



Evalueringen af træplantningen på Kongens Nytorv, Københavns Kommune

Morten Ingerslev, Oliver Bühler, Iben Thomsen, Christian Nørgaard Nielsen, Mads Madsen Krag, Simon Skov og Palle Kristoffersen

Forord

Denne rapport præsenterer resultaterne fra en undersøgelse af træplantningen på Kongens Nytorv i København, gennemført 14.-18. november 2011.

Projektet og den tilhørende rapport er bestilt og finansieret af Københavns Kommune, Teknik- og Miljøforvaltningen, Center for Park og Natur. Tilrettelæggelsen og gennemførelsen af undersøgelsen skete i tæt samarbejde mellem Center for Park og Natur og Skov & Landskab, KU-SCIENCE. Center for Park og Natur har bidraget med mandskab og maskiner til den praktiske del af undersøgelsen.

Projektets referencegruppe, Center for Park og Natur:

Lars Christensen

Helle Hagelund

Jens Ole Juul

Praktisk assistance under feltarbejdet, Center for Park og Natur:

Isabella Jacobsen

Katherine Pfeiffer

Michael Damm

Pierre Andersen

Projektmedarbejdere, Skov & Landskab (medarbejder markeret med * deltog i feltarbejdet):

Morten Ingerslev*

Iben Thomsen

Mads Madsen Krag*

Lars Bo Pedersen

Palle Kristoffersen

Oliver Bühler

Louise Flach de Neergaard* (studentermødthjælp)

Ellen Sofie Holmboe* (studentermødthjælp)

Søren Schaumburg Jensen* (studentermødthjælp)

Dataanalyse og resultatformidling af rodundersøgelserne er udarbejdet af Christian Nørgaard Nielsen, Skovbycon.

Projektets uofficielle motto:

'Hvis ikke vi finder rodvækst i det rodvenlige bærelag under belæggningerne på Kongens Nytorv inviterer jeg til offentlig afbrænding af min ph.d.-afhandling i et af plantehullerne'

(Seniorrådgiver Palle Kristoffersen, bevidnet udsagn på et projektmøde,)

Overordnede konklusioner i punktform

Jordens fysiske og kemiske forhold

- I den indre ring var den rodvenlige befæstelse opbygget korrekt.
- I den ydre ring var der ofte et hårdt komprimeret gruslag (iblandet beton stykker mm.) mellem det dybeste og det næst dybeste lag macadam (den øverste del af dette lag blev observeret i 50 - 60 cm dybde i macadammen)
- Der blev ikke observeret komprimering af mulden mellem stenene nogen steder
- Der blev ikke observeret hulrum i mulden mellem stenene
- Der blev ikke observeret iltfattige forhold
- Koncentrationerne af stoffer i jorden er generelt ikke lavere tættere på træet sammenlignet med større afstand fra træet, med følgende undtagelser: C i de øvre jordlag samt N og Ca i de øvre jordlag i den indre ring
- I den store dybde og i den store afstand fra træerne er koncentrationen af C, N, K, Ca, Mg, Mn samt CEC og glødetabet signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre
- samtidig er C/N-forholdet, og pH(H₂O) signifikant lavere i den indre ring sammenlignet med ydre.
- Ud fra et jorbundskemisk synspunkt findes de bedste vækstbetingelser i den indre ring og man bør derfor i fremtiden undgå at indbygge et lignende lag af grus mm.
- pH værdien (CaCl₂) varierer mellem 6,8 og 7,5 med en middelværdi på 7,3.
- Jorden er forholdsvis basisk og det kan derfor forventes at træerne kan have problemer med at optage stoffer der er mindre tilgængelige ved disse pH-værdier, eksempelvis Mn.

Rodvækst i gartnermacadam

- Hele profilet af gartnermacadam (20-80 cm under overkante belægning) må anses som rodvenligt: Der er observeret og målt betydelig rodvækst over hele profilet af rodvenlig bærelag på alle målte afstande (1m, 1,90 m og 2,90 fra stammen). Dette gælder både fin- og grovrødder.
- Rodmassen aftager med tiltagende afstand fra træer.
- Grovrødder i de dybe macadamlag tyder på gode vækstforhold og taler imod længerevarende anaerobe tilstande i macadamopbygningen.
- Der er forskel på rodforekomst mellem indre og ydre ring. I ydre ring er der færre rødder, og de ligger i de øvre macadamlag. Rod/top forholdet er dog det samme, træerne i ydre ring er altså generelt mindre. Dette skyldes formentlig de forskellige opbygninger indre/ydre ring.
- Grovrødderne er tydeligt deformerede af at vokse gennem stenskelettet.
- Rodvækst følger tit gamle elmerødder samt vandings-/udluftnings og drænrør.

Træernes ernæringsstatus

- Træerne lider ikke af N-, P-, Ca-, Mg-, Fe-, Zn- eller S-mangel.
- For K og Mn observeres koncentrationer, der indikerer egentlig mangel.
- K-manglen vil sandsynligvis kunne afhjælpes med gødning

- Mn-manglen kan formodentlig ikke afhjælpes med gødning da Mn generelt bliver bundet relativt hårdt i jorden ved denne relativt høje pH-værdi i jorden.
- Der er dog ikke observeret visuelle mangelsymptomer på hverken K eller Mn

Tilvækst

- Lindetræerne har haft en markant lavere diametertilvækst i de første år efter udplantning.
- Træerne i indercirklen har vokset lidt bedre end træerne i ydercirklen.
- Vand er en væsentlig faktor i træernes diametertilvækst, idet år med rigeligt nedbør har bredere årringe.

FORTROLIG - må ikke publiceres

FORORD	2
OVERORDNEDE KONKLUSIONER I PUNKTFORM	3
LÆSEVEJLEDNING	6
INDLEDNING	7
RODVENLIGE BEFÆSTELSER: GARTNERMACADAM	7
DEN FORSKNINGSMÆSSIGE UDVIKLING OG AF MACADAMOPBYGGEDE RODVENLIGE BEFÆSTELSER	8
ETABLERING AF KEJSERLIND PÅ KGS NYTORV IFØLGE DE SÆRLIGE ARBEJDSBESKRIVELSER (SAB).....	9
TRÆERNE PÅ KONGENS NYTORV.....	11
UNDERSØGELSEN PÅ KONGENS NYTORV	12
JORDBUNDSFORHOLD OG –KEMI	12
<i>Udgravning af profiler og udtagning af jordbundsprøver</i>	13
<i>Observationer af macadamjordens opbygning og fysiske forhold</i>	15
<i>Et ekstra lag i den ydre ring</i>	15
<i>Gartnermacadammen - Komprimering og hulrum i mulden</i>	16
<i>Farve</i>	16
<i>Frit vand i profil-hullerne</i>	17
<i>Iltforhold</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>Andre observationer</i>	17
<i>Sammenfattende konklusioner</i>	17
<i>Tekstur</i>	17
<i>Sammenfattende konklusioner</i>	19
JORDBUNDSKEMI OG NÆRINGSSTOFINDHOLD.....	19
UNDERSØGELSE AF RODVÆKST I GARTNERMACADAM	37
<i>Resultater</i>	38
<i>Observationer</i>	46
<i>Sammenfattende konklusioner</i>	47
ANALYSE AF BLADPRØVER	48
<i>Udtagning og analyse af bladprøver</i>	48
<i>Sammenfattende konklusioner</i>	51
MÅLING AF TRÆERNES ÅRLIGE TILVÆKST	51
<i>Sammenfattende konklusioner</i>	52
AFRUNDING	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
REFERENCER OG UDDYBENDE LITTERATUR	58



Figur 1: Sommerbillede af haveanlægget på Kongens Nytorv fra 2005.

Læsevejledning

Nærværende rapport beskriver en undersøgelse af vækstvilkår og trævækst af lindetræerne på Kongens Nytorv. Rapporten indeholder følgende afsnit:

- **Indledning:** En beskrivelse af baggrunden for undersøgelsen, en generel og projektspecifik beskrivelse af etableringsmetoden
- **Undersøgelsen:** Denne del beskriver de enkelte delundersøgelser (jordundersøgelser, rodundersøgelser, tilvækstmålinger og bladanalyser) i særskilte afsnit. Hvert afsnit indeholder en beskrivelse af de anvendte metoder, en beskrivelse og tolkning af resultaterne samt en sammenfatning af de væsentlige konklusioner. Delkonklusioner er derudover samlet i en oversigt begyndelsen af denne rapport.
- **Afrunding:** En kortfattet opsamling af de overordnede erkendelser.

Kemi: Alle stofkoncentrationer er opgivet på tørstofbasis uden korrektion for glødetab.

Der anvendes overvejende kemiske symboler for atomer: kulstof (C), kvælstof (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), og magnesium (Mg), svovl (S), jern (Fe), mangan (Mn), molybdæn (Mo), zink (Zn), kobber (Cu), natrium (Na) og Silicium (Si), aluminium (Al), klor (Cl), titan (Ti), cadmium (Cd), bly (Pb), cobolt (Co), chrom (Cr), kviksølv (Hg), nikkel (Ni) og arsen (As).

Statistik: Der anvendes et signifikansniveau på 5 % ($P < 0,05$). Det betyder at sandsynligheden for at forskelle i gennemsnitsværdier beror på tilfældigheder i datamaterialet er mindre end 5 %. I nærværende rapport kunne det for eksempel være forskelle mellem rodvækst i indre og ydre ring.

Enkelte gennemsnitsværdier er angivet med standardafvigelser, som er et mål på de enkelte måleværdiers variation. Standardafvigelse angives i parentes med symbolet '±' og kan tolkes således at ca. 2/3 af alle måleværdier befinder sig i intervallet gennemsnitsværdien $\pm$ standardafvigelsen.

Indledning

Udvidelsen af metro-nettet i København medfører et større byggearbejde på Kongens Nytorv i det centrale København. I forbindelse med byggeriet er det nødvendigt at fjerne træplantningen på Kongens Nytorv, bestående af 80 Kejserlind (*Tilia x europaea* 'Pallida'). Træerne blev plantet i 2001 i rodvenlig befæstelse, det såkaldte gartnermacadam. Etableringen er udført grundig, træerne fremstår ensartede og er derfor oplagt materiale for en grundlæggende evaluering af etableringsmetoden.

Undersøgelser af træers rodvækst er per se vanskelige og bekostelige. Det gælder i særlig grad når der er tale om rodvenlige bærelag under en belægning, som først skal fjernes og siden reetableres.

Undersøgelser af rodvenlige bærelag som gartnermacadam har derfor indtil videre enten været baseret på overjordiske vurderinger af vitalitet og tilvækst eller på forsøgsplantninger, som kun i begrænset omfang kan genskabe realistiske etablerings- og driftsvilkår.

Derfor indebærer fældningen af træerne på Kongens Nytorv en – også på international plan – unik mulighed for at evaluere etableringsmetodens muligheder og begrænsninger på baggrund af et realistisk etableringsscenario.

Med de i denne rapport fremlagte resultater af undersøgelsen på Kongens Nytorv genereres evidensbaseret viden om etablering af træer i byen til brug i planlægnings- og anlægsprocessen og til gavn for planter, mennesker og miljø.

Rodvenlige befæstelser: Gartnermacadam

Rodvenlige befæstelser gør det muligt at opnå rodvækst også under faste belægninger, hvor konventionelle bærelag ellers er så komprimerede at rødder kun kan vokse i meget begrænset omfang. De blev introduceret i 90'erne og har siden fundet bred anvendelse både i Danmark og udlandet. En del undersøgelser med videnskabelig karakter fra bl.a. Danmark har dokumenteret metodens generelle egnethed for etablering af træer på lokaliteter med høj belægningsgrad, men der mangler dokumentation af den kvalitative og kvantitative rodudvikling i rodvenlige befæstelser in situ.

En macadamopbygget rodvenlig befæstelse udgøres af to komponenter:

1. Et stenskelet, der kan overføre lasten fra en belægning der befærdes med let trafik (ofte cykelstier, fortove eller parkeringsareal) til råjorden
2. Et vækstmedie, oftest en form for muldjord, som fyldes ind i bærelagets hulrumme, hvor rødderne skal vokse.

Stenbærelaget kan bestå af forskellige materialer i forskellige størrelser – granit, tegl, lava. Andelen af hulrum er størst, hvis stenskelettet består af ensartet, velsorteret materiale.

Indbygningen kan enten ske ved at muldjorden fejes (tør indbygning) eller vandes ned i hulrummene af stenskelettet. Der kan også indbygges færdigblandet materiale, hvilket dog stiller store krav til blandingsforholdet for at undgå komprimering af jorden mellem stenene.

Det tilstræbes, at ca. 80% af de opståede hulrum udfyldes med vækstjord (Kristoffersen 1998c).

I København etableres gartnermacadam ved at grave ud til 60 cm under terræn og komprimere råjorden. Herefter udlægges 15-20 cm grusgravs-sten (64/150 mm) og 5 cm muldjord, som fejes eller vandes ned mellem stenene. Derpå komprimeres laget. Processen med muldpålægning gentages, derpå udlægges et nyt lag sten og mættes ligeledes med muld.

Macadamopbygningen bruges ikke i selve plantehullet, men i tilstødende arealer. Selve plantehullet vil have samme opbygning som plantehul ved ren muldplantning og typisk fyldes med allétræsmuld eller tilsvarende.



Figur 2: Eksempel på macadamopbygning omkring plantehullet. Plantehullet er omgivet af betonelementer for at forhindre en komprimering af jorden i plantehullet (foto: Oliver Bühler).

Eksempler på beplantninger hvor gartnermacadam er anvendt med god succes er Kongens Nytorv (*Tilia x europaea* 'Pallida') og Vester Farimagsgade (*Tilia platyphyllos* 'Örebro'). I en undersøgelse af træernes overjordiske tilvækst opnår udført i 2005 vurderes begge plantningers tilvækst til at være tilfredsstillende. Eksemplet Vester Farimagsgade viste dog også, at træer etableret i større åbne plantehuller (ca. 6 m²) uden gartnermacadam (Staunigs Plads i forlængelse af Vester Farimagsgade) har større tilvækst end træerne plantet i små plantehuller (< 1 m² permeabel overflade) med gartnermacadam.

Den forskningsmæssige udvikling og af macadamopbyggede rodvenlige befæstelser

Gartnermacadam blev udviklet og evalueret forskningsmæssigt sideløbende i USA og Danmark. I USA er det især Nina Bassuk og Jason Grabosky der arbejdede med udviklingen af de såkaldte 'structural soils', mens Palle Kristoffersen undersøgte og afprøvede metoden i Danmark. Begge steder blev denne form for

rodvenlig befæstelse undersøgt i forsøgssammenhæng på forskellige plantearter, og den generelle konklusion var at opbygningen muliggør rodvækst og udgør et fungerende bærelag for belægnings til let trafik.

Palle Kristoffersen observerer i sine undersøgelser et forhøjet rod/top-forhold for planter i matrixbaserede substrater i forhold til træer plantet i almindelig vækstjord. Dette tyder på, at træerne har brug for et større rodnet for at opretholde forsyningen med vand og næringsstoffer fordi den totale jordmængde er mindre i en macadamopbygget rodzone.

Forskellige undersøgelser viser også, at træer plantet i et jordvolumen bestående af ukomprimeret vækstjord som regel vokser bedre end træer plantet i gartnermacadam. Dette er næppe overraskende, og sammenligningen halter, fordi gartnermacadam netop bruges på lokaliteter, hvor urban infrastruktur forbyder at anlægge store, ukomprimerede jordvolumina. Sammenligninger af træer i et traditionelt, komprimeret bærelag med træer i gartnermacadam viser derimod tydeligt at gartnermacadam er en mulighed for at kombinere grøn og grå urban infrastruktur. For uddybende læsning se litteraturlisten i slutningen af denne rapport

Etablering af Kejserlind på Kgs Nytorv ifølge de Særlige Arbejdsbeskrivelser (SAB)

Plantningen på Kgs. Nytorv omfatter i alt 80 Kejserlind (*Tilia x europaea* 'Pallida') plantet i to ellipser, som hver udgør et sammenhængende bånd af gartnermacadam. Hvert bånd har en bredde på 160 cm. Macadammen er ifølge projektets særlige arbejdsbeskrivelser (SAB) indbygget ved 'Tør Indbygning', det vil sige at vækstjorden er fejet ind i hulrummene i stenskelettet.

Skelettet dannes af bundsten i størrelsen 64/150 mm. Vækstjorden beskrives som 'fint harpet tør muldjord' med en partikelstørrelsesfordeling som vist i tabel 1.

Der etableres et lag gartnermacadam med en dybde på 60 cm. Indbygningen sker i tre lag à 20 cm, hvor det første lag etableres på den løsenede råjord. Her udlægges første lag sten på 20 cm, hvorpå der udlægges 3 cm muldjord som fejes ind i hulrummene (tabel 1). Herefter komprimeres med en pladevibrator. Udlægning af muldlag med efterfølgende komprimering gentages i alt fire gange. I plantehullet udlægges der sideløbende råjord og allétræsuld.

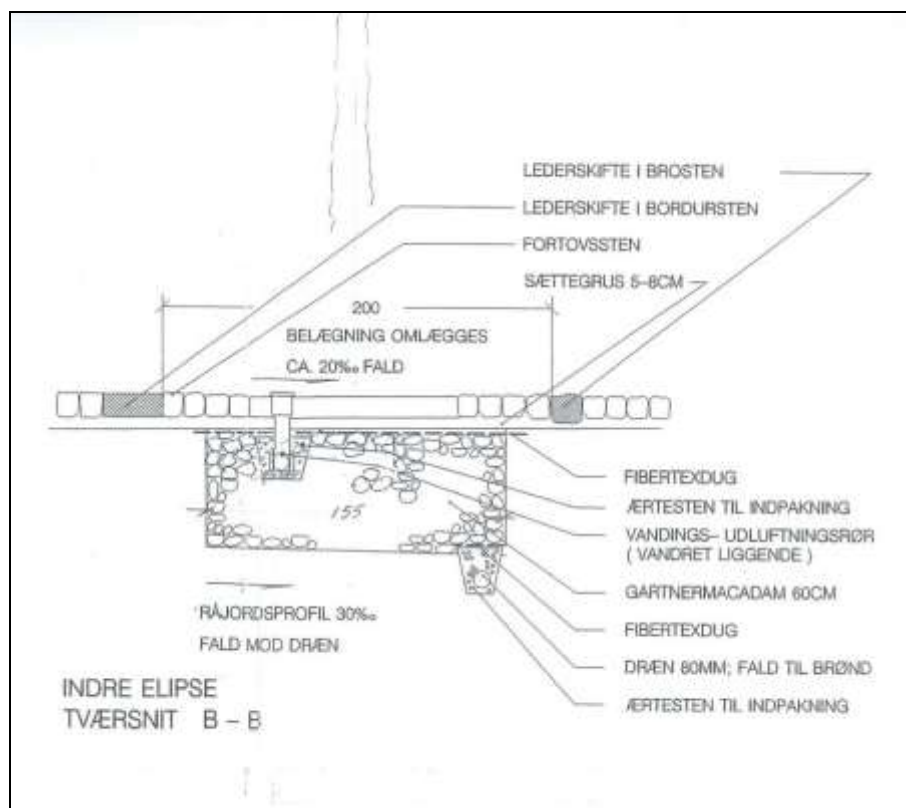
Efter færdig indbygning gennemvandes macadamopbygningen. Opbygningen afsluttes med fibertextdug og belægningsoverflade (figur 3).

