





# Sammendrag

Etablering av trær er utfordrende i bymiljø. Bymiljøet er preget av faktorer som er lite gunstig for plantevekst. Faste dekker av blant annet asfalt og brostein, store mengder salt fra vinterdrift av veier, og lite jordvolum, er alle eksempler på faktorer som trolig reduserer vitaliteten og overlevelsessevnen til nyetablerte trær. Lav plantekvalitet på grunn av manglende regulering av produktene fra planteskoler kan gjøre etableringen av trær vanskeligere. Dagens standarder for plantekvalitet i Norge, Sverige og Danmark antas å heve den helhetlige kvaliteten til grøntanleggene. Jordkvalitet er blitt rapportert som et stort problem ved etablering av trær i Norge. Gjennom litteratur- og casestudie belyses faktorer som påvirker etablering av trær i bymiljø. Jord fra plantegropen til nyetablerte trær langs riksvæinettet i Oslo er blitt analysert. Resultatene tolkes til en viss grad opp mot litteraturstudie om jordkvalitet for å vurdere egnetheten av jorden til etablering av trær.

Jorda fra plantegropen til etablering av trær i Oslo er sandjord med varierende innslag av silt (< 36 %), leire og grus. Resultatene viser at tilgjengelig vann varierer mellom 14 og 23 %. Porevolum i jorda er i de fleste tilfeller fra 45 til 55 %. pH varierer fra svakt sur til svakt alkalisk og anses som godt egnet til plantevekst. Jorda fra flere områder har høyt innhold av natrium og lavt innhold av kalium. Konsentrasjonen av tilgjengelig næringsstoffer i jorda varierer. Sand har høy vannledningsevne og luftutveksling, men lav vannretensjon og evne til å holde på næringsstoffer. Innslaget av silt gjør trolig jorda mindre utsatt for tørke.

# Abstract

Establishment of trees is challenging in urban environments. Urban environment is filled with factors that are detrimental to plant growth. Hard surfaces like asphalt and cobblestones, large amounts of salt from winter maintenance of roads, and soil volume are all likely to reduce tree vitality. Low plant quality from a lack of regulation of products from nurseries can make the establishment of trees more difficult. Today's standards for plant quality in Norway, Sweden and Denmark are believed to raise the overall quality of green environments. Soil quality has been reported as a major problem when establishing trees in Norway. Through literature and a case study the factors influencing establishment of trees in the urban environment are examined. Planting pit soil from newly established trees along national roads in Oslo are analysed. The results are compared with the literature on soil quality in order to assess suitability.

Planting pit soil from newly established trees in Oslo are sandy soils with varying contents of silt (<36 %) and gravel. The results show that plant accessible water varies between 14 and 23%. Pore volume in the soil is mainly from 45 to 50 %. pH range is from slightly acidic to slightly alkaline and deemed suitable for plant growth. Soil from other areas had a high content of sodium and low concentrations of potassium. Concentration of available nutrients in the soil varies. Sand has a high conductivity and air exchange but low water retention and ability to retain nutrients. The addition of silt probably makes the soil more drought resistant.

# Forord

Mitt inntrykk hva angår trær i bymiljø er delt. Vakre og vitale trær i bymiljø bidrar etter min mening svært positivt til det helhetlige inntrykket i områdene de står. Halvdøde og visne trær derimot, bidrar ikke til estetisk nytelse. Det brukes mye penger på etablering av trær til grøntanlegg. Ved å skrive en mastergradsoppgave om etablering av trær i bymiljø ville jeg øke mitt eget kunnskapsnivå, som forhåpentligvis fører til at jeg kan bidra til at flere trær gis optimale forhold under etableringsfasen. Kunnskap om trær og jord øker muligheten for at vi får flere vakre og vitale trærne som bidrar med pryddverdi til byene våre.

Jeg vil takke Per Larsson som gjennom sine engasjerende forelesninger i emnet Plantediversitet (BOT 100) fikk meg til å endre studieretning fra Naturforvaltning til Plantevitenskap. Jeg vil takke administrasjonen og professorene tilknyttet instituttet IPM (nåværende IPV og IMV) for at årene på Norge miljø- og biovitenskapelige universitet har vært så givende. Takk til Grøntgruppa i Statens vegvesen for å demonstrere at kunnskap om planter brukes i praksis og for å inkludere meg i gruppa. Takk også til mine medstudenter, venner og bekjente for fine år på NMBU.

Takk til mine veiledere Per-Anker Pedersen (NMBU) og Trond Børresen for gode råd.

Takk til Magdalena Izabela Rygalska og Øyvind Vartdal for hjelp til gjennomføring av jordanalyse.

Takk til Roar Hunstad og Tore Krogstad for midler til gjennomføring av casestudien.

Takk til familie for støtte og gjennomlesing.

Takk til Mari, min klippe i stormfull sjø.

Ås, mai 2014

Nicolai Holm Varkold

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	3
1 Innledning.....	5
2 Litteraturstudium .....	6
2.1 Metode.....	6
2.2 Artsvalg .....	7
2.3 Plantekvalitet.....	10
2.3.1 Lovgivning om plantekvalitet i Skandinavia.....	11
2.3.2 Plantekvalitet i Skandinaviske standarder .....	14
2.4 Planteteknikk .....	17
2.4.1 Plantedybde .....	17
2.4.2 Plantetidspunkt .....	17
2.5 Jordkvalitet.....	20
2.5.1 Jordfysikk .....	20
2.5.2 Organisk materiale og biologisk aktivitet.....	26
2.5.3 Luftutveksling.....	29
2.5.4 Næringsstoffer.....	30
2.5.5 pH .....	31
2.5.6 Avisingskjemikalier.....	34
2.5.7 Jordvolum .....	39
3 Jord til etablering av trær, casestudier i Oslo .....	40
3.1 Metoder og materialer .....	40
3.1.1 Områdeinndeling .....	40
3.1.2 Teksturanalyse ved NMBU .....	41
3.1.3 pF-analyse.....	42
3.1.4 Kjemisk analyse.....	43
3.2 Resultater.....	44
3.2.1 Teksturanalyse .....	44
3.2.2 pF-analyse.....	46
3.2.3 Kjemisk analyse.....	48
3.3 Diskusjon.....	50
Referanser.....	53
Vedlegg 1. Beregninger og tall fra utførelsen av pF-analyse. ....	62

# 1 Innledning

Trær har potensialet til å være de mest varige elementene i våre grøntanlegg. Lindetrær (*Tilia* spp.) for eksempel er en vanlig treslekt å etablere i nordiske byer (Sjöman et al., 2012) og kan i naturen bli mer enn 1000 år gamle (Sæbø, ingen dato). Både skog og trær er viktig for folk på et personlig, lokalt, kulturelt og globalt nivå (Henwood & Pidgeon, 2001). Det er vist at parker og grøntområder er spesielt viktig for mennesker som bor i bymiljø og at tilgang på grøntområder med høy kvalitet kan føre til økt tilknytning til lokalsamfunnet (Arnberger & Eder, 2012). Beskjæring eller felling av bytrær kan få publikum til å reagere (e.g. Messel, 2008; Solbakken, 2013; Østlandsposten, 2011). Til tross for trærne sin sentral rolle som vegetasjon i bymiljø må de beskjæres eller hugges helt ned om de utgjør en trussel for forbipasserende (Terho & Hallaksela, 2007) eller er blitt for store og dominerende i bybildet (Urban, 2008). Bystyret i Oslo vedtok i 1993 at Oslo skal bevares som grønn by også i framtiden og at det for hvert tre som felles på kommunal grunn skal plantes minst ett nytt (Bymiljøetaten, 2014). Trær blir daglig utsatt for både biotiske- og abiotiske stressfaktorer. Ved etablering av trær i bymiljø flyttes et tre som kan ha stått i en planteskole i ti til femten år (Solfjeld & Solfjeld, 2012) til en ny lokalitet med et annet lokalt klima og nye stressfaktorer. Forskning på etableringspraksis for rundt tretti år siden viser at opp mot 98 % av rotsystemet ble fjernet ved omplanting fra planteskole til anlegg (Watson & Himelick, 1982) og nesten 4 av 10 nyetablerte trær var døde i løpet av de første fem årene i bymiljø hovedsakelig grunnet vannmangel (Gilbertson & Bradshaw, 1990). I Norge, Sverige og Danmark er det gjennom planteskolestandarder satt krav til blant annet rotskjæring og omplantingsfrekvens for å bedre hyppigheten til vellykket etablering og kvaliteten til trærne i anlegg.

