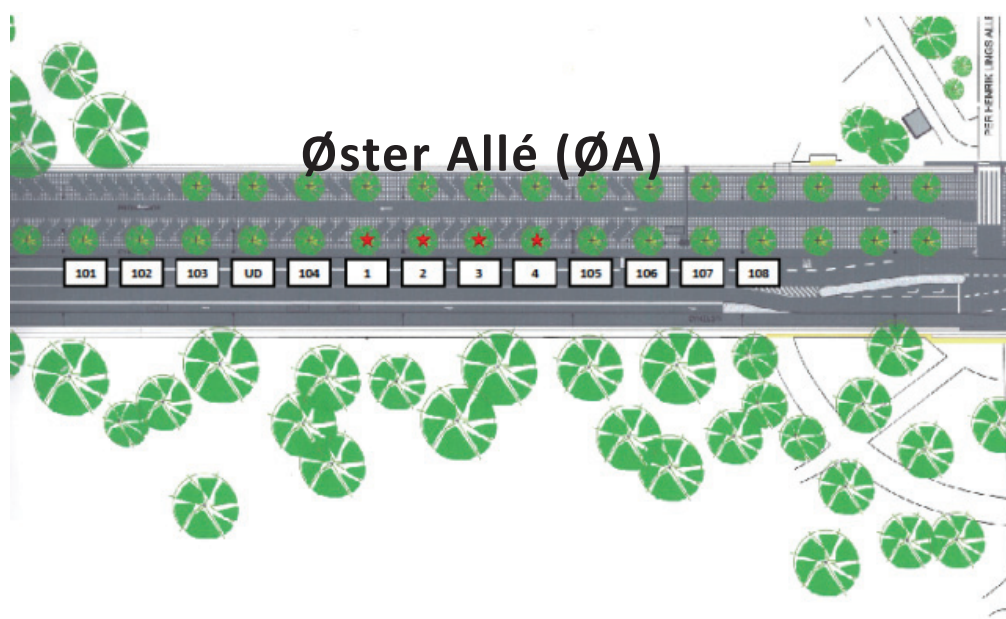
De tre forsøgslokaliteter ligger på hhv. Center Boulevard (CB) bag den østligste parkeringsplads ved Bellacentret, på Øster Allé (ØA) tæt ved Fælleparken Stadion og i Fælledparken (FÆ) skråt overfor Fælleparken Stadion (Koordinator, Datum: WGS84, CB: 55° 38' 10" N. br., 12° 34' 26" Ø. lg; ØA: 55° 42' 12" N. br., 12° 34' 07" Ø. lg; FÆ: 55° 42' 10" N. br., 12° 34' 07" Ø. lg). Skitser af de tre forsøgslokaliteter med forsøgstræerne med deres placering og numre er vist i Figur 1, 2 og 3.

Af praktiske grunde indgår alle forsøgstræerne ikke i alle delene af undersøgelsen. På ØA og CB er der udvalgt fire træer og i FÆ to træer, som indgår i undersøgelser af stofkoncentrationer og udvaskning fra plantebedene med jordvand samt stofbalancer. Disse træer indgår ikke i undersøgelserne af jordbundskemien i perioden efter installation af forskningsinstrumenterne, da jordprøveudtagningen vil kunne ødelægge installationerne. Ved undersøgelse af træernes overjordiske dele er alle forsøgstræerne benyttet (Tabel 1). De metoder og udstyr, der er anvendt ved de forskellige undersøgelser er beskrevet sammen med resultaterne i de efterfølgende kapitler.

Det har været tydeligt, at lokaliteterne i sagens natur ikke er ens, og at der er en række forskelle på lokaliteterne, som gør, at tolkningen af resultaterne skal tages med forbehold for disse forskelle. FÆ lokaliteten er placeret i et område med læ fra andre træer og krat og har et præg af skovklima, men er samtidig et lokalitet, der er præget af de rekreative aktiviteter, som foregår her. ØA lokaliteten ligger midt i Fælledparken og er også præget af de mange relativt tættstående træer og krat, som omgiver alléen. Træer, krat og stadion giver en del læ på denne lokalitet, som ellers også er præget af de rekreative aktiviteter, som foregår her. CB lokaliteten er præget af noget byggeri på den ene side og et ret åbent naturlandskab på den anden side. Denne lokalitet er mere vindudsat end FÆ og ØA.

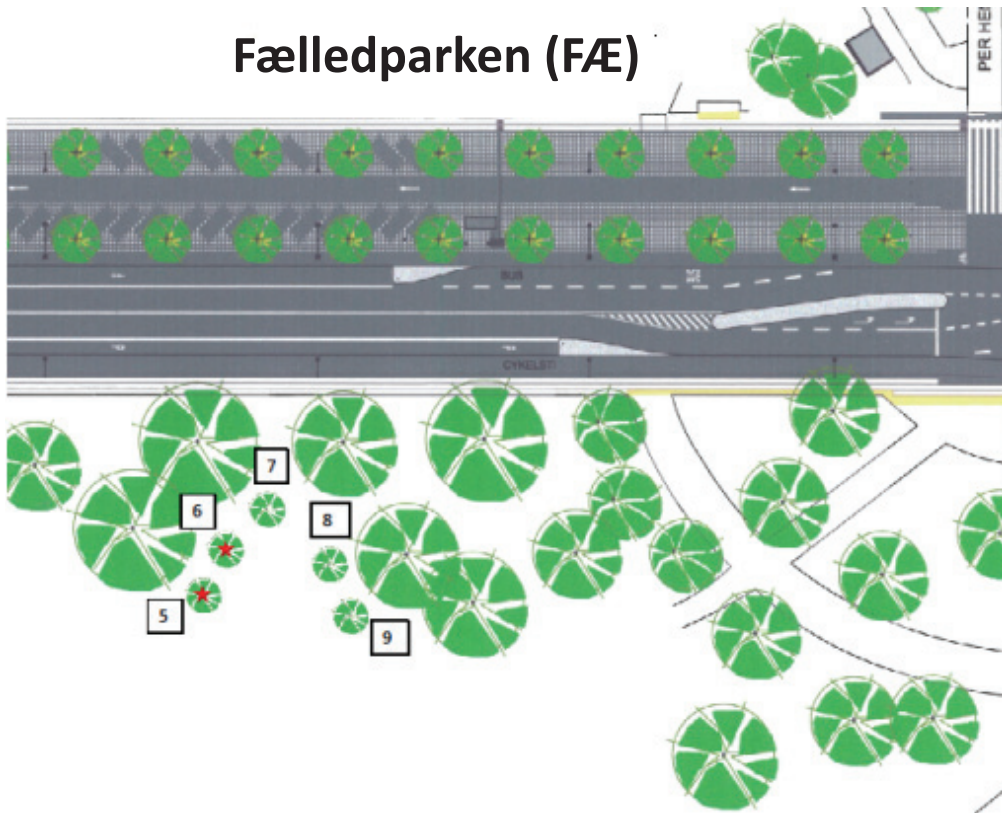
Tabel 1. Oversigt over undersøgelser, lokaliteter og trænumre.

Undersøgelser	ØA, trænr.: 1, 2, 3 og 4 FÆ, trænr.: 5 og 6 CB, trænr.: 10, 11, 12 og 13	ØA, trænr.: 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 og 108 FÆ, trænr.: 7, 8 og 9 CB, trænr.: 109, 110, 111, 112, 113 og 114
Jordbundskemi og fysik Jordbundskemi, Jorddensitet og –tekstur.		X
Jordvandskemi og stofbalancer Jordvandskemi, jordfugtighed, udvaskning af stoffer, opsamling og kemisk analyse af gennemdryp og sjap samt stofbalancer.	X	
Træernes vækst Træhøjde, stammediameter, grenlængdetilvækst, kronestørrelse og kronediameter samt løvtab.	X	X
Træernes sundhed og næringsstofstatus Beløvnning, blomstring, grønfarvning, barkskader, insektgnav, døde grene, overordnet sundhedsvurdering samt bladkemi.	X	X
Bladenes anatomi, fysiologi og farve Fotosyntese, klorofylindhold, bladareal, bladvægt, farve.	X	X

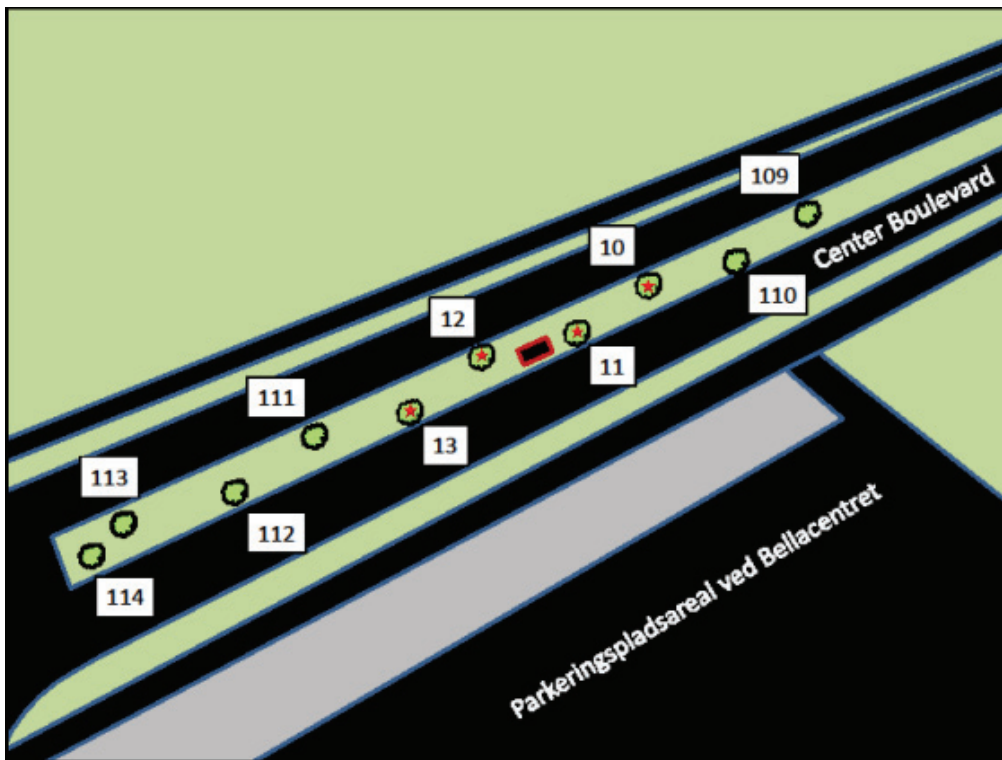


Figur 1. Forsøgslokaliteten på Øster Allé (ØA) med angivelse af forsøgstræerne og deres nummerering. Rød stjerne angiver de træer, hvor der undersøges jordvandskemi og jordfugtighed med efterfølgende beregning af stofbalancer.

Fælledparken (FÆ)



Figur 2. Forsøgslokaliteten i Fælledparken (FÆ) med angivelse af forsøgstræerne og deres nummerering. Rød stjerne angiver de træer, hvor der undersøges jordvandskemi og jordfugtighed med efterfølgende beregning af stofbalancer.



Figur 3. Forsøgslokaliteten på Center Boulevard (CB) med angivelse af forsøgstræerne og deres nummerering. Rød stjerne angiver de træer, hvor der undersøges jordvandskemi og jordfugtighed med efterfølgende beregning af stofbalancer.

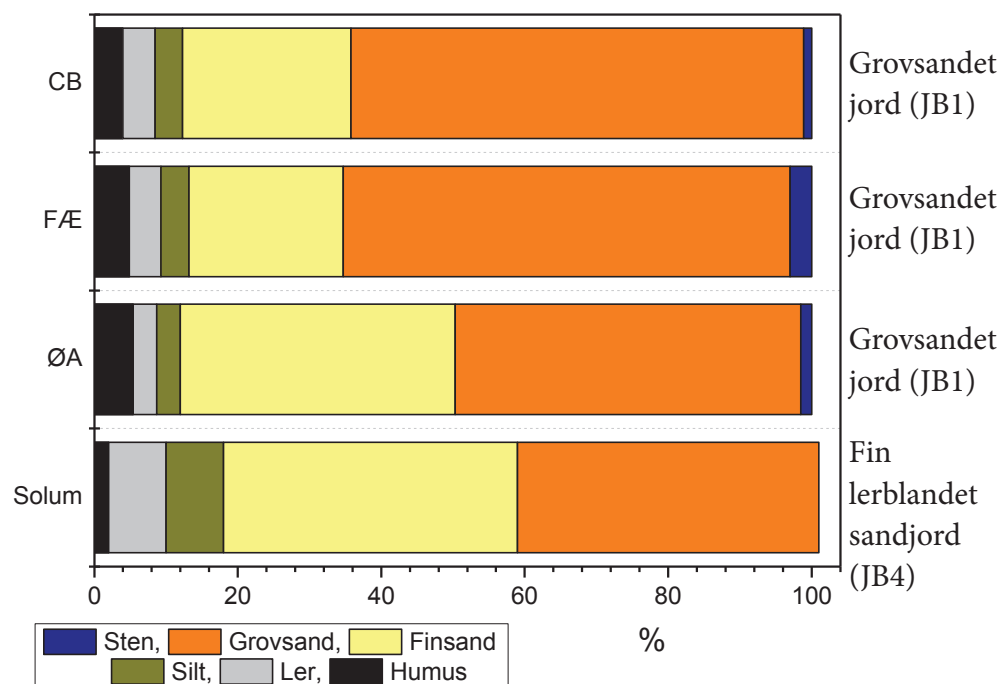
Jord

Tekstur

Allétræsmuld

Jorden består overordnet af fire komponenter: mineralsk materiale, organisk stof, samt luft og vand. Når jorden beskrives gøres det ofte ud fra teksturen, det vil sige en opdeling i kornstørrelsesfraktioner. Den danske opdeling af jorde i jordbundstyper er baseret på teksturfordelingen. Ved tilplantning af forsøgslokaliteterne i november 2009 blev der udtaget jordprøver på de forskellige lokaliteter af den Allétræsmuld, som blev anvendt i plantehullerne. På CB og i FÆ var det endvidere muligt at udtage jordprøver af råjorden fra bunden af plantehullerne i ca. 100-120 cm dybde, inden der blev plantet. Det var ikke muligt at udtage disse prøver af råjorden på ØA, da råjorden i ca. 50-70 cm's dybde allerede var blevet løsnet og blandet med Allétræsmuld forud for plantning. På ØA blev der i stedet taget jordprøver fra blandingen af Allétræsmuld (50-70 cm's dybde), og fra en dybde (80-100 cm) der antages at ligge under eller i den nederste del af blandingen af Allétræsmuld og råjord. Disse prøver blev sendt til Prodana, til teksturanalyser. Analyserne blev lavet med følgende kornstørrelsesintervaller:

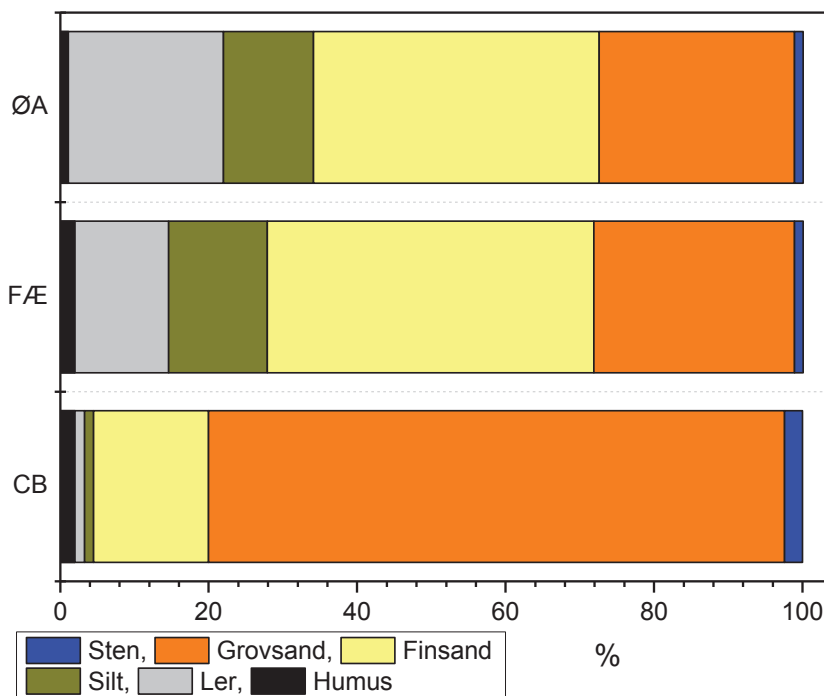
- Humus
- Ler: < 0,002mm
- Silt: 0,002-0,02 mm
- Finsand: 0,02 - 0,2 mm
- Grovsand: 0,2 - 2,0 mm
- Sten: > 2,0 mm



Figur 4. Teksturfordelingen i Allétræsmuld fra de forskellige lokaliteter samt den teksturfordeling, som Solum opgiver i databladet (2009) for Allétræsmuld.

Resultaterne viser, at der er forskel på den AllétræsMuld, der er anvendt på de forskellige lokaliteter, specielt er der en højere andel af finsand på ØA end på de to andre lokaliteter, omvendt er det for grovsandsfraktionen. Desuden er der mindre humus på CB sammenlignet med ØA og FÆ, samt flere sten i FÆ sammenlignet med ØA og CB (Figur 4). Det ser således ud til, at AllétræsMuld'en har haft en forskellig teksturfordeling på de forskellige lokaliteter, og at det især er fordelingen mellem fin- og grovsand, der er forskellig på ØA sammenlignet med CB og FÆ. Dog kan alle tre jorder klassificeres som grovsandede jorde (JB1).

Sammenlignes AllétræsMuld'en med de data, som Solum opgiver for den leverede AllétræsMuld, er der forskelle: Solum opgiver et væsentligt højere indhold af ler og silt samt mindre humus, målte på de tre lokaliteter. Fordelingen mellem fin- og grovsand er næsten ens på ØA og i Solums datablad, hvor CB og FÆ har en højere andel af grovsand og tilsvarende lavere andel af finsand.



Figur 5. Teksturfordelingen i råjorden i bunden af plantehullerne på de forskellige lokaliteter.

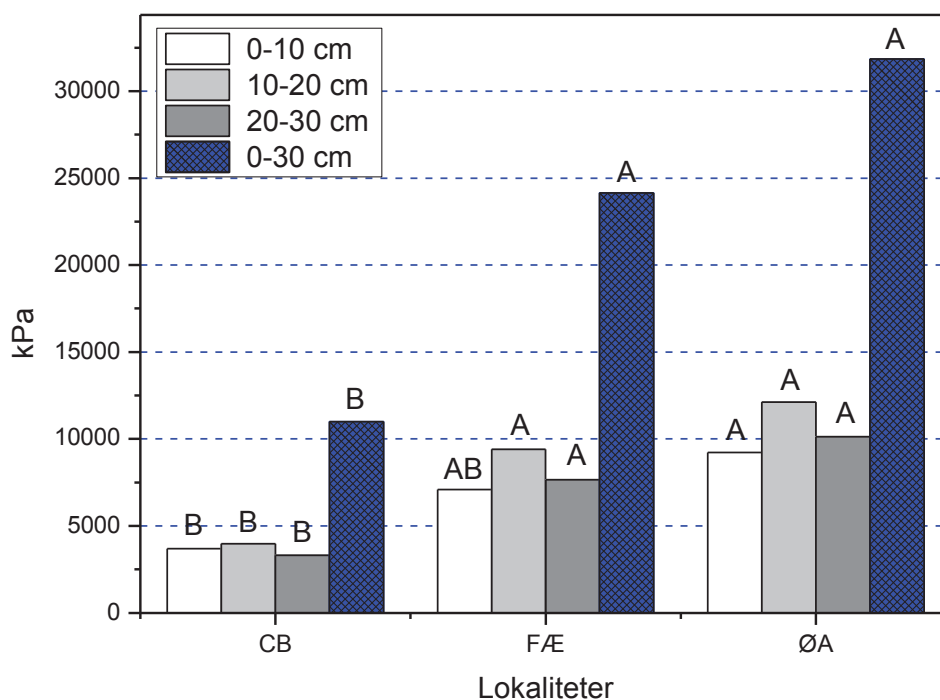
Råjord

Der er markant forskel på råjorden på de forskellige lokaliteter. På CB er råjorden domineret af især grovsand, mens råjorden på ØA har et betydeligt indhold af ler og silt, der giver en ringe dræningstilstand på ØA. Ikke overraskende ligner teksturfordelingen i råjorden i FÆ, den på ØA, dog med et lidt mindre indhold af ler og silt. Det er vigtigt at forholde sig til disse forskelle, når man sammenligner lokaliteterne.

Densitet

Jordens densitet er interessant, da det er en af de parametre, som bliver påvirket af vejsalt. Når en jord med et vist lerindhold bliver udsat for Na fra traditionelt vejsalt, kan den "klappe sammen". Det sker ved, at lerpartiklernes gitterstruktur opbrydes og partiklernes lejrning forsvinder (dispergering) ved hydratisering (Na omgiver sig med en vandkappe i modsætning til f.eks. Ca), lerpartiklerne flyder sammen, og porevolumenet mellem lerpartiklerne falder markant, hvorved jorddensiteten stiger.

Jorddensiteten blev målt på ØA og i FÆ i august 2012 og på CB i november 2012. Jorddensiteten målt ikke direkte, men blev estimeret gennem målinger af jordkomprimeringen. Disse målinger blev foretaget med et jordpenetrometer fra Spectrum Technologies, Inc. (Fieldsout, SC 900 Soil, Compaction Meter). Så vidt det var muligt for sten og rødder, blev der foretaget fire målinger i hvert bed, som indgik i denne del af undersøgelsen. Udstyret brød desværre sammen tre gange under målingerne. Disse sammenbrud betød, at målingerne måtte gennemføres på forskellige tidspunkter for de forskellige lokaliteter, og at der ikke findes komplette måleserier for alle træerne. Der er seks målinger på CB, ni i FÆ og 23 på ØA.



Figur 6. Den gennemsnitlige jorddensitet for fire forskellige dybdeintervaller målt med et jordpenetrometer. Bemærk, at de blå søjler angiver summen af de tre andre søjler. Forskellige bogstaver markerer signifikant forskellig jorddensitet mellem forskellige lokaliteter. Indenfor den enkelte lokalitet er der ikke fundet signifikant forskellig jorddensitet mellem dybderne.

Hvis der er forskel på lokaliteterne, vil man forvente, at jorden på CB med tiden vil få en højere densitet end jorden på ØA og i FÆ. Dette er ikke tilfældet

på nuværende tidspunkt forholder det sig lige modsat (Figur 6). Jorden på CB er signifikant mindre komprimeret end jorden på ØA og i FÆ. Dette er dog ikke signifikant for FÆ i dybden 0-10 cm. Disse forskelle skyldes sandsynligvis, at folk går på jorden tæt ved træerne på ØA og i FÆ, mens der ikke er nogen, der går på jorden ved træerne på CB. Den tydeligt større grovsandsfraktion på CB og FÆ er formodentlig årsag til den mindre densitet på disse lokaliteter i forhold til ØA. Der er intet, der tyder på, at forskellen i anvendelse af tømidler på lokaliteterne har givet anledning til forskellige jorddensiteter (endnu).

Jordkemi

Udtagning og analyse af jordprøver

Der er foretaget kemiske analyser af jordbunden for at undersøge hvordan kaliumformiat (ØA) påvirker jordbundskemien sammenlignet med hhv. anvendelsen af traditionelt vejsalt (CB) og ingen anvendelse af tømidler (FÆ). Der er udtaget på to tidspunkter, dels ved begyndelsen af projektet i oktober/november 2009, umiddelbart før træerne blev plantet på de tre lokaliteter, dels ved forsøgets opgørelse i oktober 2012.

Indledningsvis blev der udtaget jordprøver fra den muld, som blev anvendt i plantehullerne samt fra den råjord, som omgav de etablerede plantehuller.

Ved opgørelsen i 2012 blev der udtaget jordprøver med jordspyd fra de etablerede plantehuller. For at undgå at ødelægge det udstyr, der er installeret i nogle af bedene, blev jordprøverne udtaget fra plantebede uden installationer. På ØA blev prøverne taget fra træ nr. 101 – 108, i FÆ træ nr. 7 – 9 og på CB træ nr. 109 – 114. Prøverne blev udtaget den 3. oktober 2012. Fire jordprøver blev udtaget i dybderne: 0 - 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm og 30 – 50 cm rundt om hvert træ. Prøverne blev taget med en afstand til stammen på 60 til 80 cm, lige inden for drænrøret og uden for den oprindelige rodklump. Jordprøverne fra de forskellige stik fra det enkelte træ blev slået sammen for hver dybde (blandet grundigt sammen i en plastspand) til én prøve. Jordprøverne blev tørret ved 55 °C, indtil de havde en konstant vægt. Efterfølgende blev de sigtet gennem en 2 mm-sigte og blandet grundigt, før en delprøve blev udtaget til de kemiske analyser og teksturanalysen.

Koncentrationen af totalindholdet af C og N blev målt ved Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs). Jordprøverne blev ekstraheret med svovlsyre (0,1 M H₂SO₄, Plantedirektoratet, 1994) og koncentrationen af P blev bestemt i ekstraktet ved FIA (Perkin Elmer, UV/VIS spectrometer, Lambda 2). Jordprøverne blev også ekstraheret med 1 M NH₄NO₃ for at bestemme koncentrationen af både ombyttelige ioner fra kationbytterkomplekset og tilgængelige ioner fra jordvæsken (Stuanes et al. 1984). Denne ekstraktion regnes for at bestemme den umiddelbart tilgængelige fraktion af ioner i jorden, i modsætning til de stoffer der er bundet i mineralerne eller organisk stof.

Ekstraktet blev analyseret for koncentrationen af kationer af: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al og Na ved ICP-OES (Perkin Elmer Optima 3000 XL). Glødetabet (LOI) blev målt ved 400 °C. Jordens surhed blev bestemt ved forskellige ekstraktioner: vand, ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) og calciumklorid ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, 0,1 M) (ICP Forests, 2010) med Meterlab, PHM standard pH-meter (elektrode: Radiometer analytisk, type: Kombineret pH-elektrode Red Rod pHC2401-8). Den frie aciditet (EA) er et udtryk for jordens indhold af syre ved den pågældende pH, og jordens EA indgår i beregningen af jordens basemætning. Den blev ikke bestemt ved måling, da den er forsvindende lille pga. jordens høje pH. Kationbytterkapaciteten (CEC) angiver mængden af ombyttelige kationer ved den pågældende pH. CEC blev bestemt i henhold til ICP Forests (2010). Resultaterne af analyserne fremgår af Tabel 2 til 7. I nedenstående er resultaterne blevet sammenlignet med data fra en undersøgelse af jordbundskemien på Krinsen, Kongens Nytorv, da Krinsen, i lighed med ØA, aldrig har fået vejsalt og også er tilplantet med lind. Endvidere er resultaterne perspektiveret med data fra relevant litteratur. Herunder er anbefalinger fra bl.a. Bühler (2012) og Holgersen (1994) angivet. Disse anbefalinger er ofte baseret på anbefalinger til jorde med landbrugsafgrøder fra Plantedirektoratet, og kan derfor anses for at være relativt høje i relation til jorder med bytræer.

Tabel 2. Koncentrationen af Total C, N, C/N-forholdet, ombytteligt (NH_4NO_3 , 1,0 M) K, Ca og Mg, vand-ekstraherbart Na og Cl samt ESP (exchangeable sodium percentage angiver den udbyttelige andel af Na i forhold til koncentrationen af udbytteligt Ca, Mg, K og Na tilsammen og ESP anvendes til at angive saltpåvirkningen af en given jord og kationbytterkapaciteten (CEC).

	C (mg/g)	N (mg/g)	C/N	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	Cl (mg/kg)	ESP (%)	CEC (meq/kg)
AllétræsMuld										
CB	16,3	0,748	21,9	135	4650	74,5	39,5	40,8	0,595	243
FÆ	14,5	0,660	22,0	105	4720	73,0	44,0	37,0	0,590	246
ØA	17,8	1,07	16,6	587	4558	123	77,3	90,5	1,39	256
Råjord										
CB	9,75	0,655	14,8	75,0	2950	43,0	31,0	23,0	0,785	154
FÆ	6,66	0,724	8,74	153,8	3240	70,4	25,0	10,2	0,442	172
ØA	8,65	0,470	14,6	159,0	4303	68,3	514	175	16,2	258

Tabel 3. Jordbundsprøvernes koncentration af total C, N, C/N-forholdet og glødetabet. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.afv: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne indenfor samme lokalitet.

	C (mg/g)				N (mg/g)				C/N	Glødetab
	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	(%)
Center Boulevard										
0 - 10 cm	15,6 ^{AB} _b	7,8	43,2	12,5	0,67 ^{AB} _b	0,28	2,13	0,66	25,7 ^B	1,33
10 - 20 cm	26,5 _a	23,2	29,0	2,0	1,17 _{ab}	0,91	1,34	0,14	22,7 ^A	3,19
20 - 30 cm	27,5 ^A _a	24,4	30,5	2,5	1,26 _a	1,06	1,41	0,13	22,0 ^A	3,41
30 - 50 cm	26,7 _a	24,3	29,8	2,0	1,21 _a	1,08	1,48	0,15	22,3 ^A	3,25
Fælledparken										
0 - 10 cm	24,2 ^A	21,4	25,8	2,4	1,03 ^A	0,94	1,09	0,08	23,4 ^B	3,07
10 - 20 cm	24,7	24,2	25,1	0,4	1,10	1,05	1,14	0,05	22,4 ^{AB}	3,16
20 - 30 cm	24,8 ^A	24,3	25,1	0,5	1,10	1,02	1,16	0,07	22,6 ^A	3,15
30 - 50 cm	23,9	2,20	25,9	2,0	0,109	0,105	1,11	0,03	22,0 ^A	3,53
Øster Allé										
0 - 10 cm	9,3 ^B _b	8,2	10,5	0,8	0,14 ^B _b	0,10	0,19	0,03	71,0 ^A _a	0,83
10 - 20 cm	23,9 _a	17,1	31,4	4,2	1,23 _a	0,99	1,56	0,20	19,5 ^B _b	2,66
20 - 30 cm	20,1 ^B _a	15,5	25,0	2,9	1,26 _a	1,18	1,34	0,06	15,9 ^B _b	2,84
30 - 50 cm	21,8 _a	07,6	27,4	6,5	1,25 _a	0,72	1,44	0,23	17,0 ^B _b	2,77

Kulstof (C)

Koncentrationen af C varierer en del, specielt i dybden 0 – 10 cm på CB og i dybderne 10 – 20 cm og 30 – 50 cm på ØA (Tabel 3). Variationen i det øverste jordlag på CB skyldes formodentlig, at tykkelsen af laget af C-fattigt slotsgrus varierede betydeligt ved de forskellige træer. C-koncentrationen er lavere i råjorden end i AllétræsMulden (Tabel 2).

Koncentrationen af C er signifikant højere i det øverste jordlag (10 – 20 cm) i FÆ end på ØA, hvorimod CB ikke adskiller sig signifikant fra FÆ eller ØA på dette punkt. Årsagen til dette er sandsynligvis, at der mere slotsgrus i dette lag på ØA end i FÆ. Koncentrationen af C er signifikant mindre på ØA end på CB og i FÆ i dybden 20 – 30 cm. Denne forskel kan ikke umiddelbart forklares ud fra kendskab til anlægsmæssige forskelle eller forskelle i tekturen mellem lokaliteterne, men det stemmer godt overens med, at glødetabet også er lavere her. For både CB og ØA er C-koncentrationen signifikant lavere i det øverste jordlag (0 – 10 cm) i forhold til de dybere jordlag, hvilket kan forklares ved den store andel af C-fattigt slotsgrus i det øverste jordlag. At dette ikke ses i FÆ skyldes sandsynligvis, at laget med slotsgrus reelt er tyndere i FÆ.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket C-koncentrationen i mulden, hvilket indikerer, at hverken brugen af Kaliumformiat eller salt har givet anledning til en signifikant omsætning eller akkumulering af organisk stof i jorden. Der findes ikke anbefalinger for den totale koncentration af C i jord i urbane plantebede til vejtræer. Til sammenligning varierede C-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen mellem 15,1 og 26,7 mg C/g

med en middelværdi på 20 mg C/g (Ingerslev et al. 2012), altså i samme størrelsesorden, som på CB, ØA og i FÆ i dybder under 10 cm. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt C-koncentrationer helt op omkring 111 mg/g (Pedersen et al, 2001).

Kvælstof (N)

N-koncentrationerne følger generelt C-koncentrationernes mønster og variationen kan forklares på samme måde (Tabel 3). Koncentrationen varierer en del, især i dybden 0 – 10 cm på CB og i dybderne 10 – 20 cm og 30 – 50 cm på ØA. For både CB og ØA er N-koncentrationen ofte signifikant lavere i det øverste jordlag (0-10 cm) i forhold til de dybere jordlag, hvilket kan forklares ved den store andel af N-fattigt slotsgrus i det øverste jordlag. At dette ikke ses i FÆ må skyldes, at laget med slotsgrus reelt er tyndere i FÆ. Forskellen i glatførebekæmpelse mellem lokaliteterne har tilsyneladende ikke påvirket N-koncentrationen i mulden.

Der findes ikke anbefalinger for den totale koncentration af N i jord i urbane plantebede til vejtræer. N-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen varierede mellem 0,92 og 1,23 mg N/g med en middelværdi på 0,92 mg N/g (Ingerslev et al. 2012), altså lidt mindre eller i samme størrelsesorden, som på lokaliteterne i forhåndenværende undersøgelse i dybder under 10 cm. Til sammenligning angiver Solum, at deres produkt ”Svær SuperMuld”, som anbefales til vejtræer og vejrabatter, har en total-koncentration af N på 0,92 g N/kg, hvilket også er lidt under det, som er målt i FÆ eller på CB og ØA i dybder under 10 cm. Hvis vi sammenligner N-koncentrationen, som vi finder her med N-koncentrationerne i skovjorde, ligger vi inden for den samme størrelsesorden som de mere næringsstofrige skovjorder. På trods af, at den totale koncentration af N ikke kan sammenlignes med nitrattallet (Nit), skal det nævnes, at Bühler (2012) og Holgersen (1994) angiver, at nitrattallet bør ligge indenfor intervallet 0,050 – 0,150 g NO₃-N/kg. I jorde med et relativt højt indhold af organisk materiale er den totale koncentration af N ofte væsentligt højere end Nit.

Kulstof (C) / kvælstof (N)-forholdet

C/N-forholdet (Tabel 3) er en indikator for, hvor let jordens mikroorganismer har ved at omsætte (mineralisere) jordens organiske stof. Når C/N-forholdet er lavt, gerne under 20, altså med et relativt højt N-indhold, øges den mikrobielle omsætning. C/N-forholdet varierer i denne undersøgelse en del på ØA, mens den er noget mere konstant på CB og i FÆ.

Der er ikke signifikant forskel på C/N-forholdet imellem CB og FÆ. På disse to lokaliteter er der heller ikke signifikant forskel på C/N-forholdet imellem de forskellige dybder. For ØA er situationen en anden, her er C/N-forholdet signifikant højere i de øverste 10 cm, mens det er signifikant lavere i de dybere jordlag sammenlignet med de to andre lokaliteter. Denne forskel

på C/N-forholdet mellem lokaliteterne ses også i analyseresultaterne fra de jordbundsprøver af AllétræsMulden, som blev taget, inden træerne blev plantet (Tabel 2). På ØA er der ikke signifikant forskel på C/N-forholdet i jordbundsprøver taget fra jordlag under 10 cm. Årsagen til denne forskel mellem lokaliteterne stemmer godt overens med, at muldjorden, som er anvendt på ØA, fra starten havde et lidt lavere C/N-forhold på 16,6 i forhold til CB og FÆ, der havde et C/N-forhold på hhv. 21,9 og 22,0.

Forskellen i gløförebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket C/N-forholdet i mulden tydeligt. Tilførslen af formiat har således ikke ændret C/N-forholdet. Der findes ikke anbefalinger til C/N-forholdet, men værdierne er så relativt lave, at man må skønne, at det organiske stof kan omsættes relativt let. C/N-forholdet i jordprøverne fra Krinsen varierer mellem 18,0 og 35,7 med en middelværdi på 23,6. Værdier for Krinsen er således i samme størrelsesorden eller lidt højere end i den foreliggende undersøgelse.

Glødetabet

Variationen i glødetabet følger variationen i C-koncentrationen (Tabel 3). Dette er et generelt mønster, som er observeret ofte. Af samme grund er der ikke foretaget glødetabsbestemmelse på alle prøverne men kun på sammenslåede prøver, og der kan derfor heller ikke laves statistiske tests på data fra glødetabsanalyserne.

Glødetabet er lavest i toppen, lavere for ØA end for CB og FÆ. I dybder under 10 cm er glødetabet relativt konstant og lavere på ØA end på CB og i FÆ.

Forskellen i gløförebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket glødetabet i mulden tydeligt.

Der findes ikke anbefalinger for glødetabet i jord i urbane plantebede. I undersøgelsen af jorden ved Krinsen var glødetabet af samme størrelsesorden og varierede fra 1,18 % op til 3,04 % med en middelværdi på 2,24 %.