Forfatterens kommentar til denne del af SAB'en er at det umiddelbart ikke anses som nødvendigt at løsne råjorden inden udlægning og komprimering af første macadamlag.

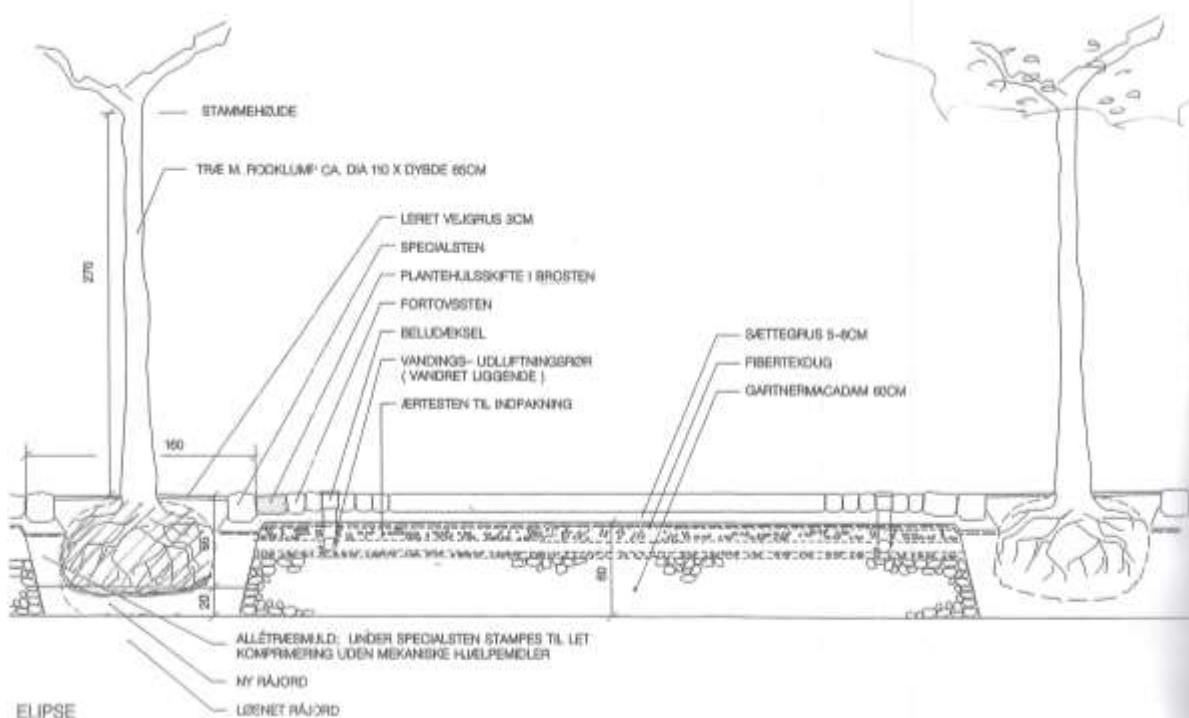
Træerne er ifølge SAB bestilt som *Tilia vulgaris* 'Pallida' med 30-35 cm stammeomfang, 4 x omplantede højstammede træer med trådklump. Plantematerialet er specificeret som bygherrelevance. De plantes uden opbinding, og plantehullerne dækkes med et 3 cm lag leret vejgrus.

Tabel 1: Tekstur og indhold af organisk materiale af muldjord på Kgs. Nytorv (ifølge SAB).

Grovsand	40-45 %
Finsand	45-50 %
Ler/silt	9-12 %
Humus	1-2 %



Figur 3: Tværsnit gennem indre ring. Striben af gartnermacadam er lagt ud i en bredde på 155 cm og i dybden 20-80 cm. Udlægningen er sket ad tre omgange. Der er både anlagt vandings-/udluftningsrør og drænrør.



Figur 4: Længdesnit af indre ring. Bemærk at der i selve plantehullerne ikke er brugt gartnermacadam men råjord og 'allétræsmuld'.

Træerne på Kongens Nytorv

De 80 *Tilia x europaea* 'Pallida' blev plantet i juni 2001 i begyndende løvspring. Af de oprindeligt 80 træer stod der ved undersøgelsens start 60 tilbage, herunder de ti træer som er udvalgte til undersøgelsen. Disse ti træer blev valgt primo september 2010 efter en fælles vurdering af medarbejdere fra Københavns Kommune, Center for Park og Natur, og forskere fra Skov og Landskab. Der blev under udvalget lagt vægt på:

- At der var hhv. fem træer i ydre og fem træer i indre ring
- At træerne stod sammenhængende
- At træerne fremstod så ensartede som muligt
- At der kunne etableres en afspærret byggeplads med plads til midlertidig opmagasinering af jord- og belægningsmaterialer.

De valgte træer blev forsynet med fortløbende nummerering og fremgår på figur 4.

På alle træer på Kongens nytorv er der i forbindelse med undersøgelsens gennemførelse i november 2011 målt træhøjde samt stammeomfang i én meters højde (tabel 2). Der viser sig signifikante forskelle i trævæksten af forsøgstræerne mellem ydre og indre ring, både hvad angår tykkelsesvækst og højdevækst. Set over hele plantningen er forskellene mellem ydre og indre ring ikke signifikante, hvilket tyder på at vækstofforskellene skyldes en lokal påvirkning. For en nærmere forklaring på den sandsynlige årsag se også afsnit 'Et ekstra lag i den ydre ring på side XX.

Tabel 2: Stammeomfang i én meter stammehøjde og træernes totalhøjde. Der blev målt stammeomfang efter afslutning af vækstsæsonen på alle træer i 2005 og 2011 og på forsøgstræerne i 2010. Træhøjde blev målt i 2011. Træernes handelsstørrelse ved plantning var 30-35.

	Hele krinsen			Forsøgstræer		
	Alle træer	Ydre ring	Indre ring	Alle forsøgstræer	Ydre ring	Indre ring
Stammeomfang efterår 2005 [cm]	43,00 ($\pm$ 4,7); n=80	43,62; n=40	42,26; n=40	41,80 ($\pm$ 3,0); n=10	39,8	43,8
Stammeomfang efterår 2010 [cm]	(ikke målt)	(ikke målt)	(ikke målt)	59,79 ($\pm$ 4,6); n=10	56,2; n=5	63,4; n=5
Stammeomfang efterår 2011 [cm]	63,00 ($\pm$ 7,9); n=60	61,12; n=29	64,67; n=31	62,74 ($\pm$ 5,3); n=10	58,9	66,6
Højde efterår 2011 [m]	8,8 ($\pm$ 0,7); n=60	8,7; n=29	8,8; n=31	8,9 ($\pm$ 0,5); n=10	8,7	9,1



Figur 5: Luftfoto af Krinsen, Kongens Nytorv. Den sorte ellipse i billedet til venstre viser de 10 udvalgte træers beliggenhed i anlægget, på billedet til højre fremgår træernes nummerering i undersøgelsen (Foto: Københavns Kommune).

Undersøgelsen på Kongens Nytorv

Jordbundsforhold og –kemi

Ved undersøgelsen er der udført jordbundskemiske analyser, og jordens fysiske egenskaber er beskrevet. Den del af undersøgelsen, der omhandler de fysiske og kemiske egenskaber, er baseret på observationer

af de faktiske forhold, som blev afdækket ved udgravningen af profilerne. Der er lavet teksturanalyse på udvalgte jordbundsprøver fra gartnermacadammen. Da det ikke er muligt at udtage eller arbejde med større sammenhængende intakte jordprøver i gartnermacadam, er der ikke lavet densitetsbestemmelser eller målt komprimeringsgrad.



Figur 6: Et udsnit af de træer som indgik i projektet (foto: Morten Ingerslev).

Udgravning af profiler og udtagning af jordbundsprøver

Profilerne blev udgravet i et ringudsnit i Krinsens nordvestlige del i perioden fra den 14. til 18. november 2011. Jordbundsprøverne udtages fra lodrette profilvæge der er udgravet i to afstande til træerne hhv. 1 m og 2,9 m. Profilerne var mere end 1 m dybe og lige så brede som gartnermacadammen.



Figur 7 Udgravning af profil i en afstand på 1 m fra træet (foto: Morten Ingerslev)

Profilerne blev grundigt "renset" for nedfalden jord for at undgå at jord fra højere jordlag skulle blive blandet med dybere jordlag. Der blev udtaget jordbundsprøver i to forskellige dybder 20 – 50 cm og 50 – 90 cm. Jordbundsprøverne blev taget mellem stenene i gartnermacadammen således at de kom til at repræsentere profiludsnittet bedst muligt. Jordbundsprøver der blev udtaget i samme dybde og afstand fra det samme træ men fra hver sin side af træet blev slået sammen så undersøgelsen i alt omfatter 40 prøver af jorden i gartnermacadammen. Endvidere blev der udtaget prøver fra det grus som omgav vandingsrørene.



Figur 8: En færdiggravet profil med maskenet til opgørelse af rødde (foto: Morten Ingerslev).

Observationer af macadamjordens opbygning og fysiske forhold

Der er foretaget en visuel vurdering af sætninger, komprimering og eventuelle hulrum i macadamjorden. Endvidere er forholdene vedr. jordkvalitet herunder farve og iltforhold vurderet i felten.

Fejl i opbygningen af macadamlaget

Gartnermacadammen i de to ringe var ikke opbygget ens. I den ydre ring var der et lag af grus blandet med enkelte lerklumper og mindre beton-stykker (ofte under 2 cm). Laget var inhomogent i tykkelse. Tykkelsen kunne variere fra få centimeter op til 20 cm, ofte varierede laget dog mellem 5-15 cm i tykkelse. En mere præcis opmåling af dybdeudbredelsen blev ikke lavet. Ud fra en subjektiv vurdering var laget tilsyneladende tykkere ved større afstande fra træet sammenlignet med det der blev observeret i profilerne 1 m fra centrum af træerne. Lagets overkant blev ofte observeret i en dybde på 50 – 60 cm fra belægningens overflade, men det varierede også en del. Dette lag indeholdt ingen større sten som den øvrige macadam og laget var derfor tydeligt komprimeret. Dette lag blev ikke fundet i den indre ring og svarer på ingen måde hverken til den generelle beskrivelse af gartnermacadam-opbygninger eller til beskrivelsen i SAB og må derfor karakteriseres som en anlægsfejl.

Ved den sydligste profil i den største afstand (2,9 m) fra træ nr. 260 (ydre ring) var jorden derudover tydeligvis mere komprimeret og kun med få større sten til at give bæreevne i profilen. I bunden af profilen forefindes to ledninger og kun meget få rødder. Formentlig har man villet undgå at lægge større sten direkte ned omkring kablerne. Denne profil er udeladt af den kemiske og senere statistiske analyse, da det ikke ville være retvisende at medtage den.



Figur 9: Det ekstra lag i den ydre ring. Her i den nordlige profil i en afstand på 1 m fra centrum af træ nr. 259 (foto: Søren Schaumburg Jensen).



Figur 10: Foto af det ekstra lag i den ydre ring på et sted hvor den havde en stor dybdeudbredelse (foto: Morten Ingerslev).

Gartnermacadammen - Komprimering og hulrum i mulden

Man kan ikke umiddelbart opgøre, om der er hulrum eller komprimeringer mellem stenene. Vi har løbende fjernet enkelte fra profilvæggene og vurderet det man kunne se bag, under og over stenafttrykket. Typisk ser man nogle rødder der vokser langs med stenens overflade. Vi har ikke observeret hulrum mellem stenene. Jorden er som regel rimelig løs i det, og vi har ikke set nogen steder, hvor den har været specielt komprimeret. Det skønnes derfor at jorden ikke har været så komprimeret at det har hindret rodvækst nogen steder, bortset fra i det ekstra lag i den ydre ring. Og vi finder da også stort set rødder overalt. Jordlaget under gartnermacadammen er til gengæld hårdt komprimeret. Gartnermacadammen går ikke lige langt ned overalt. Enkelte steder i den nordlige del af ydercirklen, der har gartnermacadammen gået ret langt ned (enkelte steder ned til 100 cm), men i den sydlige ende af ydercirklen, er den ikke gået lige så langt ned (75 – 80 cm).

Jordfarve og iltforhold

Jordbundens farver varierer noget. I forbindelse med det ekstra lag er variationen meget stor. De mørkeste farver, hvor mulden er dominerende er meget mørkebrune tæt på sort (2,5 y 3/2, 10 y r 2/2 og 10 y r 3/2 jf. Munsell Soil Color Chart). Omkring det ekstra lag i den ydre ring er der forskellige grå nuancer i pletter, samt større gule/orange grus bånd (10 y r 6/6, 10 y r 6/8, 10 y r 2,5 y r jf. Munsell Soil Color Chart).

Der er ikke observationer, der tyder på iltfattige forhold (jordfarver og lugt). Der er dog én undtagelse i ved den sydvendte profilen i den største afstand (2,9 m) fra træ nr 260, hvor der ved udgravningen af

den nederste del af profilhullet kom en svag lugt af svovlbrinte og råd, som kunne tyde på anaerobe (iltfattige) forhold.

Frit vand i profil-hullerne

I et tilfælde har vi observeret fritstående vand i bunden af ét af hullerne. Ved træ nr 356 i den ydre ring, i den nordlige profil i afstanden 2,9 m fra træets centrum så vi lidt fritstående vand i bunden af profilhullet i en dybde på 110 cm. Det skal dog nævnes at ikke alle hullerne blev gravet så dybe som dette.

Andre observationer

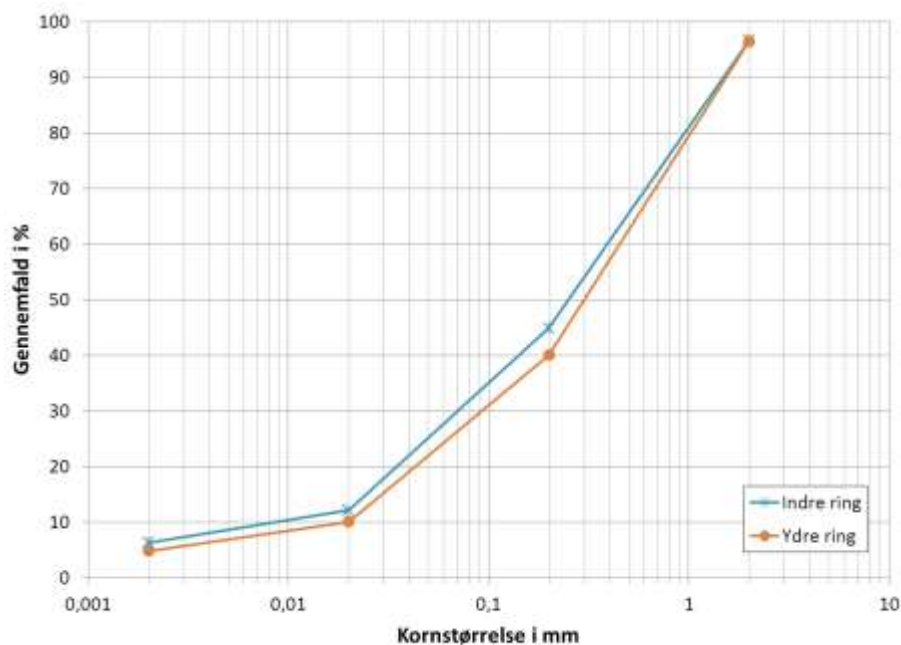
Nogle få steder ligger der røde mursten og andet byggeaffald, specielt i kanten og bunden af gartnermacadammen.

Sammenfattende konklusioner

- I den indre ring var den rodvenlige befæstelse opbygget korrekt.
- I den ydre ring var der ofte et hårdt komprimeret gruslag (iblandet beton stykker mm.) mellem det dybeste og det næst dybeste lag macadam (den øverste del af dette lag blev observeret i 50 - 60 cm dybde i macadammen)
- Der blev ikke observeret komprimering af mulden mellem stenene nogen steder
- Der blev ikke observeret hulrum i mulden mellem stenene
- Der blev ikke observeret iltfattige forhold

Tekstur

For hvert træ blev der lavet en delprøve ved sammenslåning af jord fra de 4 prøver som repræsenterede træet. Hver af disse 10 prøver samt en samleprøve fra Kortegaards Planteskole blev sendt til teksturanalyse hos Prodana. Prøverne blev analyseret i teksturklasserne: Humus, ler (< 0,002 mm), silt (0,002 - 0,02 mm), finsand (0,02 - 0,2 mm.) grovsand (0,2 - 2 mm) (Tabel 3).



Figur 11: Kornkurve over jordprøver taget i indre og ydre ring. Se i øvrigt også tabel 3.

Tabel 3: Teksturfordeling for en jordprøve pr. træ, i alt 10 prøver, 5 fra hver ring. * indikerer at der er signifikant forskel på middelværdierne for den indre ring sammenlignet med den ydre ring.

(%)	Middel	Minimum	Maksimum
Humus			
Indre ring	3,5	3,3	3,8
Ydre ring	3,5	3,2	3,9
Ler (< 0,002 mm)			
Indre ring *	6,4	5,2	7,5
Ydre ring *	4,9	3,9	6,1
Silt (0,002 – 0,02 mm)			
Indre ring	5,8	4,4	7,3
Ydre ring	5,2	1,4	7,6
Finsand (0,02 – 0,2 mm.)			
Indre ring	32,7	30,7	35,1
Ydre ring	30,0	27,2	34,0
Grovsand (0,2 – 2 mm)			
Indre ring*	51,8	49,6	53,7
Ydre ring*	56,4	54,6	58,2

Teksturfordelingen for den indre ring adskiller sig signifikant fra den ydre ring:

- Ler-fraktionen er signifikant større i den indre del sammenlignet med den ydre.
- Grovsand-fraktionen er signifikant mindre i den indre del sammenlignet med den ydre.

Da udgangsmaterialet som blev indbygget i de to ringe forudsættes at være ensartet, skyldes disse forskelle formentlig de ovennævnte anlægsfejl under opbygningen af den ydre ring (den ydre ring indeholder et ekstra grus-holdigt lag).