Bymiljø byr på en rekke forhold som er lite gunstige for etablering av trær. Registreringer har vist at redusert vekst og vitalitet er relativt vanlig i gatetrær i forhold til parktrær (Fostad & Pedersen, 1997; Cekstere & Osvalde, 2013). Bymiljø er preget av faste dekker og harde overflater for at biler, sykler og gående effektivt skal kunne bevege seg. Faste dekker reduserer luftutvekslingen mellom vekstjorda og atmosfæren (Viswanathan et al., 2011) og reduserer infiltrasjon av vann ned i jorda til røttene (Armson et al., 2013). I byene er det ofte trangt om plassen, både over bakken og under bakken. For nyetablerte

trær i bymiljø kan det resultere i lite vekstjord i rotsonen til vekst, vann- og næringsopptak (Urban, 2008), samt sterk beskjæring i kronen. Biltrafikk er korrelert med økende innhold av sink og bly i jorda (Kadi, 2009). Saltskader på vegetasjon fra vinterdrift av vei er et stadig tilbakevendende problem (Hofstra et al, 1979; Pedersen, 2007). Vandalisme av trær forekommer i urbane miljøer og er rapportert å variere i omfang mellom ulike byer og ulike land (Pauleit et al., 2002). I Norge er det rapportert at spesielt jordkvalitet og saltskader fra veisalting er problematisk for etablering av trær i bymiljø (Pauleit et al., 2002).

Denne masteroppgaven er todelt. Den innledende delen har som hensikt å belyse faktorer som påvirker etablering av trær hovedsakelig i bymiljø ved å lese og presentere litteratur. Fordi jordkvalitet oppfattes som en kritisk faktor ble det også gjennomført en undersøkelse av jorda i utvalgte anlegg med nyetablerte trær langs riksveinett et i Oslo. Målet med undersøkelsen var gjennom teksturanalyser, kjemisk analyse og vannretensjonsanalyse av vekstjorda å sammenligne resultatene med litteraturen og belyse i hvilken grad anvendt jord er egnet til etablering av trær.

## 2 Litteraturstudium

### 2.1 Metode

Litteraturstudiet ble utført for å belyse utvalgte faktorer sin påvirkning på etablering av trær i tilknytning til grøntanlegg i bymiljø. Litteraturstudiet er i hovedsak bygget på artikler funnet gjennom databasene ScienceDirect, Google Scholar, ISI Web of Science og BIBsys. Ofte brukte søkeord var *establish*, *tree*, *street*, *urban*, *park temperate* og *transplant*. Søkeordene ble koblet sammen med søkeord fra de spesifikke delkapitlene på følgende måte: *establish tree soil volume*, *establish tree pH*. Referanselisten til relevante artikler ble brukt til å finne flere artikler og andre kilder. Utvalgte lærebøker og kompendier om jord og arborikultur, samt *Park & anlegg* (fagbladet for grøntanleggssektoren i Norge) ble benyttet under studiet. Standarder, håndbøker og prosesser fra offentlig forvaltning ble funnet ved hjelp av *Google* søk eller lånt av Statens vegvesen, Region Øst, avdeling By- og gateplanlegging.



## 2.2 Artsvalg

I bymiljø i Norge er det rapportert at saltskader og jordkvalitet er spesielt problematisk både for nyetablerte og eldre trær (Pauleit et al., 2002). Tradisjonelt sett har trær i bymiljø blitt plantet for sine estetiske egenskaper (Gerhold, 1985), mens artsvalg på bakgrunn av egnethet til plantested har vært ansett som mindre viktig. Sleakter, arter og kultivarer av trær varierer i sin toleranse mot ulike stressfaktorer. Tilpasning til høye eller lave temperaturer, tørke, flom osv. er et resultat av tilpasning til miljøet trærne vokser i over tid, gjennom adaptasjon (arvede egenskaper) og akklimatisering (ikke-arvede modifikasjoner i en organisme etter eksponering fra endring i miljø) (Junttila, 1996).

Norge har relativt varme somre og vintre som varierer i stor grad over landet. Det ikke uvanlig med perioder på sommeren med høye temperaturer (e.g. makstemperaturer i Oslo opp mot 30 °C) og lite nedbør (Statistisk sentralbyrå [SBB], 2013). Temperaturene varierer årlig og med store svingninger mellom dag og natt. Med økte temperaturer øker evaporasjonen fra jorda og jorda kan tørke ut. De harde overflatene i bymiljø påvirker vannets evne til å infiltrere jorda og mørke overflater kan øke temperaturene. Treslagene varierer i sin evne til å motstå tørke, så det er til en viss grad mulig å velge trær som tåler tørkestress. Percival et al. (2002) målte og fant forskjeller i evnen ulike genotyper i askeslekten (*Fraxinus*) hadde til å motstå tørke, og til å gjeninnføre en tilstand med god vekst og trivsel etter perioder med tørke. Det er lenge advart mot økende effekter av klimagasser, og FN's klimapanel sin rapport i 2014 konkluderer med at temperaturer vil fortsette å stige i tiden som kommer (The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). I Oslo er det observert en klar lineær trend mot høyere temperaturer gjennom de siste 141 årene (SBB, 2013: tabell 25, s. 49). Det hevdes at vekstsesongen vil øke med halvannen måned i Oslo innen perioden 2071-2100 (Höglind et al., 2009).

Vintertemperaturer er også variable i Norge, både lokalt og over større avstander. Kalde vintre med snø og temperaturer under frysepunktet begrenser artsvalg. I områder med kalde vintre bør arter sin herdighet (kuldetoleranse) tas i betraktning før valg av art foretas. Norge kan deles inn i åtte grove klimasoner (i.e. Hageselskapets klimasoner). Klimasonene indikerer vekstforhold og temperatur i et gitt område. Områder i sone åtte er de mest kuldeutsatte. Ulike planteslag gis herdighetstall mellom en og åtte (H1-H8). Eksempelvis kan treslag med herdighetstall H4 plantes i herdighetssone 1-4. Det finnes en

rekke faktorer som påvirker en art sin kuldetoleranse, men lave temperaturer som ikke er under frysepunktet er den faktoren som i størst grad kontrollerer kuldeakklimatisering og knoppenes utgang fra dvale (Li et al., 2004). Li et al. (2004) registrerte at lave temperaturer induerte akklimatisering og utvikling av frysetoleranse i både nordlige og sørlige økotyper av bjørk (*Betula* spp.). Registrering av kuldetoleranse i røttene til en rekke prydlignoser viste klare forskjeller i minimumsgrense (-5 °C til -23,3 °C) (Havis, 1976). Under registreringer av vinterskader på trær i treforsøksparken til Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i årene 2008-2012, ble det observert at tilbakefrysing av deler av skudd er vanlig på sterktvoksende årsskudd av ulike lønnetrær (i.e. *Acer platanoides*, *A. rubrum* og *A. camperstre*) (Pedersen & Brun, 2012). Men også arter som er ansett som hardige fikk vinterskader ved uvanlige eller ekstreme temperatur- og klimahendelser (Pedersen & Brun, 2012). Lave vintertemperaturer, is og snø medfører et behov for at veier saltes. Registreringer for Statens vegvesen av skader på trær og busker forårsaket av saltsprut i 2003, 2006 og 2010 på Østlandet i Norge, antyder at omfanget av saltskader er omfattende og at det er stor forskjell i toleranse mot høye saltkonsentrasjoner mellom arter i (Pedersen, 2007; Pedersen, 2010) (for mer, les 2.4.6 Avisingskjemikalier).

Temperatur, nedbør, vind og andre faktorer varierer i stor grad fra år til år (SBB, 2013). Daglengde er en mer konstant faktor gjennom årene som påvirker vekstrytmen til planteslag (Hallanaro & Pylvänäinen, 2001). Kortere dager inducerer knopphvile og hardighet i knoppene i løvfallende trær fra tempererte strøk (Junttila et al., 2003). Trær fra sørligere strøk starter vekstavslutning senere på høsten og kan bli skadet av frost sen høst og tidlig vinter. Kuldetoleranse utvikles gradvis gjennom sommeren og intensifieres mot høsten, og når maksimum tidlig vinter (Harris et al., 2004). I motsetning til knopper i dvale, skyter ikke knopper i hvile (Basler & Köhner, 2012). Det påpekes av Hansen (2012) at planteslag som er tilpasset lange vintre med lav temperatur har lett for å bryte under de første varmeperiodene på nyåret og at knopper som bryter knopphvilen er utsatt for skade i påfølgende kuldeperioder.

Trær i bymiljø befinner seg ofte trange gater. Ved å velge arter med en vokseform som i mindre grad strekker seg horisontalt og i større grad vertikalt, kan man unngå at trærne vokser inn i fasaden på bygninger og ut i *veiens frie rom* (areal rundt veg uten vegetasjon). Eksempler på denne typen vokseform er poppel med pyramideform eller osp og sommereik

med søyleform (Miller, 2007). Dette poengterer Urban (2008) i sin lærebok: *Trær vokser*. De vokser både over og under bakken. Det må planlegges nok plass både til mindre nyetablerte trær og til trærne sin potensielle størrelse.