Tabel 4. Jordbundsprøvernes koncentration af ekstraherbart P (0,1 M H₂SO₄) og ombytteligt (NH₄NO₃, 1,0 M) K og Ca. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.afv: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Det skal her bemærkes, at P-koncentrationen ikke må forveksles med fosfortallet (Pt).

	P (mg/kg)				K (mg/kg)				Ca (mg/kg)			
	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.
Center Boulevard												
0 - 10 cm	202 ^A	187	207	6,70	79,1	39,9	238,0	70,7	4107	3711	5254	528
10 - 20 cm	199 ^A	196	201	1,69	62,4	43,0	142,0	35,5	4440 ^A	4103	5008	287
20 - 30 cm	199 ^A	198	201	1,07	69,9 ^B	39,6	149,1	36,7	4563 ^A	4240	5184	324
30 - 50 cm	199 ^A	197	201	0,97	79,6 ^B	51,5	151,9	36,0	4599 ^A	4262	5364	379
Fælledparken												
0 - 10 cm	192 ^B	184	197	6,62	69,0	64,2	73,9	4,8	4134	4044	4252	107
10 - 20 cm	194 ^B	191	196	2,75	67,1	60,4	76,7	8,5	4299 ^{AB}	4237	4383	75
20 - 30 cm	195 ^{AB}	193	196	1,84	68,4 ^B	68,1	68,5	0,2	4291 ^{AB}	4262	4314	27
30 - 50 cm	196 ^B	195	196	0,62	73,3 ^B	62,6	89,0	13,9	4307 ^{AB}	4244	4359	58
Øster Allé												
0 - 10 cm	208 ^{A_a}	201	211	3,16	74,9 _b	50,7	109,5	18,8	3951	3663	4182	168
10 - 20 cm	200 ^{A_b}	197	201	1,31	75,2 _b	44,1	104,7	21,6	4013 ^B	3710	4444	250
20 - 30 cm	194 ^{B_c}	184	197	4,20	116 ^{A_a}	84,4	161,8	25,8	3928 ^B	3630	4499	289
30 - 50 cm	196 ^{B_{bc}}	193	198	1,93	122 ^{A_a}	76,9	155,5	28,5	3763 ^B	2689	4334	478

Fosfor (P)

Gennemsnitskoncentrationen af P varierer relativt lidt mellem 192 og 208 mg P/kg, med de højeste koncentrationer i den laveste dybde (0 – 10 cm) på CB og ØA. Koncentrationen af P er signifikant højere på CB og ØA i 0 – 20 cm dybde i forhold til i FÆ. Årsagen til dette kan måske være afslidt dækmateriale fra trafikken på CB og ØA, men det er usikkert. I dybderne 20 – 50 cm er P-koncentrationen ofte signifikant højere på CB sammenlignet med i FÆ og på ØA. På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på P-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA sker der et signifikant fald ned gennem dybderne, med undtagelse af de to laveste dybder der ikke adskiller sig fra hinanden.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket P-koncentrationen i mulden tydeligt. Til sammenligning varierede P-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen betydeligt mere; mellem 156 og 676 mg P/kg med en middelværdi på 340 mg P/kg (Ingerslev et al. 2012). P-koncentrationerne er således i nogle tilfælde noget højere i jorderne ved Krinsen sammenlignet med datamaterialet i det forhåndenværende studie. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt lavere P-koncentrationer på omkrin 148 mg/kg (Pedersen et al, 2001). Holgersen (1994) anbefaler, at fosforsyretallet (Ft) skal ligge mellem 6 og 8 eller højere, hvilket svarer til en P-koncentration på 180 – 240 mg P/kg. Alle de målte P-koncentrationer ligger således inden for det anbefalede interval.

Kalium (K)

I de øverste jordlag (0 – 20 cm) er der ikke signifikant forskel på K-koncentrationen mellem lokaliteterne (Tabel 4). Dybere i jorden (20 – 50 cm) er K-koncentrationen på ØA signifikant højere end ved CB og i FÆ. K-koncentrationen er markant højere i den AllétræsMuld, som blev analyseret på ØA, inden træerne blev plantet, sammenlignet med CB og FÆ (Tabel 2). K-koncentrationen er generelt noget lavere ved de senere analyser, sandsynligvis på grund af, at den AllétræsMuld, som vi analyserede i starten, er blevet blandet mere eller mindre op med anden jord med lavere koncentration ved plantning af træerne, samt at der er sket en udvaskning af K i løbet af forsøgsperioden. På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på K-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA sker der et signifikant fald ved overgangen omkring 20 cm dybde.

Den mængde K, som er blevet tilført om vinteren på ØA, er tilsyneladende blevet udvasket fra de øverste jordlag (0 – 20 cm) til de dybere jordlag, da der ikke er signifikant forskel på K-koncentrationerne i de øverste jordlag. Ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen fandt man, at K-koncentrationen varierede fra 36,6 til 97,3 mg K/kg med en middelværdi på 59,7 mg K/kg (Ingerslev et al. 2012) altså lidt lavere K-koncentrationer end i den foreliggende undersøgelse.

I Holgersen (1994) og Bühler (2012) anbefales det, at kaliumtallet (Kt) skal ligge mellem 7 og 10, hvilket svarer til en K-koncentration på 70 – 100 mg K/kg. Det skal her bemærkes, at Holgersen (1994) og Bühler (2012) i store træk baserer deres anbefalinger på Plantedirektoratets anbefalinger til landbruget, og at anbefalingerne vedrører de øverste 0-20 cm jord. Man kan ikke direkte sammenligne K-koncentrationer baseret på Kt og de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelse af Kt benyttes hhv. 0,5 og 1,0 M ammoniumacetat, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Det er sandsynligt, at ekstraktion med ammoniumacetat giver højere koncentrationer af ombytteligt K, sammenlignet med ekstraktion med ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle indikerer resultaterne, at hovedparten af K-koncentrationerne i jordbundsprøverne fra CB og FÆ samt i 0 – 20 cm på ØA ligger i, under eller i den nederste del af det anbefalede interval, mens K-koncentrationen i dybderne 20 – 50 cm på ØA ligger over det anbefalede interval. De høje K-koncentrationer kan give anledning til ubalanceret planteernæring, hvis optaget af andre næringsstoffer bliver hæmmet (herunder optaget af Ca og Mg).

Calcium (Ca)

Koncentrationen af ombytteligt Ca (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (Tabel 4). Koncentrationen af Ca er signifikant højere på CB end på ØA i dybder under 10 cm, mens de tilsvarende Ca-koncentrationer i FÆ ikke adskiller sig signifikant fra de to andre lokaliteter. På ingen af de undersøgte lokaliteter er der signifikant forskel på Ca-koncentrationerne mellem de forskellige dybder. Ved starten af forsøget var Ca-koncentrationen noget højere i AllétræsMuld'en end ved den senere prøveudtagning. Dette er mest udtalt for FÆ og ØA (Tabel 2). Årsagen er sandsynligvis igen, at den AllétræsMuld, som vi analyserede i starten, er blevet blandet mere eller mindre op med anden jord med en lavere koncentration ved plantning af træerne, samt at der er sket en udvaskning i løbet af forsøgsperioden.

Den forskel, der observeres mellem ØA og CB, kan ikke forklares ved, at der oprindeligt var forskel i Ca-koncentrationerne mellem den plantemuld, der blev benyttet ved tilplantningen på de forskellige lokaliteter (Tabel 2). En forklaring på hvorfor Ca-koncentrationen er faldet, og nu er signifikant lavere på ØA end på CB, er svært at fremkomme med ud fra det forhåndenværende materiale. Det er dog tænkeligt, at den tilførte mængde K med kaliumformiat kan have givet anledning til ionbytning og udvaskning af Ca, men det virker ikke sandsynligt, da den tilførte Na med saltningen på CB også vil have denne effekt, og den ser vi ikke. På lignende vis burde denne effekt også kunne ses på Mg-koncentrationen, og her udebliver den også. Ved undersøgelsen af jorden fra Krinsen fandt man, at Ca-koncentrationen varierede fra 3913 til 4691 mg Ca/kg med en middelværdi på 4309 mg Ca/kg (Ingerslev et al. 2012), altså samme størrelsesorden som i den foreliggende undersøgelse. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt Ca-koncentrationer i samme størrelsesorden, omkring 4265 mg Ca/kg (Pedersen et al, 2001).

I Holgersen (1994) og Bühler (2012) anbefales det, at calciumtallet (Cat) skal ligge mellem 100 og 200, hvilket svarer til en Ca-koncentration på 1000 – 2000 mg Ca/kg. Man kan ikke direkte sammenligne Ca-koncentrationer baseret på Cat, og de koncentrationer som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelse af Cat benyttes 1,0 M ammoniumklorid, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle indikerer resultaterne, at Ca-koncentrationerne i de undersøgte jordprøver fra både CB, FÆ og ØA er bemærkelsesværdige høje, og i visse tilfælde mere end dobbelt så høje som den øverste grænseværdi i anbefalingerne. I naturlige jorde er variationen dog stor og svinger ofte mellem 500 og 5000 mg Ca/kg, og endnu lavere i Vestjylland, helt ned til 20 mg Ca/kg. Alle lokaliteter ligger inden for dette interval.

Tabel 5. Jordbundsprøvernes koncentration ombytteligt (NH_4NO_3 , 1,0 M) Mg, Fe og Mn. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std. afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne indenfor samme lokalitet.

	Mg (mg/kg)				Fe (mg/kg)				Mn (mg/kg)			
	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.
Center Boulevard												
0 - 10 cm	59,7	38,0	138,5	35,7	1,99 ^A	1,40	4,62	1,17	9,32 ^A	6,43	17,92	3,98
10 - 20 cm	76,5	64,9	92,4	8,5	2,33 ^A	1,90	2,92	0,30	9,17 ^A	7,84	11,74	1,34
20 - 30 cm	87,4	76,1	107,3	12,0	2,25 ^A	1,94	2,64	0,24	8,66 ^A	6,96	10,40	1,33
30 - 50 cm	89,0 ^{AB}	72,5	112,7	13,8	2,27 ^A	2,02	2,54	0,18	9,86 ^A	7,49	12,89	1,76
Fælledparken												
0 - 10 cm	61,2	55,2	66,7	5,8	1,17 ^{AB}	0,68	1,91	0,65	11,66 ^A	10,40	13,37	1,53
10 - 20 cm	73,2	63,7	83,5	10,0	1,09 ^B	0,66	1,71	0,55	10,67 ^A	10,17	11,27	0,56
20 - 30 cm	68,0	,1	79,0	9,9	0,88 ^B	0,69	1,12	0,21	10,27 ^A	8,87	11,22	1,24
30 - 50 cm	63,7 ^B	57,0	73,4	8,6	0,93 ^B	0,74	1,19	0,23	11,58 ^A	10,37	12,81	1,22
Øster Allé												
0 - 10 cm	42,9 _c	35,8	47,8	4,3	0,50 ^B	0,20	1,43	0,54	2,62 ^B _b	1,44	3,76	0,80
10 - 20 cm	74,2 _b	54,9	98,0	15,9	1,21 ^B	0,71	2,13	0,48	7,58 ^B _a	5,91	8,52	0,94
20 - 30 cm	92,0 _{ab}	73,8	116,0	15,8	0,97 ^B	0,46	1,83	0,50	6,41 ^B _a	4,27	7,46	1,05
30 - 50 cm	95,4 ^A _a	73,9	124,5	15,5	1,13 ^B	0,58	2,28	0,54	6,91 ^B _a	5,08	8,85	1,35

Magnesium (Mg)

Koncentrationen af Mg er kun signifikant forskellig mellem lokaliteterne i den dybeste af de analyserede jordlag (30 – 50 cm), hvor Mg-koncentrationen er signifikant højere på ØA i forhold til i FÆ, mens CB ikke adskiller sig signifikant fra nogle af de andre lokaliteter (Tabel 5). Denne forskel kan ikke umiddelbart forklares på anden måde, end at plantemulden har været forskellig på de to forskellige lokaliteter. Mg-koncentrationen er da også højere på ØA ved starten af forsøget i forhold til CB og FÆ (Tabel 2). På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på Mg-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA sker der en ofte signifikant stigning i Mg-koncentrationen ned gennem dybden. Til sammenligning ligger Mg-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen mellem 24,7 og 88,5 mg Mg/kg med en middelværdi på 45,0 mg Mg/kg (Ingerslev et al. 2012), altså ofte lavere end i den forhåndenværende undersøgelse. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der til sammenligning målt noget lavere Mg-koncentrationer, omkring 30 mg Mg/kg (Pedersen et al, 2001).

Bühler (2012) og Holgersen (1994) anbefaler, at magnesiumtallet (Mgt) skal ligge mellem 5 og 8, hvilket svarer til en Mg-koncentration på 50 – 80 mg Mg/kg. Man kan igen ikke direkte sammenligne Mg-koncentrationer baseret på Mgt med de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Som ved Kt bestemmes Mgt ved at benytte hhv. 0,5 og 1,0 M ammoniumacetat, mens der i dette

studie benyttes ammoniumnitrat. Det er sandsynligt, at ekstraktion med ammoniumacetat giver højere koncentrationer af ombytteligt Mg sammenlignet med ekstraktion med ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle indikerer resultaterne, at langt hovedparten af Mg-koncentrationerne i prøverne fra CB, FÆ og ØA ligger indenfor eller over det anbefalede interval.

Jern (Fe)

Koncentrationen af Fe er signifikant højere på CB end på ØA og i FÆ i alle dybder, med undtagelse af 0 – 10 cm hvor der ikke er forskel mellem CB og FÆ (Tabel 5). Disse forskelle kan ikke umiddelbart forklares ved anvendelse af forskellige tømidler. På ingen af de undersøgte lokaliteter er der signifikant forskel på Fe-koncentrationerne mellem de forskellige dybder. Ved undersøgelsen af jorden fra Krinsen fandt man, at Fe-koncentrationen varierede fra <0,25 til 0,98 mg Fe/kg med en middelværdi på 0,545 mg Fe/kg (Ingerslev et al. 2012), altså noget lavere eller i samme størrelsesorden som det der er målt i den foreliggende undersøgelse.

Bühler (2012) skriver, at man på planteskolerne tilstræber en Fe-koncentration på 2 – 6 mg Fe/kg. Alle jordprøverne fra CB, FÆ og ØA ligger under eller i den nederste del af dette interval.

Mangan (Mn)

Koncentrationen af Mn er signifikant lavere i alle dybder på ØA i forhold til på CB og i FÆ (Tabel 5). Disse forskelle kan ikke umiddelbart forklares ved anvendelse af forskellige tømidler. På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på Mn-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA sker der en signifikant stigning i Mn-koncentrationen ved overgangen fra 0 – 10 cm til dybere jorder. Ved undersøgelsen af jorden fra Krinsen fandt man, at Mn-koncentrationen varierede fra 2,37 op til 10,81 mg Mn/kg med en middelværdi på 5,22 mg Mn/kg (Ingerslev et al. 2012), altså ofte lidt under det som er observeret i den foreliggende undersøgelse. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt Mn-koncentrationer i samme størrelsesorden eller lidt højere, mellem 9 og 21 mg Mn/kg (Pedersen et al, 2001).

Bühler (2012) anbefaler, at mangantallet (Mnt) skal ligge mellem 2 og 5 hvilket svarer til en Mn-koncentration på 10 – 25 mg Mn/kg. Man kan igen ikke direkte sammenligne Mn-koncentrationer baseret på Mnt med de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelsen af Mnt benyttes 0,5 M magnesiumnitrat, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Det er sandsynligt, at ekstraktion med ammoniumnitrat giver lavere koncentrationer af ombytteligt Mn sammenlignet med ekstraktion med magnesiumnitrat. Med forbehold for disse forskelle viser resultaterne, at prøverne fra CB, ØA og FÆ ligger under eller i den nederste del af det anbefalede interval for Mn-koncentrationen.

Tabel 6. Jordbundsprøvernes koncentration af vand-ekstraherbart Na og Cl. ESP angiver den udbyttelige andel af Na i forhold til koncentrationen af udbytteligt Ca, Mg, K og Na tilsammen (exchangeable sodium percentage). ESP anvendes til at angive saltpåvirkningen af en given jord. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne indenfor samme lokalitet.

	Na (mg/kg)				Cl (mg/kg)				ESP (%)			
	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.
Center Boulevard												
0 - 10 cm	36,8 ^A	19,2	66,2	18,2	10,3	10,31	10,31	-	0,73 ^{ab}	0,41	1,04	0,21
10 - 20 cm	68,4 ^A	10,5	100,1	34,0	36,7	16,64	71,36	21,05	0,75 ^A _{ab}	0,67	0,86	0,07
20 - 30 cm	64,5 ^A	13,2	118,4	37,1	44,1	2,96	82,36	29,13	0,39 ^B _b	0,06	0,93	0,30
30 - 50 cm	48,5	10,8	99,1	31,1	29,9	9,40	64,72	22,11	1,04 ^B _a	0,47	1,5	0,38
Fælledparken												
0 - 10 cm	22,3 ^{AB}	19,1	24,8	2,9	23,4	6,77	39,99	23,49	0,54 _b	0,42	0,63	0,11
10 - 20 cm	32,4 ^{AB}	27,4	36,3	4,6	17,2	9,76	27,05	8,89	0,72 ^A _b	0,65	0,77	0,06
20 - 30 cm	29,5 ^{AB}	26,3	34,9	4,7	21,1	15,89	25,88	5,01	1,03 ^{AB} _b	0,45	1,76	0,67
30 - 50 cm	26,2	24,9	27,0	1,2	18,8	16,13	23,40	3,99	2,12 ^A _a	1,92	2,46	0,30
Øster Allé												
0 - 10 cm	16,4 ^B _b	11,5	21,9	4,0	< 0,13	< 0,13	< 0,13	-	0,67 _{ab}	0,50	0,86	0,13
10 - 20 cm	22,2 ^B _a	19,7	25,4	2,4	4,0	< 0,13	7,60	3,82	0,54 ^B _b	0,37	0,71	0,11
20 - 30 cm	26,5 ^B _a	23,1	37,8	4,8	8,1	0,76	20,61	7,10	1,10 ^A _a	0,62	1,47	0,33
30 - 50 cm	25,8 _a	19,8	32,4	4,7	8,6	2,52	12,87	4,49	0,97 ^B _{ab}	0,39	1,64	0,57

Natrium (Na) og klorid (Cl)

Koncentrationen af Na varierer betydeligt i alle dybder på CB, mens variationen er noget mindre på ØA og i FÆ (Tabel 6). Koncentrationen af Na er signifikant højere i dybderne 0 – 30 cm på CB sammenlignet med ØA, mens der ikke er nogen signifikant forskel i Na-koncentrationen mellem FÆ og de øvrige lokaliteter i disse dybder. På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på Na-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA sker der en ofte signifikant stigning i Na-koncentrationen ved overgangen fra 0 – 10 cm dybde til dybere jordlag.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende påvirket koncentrationen af vand-ekstraherbart Na. I de undersøgte dybder fra 10 – 30 cm på CB har anvendelse af traditionelt salt hævet Na-koncentrationen signifikant i forhold til ØA. Den mængde Na, som er blevet tilført om vinteren på CB, er tilsyneladende ikke blevet udvasket fra de øverste jordlag. Selvom koncentrationen af Na i dybden 30 – 50 cm også er højere på CB end på ØA er der dog ikke statistisk signifikant forskel her (tabel 6). Ud fra disse tal kan man karakterisere den nye jord i bedene på ØA og i FÆ som ”meget svagt saltbelastede” mens den nye jord på CB under 10 cm kan karakteriseres som værende ”svagt saltbelastet”. Til sammenligning har Krinsen aldrig fået traditionelt vejsalt og her ligger Na-koncentrationen i jorden mellem 6,2 og 103,1 mg Na/kg med en middelværdi på 35,6 mg Na/kg (Ingerslev et al. 2012), altså i samme størrelsesorden, som i den

forhåndenværende undersøgelse. Ved en undersøgelse af en lang række bytræssteder, ved veje der bliver saltet, er der til sammenligning målt markant højere koncentrationer med gennemsnit på 330 mg Na/kg og 100 mg Cl/kg (Pedersen 2003 og 2004 samt Pedersen et al, 2000a, 2000b, 2000c, 2001a, 2001b, 2003 og 2004).

Koncentrationen af vand-ekstraherbart Cl er målt og resultaterne fremgår af Tabel 6. I en del tilfælde har koncentrationen af Cl været så lav, at den har været under detektionsgrænsen, hvorfor der ikke er udført statistik på disse data. Tallene peger på, at anvendelsen af forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter har medført, at Cl-Koncentrationen på CB i alle dybder under 10 cm er højere end på ØA og i FÆ. Al den tilførte Cl med traditionelt salt er tilsyneladende ikke blevet udvasket fra saltningsperioden frem til oktober, hvor jordprøverne blev taget.

Til sammenligning har Krinsen aldrig fået traditionelt vejsalt, og her ligger koncentrationen af vand-ekstraherbart Cl i jorden fra under detektionsgrænsen (1,3 mg Cl/kg) til 44,3 mg Cl/kg med en middelværdi på 9,66 mg Cl/kg (Ingerslev et al. 2012), altså i samme størrelsesorden som det vi observerer på de lokaliteter, der er undersøgt her.

Det skal her nævnes, at de jordbundsanalyser, der blev foretaget inden selve tilplantningen, viste, at der er stor forskel på den omgivende råjord mellem ØA og de øvrige to lokaliteter. Koncentrationen af vand-ekstraherbart Na og Cl i jordbundsprøver fra bunden af jordbundshullerne på ØA varierede mellem hhv. 460 - 560 mg Na/kg og 131 - 238 mg Cl/kg, mens de tilsvarende koncentrationer varierede mellem hhv. 21 - 47 mg Na/kg og 9 - 29 mg Cl/kg på de to andre lokaliteter. Denne forskel må antages at være forårsaget af rigtig mange års saltning på ØA. Råjorden på ØA kan ud fra disse tal karakteriseres som værende "stærkt saltbelastet". Disse tal peger også på, at det kan være formålstjenstligt at bortgrave en betydelig mængde jord, når man skal plante ved vejstrækninger, der har fået vejsalt i mange år. Også for AllétræsMuld'en adskiller ØA sig fra de to andre lokaliteter i starten af forsøget ved at have højere koncentrationer af vand-ekstraherbart Na og Cl (Tabel 2).

ESP er et godt udtryk for, hvor saltbelastet en jord er, da den angiver andelen af Na i forhold til hovedparten af ionbytterkompleksets størrelse i procent. Ud fra en vurdering, der alene baserer sig på ESP, må man sige, at værdierne er meget små, og alle de analyserede jorde kan klassificeres som værende ikke saltbelastede jf. klassificeringen fra UNSW (2013). Også ESP er højere i AllétræsMuld'en og specielt i råjorden ved starten af forsøget på ØA sammenlignet med CB og FÆ (Tabel 2).

Tabel 7. Gennemsnitlige værdier for pH(CaCl₂), pH(H₂O) og kationbytterkapaciteten (CEC) Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver angiver signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne indenfor samme lokalitet.

	pH (CaCl ₂)				pH (H ₂ O)				CEC (meq/kg)			
	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.	Gns.	Min	Max	Std. afv.
Center Boulevard												
0 - 10 cm	7,33	7,12	7,43	0,102	8,07 ^A	7,49	8,27	0,268	223 ^A	213	229	4,9
10 - 20 cm	7,33	7,27	7,37	0,040	7,95 ^A	7,83	8,02	0,068	203 ^{AB}	193	210	6,0
20 - 30 cm	7,35 ^A	7,31	7,48	0,058	7,96 ^A	7,93	8,05	0,043	214	148	240	30,7
30 - 50 cm	7,34 ^A	7,24	7,48	0,073	7,95 ^A	7,90	8,02	0,039	218 ^B	194	229	12,7
Fælledparken												
0 - 10 cm	7,18	7,12	7,25	0,065	7,66 ^B	7,37	7,89	0,265	220 ^{AB}	211	228	8,8
10 - 20 cm	7,22	7,11	7,28	0,095	7,77 ^B	7,64	7,85	0,110	208 ^A	203	214	5,3
20 - 30 cm	7,21 ^B	7,14	7,25	0,066	7,79 ^{AB}	7,71	7,85	0,074	225	210	235	13,4
30 - 50 cm	7,25 ^{AB}	7,22	7,26	0,024	7,83 ^B	7,80	7,85	0,025	237 ^{AB}	217	251	18,1
Øster Allé												
0 - 10 cm	7,33	6,84	7,47	0,207	8,32 ^{A_a}	8,02	8,42	0,126	211 ^{B_{bc}}	203	222	7,2
10 - 20 cm	7,28	7,15	7,36	0,065	7,98 ^{A_b}	7,87	8,03	0,052	196 ^{B_c}	188	203	5,2
20 - 30 cm	7,21 ^B	7,16	7,29	0,048	7,77 ^{B_c}	7,37	7,90	0,168	223 _b	191	238	17,5
30 - 50 cm	7,19 ^B	7,03	7,26	0,087	7,83 ^{B_{bc}}	7,71	7,93	0,077	257 ^{A_a}	215	283	23,8

pH

pH(CaCl₂) er signifikant højere på CB end på ØA og i FÆ i dybder under 20 cm, med undtagelse af dybden 20 – 30 cm hvor der ikke er signifikant forskel på CB og FÆ i nogen dybder (Tabel 7). Dette er næppe en effekt af forskellene i de anvendte tømidler, da det ofte kræver langvarig behandling med kemikalier at ændre pH(CaCl₂) i disse dybder, og hvis det havde været tilfældet, burde dette også kunne ses tydeligt på de øvre jordlag. Til gengæld blev der observeret forskelle i pH(CaCl₂) i plantemulden inden tilplantning, som kan forklare forskellen mellem CB og ØA, da pH(CaCl₂) på disse lokaliteter var hhv. 7,4 og 7,2 inden tilplantningen. Til sammenligning ligger værdierne for pH(CaCl₂) ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen i samme størrelsesorden fra 6,8 til 7,5 med en middelværdi på 7,3 (Ingerslev et al. 2012). pH(CaCl₂) hænger sammen med reaktionstallet (Rt) ved følgende ligning:

$$Rt = \text{pH}(\text{CaCl}_2) + 0,5$$

I ”Normer og Vejledning for Anlægsgartnerarbejde 2010” står der, at Rt for muld bør ligge indenfor intervallet 5,8-7,0, svarende til en pH(CaCl₂) på 5,3-6,5. Det er bemærkelsesværdigt, at de målte pH(CaCl₂)-værdier i denne undersøgelse alle er væsentlig højere end det anbefalede interval. Solum angiver et Rt=8 for ”Svær SuperMuld”, hvilket svarer til en pH(CaCl₂)-værdi på 7,5, som er 1,0 enhed over det anbefalede interval. Den værdi, som Solum

opgiver, er lidt højere, end det vi måler i denne undersøgelse. pH-værdien påvirker næringsstofferne plantetilgængelighed, og ved de aktuelle pH-værdier er det specielt plantetilgængeligheden af Mn og P, som må forventes at være kritisk. I undersøgelsen af jorden ved Krinsen blev der målt Mn-koncentrationer i bladprøver, som indikerede problematisk ”Mn-mangel”. Løvanalyserne for CB, ØA og FÆ er gennemgået i nedenstående, og de viser ikke kritisk lave værdier, som ved undersøgelsen af løvprøverne fra Krinsen.

pH(H₂O) viser også højere værdier for CB. Disse resultater, sammenholdt med den høje Ca-koncentration, kunne tyde på, at jorden indeholder kalk, som giver den relativt høje pH.

Kationbytterkapaciteten (CEC)

CEC er signifikant højere på CB i dybden 0 – 10 cm sammenlignet med ØA, mens FÆ ikke adskiller sig signifikant fra de to andre lokaliteter i denne dybde (Tabel 7). CEC er signifikant højere i FÆ i dybden 10 – 20 cm sammenlignet med ØA, mens CB ikke adskiller sig signifikant fra de to andre lokaliteter i denne dybde. Til gengæld er CEC signifikant højere på ØA i dybden 30 – 50 cm sammenlignet med CB, mens FÆ ikke adskiller sig signifikant fra de to andre lokaliteter i denne dybde. Disse forskelle kan ikke umiddelbart tilskrives hverken anvendelsen af forskellige tømidler eller muld på de tre lokaliteter. En af årsagerne til, at ØA har en højere CEC sammenlignet med CB og FÆ, kan være, at råjorden på ØA fra starten havde en højere CEC. På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på CEC mellem de forskellige dybder, men ved ØA er der små, men signifikante, forskelle mellem CEC i de forskellige dybder.

Til sammenligning ligger værdierne for CEC ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen i samme størrelsesorden: fra 200 op til 243 meq/kg med en middelværdi på 222 meq/kg (Ingerslev et al. 2012). Solum angiver ikke tal for CEC, hvilket heller ikke er tilfældet i SAB'en for anlæggelsen af Øster Allé (Særlige Arbejdsbeskrivelser).

Konklusioner

Resultaterne fra undersøgelsen af AllétræsMuld-prøvernes tekstur viser, at der er forskel på den AllétræsMuld, der er anvendt på de forskellige lokaliteter, især er der en højere andel af finsand og mindre andel grovsand på ØA end på de to andre lokaliteter. Desuden er der mindre humus på CB, sammenlignet med mulden på ØA og i FÆ, samt flere sten i FÆ sammenlignet med på ØA og CB. Når man sammenligner teksturfordelingen i råjorden i bunden af plantebedene fra de forskellige lokaliteter, er der tydelig forskel på jorderne. På CB er råjorden domineret af grove partikler, især grovsand, mens råjorden på ØA har et betydeligt indhold af ler og silt og dermed en dårligere dræningsgrad. Ikke overraskende ligner teksturfordelingen i råjorden i FÆ, den vi finder på ØA, dog med et lidt mindre indhold af ler og silt.

Hvis vi havde forventet, at forskellen i anvendte tømidler ville have påvirket densiteten, så ville vi have forventet, at jorden på CB ville få en højere densitet end jorden på ØA og i FÆ på grund af saltpåvirkningen. Det omvendte er konstateret, og forskellen i anvendte tømidler er næppe årsagen. Jorden på CB er ofte signifikant mindre komprimeret end jorden på ØA og i FÆ. Disse forskelle skyldes sandsynligvis færdsel på jorden tæt ved træerne på ØA og i FÆ, mens der ikke er samme færdsel på jorden ved træerne på CB, da det er en midterrabat. I den tre-års forsøgsperiode kan det således ikke bekræftes, at salt skulle have en komprimerende effekt på jorden.

Anvendelsen af tømiddel på de forskellige lokaliteter har tilsyneladende hverken påvirket den totale koncentration af C, N, C/N-forholdet eller koncentrationen af svovlsyreopløseligt P i mulden.

Resultaterne peger på, at forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har påvirket K-koncentrationen. Denne påvirkning overskygges af, at koncentrationen i dybder fra 20 – 50 cm på ØA allerede indeholder betydelige mængder K ved starten af forsøget. Den mængde K, som er blevet tilført om vinteren på ØA, er tilsyneladende blevet udvasket fra de øverste jordlag (0 – 20 cm) til de dybere jordlag, så der ikke observeres signifikante forskelle mellem lokaliteterne i de øverste jordlag, hvor gruset er dårligt til at holde på ionerne.

Resultaterne peger også på, at forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har påvirket koncentrationen af Na. I de undersøgte dybder fra 10 – 30 cm på CB har anvendelsen af salt hævet Na-koncentrationen signifikant i forhold til på ØA. Den mængde Na, som er blevet tilført om vinteren på CB, er tilsyneladende ikke blevet helt udvasket fra de øverste jordlag. Selvom koncentrationen af Na i dybden 30 – 50 cm også er højere på CB end på ØA, er der dog ikke statistisk signifikant forskel her. Ud fra disse tal kan man karakterisere jorden på ØA og i FÆ som ”meget svagt saltbelastede”, mens jorden på CB under 10 cm kan karakteriseres som værende ”svagt saltbelastet”

Ca-koncentrationen er signifikant højere i de dybere jordlag (under 10 cm) på CB i forhold ØA og grunden til denne forskel kendes ikke. Selvom der er observeret forskelle i koncentrationerne af ombytteligt Mg, Fe og Mn mellem lokaliteterne, så antages det, at disse forskelle ikke stammer fra anvendelsen af forskellige tømidler.

Resultaterne peger på, at anvendelsen af forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter har medført, at Cl-koncentrationen på CB i alle dybder under 10 cm er højere end på ØA og i FÆ. Hele den tilførte mængde Cl med salt er tilsyneladende ikke blevet udvasket fra saltningsperioden frem til oktober, hvor jordbundsprøverne blev taget.

De jordbundsanalyser, der blev foretaget inden selve tilplantningen, viste, at der er stor forskel på den omgivende råjord mellem ØA og de øvrige to lokaliteter. Koncentrationen af vand-ekstraherbart Na og Cl i jordbundsprøver fra bunden af jordbundshullerne på ØA varierede mellem hhv. 460 - 560 mg Na/kg og 131 - 238 mg Cl/kg, mens de tilsvarende koncentrationer varierede mellem hhv. 21 - 47 mg Na/kg og 9 - 29 mg Cl/kg på de to andre lokaliteter. Denne forskel må antages at være forårsaget af mange års saltning på ØA. Råjorden på ØA kan, ud fra disse tal, karakteriseres som værende "stærkt saltbelastet". Disse tal peger også på, at det kan være formålstjenstligt at bortgrave en betydelig mængde jord, når man skal plante ved vejstrækninger, der har fået vejsalt i mange år. Overordnet skal det bemærkes, at den generelt lavere densitet, som blev observeret på CB i forhold til FÆ og ØA, betyder, at der på jordvolumenbasis er færre næringsstoffer på CB i forhold til de to andre lokaliteter.



Billede: Installation af måleudstyr på ØA. (Mads Madsen Krag)

Vand

Vandkemi

Der blev månedligt udtaget jordvandsprøver fra de bede, der indgik i denne del af forsøget (fire træbede på ØA, fire træbede på CB og to træbede i FÆ). Ved hjælp af et kontinuert vakuum blev jordvæsken suget fra jorden ind igennem porøse sugekopper (Prenart, teflonkopper). Prøver blev udtaget fra hhv. 40 cm's dybde (5 sugekopper/træ) og 75 cm's dybde (3 sugekopper/træ). Jordvandet blev herefter suget fra sugekopperne til opbevaringsflasker via inerte teflonslanger. For at undgå for store temperatursvingninger, samt direkte sollys og vandalisme, blev slangerne gravet ned i jorden, og opbevaringsflaskerne blev opbevaret i nedgravede låste kasser.



Billede: Bærelag, belægning og vækstmedium nyetableres på ØA. (Mads Madsen Krag)

Jordvandsprøverne blev analyseret for ledningsevne (Radiometer CDM210), pH (Radiometer VIT90), koncentrationen af formiat, Cl, NO₃-N og SO₄-S vha. HPLC (Shimadzu, LC-10AD og CDD-10A), koncentrationen af P vha. FIA (Perkin Elmer, UV/VIS spectrometer, Lambda 2), koncentrationen af P, K, Ca, Mg, Fe, Mn og Na vha. ICP-OES (Perkin Elmer Optima 3000 XL) samt koncentrationen af totalt N og opløst C (Shimadzu, TOC-V cph og TNM-1). Resultaterne af analyserne fremgår af Figur 7 og 14.

Generelt er ledningsevnen ret høj på ØA i 75 cm's dybde sammenlignet med de øvrige lokaliteter. Ledningsevnen i FÆ er for begge dybder typisk noget lavere end på CB og ØA. Den høje ledningsevne på ØA skyldes høje koncentrationer af bl.a. Mg, K og medfølgende anioner som bikarbonat og nitrat, samt Na inden for den første halvdel af projektperioden. Selvom koncentrationerne af P, Fe og Mn ofte er højere på ØA sammenlignet med på CB og i FÆ, er de

alligevel så små, at de ikke spiller nogen kvantitativ rolle for ledningsevnen. På alle tre lokaliteter er ledningsevnen høj i starten af perioden efter plantning i den nye jord, hvorefter ledningsevnen falder med tiden. Det samme overordnede mønster med høje koncentrationer i starten af projektperioden, som så falder med tiden, ses på alle lokaliteter for koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, P, K, Mg, Fe og Mn. På ØA er der en tendens til et tilsvarende tidsforløb for koncentrationen af Na og Cl. Tidsforløbet af koncentrationen af Ca ser ud til at være relativt upåvirket af etableringen i begyndelsen af projektperioden.