I SAB'en er angivet at humus-indholdet skal ligge i intervallet fra 1 % til 2 %, ler/silt-indholdet skal ligge i intervallet fra 9 % til 12 %, finsand-indholdet skal ligge i intervallet fra 45 % til 50 % og grovsand-indholdet skal ligge i intervallet fra 40 % til 45 % (Tabel 1). Indholdet af humus og grovsand er generelt højere i jordprøverne end kravene i SAB'en, indholdet af ler/silt i jordprøverne ligger indenfor kravet i SAB'en, mens indholdet af finsand er noget lavere end kravet i SAB'en.

På Kortegaards Planteskole var teksturfordelingen: humus: 3,07 %, ler: 11,1 %, silt: 9,6 % finsand 42,6 % og grovsand: 33,7 %. Jorden fra Kortegaards planteskole har således generelt en højere andel af fraktionerne med de mindre partikelstørrelser men til gengæld en tydeligt mindre andel af grovsand.

Sammenfattende konklusioner

Indholdet af humus og grovsand er generelt højere i jordprøverne end kravene i SAB'en, indholdet af ler/silt i jordprøverne ligger indenfor kravet i SAB'en, mens indholdet af finsand er noget lavere end kravet i SAB'en.

Teksturfordelingen for den indre ring adskiller sig signifikant fra den ydre ring:

- Ler-fraktionen er signifikant større i den indre del sammenlignet med den ydre.
- Grovsand-fraktionen er signifikant mindre i den indre del sammenlignet med den ydre.

Disse forskelle skyldes formodentligt at de to ringe er opbygget forskelligt mht. at den ydre ring indeholder et ekstra grus-holdigt lag.

Jordbundskemi og næringsstofindhold

Jordprøverne blev tørret ved 55 °C, sammensintrede jordklumper blev forsigtigt knust i en agatmørtel og jordprøverne blev sigtet gennem en 2 mm-sigte og blandet grundigt, før en delprøve blev udtaget til de kemiske analyser. Koncentration af totalindholdet af C og N blev målt ved Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs). Jordprøverne blev ekstraheret med svovlsyre (H_2SO_4 , 0,1 M) og koncentrationen af P blev bestemt i ekstraktet (Plantedirektoratet, 1994). Jordbundsprøverne blev ekstraheret med 1 M NH_4NO_3 for at bestemme koncentrationen af ombyttelige ioner (Stuanes et al., 1984). Ekstraktet blev analyseret for koncentrationen af ombyttelige kationer af: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al og Na ved ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2000). Glødetabet (LOI) blev målt til 400 °C. Jordens surhed blev bestemt ved for forskellige ekstraktioner: vand, (pH, H_2O) og calciumklorid (pH, $CaCl_2$) (ICP Forests, 2010) med Meterlab, PHM standard pH-meter (elektrode: Radiometer analytisk, type Kombineret pH-elektrode Red Rod pHC2401-8). Den frie aciditet (EA) (METLER

Toledo, T50), basemætningsgraden (BS) og kationbytterkapaciteten (CEC) blev bestemt i henhold til (ICP Forests, 2010).

Hovedresultaterne af analyserne fremgår af tabel 4. Alle analyser af Al og den frie aciditet (EA) lå under detektionsgrænsen. Hvilket stemmer godt overens med, at jorden er forholdsvis basisk (se nedenstående om pH). I de efterfølgende afsnit har vi sammenlignet de målte værdier med litteraturen samt med data opgivet fra Solum, som har leveret mulden. Jordbundskemien for de enkelte træer er blevet sammenlignet for at se om der var nogle træer der skilte sig specielt ud fra de andre, men det har ikke været tilfældet.

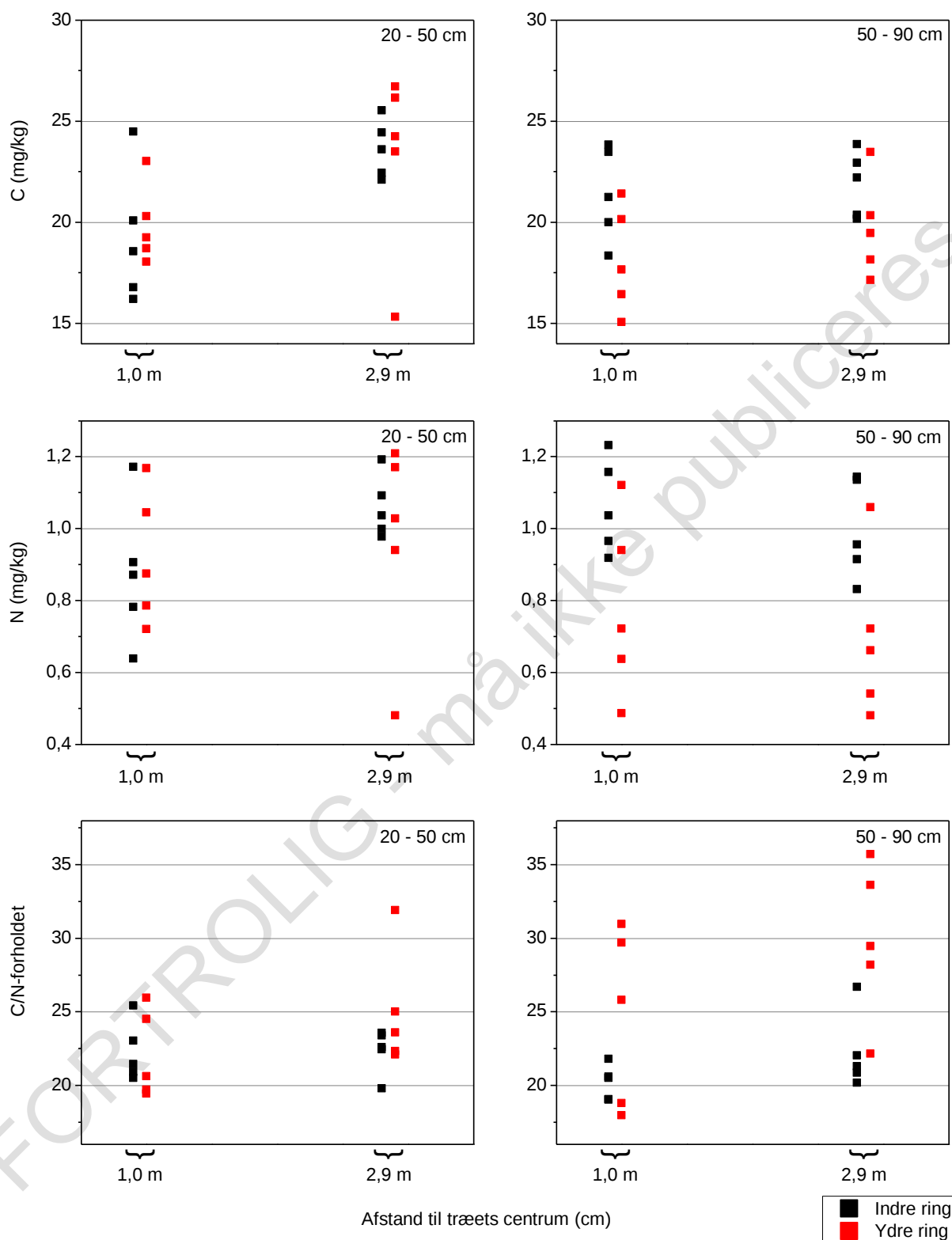
Tabel 4: Jordbundsprøvernes koncentration af totalt C og N, C/N-forholdet, koncentrationen af svovlsyreekstraherbartt (H₂SO₄, 0,1 M) P, koncentrationen af ombyttelige kationer af K, Ca, Mg, Fe, Mn og Na, koncentrationen af vandekstraherbar Na og Cl, pH i hhv. vand (H₂O) og calciumklorid (CaCl₂), basemætningsgraden (BS) og kationbytterkapaciteten (CEC) samt glødetabet. Der indgår 40 jordbundsprøver i tabellen.

	Middel	Min.	Maks.
Totalanalyser			
C (g/kg)	20,9	15,1	26,7
N (g/kg)	0,919	0,480	1,231
C/N-forholdet	23,6	18,0	35,7
Fosfor			
P (H ₂ SO ₄) (mg/kg)	340	156	676
Ombyttelige kationer			
K (mg/kg)	59,7	36,6	97,3
Ca (mg/kg)	4309	3913	4691
Mg (mg/kg)	45,0	24,7	88,5
Fe (mg/kg)	0,545	<0,25	0,980
Mn (mg/kg)	5,22	2,37	10,81
Na (mg/kg)	35,6	6,2	103,1
Salt			
Na(H ₂ O) (mg/kg)	63,2	21,3	120,3
Cl(H ₂ O) (mg/kg)	9,66	<2	44,3
pH			
pH(CaCl ₂)	7,26	6,77	7,49
pH(H ₂ O)	8,00	7,31	8,34
CEC og BS			
CEC cmol(+)/kg	22,2	20,0	24,3
BS (%)	99,9	99,8	100,0

Organisk stof

Glødetab (%)	2,24	1,18	3,04
--------------	------	------	------

FORTROLIG - må ikke publiceres



Figur 12: Koncentrationen af total C og N samt C/N-forholdet i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 - 50 cm og 50 - 90 cm).

Kulstof (C)

Den totale koncentration af C er bestemt, og resultaterne fremgår af figur 10. Koncentrationen varierer fra 15 mg C/kg op til 27 mg C/kg. I den største dybde og i den største afstand fra træerne er koncentrationen af C signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette kan være en effekt af, at jorden i den indre ring ikke er opbygget på samme måde som i den ydre ring. I den indre ring og den lave dybde er koncentrationen af C signifikant højere i den store afstand fra træerne sammenlignet med den korte afstand. I den ydre ring ser det også ud til, at der er en lignende tendens, men her er der ikke statistisk signifikant forskel. Disse resultater kunne tyde på, at der er en større omsætning af organisk stof tættere på træerne end længere væk. Et argument, der dog ikke bliver bakket op af glødetabsanalyserne. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle, som kan relateres til jorddybde, afstanden til træerne eller forskellen mellem ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer C-koncentrationen indenfor intervallet fra 27 til 31 mg C/kg, hvilket er relativt højt sammenlignet med de øvrige jordprøver fra Krinsen. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af C ca. 18 mg C/kg. Hvilket er i den lave ende i forhold til det, vi ellers måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen.

Kvælstof (N)

Den totale koncentration af N er bestemt, og resultaterne fremgår af figur 10. Koncentrationen varierer fra 0,48 mg N/kg op til 1,2 mg N/kg og følger i en hvis udstrækning det mønster, som også er observeret for C. I den store dybde og i den store afstand fra træerne er koncentrationen af N signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette kan være en effekt af, at jorden er opbygget forskelligt i de to ringe. I den lave dybde er der en tendens til, at koncentrationen af N er højere i den store afstand fra træerne sammenlignet med den korte afstand, men det kan ikke påvises med statistisk signifikans. Dette kunne dog pege på, at der er en større omsætning af organisk stof tættere på træerne end længere væk, parallelt med resultaterne for C. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle, som kan relateres til jorddybde, afstanden til træerne eller forskellen mellem ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer N-koncentrationen indenfor intervallet fra 0,3 til 0,5 mg N/kg. Hvilket er relativt lavt sammenlignet med de øvrige jordprøver fra Krinsen. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af N ca. 1,8 mg N/kg. Hvilket er betydeligt højere end det, vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen. Solum, som har leveret mulden, har angivet at N-koncentrationen er 0,92 mg N/kg, hvilket ligger i samme størrelsesorden som N-koncentrationerne i jordprøverne fra Krinsen.

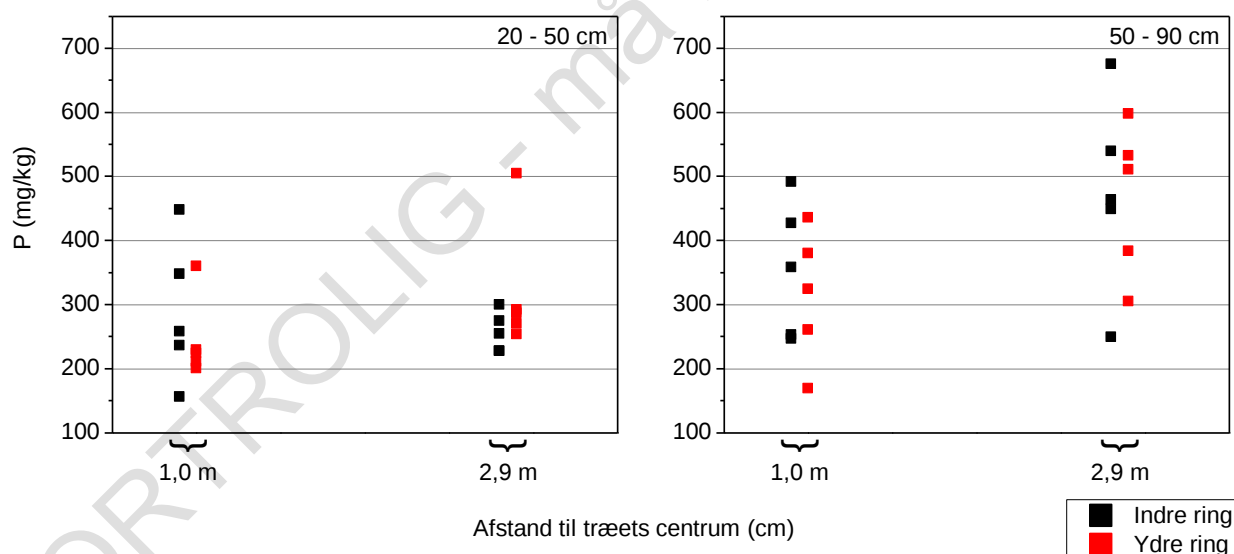
Kulstof (C)/kvælstof (N)-forholdet

C/N-forholdet er bestemt og resultaterne fremgår af figur 10. C/N-forholdet fortæller os noget om jordens evne til at omsætte det organiske stof, som jorden indeholder og frigive næringsstofferne. Når C/N-forholdet er lavt, gerne under 20, altså med et relativt højt N-indhold, øges omsætningen. C/N-forholdet varierer fra 18 op til 36. I den store dybde og i den store afstand fra træerne er C/N-forholdet signifikant højere i den ydre ring sammenlignet med den indre. Dette kan være en effekt af, at jorden er

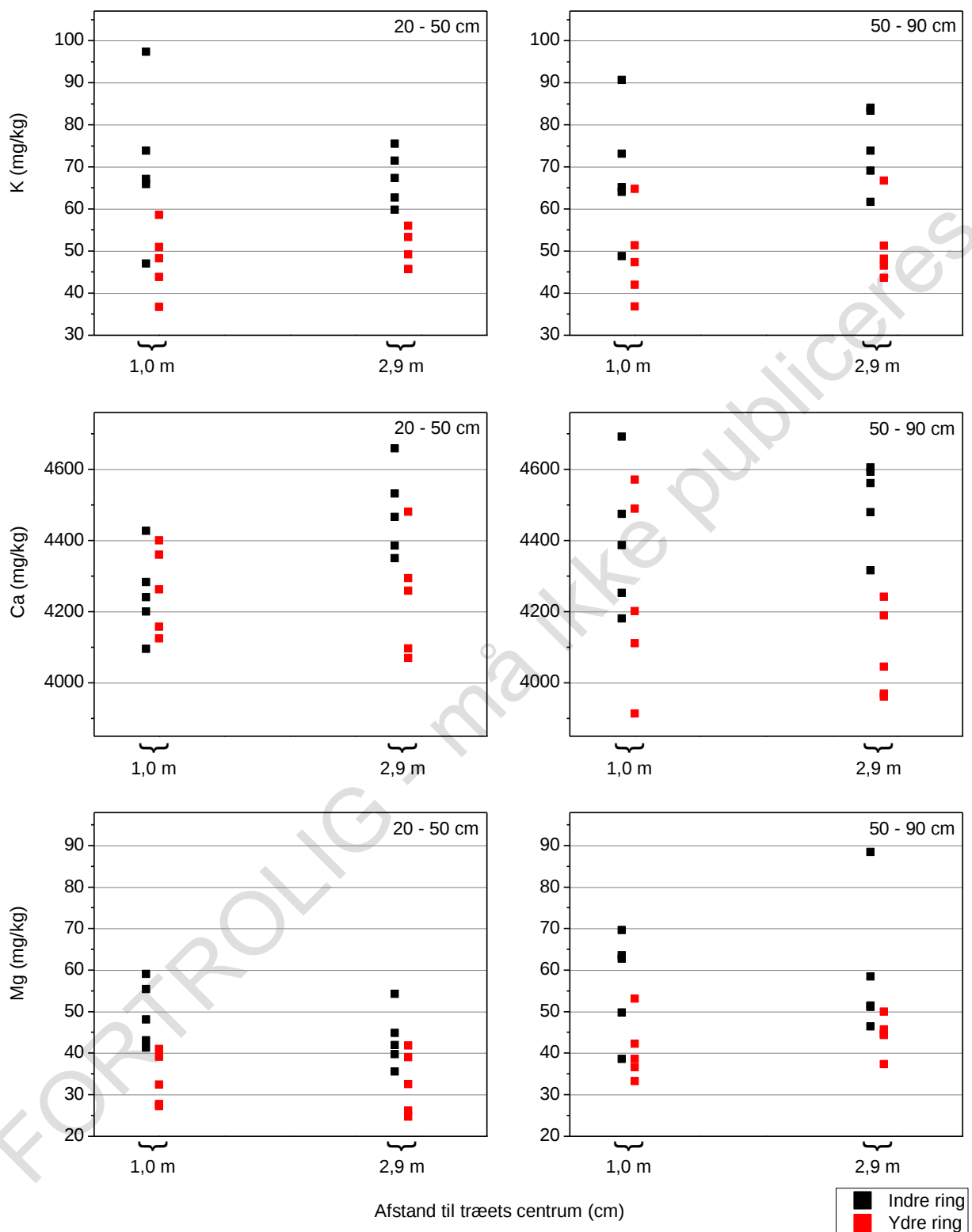
opbygget forskelligt i de to ringe. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle for C/N-forholdet, som kan forklares med jorddybden eller afstanden til træerne. I gruset omkring vandingsrøret varierer C/N-forholdet indenfor intervallet fra 54 til 96. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er C/N-forholdet ca. 10,5. Hvilket er betydeligt lavere end det vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen og vidner om et godt potentiale for omsætning i jorden.