Trær kan opptre som ugras i grøntanlegg, som f.eks. i buskfelt der frø fra løvfellende trær begynner å vokse uten at dette er ønskelig (Hansen & Fløistad, 2005). Til tross for at Artsdatabanken sin *Fremmede arter i Norge - med norsk svarteliste* (også kalt Svartelista) ikke er et lovverk, kan man med fordel ta den med i betraktningen ved valg av art til etablering av trær i bymiljø. Relativt vanlige treslag, som platanlønn (*Acer pseudoplatanus*) og edelgran (*Abies alba*) utgjør henholdsvis svært høy og høy økologisk risiko mot det stedege naturmangfoldet i Norge (Artsdatabanken, 2012). Av i alt 91 risikovurderte treslag er 25 arter på Svartelista (kategoriene svært høy risiko og høy risiko (Artsdatabanken, 2012).

Artsmangfoldet av gate- og bytrær i Norge er relativt snevert (Fostad & Pedersen, 1997; Sjöman et al., 2012). I hovedstaden Oslo artsbestemte (Fostad & Pedersen (1997) 50-70 år gamle gate- og parktrær. Resultatet viste at de fire treslagene parklind (*Tilia x europea.*), storbladlind (*T. platyphyllos*), spisslønn (*Acer platanoides*) eller hestekastanje (*Aesculus hippocantranum*) utgjore 2/3 av gatetrærne og nesten halvparten av parktrærne. Femten år senere, med bakgrunn i databaser med informasjon om blant annet trær, viste Sjöman et al. (2012) at totalt 29 treslag ble benyttet som gatetrær og 61 arter trær benyttet i parker i Oslo. Det høyere antallet arter i parkmiljø antas å være grunnet bedre vekstforhold i parker. Der har trærne større jordvolum til rotvekst og vegetative dekker med antatt medfølgende høyere luftutveksling (Weltecke & Gaertig, 2012). Basert på registreringene av arter i Oslo spekuleres det i hvilken grad artsvalg baserer seg på tradisjon (Fostad & Pedersen, 1997).

Trær fra lindeslekten (*Tilia*) utgjør en stor del av det totale antallet plantede trær i bymiljø i de skandinaviske landene (Pauleit et al., 2002; Sjöman et al., 2012). Med bakgrunn i en spørreundersøkelse sendt til offentlige instanser i Europa, hevder Pauleit et al. (2002) at opp mot 70 % av nyplantede gatetrær i Oslo er av typen parklind ‘Pallida’ (*T. x europea* ‘Pallida’). Monokulturer er mer utsatt for angrep fra artsspesifikke patogener og skadedyr. Eksempler på dette er soppene *Chalara fraxinea* som forårsaker askeskuddsyke (Pautasso et al., 2013) og *Ophiostoma novo-ulmi* som forårsaker visnesyken almesyke (Solheim, 2007).

Mange arter innenfor lindeslekten er utsatt for angrep fra bladlus, noe som resulterer i soppsverting på underlaget fra sukkerstoffet bladlusene skiller ut. Ved etablering av lindetrær kan sølv lind (*Tilia tomentosa*) vurderes. Denne arten er mindre utsatt for angrep fra bladlus fordi den er sterkt behåret (Hansen, 2008).

Til tross for at treslag nå i større grad velges etter etableringsevne tilpasset plantestedet enn før, velges og plantes fortsatt trær i mange tilfeller for sine estetiske egenskaper i bymiljø (SVV 2012c; Schwets & Brown, 2000). Artsvalg basert kun på estetiske egenskaper kan føre til at treet mistrives og i verste fall dør. Forskjeller fra forventet estetisk uttrykk og erfart uttrykk varierer både mellom arter og mellom individer av samme art. Observerte forskjeller i form, stammediameter, kronebredde og overlevelsessevne er vanlig (Schwets & Brown, 2000).

## 2.3 Plantekvalitet

Det produseres trær til offentlige grøntanlegg og hager i planteskoler. Statens vegvesen har siden 2000 hatt rammeavtaler om dyrking og levering av planteskolevarer til veianlegg (Oliver, 2012). Tidligere var ikke alltid ønskede arter, herkomster, størrelser og mengder tilgjengelig for kjøp, og kvaliteten på produktene kunne være lav. Hensikten med kontraktsdyrking er å bedre kvaliteten på produktet og dermed også kvaliteten på grøntanlegg. Planteskolene har ulik spesialisering hva angår dyrkingsmåte og leveringsform. Noen planteskoler dyrker frem trær i potter, levert som pisk i små størrelser og andre leverer større trær. Trær kan vokse i ti til femten år i planteskole før trærne leveres til offentlige grøntanlegg for etablering (Solfjeld & Solfjeld., 2012).

Det er avgjørende at treet som skal etableres er av god kvalitet for å bedre sjansen for vellykket etablering, uavhengig om trærne plantes som klump-, konteiner- eller barrotplante. Lav kvalitet kan oppstå blant annet når det ikke stilles høye krav til mellomlagring og transport til planter med barrot. Trær med barrot vil være spesielt utsatt for tørke og sviskader under transport og lagring fordi det ikke er tilgjengelig fuktighet fra jord rundt røttene. For å minimere vanntap skal trær som leveres som barrot skal være avmodnet og ved levering om våren skal treet ikke ha utviklede blader (Solfjeld & Solfjeld,

2012). Ved omplanting av trær som er produsert i konteiner er trolig vannmangel et mindre problem på kort sikt enn for trær som plantes som klumpplante eller barrot. Ingen av røttene blir skåret under omplantingsprosessen og treet blir plantet med hele rotsystemet. Konteinerplanter som dyrkes på bakkeplan er særlig utsatt for kuldeskader fordi røttene står eksponert mot kulden, men det er stor forskjell mellom ulike arter (Havis, 1976). I de tilfellene konteinerplanter leveres med snurrot kan det ofte svært tette rotsystemet ende opp med å vokse rundt rothalsen og kvele treet (SVV, 2012d). De fleste gatetrær i Norge leveres som klumpplanter (balled and burlapped) (Pauleit et al., 2002).

### 2.3.1 Lovgivning om plantekvalitet i Skandinavia

Produksjon, omsetning og bruk av planter er regulert i Forskrift 2000-12-01 nr. 1333 om planter og tiltak mot planteskadegjørere (Forskrift om plantehelse). Plantekvalitet omtales kort i Forskrift om plantehelse kapittel 4: spesielle bestemmelser om produksjon og omsetning av formeringsmateriale:

#### **§ 10. Krav til kvalitet**

##### **Planter og formeringsmateriale skal ved omsetning**

- b) ha tilfredsstillende utvikling og vekstkraft og ikke ha defekter som har betydning for deres videre bruk
- c) være arts- og sortstypiske og ha de tilsiktede sortsegenskaper.

Det stilles krav i Forskrift om plantehelse om blant annet tiltak mot planteskadegjørere (§§ 4-6), meldeplikt (§§ 7 -9), spesielle bestemmelser ved innførsel (§ 16-26) og spesielle bestemmelser ved utførsel (§§ 27-29). Innholdet tyder på at Forskrift om plantehelse i hovedsak er til for å hindre spredning av skadedyr og patogener.

I Sverige er Statens Jordbruksverk sine föreskrifter om trädgårdsväxters sundhet m.m. (SJVFS 2010:47) også rettet mot skadedyr og sykdommer. Krav om plantekvalitet er nevnt i kap. Almäna bestämmelser:

## **Produktion och förvaring**

### **§6**

Plantskoleväxter ska ha en för arten eller sorten normal utveckling, vara väl avmognade och i god fysiologisk kondition. Plantskoleväxter ska ha en för slutliga växtplatsen lämplig proveniens. På varje försäljningsställe ska finnas tillgängligt information om växtens härdighet, til exempel Riksförbundet Svensk Trädgårds (RST) växtatlas.

Danmark sin lovgivning gir som i Norge og Sverige føringer for å hindre spredning av planteskadegjørere. I § 1, bilag 3 i Bekendtgørelse om Planter (BEK nr 451 af 16/05/2011) står det også kort også om generell plantekvalitet:

### **Bilag 3**

#### **Krav til produksjon og salg av planter**

##### **A. Generelle krav til grønsags- og frugtplanter, formeringsmateriale heraf, prydplanteformeringsmateriale samt forstligt formeringsmateriale**

5) Plantemateriale og formeringsmateriale skal være praktisk taget fri for fejl, der forringer dets egnethed som formeringsmateriale eller plantemateriale

##### **D. Prydplanteformeringsmateriale**

1) Materialet skal have tilfredstillende kraft og størrelse med henblik på dets anvendelse som formeringsmateriale.

2) Materialet skal opfylde kravene til identitet og renhed med hensyn til slægt eller art eller i givet fald plantegruppe og skal, hvis det sælges eller agtes solgt med angivelse af sorten, også opfylde kravene til identitet og renhed med hensyn til sort.