Umiddelbart efter etableringsfasen ses særligt høje koncentrationer af $\text{NO}_3\text{-N}$ og Total N på CB og i FÆ, hvilket kunne pege på, at der sker en hurtigere udvaskning af N fra de øverste 10 cm jord, som indeholder signifikant mere N på CB og i FÆ jf. Tabel 3. Forskelle i de øvrige jordlags koncentration af N kan ikke forklare disse forskelle. Frem til juni 2011 observeres koncentrationer af N, som overskrider drikkevandskravet på 11,3 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$. Herefter ligger alle målte koncentrationer under denne grænseværdi. $\text{NH}_4\text{-N}$ -koncentrationen er under 1,5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ igennem hele undersøgelsen (ikke vist her). I andre tilsvarende danske undersøgelser af vejsalts påvirkning af jordvandskemi (Pedersen et al 1999, 2000a, 2000c) har man fundet, at $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrationerne ofte er lavere, end hvad vi finder i starten af projektperioden i den forhåndenværende undersøgelse. Pedersen et al. (1999, 2000a, 2000c) finder at, $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrationerne ofte er under 10 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$, med én undtagelse, hvor enkelte målinger af jordvandet fra midterrabatten på Kongevejen i Holte i en kort periode kom op omkring 20 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ (Pedersen et al., 2000a). I den sidste del af projektperioden falder $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrationen på CB, FÆ og ØA, så disse koncentrationer kommer i samme størrelsesorden som det fundne i de øvrige undersøgelser. Koncentrationen af P er generelt højere på ØA i forhold til de to andre lokaliteter og i forhold til de øvrige danske undersøgelser beskrevet af Pedersen et al (1999, 2000a, 2000c). Dette kan ikke forklares ud fra forskelle i koncentrationen af P i jorden. En del af P-koncentrationerne i jordvandet på ØA er over grænsen for drikkevand på 0,15 mg P/l. På de andre to lokaliteter er P-koncentrationerne af samme størrelsesorden, som det der er angivet i andre sammenlignelige danske undersøgelser beskrevet af Pedersen et al (1999, 2000a, 2000c), ofte under 0,6 mg P/l.

Koncentrationen af K er tydeligvis højere på ØA sammenlignet med CB og FÆ og i forhold til de øvrige danske undersøgelser beskrevet af Pedersen et al (1999, 2000a, 2000c). I sidstnævnte undersøgelser er P-koncentrationen ofte under 10 mg P/l med én undtagelse, hvor målinger af jordvandet fra midterrabatten på Kongevejen i Holte kom op omkring 20 mg K/l (Pedersen et al., 2000a). Dette er i særdeleshed en effekt af, at jord på ØA fra starten indeholdt mere K end på CB og FÆ (Tabel 2). Anvendelsen af kaliumformiat på ØA medvirker til de højere K-koncentrationer på dette sted, dog på et lavere niveau i 2009/2010 (Figur 9). På trods af, at der tilføres kaliumformiat til ØA i

alle vintrene, er koncentrationen af K generelt faldende på ØA både i 40 og 75 cm's dybde som en overordnet trend i hele perioden. Dette peger på, at tilførslen af K med kaliumformiat ikke er bestemmende for størrelsesordenen af K-koncentrationen i begyndelsen af projektperioden sammenlignet med den udvaskning, der sker fra den relativt K-holdige jord i det nyetablerede plantebed. På de andre to lokaliteter er K-koncentrationerne af samme størrelsesorden, som det der er angivet i andre sammenlignelige danske undersøgelser beskrevet af Pedersen et al (1999, 2000a, 2000c), ofte under 50 mg K/l.

Koncentrationerne af Ca er lavere på ØA end på CB, og koncentrationen af Ca i FÆ ligger ofte imellem de to andre lokaliteter. Disse forhold afspejler koncentrationerne af Ca i jordbunden. På CB, FÆ og ØA ligger Ca-koncentrationerne ofte over de tilsvarende Ca-koncentrationer, som er angivet i andre sammenlignelige danske undersøgelser beskrevet af Pedersen et al (1999, 2000a, 2000c), ofte under 50 mg K/l. Sidstnævnte ligger ofte under 100 mg Ca/l.

For Mg er koncentrationen oftest højest på ØA og lavest i FÆ, mens Mg-koncentrationen på CB ligger imellem de to andre lokaliteter. Disse forhold afspejler også Mg-koncentrationerne i jordbunden under 20 cm, selvom forskellene i jordanalyserne her ikke er signifikante. På CB, FÆ og ØA ligger Mg-koncentrationerne ofte over det, der er observeret i de øvrige danske undersøgelser beskrevet af Pedersen et al (1999, 2000a, 2000c). I sidstnævnte undersøgelser er Mg-koncentrationen ofte under 6 mg Mg/l med én undtagelse, hvor målinger af jordvandet fra midterrabbatten på Kongevejen i Holte kom op omkring 15 mg Mg/l (Pedersen et al., 2000a).

På CB er koncentrationen af Na og Cl i jordvandet stigende igennem hele perioden, hvilket er en tydelig effekt af vejsaltningen. Koncentrationen af Na på ØA er høj i starten af undersøgelsen, men falder hen gennem perioden. Dette er mest udtalt i 75 cm's dybde, men i 40 cm's dybde er koncentrationen på ØA også højere i starten af undersøgelsen sammenlignet med på CB og i FÆ. Dette kan sandsynligvis skyldes, at den omgivende råjord har en markant høj koncentration af Na og Cl (Tabel 2), som diffunderer og transporteres mere eller mindre sideværts i den lerede råjord.

Den tydelige trend i koncentrationsforøgelsen af både Cl og Na er foruroligende. Allerede efter tre år opbygges koncentrationer, som er langt større, end hvad der ses i naturen, og som ligner de koncentrationer, der er fundet i andre undersøgelser af vejtræer i byer, hvor der anvendes traditionelt vejsalt (Pedersen et al. 2000a og c samt 2001). De højeste koncentrationer, der er fundet i byjorde, er i samme størrelsesorden som indholdet i Østersøvand. I starten af perioden observeres enkelte jordvandsprøver med høje koncentrationer af formiat, hvorefter koncentrationen forbliver meget lav, oftest under detektionsgrænsen på 0,1 mg formiat/l. Dette kunne tyde på, at

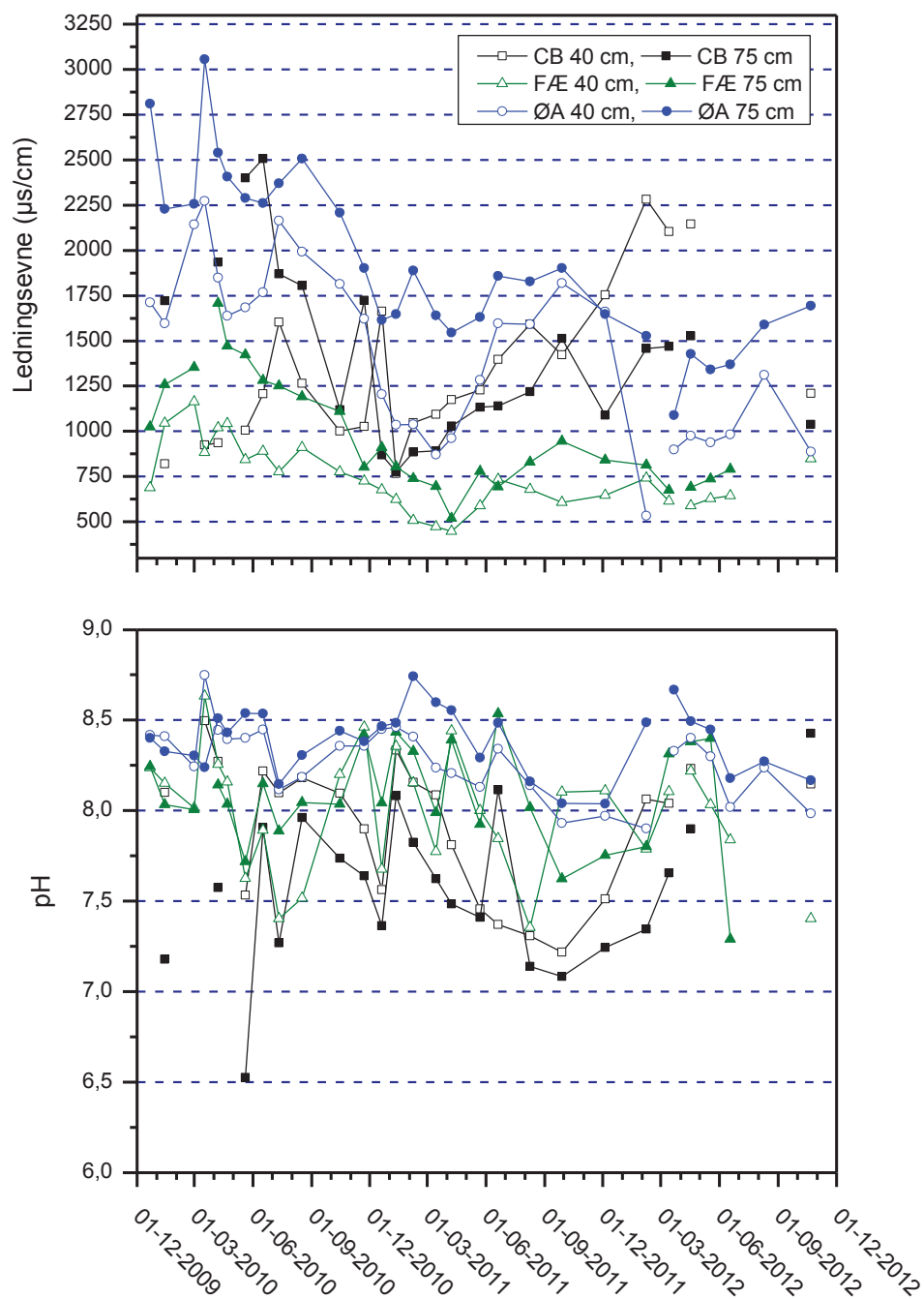
de mikroorganismer, som omsætter formiat, har fået en populationsstørrelse, som kan omsætte hovedparten af det tilførte formiat. Det er ikke kun på ØA, at der kan måles formiat i jordvandet, det ses også på de to andre lokaliteter.

Mængden af litteratur, som omhandler miljøeffekterne af brugen af kaliumformiat, er begrænset, men den litteratur, som eksisterer, peger på, at effekterne er begrænsede, og at formiat nedbrydes i miljøet relativt hurtigt uden uacceptabelt iltforbrug. Hellstén et al. (2005a og 2005b) fandt, at efter anvendelsen af kaliumformiat på en hovedvej i Finland i 3 år, blev der ikke fundet rester af hverken formiat eller K i grundvandet. Undersøgelsen pegede også på, at formiat blev biologisk nedbrudt af bakterier selv ved temperaturer tæt på 0°C gennem en betydelig aerobisk og anaerobisk nedbrydning. Nedbrydningen var størst, når indholdet af organisk stof var højt (>5 %). Fay (2012) sammenfatter litteraturens viden om de alternative tømiddels effekt på miljøet i et review, men med hensyn til kaliumformiat, så bibringer dette review ikke noget nyt i forhold til de nævnte finske undersøgelser.

Koncentrationen af opløst organisk kulstof (DOC: dissolved organic carbon) er højest på ØA sammenlignet med på CB og i FÆ. Denne koncentration er faldende igennem perioden, men faldet er ikke så markant som for formiat. Dette skyldes antageligt, at DOC er et samlet udtryk for mange forskellige organiske forbindelser, og at koncentrationen af disse stoffer er størst i perioden efter etablering af træerne og faldende herefter.



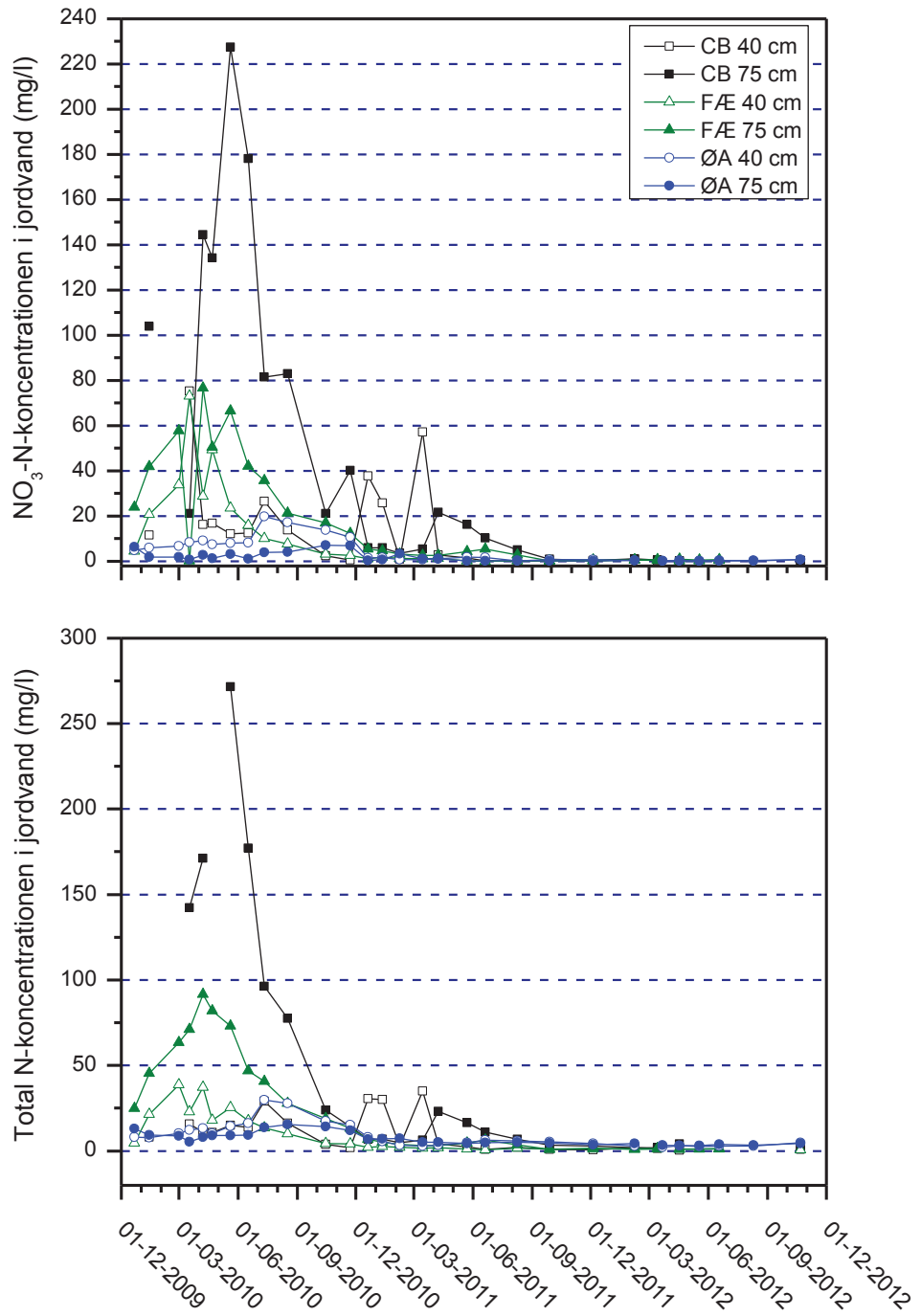
Billede: På ØA ved Stadion blev plantebedene hegnet. (Simon Skov)



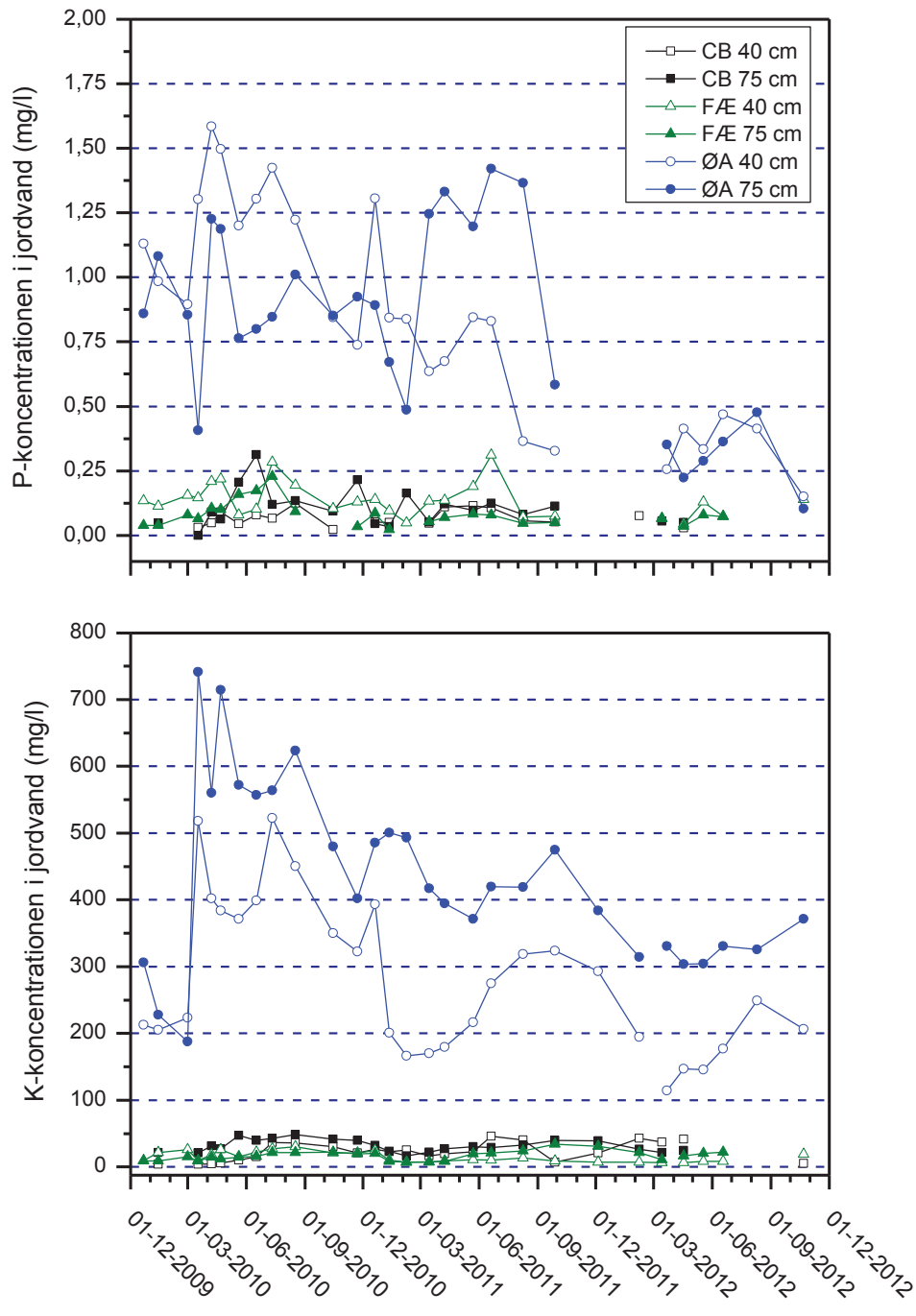
Figur 7. Ledningsevnen og pH i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.

Tabel 8. Gennemsnitskoncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na, Cl, formiat, DOC (opløst organisk kulstof) og $\text{SO}_4\text{-S}$ i jordvandet i hele forsøgsperioden fra 01-12-2009 til 22-10-2012.

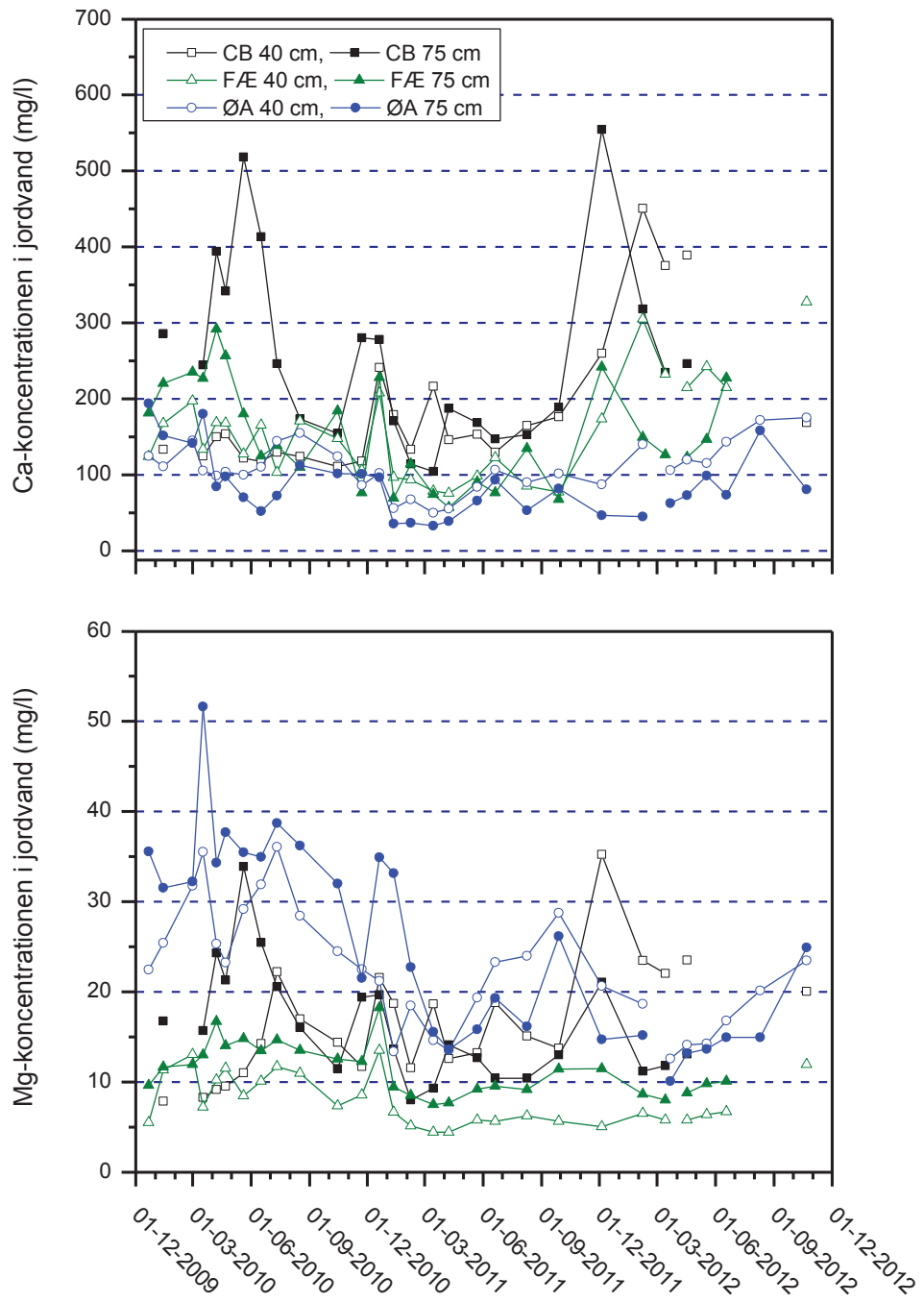
	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	Total N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	FORMIAT (mg/l)	DOC (mg/l)	SO_4S (mg/l)
CB	26,7	24,8	0,0689	26,3	200	15,5	0,0236	0,0121	57,8	189	4,78	25,9	25,6
FP	15,1	17,0	0,0955	15,5	153	9,70	0,0250	0,0102	23,8	37,0	5,28	18,9	12,7
ØA	3,39	7,85	0,873	325	98,6	23,8	0,0696	0,143	62,6	45,4	26,6	71,1	14,7



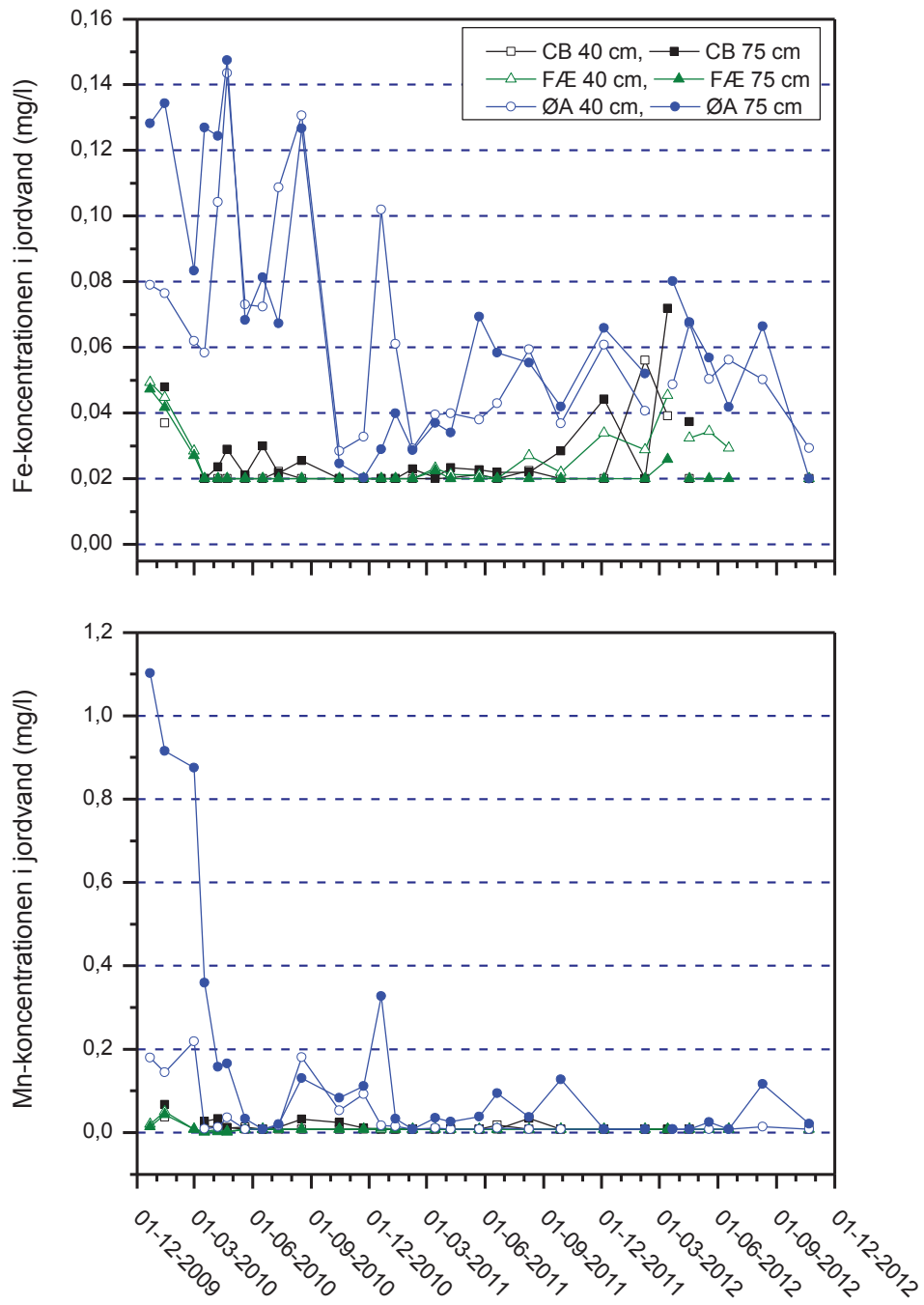
Figur 8. Koncentrationen af NO₃-N og Total N i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



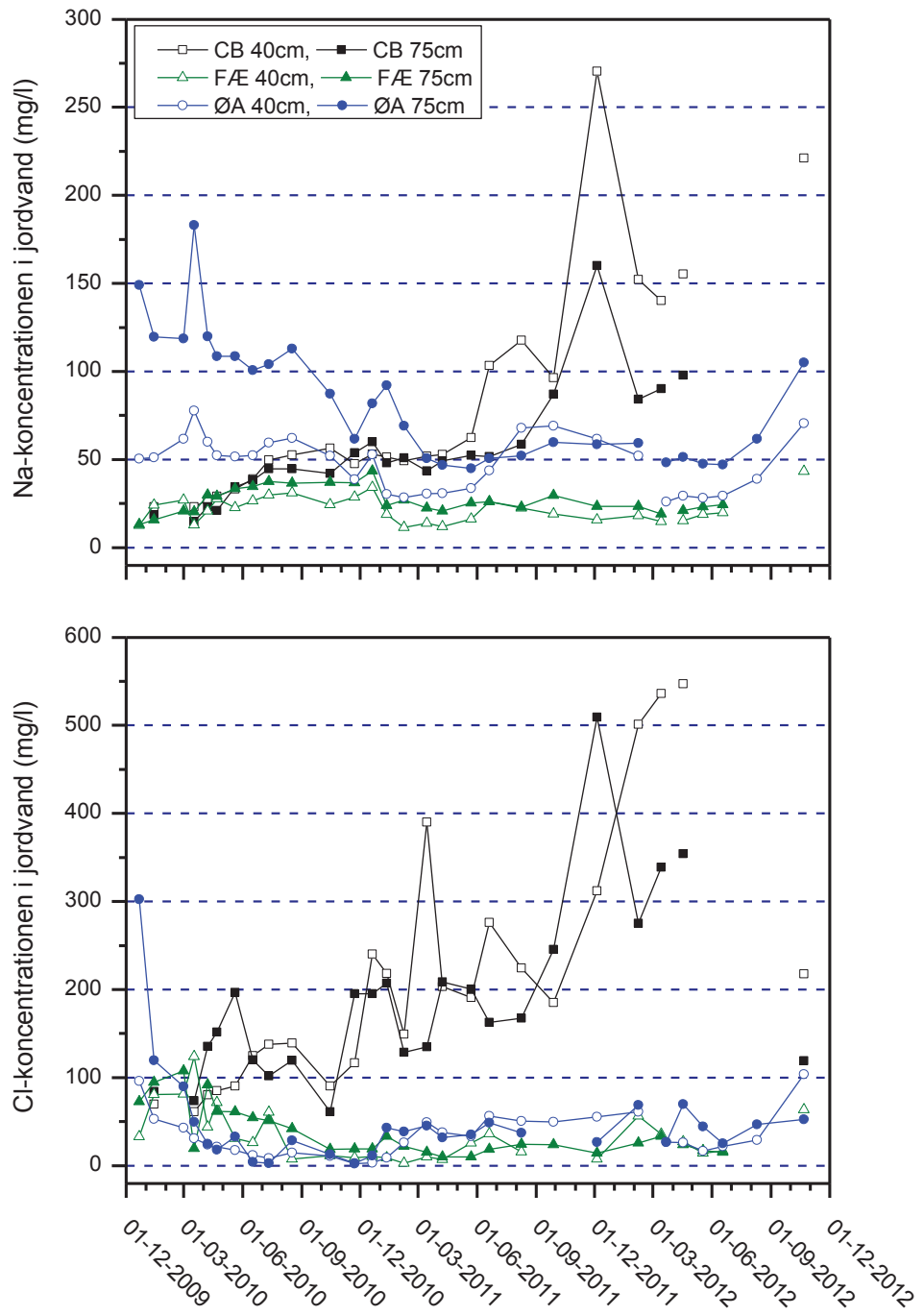
Figur 9. Koncentrationen af P og K i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



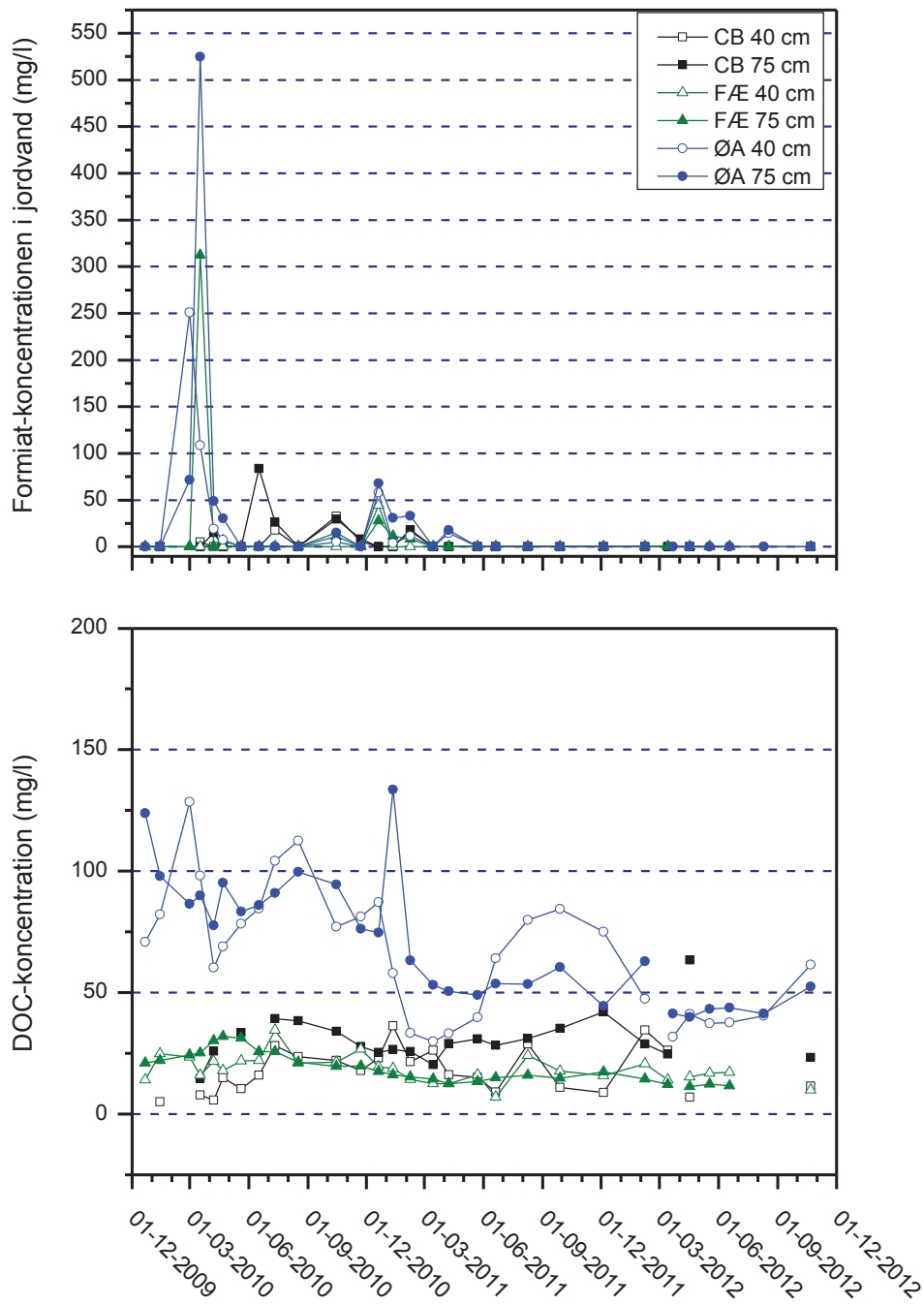
Figur 10. Koncentrationen af Ca og Mg i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



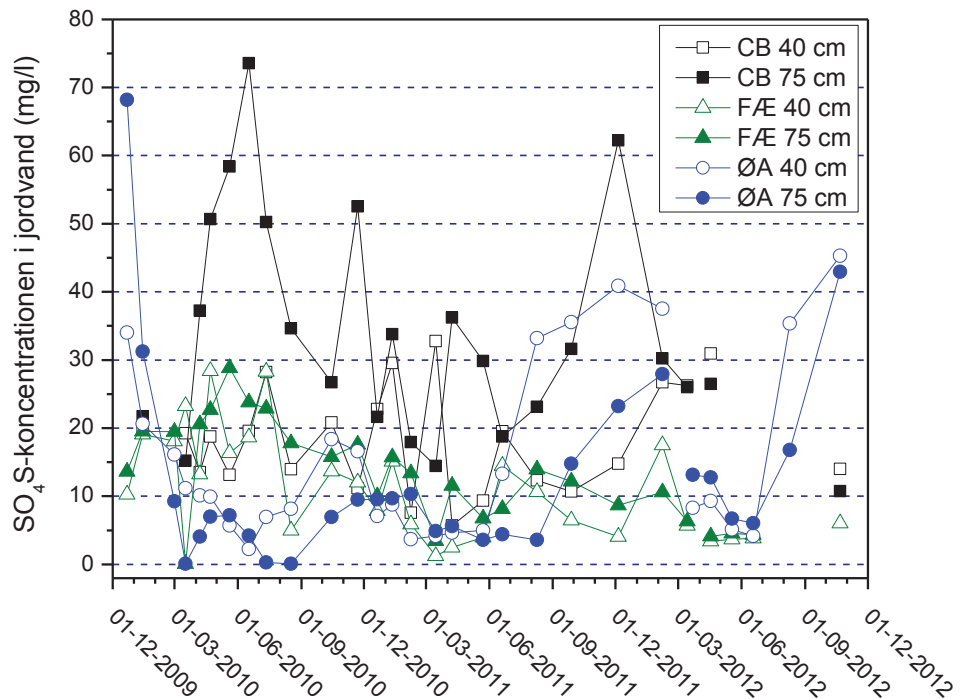
Figur 11. Koncentrationen af Fe og Mn i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Figur 12. Koncentrationen af Na og Cl i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Figur 13. Koncentrationen af formiat og opløst C (DOC: dissolved organic carbon) i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Figur 14. Koncentrationen af $\text{SO}_4\text{-S}$ i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.