Fosfor (P)

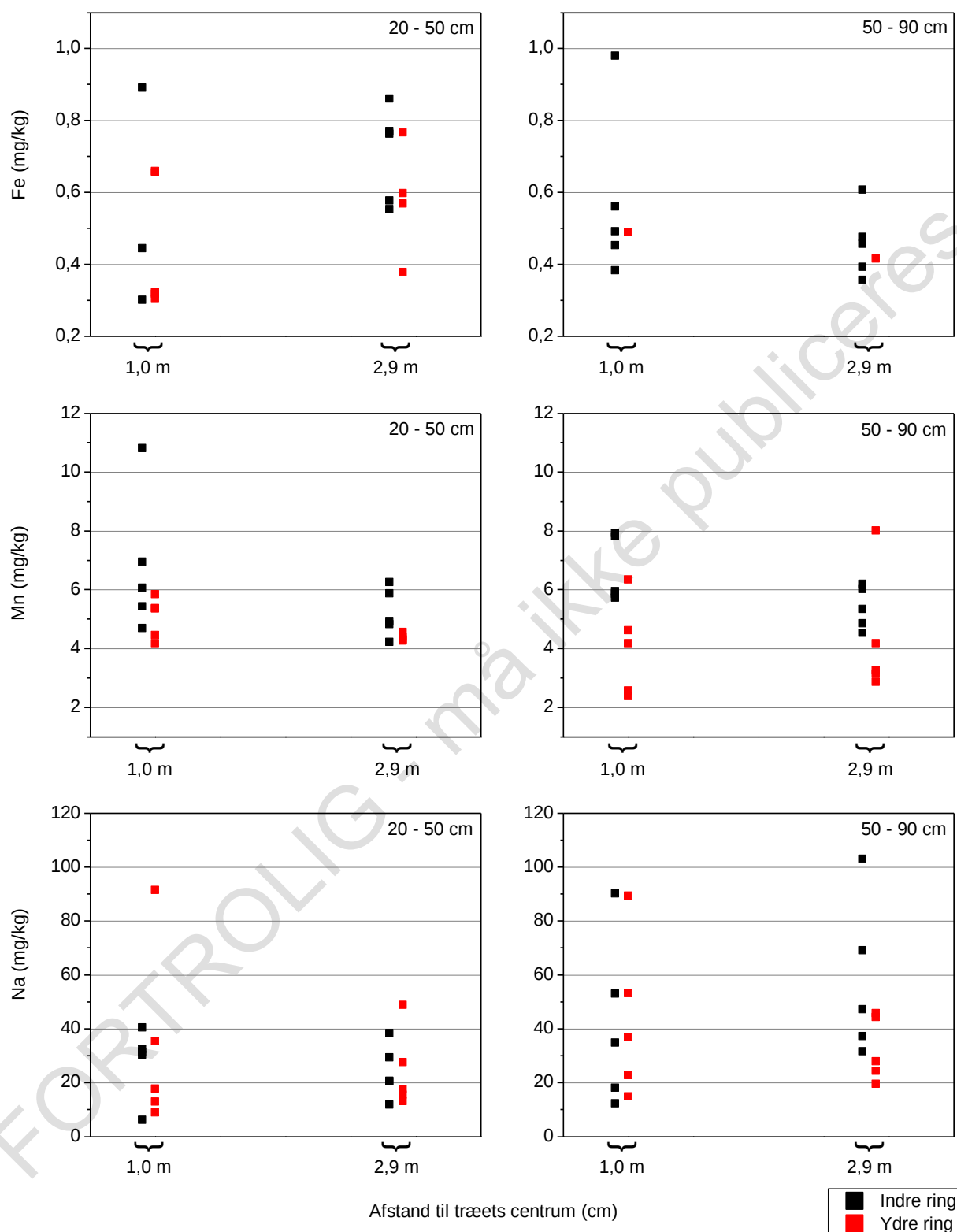
Koncentrationen af svovlsyreopløseligt (0,1 M) P er målt (Figur 11). Koncentrationen varierer fra 156 mg P/kg op til 676 mg P/kg. Koncentrationerne af P er signifikant højere i de dybere jordlag i den største afstand fra træet sammenlignet med de øvre jordlag, mens der ikke er nogen signifikant forskel mellem de to dybder ved den kortere afstand til træet (1 m). Dette mønster observeres både i den indre og ydre ring. Der ikke signifikant forskel på koncentrationen af P imellem de indre og ydre ring. I gruset omkring vandingsrøret varierer P-koncentrationen indenfor intervallet fra 151 til 183 mg P/kg. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole, er koncentrationen af svovlsyreopløseligt P ca. 170 mg P/kg. Hvilket ikke afviger betydeligt fra det, vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen.



Figur 13: Koncentrationen af svovlsyreopløseligt P i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 - 50 cm og 50 - 90 cm).



Figur 14: Koncentrationen ombytteligt K, Ca og Mg i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 – 50 cm og 50 – 90 cm).



Figur 15: Koncentrationen ombytteligt Fe, Mn og Na i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 - 50 cm og 50 - 90 cm).

Kalium (K)

Koncentrationen af ombytteligt K (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (figur 12).

Koncentrationen varierer fra 37 mg K/kg op til 97 mg K/kg. Koncentrationen af K er signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette gør sig gældende i begge afstande fra træerne samt i begge dybder. Dette kan være en effekt af, at jorden i den indre ring ikke er opbygget på samme måde som i den ydre ring. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle, som kan relateres til jorddybde, afstanden til træerne eller forskellen mellem ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer K-koncentrationen indenfor intervallet fra 33 til 41 mg K/kg. Hvilket er i den lavere ende af de koncentrationer, der er analyseret i de øvrige jordprøver. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af K ca. 135 mg K/kg. Hvilket er en del højere end af det, vi måler i jordbundsprøverne fra Krinsen. I Holgersen (1994) anbefales det, at kaliumtallet (Kt) skal ligge mellem 7 og 10, hvilket svarer til en K-koncentration på 70 – 100 mg K/kg. 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 K_{at} 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 Krinsen ligger under det anbefalede interval. Solum, har angivet et Kt på 34 for den leverede muld, hvilket svarende til en koncentration af ombytteligt K på 340 mg K/kg. Igen med forbehold for de forskellige ekstraktionsmetoder, ses at denne værdi er højere end de værdier, som vi måler i jorden på Krinsen.

Calcium (Ca)

Koncentrationen af ombytteligt Ca (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (figur 12).

Koncentrationen varierer fra 3900 mg Ca/kg op til 4700 mg Ca/kg. I den store afstand fra træet er koncentrationerne af Ca signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette gør sig gældende i begge dybder og kan være en effekt af, at jorden i den indre ring ikke er opbygget på samme måde som i den ydre ring, samt at denne forskel i opbygning er mest markant ved større afstande fra træet. I den indre ring i de øverste jordlag er koncentrationen signifikant højere i den store afstand fra træet (2,9 m) sammenlignet med den mindre afstand (1 m). Dette kunne indikere, at træerne har sænket koncentrationen tæt på træet ved at optage Ca. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle, som kan relateres til jorddybde, afstanden til træerne eller forskellen mellem ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer Ca-koncentrationen indenfor intervallet fra 4100 mg Ca/kg til 4200 mg Ca/kg. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af Ca ca. 3950 mg Ca/kg. Hvilket er i den lave ende af det, vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen. I Holgersen (1994) anbefales det, at calciumtallet (Ca_t) 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 Ca_t og de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelse af Ca_t benyttes 1,0 M ammoniumklorid, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Med forbehold for

disse forskelle, indikerer resultaterne at Ca-koncentrationerne i jordene på Krinsen er bemærkelsesværdige høje. Solum, som har leveret mulden, har angivet et Cat på 220 svarende til en koncentration af ombytteligt Ca på 2200 mg Ca/kg, hvilket også er væsentligt lavere end de værdier, som vi måler her. Disse resultater kan peger på, at jorden på Krinsen indeholder kalk.

Magnesium (Mg)

Koncentrationen af ombytteligt Mg (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (figur 12). Koncentrationen varierer fra 24 mg K/kg op til 89 mg Mg/kg. Koncentrationen af Mg er signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette gør sig gældende ved den korte afstand i begge dybder og i den store afstand ved den store dybde, men ikke i den store afstand og den lille dybde. Forskellene kan igen være en effekt af, at jorden i den indre ring ikke er opbygget på samme måde som i den ydre ring. I den største afstand fra træerne er Mg-koncentrationen signifikant højere i de dybere jordlag end i de øvre. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle, som kan relateres til jorddybde, afstanden til træerne eller forskellen mellem ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer Mg-koncentrationen indenfor intervallet fra 20 til 31 mg Mg/kg. Hvilket er i den lavere ende af de koncentrationer, der er analyseret i de øvrige jordprøver fra Krinsen. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af Mg ca. 85 mg Mg/kg. Hvilket er noget højere end det, vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen. I Holgersen (1994) anbefales det, 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 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 Mg, sammenlignet med ekstraktion med ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle, indikerer resultaterne, at hovedparten af Mg-koncentrationerne i jordbundsprøverne fra Krinsen ligger under det anbefalede interval. Solum, har angivet et Mgt på 11 for den leverede muld, hvilket svarende til en koncentration af ombytteligt Mg på 110 mg K/kg. Igen med forbehold for de forskellige ekstraktionsmetoder, ses at den anbefalede værdi er højere end de værdier, som vi måler i jorden på Krinsen.

Jern (Fe)

Koncentrationen af ombytteligt Fe (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (figur 13). Koncentrationen varierer fra under detektionsgrænsen (0,25 mg Fe/kg) op til 0,98 mg Fe/kg. Da der er en del koncentrationer, som ligger under detektionsgrænsen, så bliver det statistiske grundlag begrænset. I den store afstand fra træerne er koncentrationen af Fe signifikant lavere i de dybere jordlag end i de øvre jordlag. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle for Fe-koncentrationen, som kan relateres til jorddybden, afstanden til træerne eller forskelle mellem den indre og den ydre ring. I gruset omkring vandingsrøret samt i de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole, er koncentrationerne under detektionsgrænsen.

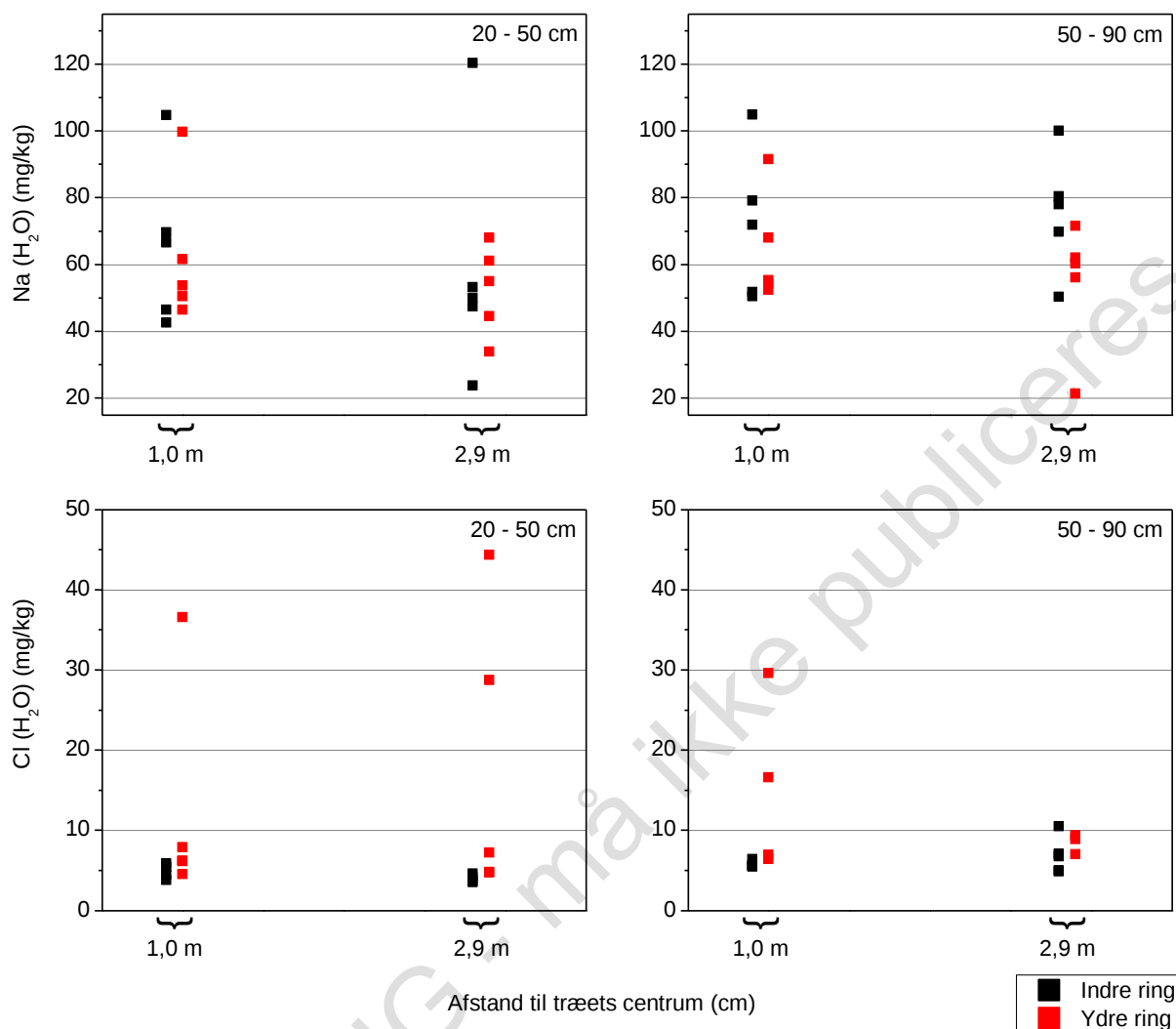
Mangan (Mn)

Koncentrationen af ombytteligt Mn (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (figur 13). Koncentrationen varierer fra 2 mg Mn/kg op til 11 mg Mn/kg. I den store jorddybde er koncentrationen af Mn er signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette gør sig gældende i begge afstande fra træerne. Dette kan være en effekt af, at jorden i den indre ring ikke er opbygget på samme måde som i den ydre ring. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle for Mn-koncentrationen som kan relateres til jorddybden eller afstanden til træerne. I gruset omkring vandingsrøret varierer Mn-koncentrationen indenfor intervallet fra 4,2 til 6,6 mg Mn/kg. Hvilket er i samme størrelsesorden, som fundet i de øvrige jordprøver fra Krinsen. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole, er koncentrationen af Mn ca. 3,6 mg Mn/kg. Hvilket er noget lavere end det, vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen.

Natrium (Na)

Koncentrationen af ombytteligt Na (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (figur 13). Koncentrationen varierer betydeligt fra 6 mg Na/kg op til 103 mg Na/kg. Der er ikke fundet signifikante forskelle for Na-koncentrationen, der kan relateres til jorddybden, afstanden til træerne eller forskel i ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer Na-koncentrationen indenfor intervallet fra 4,8 til 11,9 mg Na/kg. Hvilket er bemærkelsesværdigt lavt sammenlignet med analyseresultaterne fra de øvrige jordprøver fra Krinsen. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af ombytteligt Na ca. 17,6 mg Na/kg. Hvilket også er i den lave ende sammenlignet med jordbundsprøverne fra Krinsen.

Koncentrationen af vandopløseligt Na er målt (figur XXX). Koncentrationen varierer fra 21 til 120 mg Na/kg. Det er generelt lave koncentrationer sammenlignet med andre urbane jorde. Jorden kan karakteriseres som svagt eller meget svagt saltbelastet. Der er ikke signifikant forskel på koncentrationen af Na i forskellige afstande til træerne, i forskellige dybder eller mellem den indre eller ydre ring. I gruset omkring vandingsrøret varierer Na-koncentrationen indenfor intervallet 43-46 mg Na/kg. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af vandopløseligt Na 49 og 50 mg Na/kg, hvilket ikke afviger bemærkelsesværdigt fra det vi måler jorden på Krinsen. Generelt bliver der ikke saltet på Krinsen, hvilket kan forklare de lave Na koncentrationer.



Figur 16: Koncentrationen vandekstraherbart Na og Cl i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 – 50 cm og 50 – 90 cm).

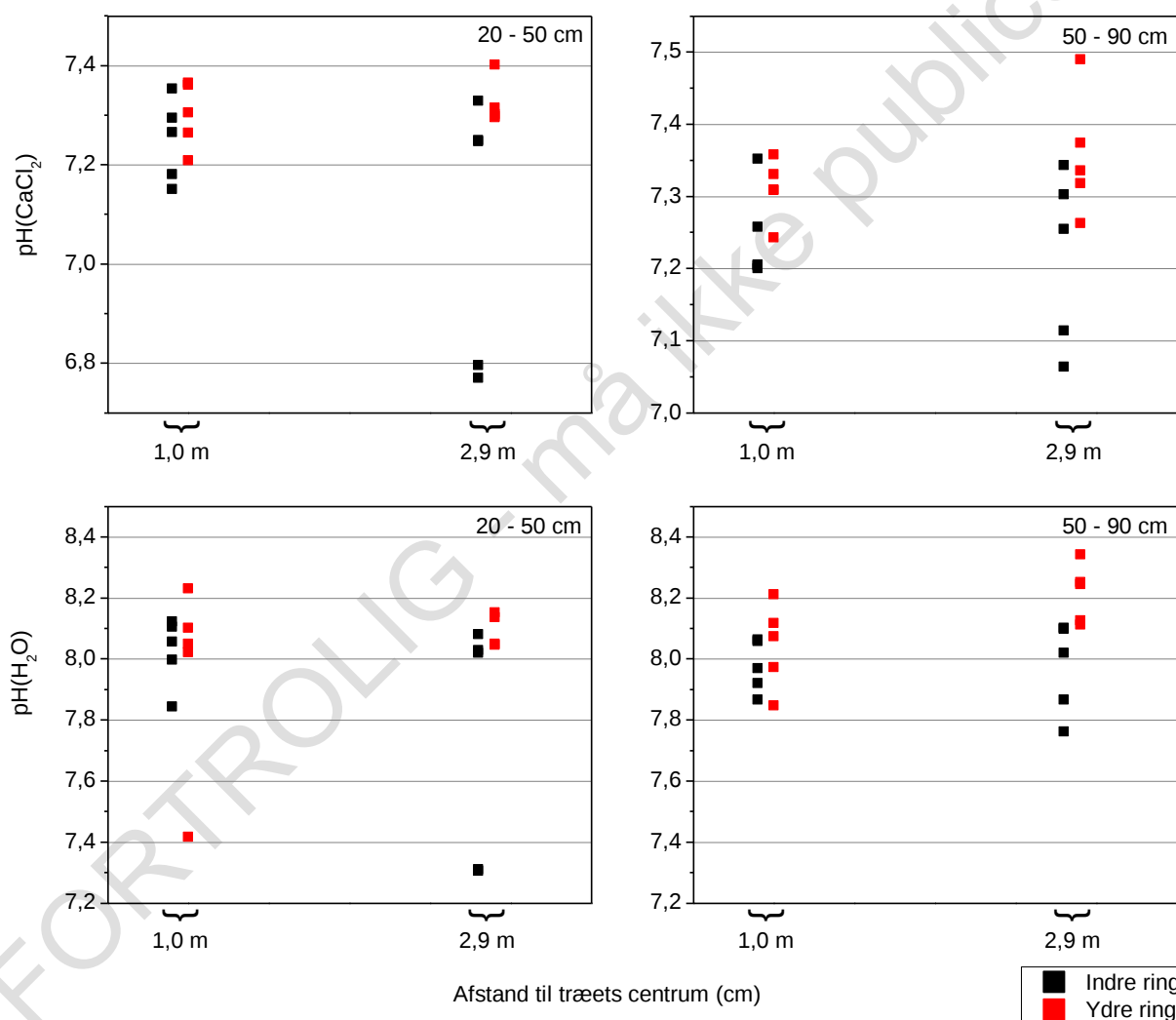
Klorid (Cl)

Koncentrationen af vandopløseligt Cl er målt (figur 14). Koncentrationen varierer fra at ligge under detektionsgrænsen (2 mg Cl/kg) op til 44 mg Cl/kg. Generelt måles de højeste koncentrationer i den yderste ring og variationen er betydelig. Der er ikke signifikant forskel på koncentrationen af Cl i forskellige afstande til træerne, i forskellige dybder eller mellem den indre eller ydre ring. Årsagen til denne forskel er ukendt og generelt er Cl-koncentrationerne lave sammenlignet med andre by-jorde. I gruset omkring vandingsrøret varierer Cl-koncentrationen indenfor intervallet fra detektionsgrænsen op til 7 mg Cl/kg. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er koncentrationen af vandopløseligt Cl 6 mg Cl/kg, hvilket ikke afviger bemærkelsesværdigt fra det, vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen.