Planteskoler i Norge, Sverige og Danmark er i sine respektive land påkrevd gjennom forskriftene å levere denne minimumskvaliteten som beskrives i FOR-2000-12-01-1333, SJVFS 2010:47 og BEK nr 451 af 16/05/2011. Kvalitetskravene er svært generelle, så for å sikre økt kvalitet, gi retningslinjer til krav og regulere planteproduksjonen, er det laget

standarder for planteskolevarer i blant annet Norge, Sverige og Danmark. Den store og uensartede kategorien planteskolevarer består av pryd- og nytteplanter (NS 4400).

En standard er utarbeidet etter initiativ fra interessegrupper og ikke fra det offentlige, og standarder er frivillig å bruke ([standard.no/standardisering](http://standard.no/standardisering)). I noen tilfeller knyttes standarder opp mot forskrifter som for eksempel Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav som knytter bestemmelser om varedeklarasjon, pakking og merking opp mot Norsk Standard 2890. Kvalitetskrav gitt i standardene om planteskolevarer i Skandinavia er relativt like, men hvor detaljerte de er varierer.

Den svenske standarden Kvalitetsregler för plantskoleväxter [KFP] fra Gröna näringens riksorganisation [GRO] kan lastes ned fra internett gratis (GRO, 2013), det samme kan Dansk Planteskoleforening [DPF] plantestandard (DPF, 2002). I Norge brukes Norsk Standard [NS] for Planteskolevarer [NS 4400-4413], som må kjøpes. Prisen for NS 4400-4413 kan antyde at denne ikke er ment for privatpersoner. Planteskoler i Danmark opererer ofte med en GRO-garanti, som vil si at dersom treet dør i løpet av det første året, får man et nytt. For å hindre slurv under perioden med etableringsskjøtsel, stiller Statens vegvesen krav om erstatning av døde og hardt skadde trær i etableringsperioden (SVV, 2012a).

### 2.3.2 Plantekvalitet i Skandinaviske standarder

For å øke sjansene for vellykket etablering stilles det krav til blant annet stammeomkrets, kroneoppbygging, grenhøyde og greinfordeling i de tre omtalte skandinaviske standardene. Det handler i stor grad om å kategorisere produktet, som f.eks. om treet som leveres er et tre med høy stamme, et tre med lav stamme, et tre med x antall sidegrener, et tre med flere stammer. *Kvalitetsregler för plantskoleväxter* bruker morfologisk kvalitet, fysiologisk kvalitet, genetisk kvalitet og sunnhet for å bedømme plantekvalitet. *Plantestandard fra DPF* bruker plantenes arvelige egenskaper, plantens sunnhetstilstand, plantens fysiologiske tilstand, produktets fysiske utforming, og den anvendte formeringsmetode og dyrkningsmetode for å dekke plantekvalitetsbegrepet.

### 2.3.2.1 Rotkvalitet

Generelle krav til rotkvalitet i Norge innebærer blant annet at varen skal være fri for sykdom, skadedyr, sår, flerårige ugress, med friskt, kraftig og jevnt forgreinet rotsystem, og et gitt størrelsesforhold mellom rot og overjordiske deler av planten tilpasset plantens art. Det skal også være tilfredsstilte krav til størrelse og leveringsform (NS 4400).

Rotkvalitet er bedre i trær som med jevne mellomrom er beskåret for å stimulere til forgrening i røttene (Harris, 2004; Urban, 2008). Kraftig og godt forgreinet rotsystem utvikles til en viss grad i takt med antall omplantinger. Det er krav om omplanting i NS 4402, KFP og DPF sine plantestandarder. I DPF Plantestandard er det for unge trær (yngre enn 4 år og stammeomkrets på 8-10-12 cm) krav om omplanting minimum hvert fjerde år, mens kravet for eldre trær er hvert femte år. Trær med stammeomkrets mindre enn 12 cm skal være omplantet eller fullstendig rotskåret minst to ganger. For større trær skal det være omplantet eller fullstendig rotskåret hvert tredje år (NS 4402). I KFP er det krav om at trær med stammeomkrets fra 12-14 cm skal ha vært omplantet minimum tre ganger. Kriterier for omplanting er at rotsystemets snittoverflate ikke er større enn 2 cm i diameter og at rotsystemet har tilstrekkelig finrøtter (på 1-10 cm i diameter) med hensyn til art/sort med god balanse mellom hovedrøtter og finrøtter (GRO, 2013).

For alle standarder stilles det krav til rotsystemets diameter i forhold til stammens omkrets. I henhold til NS 4402 skal rotsystemet være minst fire ganger stammens omkrets, og uten snittflater større enn 2 cm etter beskjæring. Ifølge KFP skal heller ikke rotsystemets snittflater overskride 2 cm og rotsystemets diameter i forhold til stammens omkrets skal være minimum fire ganger større (og ikke mindre enn 30 cm) i barrotstrær, mens det for klumptrær er tilstrekkelig med et rotsystem tre ganger stammeomkretsen i diameter. Dette kan forklares med at det trolig er mindre fare for uttørking når planten leveres som klump enn som barrot. I DFP sin plantestandard er det krav om rotsystemet til høystammede trær er minst 3 ganger stammeomkretsen både for barrotstrær og for trær plantet med klump. Standardene setter også krav til leveringsform. Hva angår rotsystemet i løvfellende trær stiller DPF sin Plantestandard krav om at den roten skal være allsidig forgrenet med en diameter på rotsystemet som tilsvarer minimum 3 ganger stammeomkretsen. Dette gjelder både for barrotsplanter og for klumpplanter. Rosystemet til barrotstrær har krav om



minimumsstørrelse på minst 4 ganger stammeomkretsen og aldri mindre enn 30 cm. Rotsystemets kvalitet er spesielt viktig i nyetablerte trær fordi transplantasjonssjokk og påfølgende dårlig vannopptak fra røttene har vist seg å være en vanlig grunn til tredød og mistrivsel av trær (Gilbertson & Bradshaw, 1990).

### 2.3.2.2 Stamme- og kronekvalitet

Generelle krav i henhold til Norsk standard for planteskolevarer - Løvtrær (NS 4402) om stammekvalitet, er at stammen må ha naturlig tykkelse i forhold til høyden og at stammen er uten store stammesår. Løvtrær kan leveres med høy eller lav gjennomgående stamme, flerstammet, med søyleform eller med sidegrener (NS 4402). I Norsk Standard stilles det krav til stammeomkrets, stammehøyde (cm til nederste gren), greinsymmetri og forgreining. Det er en fordel å vite at man får levert planter som er i samsvar med det som er bestilt?, Høy kvalitet på plantematerialet, riktig art på riktig sted, gode vekstforhold og oppfølging er viktig. Kronekvalitet vil være med å påvirke i hvilken grad treet er i stand til å utvikle bladverk og drive fotosyntese. Norsk Standard for planteskolevarer - Løvtrær (NS 4402) stiller også krav til stammestørrelse i forhold til trekrona, og antall omplantinger. Trekrona skal være velformet og karakteristisk for planteslaget. I KFP er det krav om at stammen skal kunne bære kronen uten støtte. Kronekvalitet tar utgangspunkt i art og sort og denne skal være velutviklet og bestå av et sentralt toppskudd og minst tre kraftige hovedgreiner. I DPF Plantestandard stilles det blant annet krav om at høystammede trær skal ha rett stamme og at stammen opp til kronen kun kan ha skjevheter med høyst 3 cm avvikende fra senterlinjen (med unntak fra arter som *Quercus*, *Fagus*, *Carpinus*, *Crateagus* og *Platanus*). Høystammede trær skal i hele produksjonsforløpet ha kronens grunnform optimert til videre vekst med gjennomgående terminalskudd og velfordelte kronegrener. Erfaringer fra treforsøksparken ved NMBU i 2012 viste at trær med lav kvalitet grunnet vinterskader vinteren før planting, resulterte i mislykket etablering (Pedersen & Brun, 2012).

### 2.3.2.3 Trestørrelse

Størrelsen på et tre kan påvirke i hvilken grad treet etablerer seg eller ikke. Til tross for at nyetablerte trær i Norge i liten grad blir utsatt for vandalisme (Pauleit et al., 2005) betyr ikke det at det ikke forekommer. Det er påvist mer vandalisme der de plantede trærne er små og investert kapital i gatetrær er liten (Pauleit et al., 2005). Dette stemmer godt overens med tidligere registreringer som viser at vandalismen av trær i hovedsak forekommer i kronen (Gilbertson & Bradshaw 1990). Langs saltede veier er det observert av små trær er mer utsatt for skader forårsaket av saltsprut enn større trær (Pedersen, 2007). Både vandalisme og saltskader, som i økt grad påfører skader på unge trær, har trolig med høyden på treet å gjøre. Mindre trær har i de fleste tilfeller mindre estetisk påvirkning i bymiljø samtidig som det er knyttet høyere kostnader til innkjøp, transport og lagring av større trær (Urban, 2005). Det hevdes også at større nyetablerte trær klarer seg dårligere enn mindre trær av samme art (Harris et al., 2004, s. 209) og at større trær har en lengre etableringsperiode (Kristoffersen, 1999).