Vandbalance

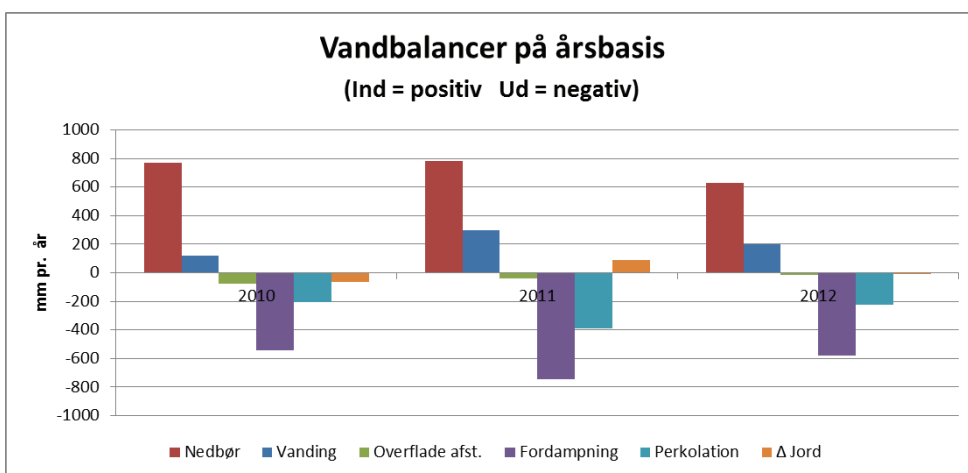
For at bestemme, hvor meget der udvaskes af de forskellige stoffer, skal man opstille en vandbalance, som giver os de mængder af vand, som udvaskes under rodzonen (perkolationen). Når vi kender denne størrelse på månedsbasis, kan vi gange vandmængderne med de tilsvarende koncentrationer af de givne stoffer og derved bestemme udvaskningen.

Til opstilling af vandbalance og beregning af nedsivning af vand under rodzonen (perkolation fra 80 cm) anvendes modelleringsværktøjet "Coup-model" (Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system, Jansson & Moon, 2001) til øko-systemer. Der er valgt en opsætning af Coup-modellen med dynamiske energi- og vandbalancer samt statiske værdier for jord og vegetation. Der anvendes klimadata på døgnbasis, og tilsvarende beregner modellen vandbalancen på døgnbasis, herunder perkolation. Der mangler brugbare lokale klimadata for nedbør og vind på hver lokalitet, derfor anvendes samme modellerede vandbalance på de tre lokaliteter. Det giver en rimelig god generel estimering af vandbalancen, da træer, substrat, vanding og klima i store træk er ens på lokaliteterne.

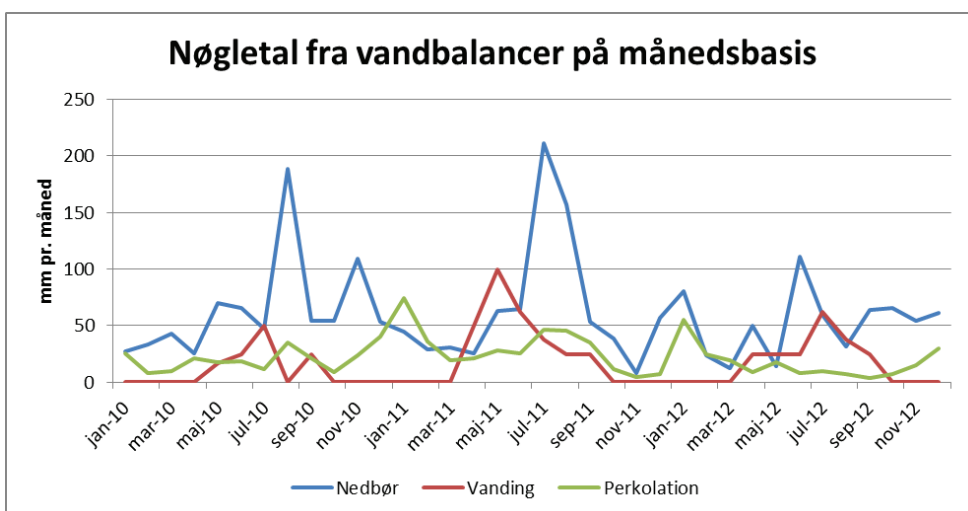
Modelleringen er baseret på følgende data: Temperatur og relativ fugtighed målt på Øster Allé. Nedbør og vind fra DMI-klima grid 6181. Global indstråling fra DMI station "Toldboden". Som jordtype/substrat er anvendt "AllétræsMuld" ned til 70 cm med dække af "Slotsgrus" (6 cm). Som vegetation er anvendt træer med en højde på 6,4 m, maksimalt blad areal index (Leaf area index = LAI) på 3,5 og en roddebyde på 0,8 m. Modellen

er valideret på basis af målinger af temperatur og vandindhold i jorden i 2 timer interval på Øster allé, som er omregnet til middelværdier på døgnbasis. Valideringen sandsynliggør, at den anvendte opsætning af Coup-modellen giver et retvisende estimat for perkolation i forsøgsperioden.

Ud fra modellens output er der opstillet vandbalancer på årsbasis (Figur 15). Det ses, at nedbør, vanding, fordampning og perkolation var størst i 2011. Der er udtrukket nøgletal på månedsbasis for nedbør, vanding og perkolation, som fremgår af Figur 16. I både 2010 og 2011 var nedbør og vanding store i vækstsæsonerne og fører til en betydelig perkolation i sensommeren. I 2012 er nedbør og vanding væsentligt mindre i vækstsæsonen, og perkolation tilsvarende lille. Til vandkemi anvendes perkolation i perioder mellem opsamling af vandprøver.



Figur 15. Vandbalancer på årsbasis.



Figur 16. Nedbør, vanding og perkolation.

Stofbalancer

Der er opstillet vand- og stofbalancer for det vand, som rammer jorden omkring træerne (nedbør og sjap) samt det vand, der siver ned og væk under rodzonen i 75-80 cm's dybde i jorden. I nedenstående er stofbalancerne så vidt muligt opsat for de hydrologiske år (fra 1. maj til 30. april det efterfølgende år). Af praktiske årsager har det været mest hensigtsmæssigt at udføre beregningerne, så de følger indsamlingsdatoerne for de prøver, der blev indsamlet tættest på den 1. maj (Tabel 10 - 13). Ud fra oplysninger om spredning af tømidler på hhv. CB og ØA fra Københavns Kommune har vi beregnet doseringen i de undersøgte perioder (Tabel 9)

For mange af stofferne gælder det, at balancen i begyndelsen af de første perioder er præget af etableringen af beplantningerne, og at udvaskningen overstiger stoftilførslen med nedbør og sjap, mens denne forskel mellem tilførsel og udvaskning bliver mindre i den eller de sidste perioder. Dette gælder for $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, K, Ca, Mg og $\text{SO}_4\text{-S}$. På CB overstiger udvaskningen af $\text{NO}_3\text{-N}$ og Total N tilførslen i de første perioder men falder herefter og ender med at blive lidt mindre end tilførslen i den sidste periode. Dette kunne pege på, at der bliver omsat organiske forbindelser og frigivet N i muldjorden. Det ser ud til, at det er det samme, som sker i FÆ, men i mindre målestok. På ØA er situationen en anden. Her er udvaskningen væsentlig mindre, end det er tilfældet på CB og i FÆ, og derfor er balancen også mindre påvirket. Årsagen til denne forskel imellem lokaliteterne kendes ikke, men igen kunne observationerne pege på, at der er sket en hurtig udvaskning af N fra de øverste 10 cm jord, som indeholder betydeligt mere N på CB og i FÆ sammenlignet med ØA. Endvidere kunne forskelle i tekturen betyde, at udvaskningen kan foregå hurtigere på CB og i FÆ, da andelen af grovsand er større her sammenlignet med ØA. I den sidste periode er balancen for Total N og $\text{NH}_4\text{-N}$ på ØA påvirket af nogle episoder, hvor tilførslen er relativt stor, formodentlig forårsaget af forurening.

Generelt akkumuleres P i jorden i alle perioderne. For P gælder det også, at stofbalancen i den sidste periode på ØA er påvirket af nogle episoder, hvor tilførslen er relativt stor, formodentlig forårsaget af forurening. Disse forureningsepisoder dominerer balancen for P på ØA.

På CB og i FÆ er udvaskningen af K større end tilførslen i de første tre perioder, mens dette forhold er vendt i den sidste periode. Overordnet sker der en netto frigivelse af K fra jorderne på CB og i FÆ, når man betragter alle beregningsperioderne under ét. Årsagen til dette er sandsynligvis, at plantemulden har et relativt højt indhold af K, som den kan frigive i perioden efter udplantning, men efterhånden som tiden går, falder udvaskningen og kommer mere i balance med tilførslen og forvitring. På ØA er K-balancen tydeligt påvirket af spredningen af kaliumformiat og af, at jorden fra starten af forsøget indeholdt betydelige mængder K, mere end på CB og i FÆ.

Tilførslen og i særdeleshed udvaskningen er markant større på ØA sammenlignet med de to andre lokaliteter. Udvasningen overstiger tilførslen, hvilket antageligt skyldes, at koncentrationen af K er væsentlig højere i jorden på denne lokalitet, og at K-koncentrationen i jordvandet fra starten er høj og faldende med tiden. Målingerne afspejler på denne måde AllétræsMuldens høje K-koncentration ved starten af forsøget. I den sidste beregningsperiode er udvaskningen af K relativt tæt på tilførslen. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde kaliumformiat-tømiddel, som spredes pr. kvm, og den mængde som lander i plantehullerne (pr. kvm), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, og variationen er stor fra ganske få procent op til 7 %.

Balancerne er som jordvandskoncentrationerne tydeligvis påvirket af, at der anvendes forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter. På CB sker der en akkumulering af Na og Cl i de første perioder, det ser dog ud til at jorden med tiden nærmer sig en ligevægt med Na og Cl og i de sidste perioder udvaskes mere, end der tilføres. Generelt bliver forskellen mellem tilført og udvasket Na og Cl mindre med tiden. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde salt-tømiddel, som spredes pr. m², og den mængde der lander i plantehullerne (pr. m²), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, omkring 8 %.

Udvasningen af formiat er meget lille i slutningen af forsøgsperioden og styret af, at koncentrationen er faldende igennem forsøget. Balancen peger på, at den mængde formiat, der bliver tilført som tømiddel, bliver nedbrudt i jorden. I en finsk undersøgelse finder man ligeledes, at formiat fra anvendelse af kaliumformiat omsættes relativt hurtigt (Hellstén et al. 2005). Når formiat nedbrydes i jorden bør pH stige. Denne effekt kan ikke registreres, formodentlig på grund af jordens store bufferkapacitet og den relativt korte forsøgsperiode.

Generelt er der for de fleste stoffer tale om udvaskning af relativt store stofmængder, ligesom stofkoncentrationerne også er høje sammenlignet med mange andre undersøgelser i forskellige økosystemer. Årsagen til disse forhold skal antageligvis findes i det forhold, at der ved en plantning sker drastiske ting i jorden, og ændringerne i jordbunds- og jordvæskekemien som følge heraf er markante. Resultaterne peger også på, at disse effekter af plantningen bliver mindre, efterhånden som tiden går.

Tabel 9. Spredning af tømidler.

Spredt på vej, cykelsti og gangareal g/(m ² *periode)	Kaliumformiat ØA	K ØA	Formiat ØA	Na CB	Cl CB
01-12-2009 til 22-04-2010	1843	857	986	581	896
22-04-2010 til 08-04-2011	1735	806	928	664	1024
08-04-2011 til 17-04-2012	493	229	264	199	306
17-04-2012 til 22-10-2012	0	0	0	0	0
Sum	4070	1892	2178	1444	2226

Tabel 10. Stofbalance for de mængder $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, $\text{NH}_4\text{-N}$ og P som tilføres jorden med nedbør og sjaap, samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Træ- og ukrudtsoptag er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	$\text{NO}_3\text{-N}$			Total N			$\text{NH}_4\text{-N}$			P		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjaap												
01-12-2009 til 22-04-2010	0,17	0,14	0,18	0,36	0,39	0,41	0,18	0,21	0,20	0,006	0,012	0,046
22-04-2010 til 08-04-2011	0,73	0,71	0,74	0,95	1,67	0,95	0,15	0,19	0,18	0,051	0,58	0,12
08-04-2011 til 17-04-2012	0,90	0,68	1,81	1,07	0,78	2,03	0,17	0,062	0,47	0,14	0,066	0,22
17-04-2012 til 22-10-2012	0,40	0,39	0,28	0,51	0,50	6,57	0,022	0,014	3,34	0,095	0,072	0,45
Sum	2,21	1,92	3,02	2,89	3,34	9,96	0,51	0,48	4,18	0,29	0,73	0,83
Udvaskning												
01-12-2009 til 22-04-2010	10,8	4,51	0,34	16,4	5,51	1,07	0,0077	0,0086	0,084	0,0052	0,0064	0,10
22-04-2010 til 08-04-2011	11,0	4,12	0,98	11,8	4,64	2,85	0,016	0,016	0,091	0,038	0,021	0,25
08-04-2011 til 17-04-2012	1,38	0,56	0,10	1,88	0,79	1,45	0,016	0,016	0,022	0,029	0,019	0,27
17-04-2012 til 22-10-2012	0,013	0,038	0,018	0,15	0,075	0,20	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0040	0,017
Sum	23,2	9,23	1,44	30,2	11,0	5,56	0,042	0,043	0,20	0,075	0,050	0,64
Balance												
01-12-2009 til 22-04-2010	-10,6	-4,37	-0,16	-16,0	-5,12	-0,66	0,17	0,20	0,11	0,0011	0,0061	-0,058
22-04-2010 til 08-04-2011	-10,3	-3,41	-0,24	-10,9	-2,98	-1,89	0,13	0,18	0,09	0,013	0,56	-0,13
08-04-2011 til 17-04-2012	-0,48	0,12	1,71	-0,81	-0,012	0,58	0,15	0,046	0,44	0,11	0,047	-0,052
17-04-2012 til 22-10-2012	0,39	0,35	0,26	0,36	0,42	6,37	0,020	0,011	3,34	0,092	0,068	0,43
Sum	-21,0	-7,31	1,58	-27,3	-7,7	4,40	0,47	0,43	3,99	0,22	0,68	0,19

Tabel 11. Stofbalance for de mængder K, Ca, Mg og Fe som tilføres jorden med nedbør og sjaap samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Optag i træer og ukrudt er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	K			Ca			Mg			Fe		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjaap												
01-12-2009 til 22-04-2010	0,25	0,12	12,5	1,96	0,56	1,02	0,11	0,029	0,031	0,0123	0,0102	0,0086
22-04-2010 til 08-04-2011	1,63	1,56	50,8	7,67	5,41	3,86	0,17	0,23	0,055	0,0152	0,0183	0,0140
08-04-2011 til 17-04-2012	2,70	1,02	4,87	13,8	5,88	5,35	2,53	0,35	0,43	0,0193	0,0201	0,0232
17-04-2012 til 22-10-2012	1,51	1,53	3,67	1,97	2,24	2,64	0,20	0,19	0,39	0,0087	0,0079	0,0183
Sum	6,09	4,22	71,8	25,4	14,1	12,9	3,01	0,80	0,90	0,0555	0,0565	0,0642
Udvaskning												
01-12-2009 til 22-04-2010	2,47	1,18	37,1	31,7	23,6	16,0	1,90	1,26	3,66	0,0043	0,0038	0,0131
22-04-2010 til 08-04-2011	9,23	3,98	154	57,8	35,7	17,7	4,26	3,27	8,71	0,0069	0,0064	0,0128
08-04-2011 til 17-04-2012	10,2	7,70	126	74,8	38,8	20,3	3,97	3,11	5,73	0,0096	0,0067	0,0183
17-04-2012 til 22-10-2012	1,32	1,16	17,9	13,3	11,0	5,72	0,71	0,54	0,91	0,0020	0,0011	0,0026
Sum	23,2	14,0	335	178	109	59,7	10,83	8,18	19,0	0,023	0,018	0,047
Balance												
01-12-2009 til 22-04-2010	-2,22	-1,06	-24,6	-29,7	-23,1	-15,0	-1,79	-1,23	-3,63	0,0080	0,0064	-0,0045
22-04-2010 til 08-04-2011	-7,60	-2,42	-103	-50,2	-30,3	-13,8	-4,09	-3,04	-8,66	0,0083	0,012	0,0013
08-04-2011 til 17-04-2012	-7,47	-6,69	-121	-61,0	-32,9	-14,9	-1,44	-2,76	-5,30	0,0097	0,013	0,0049
17-04-2012 til 22-10-2012	0,18	0,37	-14,2	-11,3	-8,80	-3,08	-0,51	-0,35	-0,52	0,0066	0,0068	0,016
Sum	-17,1	-9,80	-264	-152	-95,1	-46,8	-7,82	-7,38	-18,1	0,033	0,039	0,017

Tabel 12. Stofbalance for de mængder Mn, Na, Cl og SO₄-S som tilføres jorden med nedbør og sjaap samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Optag i træer og ukrudt er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	Mn			Na			Cl			SO ₄ -S		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjaap												
01-12-2009 til 22-04-2010	0,0018	0,0028	0,0036	40,6	0,25	1,03	65,4	0,36	0,90	0,29	0,13	0,22
22-04-2010 til 08-04-2011	0,0065	0,0064	0,0074	49,7	0,83	4,60	78,6	2,01	4,15	0,97	0,45	0,61
08-04-2011 til 17-04-2012	0,0070	0,0061	0,0171	25,1	1,57	2,53	43,9	4,02	5,85	2,82	0,57	0,90
17-04-2012 til 22-10-2012	0,0028	0,0023	0,0070	0,57	0,50	4,07	1,68	1,43	8,70	0,34	0,27	0,64
Sum	0,0180	0,0176	0,0350	116	3,16	12,2	190	7,82	19,6	4,42	1,41	2,36
Udvaskning												
01-12-2009 til 22-04-2010	0,0056	0,0019	0,084	2,01	2,01	13,7	10,2	8,92	15,6	2,74	1,87	3,42
22-04-2010 til 08-04-2011	0,0038	0,0025	0,012	14,5	9,19	25,2	44,1	8,72	9,33	9,94	4,75	2,35
08-04-2011 til 17-04-2012	0,0044	0,0026	0,016	25,5	7,97	17,8	81,7	7,37	14,6	9,54	3,33	4,54
17-04-2012 til 22-10-2012	0,0004	0,0004	0,0025	5,28	1,30	3,49	11,3	0,84	2,32	0,91	0,24	0,95
Sum	0,014	0,0074	0,11	47,3	20,5	60,2	147	25,9	41,8	23,1	10,2	11,3
Balance												
01-12-2009 til 22-04-2010	-0,0038	0,0009	-0,080	38,6	-1,76	-12,7	55,3	-8,55	-14,7	-2,44	-1,74	-3,21
22-04-2010 til 08-04-2011	0,0027	0,0039	-0,0051	35,2	-8,36	-20,6	34,6	-6,72	-5,18	-8,97	-4,30	-1,74
08-04-2011 til 17-04-2012	0,0026	0,0035	0,0014	-0,41	-6,39	-15,3	-37,8	-3,34	-8,71	-6,73	-2,76	-3,64
17-04-2012 til 22-10-2012	0,0024	0,0019	0,0045	-4,71	-0,80	0,58	-9,7	0,58	6,38	-0,56	0,029	-0,31
Sum	0,0039	0,010	-0,079	68,7	-17,3	-48,0	42,4	-18,0	-22,2	-18,7	-8,77	-8,90

Tabel 13. Stofbalance for de mængder kaliumformiat og DOC som tilføres jorden med nedbør og sjaap samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Optag i træer og ukrudt er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	Kaliumformiat			DOC		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjaap						
01-12-2009 til 22-04-2010	0,017	0,021	26,3	0,52	0,50	2,27
22-04-2010 til 08-04-2011	0,22	0,066	106	3,02	34,5	10,3
08-04-2011 til 17-04-2012	0,086	0,076	4,67	4,34	3,16	4,60
17-04-2012 til 22-10-2012	0,035	0,026	4,66	3,11	3,48	6,26
Sum	0,36	0,19	141	11,0	41,7	23,4
Udvaskning						
01-12-2009 til 22-04-2010	0,18	1,096	3,9	1,85	2,56	10,7
22-04-2010 til 08-04-2011	5,27	2,015	6	13,8	5,68	27,3
08-04-2011 til 17-04-2012	0,033	0,033	0,033	10,5	4,71	18,0
17-04-2012 til 22-10-2012	0,0054	0,0054	0,0054	1,83	0,64	2,43
Sum	5,49	3,15	9,7	28,0	13,6	58,4
Balance						
01-12-2009 til 22-04-2010	-0,16	-1,075	22,3	-1,33	-2,06	-8,48
22-04-2010 til 08-04-2011	-5,05	-1,949	100	-10,7	28,87	-17,0
08-04-2011 til 17-04-2012	0,053	0,044	4,64	-6,19	-1,56	-13,4
17-04-2012 til 22-10-2012	0,029	0,020	4,66	1,28	2,84	3,83
Sum	-5,13	-2,96	132	-17,0	28,1	-35,0

Konklusioner

Den relativt høje ledningsevne på ØA skyldes høje koncentrationer af bl.a. Mg, K samt medfølgende anioner som nitrat og bikarbonat. På alle tre lokaliteter er ledningsevnen høj i starten af projektperioden, hvor træerne lige er blevet plantet i det nyanlagte plantebed, hvorefter den falder hen gennem den undersøgte periode. Det samme overordnede mønster ses på alle lokaliteter for koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, P, K, Mg, Fe, Mn samt Na og Cl på ØA, mens koncentrationen af Ca ser ud til at være relativt upåvirket af etableringen i begyndelsen af perioden.

Koncentrationen af P er generelt højere på ØA i forhold til de to andre lokaliteter. Dette kan ikke forklares ud fra forskelle i koncentrationen af P i jorden. En del af koncentrationerne overskrider kravet for drikkevand på 0,15 mg P/l. Koncentrationen af K er tydeligvis højere på ØA sammenlignet med på CB og i FÆ. Dette er en effekt af, at jordbunden fra starten indeholdt mest K på ØA, samt anvendelsen af kaliumformiat her. På trods af, at der tilføres kaliumformiat til ØA alle vintrene, er den overordnede trend i hele perioden, at koncentrationen af K er faldende både i 40 og 75 cm's dybde. Dette peger på, at tilførslen af K med kaliumformiat ikke er styrende for størrelsesordenen af K-koncentrationen i starten af projektperioden. Den udvaskning, der sker fra den relativt K-holdige jord i det nyetablerede plantebed, er dominerende de første år fra plantningen. Der vil over årene indstille sig en ligevægt. Koncentrationerne af Ca og Mg afspejler koncentrationerne af disse stoffer i jordbunden under 20 cm. På CB er koncentrationen af Na og Cl i jordvandet stigende igennem hele perioden, hvilket er en tydelig effekt af vejsaltningen. Koncentrationen af Na på ØA er høj i starten af undersøgelsen men falder hen gennem perioden. Dette skyldes sandsynligvis, at den omgivende råjord har en markant høj koncentration af Na og Cl fra mange forudgående års saltning, som diffunderer og transporteres mere eller mindre horisontalt. I starten af perioden observeres enkelte jordvandsprøver med høje koncentrationer af formiat, hvorefter koncentrationen forbliver meget lav, oftest under detektionsgrænsen på 0,1 mg formiat/l. Dette kunne tyde på at formiat omsættes effektivt.

For mange af stofbalancerne gælder det, at de i begyndelsen og et stykke hen i forsøgsperioden (1-2 år) er præget af etableringsfasen, og at udvaskningen overstiger stoftilførslen med nedbør og sjaap. Denne forskel mellem tilførsel og udvaskning bliver mindre i slutningen af forsøgsperioden. Dette gælder for $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, K, Ca, Mg og $\text{SO}_4\text{-S}$.

Generelt er der for de fleste stoffer tale om udvaskning af relativt store stofmængder, ligesom stofkoncentrationerne også er høje sammenlignet med mange andre undersøgelser i forskellige økosystemer (Pedersen et al. 1999, 2000a, 2000c). Årsagen til disse forhold skal antageligvis findes i det forhold, at der ved en tilplantning sker drastiske ting når en ny jord bliver placeret i et nygravet jordbundshul. Ændringerne i jord- og jordvandskemi som følge af plantningen er markante men aftager med tiden.

På CB og i FÆ er udvaskningen af K større end tilførslen i de første tre perioder, mens dette forhold er vendt i den sidste periode. Overordnet sker der en netto frigivelse af K fra jorderne på CB og i FÆ, når man betragter alle beregningsperioderne under ét. Årsagen til dette er sandsynligvis, at plantemulden har et relativt højt indhold af K, som den kan frigive i perioden efter udplantning, men efterhånden som tiden går, falder udvaskningen og kommer mere i balance med tilførslen og forvitring. På ØA er K-balancen tydeligt påvirket af spredningen af kaliumformiat og af, at jorden fra starten af forsøget indeholdt betydelige mængder K, mere end på CB og i FÆ. Tilførslen og i særdeleshed udvaskningen er markant større på denne lokalitet sammenlignet med de to andre lokaliteter. Udvasningen overstiger tilførslen, hvilket antageligt skyldes, at koncentrationen af K er væsentlig højere i jorden på denne lokalitet, og at K-koncentrationen i jordvandet fra starten er høj og faldende med tiden. Målingerne afspejler på denne måde AllétræsMuldens høje K-koncentration ved starten af forsøget. I den sidste beregningsperiode er udvaskningen af K relativt tæt på tilførslen. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde kaliumformiat-tømiddel, som spredes pr. m², og den mængde som lander i plantehullerne (pr. m²), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, og variationen er stor fra ganske få procent op til 7 %.

Balancerne er som jordvandskoncentrationerne tydeligvis påvirket af, at der anvendes forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter. På CB sker der en akkumulering af Na og Cl i de første perioder, det ser dog ud til at jorden med tiden med tiden nærmer sig en ligevægt med Na og Cl og i de sidste perioder udvaskes mere, end der tilføres. Generelt bliver forskellen mellem tilført og udvasket Na og Cl mindre med tiden. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde salttømiddel, som spredes pr. m², og den mængde, der lander i plantehullerne (pr. m²), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, omkring 8 %.

Udvasningen af formiat er meget lille i slutningen af forsøgsperioden og styret af, at koncentrationen er faldende igennem forsøget. Balancen peger på, at den mængde formiat, der bliver tilført som tømiddel, bliver nedbrudt i jorden.

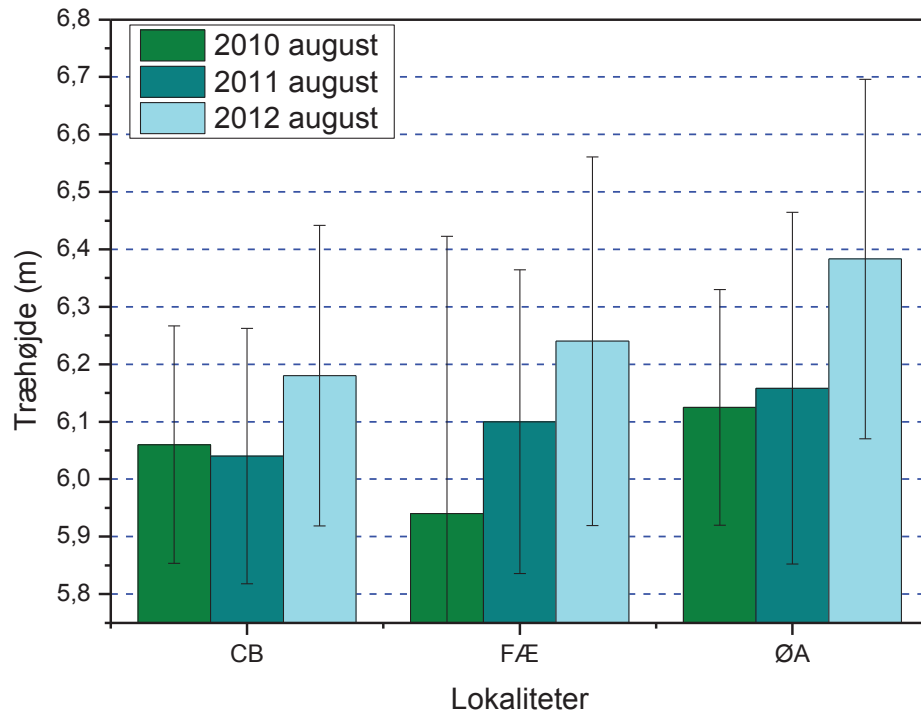


Billede: En nedgravet ethanol-generator driver en vaccumpumpe, der via et system af opsamlingsflasker leverer sug til jordvandssonderne. (Mads Madsen Krag)

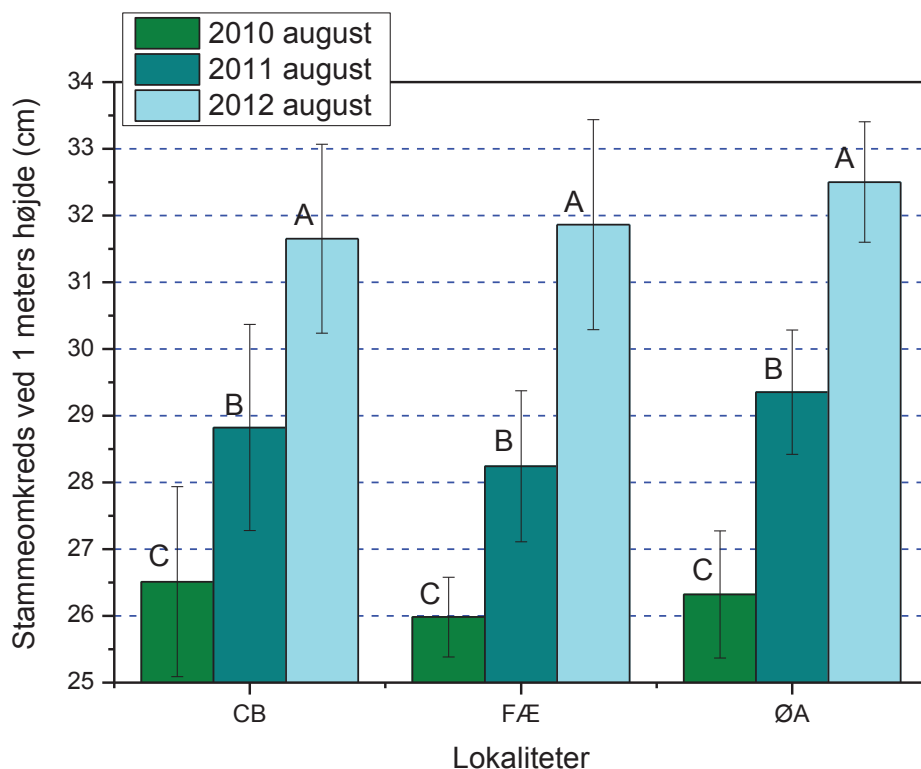
Træer

Højde og stammeomkreds

Træernes højde og stammeomkreds i 1 meters højde er målt i august i perioden 2009-2012. Resultaterne er gengivet i Figur 17 og 18.



Figur 17. De gennemsnitlige træhøjder for de forskellige lokaliteter og år. Der er ikke statistisk signifikant forskel på træhøjderne mellem lokaliteterne indenfor de enkelte år. Der er heller ikke statistisk signifikant forskel på træhøjderne mellem årene indenfor den enkelte lokalitet.



Figur 18. De gennemsnitlige stammeomkredse for de forskellige lokaliteter og år. Der er ikke statistisk signifikant forskel på stammeomkredsen mellem lokaliteterne indenfor de enkelte år. Forskellige bogstaver indikerer signifikant forskellig stammeomkreds mellem forskellige år indenfor samme lokalitet.

På baggrund af de målte træhøjder, kan tilvæksten beregnes som forskellen mellem års-højderne.

Tabel 14. Træernes højde-tilvækst i meter. Signifikante forskelle mellem lokaliteter, samme år er markeret med *.

	CB	FÆ	ØA
Højde tilvækst 11	-0,02	0,03	0,16
Højde tilvækst 12	0,14*	0,14	0,23*

Negativ højde-tilvækst må nødvendigvis skyldes måleusikkerhed og skal tolkes som nul-vækst. Der måles tydelig eller signifikant forskel på tilvæksten mellem ØA og CB/FÆ.

På samme måde kan omkreds-tilvæksten beregnes.

Tabel 15. Træernes tykkelsesvækst målt som omkreds i cm. Signifikante forskelle mellem lokaliteterne, samme år er markeret med *.

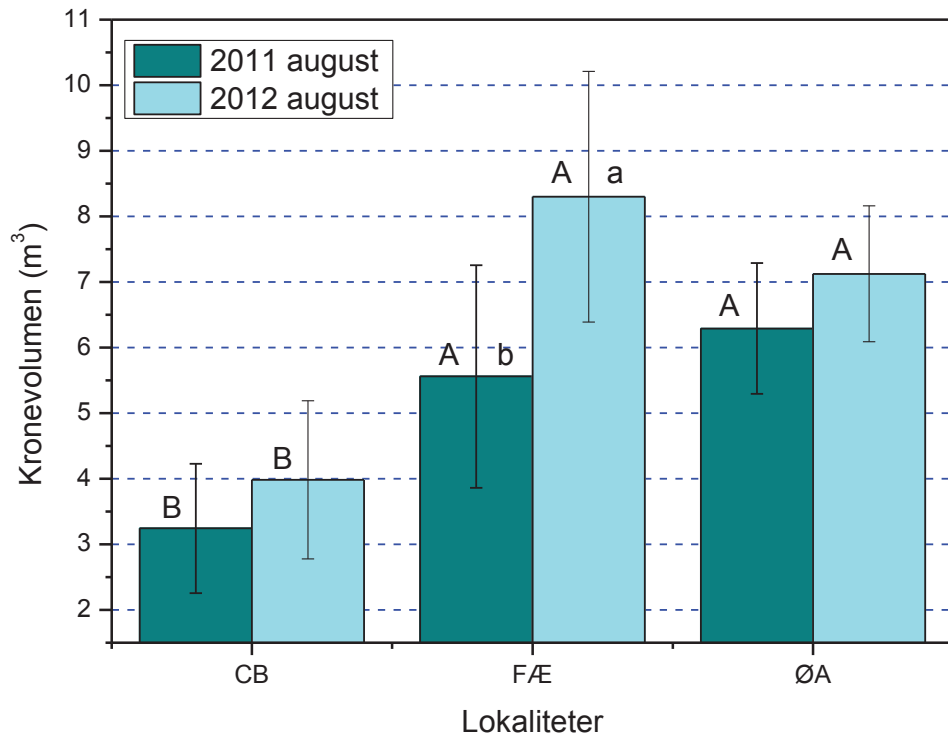
	CB	FÆ	ØA
Omkr. tilvækst 11	2,31*	2,26	3,03*
Omkr. tilvækst 12	1,90	2,28	2,18

Når man sammenligner tilvæksten af omkredsen er der i 2011 signifikant mindre vækst på CB end på ØA og samme tendens i 2012. Hvis man gentager disse målinger i fremtiden, vil man kunne få afklaret om forskellene skyldes effekter af udplantningen eller er knyttet til voksestedet og tømидlet.

Kronestørrelse og densitet

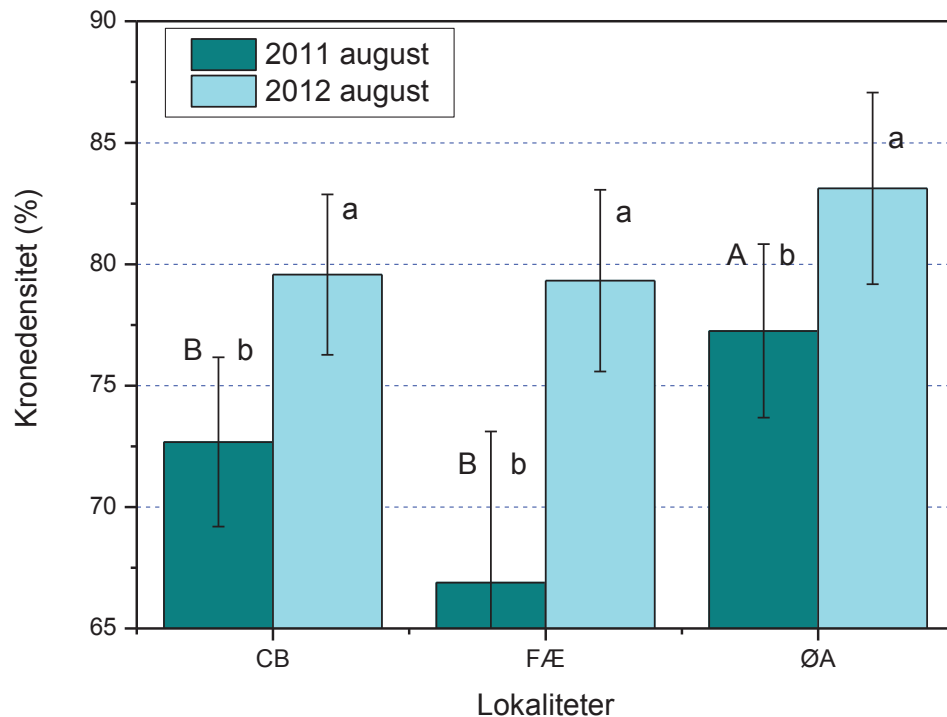
Trækronernes størrelser og densitet blev bestemt i august 2011 og 2012 ved hjælp af billedanalyse med software-programmet UrbanCrown fra United States Department of Agriculture. UrbanCrown analyserer billeder af trækroner og bestemmer en relativ kronestørrelse ved at opbygge kronen af skiver og efterfølgende omsætte den relative størrelse af trækronen til kubikmeter ud fra indtastede data. De indtastede data er træets højde, afstanden til træet fra kameraet da billedet blev taget, den horisontale vinkelforskel mellem jordens overflade ved træets basis og træets top ved kameraets placering da billedet blev taget samt kompasvinklen fra kamera til træet. UrbanCrown bestemmer også trækronernes densitet, ved at bestemme den procentdel af krone-arealet, som består af plantedele, i forhold til den del der er himmel. Billedet af hvert træ blev så vidt muligt taget fra nøjagtig den samme position hvert år. Metoden er beskrevet i detaljer i Winn et al. (2011). Til bestemmelserne benyttede vi et kamera fra Lumix-Panasonic (DMC-FT3), samt en kombineret højde- vinkel- og afstandsmåler fra Haglöf (Vertex IV og transponder T3).