Generelt bliver der ikke saltet på Krinsen, hvilket kan forklare de lave Cl koncentrationer i den indre ring. Selvom der er 5 analyser, der viser højere koncentrationer i den ydre ring er det dog ikke alarmerende. Der er mange by-jorde, som har en væsentligt højere koncentration af Cl. Hvis Cl bliver tilført fra vejen, så stemmer det godt overens med, at de højeste koncentrationer måles i jord fra den yderste ring, ved træer med kortest afstand til vejen og korteringen giver et fald fra den inderste ring mod den ydre.

pH

Jordens pH er bestemt ved to forskellige metoder; dels som $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ og dels som $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$.



Figur 17: $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ og $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 – 50 cm og 50 – 90 cm).

pH(CaCl₂) varierer fra 6,8 til 7,5 (figur 15). Træ nummer 253 og 251 skiller sig ud fra de andre træer ved at have relativt lav pH(CaCl₂) sammenlignet med de øvrige træer (< 6,9). Dette ses i begge jorddybder, men det er mere markant i jorddybden 0-30 cm end ved 30-70 cm. Der er ikke signifikant forskel på pH(CaCl₂) i forskellige afstande til træerne, i forskellige dybder eller mellem den indre eller ydre ring. I gruset omkring vandingsrøret varierer pH(CaCl₂) indenfor intervallet 7,3-7,5. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er pH(CaCl₂) 7,1 og 7,3.

pH(CaCl₂) hænger sammen med reaktionstallet (Rt) ved følgende ligning:

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

I SAB'en står der, at "pH" skal være mellem 6,0 og 6,8. Her menes sandsynligvis R_t i stedet for pH, da det passer bedre med "Normer og Vejledning for Anlægsgartnerarbejde 2010". I "Normer og Vejledning for Anlægsgartnerarbejde 2010" står der, at R_t for muld bør ligge indenfor intervallet 5,8-7,0, svarende til pH(CaCl₂) på 5,3-6,5. Det er bemærkelsesværdigt, at pH(CaCl₂) i jorden på Krinsen i hovedparten af tilfældene ligger et godt stykke over anbefalingerne i "Normer og Vejledning for Anlægsgartnerarbejde 2010" samt kravene i SAB'en. Solum, som har leveret mulden har angivet et R_t på 7,9 svarende til pH(CaCl₂) på 7,4, hvilket svarer godt til det, vi måler i jorden på Krinsen. pH-værdien påvirker næringsstofferne plantetilgængelighed og ved de aktuelle pH-værdier er det specielt plantetilgængeligheden af Mn, som kan være kritisk.

pH(H₂O) varierer fra 7,3 til 8,3. Træ nummer 251 og 253 (indre ring) skiller sig igen ud fra de andre træer ved at have relativt lave pH(H₂O) sammenlignet med de øvrige træer (begge ligger de på 7,3 ved den størst distance i de øverste jordlag). Træ nummer 258 (ydre ring) skiller sig også ud fra de andre træer ved at have relativt lave pH(H₂O) (7,2) i de øverste jordlag og ved den korte distance. I den store dybde og i den store afstand fra træerne er pH(H₂O) signifikant højere i den ydre ring sammenlignet med den indre. Der er ikke signifikant forskel på pH(H₂O) i forskellige afstande til træerne eller i forskellige dybder. I gruset omkring vandingsrøret varierer pH(H₂O) indenfor intervallet 8,2-8,5, hvilket er relativt højt sammenlignet med muldjorden. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er pH(H₂O) 7,6 og 7,7.

Kationbytterkapaciteten (CEC)

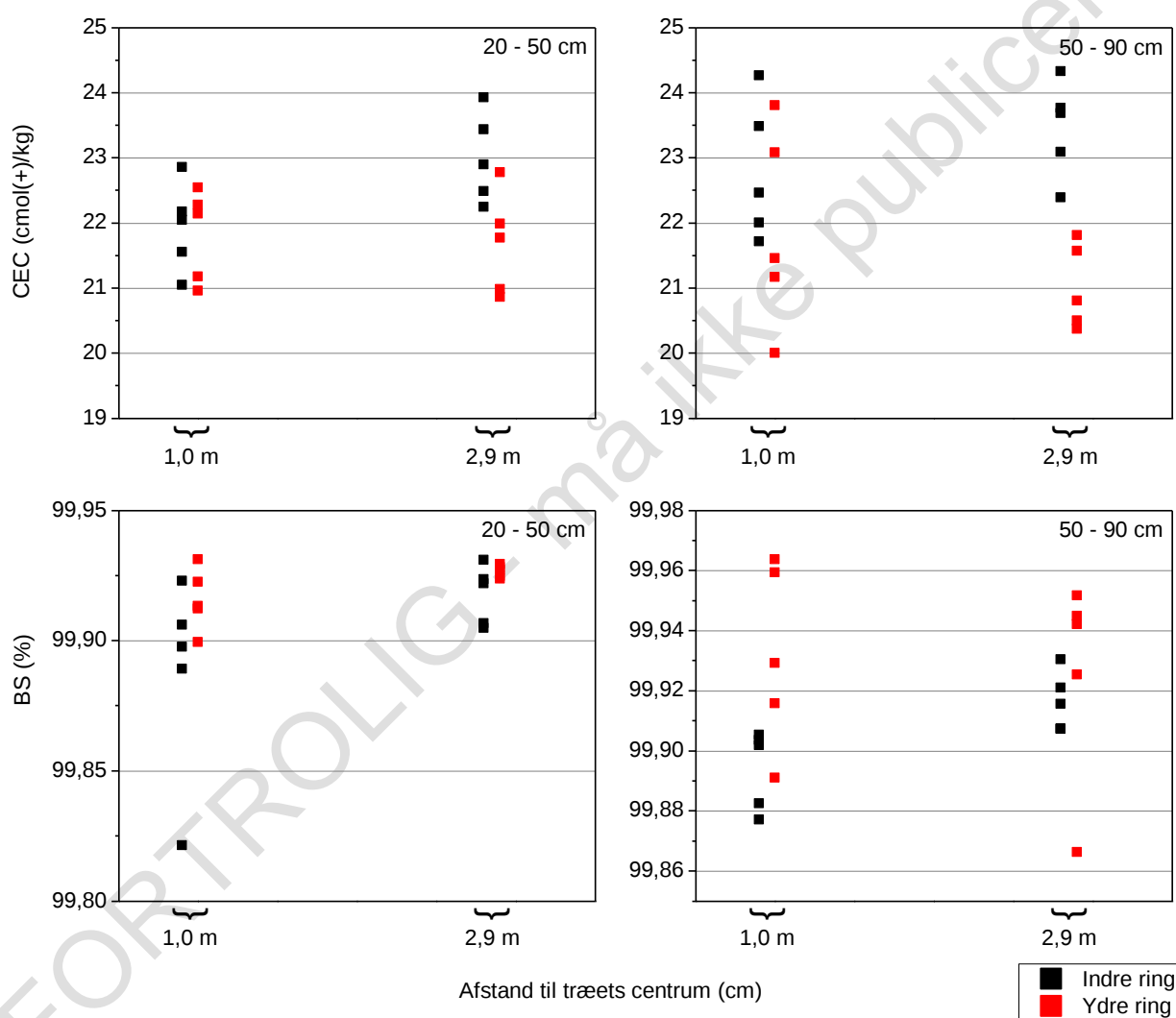
Kationbytterkapaciteten (CEC) er bestemt og resultaterne fremgår af figur 16. CEC varierer fra 20 op til 24 cmol(+)/kg. I den store dybde og i den store afstand fra træerne er CEC signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre. Dette kan være en effekt af, at jorden er opbygget forskelligt i de to ringe, og at indholdet af organisk stof er højere i den indre ring i den store dybde og i den store afstand fra træerne sammenlignet med den ydre. Det stemmer også godt overens med C-koncentrationerne og glødetabene. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle for CEC, som kan relateres til jorddybden eller afstanden til træerne. I gruset omkring vandingsrøret varierer CEC indenfor intervallet fra 20 til 21 cmol(+)/kg. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards

Planteskole er CEC ca. 21 cmol(+)/kg. Hvilket er i samme størrelsesorden som i jorden fra Krinsen. Solum har opgivet CEC til 14 cmol(+)/kg, hvilket er en del under det vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen.

FORTROLIG - må ikke publiceres

Basemætningsgraden (BS)

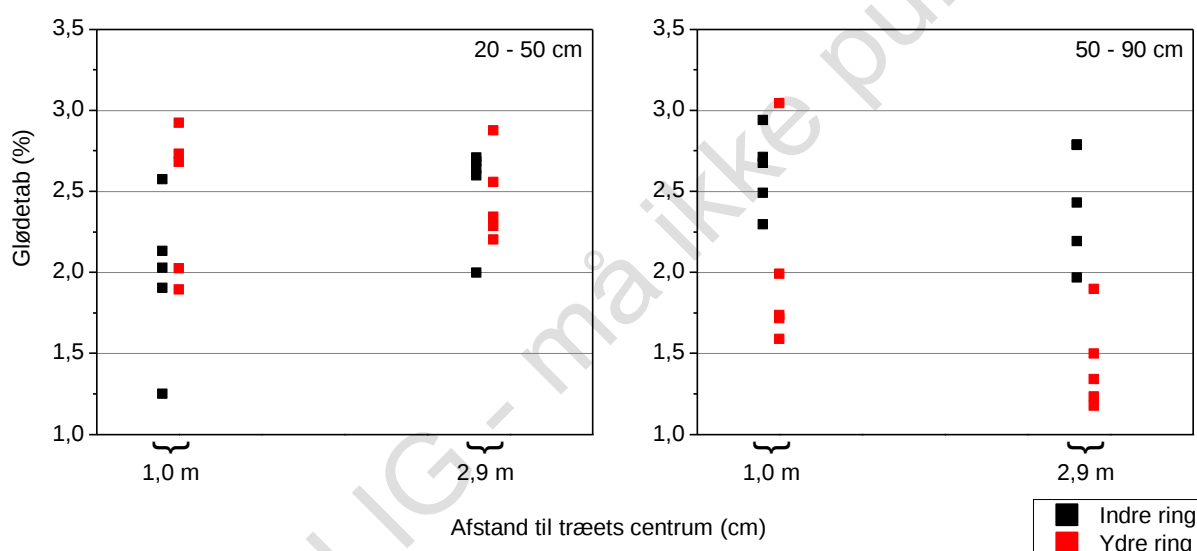
Basemætningsgraden (BS) er bestemt og resultaterne fremgår af figur 16. BS varierer fra 99,8 % op til 100 %, hvilket er typisk for en basisk jord. I den store dybde og i den mindste afstand fra træerne er BS signifikant højere i den ydre ring sammenlignet med den indre. Dette kan være en effekt af, at jorden er opbygget forskelligt i de to ringe. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle for BS, som kan relateres til jorddybden eller afstanden til træerne. I gruset omkring vandingsrøret BS over 99,89 %. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole er BS over 99,92 %. Hvilket er i samme størelsesorden som i jorden fra Krinsen.



Figur 18: Kationbytterkapaciteten (CEC) og basemætningsgraden (BS) i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 – 50 cm og 50 – 90 cm).

Glødetabet

Resultaterne fra glødetabsanalyserne er gengivet i figur 17. Glødetabet varierer fra 1,2 % op til 3 %. I den store dybde er glødetabet signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre ring. Dette er signifikant ved begge afstande fra træerne og stemmer godt overens med observationerne for C-koncentrationen. Dette er sandsynligvis en effekt af, at jorden er opbygget forskelligt i de to ringe. I den ydre ring er glødetabet signifikant større i de øverste jordlag sammenlignet med de dybere. Herudover er der ikke fundet andre signifikante forskelle, som kan relateres til jorddybde, afstanden til træerne eller forskellen mellem ringene. I gruset omkring vandingsrøret varierer glødetabet indenfor intervallet fra 0,8 til 1,4 %. Hvilket er relativt lavt sammenlignet med de øvrige jordprøver fra Krinsen. Dette er forventeligt, da grus typisk har et lavt indhold af organisk stof. I de to jordprøver fra marken, hvor lindetræerne oprindeligt stod på Kortegaards Planteskole, er glødetabet ca. 4,1 %. Hvilket er betydeligt højere, end det vi måler i hovedparten af jordbundsprøverne fra Krinsen.



Figur 19: Glødetabet i 40 jordbundsprøver fra Krinsen. Prøverne er taget i to forskellige afstande fra træerne (1,0 m og 2,9 m) samt fra to forskellige dybder under belægningens overkant (20 – 50 cm og 50 – 90 cm).

Sammenfattende konklusioner

Et af formålene med projektet var at undersøge om koncentrationerne af stoffer i jorden var lavere tættere på træet sammenlignet med større afstand fra træet. Dette lader dog ikke til at være tilfældet for andre stoffer end C i de øvre jordlag samt N og Ca i de øvre jordlag i den indre ring. For C og N kan disse resultater pege på at omsætningen af organisk stof er ændret tættere på træet end ved større afstande.

Det ser ud til at de jordbundskemiske forhold er påvirket af at de to ringe ikke er opbygget ens. Der er således fundet signifikante forskelle i de jordbundskemiske parametre mellem den indre og ydre ring. Årsagen til disse forskelle antages at være det lag af grus mm., som er indbygget i jorden i den ydre ring. Dette lag findes hovedsagelig i dybder under 50 cm og i den største afstand fra træerne og det er

da også oftest her at forskellene mellem ringene er tydeligst. I den store dybde og i den store afstand fra træerne er koncentrationen af C, N, K, Ca, Mg, Mn samt CEC og glødetabet signifikant højere i den indre ring sammenlignet med den ydre samtidig er C/N-forholdet, og pH(H₂O) signifikant lavere i den indre ring sammenlignet med ydre. Nogle af disse forskelle ses også ved den korte afstand til træerne for K, Mg, Mn og glødetabet. Ud fra et jorbundskemisk synspunkt findes de bedste vækstbetingelser i den indre ring og man bør derfor i fremtiden undgå at indbygge et lignende lag af grus mm.

~~Jorden er forholdsvis basisk og det kan derfor forventes at træerne kan have problemer med at optage stoffer der er mindre tilgængelige ved disse pH-værdier, eksempelvis Mn.~~

Den anvendte jord er ikke opstået ved naturlige processer men er en artificiel blanding som i princippet skal tilbyde træer med rodvækstzoner under belægninger de bedst mulige vækstbetingelser. På baggrund af de kemiske analyser er dog især de målte pH-værdier for høj. Det kan derfor forventes at træerne kan have problemer med at optage stoffer der er mindre tilgængelige ved disse pH-værdier, eksempelvis Mn

Undersøgelse af rodvækst i gartnermacadam

Rodvækst i det rodvenlige bærelag blev opgjort ved hjælp af målinger optællinger på jordprofiler. Røddernes vertikale og horisontale placering på profilet blev bestemt ved hjælp af et fleksibelt målegitter med felter på 10x10 cm (Figur 18). På forveddede rødder (rødder med en diameter >1 mm) blev roddiameteren målt med en elektronisk skydelære, mens finrodsmængden blev vurderet ved hjælp af en skala (Tabel 5 og Figur 19). Jordprofilerne er gravet med gravemaskine og havde en dybde på ca 1 m og en bredde på 1,60 m. Rodvækst blev undersøgt i tre afstande fra stammen (2,9 m, 1,9 m og 1 m) fra begge sider. Det vil sige at der for hvert af de ti forsøgstræer foreligger data over seks jordprofiler.



Figur 20: Målegitter til opgørelsen af rodvækst. Det ses at de øverste 20 cm af profilet udgøres af belægningsopbygningen, efterfulgt af det ca 60 cm dybe lag gartnermacadam (foto: Søren Schaumburg Jensen).

Målingerne og optællingerne blev foretaget over hele gartnermacadam-opbygningen, med enkelte undtagelser over en dybde på 20-80 cm under overkante belægning. De øverste 20 cm af profilet udgøres af belægningsopbygningen er adskilt fra gartnermacadamen ved en fibertextdug. I enkelte tilfælde tæt på træet observeredes rodvækst over gartnermacadammen i dybden 10-20 cm.

Tabel 5: Beskrivelse af de enkelte skalatrin anvendt til vurdering af finrødder.

Skalatrin - finrødder	Tolkning
0	Ingen finrødder i målefeltet
1	1-5 finrødder i målefeltet
2	5 til flere finrødder i målefeltet
3	Mange tætte finrødder



Figur 21: Eksempler på inddeling af finrødder. Til venstre et billede af kategori 2 (5 til flere finrødder), til højre et billede af kategori 3 (mange finrødder) (foto: Søren Schaumburg Jensen).