## 2.4 Planteteknikk

### 2.4.1 Plantedybde

En av grunnene til at det ikke anbefales å plante dypt (rothals under jordoverflaten) er at jord har færre større porer jord dypere man kommer (Børresen 2004; Brady & Weil, 2010). Det antas at redusert tilgang på oksygen og vann påvirker planteveksten negativt. Bryan et al. (2011) registrerte at veksten til omplantede konteinerdyrkede *Quercus virginiana* påvirkes av plantedybde. *Q. virginiana* trærne som ble plantet med synlig rothals hadde blant annet større stammediameter, kronevekst og visuell rotkvalitet enn trær som ble plantet 7,6 cm for dypt. Et interessant funn var at trær som ble plantet med rothalsen 7,6 cm over bakken døde i større grad enn både kategorien trær plantet med rothalsen 7,6 cm ned i bakken og trærne som ble plantet med rothalsen synlig. Manglende oppbinding utgjorde fare for velt og bevegelse av rotklump ved sterk vind fordi konteinerplanter blir topptunge fra

skjevt rot:topp forhold. Andre tilnærmet like forsøk registrerte ingen signifikant påvirkning på stammediameter eller trehøyde til konteinerdyrkede *Q. virginiana* plantet ved forskjelling plantedybde (Gilman & Grabosky, 2011; Gilman & Wiese, 2012). Det ble observert økt rotvekst over rothalsen når trær som var plantet dypt ble vannet hyppig (Gilman & Grabosky, 2011). Rotvekst over rothalsen er assosiert med rotsnurr og medfører fare for at den type røtter snurrer seg rundt rothalsen og kveler treet (Gilman & Grabosky, 2011).

## 2.4.2 Plantetidspunkt

Klimafaktorer som lufttemperatur, jordtemperatur, innstråling og nedbør påvirker etableringstidspunkt. Vinter som etableringstidspunkt i Norge utgår fordi det er tele i jorda. Sommermånedene er de varmeste månedene og trær vil transpirere mest i disse månedene (Raven et al., 2005). Dermed stilles det krav til vanningsanlegg eller hyppig bruk av vanningsposer. Det anbefales å plante barrot i perioder treet ikke er i utvikling, etter avmodning eller før bladsprett, klumpplanter plantes helst om våren, fra tele går i jorda til 1. juni (Solfjeld & Solfjeld, 2012). Konteinerplanter plantes gjennom hele vekstsesongen, trolig fordi konteinerplanter har mer av rotsystemet sitt intakt ved planting. Tabell 1 viser lufttemperaturer fra Oslo. Normal (gjennomsnitt 1961-1990) lufttemperatur er mer eller mindre lik for vår og høstmånedene.

Tabell 1. Oversikt over temperaturmålinger for Oslo av Blindern værstasjon. Kategoriene Normalverdi (1961-1990) og gjennomsnittlig verdi for 2012, samt maksimumsmålinger og minimumsmålinger i 2012 er inkludert. Tall fra SBB (2013), tabell 24, s. 48.

Temperaturmålinger i Oslo (Blindern værstasjon)													
Temperatur	Året	Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
<b>Normalverdi*</b>	5,7	-4,3	-4,0	-0,2	4,5	10,8	15,2	16,4	15,2	10,8	6,3	0,7	-3,1
<b>Gj. Snitt 2012</b>	6,6	-4,2	-2,2	5,6	4,9	12,3	18,7	16,4	16,1	11,1	5,2	3,2	-5,1
<b>Maks 2012</b>	29,8	4,6	10,1	21,5	14,9	29,8	23,8	25,1	26,9	23,0	16,2	10,6	4,7
<b>Min. 2012</b>	-	-	-	-3,2	-4,1	-1,3	4,9	9,5	7,3	1,3	-5,0	-4,9	-
	17,1	11,3	17,1										14,6

\*Temperaturnormalen er basert på gjennomsnitt 1961-1990.

Det er tilnærmet lik gjennomsnittstemperatur på 0 °C i både mars og november, mens det blir varmere nærmere sommermånedene man kommer, fra både våren og høsten. I 2012 var det minusgrader i mars, april, oktober og november.

Tabell 2. Oversikt over nedbørsmålinger for Oslo ved Blindern værstasjon. Kategoriene nedbørshøyde målt i millimeter (mm) og døgn med nedbørshøyde 0,1 mm eller mer for 2012, samt Normalverdi (1961-1990) av nedbørshøyde (mm) er inkludert. Tall fra SBB, (2013), tabell 26, s. 50.

<b>Nedbørsmålinger i Oslo (Blindern værstasjon)</b>													
<b>Nedbør</b>	Året	Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.
<b>Høyde i mm (2012)</b>	971	54	14	18	70	59	94	149	98	84	116	150	64
<b>Høyde i mm (Normal*)</b>	763	49	36	47	41	53	65	81	89	90	84	73	55
<b>Døgn (2012)</b>	186	11	11	3	13	13	20	21	19	18	16	22	19
<b>* Nedbørsnormalen er basert på gjennomsnitt 1961-1990.</b>													
<b>** Døgn med nedbørshøyde 0,1 mm eller mer.</b>													

Som det kommer frem av i tabell 2 er vårmånedene i Oslo preget av mindre nedbør enn høstmånedene. Fordi vannmangel etter planting er rapportert som en av de største grunnene til plantedød etter etablering (Gilbertson & Bradshaw, 1990; Bühler, 2009) kan høstplanting være fordelaktig. Det er vist at trerøtter kan begynne å vokse ved relativt lave temperaturer (4 °C), mens bladknopper ikke bryter før temperaturen er minimum 10 grader (Harris et al., 2004). Teksturen i jorda påvirker også temperaturen i jorda. Luft varmes lettere opp enn vann og en jord som holder godt på vannet vil derfor holde lavere temperatur utover våren enn jord med mye luft. Siltjord med lite innhold av leire er kald om våren og sandjord varmes raskere opp enn leire og silt (Børresen, 2004). Harris & Bassuk (1994) hevder tidlig vår er en god tid for omplanting for noen arter fordi trærne har hele sommeren og høsten til å vokse og tilpasse seg. Omplanting på våren før knoppbrudd er fordelaktig for noen arter, men ikke for andre (Solfjeld & Hansen, 2004). Det samme kunne sies om sen høstplanting (Solfjeld & Hansen, 2004). Harris & Bassuk (1994) viste i sitt forsøk at sen høstplanting var greit når jordtemperatur var rundt åtte grader, mens ved 3

grader var det ikke gunstig. Uavhengig om trær er plantet vår eller høst er det registrert at veksten henter seg inn etter tre sesonger for en rekke treslag av nyetablerte trær (Solfjeld & Hansen, 2004). Forsøk omtalt i Harris et al. (2004) viser at så lenge vinteren ikke er for kald vil trær plantet på høsten etablere seg bedre enn trær som er plantet på våren. Swanson, (1977) sammenlignet overlevelse og vekst av 30 ulike lignoser plantet enten sen oktober eller tidlig mai i Colorado. 85 % av alle artene som ble undersøkt hadde bedre eller like god overlevelse og mindre skadeomfang når de ble plantet (barrot og konteiner) på våren istedenfor på høsten. En mulig forklaring på de varierende resultatene på vekst etter vår- eller høstplanting er forskjeller i fysiologien til ulike løvfellende trær. *Sorbus aucuparia* har vist dårligere etablering etter omplanting på våren og arten utvikler eksisterende skudd og neste års knopper tidlig på våren (Solfjeld & Hansen, 2004).

## 2.5 Jordkvalitet

Hva som er god jord for planting vil variere med hva som skal plantes og forholdene på stedet. Røttene tar opp vann og næring fra jorda. Denne prosessen avhenger av oksygentilgang. Sammensetningen av jordpartiklens størrelse (tekstur), formen på partiklene (struktur), porøsitet, vannretensjon, mettet vannledningsevne, lagdelingen på de ulike jordlagene, mengden organisk materiale, biologisk aktivitet og mengden næringsstoffer i jorda er noen av faktorene som påvirker veksten til trær sine overjordiske og underjordiske deler. Når trær skal etableres i bymiljø kan det oppstå en rekke problemer spesifikke for bymiljø. Bymiljø består av mye faste dekker som trolig hindrer luftutveksling i jorda, påvirker infiltrasjon av nedbør og gir økt pH. Vinterdrift av veier øker fare for saltskader på vegetasjon, forurensing fra tunnelvask, asfalt, eksos og bildekk kan hope seg opp i jorda. I bymiljø er det ofte trangt om plassen og trær til etablering kan ende opp med et mindre enn optimalt jordvolum.

### 2.5.1 Jordfysikk

Jorda kan refereres til som et trefasesystem representert av fast materiale, mineral- og organisk materiale, vann og luft (Børresen, 2004). Hillel (2004) kaller det jord-vann-

atmosfære kontinuum. Hensikten er å poengtere at alle fasene påvirker systemet. Porene mellom det faste materialet er fylt av væske (jordvann) eller jordluft (gass).