Kronevolumenet er statistisk signifikant højere for både FÆ og ØA sammenlignet med CB i begge år (Figur 19), mens der ikke er forskel mellem ØA og FÆ. Generelt stiger kronevolumenet i 2012 sammenlignet med 2011, hvilket naturligvis skyldes, at træerne gror, men dette er dog kun signifikant i FÆ. Hvis forskellen i anvendelse af tømидler mellem lokaliteterne har haft indflydelse på træernes kronevolumen, peger resultaterne på, at traditionelt vejsalt har resulteret i en mindre kronevolumen sammenlignet med anvendelsen af kaliumformiat.



Figur 19. Den gennemsnitlige kronevolumen for de forskellige lokaliteter i 2011 og 2012. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig kronevolumen mellem forskellige lokaliteter indenfor samme år. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig kronevolumen mellem forskellige år.

Kronedensiteten er forskellig på de forskellige lokaliteter i 2011, men denne forskel er forsvundet i 2012. Til gengæld er kronedensiteten steget signifikant fra 2011 til 2012 på alle lokaliteter. Der er signifikant forskel på træernes kronevolumen mellem lokaliteterne, mens kronerne har samme densitet.

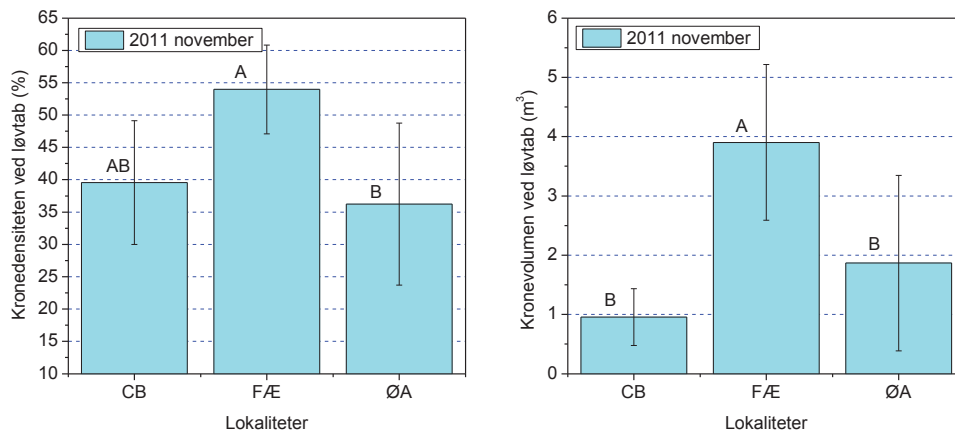


Figur 20. Den gennemsnitlige kronedensitet for de forskellige lokaliteter i 2011 og 2012. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig kronedensitet mellem forskellige lokaliteter indenfor samme år. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig kronedensitet mellem forskellige år.

Løvtab

Der er peget på, at saltstress ofte føre til en forkortet vækstperiode som følge af et senere løvspring og et tidligere løvtab. Derfor blev løvtabet intensivt fulgt i efteråret 2011. Da ca. 50 % af træerne på ØA blev visuelt vurderet til at have tabt ca. 50 % af bladene eller mere, blev kronevolumenet og kronedensiteten bestemt via PC-programmet UrbanCrown, som beskrevet i ovenstående. Det skete d 11. november 2011. Alle tre lokaliteter indgik i denne undersøgelse. Resultaterne er angivet i Figur 21 og 22.

Både kronedensiteten og -volumenet er større i FÆ sammenlignet med CB og ØA, der er dog ikke statistisk signifikant forskel på kronedensiteten mellem FÆ og CB. Den 11. nov. havde træerne i FÆ ikke mistet nær så mange blade som på de to andre lokaliteter. Der er ikke noget i dette materiale, der tyder på, at anvendelsen af forskellige tømidler, har haft nogen effekt på løvtabtidspunktet. Hvis salt havde en anden effekt på træerne end kaliumformiat, ville der være forskel på CB og ØA. Når man ser på billederne af træerne og i talmaterialet, kan man se, at både på ØA og CB er der meget stor variation i kronedensiteten mellem træerne. Dette er også illustreret i Figur 21 som også viser, at der generelt var mange flere blade tilbage på træerne i FÆ sammenlignet med CB og ØA.



Figur 21. Den gennemsnitlige kronedensitet og kronevolumen for de forskellige lokaliteter i ved løvtab d. 11. november 2011. Forskellige store bogstaver indikerer signifikant forskelle mellem forskellige lokaliteter.

Løvtab 11. november 2011



Figur 22. Billeder af tre træer fra hver lokalitet ved løvtab d. 11. november i 2011 (på det tidspunkt hvor da ca. 50 % af træerne på ØA blev visuelt vurderet til at have tabt ca. 50 % eller mere af bladene.) De tre træer illustrerer hhv. det træ på lokaliteten med færrest blade, med et gennemsnitligt antal blade og med flest blade.

Løvfaldsmålingerne skal ses i forhold til kronevolumen og densitet i august 2011, som er beskrevet i kapitlet her over. Før løvtab har ØA den største kronevolumen og CB den mindste. Under løvfald har FÆ langt den største kronevolumen og CB den mindste. Alle steder er kronerne blevet mindre, men i FÆ er reduktionen ikke så stor som på CB og ØA. Kronedensiteten før løvfald er højest på ØA og mindst i FÆ. Ved løvfald er densiteten højest i FÆ og mindst på ØA. Den mindste reduktion af kronevolumen er altså sket i FÆ og den største reduktion af densitet er sket på ØA. Løvtabet kunne påvirkes af vindforholdene. Der er mere læ i FÆ end på de andre to lokaliteter.

Grenvækst

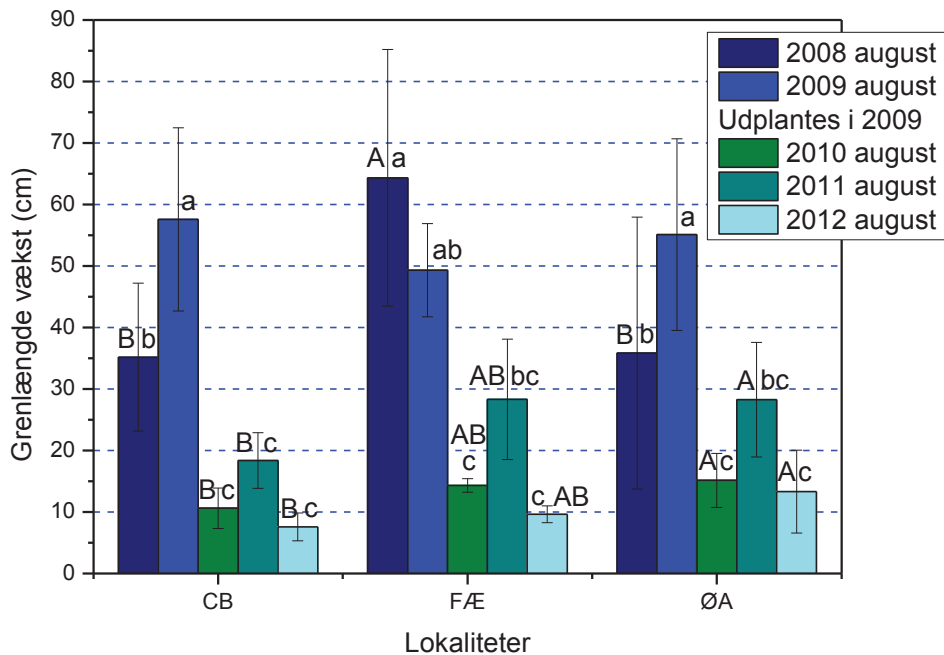
Den årlige grenlængdevækst er bestemt for forsøgstræerne for perioden 2008-2012. Grenlængdevækst er bestemt for to repræsentative grene, der vender mod hhv. øst og vest. De grene, der er blevet anvendt, har så vidt muligt ikke været skygget. Alle grenene er i 2012 ved at være så store og stive, at de ikke kan måles i fremtiden. Resultaterne fremgår af Figur 23.

I 2008 var der statistisk signifikant forskel på de træer, der skulle plantes ud på de forskellige lokaliteter. Denne forskel var imidlertid helt væk i 2009. Vi antager derfor, at træernes grenvækst var lige lange ved udplantning på de tre lokaliteter. For alle træerne gælder det, at deres grenlængdevækst var betydeligt større, mens de stod på Kortegaards Planteskole inden udplantningen i efteråret 2009 sammenlignet med væksten i de efterfølgende år. Denne forskel er statistisk signifikant i hovedparten af tilfældene, men i to tilfælde er den dog ikke signifikant.



Billede: Træerne leveres fra P. Kortegaards Planteskole. (Mads Madsen Krag)

Når man sammenligner lokaliteterne med hinanden efter udplantningen, så har ØA en signifikant større grenlængdevækst i forhold til CB i alle tre år, mens FÆ har en grenlængdevækst, der ligger mellem observationerne på CB og ØA og ikke adskiller sig signifikant fra dem. Hvis forskellen i anvendte tømidler mellem lokaliteterne har haft indflydelse på træernes grenlængdevækst, peger resultaterne på, at traditionelt vejsalt har resulteret i en mindre grenlængdevækst sammenlignet med anvendelsen af K-formiat.

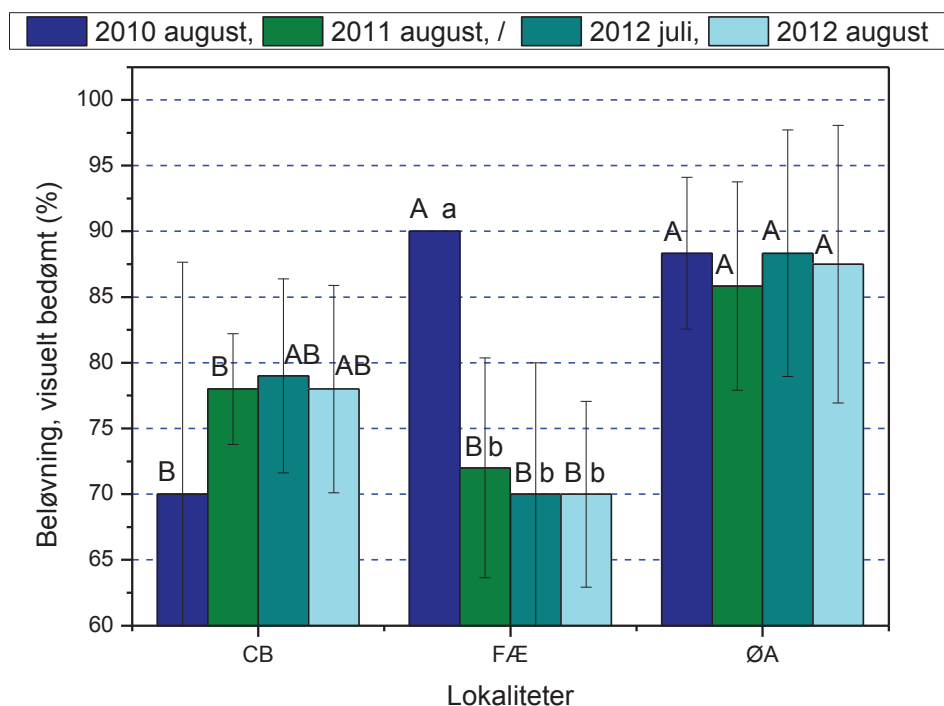


Figur 23. Den gennemsnitlige grenlængdevækst for de forskellige lokaliteter og år. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig grenvækst mellem forskellige lokaliteter indenfor samme år. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig grenvækst mellem forskellige år.

Scoring af træerne

Beløvning

Beløvningen er vurderet visuelt i august i 2010 og 2011 samt både i juli og i august i 2012. Beløvningen vurderes på en skala fra 0–100 % ved at betragte antallet af blade, der er på de enkelte grene. Hvis bladene på den enkelte gren sidder tæt, giver det en høj beløvning. Det er altså antallet af blade pr. gren, der betyder noget for beløvningen og ikke antallet af blade i alt. Hvis grenene er meget langt fra hinanden, og derfor har mange blade, giver det en høj beløvning. Hvis grenene sidder tættere på hinanden, er der generelt færre blade på hver gren, hvilket giver en lavere beløvning.



Figur 24. Den gennemsnitlige belønning (visuelt vurderet) for de forskellige lokaliteter og år og på to forskellige tidspunkter (juli og august) i 2012. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig belønning mellem forskellige lokaliteter indenfor samme år/tidspunkt. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig belønning mellem forskellige år/tidspunkter indenfor samme lokalitet.

Ud fra resultaterne (Figur 24) ser det ud til, at træerne på ØA har den største belønning i forhold til både FÆ og CB. Der er dog ikke signifikant forskel på ØA og CB i 2012, men ellers er forskellene signifikante.

Det er iøjnefaldende, at CB i 2010 har et lavt niveau, lavere end CB i 2011 og 2012, mens FÆ var meget høj i 2009, højere end FÆ i 2010 og -11. Med udgangspunkt i at træerne var ens ved udplantning, er der altså en faktor, der reducerer belønningen øjeblikkeligt på CB og på sigt i FÆ i langt mindre grad end på ØA. De umiddelbare faktorer er vind og salt på CB og skygge og gnav i FÆ.

Grønfarvning

Træernes grønne farve er vurderet visuelt og beskrevet på en skala fra 1-4. Score 1 gives til det gullige træ, mens score 4 gives til det mørkegrønne træ. Træerne er vurderet i august 2011, juli 2012 og august 2012.

Tabel 16. Den gennemsnitlige score for grønfarvning. Enheden er grønscore mellem 1 og 10.

	CB	ØA	FÆ
aug-11	3,2	3,3	3,0
jul-12	3,4	3,4	3,4
aug-12	3,5	3,4	3,8
gns. i alt	3,4	3,4	3,4

Der er ikke signifikante forskelle mellem lokaliteterne (Likelihood ratio: 5,4. P: 0,2476), når alle vurderinger medregnes. Gennemsnittet er da også ens på de tre lokaliteter. Som det ses af nedenstående, er der alligevel forskel på lokaliteterne.

Tabel 17. Den procentvise fordeling mellem scoreresultaterne 2, 3 og 4. Enheden er procent. Tabellen læses lodret og giver 100 % for hver lokalitet.

	CB	ØA	FÆ
2	3	11	0
3	57	39	60
4	40	50	40
sum	100	100	100

Tabellen viser, at fordelingen mellem score 2, 3 og 4 ikke er ens på de tre lokaliteter. På CB er 57 % og i FÆ er 60 % af resultaterne en score 3, mens kun 39 % på ØA er en score 3. ØA afviger fra de andre lokaliteter ved at have flere score 2 og 4.

Blomstring

Blomstring er opgjort, som en vurdering af, hvor mange procent af kronen, der er dækket af blomster. Blomstring er en vigtig funktion for træerne, og derfor typisk den sidste funktion træerne ”slipper” ved dårlig trivsel. Det er velkendt, at næsten-døde træer bruger de sidste energireserver på en kraftig blomstring/frøsætning. Blomstringen er således en vanskelig parameter at tolke.

Tabel 18. Procenten af kronen der dækkes af blomstrende skud.

	CB	ØA	FÆ
aug-10	0	16	0
aug-11	37	49	38
jul-12	50	51	50
aug-12	48	47	42
gns. i alt	34	41	33

Der er ingen signifikante forskelle mellem lokaliteterne (Likelihood ratio: 17,354 P<0,4989). Når man ser bort fra vurderingen i august 2010, ses det, at dækningsprocenterne er forholdsvis ens. I 2010 blomstrede træerne på CB og FÆ ikke.

Barkskader

Barkskader er fokuseret på stammens basis og ikke på hele træets bark. Barkskaderne er vurderet i aug. 2010, aug. 2011, juli 2012 og aug. 2012. Der er ikke konstateret barkskader på træernes basis.

Det er meget almindeligt, at bytræer bliver såret ved basis som følge af

græsslåning eller anden ”arealpleje”. Et større barksår vil have negative konsekvenser for træets funktion herunder kronens farve, beløvning, vækst mv.

Idet der ikke er sår på træerne, er sår altså ikke en faktor i denne undersøgelse.

Døde grene

Omfanget af døde grene er vurderet fra 1 til 10. Scoren 1 gives ved en enkelt død gren, mens 10 gives ved omfattende grendød. Døde grene omfatter alle skudstørrelser, der ikke længere er levende. Døde grene knækker typisk af træet i løbet af vinteren, og antallet af døde grene kan derfor falde fra år til år. Grendøden er vurderet i aug. 2010, aug. 2011, juli 2012 og aug. 2012.

Tabel 19. Gennemsnittet af grendødsscoren på hver lokalitet ved hvert besøg.

	CB	ØA	FÆ
aug-10	2,5	1,1	1
aug-11	1,4	1,1	2,2
jul-12	1,2	1,1	1
aug-12	1	1	1,2
gns. i alt	1,5	1,1	1,4

Det ses, at der på CB og i FÆ er stor variation mellem tilsynsdatoerne.

En likelihood test viser, at afvigelserne imellem lokaliteterne er signifikante, når alle data medregnes. (Likelihood ratio: 15,613 P:0,0160).

Forskellene er især knyttet til overrepræsentation af score 4 og 3 på CB, underrepræsentation af score 3 og 2 på ØA.

Det ses, at resultaterne tidsmæssigt ikke følges ad. De faktorer, der er afgørende for antallet af døde grene, er altså ikke ens for lokaliteterne, og er således ikke vejr-afhængige, hvis vi forudsætter, at vejret overordnet er ens på de tre lokaliteter. Det er også iøjnefaldende, at omfanget af døde grene på CB er faldende igennem undersøgelsesperioden. Det kunne henlede tanker på problemer ved udplantningen, men da alle tre lokaliteter består af ny-plantede træer i omtrent ens jord, er det næppe plantningen, der er årsag til grendøden på CB.

Forskellen på grendøden på ØA og CB kunne forklares med anvendelsen af tømiddel. Saltet på CB skulle så have medført flere døde grene end saltet på ØA. FÆ, som grendødsmæssigt ligger tættest på CB, bekræfter ikke denne hypotese.

Kloroser

Kloroser er ændringer af bladfarven. Ændringerne er naturlige om efteråret, hvor høstfarverne i princippet er kloroser. Ordet bruges oftest om afvigende farve i et mindre område på bladene og udenfor den periode, hvor bladene

forventes at skifte farve. Kloroser har mange årsager, der kan inddeles i grupper. Forsyningen af vand og næringsstoffer til bladet er en vigtig årsag. Årsagen kan også være ophobning af giftstoffer i bladene. Klimatiske årsager som solbrand, frost eller udtørring ses også. Kloroser kan også skyldes skadedyr. Her behandles alle former for arealbegrænset farveskift samlet som kloroser. Når kloroserne udvikler sig til døde områder, opgøres de særskilt som "Nekroser". Når insektangreb medfører direkte gnav, altså manglende dele af bladene, behandles det under afsnittet "Insektgnav".

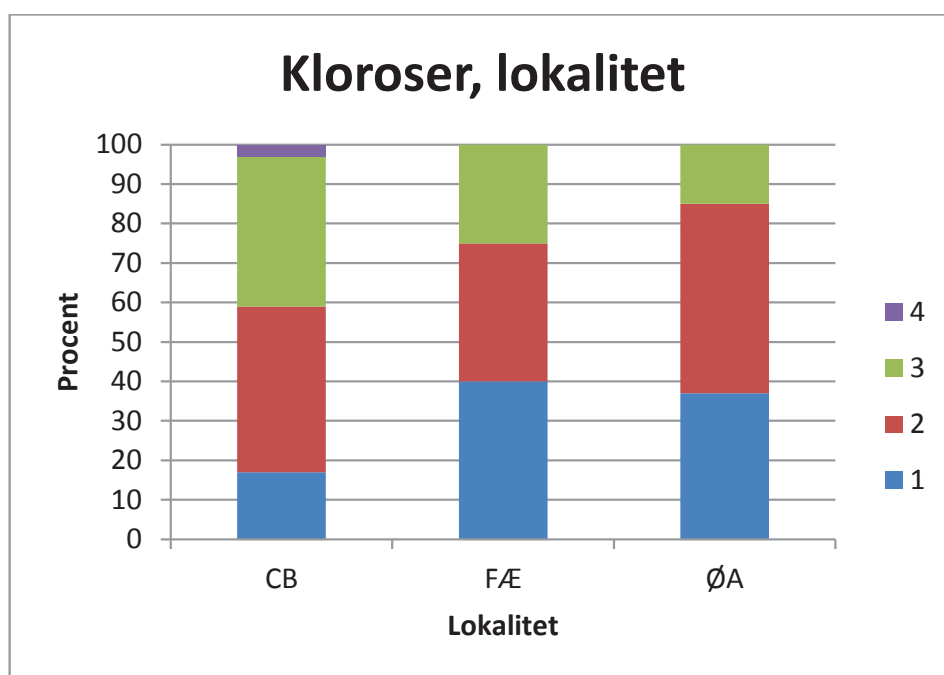
Metoden til vurdering af kloroser er at besigtige ét træ ad gangen og vurdere omfanget af misfarvninger på en skala fra et til ti. Et gives, hvis der er den mindste klorose på bladene. Ti gives, hvis alle blade er misfarvede. Scoren er altså et udtryk for hele træets generelle niveau af kloroser.

Omfanget af kloroser er vurderet i årene 2010, -11 og -12, hvert år i juli/ august.

Kloroserne kan opgøres pr. lokalitet og pr. år.

Tabel 20. Den procentvise fordeling af klorose-scoringer pr. lokalitet. Alle tre år er indregnet. Det totale antal vurderinger står under "Antal".

	1	2	3	4	Antal
CB	17%	42%	38%	3%	40
FÆ	40%	35%	25%	0%	20
ØA	37%	48%	15%	0%	48

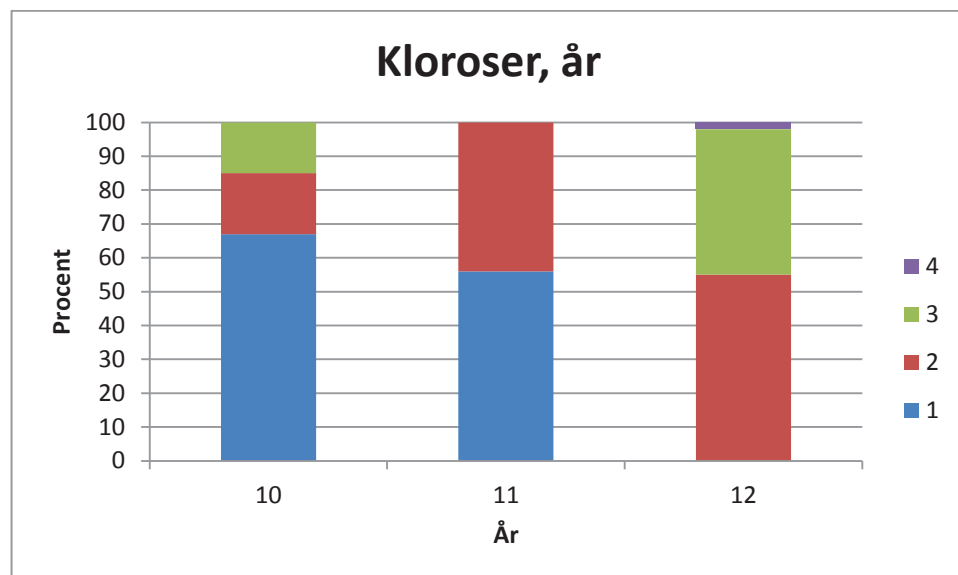


Figur 25. Grafisk visning af data fra Tabel 20.

Det fremgår af ovenstående data, at der er betydeligt flere kloroser på træerne på CB. Hele 80 % af scoringerne falder i kategori 2 eller 3. Til sammenligning er kun 60 % af scoringerne i FÆ og 63 % af scoringerne på ØA i kategori 2 og 3. Når de tre lokaliteter sammenlignes statistisk med en likelihood ratio-analyse giver det $\chi^2=20,211$, $\text{prob}>\chi=0,0025$, altså en signifikant forskel. Forskellen skyldes få CB kategori 1'ere og mange CB kategori 3'ere, samt få ØA kategori 3'ere. Det vil sige, at træerne på CB har signifikant flere kloroser end træerne på de andre lokaliteter.

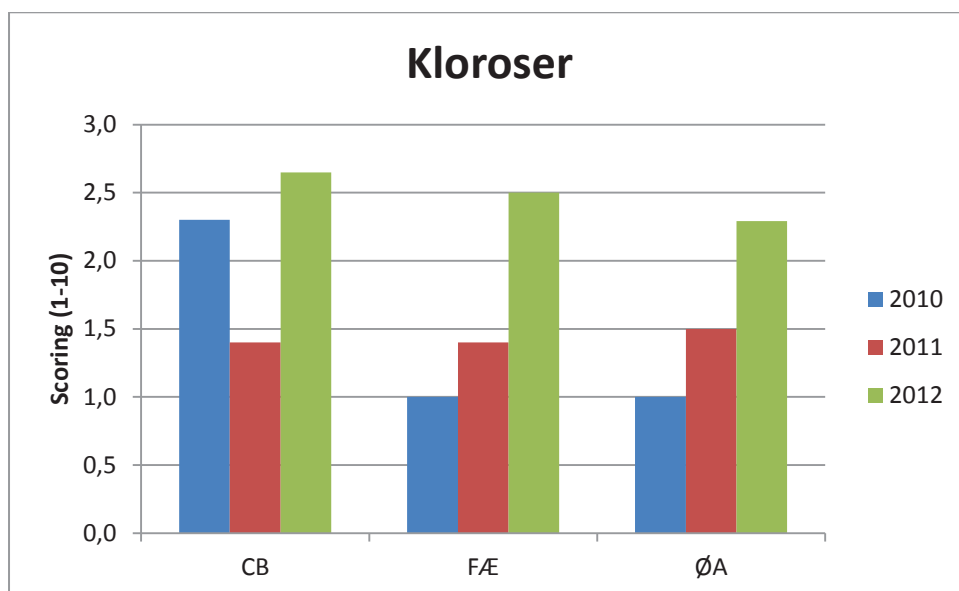
Tabel 21. Den procentvise fordeling af klorose-scoringer pr. år. Alle tre lokaliteter er indregnet. Det totale antal vurderinger står under "Antal".

	1	2	3	4	Antal
2010	67%	18%	15%	0%	27
2011	56%	44%	0%	0%	27
2012	0%	55%	43%	2%	54



Figur 26. Grafisk visning af data fra Tabel 21.

Der er bemærkelsesværdig stor forskel på klorosehyppigheden mellem de tre forsøgsår. Forskellen er testet statistisk med en likelihood ratio-analyse. Resultatet er $\chi^2=79,225$, $\text{prob}>\chi=<0,0001$, altså en signifikant forskel. Forskellen skyldes især de manglende 2012 kategori 1'ere, manglende 2011 kategori 3'ere, mange 2010 kategori 1'ere samt de mange 2012 kategori 3'ere. Det vil sige, at der er flest kloroser i 2012 og færrest i 2011. Da årene er ligeligt repræsenteret på hver lokalitet, medfører årsvariationen ikke en fejl i forhold til analysen af lokaliteterne.



Figur 27. Gennemsnittet af klorose-scoringer på de tre lokaliteter på de tre år.

Af de gennemsnitlige resultater ses det, at CB især adskiller sig fra de andre lokaliteter ved at have et højt klorose-gennemsnit i 2010. I 2011 er CB på niveau med de andre lokaliteter, mens gennemsnittet i 2012 er marginalt højere.

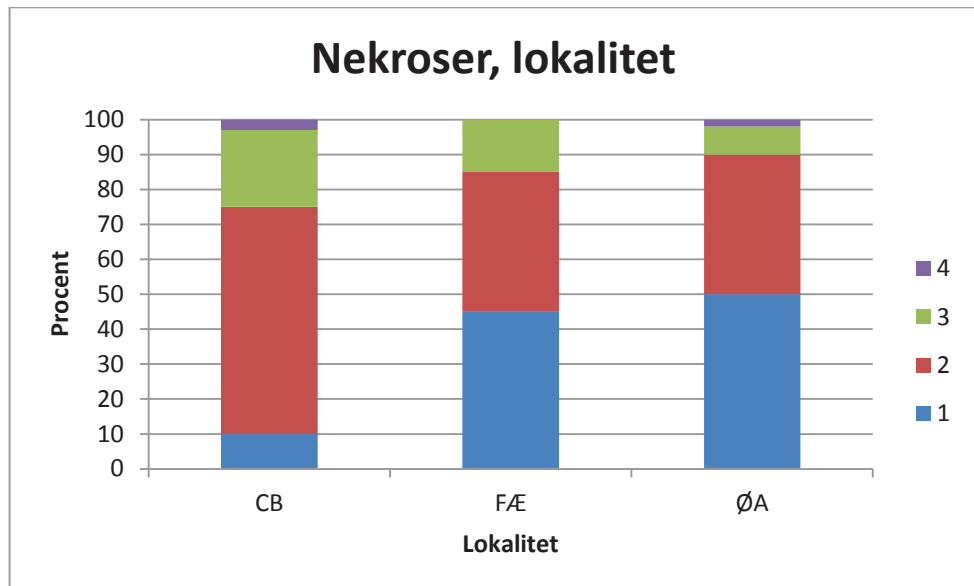
Den samlede vurdering over alle tre år, er at der er signifikant flest kloroser på træerne på CB og færrest på ØA. Sammenlignes klorosescoringen de tre år, er der signifikant flest kloroser i 2012. Gennemsnittet er lavest i 2011, men i FÆ og på ØA er der færrest kloroser i 2010. I 2010 er der markant flest kloroser på træerne på CB.

Nekroser

Hvis kloroserne skyldes årsager, der er så alvorlige, at bladcellerne dør, opstår en nekrose. Nekroserne er opgjort på samme måde og samtidigt som kloroserne. Det vil sige, at hvert træ på de tre lokaliteter er vurderet en gang pr. år i tre år. Skalaen går fra 1 til 10 og dækker over samme spænd som klorose-scoringerne. Et gives, hvis der er nekroser til stede. Ti gives, hvis alle blade er døde.

Tabel 22. Den procentvise fordeling af klorose-scoringer pr. lokalitet. Alle tre år er indregnet. Det totale antal vurderinger står under "Antal".

	1	2	3	4	Antal
CB	10%	65%	22%	3%	40
FÆ	45%	40%	15%	0%	20
ØA	50%	40%	8%	2%	48



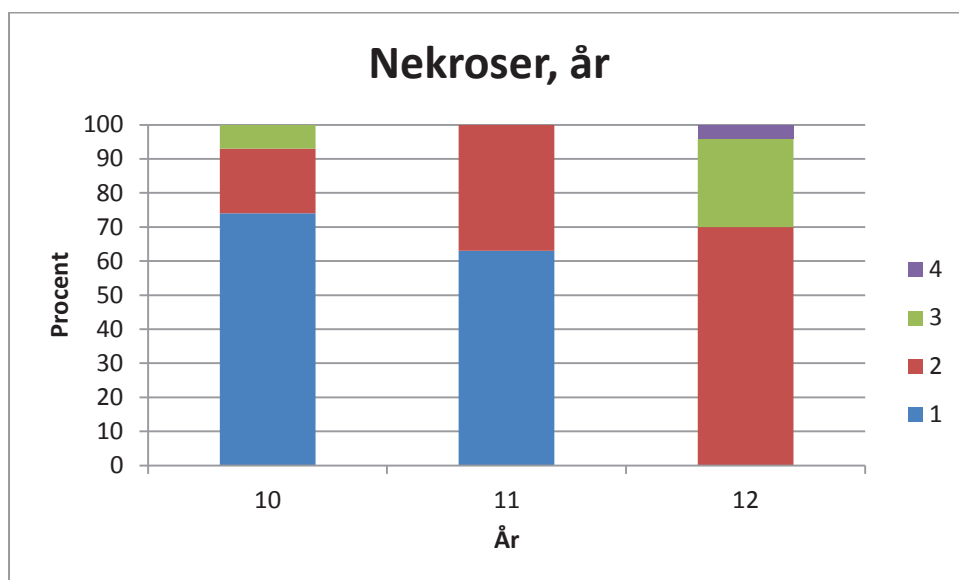
Figur 28. Grafisk visning af data fra Tabel 22.

Ovenstående figur giver indtryk af, at FÆ og ØA er omtrent ens mht. nekroser, mens træerne på CB har flere nekroser. Statistisk set kan resultaterne analyseres for sikre forskelle. Resultatet er $\chi^2=20,211$, $\text{prob}>\chi=0,0025$, hvilket viser, at der er signifikante forskelle i datasættet. Forskellene knytter sig især til det lille antal CB kategori 1'ere, det store antal ØA kategori 1'ere og det store antal CB kategori 2 og 3'ere.

Det vil sige, at der er signifikant flere nekroser på træerne på CB end på de andre to lokaliteter. Da der også er flest kloroser på træerne på CB, er det nærliggende at antage, at træerne på CB udsættes for noget, fx salt, der først skader og senere slår bladcellerne ihjel.

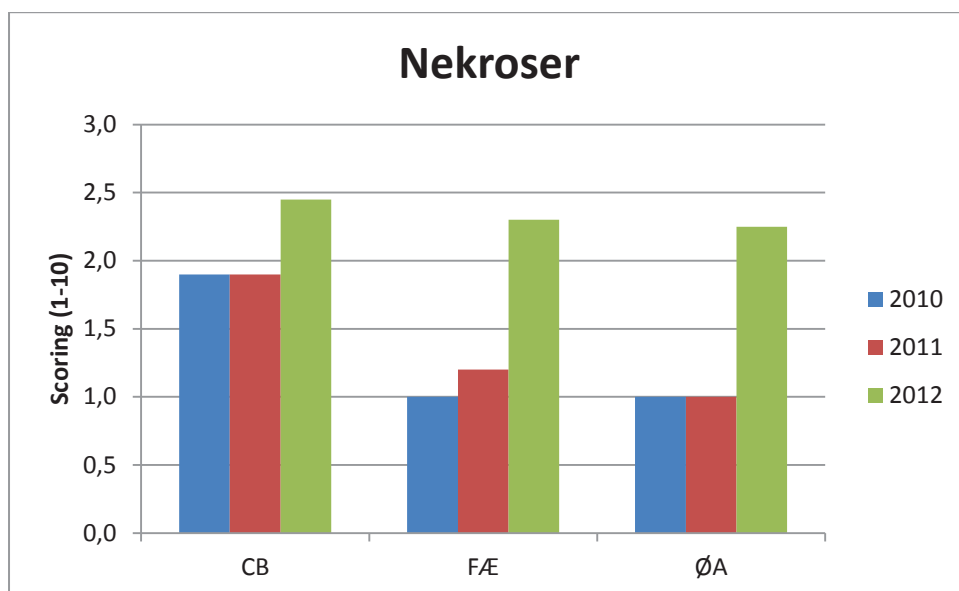
Tabel 23. Den procentvise fordeling af klorose-scoringer pr. år. Alle tre lokaliteter er indregnet. Det totale antal vurderinger står under "Antal".

	1	2	3	4	Antal
2010	74%	19%	7%	0%	27
2011	63%	37%	0%	0%	27
2012	0%	70%	26%	4%	54



Figur 29. Grafisk visning af data fra Tabel 23.

Det visuelle indtryk er, at bladene i år 2012 er betydeligt mere præget af nekroser end de foregående år. Den statistiske likelihood ratio-analyse giver resultaterne: $\chi^2=79,225$, $\text{prob}>\chi^2<0,0001$, og fortæller dermed, at der er signifikante forskelle i datasættet. Forskellene er især knyttet til den manglende 2012 kategori 1, den store 2010 kategori 1, den store 2011 kategori 1, den lille 2010 kategori 2 og de store 2012 kategori 2 og 3'ere. Tolkningen er, at 2012 adskiller sig signifikant ved at have et højt nekroseniveau. Opgørelsen af nekroser over årene svarer præcist til opgørelsen af kloroser over årene.



Figur 30. Gennemsnittet af nekrose-scoringer på de tre lokaliteter på de tre år.

Gennemsnittet af nekrosescoringer giver et tydeligt indtryk af, at der generelt er flest nekroser på træerne på CB, og at træerne i 2010 og 2011 havde et langt

højere nekrose-niveau på CB end i FÆ og ØA. I 2011 var der et relativt lavt kloroseniveau på CB, mens nekroseniveauet var ret højt. Enten er resultatet en tilfældighed pga. det begrænsede datasæt, eller også optræder der nekroser, der ikke samtidig er knyttet til kloroser.