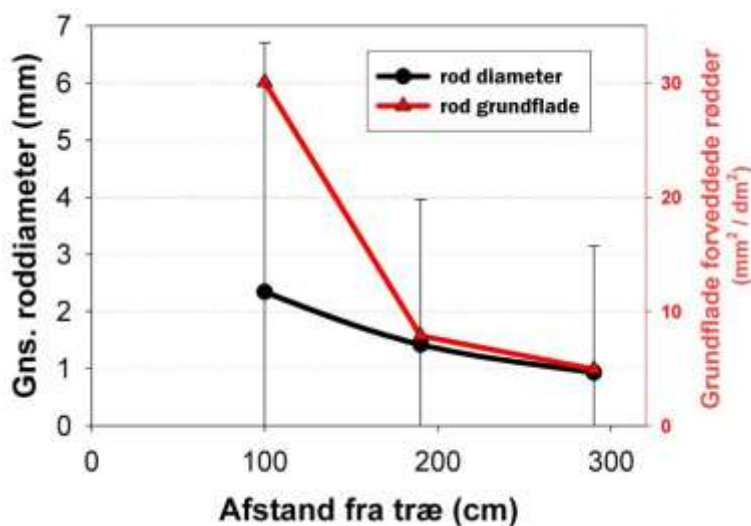


Figur 22: Grave- og målearbejdet på Kongens Nytorv i perioden 14.-18. november 2011 (foto Søren Schaumburg Jensen).

Resultater

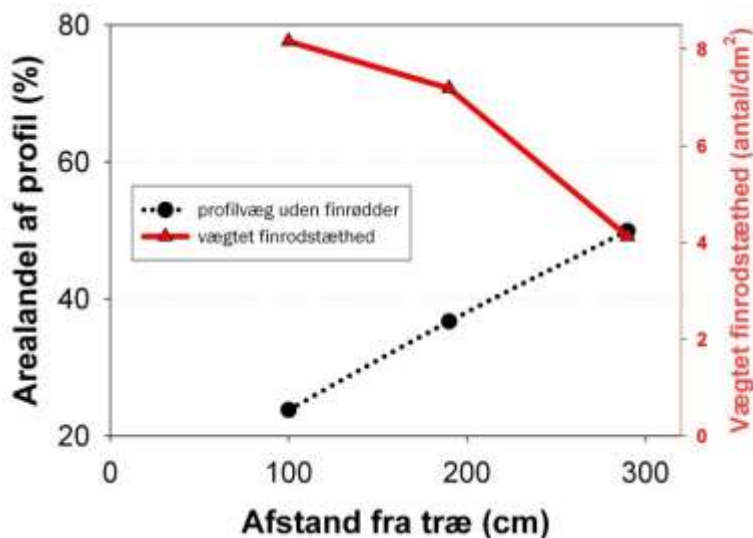
Diametermålingerne på de forveddede rødder samt opgørelsen af finrødder viser tydeligt, at gartnermacadam kan anses som et egnet medie for rodvækst. Der blev fundet såvel grov- som finrødder på alle målte afstande og over hele dybden (figur 25 og 26). For grovrødderne gælder, at den

gennemsnitlige roddiameter aftager med stigende afstand fra stammen, det vil sige rødderne bliver tyndere jo længere afstand der er til stammen (den sorte linje på figur 21). Kigger man på den opsummerede grundflade er det interessant, at den falder stærk fra 1 m til 1,90, hvorefter faldet er mere jævnt til afstanden 2,90 m (den røde linje på figur 21). Dette indikerer, at hovedparten af de tykke rødder på undersøgelsestidspunktet befinder sig indenfor 2 m fra stammen – et vigtigt forhold når for eksempel træernes overlevelseschancer ved omplantning skal vurderes.



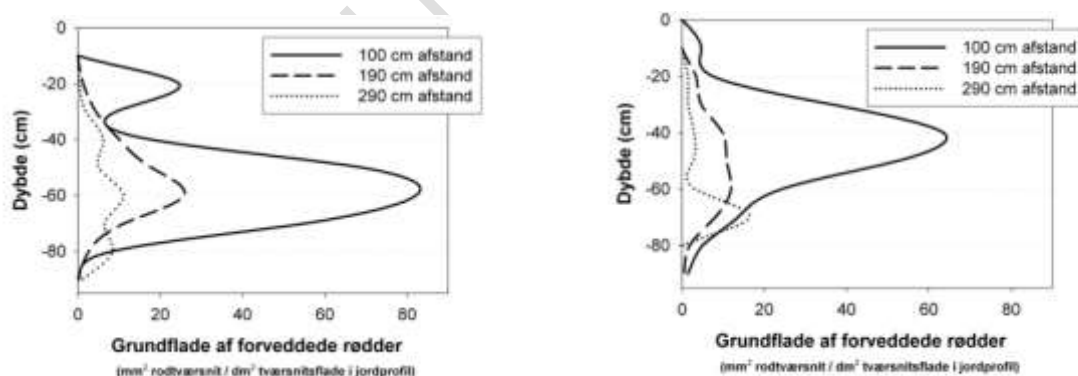
Figur 23: Forvædgede rødder anført som roddiamter (sort linje) og som grundflade i forhold til målefeltets areal (rød linje).

Finrodstætheden aftager ligeledes med tiltagende afstand fra stammen. Opgørelserne viser, at mens der i 1 m afstand befinder sig finrødder over næsten 80 % af profilvæggens areal, forekommer der på afstand 2,90 m finrødder på ca. 50 % af profilvæggens areal (sorte stiplede linje på figur 22). Modsat de forvædgede rødder aftager finrodstætheden stærkest længere væk fra træet, altså mellem 1,90 m og 2,90 m fra træet (den røde linje på figur 22). Også disse data bør tages i betragtning ved overvejelser om en evt. omplantning af træerne.



Figur 24: Finrodstæthed afhængig af træafstand. Den røde linje viser antallet af finrødder på baggrund af opnået skalatrin, den sorte stiplede linje viser arealandel af profilvæggen uden finrødder.

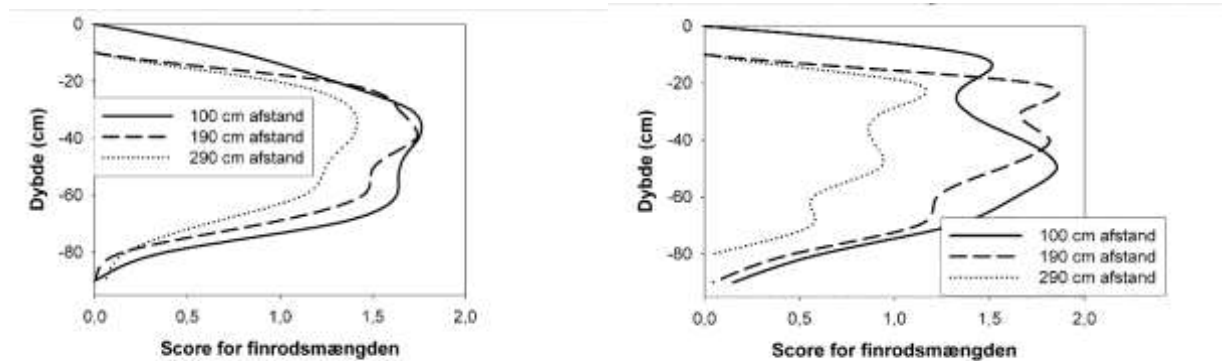
Analysen af den vertikale fordeling viser, at rødderne også udnytter de dybere lag gartnermacadam. Det fremgår dog også, at gartnermacadamens korrekte opbygning er afgørende for at opnå rodvækst over hele profilet. I den indre ring, hvor hele profilet fremstår som korrekt opbygning og uden horisonter af forkert og/eller komprimeret materiale, viser målingerne forekomst af grovrødder over hele profilet, dog med et maksimum i en jorddybde på omkring de 60 centimeter under niveau. I den ydre ring, hvor der blev observeret et komprimeret lag grus i en dybde omkring 50 cm, voksede størstedelen af grovrødderne ved ca. 40 cm. Dette indikerer, at rødderne kan have haft problemer med at gennemvokse det komprimerede lag (figur 23).



Figur 25: Vertikal rodfordeling (forvædede rødder) i henholdsvis indre (til venstre) og ydre ring (til højre).

Finrødderne vokser ligeledes over hele profilet. På ydre ring viser opgørelsen for afstand 2,90 m få finrødder sammenlignet med indre ring, og derudover også at finrødderne overvejende findes i den øvre halvdel af profilet (Figur 24 og 26). Der er i ydre ring altså macadamområder, som efter 10 år ikke er

gennemvokset af rødder. Dette kan skyldes det komprimerede jordlag. Interessant nok peger grovrøddernes fordeling den anden vej. Her er der i ydre ring for afstanden 2,90 m målt et maksimum i en dybde på 60 cm.



Figur 26: Vertikal rodfordeleling (finrødder) i henholdsvis indre (til venstre) og ydre ring (til højre).

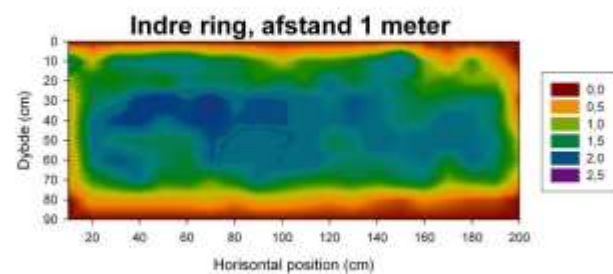
Den horisontale fordeleling af rødderne viser rodvækst over hele tværsnittet. Rødderne har eventuelt en præference for at vokse tæt på udluftnings- og/eller vandingsrør. Mens de grovere rødder er koncentreret i 'klumper', er finrodsfordelingen mere jævn over hele profilet (Figur 25 og 26). Figureerne over finrodsfordelingen viser i visse tilfælde at der registreres ingen eller mindre rodvækst i de øverste 30-40 cm langs profilernes kanter. Dette skyldes formentlig bordurestenenes understøbning af tør beton, som blokerer for rodvæksten. I de dybere lag vokser rødderne helt ud til kanten af profilet.

De statistiske analyser viser, at der er mindre rodvækst i ydre ring sammenlignet med indre ring – uden at rod/top forholdet derfor er forskelligt. Det betyder, at træerne i ydre ring er tilsvarende mindre i den overjordiske del – hvilket bekræftes af målingerne af stammediameter og årringsbredde.

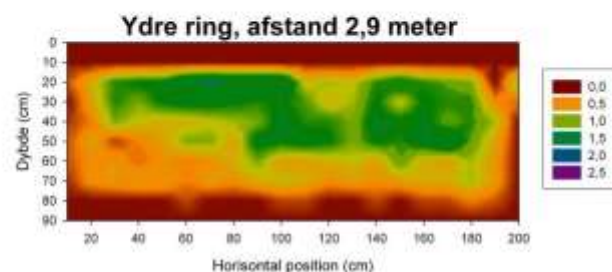
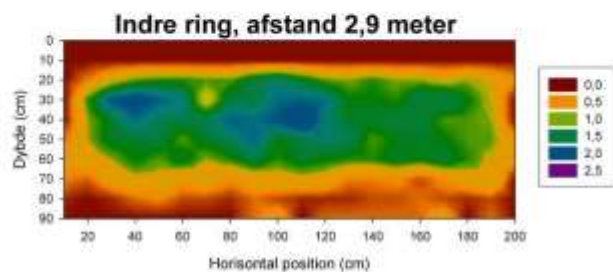
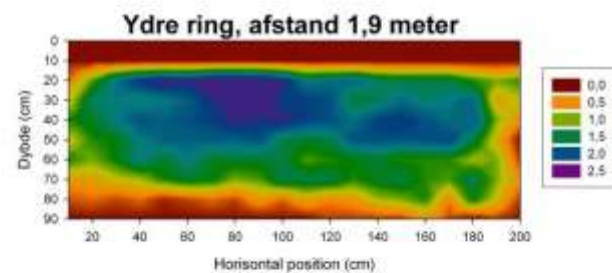
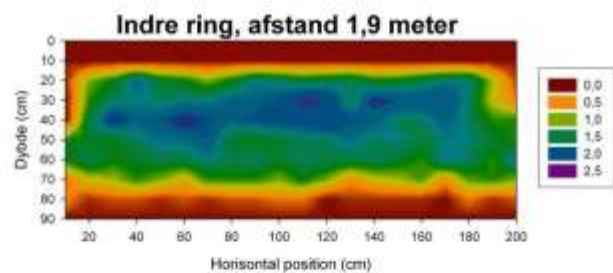
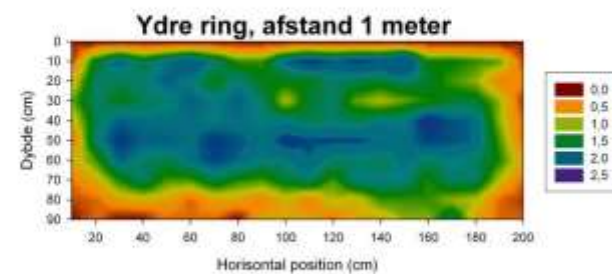
Det vurderes, at macadam-opbygningen med det komprimerede ekstra lag i det mindste er delvist ansvarlig for dette forhold. Herved understreges betydningen af en akkurat og faglig korrekt beskrivelse og gennemførelse af etableringsarbejdet.

Det skal dog også nævnes her, at de statistiske analyser er præget af en meget høj variation mellem de enkelte træer og først kunne gennemføres meningsgivende efter en logaritmisk transformering af datamaterialet.

Finrødder (<1 mm)

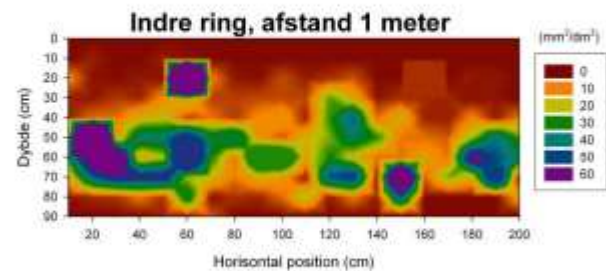


Finrødder (<1 mm)

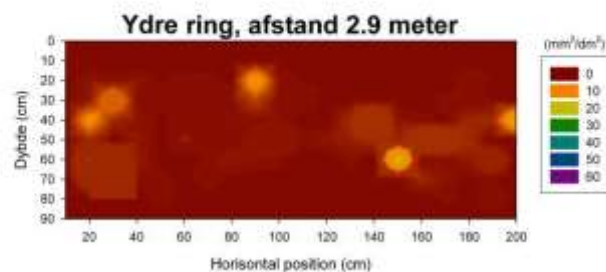
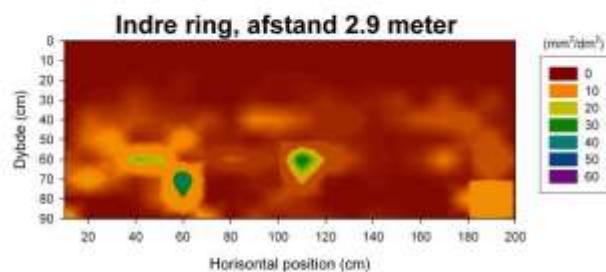
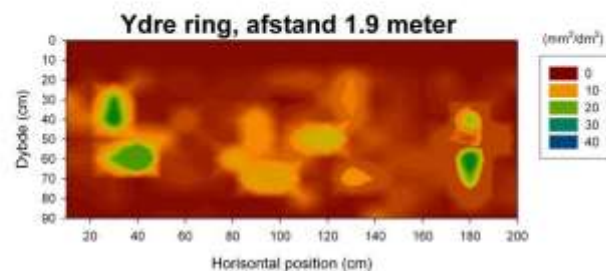
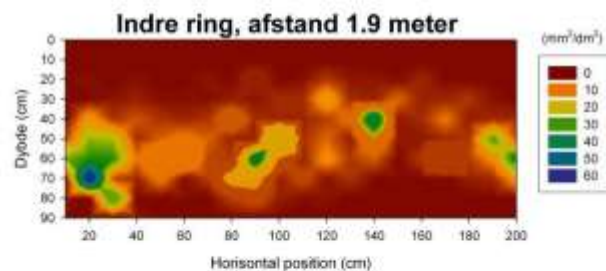
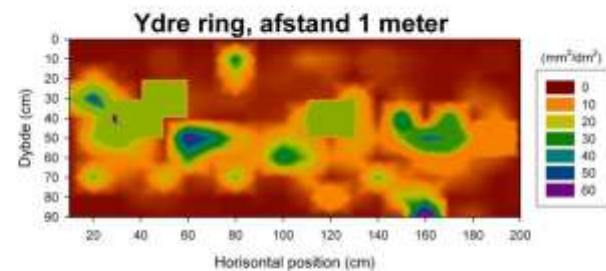


Figur 27: Horizontal og vertikal fordeling af finrødder i hhv. indre og ydre ring.

Forveddede rødder (>1 mm)

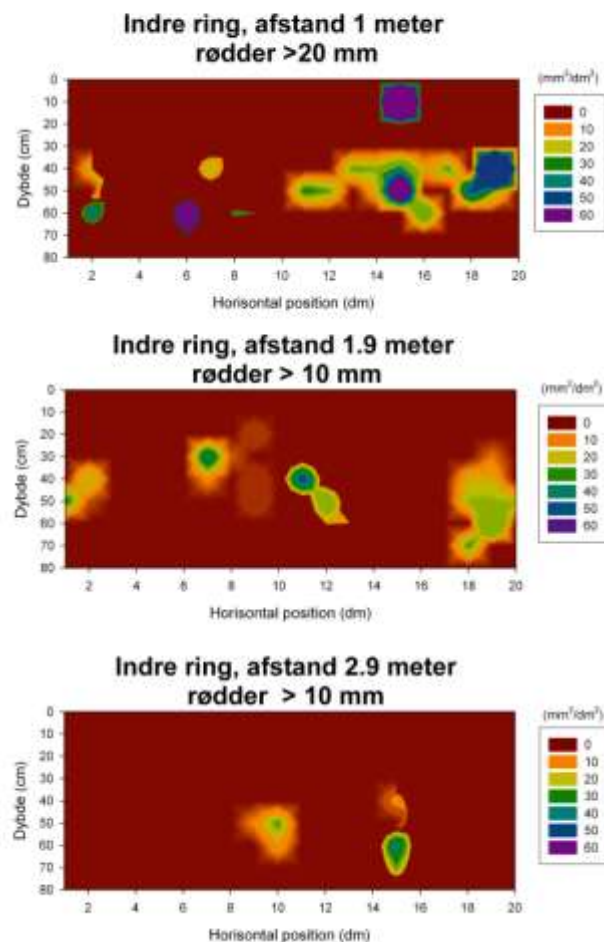


Forveddede rødder (>1 mm)

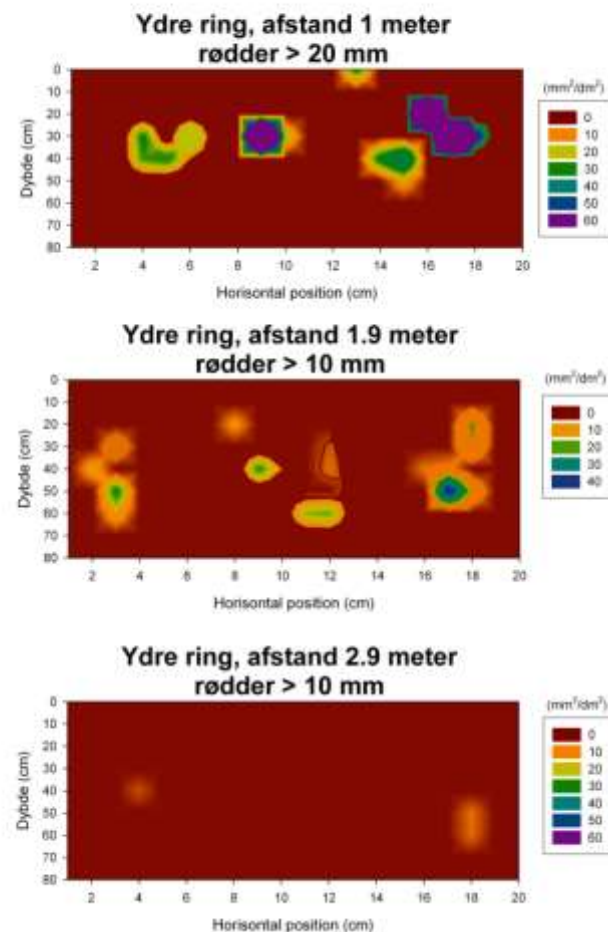


Figur 28: Horisontal og vertikal fordeling af forveddede rødder i hhv. indre og ydre ring.