Mengdeforholdet mellom fastmateriale og porer varierer etter hva slags bestanddeler det faste materialet er sammensatt av. Det samme gjelder mengdeforholdet mellom jordvann og jordluft. Porevolum inneholder store og små hulrom. De store porene inneholder i hovedsak luft, mens de mindre porene inneholder vann. I porene finnes også levende organismer, røtter og oppløste stoffer. Porene fungerer som transportvei for luft, vann og næringsstoffer i jorda.

### 2.5.1.1 Tekstur

Ved å sørge for god jordtekstur ved etablering av trær vil trærne få best mulig jordforhold til rotvekst, som igjen påvirker resten av treet positivt. Ifølge Haraldsen (2010) er jordarter med sand og noe leire godt egnet til grøntanlegg, mens svært silt- og leirrike jordarter er vanskelige å håndtere og dermed ikke anbefalt som anleggsjord. Med hensyn til tekstur kan følgende jordart anbefales til grøntanlegg (Haraldsen, 2010): Sand, siltig sand, lettleire og sandig lettleire.

Ved hjelp av en teksturanalyse, eller kornfordelingsanalyse, måles den relative kornstørrelsesfordeling av mineralpartikler i jorda. Ulik jordtekstur gir jorda ulike jordegenskaper. Fordelingen av størrelsesfraksjonene sand, silt og leire benyttes sammen med jordartstrekanten for å kategorisere jordart (se jordartstrekant). Innhold av grus og stein kan inkluderes i en helhetlig teksturanalyse (e.g. grusholdig lettleire).

Kornstørrelsesfordelingen påvirker blant annet jordas mettede vannledningsevne, evne til vannretensjon, effektiv gassutveksling og evne til å holde på næringsstoffer (Børresen., 2004; Hillel, 2004; Brady & Weil, 2010). Kornstørrelse i diameter og fraksjonsbetegnelse finnes i tabell 3.

Tabell 3. Betegnelser og størrelsesorden på jordfraksjonene grus, sand, silt og leire.

Fraksjonsbetegnelse		Kornstørrelse (mm)
<b>Grus</b>		60-2
<b>Sand</b>	Grov	2-0,6
	Middels	0,6-0,2
	Fin	0,2-0,06
<b>Silt</b>	Grov	0,06-0,02
	Middels	0,02-0,006
	Fin	0,006-0,002
<b>Leir</b>		> 0,002
<b>Grusinnhold (vol%)</b>		
<b>Ingen tilleggsbetegnelse</b>		<20
<b>Grusholdig</b>		20-50
<b>Grusrik</b>		50-90
<b>Grus</b>		> 90

Undersøkelser av jord i landbruket viser at sandjord med store porer og liten spesifikk overflate har liten evne å holde på vann og næringsstoffer, men har god lufttilgang (Børresen, 2004). Sandjord har høy mettet vannledningsevne og god drenering. Under forhold med jevnlig vanning og gjødsling er det viktigere med god drenering enn evne til å holde på vann og næringsstoffer. Sand motstår også komprimering i høy grad (Børresen, 2002), noe som er en god egenskap under og rundt et tre folk kanskje ferdes. Fordi vann varmes opp tregere enn luft vil jord som inneholder lite vann varmes lettere opp enn jord som inneholder mye vann (pers. medd. Trond Børresen). Sand som inneholder store porer som lettere drenerer bort vannet, er derfor en varmere jord enn en leirjord som inneholder mer vann som ikke dreneres. Sandjord som inneholder 15-50 % silt er relativt tørkesterk og har gode bruksegenskaper i jordbruket (Børresen, 2002).

Kategorien siltjord er betegnelsen for jordarter som inneholder mellom 50 og 100 % silt. Jordartene silt, sandig silt, siltig lettleire og siltig mellomleire er alle siltjord

(Børresen, 2004). Erfaringer fra landbruket tilsier at siltig jord ofte inneholder over 25 vol% nyttbart vann og har gode vannretensjonsevner (Børresen, 2004). Siltjord med grov silt og fin sand har høyere mettet vannledningsevne enn om siltjorda inneholder finsilt og grov leire. Siltjord kan lett bli flytende med dårlig bæreevne i jordbruket og det er fare for komprimering ved tråkk, samt utvasking av næringsstoffer og jordpartikler og telehiv (Børresen, 2004). Vannmettet jord synker sammen om vinteren kun på grunn av tyngde fra snø og vannmettet jord, og forårsaker at makroporer (store porer og sprekker) flyter igjen (Børresen, 2004). Vannforsyning til trærne vil i siltjord trolig være svært god om ikke massene er komprimert. Den kapillære stigningen av vann fra grunnvannsspeilet er meget effektiv (100-130 cm). Denne egenskapen gjør at vann kan transporteres forholdsvis raskt opp fra dypere og fuktigere lag til tørre sjikt. Siltjord er derfor tørkesterk, men kan også gi luftmangel under fuktige forhold. Samme egenskaper gjør at jorda blir langsomt tørr og at oppvarming går sakte. Men økende leirinnhold kan redusere transporthastigheten av vann oppover i så stor grad at den kapillære vanntilførselen får liten betydning. Større andel leire, som i siltig lettleire eller siltig mellomleire, kan ha relativt massiv undergrunn og røttene kan ha vanskelig for å trenge nedover (Børresen, 2004). Det er mindre problematisk med rotvekst og skorpedanning dersom siltjorda inneholder mer sand og mindre leire.

Leirjord har mellom 40 og 100 % leire. Stiv leire har mellom 40 og 60 % leire, mens mellomleire har 25-40 % leire. Stiv leire er lite aktuell som jord til grøntanlegg, spesielt for etablering av trær. Den er massiv, tett og mettet vannledningsevne er liten (Børresen, 2004). Sykluser med frysing og tining i jorda, samt uttørking og vanning, fører til sprekksystemer i flere leirtyper. Lav transporthastighet gjør kapillær vanntransport til planterøtter ubetydelig. Store deler av vannet lagret i porene er ikke nyttbart for plantene fordi mye av vannet er sterkt bundet til mikroporene. Leire med god kalk- og humustilstand danner stabile aggregater, først og fremst et resultat av frysing og tining. Leirjorda tørker langsomt opp nedover i undergrunnsjorda, men overflatesjiktet kan tørke raskt. Til jordbruket fremheves lettleire (10-25 % leire) som ideell for de fleste jordbruksvekster, med stabil struktur og stort nyttbart vannlager. Jorda er tørkesterk og har forutsetninger for god rotvekst (Børresen, 2004). Den er mindre plastisk og ikke så kald som de siltpregede jordartene. Leirjord har stor lagringsevne for vann, men lite av det er nyttbart for plantene. Vannledningsevnen er for liten til at det har betydning. Kapillær stighøyde kan være høy, men transporthastigheten er for lav til at vann fraktes mot røttene i en hastighet som får



betydning. For leire er mettet vannledningsevne avhengig av strukturen til leiren, sprekkssystemer og aggregering. I jordbruket må leirjord dreneres under norske forhold da den fort kan bli tett og kompakt. Lufttilgangen til planterøtter kan være begrenset og mekanisk motstand mot nedtrening i røtter kan være stor. Leirjorda holder godt på næringsstoffer, utvaskingsfaren er mindre enn på sandjord. Leirjorda blir plastisk ved fukting og fast ved opptørring. Utvikling av jordstruktur og aggregering har stor betydning for leirjordas egenskaper. En leirjord med godt utviklet struktur kan være et meget godt dyrkingsmedium.

### 2.5.1.2 Vannlagring

Ved etablering av trær i bymiljø vil evnen vekstjord har til å holde på vann være avgjørende for treets overlevelse. Både jordfysisk teori (Hillel, 2004) og forsøk fra landbruket (Børresen, 2004) tilsier at jo mer finmaterialer en jord inneholder, jo større er evnen til å holde på vann. Vannmangel er pekt på som en av de vanligste årsakene til død og mistriksel av nyetablerte trær, og nyetablerte trær er mer utsatt enn etablerte på grunn av sitt oftest reduserte rotsystem (Gilbertson & Bradshaw 1990). Til tross for at vanningsposer og vanningsanlegg er effektive for å forhindre tørke i rotsonen, er det rom for både menneskelig og mekanisk svikt ved vanning.. Det er nødvendig at jorda til en viss grad kan holde på vannet etter nedbør eller vanning. Vannretensjon, eller evne til å holde på vann, er sterkt påvirket av jordtekstur. Diameterstørrelsen til en partikkel gir en indikator på partikkelen sin spesifikke overflate og porestørrelse. Større jordpartikler har mindre spesifikk overflate og økt porestørrelse (Hillel, 2005; Brady & Weil, 2010; Trond Børresen, pers medd.). Et sandkorn (2-0,6 mm) i kubeform vil teoretisk sett ha en sidekant på omkring 1 mm og spesifikk overflate på  $6 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$ , mens en leirpartikkel med kubeform vil ha en sidekant på omkring 0,001 mm og en spesifikk overflate på  $60.000 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-3}$  (Børresen, 2012). Fordi vann bindes som en tynn vannfilm rundt jordpartikler i samme tykkelse uavhengig av diameter, vil jord med høy spesifikk overflate være i stand til å holde på mer vann.