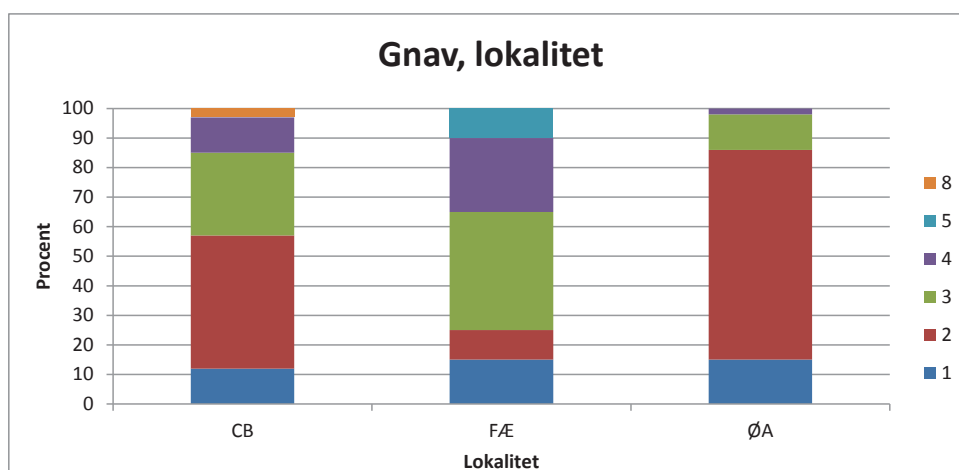
Den samlede status er, at der i 2012 var flest kloroser på CB, men relativt mange nekroser på alle lokaliteter, mens der er 2010 og 2011 kun var mange kloroser på bladene på CB. Forskellene svarer til doseringen af salt, der er langt størst i 2010 og 2011 og mindre i 2012.

Insektgnav

Insektgnav defineres som manglende dele af bladene enten fra bladkanten eller midt på bladet, men tydeligt med gnav som årsag. Omfanget er vurderet samtidigt med klorose og nekrose, altså én vurdering pr. træ pr. år i de tre forsøgsår. Skalaen er, i lighed med nekrose og klorose, relativ i forhold til bedst/værst. Hvis alle de yderste blade er gnavede, så ligger scoren omkring fire.

Tabel 24. Den procentvise fordeling af gnav-scoringer pr. lokalitet. Alle tre år er indregnet. Det totale antal vurderinger står under "Antal".

	1	2	3	4	5	8	Antal
CB	12%	45%	28%	12%	0%	3%	40
FÆ	15%	10%	40%	25%	10%	0%	20
ØA	15%	71%	12%	2%	0%	0%	48



Figur 31. Grafisk visning af data fra Tabel 24.

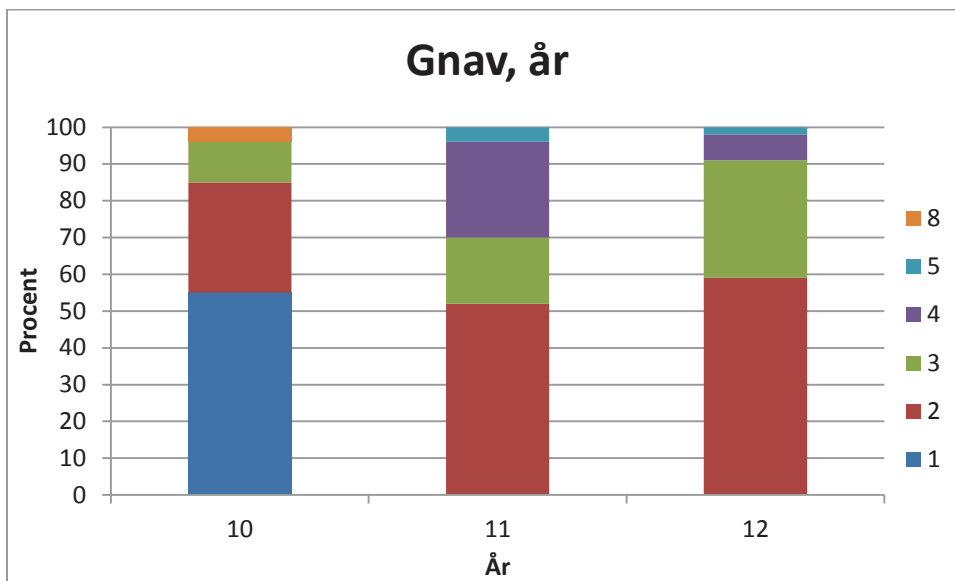
Det visuelle indtryk er, at træerne på ØA gnaves mindst, træerne i FÆ gnaves generelt mest, mens enkelte træer på CB gnaves meget alvorligt.

I lighed med de ovenstående afsnit sammenlignes resultaterne med en likelihood ratio-analyse. Resultaterne er: $\chi^2=35,278$, $\text{prob}>\chi=0,0001$. Der er altså signifikante forskelle i registreringerne. Forskellene er især knyttet til overhyppighed af FÆ kategori 3, 4 og især 5, og underhyppighed af FÆ kategori 2. Derudover skyldes forskellene en overhyppighed på ØA af kategori 2 og

en underhyppighed af kategori 3 og 4'ere. Det vil sige, at der er signifikant mere gnæv på træernes blade i FÆ og signifikant mindre gnæv på bladene på ØA.

Tabel 25. Den procentvise fordeling af klorose-scoringer pr. år. Alle tre lokaliteter er indregnet. Det totale antal vurderinger står under "Antal".

	1	2	3	4	5	8	Antal
2010	55%	30%	11%	0%	0%	4%	27
2011	0%	52%	18%	26%	4%	0%	27
2012	0%	59%	32%	7%	2%	0%	54

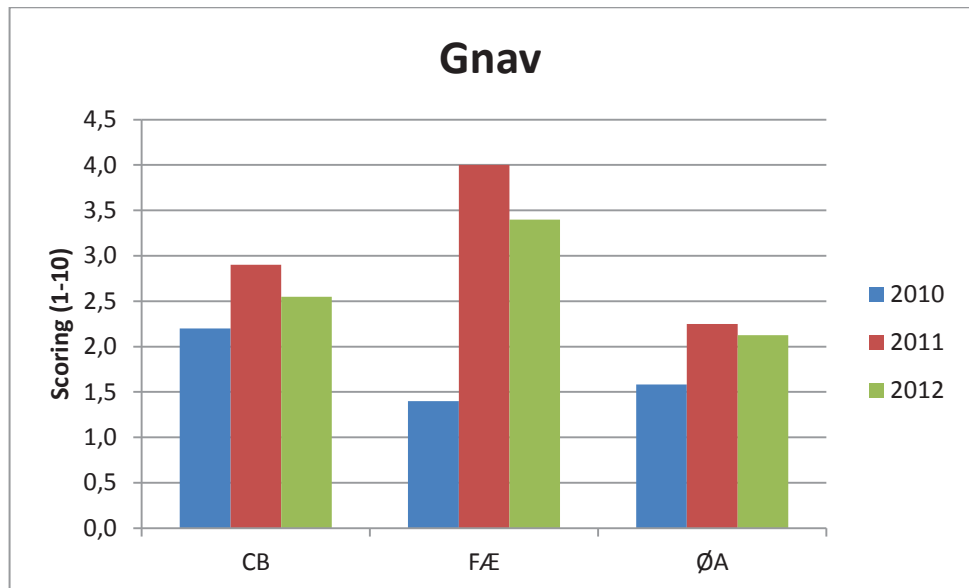


Figur 32. Gennemsnittet af gnæv-scoringer på de tre lokaliteter på de tre år.

Det visueller indtryk er, at der er markant mindre gnæv i 2010 i forhold til 2011 og 12.

Den statistiske sammenligning med en likelihood ratio-analyse giver resultaterne: $\chi^2=63,620$, $\text{prob}>\chi=<0,0001$. Dette betyder, at der er signifikante forskelle i datasættet. Forskellene er især knyttet til den meget store overhyppighed i 2010 af kategori 1'ere, en stor underhyppighed i 2012 af kategori 1'ere og en stor overhyppighed i 2011 af kategori 4'ere.

Det vil sige, at der er signifikant mindst gnæv på træerne i 2010, 2012 er intermediær, og der er signifikant mest gnæv i 2011.



Figur 33. Gennemsnittet af gnav-scoringer på de tre lokaliteter på de tre år.

De gennemsnitlige scoringer på hver lokalitet og hvert af de tre år giver et samlet overblik. Det er iøjnefaldende, at CB ligger omtrent ens og ret højt de tre år, mens FÆ er lav i 2010 og høj i 2011 og 2012. ØA er relativt lav alle tre år.

Der er flere faktorer, der påvirker graden af gnav på træer. En af faktorerne er tilstedeværelsen af gnavende insekter. En anden faktor er træernes evne til at danne forsvarsstoffer. Jo mere vitalt et træ er, jo bedre kan det give respons på gnav i form af øget indhold af forsvarsstoffer som fx bitterstoffer i bladene.



Billede: Gnavede blade i FÆ. (Simon Skov)

Med risiko for at overfortolke de relativt få målinger, kan man sige, at træerne på CB generelt er mere plagede af gnav end træerne på ØA, fordi de er mindre

vitale. FÆ er påvirket af en anden tilstedeværelse af gnavende insekter, idet træerne står i et parkmiljø inde i Fælledparken. Der er større risiko for fluktuationer i diverse insektpopulationer inde i parken end ude på vejene, hvor den biologiske aktivitet er begrænset af miljøet. Den samlede status for gnæv er, at der samlet set er stor årsvariation, men at årsvariationen især er knyttet til FÆ, mens niveauet generelt er højt på CB og lavere på ØA.

Sundhed

Sundhed scores fra 1-10 og er en samlende visuel vurdering, der bl.a. inddrager beløvningsgraden, løvfarven, grendød mv. Hver parameter er behandlet særskilt, men er her samlet til en sundhedsparameter.

Tabel 26. Den gennemsnitlige score på hver lokalitet ved hvert tilsyn.

	CB	ØA	FÆ
aug-10	6,3	8,0	9,0
aug-11	7,6	8,5	6,8
jul-12	7,3	8,5	7,4
aug-12	7,6	8,4	7,4
i alt	7,2	8,4	7,7

Der ses en tydelig forskel på sundhedsscoren mellem lokaliteterne. Forskellen mellem lokaliteterne er signifikante, når alle data indregnes (Likelihood ratio: 52,831 $P < 0,001$). Forskellene er især knyttet til manglende score 9 på CB, mange score 9 på ØA, få score 7 på ØA og overrepræsentation af score 7 i FÆ. Tilsammen giver det en betydelig bedre sundhed på ØA end på CB (og FÆ).

På CB og ØA er det bemærkelsesværdigt, at scoren i aug. 2010 er betydeligt lavere end de efterfølgende scoringer. Dette kunne henlede tankerne på en udplantningseffekt, men da FÆ viser den modsatte effekt, nemlig den højeste score i aug. 2010, så bekræfter datasættet ikke hypotesen.

Den samlede forskel mellem ØA og CB tyder på en stor effekt af saltningen. ØA har en betydelig bedre sundhed end CB. FÆ ligger mellem ØA og CB, og sundhedsparameteren er således ikke blot et udtryk for saltningen, for så ville FÆ ligge nærmere eller over ØA. Om scoren i FÆ er nedsat pga. andre faktorer, og forskellen mellem ØA og CB virkelig afspejler saltningen, kan desværre ikke afgøres.

Konklusioner

Højde og stammeomkreds: Der er signifikant højere højdetilvækst (2012) og tykkelsestilvækst (2011) på ØA end på CB. De øvrige resultater viser samme tendenser.

Kronestørrelse og -densitet: Både i 2011 og -12 er kronevolumen signifikant

mindre på CB end på FÆ og ØA. I 2011 er kronedensiteten signifikant større på ØA. Samme tendens ses i 2012.

Løvfald: Den mindste reduktion af kronevolumen er sket i FÆ, og den største reduktion af densitet er sket på ØA.

Grenvækst: Der er betydeligt højere grenvækst inden udplantning end efter udplantning. Alle år efter udplantning var grenvæksten signifikant længere på ØA end på CB.

Beløvning: Generelt er beløvningen højest på ØA, hvilket overvejende er signifikant.

Grønfarvning: På ØA er de fleste træer mørkegrønne, men der er også gullige træer. På CB og FÆ er flest træer mellem-grønne. Forskellen mellem lokaliteternes fordeling af grønscoren kan ikke umiddelbart forklares.

Blomstring: Blomstringen er ens på de tre lokaliteter, med undtagelse af 2010, hvor kun træerne på ØA blomstrede. Udplantning har en begrænsende effekt på blomstringen.

Barkskader: Der er ingen basale barkskader på træerne i undersøgelsen. De observerede forskelle påvirkes altså ikke af sår.

Døde grene: Der er stor forskel på grendøden mht. lokalitet og dato. Grendøden er størst på CB og mindst på ØA.

Kloroser: Der er, set over alle tre år, signifikant flest kloroser på træerne på CB og færrest på ØA. Variationen mellem årene er betydelig.

Nekroser: Der er alle år betydeligt flere nekroser på CB end på ØA og FÆ.

Insektgnav: Der er samlet set stor årsvariation, men årsvariationen er især er knyttet til FÆ, mens niveauet generelt er højt på CB og lavere på ØA.

Sundhed: Der er signifikant bedre sundhed på ØA end på CB. FÆ er intermediær.

Samlet: På baggrund af de ovenstående parametre er der tydelige indikationer på, at træerne på CB trives dårligere end træerne i FÆ og på ØA.

Blade

Bladstørrelse

Bladarealet er målt ved at scanne fire blade fra hvert træ. Bladene plukkes i orienteringen N, S, Ø og V. Scanningen foretages med Epson Perfection 700 og beregningen sker med PC-programmet WinSEEDLE 2010 PRO.

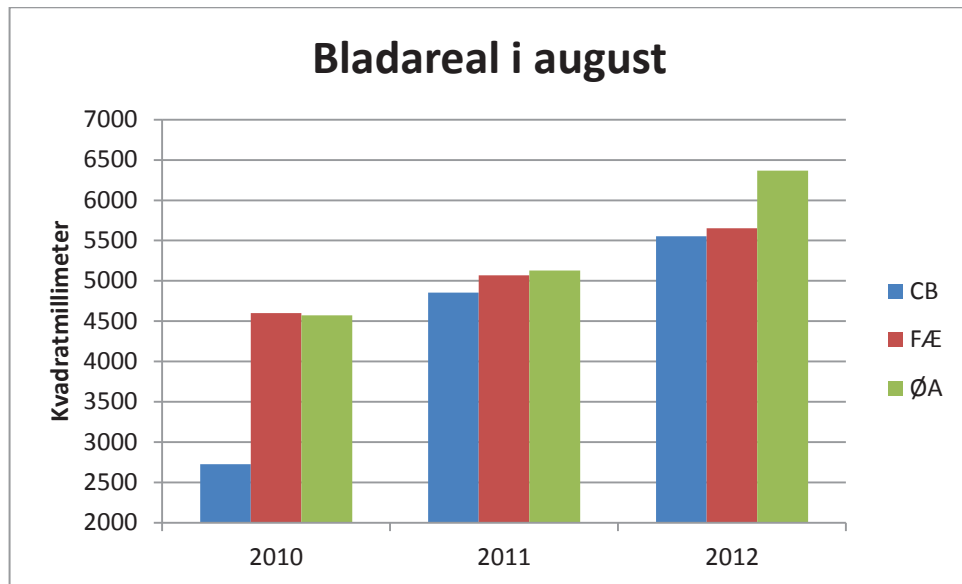
Tabel 27. Gennemsnittet af bladarealet i mm² for hver lokalitet og hver målerunde. Desuden det samlede gennemsnit (gns. i alt) og gennemsnittet fraregnet data i juli 2011 (excl. juli 2011). Hævede bogstaver viser signifikant forskellige grupper.

	CB	FÆ	ØA
aug-10	2728 ^B	4602 ^A	4572 ^A
maj-11	3823 ^B	4532 ^B	5766 ^A
jun-11	4898 ^A	3994 ^B	5009 ^A
jul-11		3920	5148
aug-11	4855 ^A	5071 ^A	5130 ^A
jul-12	4736 ^B	6000 ^A	5879 ^A
aug-12	5553 ^B	5653 ^B	6369 ^A
gns. i alt	4432	4825	5411
excl. juli-11	4432 ^C	4975 ^B	5454 ^A

For at udføre en korrekt sammenligning af bladarealet på de tre lokaliteter ekskluderes den ikke-komplette dataserie i juli 2011. Når alle komplette dataserier sammenlignes samlet under hver lokalitet, er der signifikant forskel mellem alle tre lokaliteter. Når data opdeles på dato, og lokaliteterne sammenlignes, er der signifikante forskelle indenfor de fleste datoer. (Markeret i Tabel 27). På alle datoer er ØA i gruppe med de største bladarealer, mens CB på fire datoer er i gruppe med de mindste bladarealer. FÆ ligger intermediært.

Det er nærliggende at lede efter en sammenhæng mellem bladenes orientering og størrelse. Der er ingen forskel i bladstørrelsen som følge af bladenes orientering, hverken når data opdeles efter lokalitet eller samlet set.

Der er udført bladstørrelsesbestemmelser i august i alle tre projektår. Det giver mulighed for at sammenligne årene på hver lokalitet.



Figur 34. Det gennemsnitlige bladareal i august i hhv. 2010, 2011 og 2012 på hver lokalitet.

Der er iøjnefaldende forskel på årene. Sammenlignes årene, uden at der tages hensyn til lokaliteterne, er der signifikant forskel mellem alle år. Gennemsnittet er stigende med årene. Opdeles årene efter lokalitet, er der signifikant forskel mellem årene på CB og signifikant forskel mellem 2010 og 2012 i FÆ. På alle tre lokaliteter er bladstørrelsen stigende, hvilket er forventeligt i årene efter plantning.

Sammenlignes lokaliteterne hver år, er der også signifikante forskelle. I 2010 er bladstørrelsen signifikant mindre på CB end på ØA og FÆ. I 2011 er lokaliteterne ens, mens der i 2012 er signifikant større blade på ØA end på CB og FÆ.

Der er altså generelt en stigende bladstørrelse. Træerne på CB havde meget små blade i 2010, i 2011 var alle blade ens, mens der i 2012 var særligt store blade på ØA.

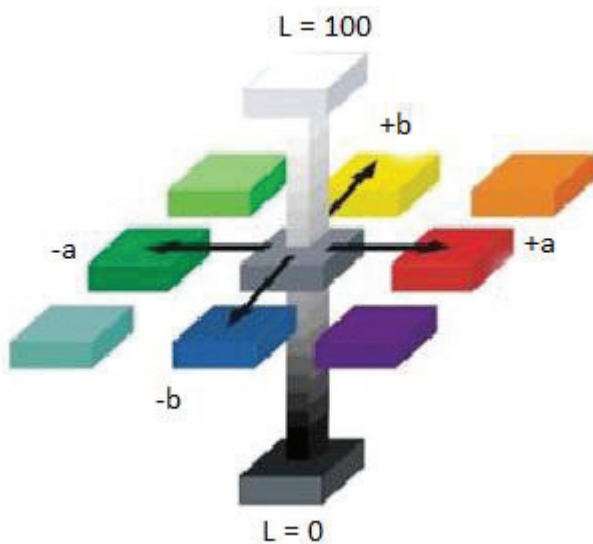
De nyplantede træer havde det særligt svært på CB i 2010, muligvis pga. vindens udtørring, der udfordrede træernes begrænsede rodnet. I 2011 havde træerne bedre rodfunktion end i 2010. I 2011 stiger bladstørrelsen betydeligt på ØA og i mindre grad på CB og i FÆ. Årsagen kunne være saltet og klimaet på CB og skyggen i FÆ.

Bladfarve

Bladfarven er et udtryk for bladets funktion ligesom klorofylkoncentrationen og fluorescensen er det. Tilsammen giver de tre parametre et godt indtryk af træernes produktionsapparat og dermed vitalitet.

De tre målinger er udført i samme kampagne på de samme blade. Der er plukket fire blade, et fra henholdsvis N, S, Ø og V. Måleintensiteten er forskellig i de tre forsøgsår. I 2010 blev der målt tre gange, i 2011 én gang og i 2012 to gange. Som udgangspunkt arbejder vi med gennemsnittet af de fire målinger pr. træ, så hvert træ er tildelt én værdi.

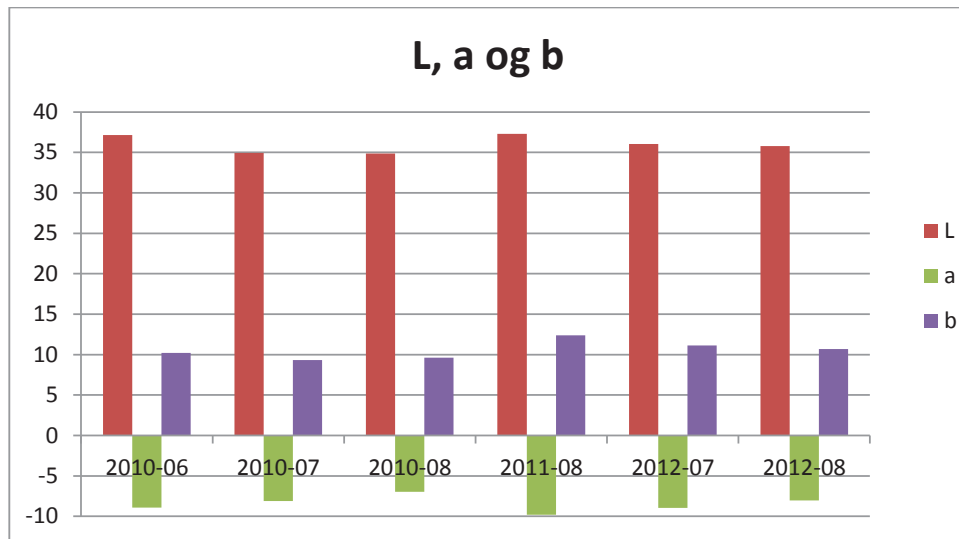
Farven analyseres men en L, a og b skala. L er lys/mørke-skalaen, a er rød/grøn-skalaen og b er blå/gul-skalaen.



Hver måling består af en nord-, øst-, syd- og vest-måling. De forskellige målekategorier kan sammenlignes med en ANOVA-test. Når henholdsvis L, a og b på blade orienteret mod de fire verdenshjørner på de tre lokaliteter sammenlignes, viser det sig for alle tre lokaliteter, at der ikke er statistisk forskel på hverken L, a eller b afhængigt af orienteringen. Dog med den ene undtagelse, at b er signifikant højere mod syd og lavere mod nord i FÆ.

Opdeles målingerne efter den måned, de er taget i, kan det sammenlignes, om der nogle måneder er forskel på bladfarven afhængigt af orienteringen. Resultatet er, at der hverken i 6., 7. eller 8. måned er statistisk forskel på L, a og b i nogen af retningerne. Der bliver herefter ikke taget hensyn til verdenshjørnerne i vurderingen af bladfarven.

Resultaterne fra de forskellige kampagner skal sammenlignes for at afgøre, om resultaterne kan slås sammen til et gennemsnit pr. år. Den grafiske fremstilling ses her under.



Figur 35. Gennemsnit af L-, a- og b-parametrene for hver kampagne. Alle tre lokaliteter indgår i datasættet.

Det visuelle indtryk er, at værdierne svinger lidt, men ikke markant. Statistisk set skal 2010-6, -7 og -8 sammenlignes for at vurdere muligheden for sammenslåning. For både L, a og b er der signifikant forskel mellem de tre kampagner. Der er altså ikke mulighed for sammenslåning.

Målingerne i 2012-7 og -8 skal også sammenlignes. Her er det kun a-parameteren, der er signifikant forskel på. Tilsammen betyder analyserne, at hele datasættet ikke kan samles til et stort gennemsnit. Når lokaliteterne skal sammenlignes, bliver det med udgangspunkt i augustkampagnen, der er gennemført alle år og på alle lokaliteter.

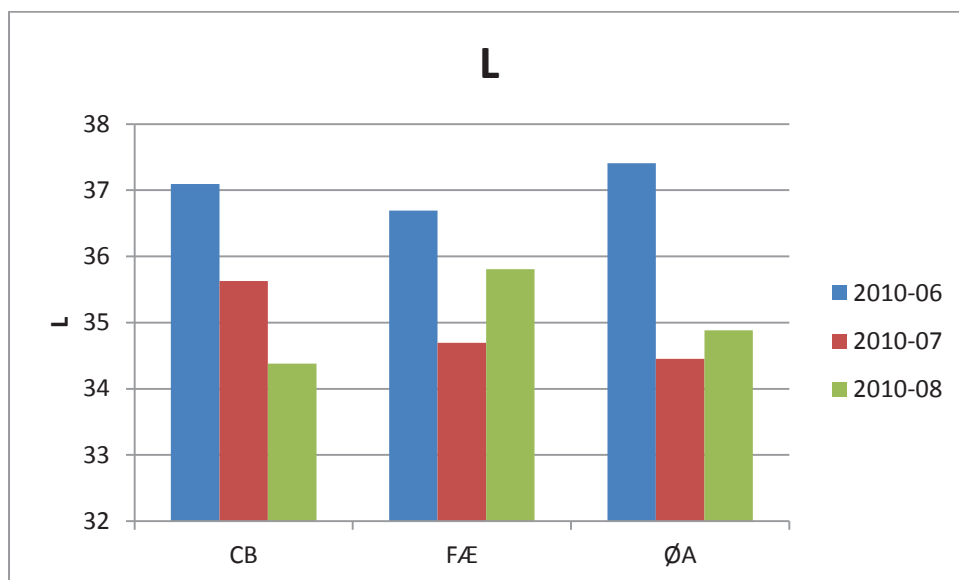
Resultaterne for de tre kampagner i 2010 giver oplysninger om udviklingen i bladfarven, i hvert fald det pågældende år.

Tabel 28. Den gennemsnitlige værdi for de tre farveparametre L, a og b. Alle lokaliteter er indregnet.

	L	a	b
juni	37,16	-8,90	10,21
juli	34,93	-8,10	9,33
august	34,89	-6,97	9,63

Som tidligere skrevet er der signifikant forskel på månederne for alle tre parametre. I juni er bladene mørkere og med stærkere komponenter af grønne og gule nuancer. I juli er bladene lidt lysere end i juni, men magen til august. I juli er den grønne farve aftaget lidt i forhold til juni, og den gullige nuance er svagere end juni og august. I august er den grønne nuance aftaget yderligere ift. juni og juli. Tendensen er altså, at bladene bliver lysere og mindre grønne fra juni til august.

Opdeles de tre kampagner i 2010 efter lokalitet fremkommer nedenstående figurer for de tre farveparametre.



Figur 36. Gennemsnittet af L-parameteren på de tre lokaliteter i hhv. juni, juli og august 2010.

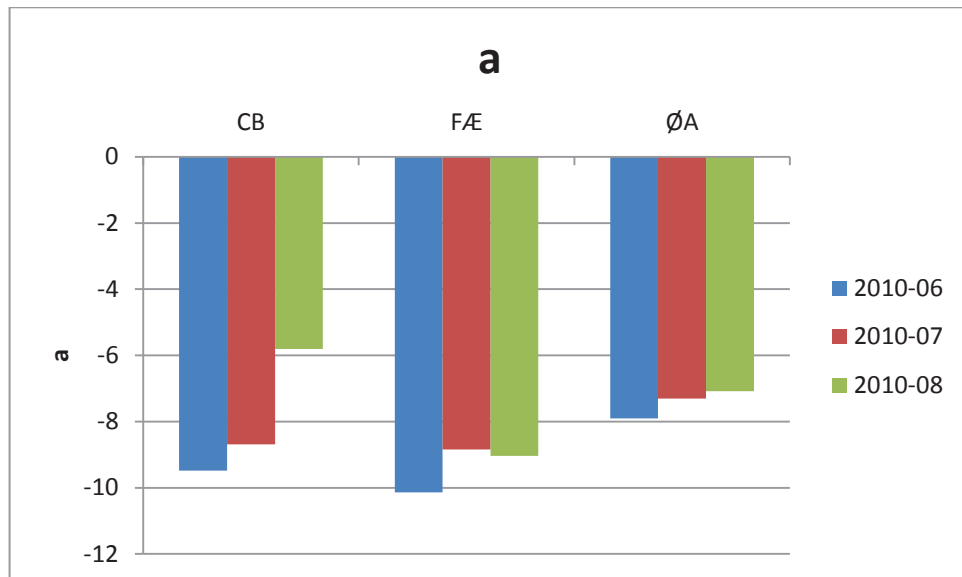
Der viser sig et generelt fald fra juni mod august, men ikke ens på de tre lokaliteter. På CB er faldet jævnt, mens farven i FÆ og på ØA er lysest i juli og bliver mørkere igen i august. Især i august er der stor forskel på de tre lokaliteter, hvor bladene på CB er lysere end på de andre to lokaliteter.

Statistisk sammenligning af månederne på samme lokalitet viser, om ændringerne mellem månederne er signifikante.

Tabel 29. Med en all pair Tukey HSD grupperes L-resultaterne fra hver måned og samme lokalitet, så der er signifikant forskel mellem grupperne. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen kan ikke læses lodret altså mellem lokaliteterne.

L	2010-06	2010-07	2010-08
CB	A	B	C
FÆ	A	B	AB
ØA	A	B	B

Ud fra ovenstående tabel kan man sige, at faldet i L-værdi på CB er signifikant fra måned til måned og at juni er signifikant højere end juli og august på ØA og signifikant højere end juli i FÆ.



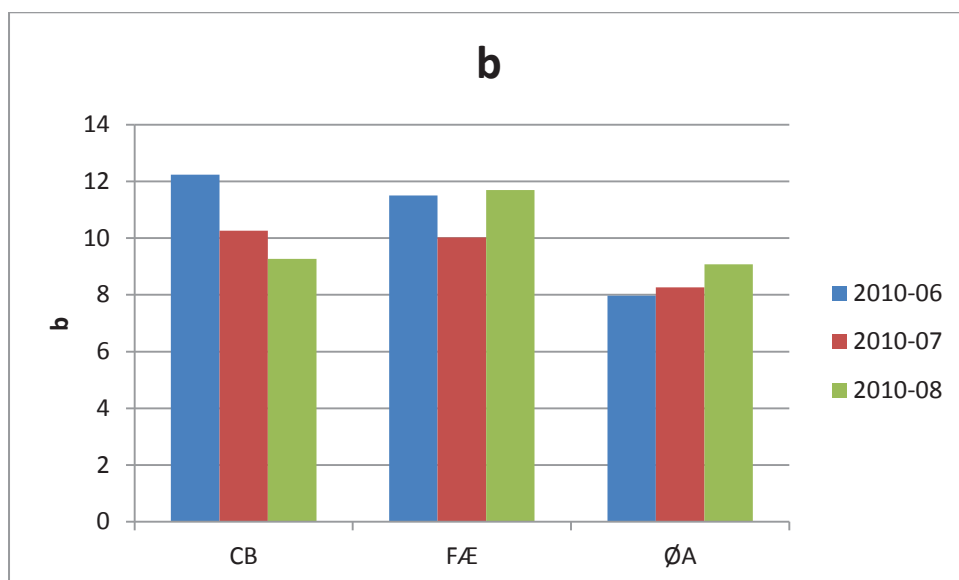
Figur 37. Gennemsnittet af a-parameteren på de tre lokaliteter i hhv. juni, juli og august 2010.

A-parameteren (fra rød til grøn) viser en tendens til, at den grønne nuance aftager fra juni til august. Tendensen er kraftigst på CB, svag på ØA og ikke systematisk i FÆ, hvor bladene er omtrent lige grønne i juli og august. Generelt er bladene grønnest i FÆ og mindst grønne på ØA.

Tabel 30. Med en all pair Tukey HSD grupperes a-resultaterne fra hver måned og samme lokalitet, så der er signifikant forskel mellem grupperne. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen kan ikke læses lodret altså mellem lokaliteterne.

	2010-06	2010-07	2010-08
CB	C	B	A
FÆ	B	A	A
ØA	B	AB	A

Man ser altså et signifikant fald i "grønhed" hver måned på CB. Faldet fra juni til juli/august er signifikant i FÆ, mens der er signifikant forskel mellem juni og august på ØA.



Figur 38. Gennemsnittet af b-parameteren på de tre lokaliteter i hhv. juni, juli og august 2010.

For b-parameteren (fra gul til blå) ses ingen systematisk tendens til udvikling fra juni til august. På CB ses et fald, i FÆ er juli mindst gul, mens der ses en marginal stigning på ØA.

Tabel 31. Med en all pair Tukey HSD grupperes b-resultaterne fra hver måned og samme lokalitet, så der er signifikant forskel mellem grupperne. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen kan ikke læses lodret altså mellem lokaliteterne.

	2010-06	2010-07	2010-08
CB	A	B	B
FÆ	A	B	A
ØA	B	AB	A

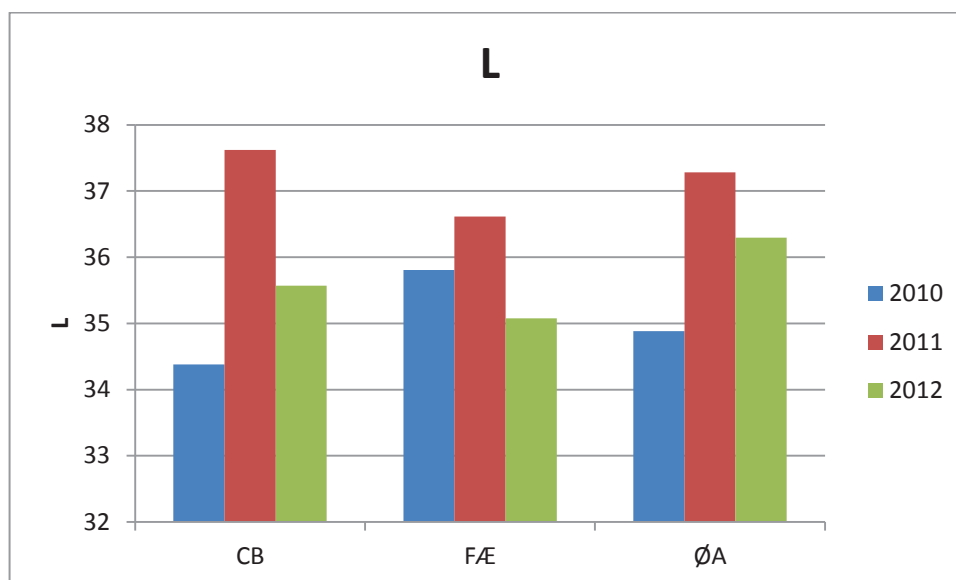
På CB er faldet i gulhed signifikant fra juni til juli/august. I FÆ er der signifikant fald fra juni til juli, men signifikant stigning igen til august. På ØA er der stigning fra juni til juli og igen til august. Altså tre forskellige forløb på de tre lokaliteter.

Når vi sammenholder de tre parametre ses der i nogle tilfælde en sammenhæng. På CB bliver bladene lysere, mindre grønne og mindre gule fra juni til august. I FÆ ses en anden systematik, nemlig at juni og august er mørkest, mest grønne og mest gule, mens juli er lysere mindre grønne og mindre gule. På ØA er de tre parametre ikke "i takt". Juni er langt mørkest og mest grøn, men også mindst gul, hvilket er anderledes end på de andre to lokaliteter.

Konklusionen er, at farvemålingerne er varierende uden en tydelig systematik, der er fælles for alle lokaliteter. Denne lære skal tænkes med

ind i nedenstående sammenligning af farvens udvikling i august i de tre år. Målingerne i august er ikke nødvendigvis dækkende for situationen i de andre måneder.

Sammenlignes farveparametrene over årene i august fremkommer nedenstående figurer.

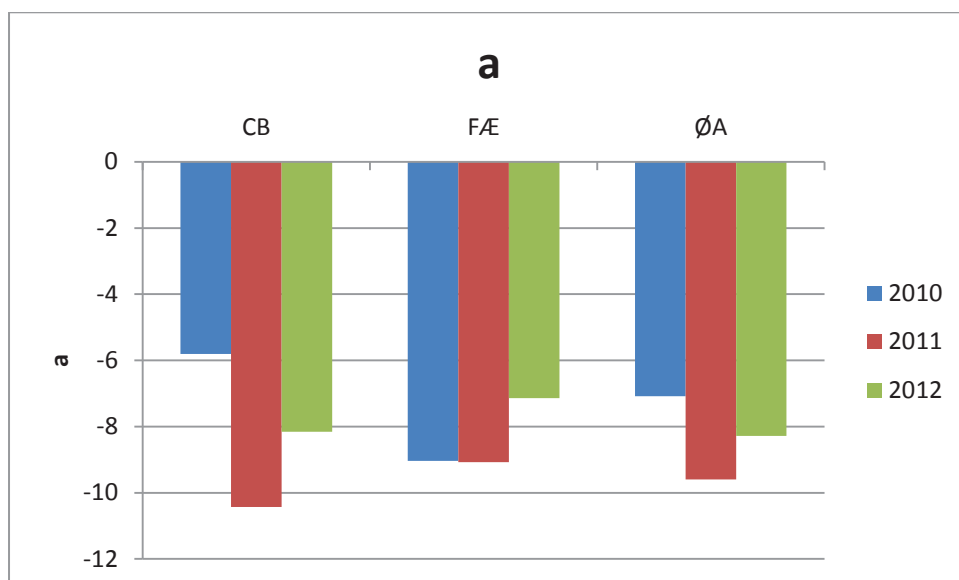


Figur 39. Gennemsnittet af farveparameteren L, opgjort pr lokalitet i august hvert af de tre år.