Tykkere forveddede rødder



Tykkere forveddede rødder



Figur 29: Horisontal og vertikal fordeling af tykkere, forveddede rødder i hhv. indre og ydre ring. Bemærk at der for afstanden 1 meter gengives rødder > 20 mm, mens der for de større afstande gengives rødder > 10 mm, da der her ikke fadtes rødder > 20 mm.

Analysen af rodvækst peger på generelt gode vækstforhold for rødder i veletableret gartnermacadam. Udviklingen af forveddede rødder også i jordlagene tæt på råjordsplanum indikerer at der ikke forekommer alvorlige problemer med vandmættede og anaerobe jordforhold. Hvis dette var tilfældet ville træerne slet ikke kunne have etableret de finrødder, som med tiltagende alder og tykkelsesvækst udvikler sig til grovrødder. Det skal her pointeres at etablering af drænledning kan være afgørende for at undgå ugunstige vækstforhold og bør indgå som et standardmæssigt element i en gartnermacadam-opbygning (se figur 27).



Figur 30: Opbygning af gartnermacadam og belægning uden dræn, billedet er taget i Ørestaden. Stående vand i 50 cm dybde har effektivt forhindret rodvækst (foto: Oliver Bühler).

På baggrund af analyserne fremstår den typiske totale dybde af gartnermacadam-laget på ca. 60 cm også som ikke for dybt. Profilet er, især tæt på træet, stort set fyldt ud med rødder, og det antages, at et dybere lag gartnermacadam ligeledes ville kunne udnyttes af trærødderne. Dette forudsætter dog, at der kan skabes rodvenlige forhold også i dybere jordlag, hvilket indebærer en funktionerende afdræning og evt. også et udluftningssystem.

Rodmålingerne giver anledning til en diskussion af den optimale geometriske form af plantearealer med rodvenlige bærelag. På Kongens Nytorv og mange andre lokaliteter er gartnermacadam lagt ud i sammenhængende striber, som er lange men forholdsvis smalle. Det viser sig dog, at røddernes tæthed 11 år efter plantning er størst i umiddelbar nærhed af træet og at der er forholdsvis få forveddede rødder i en afstand på 2,9 m. Et træ plantet i en cirkel eller et kvadrat af rodvenlig befæstelse vil have et større jordvolumen til rodvækst i umiddelbar nærhed af træet, hvilket skønnes at være positiv for træets

udvikling især de første 10-20 år. I de senere livsfaser vil nærhed til det rodvenlige jordvolumen under bærelag formentlig miste betydning. Men hvor hensyn til anden infrastruktur tillader det skønnes det at være gavnligt for træets etablering og videre udvikling at muliggøre rodvækst til alle sider fremfor kun til to. Dette vil formentlig også forbedre træernes forankring i jorden.

Observationer

Forveddede rødder af en vis tykkelse var tydeligt deformeret af stenmatricen (se figur 28). De har dog ikke vist tegn på sårning, men deres normale tykkelsesvækst har været tydeligt påvirket af bærelaget. Om og i hvor vidt dette har haft indflydelse på træernes vitalitet og tilvækst kan ikke konkluderes ud fra vores datamateriale.

Det vurderes dog, at mens røddernes laterale tilvækst er begrænset af stenmatricen har de stadig kunnet vokse gennem hele macadamopbygningen. Rødder skal også på naturlige voksesteder håndtere sten i jorden og har oftest en stor morfologisk tilpasningsevne. Røddernes evne til at optage vand og næringsstoffer er formentlig ikke negativt påvirket af deformeringerne. Eventuelle problemer kunne dog opstå med tiltagende træstørrelser og i storm. Her vil træernes overjordiske bevægelser overføres til rodnettet, og det er tænkeligt at rødderne gennem bevægelser i stenmatricen påføres sår, som igen kan være indgangsport for svampe eller mindske dannelsen af xylemvæv og dermed træets mulighed for at optage vand og næring.

Rødder som voksede i siderne af macadamlaget og/eller i rodkanaler fra den tidligere bevoksning var ikke deformerede.



Figur 31: Eksempler for deformedede grovrødder (til venstre: Søren Schaumburg Jensen, til højre: Iben M Thomsen).

Hovedsagelig i de udgravede profilvægges kantområder ud mod siderne blev der fundet rester af gamle rødder fra elm, som tilsyneladende har skabt et gavnligt fysisk og kemisk miljø for lindetræernes rodvækst. Denne observation underbygges af undersøgelsen af plantemetoder i Københavns Kommune

fra 2006, som viser at træer plantet i plantehuller hvor der før havde stået elm havde en signifikant større tilvækst end træer plantet på jomfruelige lokaliteter.

Det viste sig også, at udpræget rodvækst forekom i umiddelbar nærhed af vandings/udluftningsrør og drænrørret.



Figur 32: Rodvækst gennem gamle elmerødder (foto Søren Schaumburg Jensen).

Sammenfattende konklusioner

- Hele profilet af gartnermacadam (20-80 cm under overkante belægning) må anses som rodvenligt: Der er observeret og målt betydelig rodvækst over hele profilet af rodvenlig bærelag på alle målte afstande (1m, 1,90 m og 2,90 fra stammen). Dette gælder både fin- og grovrødder.
- Rodmassen aftager med tiltagende afstand fra træer.
- Grovrødder i de dybe macadamlag tyder på gode vækstforhold og taler imod længerevarende anaerobe tilstande i macadamopbygningen.
- Det må derfor formodes at man ved hjælp af gartnermacadam også kan skabe rodvenlige forhold i dybere jordlag – forudsat at der er ilt og komprimering undgået.
- Undersøgelsen giver anledning til at anbefale at gartnermacadam der hvor det er muligt installeres i kvadrater eller cirkler fremfor i striber. Det muliggør rodvækst til alle sider.
- Der er forskel på rodforekomst mellem indre og ydre ring. I ydre ring er der færre rødder, og de ligger i de øvre macadamlag. Rod/top forholdet er dog det samme, træerne i ydre ring er altså generelt mindre.
- Tykke grovrødder er tydeligt deformerede af at vokse gennem stenskelettet.
- Rodvækst følger tit gamle elmerødder i kanten af profilet samt vandings-/udluftnings og drænrør. Her er rødderne ikke deformerede.

Analyse af bladprøver

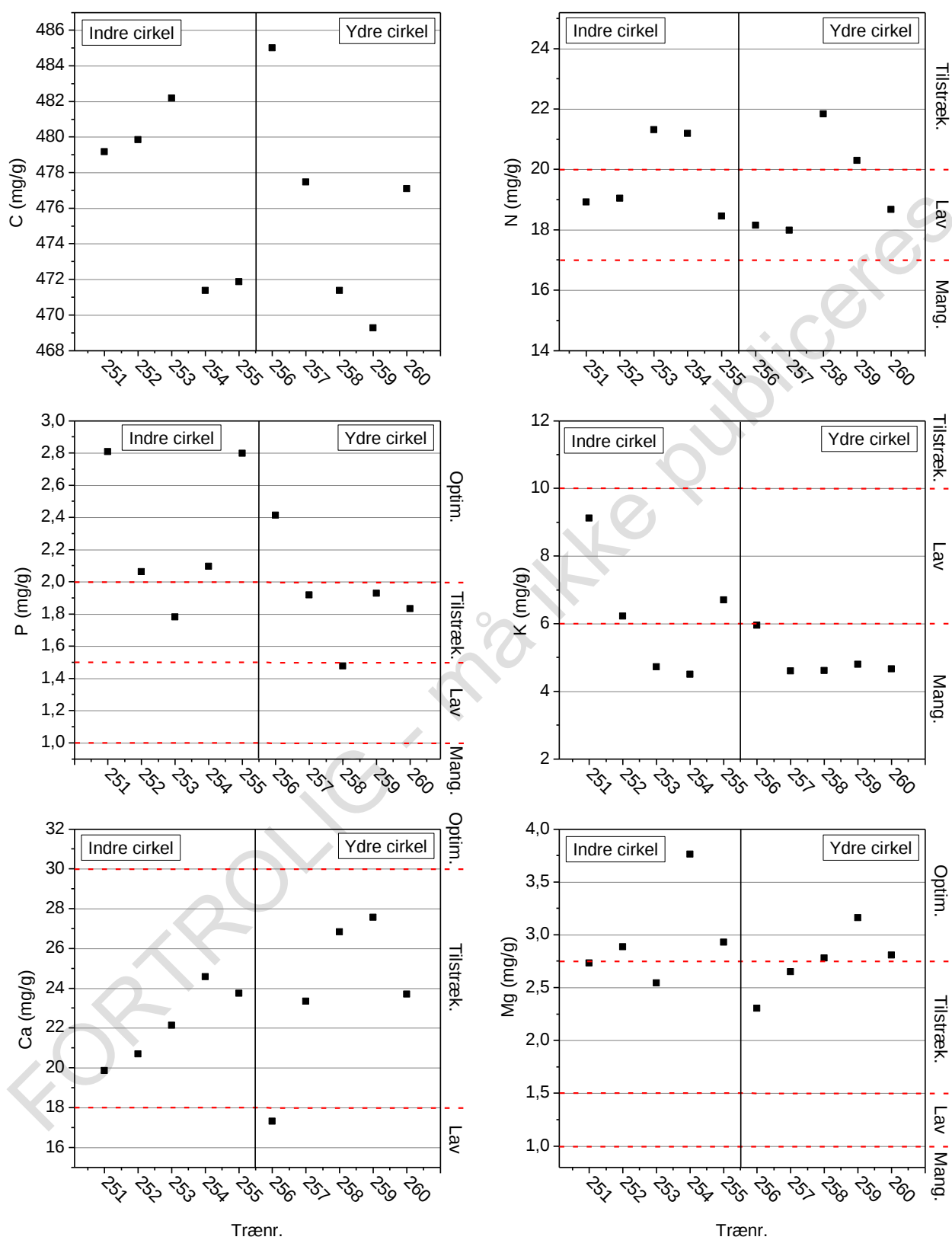
Udtagning og analyse af bladprøver

Den 19 august 2011 blev der indsamlet bladprøver fra forsøgstræerne på Krinsen. Der blev plukket 10 ikke skyggede blade i kronen fra hvert af de 10 træer.

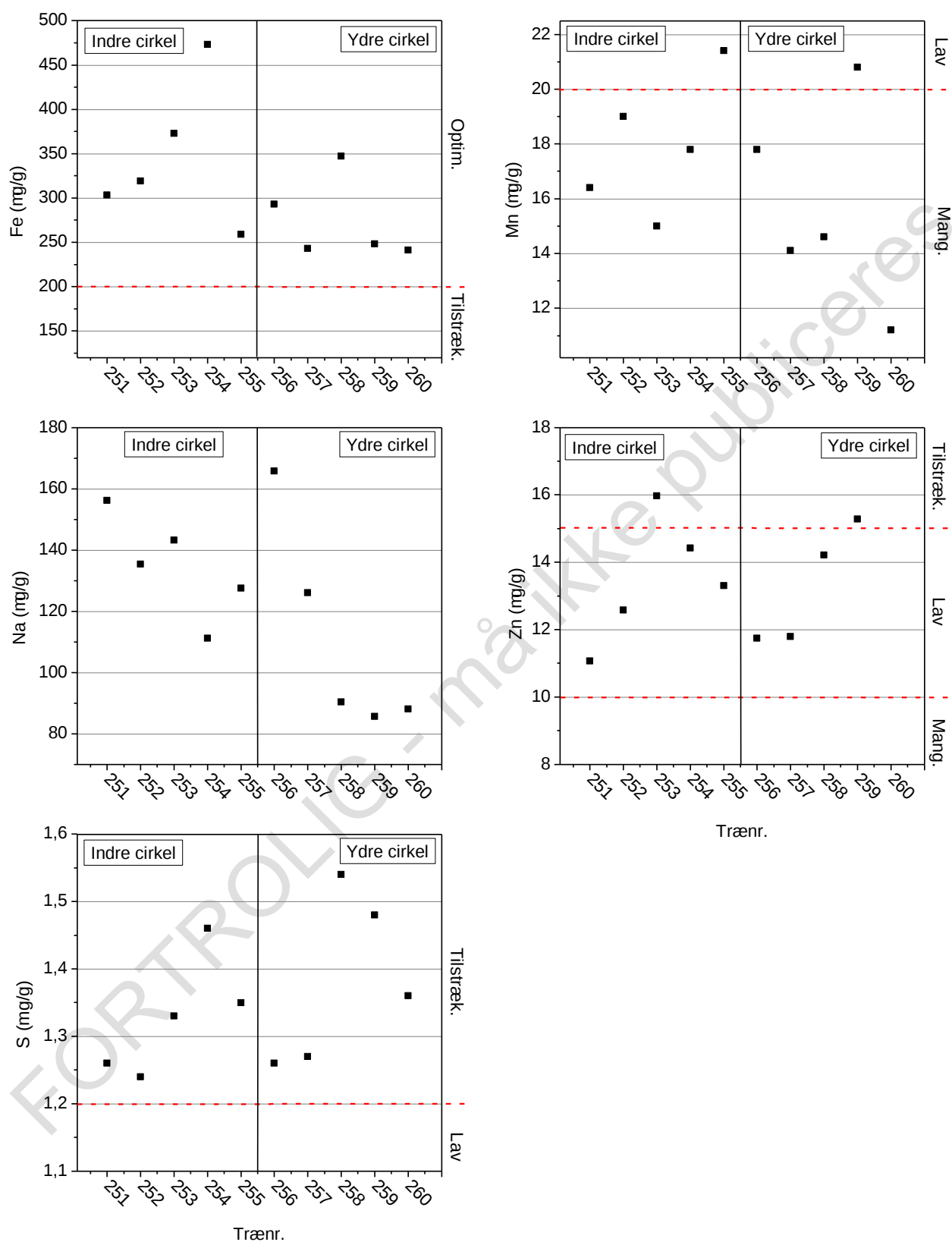
Bladprøverne blev tørret ved 55 °C og vejet enkeltvis. Bladene fra det samme træ blev kværnet og blandet grundigt inden en delprøve blev udtaget og nedbrudt i koncentreret HNO₃ i mikrobølgeovn. De nedbrudte prøver blev analyseret for koncentrationen af P, K, C og, Mg, Fe, Mn, Na, Zn og S ved ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2000). En ny delprøve af den kværnede delprøve blev udtaget og koncentration af totalindholdet af C og N blev målt Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs). Hovedresultaterne af analyserne fremgår af tabel 6.

Tabel 6: Bladvægten (n=100). Bladprøvernes koncentration af C, N, P, K, C og, Mg, Fe, Mn, Na, Zn og S.

	Middel	Minimum	Maksimum
Bladvægt (g/blad)	0,383	0,216	0,803
C (mg/g)	476	469	485
N (mg/g)	19,6	18,0	21,8
P (mg/g)	2,10	1,40	3,76
K (mg/g)	5,59	4,50	9,12
Ca (mg/g)	23,0	17,3	27,6
Mg (mg/g)	2,86	2,31	3,76
Fe (mg/g)	310	241	473
Mn (mg/g)	13,8	11,1	17,2
Na (mg/g)	123	85,6	165,8
Zn (mg/g)	16,8	11,2	21,4
S (mg/g)	1,36	1,24	1,54



Figur 33: Koncentrationen af C, N, P, K, Ca og Mg i bladprøver fra august, 2011. Diagnostiske koncentrationsintervaller: Optim.: optimal, Tilstræk.: Tilstrækkelig, Lav: lav og Mang.: Mangel.



Figur 34: Koncentrationen af Fe, Mn, Na, Zn og S i bladprøver fra august, 2011. Diagnostiske koncentrationsintervaller: Optim.: optimal, Tilstræk.: Tilstrækkelig, Lav: lav og Mang.: Mangel.

Der er ikke statistisk signifikant forskel på vægten af bladene fra den indre ring i forhold til ydre. Statistisk analyse viste at element-koncentrationerne fra blade i den indre ring ikke var signifikante fra koncentrationerne i den ydre ring for nogle af de analyserede stoffer. Koncentrationen af N viser at træerne ikke lider af N-, P-, Ca-, Mg-, Fe-, Zn- eller S-mangel. I forhold til træernes behov for næringsstoffer er der dog observeret koncentrationer af N, P, Ca eller Zn for et eller flere træer, der indikerer at træernes optag af disse stoffer har været lavere end optimalt, men højere end den øvre grænse for egentlig mangel. For K og Mn observeres koncentrationer, der indikerer egentlig mangel i forhold til de fundne litteraturværdier. Der er dog ikke observeret visuelle mangelsymptomer.

Sammenfattende konklusioner

- Der er ikke statistisk signifikant forskel på vægten af bladene fra den indre ring i forhold til ydre.
- Statistisk analyse viste at element-koncentrationerne fra blade i den indre ring ikke var signifikante fra koncentrationerne i den ydre ring for nogle af de analyserede stoffer.
- Koncentrationen af N viser at træerne ikke lider af N-, P-, Ca-, Mg-, Fe-, Zn- eller S-mangel.
- For K og Mn observeres koncentrationer, der indikerer egentlig mangel.
- K-manglen vil sandsynligvis kunne afhjælpes med gødning
- Mn-manglen kan formodentlig ikke afhjælpes med gødning da Mn generelt bliver bundet relativt hårdt i jorden ved denne relativt høje pH-værdi i jorden.
- Der er dog ikke observeret visuelle mangelsymptomer på hverken K eller Mn, hvilket peger på at litteraturens få grænseværdier, sandsynligvis ikke direkte kan benyttes ved denne type beplantning.