Vannretensjons- eller pF-analyse er en metode for å måle porestørrelsesfordeling eller vannets bindingsenergi i jorda. Kurven i en pF-analyse vil vise sammenhengen mellom jordas matrikspotensial (adhesjonskrefter + kapillærkrefter) og jordas volumetriske

vanninnhold (Øverlie et al., 2006). pF er definert som logaritmen med grunntall 10 til talverdien av matrikspotensialet gitt som centimeter vannsøyle (cm H<sub>2</sub>O). Sammenhengen mellom trykk og porediameter kan leses i tabell 4. Porediameter er beregnet ved at porene beskrives som rette parallelle rør. Porediameter er da gitt ved  $d = 0,3/h$  der diameter i cm og h er matrikspotensialet i cm H<sub>2</sub>O (Hillel, 2004; Øverlie et al. 2006). Etter regnskyll vil vannet i de større porene drenerer relativt raskt gjennom jorda, mest på grunn av tyngdekraften. Etter en til tre dager, når matrikskreftene begynner å spille en større rolle og makroporene er fylt med luft, har jorda nådd *feltkapasitet*.

Når planterøtter ikke lenger klarer å trekke vann fra jorda på grunn av matrikskreftene, har jorda nådd *visnegrense*. Ved visnegrense er det kun vann igjen i de aller minste porene i jorda (0,2µm). Ved vannmetning er alle porene fylt med vann. Det er en sammenheng mellom porediameter og de ulike tilstandene av sug i jorda (se tabell 4). For planterøttene finnes tilgjengelig vann mellom visnegrense og feltkapasitet, eller mellom pF2 og pF4,2.

Tabell 4. Omtrentlige tall mellom vannpotensial og porestørrelser. Tabellen tar utgangspunkt i tallene til Brady & Weil (2010); s. 140 og Øverlie et al. (2006); Hillel (2004), s. 111.

	<b>Cbar = kPa</b>	<b>cm H<sub>2</sub>O</b>	<b>Bar</b>	<b>pF</b>	<b>Porediameter (µm)</b>	<b>Porediameter (mm)</b>
<b>Visnegrense</b>	1500	15000	-15	4,2	0,2	0,0002
	500	5000	-5	3,7	0,6	0,0006
	100	1000	-1	3	3	0,003
<b>Feltkapasitet</b>	10	100	-0,1	2	30	0,03
	5	50	-0,05	1,7	60	0,06
	<b>2</b>	20	-0,02	1,3	150	0,15
<b>Vannmetning</b>	0	0	0	-	-	

For å illustrere at forskjeller i vannpotensial fører til transpirasjonen, er det anslått at jordvannet har vannpotensial på omkring -0,3 bar, atmosfæren har et vannpotensial på -300 bar (Hillel, 2004). Vannet beveger seg alltid fra et høyere til et lavere vannpotensial. Fordi

vannpotensial oftest beregnes i trykk eller sug medfører dette at vannpotensialet beveger seg fra mindre negativt til mer negativt. Sola leverer energi til fordamping av vann fra bladene, og luftbevegelsen (vind) blåser vanddamp vekk. Det kreves energimengde på 700 kWh til fordamping av 1 tonn vann, dvs. til fordamping av 1 mm vann fra et areal på 1 dekar (Børresen, 2004). Totalt er innstrålt energi, globalstrålingen i sommertid, oppe i 5000-6000 kWh pr. dekar i døgnet. Halvparten av dette er det likevel nok til 4 mm fordamping. De fleste kulturplanter visner når luftfuktigheten i porene i jorda kommer under 98,9 %. Visnegrensen (pF<sub>4,2</sub>) tilsvarer at vann drives ut av jorda med et overtrykk på 15 kg cm<sup>-2</sup>, eller 1500 kPa. Den tørre luften rundt bladene kan på tørre sommerdager svare til at vannet drives ut med en trykkforskjell på rundt 1000 kg cm<sup>-2</sup>. Den øvre grensen er i jordbruket på Østlandet fastsatt til feltkapasitet (pF<sub>2</sub>) og svarer til dreneringslikevekt ved 1 m sug, eller at vannet som er igjen i jorda kan stå imot et utdrivingstrykk på 0,1 kg cm<sup>-2</sup>. I veksthus med grunne bed er den øvre grensen bestemt av dreneringsdybden (pottedybde).

Mengden nyttbart vann avhenger i stor grad av jordart. Det er vist i undersøkelser ved jord- og vannfag at nyttbar vannmengde er korrelert med kornstørrelsen, og at den vanligvis er størst i siltjord (Børresen, 2004).

I et grøntanlegg påvirker sammensetningen av jordas kjemiske og fysiske egenskaper i hvilken grad et tre vil klare å etablere seg eller ikke. I de tilfellene store deler av at rotsystemet blir fjernet under omplanting, reduseres evnen treet har til å ta opp vann og næringsstoffer og kravet til vekstjorda sin evne til å holde på vann vil være svært viktig. I de tilfellene jord blir stående vannmettet grunnet dårlig vannledningsevne, vil røttene få redusert tilgang på oksygen fordi alle porene inneholder vann og ingen porer inneholder oksygen (Døving, 2014). Røttene er avhengig av oksygen til respirasjon og vekst (Raven et al., 2005). Det er reist spørsmål om hvorvidt det er opphoping av karbondioksid eller oksygen som er hovedgrunnen til redusert vekst i røttene ved dårlig gassutveksling (Børresen, 2003). Ifølge Døving, 2014 er det oksygenmangel mer enn opphopning av karbondioksid som påvirker plantevekst hemmende. Oksygenmangel i rotsona fører til redusert vekst, redusert fotosyntese og redusert transport av vann og næring, (Døving, 2014). For å undersøke jorda sin evne til å holde på vann og utveksle jordluft kan man benytte seg av teksturanalyse og pF-analyse. Drukning kan gi symptomene gulning og visning, som for øvrig er de samme symptomene som ved tørke (Døving, 2014).

## 2.5.2 Organisk materiale og biologisk aktivitet

### Organisk jord og aggregering

I hvilken grad en organisk jord lagrer vann og næringsstoffer avhenger av omdanningsgraden til det organiske materiale. Generelt har organisk materiale i mineraljord med lite moldinnhold positiv virkning på de jordfysiske egenskapene (e.g. aggregatstabilitet) (Børresen, 2004). Organisk materiale, som leire, har negativ overflate som binder næringsstoffer (Hillel, 2005). Organisk materiale er viktig for aggregatdannelsen. Evne til å binde enkeltkorn er også avhengig av omdanningsgraden til det organiske materiale. I en sandjord dannes aggregater med sammenbinding av enkeltkorn, mens for en leirjord vil strukturdannelsen foregå som en oppsprekking av en massiv struktur (Hillel, 2005). Strukturdannelse i en jordprofil foregår både ved hjelp av oppsprekking og sammenbinding. Sammenbinding av enkeltkorn skyldes at ulike elektrostatiske krefter opptrer mellom partikkeloverflatene. Noen kan være sterke, andre svake. Felles for elektrostatiske krefter er at de virker over svært korte avstander og enkeltpartiklene må derfor bringes tett sammen før kreftene får betydning (Hillel, 2005). Leirpartikler virker som sement og binder seg til hverandre, samt danner broer mellom sand- og siltekorn. Nedbrytningsprodukter etter mikrobiell, biologisk omsetning har positiv virkning på dannelse og stabilitet til aggregater. Mikroorganismer, meitemark, planterester, samt tilført organisk materiale i form av gjødsel og slam, er viktige kilder til dannelse av f.eks polysakkarider som gir relativt stabile bindinger. (Børresen, 2004).