Tabel 32. Med en all pair Tukey HSD grupperes L-resultaterne fra august hhv. 2010, -11 og 12 fra samme lokalitet, så der er signifikant forskel mellem grupperne. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen kan ikke læses lodret altså mellem lokaliteterne.

	2010	2011	2012
CB	C	A	B
FÆ	B	A	B
ØA	B	A	A

Det er gennemgående på de tre lokaliteter, at bladene var signifikant mørkest i 2011 (dog lige så mørke som på ØA i 2012). Alle andre forskelle er ikke-systematiske. I 2010 er bladene på CB signifikant lysere end i FÆ (ØA's blade er intermediære). I 2011 er der ingen signifikant forskel mellem lokaliteterne, mens der i 2012 er signifikant højere L på ØA end i FÆ (CB intermediær). I gennemsnit over årene måles CB til 35,86, mens bladene i FÆ scorer 35,83 og på ØA 36,15. Det betyder i praksis, at farven i gennemsnit over de tre år er lige mørk på de tre lokaliteter. I de tre år, som gennemsnit over lokaliteterne, er farven lidt lysere i 2010 end i 2011 og mørkest i 2012, men forskellene er små og ikke signifikante.

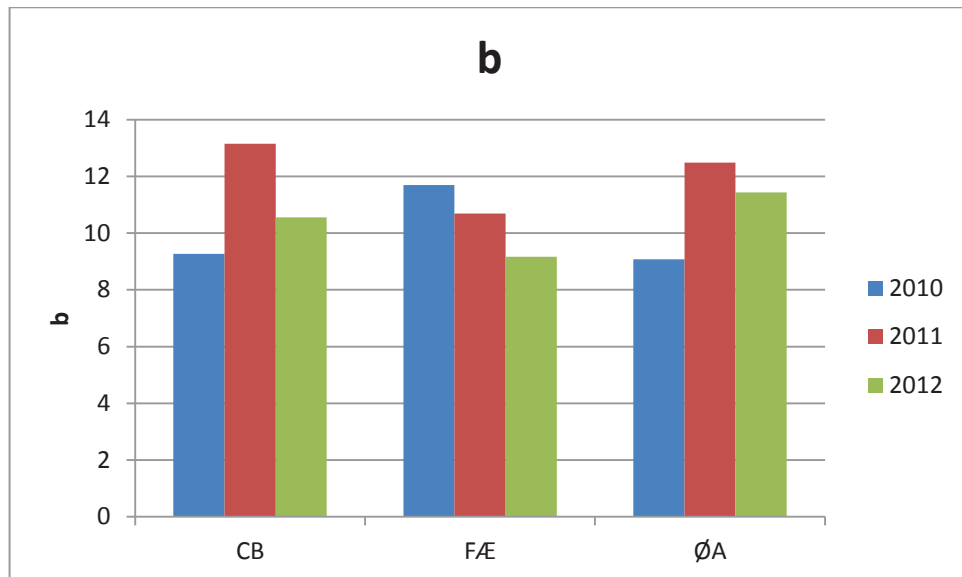


Figur 40. Gennemsnittet af farveparameteren *a*, opgjort pr. lokalitet i august hvert af de tre år.

Tabel 33. Med en all pair Tukey HSD grupperes *a*-resultaterne fra august i hhv. 2010, -11 og 12 fra samme lokalitet, så der er signifikant forskel mellem grupperne. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen kan ikke læses lodret altså mellem lokaliteterne.

<i>a</i>	2010	2011	2012
CB	A	C	B
FÆ	B	B	A
ØA	A	B	C

Parameteren *a* (rød-grøn) viser, at bladene var signifikant mest grønne i 2011, (dog lige så grønne som bladene i FÆ i 2010) mens andre forskelle er ikke-systematiske. På CB og ØA er bladene signifikant grønnere i 2012 end i 2010. Opdelt pr. lokalitet, og data fra alle år medregnet, er bladene i FÆ grønnest (*a*-gns.=-8,4), efterfulgt af bladene på ØA (*a*-gns.=-8,3) mens bladene på CB er mindst grønne (*a*-gns.=-8,1). Forskellene er dog ikke signifikant forskellige.



Figur 41. Gennemsnittet af farveparameteren *b*, opgjort pr. lokalitet i august hvert af de tre år.

Tabel 34. Med en all pair Tukey HSD grupperes *b*-resultaterne fra august i hhv. 2010, -11 og 12 fra samme lokalitet, så der er signifikant forskel mellem grupperne. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen kan ikke læses lodret altså mellem lokaliteterne.

	2010	2011	2012
CB	C	A	B
FÆ	A	B	C
ØA	B	A	A

Parameteren *b* (gul-blå) er heller ikke systematisk varierende. På CB og ØA er bladene mest gule i 2011 og mindst gule i 2010. I FÆ er bladene signifikant mest gule i 2010 og signifikant mindst gule i 2012. I gennemsnit er bladene på CB (b-gns.=11,0) og på ØA (b-gns.= 11,0) lige gule og bladene i FÆ lidt mindre gule (b-gns. = 10,50). Forskellen er ikke signifikant.

Sammenlignes parametrene er 2011 året med de mørkeste, grønneste og guleste blade, mens 2010 generelt er mindst farvemættet og lysest. Der er ikke nogen tydelig systematisk forskel på CB og ØA, og der kan ikke påvises nogen form for tidsrelateret ændring i bladenes farve i forhold til lokaliteten.

Til overordnet sammenligning anvendes alle data fra de tre år. Tabellen her under viser det samlede billede med mulighed for at sammenligne lokaliteterne med hensyn til L, a og b.

Tabel 35. Oversigt over L, a og b i august de tre måleår.

	L			a			b		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Middel	35,86	35,83	36,15	-8,13	-8,41	-8,32	10,99	10,52	11,00
Min	31,57	34,58	33,08	-13,33	-9,80	-12,24	6,85	8,71	6,74
Max	41,12	37,45	43,91	-4,27	-6,65	-5,09	18,72	12,45	19,59
Std. afv.	1,89	0,91	2,40	2,15	1,03	1,60	2,52	1,26	3,20

Informationerne i ovenstående tabel er gennemsnittet over de tre måleår og svarer således til gennemsnittet af de tre søjler i Figur 39 – 41. Datarækkerne over hele forsøgsperioden kan sammenlignes mht. L, a og b.

For L er den statistiske testværdi F-ratio= 0,2313 og P=0,7940. For a er den statistiske testværdi F-ratio= 0,1639 og P=0,8492. For b er den statistiske testværdi F-ratio= 0,1929 og P=0,8249.

Resultatet er i alle tre tilfælde, at der, set over de tre år, ikke er statistisk forskel på bladfarven på de tre lokaliteter.

Klorofylkoncentration

Klorofylkoncentrationen er estimeret efter SPAD-metoden, der er et relativt mål for bladenes klorofylindhold. Metoden bygger på klorofylets evne til at absorbere lys med bølgelængde på 650 nm. For hver art, og ved mange SPAD-målinger pr. blad, kan der laves en korrelation mellem målte klorofylmængder og SPAD-resultatet. I denne sammenhæng bruges SPAD-resultatet som et relativt udtryk for klorofylkoncentrationen i bladene. Der er målt på uskadede blade. Blade med kloroser, nekroser og gnav er ikke udtaget til SPAD-måling.

Der er målt SPAD i maj (108 målinger), juni (216 målinger), juli (284 målinger) og august (304 målinger) fordelt på de på tre lokaliteter, med i alt 320 målinger på CB, 160 i FÆ og 432 på ØA. Målingerne er foretaget på hvert træ ved at måle på et blad mod hhv. nord, syd, øst og vest.

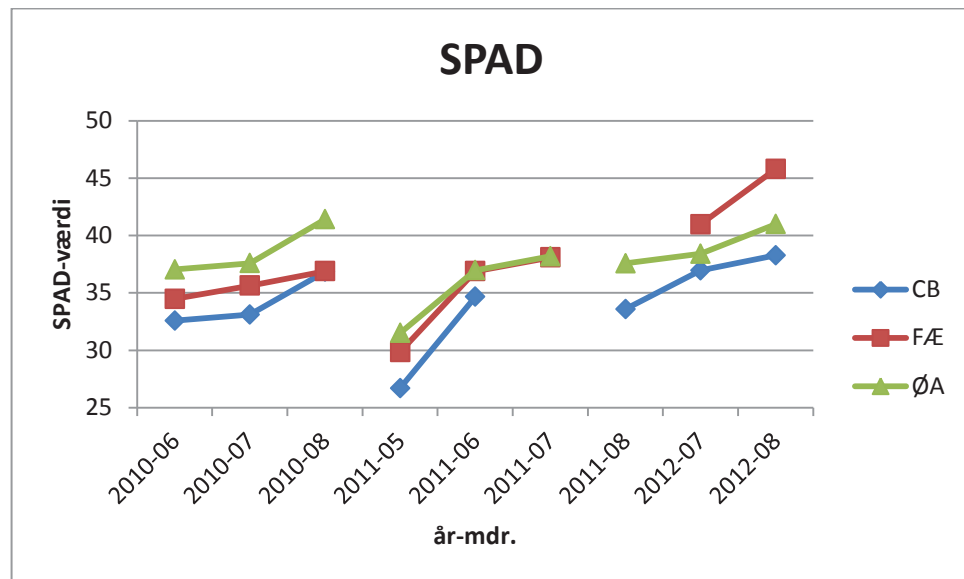
Tabel 36. Det gennemsnitlige SPAD-resultat i hhv. maj, juni, juli og august på de tre lokaliteter. Alle tre forsøgsår indgår.

	CB	FÆ	ØA
maj	26,70	29,85	31,50
juni	33,62	35,68	37,01
juli	35,03	38,23	38,06
august	36,23	41,34	39,99

Der ses en tydelig stigning fra maj til august. Stigningen er statistisk signifikant på alle tre lokaliteter.

En test af data opdelt på de tre lokaliteter, og analyseret for forskelle mellem verdenshjørnerne viser, at der ikke er statistisk forskel eller tendens til forskel på SPAD-resultaterne mellem de fire verdenshjørner.

Stigningen fra maj til august ses også på nedenstående figur, hvor gennemsnittet at SPAD-målingerne er vist pr. måned og pr. lokalitet.



Figur 42. Gennemsnittet af hver måneds SPAD-målinger fordelt på de tre lokaliteter.

Der ses en tydelig tendens til, at CB ligger nederst og ØA eller FÆ ligger øverst. Desuden går det igen de tre år og på alle lokaliteter, at klorofylindholdet er stigende fra juli til august.

SPAD-resultaterne kan testes for statistisk signifikante forskelle mellem de tre lokaliteter opdelt pr. måned.

Tabel 37. Månedsvis test af forskelle i SPAD mellem de tre lokaliteter. Den statistiske testværdi er en F-ratio. To tests (2011-7 og -8) er markeret med *. Da der kun er målt på to lokaliteter disse måneder, er forskellen testet med en t-test.

År/mdr.	Testværdi	P	Min/max
2010-5	14,6326	<0,0001	CB/ØA
2010-6	18,6232	<0,0001	CB/ØA
2010-7	24,0272	<0,0001	CB/ØA
2010-8	16,9929	<0,0001	CB/ØA
2011-6	6,1593	0,003	CB/ØA
2011-7	0,1014*	0,91958	FÆ=ØA
2011-8	4,0736*	<0,0001	CB/ØA
2012-7	11,7903	<0,0001	CB/FÆ
2012-8	26,6722	<0,0001	CB/FÆ

Det generelle resultat er, at SPAD-værdien er signifikant lavere på CB end på ØA. I juli 2011 er der ikke målt på CB, og FÆ og ØA er ens. I juli og august

2012 er FÆ den lokalitet med højest SPAD-værdi i gennemsnit. I alle måneder, hvor CB indgår, er SPAD-værdien signifikant lavest.

Konklusionerne er, at SPAD-tallet og dermed klorofylindholdet stiger signifikant fra maj til august, og at der er lavere klorofylindhold på CB end FÆ og ØA.

Sammenlignes den stigende SPAD-værdi med farvemålingerne, hvor a (grøn-gul) viser mindre grønfarvning fra 6. til 8. måned, så ligner det modstridende resultater, der ikke umiddelbart kan forklares. En hypotese kunne være, at bladets epitel ændrer karakter og farve, uafhængigt af klorofylindholdet i bladene. Resultaterne viser, at en farvemåling ikke kan tolkes som en klorofylmåling.

Fluorescens

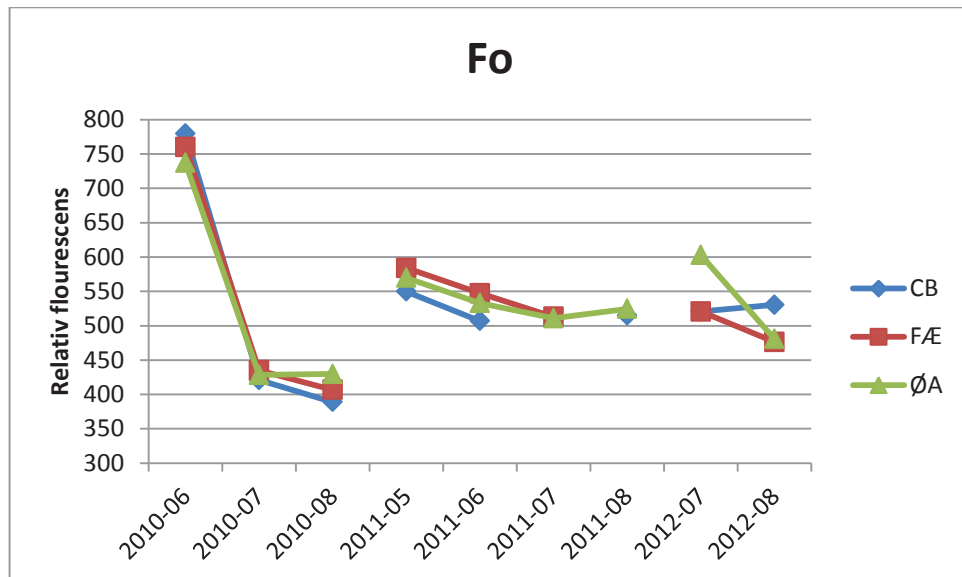
Fluorescens er en måling af forholdet mellem tilført lys og emitteret (udsendt) lys fra bladene. Når lys med en egnet bølgelængde rammer et blad, bliver energien absorberet af pigmenterne i kloroplasterne. Energien videregives fra pigment til pigment og ender i acceptormolekylet klorofyl a. Energien bruges til at drive fotosynteseprocesserne i fotosystem I og II. En del af det absorberede lys frigives igen fra fotosystem II som lys og varme. Lyset måles og kaldes "fluorescens". Her under beskrives de mest brugte fluorescens-parametre: Fo, Fm og Fv.

Fluorescens måles under forskellige forhold:

- Fo måles på et mørketilpasset blad, der belyses. I det mørketilpassede blad er alle fotoreceptorer "ledige" og klar til fotoenergi. Derved er absorptionen maksimal og fluorescensen minimal. Hvis Fo er høj, tyder det på et dårligt fungerende fotosyntese-system.
- Fm måles under de modsatte forhold, nemlig i et lysmættet blad med "optagede" fotoreceptorer i fotosystem II. Når bladet eksponeres for yderligere lys, bliver absorptionen minimal, mens fluorescensen bliver maksimal. En høj Fm tyder på et velfungerende fotosyntesystem.
- Fv er differencen mellem Fo og Fm og indgår i den mest benyttede beskrivelse af bladens stressniveau, nemlig brøken Fv/Fm. Jo mere stresset et blad er, des færre reaktionscentre er klar til at absorbere lyset og sende energien videre i fotosynteseprocessen. I et stresset blad er der ikke stor forskel på Fo og Fm, og Fv bliver lille. Når Fv sættes i relation til Fm i brøken Fv/Fm, udtrykkes bladets stress eller funktionsdygtighed. De fleste blade har en optimal Fv/Fm på omkring 0,8.

Det gælder for alle tre lokaliteter, at der er signifikant forskel på månederne både mht. Fo, Fm og Fv/Fm.

Resultaterne for hhv. Fo, Fm og Fv/Fm præsenteres her under sammen med relevant statistik.



Figur 43. Gennemsnit af Fo på hver lokalitet, vist for de enkelte måneder.

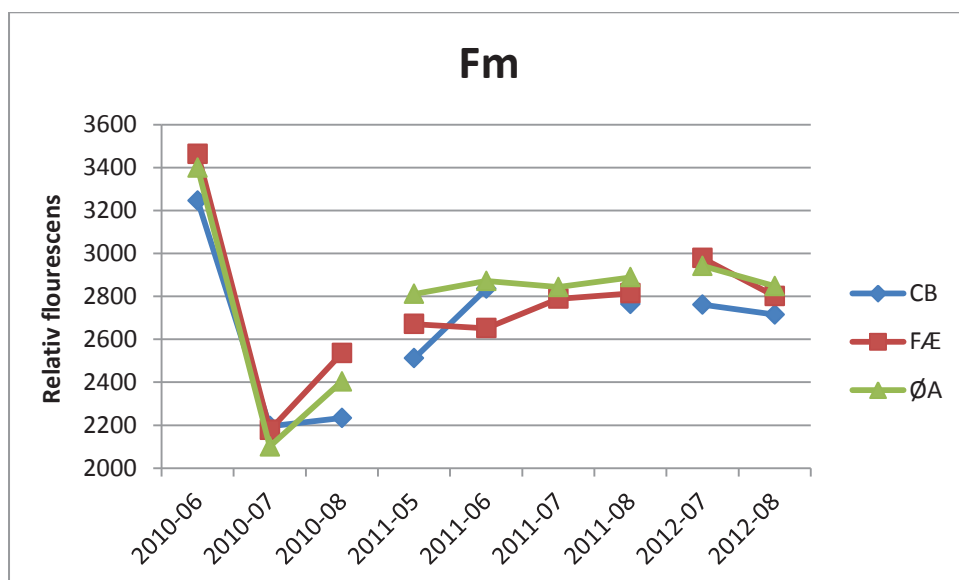
Der ses en tendens til fald i Fo hvert år fra maj/juni til august. Den visuelle tolkning er, at CB generelt har den mindste Fo, hvilket tolkes som et positivt tegn for fotosyntesen. Det fremgår også, at træerne er stærkt stressede i juni 2010 lige efter plantning. Det kan undre, at niveauet for Fo allerede i juli og august 2010 er relativt lavt.

Statistisk set er der typisk signifikante forskelle mellem lokaliteterne i samme måned.

Tabel 38. Lokaliteternes Fo sammenlignes månedsvist. Grupperinger af lokaliteter, der er statistisk signifikant forskellige, markeres med forskellige bogstaver ud for hver år-mdr. ”*” indikerer den lokalitet med højeste Fo. I 2011-7 er der ikke foretaget måling på CB.

år-mdr	CB	FÆ	ØA
2010-6	A*	AB	B
2010-7	A	A*	A
2010-8	A	Ab	B*
2011-5	A	B*	AB
2011-6	A	B*	B
2011-7	-	A*	A
2011-8	A	B	C*
2012-7	A	B*	C
2012-8	AB	B	A*

Der fremgår, at FÆ i 5 ud af 9 måneder har det højeste Fo-gennemsnit og i 7 ud af 9 måneder er med i den gruppe, der har det højeste gennemsnit. Modsat har CB kun 1 ud af 8 måneder det højeste gennemsnit og er i 5 ud af 8 måneder i den gruppe, der har det mindste Fo. En lav Fo indikerer et velfungerende fotosynteseapparat.



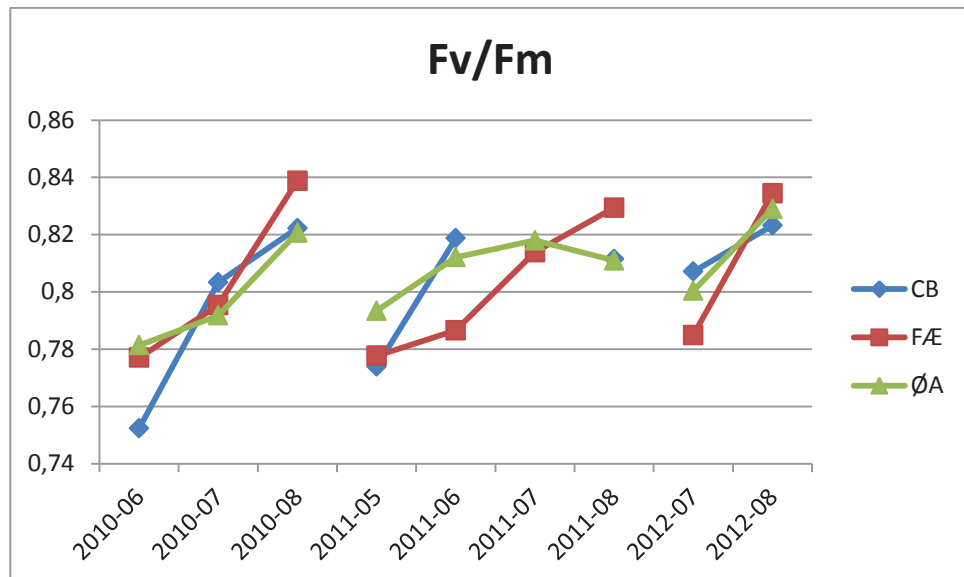
Figur 44. Gennemsnit af Fm på hver lokalitet, vist for de enkelte måneder.

Det visuelle indtryk er, at Fm på ØA og FÆ ligger lidt højere end CB.

Tabel 39. Lokaliteternes Fm sammenlignes månedsvist. Grupperinger af lokaliteter, der er statistisk signifikant forskellige, markeres med forskellige bogstaver ud for hver år-mdr. ”*” indikerer den lokalitet med højeste Fm. I 2011-7 er der ikke foretaget måling på CB.

år-mdr	CB	FÆ	ØA
2010-6	A	A*	A
2010-7	A*	A	A
2010-8	A*	B	C
2011-5	B	AB	A*
2011-6	AB	B	A*
2011-7		A	A*
2011-8	A	A	A*
2012-7	B	A*	A
2012-8	B	AB	A*

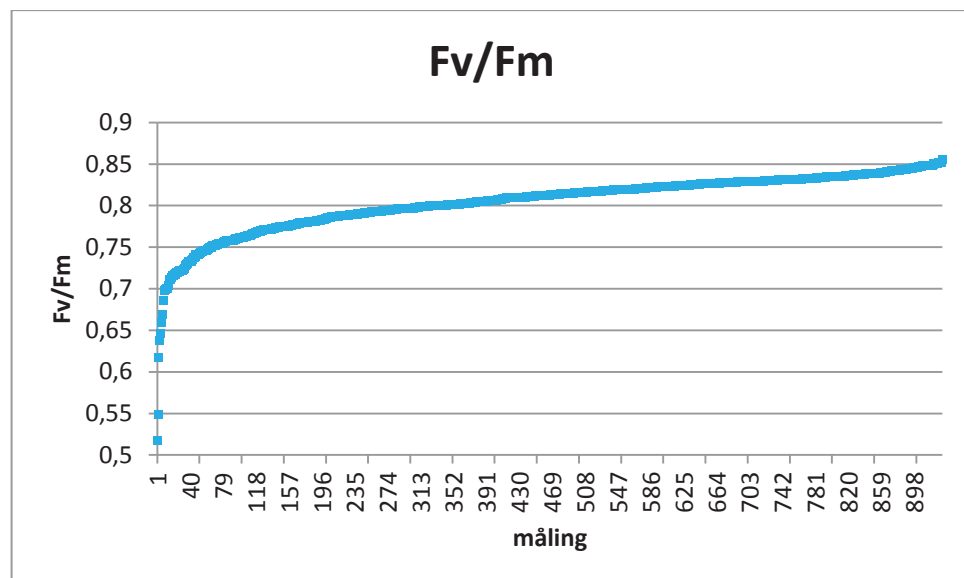
ØA har det højeste gennemsnit af Fm i 5 ud af 9 mdr. og er i gruppe med det højeste gennemsnit i 9 ud af 9 måneder. Omvendt med CB, der kun har det højeste gennemsnit i 2 ud 8 mdr. og kun er gruppe med det højeste gennemsnit i 5 ud af 8 måneder. En høj Fm indikerer et velfungerende fotosynteseapparat.



Figur 45. Gennemsnit af Fv/Fm på hver lokalitet, vist for de enkelte måneder.

Der sker en helt tydelig stigning i Fv/Fm fra maj til august, hvilket tolkes som en forbedret effektivitet hen over sommeren. Det visuelle indtryk er, at FÆ begynder lavest og slutter højest.

Det generelle accepterede niveau for Fv/Fm er ca. 0,8. Tallet er ikke entydigt og varierer lidt mellem arter og sorter. Hvis vi vælger 0,8 som pejlemærke, betyder det, at ca. 35 % (330 målinger) af Fv/Fm-resultaterne ligger under det ønskede niveau. (Se Figur 46 her under.)



Figur 46. Konturen af de 933 værdier for Fv/Fm.

Tabel 40. Lokalteternes Fv/Fm sammenlignes månedsvist. Grupperinger af lokaliteter, der er statistisk signifikante, markeres med forskellige bogstaver ud for hver år-mdr. ”*” indikerer den lokalitet med højest Fv/Fm. I 2011-7 er der ikke foretaget måling på CB.

år-mdr	CB	FÆ	ØA
2010-6	B	AB	A*
2010-7	A*	A	A
2010-8	B	A*	B
2011-5	A	A	A*
2011-6	A*	B	A
2011-7		A	A*
2011-8	B	A*	B
2012-7	A*	B	A
2012-8	B	A*	AB

Når de statistiske grupper gøres op, ser man, at ØA har det højeste gennemsnit tre gange, og er med i den højeste gruppe fire gange. FÆ har også det højeste gennemsnit tre gange og er med i den højeste gruppe fire gange. CB har ligeledes det højeste gennemsnit tre gange men er kun med i den højeste gruppe to gange. Man kan konstatere, at der ikke er systematiske forskelle mellem lokaliteterne.

Den samlede konklusion på fluorescensmålingerne er, at Fo-parameteren tyder på, at fotosyntesen er bedst fungerende på træerne på CB (med det mindste Fo-gennemsnit). Parameteren Fm indikerer, at bladene på ØA er bedst fungerende, mens CB er dårligst fungerende. Der er ingen umiddelbar forklaring på de modstridende resultater. Der er heller ingen god forklaring på, at de første målinger i 2010 viser høj Fo og høj Fm. Disse to resultater peger i hver sin retning. En høj Fo er negativ, mens en høj Fm er positiv. Det er iøjnefaldende, at det overraskende resultat gælder for alle tre lokaliteter. Som hypotese kunne man forestille sig, at plantningen af træerne kunne påvirke fotosyntesefunktionen på den konstaterede måde.

Fv/Fm er en samlet indikation, der inddrager både Fo og Fm. Udviklingen over sommeren er ikke helt ens, men det samlede billede er, at resultaterne på de tre lokaliteter ligger meget tæt, dog med en marginal fordel til ØA og FÆ. Fluorescensen afslører altså ikke store forskelle mellem lokaliteterne. En af svaghederne ved fluorescens som indikator for træernes trivsel er, at fluorescensen påvirkes af en lang række faktorer som næringsstatus, tørke, salt, vind osv. I dette tilfælde har vi salt i fokus, men salt påvirker i mange henseender planterne ved at påføre dem tørkestress. I litteraturen er der flere eksempler på, at salt og andre årsager til tørkestress ikke kan adskilles og dårligt kan vises ved fluorescensmålinger.

Når 35 % af alle Fv/Fm resultater ligger under det anbefalede niveau, indikerer det mistrivsel.

Bladkemi

Når man skal bestemme en plantes næringsstofstatus, gør man det ofte ud fra koncentrationerne af næringsstoffer i bladene. Disse koncentrationer kan så sammenholdes med forskellige vejledende grænseværdier fra den videnskabelige faglitteratur.

Udtagning og analyse af bladprøver

Alle bladprøver er udtaget i august måned. År 2009 på Kortegaards Planteskole og 2010-2012 på CB, i FÆ og på ØA.

Bladprøverne blev tørret ved 55 °C og vejret enkeltvis. Bladene fra det samme træ blev findelt i en kværn og blandet grundigt, inden en delprøve blev udtaget og nedbrudt i koncentreret HNO₃ i mikrobølgeovn. De nedbrudte prøver blev analyseret for koncentrationen af P, K, C, Mg, Fe, Mn, Na, Zn og S ved ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2000). En ny delprøve af den kværnede delprøve blev udtaget, og koncentrationen af totalindholdet af C og N blev målt med en Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs). Hovedresultaterne af analyserne fremgår af Figur 47 og 48.

Bladvægten

Der er ikke fundet statistisk signifikant forskel på bladvægten mellem de forskellige lokaliteter i nogen af årene. I 2012 er der tendens til, at bladvægten for CB (0,45 g/blad) er mindre end bladvægten på de andre to lokaliteter (både ØA og FÆ har en bladvægt på 0,50 g/blad).

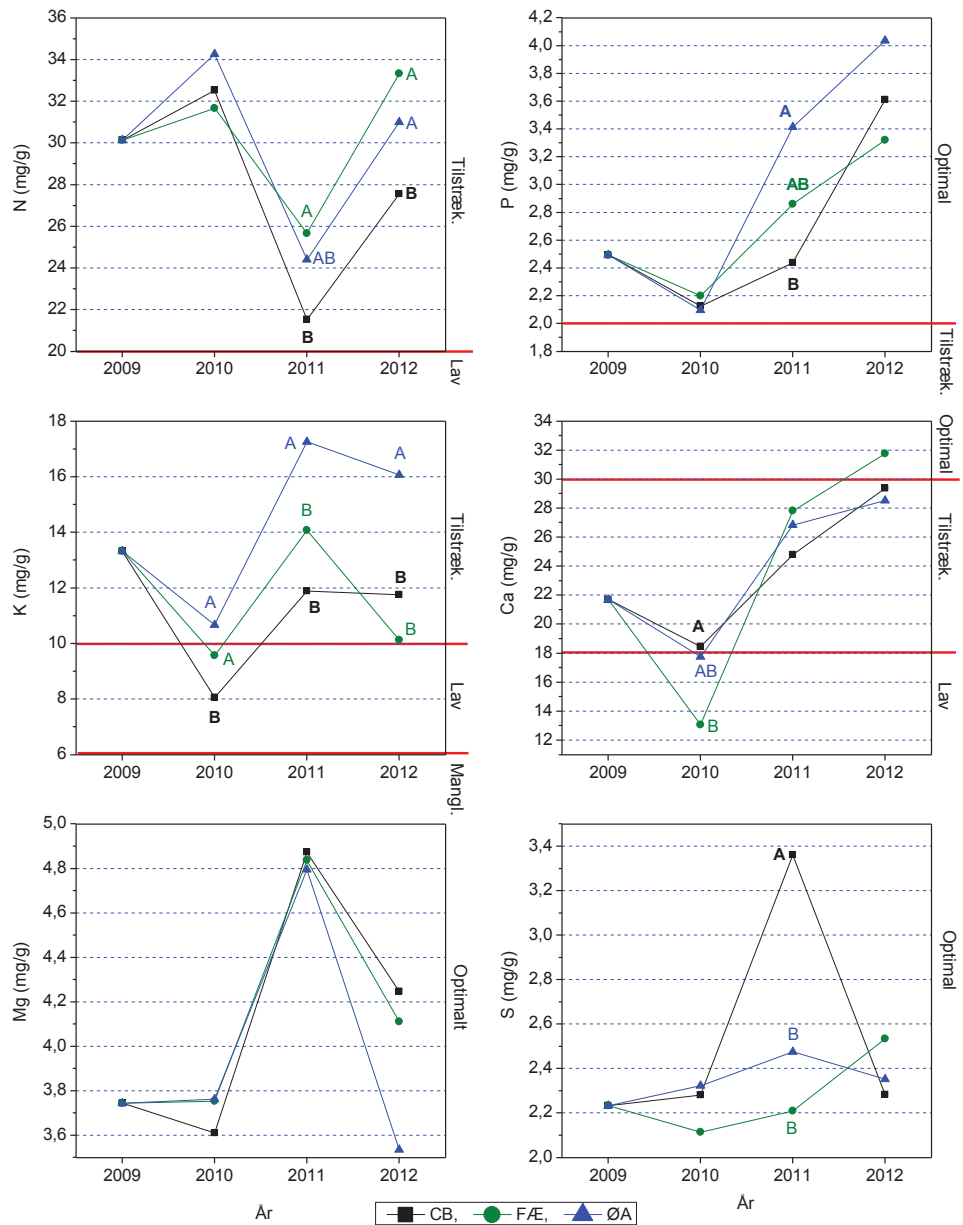
Na, Cl og næringsstofferne

For de fleste stoffer er der en signifikant forskel i koncentrationerne mellem årene. For N og Fe er koncentrationen lavere i 2011 sammenlignet med 2010 og 2012. Årsagen til dette er ukendt, og de andre næringsstoffer følger ikke denne trend. For P, K og Ca gælder det, at koncentrationen falder fra 2009 til 2010, hvorefter den stiger de følgende år. Dette kunne hænge sammen med, at træet optager mindre af disse stoffer umiddelbart efter udplantning, men efterfølgende får de et mere udviklet rodnet, der er i stand til at optage disse stoffer. Omvendt ser det ud for Mn, hvilket kunne hænge sammen med, at den muld, som træerne er plantet i, har en relativt høj pH-værdi, som kan vanskeliggøre optag af Mn.

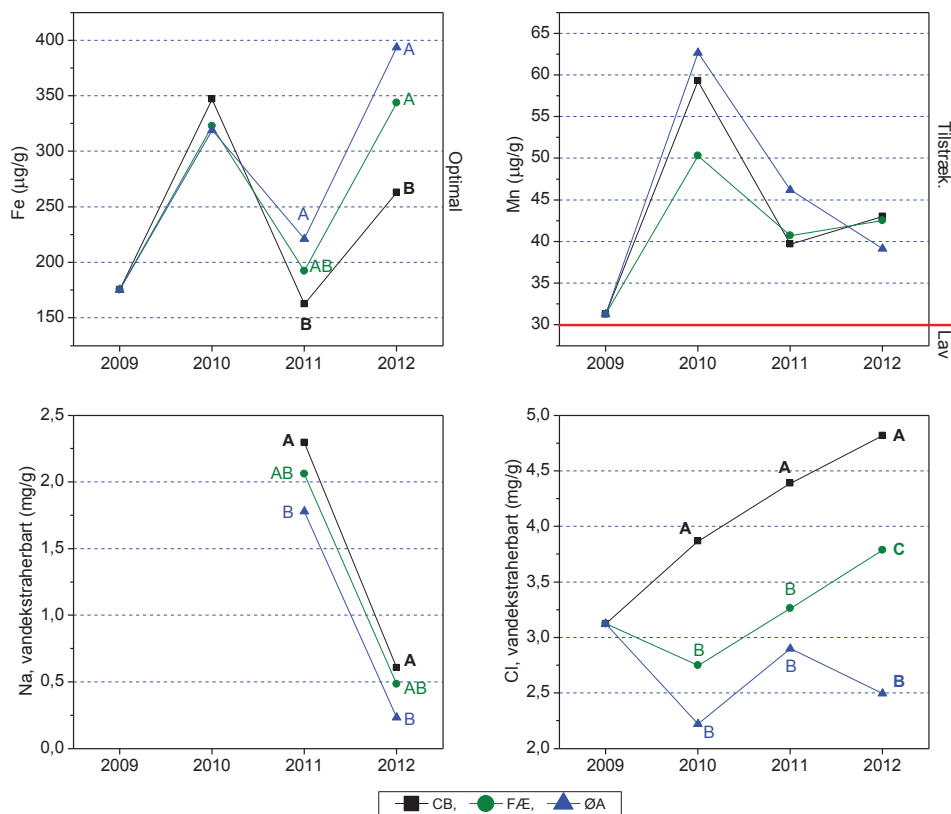
For N og Fe er det bemærkelsesværdigt, at koncentrationerne er signifikant lavere på CB end på ØA i 2011, og i 2012 er den signifikant lavere på CB end begge de to andre lokaliteter. For P ser man det samme mønster i 2011, men her er der ingen signifikante forskelle på lokaliteterne i 2012. K-koncentrationen på ØA er generelt højere end på de to andre lokaliteter. I 2011 og 2012 er K-koncentrationen på ØA signifikant højere end K-koncentrationen på de to andre lokaliteter. Dette viser, at den højere

K-koncentrationen i jorden på denne lokalitet, kombineret med tilførslen af K-formiat, påvirker træernes næringsstofstatus ved at hæve optaget og koncentrationen i bladene. For Ca er der kun signifikante forskelle på Ca-koncentrationen mellem CB og FÆ i 2010, årsagen til dette kendes ikke. Der er ikke signifikant forskel på Mg- eller Mn-koncentrationen imellem lokaliteterne i nogen af årene. Der er dog en tendens til, at Mg-koncentrationen på ØA er lavere end på de to andre lokaliteter, som kunne tyde på, at tilførslen af K-formiat måske kan hæmme optaget og koncentrationen af Mg i bladene. Det er kendt at optagelsen af K og Mg påvirker hinanden (Marschner 1986). Stor tilførsel af K kan således føre til induceret mangel på Mg. For S er der ikke signifikante forskelle mellem lokaliteterne i 2009, 2010 og 2012, mens S-koncentrationen på CB er signifikant højere i 2011 end ved de øvrige lokaliteter. Årsagen til dette er ukendt. Der er ikke observeret egentlig næringsstofmangel på nogen af lokaliteterne, men i 2010, umiddelbart efter udplantning, er koncentrationen af K og Ca tæt på grænseværdien for det "lave område" (grænseværdier for Lind angivet i van den Burg, 1985 og 1990 er benyttet ved tolkning af næringsstofkoncentrationerne i bladene). FÆ og CB kommer under denne grænse for K, mens FÆ og ØA kommer under denne grænseværdi for Ca. I de efterfølgende år kommer koncentrationen dog ikke ned på dette niveau.