Måling af træernes årlige tilvækst

Der blev udtaget skiver af de 10 måletræer i ca. 1,3 meters højde. Skiverne blev markeret i barken ind mod midten af de to rækker (figur 32). Der blev skrevet numre på dem, oversiden blev markeret, samt øst- og vestside af træet. Efterfølgende blev årringe målt i laboratoriet ved brug af stereomikroskop med måleokular (figur 33 og 34). Præcision af måling var 0,05 mm.

Der blev målt årringsbredde to steder på hver skive, både mod øst og vest. Variationen i årringsbredde kunne være ganske stor mellem de to sider af træet, men i de fleste tilfælde fulgtes årringsbredde rimeligt ad. Der blev beregnet en gennemsnitlig årringsbredde for hvert træ og for de ti træer (figur 35).

Der viste sig et tydeligt mønster, hvor der var stor forskel på årringsbredden før og efter udplantning mellem vækstsæson 2001 og 2002. Den gennemsnitlige årringsbredde i 2001 var på 8,7 mm, mens den i 2002 faldt til 0,8 mm, dvs. under en tiendedel af 2001 (figur 36). Det tog ca. tre år, før diametertilvæksten var oppe på samme niveau som de fleste af årene i planteskolen. Bortset fra 2001 var den gennemsnitlig årringsbredde i planteskolen (1996-2000) på 4,6 mm, og inklusiv 2001 var den på

5,3 mm. I 2005 var den gennemsnitlige årringsbredde 5,4 mm, hvilket var det første år træerne havde en diametertilvækst, som var sammenlignelig med planteskolen.

Desuden var der forskel på tilvæksten mellem den ydre og indre ring (figur 37), hvor træerne i indercirklen havde en større diametertilvækst. Der var også en vis variation mellem de enkelte år efter udplantning, således var tilvæksten lav i 2006, som var et forholdsvis tørt vækstår, mens den var høj i 2007, som var nedbørsrig. 2002 og 2003 havde i øvrigt også tørre og varme somre, men da træerne blev vandet i de første år efter udplantning, udviskes effekten til dels.

Det er et velkendt fænomen at træer efter udplantning får et udplantningschok med lav tilvækst i helt op til tre år. Der kan være flere årsager til, at træerne har haft en lavere diametertilvækst i årene efter udplantning. Det kan være en direkte effekt af nedsat optag af vand og næring i forhold til planteskolen. Hvorvidt dette skyldes en mindre tilgængelighed (trods vanding og gødskning), eller at træerne ikke har haft nok finrødder i de første par år efter udplantning, er umuligt at afgøre. Ifølge det oplyste var træernes kroner noget tyndløvede i de første år, hvilket også tyder på underforsyning af vand og næring. Træerne er plantet i Juni måned ved begyndende løvspring, og det er ikke utænkeligt at det sene plantetidspunkt også har indflydelse på den lille tilvækst i første vækstperiode efter planting.

Mindre bladmasse betyder mindre fotosyntese og dermed energiproduktion til vækst. Formentlig har træerne brugt deres ressourcer på rodvækst og etablering, idet diametertilvækst ofte prioriteres til sidst, når træer har problemer med produktionsapparatet. F.eks. har ege meget smalle årringe, når de afløves af sommerfuglelarver om foråret og skal bruge energi på at retablere kronen. En yderligere faktor kan være, at både 2002 og 2003 som nævnt var tørre og varme, hvilket har givet øget risiko for tørkestress.

Under alle omstændigheder tyder årringsudvikling på, at tilvæksten var tilbage på det normale niveau i 2005. Senest i dette år, dvs. tre vækstsæsoner efter udplantning har træerne derfor overvundet udplantningschokket. Den gode tilvækst i 2007 viser betydningen af kontinuerlig og rigelig nedbør både før og under vækstsæsonen, idet mængden af nedbør fra oktober 2006 til september 2007 var højere end i nogle af de øvrige år, hvor der er målt årringsbredder.

Træ nr. 260 var præget af mangelfulde vækstforhold og udviser laveste tilvækst. Ud over det førnævnte komprimerede lag blev der fundet en kabelkanal i umiddelbar nærhed af træet. Her var macadamlaget mangelfuldt opbygget eller manglede helt og jorden var stærkt komprimeret.

Sammenfattende konklusioner

Lindetræerne har haft en markant lavere diametertilvækst i de første år efter udplantning.

Træerne i indercirklen har vokset lidt bedre end træerne i ydercirklen.

Vand er en væsentlig faktor i træernes diametertilvækst, idet år med rigeligt nedbør har bredere årringe.



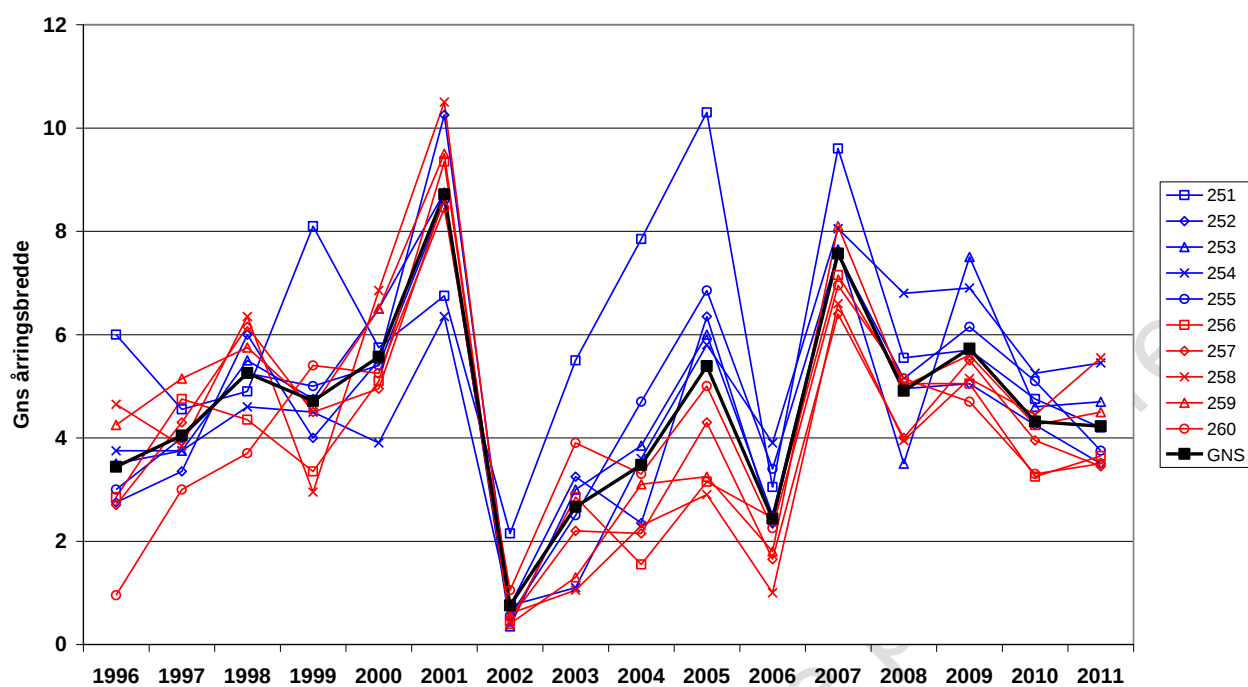
Figur 35: Udtagning af skive fra prøvetræ, ridse i bark angiver retning ind mod midten af de to trærækker, i dette tilfælde vestsiden af træet (foto: Iben M. Thomsen).



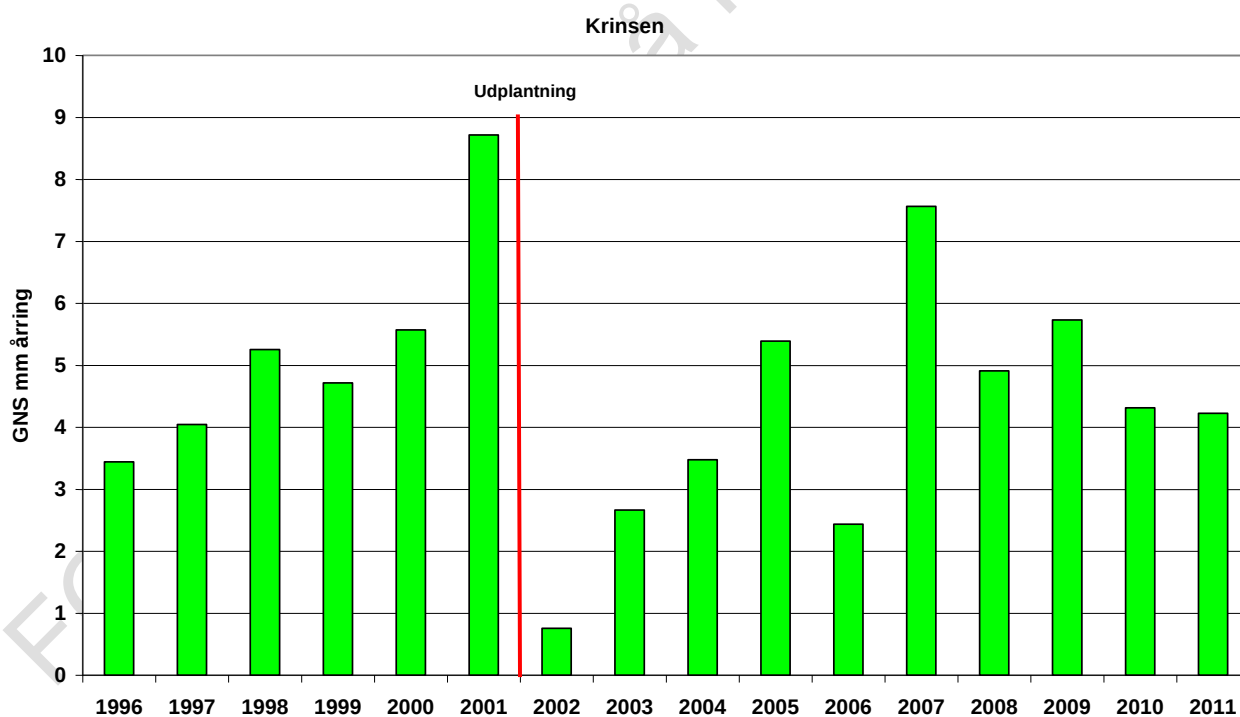
Figur 36: Måling af årringsbredder i stereolup (foto: Morten Ingerslev).



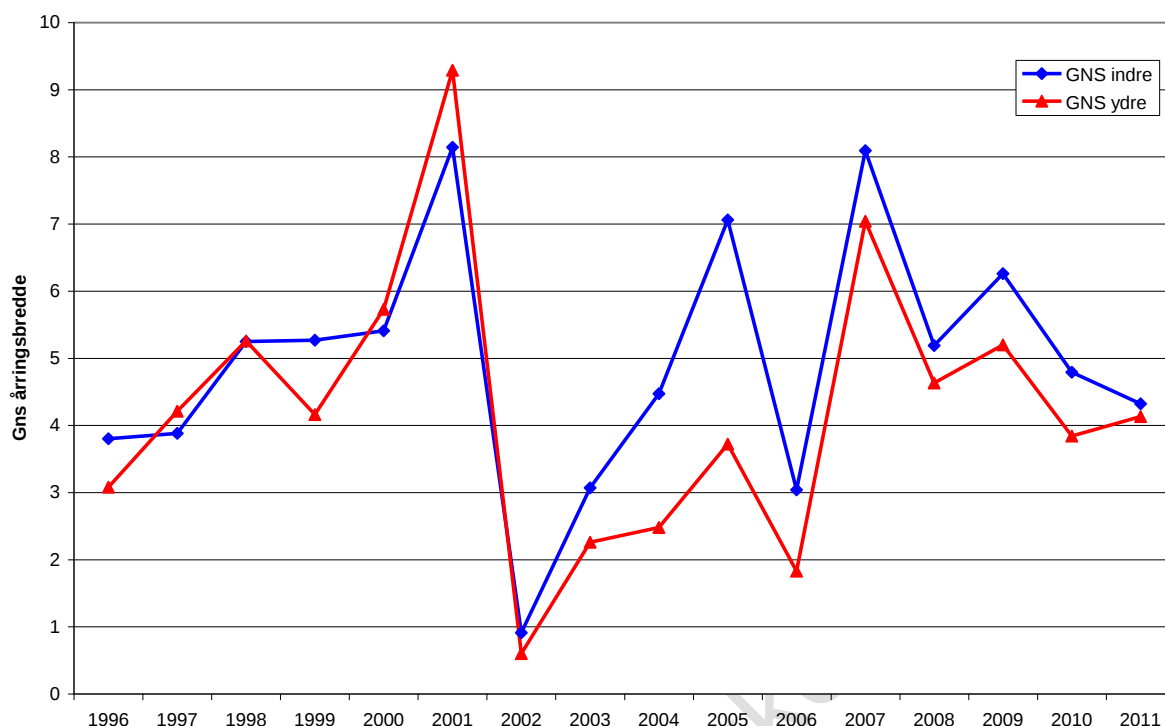
Figur 37: Eksempel på årringsopmåling på stammeskive.



Figur 39: Gennemsnitlig årringsbredde for hvert træ, samt for alle ti træer (sort streg).



Figur 40: Gennemsnitlig årringsbredde for de ti måletræer, hvor den maksimale årringsbredde blev opnået i vækstsæsonen før udplantning (2001), mens diametertilvæksten i første vækstsæson efter udplantning (2002) var minimal.



Figur 41: Gennemsnitlig årringsbredde for de ti måletræer opdelt på, om de stod i den indre (blå linje) eller ydre ring (rød linje). Før udplantning varierede årringsbredderne tilfældigt (se figur 35), men efter udplantning havde træerne i den indre ring i de fleste år en bedre diametervækst end træerne i den ydre ring.

Fremadrettet perspektivering

Undersøgelsens resultater viser, at rodvenlig befæstelse i form af den på Kongens Nytorv anvendte gartnermacadam både hvad angår de fysiske og de kemiske egenskaber er et egnet medie til træers rodvækst. Er den rodvenlige befæstelse anlagt korrekt, kan der da også konstateres rodvækst over hele profilet og i alle målte afstande fra stammen.

I forhold til den fremtidige brug af gartnermacadam som rodvenligt bærelag er der især to aspekter som undersøgelsen fremhæver:

Dybdeaspektet: Der blev fundet rødder i alle dybder på gartnermacadamprofilerne. Samtidig blev der ikke observeret tegn på iltmangel eller komprimering. Dette giver anledning til at formode, at lagets tykkelse kan udvides ud over de hidtil anvendte 60 cm. Dette vil have den fordel at rødderne har et større jordvolumen til rådighed, hvor en del af rødderne vil kunne lokkes 'i dybden'. Træets forsyning med vand og næringsstoffer forbedres, og samtidig vil deres mulige påvirkning af belægningsoverfladen reduceres yderligere.

Afstandsaspektet: Rodmålingerne viser også, at det især er de første 2 meter fra stammen som er vigtige for optag af vand og næringsstoffer i de første årtier af træets liv. Dette kan der tages hensyn til ved planlægning af fremtidige plantinger, hvor træerne med fordel kan placeres i midten af eksempelvis

cirkler eller kvadrater med gartnermacadam. At etablere gartnermacadam i sammenhængende striber som på Kongens Nytorv er set fra et træbiologisk synspunkt derfor ikke den bedste etableringsmetode.

I den korrekt opbyggede gartnermacadam blev der ikke observeret hulrum som tegn på at jorden har sat sig, men var heller ikke tegn på komprimering. Det tyder på at den anvendte jordmængde har været passende og er installeret på den rigtige måde.

Undersøgelsen viser dog også, at fejl i indbygningen som det i ydre ring konstaterede komprimerede lag resulterer i målbar mindre vækst – både under og over jorden. En præcis beskrivelse samt udførelse af anlægsarbejdet er derfor et godt udgangspunkt.

Vækstjordens pH målttes til at være forholdsvis høj (basisk). Høj pH nedsætter tilgængeligheden for en række næringsstoffer, og det er formentlig den høje pH som er årsag til den i bladundersøgelsen viste manganmangel. Det kan derfor anbefales i fremtiden at bruge jord med lavere pH-værdier. For at undgå forvirring og fejl anbefales det også at der i arbejdsbeskrivelserne redegøres for om det er pH-værdi efter en given analysemetode eller reaktionstal der beskrives i kravene til vækstjord.

Det er slående, at der efter udplantingen på Kongens Nytorv følger vækstår med meget lille tilvækst. Det er formentlig ikke sandsynligt at opnå de samme tilvækster efter udplantning på det endelige voksested som efter en omplantning i planteskolen. Alligevel bør alle tiltag som kan få træet i gang ikke kun under jorden men også overjordisk tages i brug for at imødegå en lang række strukturelle og fysiologiske problemer.

Referencer og uddybende litteratur

Bühler, O, Kristoffersen P, Larsen SU, 2006. Evaluering af træplantningemetoder i Københavns Kommune. Arbejdsrapport Skov & Landskab nr 27-2006.

Grabosky J, Bassuk N., 1996. Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase street tree rooting volumes. *Journal of Arboriculture* 22:255-63.

Grabosky J, Bassuk N, Irwin L, Es Hv., 2001. Shoot and root growth of three tree species in sidewalks. *Journal of Environmental Horticulture* 19:206-11.

Grabosky J, Bassuk N., 2008: Sixth-and Tenth-Year Growth Measurements for Three Tree Species in a Load-Bearing Stone-Soil Blend Under Pavement and a Tree Lawn in Brooklyn, New York, US. *Arboriculture & Urban Forestry* 34:265-6.

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), pp. 1-208.

Kristoffersen P., 1999. Growing trees in road foundation materials. *Arboricultural Journal* 23:57-76.

Lemaire F, Sorin X., 1997. Artificialisation du milieu de culture dans les espaces verts urbains. INRA Editions, les colloques; 1997 p. 247-56.

Loh FCW, Grabosky JC, Bassuk NL., 2003. Growth response of *Ficus benjamina* to limited soil volume and soil dilution in a skeletal soil container study. *Urban Forestry and Urban Greening* 2:53-62.

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

Smiley ET, Calfee L, Fraedrich BR, Smiley EJ., 2006. Comparison of structural and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. *Arboriculture & Urban Forestry* 32:164-9.

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.