Når man ser på koncentrationen af vand-ekstraherbart Na i bladene, er forskellen mellem de to år, relativt stor, og i begge år er Na-koncentrationen på CB signifikant højere end på ØA. Der er også en tendens til, at Na-koncentrationen på CB er signifikant højere end i FÆ, dette er dog ikke statistisk signifikant i nogen af årene. Na-koncentrationen er på alle tre lokaliteter relativt høj sammenlignet med den tilsvarende koncentration i skoven, som ofte er mindre end 0,3 mg Na/g. Anvendelsen af NaCl som tømiddel har tydeligvis hævet Cl-koncentrationen i bladene signifikant på CB i forhold til de andre lokaliteter. Grunden til at Cl-koncentrationen i FÆ er højere i 2012 i forhold til på ØA kendes ikke. Cl-koncentrationen er på alle tre lokaliteter relativt høj sammenlignet med den tilsvarende koncentration i skoven, som ofte er mindre end 0,4 mg Cl/g. Når man sammenligner disse undersøgelser med sammenlignelige undersøgelser for lind givet i Pedersen et al (2004), er koncentrationerne ofte i samme størrelsesorden. Pedersen et al. (2004) finder også lave koncentrationer af Mn i bladanalyserne og relativt høje pH-værdier i jorden.



Figur 47. De gennemsnitlige koncentrationer af N, P, K, Ca, Mg og S i bladene på træerne ved Kortegårds Planteskole i 2009 og ved CB, FÆ og ØA i august 2010–2012. Forskellige bogstaver markerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne indenfor samme år. Diagnostiske grænseværdier (van den Burg, 1985 og 1990) er angivet med røde streger og tekst i højre side af graferne.



Figur 48. De gennemsnitlige koncentrationer af Fe, Mn og vand-ekstraherbart Na og Cl i bladene på træerne ved Kortegårds Planteskole i 2009 og ved CB, FÆ og ØA i august 2010–2012. Forskellige bogstaver markerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne indenfor samme år. Diagnostiske grænseværdier er angivet med røde streger og tekst i højre side af graferne.

Konklusioner

Bladstørrelse: Der er signifikant forskel på bladenes størrelse mellem hver lokalitet. Bladene er mindst på CB, intermedieære i FÆ og størst på ØA. Bladene bliver større hvert år de første tre år efter plantning.

Bladfarve: Der er ikke nogen tydelig systematisk forskel mellem lokaliteterne.

Klorofylkoncentration: SPAD-tallet og dermed klorofylindholdet stiger signifikant fra maj til august, og at der er lavere klorofylindhold på CB end FÆ og ØA.

Flouescens: Der er ikke entydige konklusioner på flouescensmålingerne, men flere modstridende tendenser.

Bladkemi: For nogle af næringsstofferne (P, K og Ca) gælder det, at koncentrationen falder fra 2009 til 2010, hvorefter den stiger de følgende år. Dette kunne tyde på, at træerne optager mindre af disse stoffer lige efter udplantning, men efterfølgende får et mere udviklet rodnet, der er i stand til at tage disse stoffer op. Omvendt ser det ud for Mn, hvilket kan forklares med, at den muld som træerne er plantet i, har et relativt højt pH, som vanskeliggør optag af Mn.

For N og Fe er det bemærkelsesværdigt, at koncentrationerne er signifikant lavere på CB end på ØA i 2011, og i 2012 er den signifikant lavere på CB end begge de andre lokaliteter.

I 2011 og 2012 er K-koncentrationen på ØA signifikant højere end K-koncentrationen på de to andre lokaliteter. Dette viser, at den højere K-koncentration i jorden på denne lokalitet kombineret med tilførslen af K-formiat påvirker træernes næringsstofstatus ved at hæve optaget og koncentrationen i bladene.

Der er en tendens til, at Mg-koncentrationen på ØA er lavere end på de to andre lokaliteter i 2012, som kunne tyde på, at tilførslen af K-formiat måske kan hæmme rodoptaget og koncentrationen af Mg i bladene.

Der er ikke observeret egentlig næringsstofmangel på nogen af lokaliteterne, men i 2010, umiddelbart efter udplantning, er koncentrationen af K og Ca tæt på grænseværdien for det "lave område".

Anvendelsen af salt som tømiddel har tydeligvis hævet Cl-koncentrationen i bladene betydeligt på CB i forhold til de andre lokaliteter. Na-koncentrationen på CB er signifikant større end på ØA. Der er også en tendens til at Na-koncentrationen på CB er signifikant større end i FÆ, dette er dog ikke statistisk signifikant i nogen af årene.

Bladvægt: Der er ikke fundet statistisk signifikant forskel på bladvægten mellem de forskellige lokaliteter i nogen af årene, men i 2012 er der en tendens til, at bladvægten på CB er mindre end bladvægten på de andre lokaliteter.

Hvis det er tømidlerne...

...der er årsagen til de konstaterede forskelle i mellem lokaliteterne, så ville konklusionen se ud som her under.

Undersøgelsen bygger på detail-undersøgelser af træerne på tre lokaliteter, der adskiller sig med hensyn til anvendelsen af tømiddel, men også på andre punkter som f.eks. vind, påvirkning fra tidligere anvendelser, trafik, biotop osv. Det er rimeligt at forvente, at de forskelle, der findes mellem træerne på lokaliteterne, skyldes en blanding af alle faktorer på voksestederne. I dette kapitel fokuserer vi udelukkende på tømidlerne og ignorerer alle andre mulige faktorer. Vi lader os heller ikke bremse af, at FÆ i flere tilfælde forstyrrer billedet, men lader forskellene mellem CB og ØA træde frem. Det betyder, at der er risiko for, at nogle af sætningerne her under er forkerte, forenkede eller overfortolkede, men til gengæld sløres billedet ikke af forbehold. Kapitlet skal derfor læses med begrænsningerne in mente.

Jord

Tømidlerne påvirker ikke jordens indhold af S, C og N.

Anvendelsen af salt medfører en øget koncentration af Na i 0-20 cm og tendens til øget koncentration i 20-50 cm dybde.

Anvendelsen af salt medfører et øget indhold af Cl i jorden under 10 cm dybde. Cl, der generelt udvaskes hurtigt, er altså til stede i jorden hele vækstsæsonen og kan måles i oktober, hvor jordprøverne blev taget.

Mange års anvendelse af salt medfører en opbygning af en meget betydelig pulje især Na, men også Cl i jorden. Rodrummet er altså påvirket af salt i mange år efter anvendelsen af salt ophører, hvis der er vandtransport fra råjorden ind i rodzonen eller rodvækst ud i råjorden.

Det er sandsynligt at det øgede input af K med kaliumformiat medfører øget K-koncentration i jorden, i lighed med Na fra vejsalt. Denne effekt kan ikke vises i undersøgelsen, da AllétræsMulden på ØA allerede på forhånd indeholdt betydeligt mere K.

Vand og stofbalancer

Tilførslen af K stiger betydeligt ved anvendelse af kaliumformiat.

I denne undersøgelse starter jordvandets koncentration af K på ØA med at være relativt høj men faldende igennem hele perioden, det peger på, at K-indholdet i AllétræsMulden har en større effekt på K i jordvandet end det

tilførte K med kaliumformiat. Ligevægten mellem inputtet af K og udvaskningen fra en mere moden jordbund kan ikke vises i denne undersøgelse, på trods af at K koncentrationen på ØA er faldende igennem hele projektperioden. Ved udgangen af 2012 er der ikke ligevægt i K-balancen på ØA. Der udvaskes mere K end der tilføres, men eftersom K-koncentrationen i jordvandet er faldende, så vil K-udvaskningen nærme sig tilførslen.

Ved anvendelse af salt er koncentrationen af Na og Cl i jordvandet stigende de første tre år efter plantning. Man må forvente en stadig stigende udvaskning af Na og Cl, der afhænger af doseringen hver vinter. På CB er Na- og Cl-balancerne således ikke i balance. Samtidig må man forvente en øget akkumulering af Na, der medfører en dårligere jordstruktur i fremtiden.

Råjorden på ØA er tydeligt påvirket af tidligere anvendelse af salt. Den gamle salt-pulje bliver opløst og påvirker Na og Cl indholdet i den nye AllétræsMuld. Saltforureningen er altså mobil og påvirker også det nyetablerede rodrum.

Formiat, der tilføres med kaliumformiat, er generelt tilstede i jordvandet i så lav koncentration, at det ligger under detektionsgrænsen på 0,1 mg/liter. Formiat omsættes altså effektivt i jorden.

Træer

Højde og stammeomkreds: salt reducerer både træernes højdevækst og tykkelsesvækst signifikant.

Kronestørrelse og –densitet: salt reducerer både kronevolumen (signifikant) og kronedensiteten (delvist signifikant).

Løvfald: Der er ikke tegn på, at tømидlet påvirker løvfaldet i 2011.

Grenvækst: Salt reducerer grenvæksten signifikant.

Beløvning: Der er tydelig reduktion af beløvningen som følge af saltning med salt. Kaliumformiat giver konstant høj beløvning.

Grønfarvning: Der er ikke entydig sammenhæng mellem grøn-scoren og typen af tømидel.

Blomstring: Blomstringen påvirkes ikke af tømидlerne.

Barkskader: Anvendelsen af tømидler har ikke indflydelse på omfanget af basale barkskader.

Døde grene: Salt medfører langt mere udbredt grendød end kaliumformiat.

Kloroser: Salt medfører signifikant flere kloroser end kaliumformiat.

Nekroser: Salt medfører nekroser på bladene. I to ud af tre år fordobles nekrose-scoringen af salt.

Insektgnav: Salt medfører et højt niveau af insektgnav i forhold til kaliumformiat. Effekten er indirekte og hænger formodentlig sammen med træernes vitalitet og dermed evne til at danne forsvarsstoffer.

Sundhed: Salt giver en samlet sundhed, der er signifikant dårligere end kaliumformiat.

Blade

Bladstørrelse: Salt medfører, at bladene bliver signifikant mindre end ved brug af kaliumformiat.

Bladfarve: Salt ser ikke ud til at påvirke bladenes farve.

Klorofylkoncentration: Salt medfører en reduktion af bladenes klorofylindhold.

Fluorescens: Der er ikke systematiske tegn på, at salt påvirker fluorescensen.

Bladvægt: I 2012 er der tendens til, at salt har reduceret bladvægten. Andre år er bladvægten ens uanset tømiddel.

K-koncentrationen i bladene er ofte signifikant højere, når der anvendes kaliumformiat.

Der er tendens til, at kaliumformiat medfører lavere indhold af Mg i bladene, hvilket kunne tyde på, at optaget af Mg hæmmes af K fra kaliumformiat.

Salt medfører et signifikant højere Na- og Cl-indhold i bladene.

Salt-konklusion

Det samlede billede er, at anvendelsen af salt som tømiddel har en negativ effekt på jorden og jordvandet. Anvendelsen af kaliumformiat medfører sandsynligvis at udvaskningen af K, vil være større på ØA end på CB eller FÆ, men denne effekt overskygges i for nuværende af en kraftig K-udvaskning fra det nyetablerede rodrum.

Salt medfører en lang række negative effekter på træerne. Kort sagt nedsættes træernes vitalitet og vækst, når de udsættes for salt. Ingen af træerne på de tre lokaliteter er døde i forsøgsperioden. Årsagen er sandsynligvis, at

undersøgelsen kun dækker de første tre år efter plantning, hvor jorden stadig er et egnet vækstmedium, samt at der blev vandet effektivt på alle tre lokaliteter. Kaliumformiat har jf. undersøgelsens resultater ikke negative effekter på træerne i løbet af de første tre år.

Det forventes, at salt-puljen i økosystemet på CB vil stige og saltets negative effekt på træerne vil øges med tiden. Det forventes, at kaliumformiat vil medføre et forhøjet niveau af K i jord og jordvand, men sandsynligvis har dette ikke større negativ effekt. Undersøgelsen tyder på, at formiat nedbrydes hurtigt i jorden til niveauer under detektionsgrænsen på 0,1 mg/l, og derfor heller ikke på sigt medfører negative effekter.

Hovedkonklusioner

Undersøgelsen er bygget op om tre lokaliteter: CB (salt), ØA (kaliumformiat) og FÆ (ingen glatførebekæmpelse). På alle lokaliteterne undersøges nyplantede lindetræer af samme klon. På CB og ØA er træerne plantet som vejtræer, men i FÆ er træerne præget af parkmiljø. Der viser sig at være forskel på lokaliteterne mht. AllétræMuldens kemiske og teksturmæssige sammensætning. Desuden er der forskel på klimaet og den menneskelige påvirkning af træerne på lokaliteterne. Tolkningen af resultaterne skal derfor ske med det grundlæggende forbehold, at der er forskel på de anvendte lokaliteter.

Overordnet ses en tydelig effekt af det anvendte tømiddel. Med salt tilføres betydelige mængder Na og Cl. Saltet påvirker jorden og jordvandet, så der er øget indhold og udvaskning af Na og Cl. Træerne på CB har en dårligere sundhed, har mindre klorofyl og vokser mindre end på ØA. De har altså tydeligt nedsat vitalitet allerede i de tre første år på voksestedet.

På strækningen, der behandles med kaliumformiat, ØA, er der konstateret en horisontal transport af salt fra råjorden. På trods af den korte forsøgsperiode, så er træernes funktion og vækst tydeligt bedre på ØA end på CB. Der kan ikke konstateres negative effekter af kaliumformiat på træernes vækst og sundhed.

Ingen af træerne på de tre lokaliteter er døde i forsøgsperioden, men der er flere døde grene og døde partier på bladene på træerne på CB end ØA. Det er ikke muligt at fremskrive den dårlige trivsel på CB til egentlig trædød og derfor kan totaløkonomien ikke beregnes. Det er dog meget sandsynligt, at træernes mistrivsel efter anvendelse af salt vil føre til et liv med forringet æstetisk og biologisk værdi og en tidligere død.

Abstract in English

The study is based on field experiments with different road de-icers and three sites: CB (Center Boulevard, application of sodium chloride), ØA (Øster Allé, application of potassium formate) and FÆ (Fælledparken, no application of de-icing, reference site). On all sites, newly planted linden trees of the same clone were examined. At CB and ØA, the trees were planted as road trees, but at FÆ, the trees were planted in a city park and thus influenced by the surrounding park environment. From the start, it was the intention to have the same environmental conditions and planting soil on CB and ØA. The traffic intensity is similar at the two sites. However, the trees were not planted in quite the same soil type at the different sites, the chemical composition and the texture was different. These differences were not large but notable. Furthermore, there are general differences between climate and human impact on the trees on these two sites. Hence, one needs to keep these differences in mind when interpreting the results.

There is a clear effect from the application of significant amounts of NaCl de-icer on CB. The salt affects both the soil and soil solution chemistry; increasing the concentration and leaching. The trees on CB has lower health status, less chlorophyll in the leaves and reduced growth rate, compared to the trees on ØA. Hence, the trees on CB show reduced vitality already in the first three years after planting.

On ØA, where potassium formate is applied, there has been diffusion and transportation of Na and Cl from the original old soil that surrounds the new plant holes to the new planting soil subsoil. In this way the new soil got polluted with Na and Cl. This could be observed in the beginning of the experiment period, but decreased during the experiment. No negative effects have been observed from application of potassium formate on tree growth and health. In spite of the relative short project period, the trees function and growth clearly better at ØA than at CB.

None of the trees on any of the three sites have died during the project period, but the number of dead branches and frequency of leaves with necrosis have been larger on CB compared to ØA. From the observations in this study, It is not possible to predict the future health status or death rate of the trees on CB or ØA. Hence, economic models including the consequences of using the different de-icers can not be established. However, it is likely that the trees on CB will fail to thrive after longer time of application of NaCl, and this will be likely to lead to degraded aesthetic and biological value and premature tree death.

If it is the de-icers...

that are responsible for the observed differences between the sites, the conclusions would be as stated below.

This study is based on detailed examinations of the trees at the different sites. The sites are different from each other with respect to the applied de-icers, however, the sites are also different from each other with respect to other environmental conditions such as e.g. wind exposure, previous utilization, human behavior, traffic and biotope. It makes sense to presume that the differences that are observed for the trees from different sites are caused by a mixture of all these environmental conditions. In this section we focus on the differences with regard to de-icers and ignore differences in all the other environmental conditions. Furthermore we focus on CB and ØA and set aside observations from FÆ, as FÆ apparently does not shed light on the problem regarding de-icers. This means that there may be a risk that some of the conclusions below are wrong, too simplified or indeed misinterpretations, but on the other hand we get a picture that is not blurred by reservations. This section needs to be read with these limitations in mind.

Soil

The de-icers does not affect the concentration of S, C and N in the soil.

Application of NaCl increases the concentration of Na in the 0-20 cm of the upper soil and tends to increase the Na concentration in the 20-50 cm depth.

Application of NaCl results in an increased Cl-concentration below 10 cm in the soil. Cl, which is generally washed out relatively rapidly from the soil, is in this study present in the soil throughout the growing season and could be measured in October, when soil samples were taken.

Many years of NaCl application at ØA have led to a buildup of very significant amounts of especially Na, but also Cl in the soil. Hence, the soil at this location is affected by NaCl application years after the application has ceased. The root zone can be affected either by salt transport from the surrounding salt-contaminated soil, or by root growth into this contaminated soil.

It is likely that the increased input of K by application of potassium formate at ØA may result in increased K concentrations in the soil in the long run. However, this effect can not be measured in the study of a relatively limited time span, as the soil already contains notable amounts of K at the start of the study.

Water and nutrient balances

The input of K increases significantly by the use of potassium formate.

In this study, the concentration of K in the soil solution decreases at ØA over time. This indicates that the initial K concentration in the soil plays a more dominant part with respect to the concentration of K in the soil solution compared to the K addition by potassium formate application. A balance between K input and leaching cannot be displayed in this study. By the end of 2012 there is no equilibrium in the K balance on ØA. Potassium is continuously being washed out at a higher rate than the input. However, as the K concentration in the soil solution is decreasing, the balance appear to approach equilibrium.

Application of NaCl at CB have increased the concentration of Na and Cl in the soil solution during the first three years after planting. Further increase in the leaching of Na and Cl may be expected, dependent on the winter application of NaCl. Hence, neither the Na nor the Cl balance have reached equilibrium in 2012.

The previous use of NaCl in many years have clearly influenced the old subsoil that surrounds the newly established plant beds at ØA. The NaCl in the old soil is being dissolved and transported to the new soil in the plant beds. Hence, this study have demonstrated how formerly NaCl polluted soil may pollute newly established plant bed soils, and thus affect the chemical composition in the root zone.

Formate, which is applied by potassium formate spreading, is generally only present in the soil solution in very low concentrations; below the detection limit of 0.1 mg / liter. Apparently formate is effectively and fast degraded in the soil environment.

Trees

Height and stem girth growth: application of NaCl reduces both tree height and stem girth growth significantly.

Crown volume and density: Application of NaCl reduces both crown volume (significantly) and crown density (in some cases significantly).

Autumn defoliation: There is no evidence that the de-icers affected autumn defoliation in 2011.

Branch growth: Application of NaCl reduces branch growth significantly.

Foliage density: Application of NaCl reduces foliage density significantly, whereas application of potassium formate leads to a constant and relatively high foliage density.

Green coloring of the leaves: There is no clear correlation between green coloring of the leaves score and the de-icers.

Flowering: Flowering is not affected significantly by the different de-icers .

Bark Injuries: The use of de-icers have no significant influence on the level of basal bark damage.

Dead branches: Application of NaCl causes far more dead branches compared to application of potassium formate.

Foliage chlorosis: Application of NaCl causes far more wide spread foliage chlorosis compared to application of potassium formate.

Necrosis: Application of NaCl causes necrosis on the leaves.

Insect bites: Application of NaCl causes far more wide spread insect bites compared to application of potassium formate. This may be an indirect effect caused by lowered defense mechanisms in the NaCl applied trees.

General health: The general health status is significantly lower for the NaCl applied trees compared to potassium formate applied trees.

Leaves

Leaf size: Application of NaCl leads to a significantly decreased leaf size compared to application of potassium formate.

Leaf Color: The use of de-icers have no significant effect on the leaf color.

Concentration of chlorophyll: Application of NaCl leads to a significantly decreased concentration of chlorophyll in the leaves compared to application of potassium formate.

Fluorescence: The use of de-icers have no clear effect on the fluorescence.

Leaf Weight: In 2012, Application of NaCl tend to reduced leaf weight. In other years the use of de-icers have no clear effect on the leaf weight, regardless of which de-icer we look at.

Application of potassium formate often leads to a significant increase in K-concentration in the leaves.

There is a tendency that application of potassium formate may lead to an increase in Mg concentration in the leaves. This could be interpreted as an effect of high concentrations of K in the soil solution that may limit the uptake of Mg.

Application of NaCl increases the concentration of both Na and Cl compared to application of potassium formate.

Salt conclusions

The overall picture is that the use of NaCl as a de-icer has negative effects on the chemical composition of both soil and soil solution. The use of potassium formate is likely to result in increased leaching of K, but this effect is currently overshadowed by a high initial concentrations of K in the newly established plant bed soils. Formate from application of potassium formate is effectively degraded in the soil environment. Hence, formate has only been measured in the soil water in the beginning of the experimental period. Later in the study the concentration is generally very low; below the detection limit of 0.1 mg / liter and adverse effects from formate is therefore not foreseen.

Application of NaCl causes a variety of adverse effects on the examined trees. In short, the vitality and growth of the trees are reduced when exposed to NaCl. None of the trees on the three sites have died during the experimental period. The reason is probably that the study only covers the first three years after planting, the soil is still a suitable growth medium, and furthermore that the application of water was sufficient in all three sites. Application of potassium formate has in this study not been found to have any adverse effects on the trees during the first three years after planting.

It is expected that the pool of Na and to some degree also Cl in the ecosystem at CB will increase and adverse effect on the trees will become more pronounced over time. It is also expected that application of potassium formate may result in increased concentrations of K in the soil and soilsolution at ØA over time, but probably not lead to notable adverse effect.

Referencer

Bühler, O. (2012). Analyser af jord og blade. Grønt miljø 6: 30-31.

COWI (2007). Vurdering af alternative tømidler til brug for glatføreforebyggelse og bekæmpelse på Københavns Kommunes gangarealer, cykelstier og kørebaner, 69 sider.

Dragsted, J. (1978). Invertering af vejtræbestanden i Frederiksborg Amtskommune. Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium, Roskilde. 33 sider + bilag

Dragsted, J. (1979). Salt stress in Norway spruce, Sitka spruce and Birch. Meddelelser fra Skovbrugsinstituttet, 2 (2), 53 sider.

Dragsted, J. (1980a). Vejsalt og vejtræer. Resultater af et praktisk studie over vejsaltets vandring i jorden omkring vejtræer og indvirkning på disse. Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium, laboratorierapport 46, 77 sider.

Dragsted, J. (1980b). Undersøgelse af nogle løvtræers reaktion på saltbelastning. Skovbrugsinstituttet, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Fonden for Træer og Miljø, 285 sider + appendiks.

Fay, L. and X. M. Shi. "Environmental Impacts of Chemicals for Snow and Ice Control: State of the Knowledge." *Water Air and Soil Pollution* 223.5 (2012): 2751-70.

Hanslin, H. M. "Short-term effects of alternative de-icing chemicals on tree sapling performance." *Urban Forestry & Urban Greening* 10.1 (2011): 53-59.

Hedvard, T. (1972): Saltskader på vejtræer. Betænkning vedrørende skader på vejtræerne i Københavns Kommune som følge af brugen af salt i glatførebekæmpelsen om vinteren. Stadsgartnerens kontor, Københavns Kommune, 137 sider.

Hellstén, P.P., Kivimäki, A-L, Miettinen, I.Y., Mäkinen, R.P., Salminen, J.M. & Nystén, T.H. (2005a): Degradation of Potassium Formate in the Unsaturated Zone of a Sandy Aquifer. *J. Environ. Qual.*, 34, 1665-1671.

Hellstén, P.P., Salminen, J.M., Jørgensen, K. & Nystén, T.H. (2005b): Use of Potassium Formate in Road Winter Deicing Can Reduce Groundwater Detoriation. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 5095-5100.

Holgersen, S. (1994). Jordbundsanalyse og gødningsplan. Grønt miljø 2: 29-36.

ICP Forests, (2010). Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Part X Sampling and Analysis of Soil. Updated: 05/2010. In: ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests). 208 pp.

Ingerslev, M., Bühler, O., Thomsen, I., Nielsen, C. N., Krag, M. M., Skov, S., Kristoffersen, P. (2012). En evaluering af gartnermacadam som vækstmedie – ved eksemplet Kongens Nytorv. In prep.

Jansson, P-E. & Moon, D.S., 2001: A coupled model of water, heat and mass transfer using object orientation to improve flexibility and functionality. Environmental Modelling and Software, 16:37-46.

Jørgensen, K. T., Holgersen, S., Poulsen, H. W. 2011. Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde. Danske Anlægsgartnere 2010. ISBN 978-87-7387-0447. 106 pp.

Marschner, H. (1990) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 674 sider

Pedersen, L.B. Randrup, T.B., Ingerslev, M., & Harder, A. (1999): Vejsalt, træer og buske. Vejsaltets spredning til vejbeplantninger. Effekt af beskyttelsestype og vejafstand II (1997-199). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3. 28 sider.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M., Randrup, T.B. & Haarder, A. (2000a). Vejsalt og beskyttelsesforanstaltninger. Slutrapport til Købehavns Amt. 38 sider.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B., Ingerslev, M. & Haarder, A. (2000b). Vejsaltets spredning til vejbeplantninger. Effekt af beskyttelsestype og vejafstand. Slutrapport til Frederiksborg Amt. 24 sider.

Pedersen, L. B., Randrup, T. B. og Harder A. (2001). Effekt af saltværn i hævet midterrabat. Fortsættelse og udvidelse af pilotundersøgelser vedr. påvirkningen af vejsalt på rabatterne på Nørre Allé. Rapport til Københavns Kommune, Skov & Landskab (FSL), 1-19.

Pedersen, L. B., Randrup, T. B. og Harder, A. (2001b). Saltningsophør og trævitalitet (1998-2001). Slutrapport til Frederiksberg Kommune, 25 sider.

Pedersen, L. B. (2003). Tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej, 1997-2003, 19 sider.

Pedersen, L. B. (2004). Effekt af saltværn, vejafstand og hævet vejrabat. Slutrapport til Københavns Kommune. 65 sider.

Pedersen, L. B. & Ingerslev, M. (2007). Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelse – litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særligt henblik på jord og planter. Skov & Landskab, 38 sider.

Plantedirektoratet, Landbrugsministeriet, (1994). Fælles arbejdsmetoder for jordbrugsanalyser, Marts 1994.

Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1996). Vejsalt, træer og buske. En litteraturundersøgelse om NaCl's effekter på vedplanter langs veje, Vejdirektoratet, 64, 69 sider.

Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1998). Vejsalt, træer og buske. En spørgeskemaundersøgelse om vejsaltning, planteskader og beskyttelse langs veje og gader i Danmark, Vejdirektoratet, 142, 109 sider.

Stuanes, A. O., Ogner, G., Opem, M., (1984). Ammonium nitrate as extractant for soil exchangeable cations, exchangeable acidity and aluminum. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15: 773-778.

UNSW (2013). Exchangeable Sodium Percentage (ESP). University of South Wales. http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_exchangeable_sodium_percentage.html 94

van den Burg, J. (1985). Folliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data. Institute for Forestry and Urban ecology, "De Dorschkamp", Wageningen, The Netherlands. 615 pp.

van den Burg, J., (1990). Folliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data, 2. Literature 1985-1989. Institute for Forestry and Urban ecology, "De Dorschkamp", Wageningen, The Netherlands. Report no. 591. 220 pp.

Winn, M. F., Araman, P. A. og Lee, S.-M. (2011). UrbanCrowns: An assessment and monitoring tool for urban trees. United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research station. General technical report SRS-135: 10 pp.

Uddybende litteratur

Ingerslev, M., Pedersen, L. B., and Raulund-Rasmussen, K. 1997. Stofkredsløb i de danske skove, Mangan (Mn). Videnblade, Skovbrug. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 8.5-5, 1997.

Ingerslev, M., Pedersen, L.B. Randrup, T.B. (1999). Effects of Road distance and Protective Measures on NaCl in Planted Central Reserves. Danish Forest and Landscape Research Institute. Series Proceedings, 2, 47.

Jaquet, J., Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Vejsalt, træer og buske. Stads- og havneingeniøren, 4, 40-44.

Paludan-Müller, G., Saxe, H., Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. (2002): Differences in salt sensitivity of four deciduous species to soil or airborne salt. *Physiologia Plantarum*, 114, 223-230.

Pedersen, L.B. (2001). Beskyttelse af vejtræer og buske mod vejsalt - resultater fra 4 års undersøgelser. In Randrup, T.B. Vejsalt mod det 21 århundrede. Vejsaltkonference på Radisson SAS Scandinavia København, 1-2.

Pedersen, L. B. (2006). Reduktion af saltbelastning- forsøg med hævede vejrabatter, saltværn og afstand mellem vejkant og planter, Videnblade Park og Landskab, 3,2-7.

Pedersen, L. B., Christensen C. J. & Randrup, T. B. (1996). Effekter af vejsaltning i juletræsbevoksninger. *Skoven*, 12, 532-536.

Pedersen, L. B. & Holgersen, S. (2006). Hævet vejrabat dæmper saltskader. *Grønt Miljø*, 2, 10-11.

Pedersen, L B. & Ingerslev, M., (2002): Effekt af saltværn i hævet midterrabat. Rapport nr. 3 i rækken af undersøgelser over virkningen af vejsalt på vejrabatterne på Nørre Allé. Skov & Landskab (FSL), Hørsholm. 37 pp.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M. & Krag, M.M., 2003: Datarapport over jordkemiske målinger på Holte Stationsvej 2002/2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab. 6 pp.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M. & Krag, M.M., 2003: Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej 1997-2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab. 21 pp.

Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Krag, M. M. (2010): Saltskader afslører vintrens massive vejsaltning. *Grønt Miljø*, 6, side 44-45.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M., Krag M. & Larsen F. (2007). Saltet akkumuleres i gadetræernes jord. Grønt Miljø, 9, 10-13.

Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Randrup, T.B. (2000): Effects of Road distance and Protective measures on de-icing NaCl deposition and soil solution chemistry in planted median strips. Journal of Arboriculture, 26, 238-244.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M. Randrup, T.B. & Harder, A. (2000). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabbat på Holte Stationsvej. Delprojekt under vejsaltprojektets fase 3.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M., Randrup T.B., Harder A. (2001): Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabbat på Holte Stationsvej 1997-2001. 1-11.

Pedersen, L.B. & Knudsen, J. J. (2006). Virkning af saltværn, hævet vejrabat og afstand til vejkant. Stads & havneingeniøren, 1, 24-27.

Pedersen, L.B. & Krag, M.M., 2005: Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabbat på Holte Stationsvej, 1997-2005. 21s.

Pedersen, L.B. & Krag, M.(2005). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabbat på Holte stationsvej. 1997-2004, pp. 9.

Pedersen. L.B. & Randrup T.B. (1996): Talrige skader på vejbeplantninger. Vintersaltningen rammer hårdt - viden om modforanstaltninger savnes. Grønt Miljø, 6, 62-67.

Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. De nyeste resultater fra vejsaltprojektet - beskyttelse og afstandseffekt. Bytræsseminar 1999, konference-proceedings, 15-16.

Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. (2001). Vurdering af jordkvalitet på Kay Fiskers Plads. Rapport til Rambøll. 1-12.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B. & Harder, A. (2000). Pilotundersøgelser over påvirkningen af vejsalt på side- og midterrabbatten på Nørre Allé. Datarapport til Københavns Kommune, Forskningscentret for Skov & Landskab, 1-9.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B. og Ingerslev, M. (1999). Halmmåtter som saltbeskyttelse. Videnblade Park og Landskab, 5.23-6, 1-2.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B. og Ingerslev, M. (1999). Saltskader og afstanden til vejkanten. Videnblade Park og Landskab, 5.23-7, 1-2.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B., & Ingerslev, M. (2001). Fire grunde til at bytræerne skranter. Fire grunde til at bytræerne skranter. Grønt Miljø, 76-81.

Pedersen, L.B., Randrup T.B. Jørgensen, P. (1997). Usikkert om halmmåtter hjælper træerne. Målinger i vejsaltforsøg sår tvivl om almindelig praksis i saltbeskyttelsen. Grønt Miljø, 6, 26-31.

Pedersen, L.B., Randrup T.B. & Krag M.M. (1998). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte stationsvej. 1-4. FSL rapport.

Pedersen, L.B., Sørensen, K.N, Ingerslev, M., Knudsen, J.J. & Elvekjær, J. (2009) Kaliumformiat skal op til den store prøve. Grønt Miljø, 9, 56-57.

Randrup, T. B. & Pedersen L. B. (1996). Vejsalt, træer og buske. En litteraturundersøgelse om NaCl's effekter på vedplanter langs veje. Vejdirektoratet. Rapport nr. 64, 1-68

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Bestemmelse af saltindhold i jord og planter. Videnblade Park og Landskab, 5.23-2, 1-2.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Bytræer og vejsalt. Skadernes omfang og betydning. Hvilke alternativer er der. Koch,N.E.; Larsen,J.B. (eds). Skov & Landskabskonferencen 1997. Forskningscentret for Skov & Landskab og Den Kgl. Veterinær - og Landbohøjskole, 145-150.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Skadevirkning af vejsalt på træer og buske. Videnblade Park og Landskab, 5.23-1, 1-2.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Vejsaltningens påvirkning af miljøet langs det danske vejnet. Koch, N.E.; Larsen, J.B. (eds). Skov & Landskabskonferencen 1997. Forskningscentret for Skov & Landskab og Den Kgl. Veterinær - og Landbohøjskole, 265-266.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Forebyggende vejsaltning. Jord og viden. 15, 3.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Vejsalt, træer og buske. - En spørgeskemaundersøgelse om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs veje og gader i Danmark. Vejdirektoratet. Rapport nr. 142, 1-106.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Vejsaltprojektet på Forskningscentret for Skov & Landskab, Vækstnyt, Efterår, 3.

Randrup T.B. Pedersen, L.B. (1999). Aldrig mere salt på Frederiksberg Allé. Grønt Miljø, 2, 4-6.

Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (1999). Beskyttelse mod vejsalt. Videnblade Park og Landskab, 5.23-5, 1-2.

Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (1999). Glatførebekæmpelse og saltskader. Videnblade Park og Landskab, 5.23-4, 1-2.

Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (1999). Salt og saltspredning. Videnblade Park og Landskab, 5.23-3, 1-2.

Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (2000). Tilsaltning af ny jord i bymiljø. Videnblade Park- og Landskab, 5.23-8, 1-2

Randrup, T.B., Pedersen, L.B. & Gludsted, S. (2001). Planter og vejsalt. Dansk vejtidsskrift, 10, 36-37.

Saxe, H., Müller G., Randrup T. B. & Pedersen L. B. (2000). Veje til optagelse af salt i vejtræer. Stads og havneingeniøren, 12, 46-49.

Saxe,H.; Müller,G.P.; Randrup,T.B.; Pedersen,L.B. (2001) Veje til optagelse af salt i vejtræer. Stads- og havneingeniøren, 12, 46-49.

Sørensen, K.N., Knudsen, J.J., Pedersen, L.B. & Ingerslev, M. (2009): Forsøg med anvendelse af alternativt tømiddel. Trafik og veje – Dansk Vejtidskrift, 10, 8-11.

Tvedt, T. Randrup, T.B., Pedersen, L.B. & Gludsted, S. (2001). Planter og vejsalt. 1-19, Vejdirektoratet og Skov & Landskab (FSL).

KØBENHAVNS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING
1958 FREDERIKSBERG C

TEL. 35 33 15 00
WWW.IGN.KU.DK

KØBENHAVNS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING
1958 FREDERIKSBERG C

TEL. 35 33 15 00
WWW.IGN.KU.DK