### Mykorrhiza

Mykorrhiza ( gr. *mykes* - sopp; *rhiza* - rot) er en planterot infisert med ikke-patogen sopp (Teiz & Zeiger, 2010). Mykorrhiza opptrer i symbiose med planterøtter. Mykorrhiza-soppen øker vann- og næringsopptaket i røttene ved at soppen sine hyfer (trållignende filamenter) og mycel (hyfemasse) øker arealet og effektiviteten av vann- og næringsopptak. Næringsopptak av fosfor og bedret opptak av sink, mangan og kopper er demonstrert (Raven et al., 2005). Ulike arter, slekter og familier av mykorrhiza er tilpasset ulike miljøer. Eksempelvis er ikke mykorrhiza tilstede i røtter i svært tørr, salt eller flomutsatt jord (Teiz & Zeiger, 2010). *Cenococcum* var den dominerende slekten mykorrhiza i gatemiljø, mens

den ikke ble registrert i hverken planteskoler eller skog i et forsøk på *Tilia cordata* av Timonen & Kauppeinen (2008). Det spekuleres i om *Cenococcum* er tilpasset de ofte tørre forholdene til gatetrær med begrenset rotvolum og det refereres til at arten *C. geophilum* er funnet å motstå tørke godt (Timonen & Kauppeinen, 2008). Jorda til gatetrærne utmerket seg ved at det var høyere nivåer av kobber og natrium enn i de andre vekstmediene, muligens som et resultat fra vintersalting og trafikk (Timonen & Kauppeinen, 2008). Gatetrærne hadde omtrent lik grad av mykorrhiza-koloniseringsintensitet i røttene (over 80 %), uavhengig av om de var vitale eller ikke. *Cenococcum* spp. var mer fremtredende i røtter til de ikke-vitale gatetrærne, mens *Russula* spp. var mer vanlig i vitale gatetrær. Røttene til trærne i planteskolene hadde stått i ti år og det var nok til at mykorrhiza var tilstede ved omplanting, men ingen av artene som ble funnet i planteskolen ble funnet på røttene til gatetrærne. Dette kan tyde på at enten er artene tilpasset miljøet i planteskolen ikke tilpasset miljøet til gatetrær eller så blir de utkonkurrert. Til tross for dette kan mykorrhiza som medbringes fra planteskolen til omplanting i anlegg øke vekst i vann- og næringsopptak i etableringsperioden fordi trærne da plantes med vekstjord rik på næring (Timonen & Kauppeinen, 2008).

Spesielt *ektomykorrhiza* er karakteristisk for trær og busker fra tempererte strøk innen blant annet familiene Fagaceae, Salicaceae og Betulaceae (Raven et al., 2005). Disse familiene inkluderer trær kjent fra urbane strøk som eik, bjørk, poppel, pil, bøk og selje, men ikke de vanligste gatetrærne lind, lønn og hestekastanje (Hansen, 2012).

Ektomykorrhiza legger seg som en sokk rundt røttene til plantene og lager det som kalles et *Hartig nett* mellom cellene innover i røttene (Teiz & Zeiger, 2010). Ofte er massen til ektomykorrhiza tilsvarende massen av røttene selv og vokser ut ifra røttene de er tilknyttet (Teiz & Zeiger, 2010). Det medfører en økning i arealet til vann- og næringsopptak.

*Endomykorrhiza*, eller *arbuskulær mykorrhiza* (am), produserer et mindre tett hyfenett, der de enkle hyfene vokser flere centimeter utover fra planteroten ut i jordomgivelsene (Teiz & Zeiger, 2010). Etter at hyfen har infisert røttene gjennom epidermis eller et rothår, penetrerer hyfenes individuelle celler i *cortex*. I disse cellene lager soppen strukturer som kalles *vesikler* (eng. vesicles) og de forgrenete strukturene *arbuskuler* (eng. arbuscules). Arbuskulene antas å være stedene der næringsoverføringen mellom soppen og vertsplanten foregår (Teiz & Zeiger, 2010). I motsetning til ektomykorrhiza lager hyfene liten masse, trolig mindre enn 10 % av rotvekten (Teiz &

Zeiger, 2010). Enkle hyfer vokser noen centimeter ut fra roten. Endomykorrhiza finnes i de fleste urtaktige planter, i opptil 80 % av plantene, og har trolig vært til stede i samspill med planter i over 400 millioner år (Raven et al., 2005; Teiz & Zeiger, 2010). Endomykorrhiza sitt samspill med røttene fasiliterer opptak av fosfor, mikronæringsstoffer som sink og kopper, og vann. Rotsystemets økte utstrekning øker arealet til vann og næringsopptak.

Teiz & Zeiger (2010) nevner forskning som (1) viser at mykorrhiza øker hastigheten av fosfattransport i røttene i stor grad, (2) at ektomykorrhiza hydrolyserer organisk fosfor for transport mot roten og (3) at endomykorrhiza endrer vannstrømmen inn i og gjennom rotcellen og gir bedre motstand mot tørkestress. I det plantefysiologiske leksikonet til Universitetet i Oslo kan det leses at soppen skiller ut respiratorisk karbondioksid, organiske syrer og fosfater som letter opptaket av fosfat, og at mykorrhiza beskytter planterøtter mot patogener og uttørking. Fordi etablering av trær i stor grad påvirkes av tilgang på vann kan tilstedeværelse av mykorrhiza kan være fordelaktig ved etablering.

Timonen & Kaupainen (2008) registrerte koloniseringsmønster av mykorrhiza på *Tilia* trær i gatene (vitale og ikke vitale), i planteskoler og i skogshabitatet i sørlige Finland. De talte antall rotspisser med og uten mykorrhiza i de ulike miljøene. Mykorrhiza ble deretter kategorisert ved hjelp av DNA analyse. Alle prøvene ble utført på eldre trær. Resultatene viste at det var mer rotspisser i de øvre 5-10 cm enn i de dypere 20-25 cm sjiktene i de fleste tilfeller. Når rotspissene fra begge sjiktene taltes sammen var jorda til sunne gatetrær og skogsjord signifikant flere rotspisser enn planteskolejorda. Det var 84 % høyere mykorrhiza intensitet i *Tilia cordata* røtter i de øvre 5-10 cm av jorda enn i de dypere 20-25 cm, trolig på grunn av høyere innhold av organisk materiale i de øvre lagene.

### 2.5.3 Luftutveksling

Luftveksling inkluderer transport av både oksygen og karbondioksid inn og ut av jordmassene. Planterøttene er avhengig av at jordluften skiftes ut. Planterøtter bruker oksygen i sin metabolske samtidig som høye konsentrasjoner av karbondioksid kan føre til karbondioksidforgiftning (Raven et al., 2005; Børresen, 2002). Det som skiller jordluft og atmosfæreluft er konsentrasjonen av karbondioksid og relativ fuktighet. I de fleste tilfeller med dårlig luftutveksling vil det være karbondioksidforgiftning plantene utsettes for og

ikke oksygenmangel (Børresen, 2004). I bymiljø står trær ofte under faste dekker. Dette antas å hemme luftutveksling i stor grad. Schwets & Brown (2000) observerte *Acer saccharum* plantet i brostein og fant at kun 15 % av nyetablerte trær levde 25 år senere. Weltecke & Gaertig (2012) har undersøkt sommereik (*Quercus robur*) og londonplatan (*Platanus x hispanica*) for sammenhengen mellom luft i jord, rotvekst og vekst av overjordiske plantedeler i Kassel i Tyskland. De målte ingen signifikant forskjell i luftutveksling mellom faste dekker (i.e. asfalt, brostein og skiferheller). Dette indikerer at faste dekker med mellomrom ikke medfører store positive effekter på gassutvekslingen i jorda under og trolig ikke fører til bedret jordmiljø for røttene. Det ble målt høyest gassutveksling og rotvekst i jord med vegetative dekker av klippet og uklippet gress, og blomsterbed. Makadamisert vei og dekker av grus hadde mindre luftutveksling i forhold til vegetative dekker, men bedre luftutveksling enn faste dekker. De fant at med redusert gassutvikling ble tettheten av røtter også begrenset. I dette forsøket var det jevnt over lave CO<sub>2</sub> nivåer, noe som styrker antagelsen om at det i større grad er oksygenmangel som fører til blant annet redusert rotvekst enn opphopning av CO<sub>2</sub>. Dette forsøket ble utført på relativt små trær og forfatterne beskriver et trolig scenario der minkende O<sub>2</sub> og opphopning av CO<sub>2</sub> blir mer problematisk etter hvert som trærne vokser og behovet øker (Weltecke & Gaertig, 2012). I denne undersøkelsen reagerte londonplatan mindre negativt på jordoksygenmangel enn sommereik. Viswanathan et al. (2011) undersøkte også forskjellen mellom permeable (åpen jord og porøs betong) og ikke-permeable dekker (betong og asfalt). Også i dette forsøket var vekstjorda en lite permeabel leirjord (i.e. Ships leirjord). Det ble funnet høyere innhold av jordvann i ikke-permeable dekker, trolig som et resultat av redusert evaporasjon. Når det ble målt høyere innhold av vann i porene ble det følgelig målt mindre oksygen i jorda (Viswanathan et al., 2011). En konsekvens av dette er at i tillegg til at gassutvekslingen blir hindret av ikke-permeable dekker øker vannmengden, noe som reduserer oksygenmengden ytterligere. I dette forsøket ble det målt CO<sub>2</sub> opphopning 5-20 ganger høyere enn rapporterte nivåer på vanlig jord under ikke-permeable dekker. Den lite permeable leirjorda er rapportert å resultere i høyere CO<sub>2</sub> nivåer enn jordtyper med større andel sand. De små porene reduserer diffusjon av respirert CO<sub>2</sub> gjennom jorda og ut i luften. Kontrollgruppen av trær som stod uten faste dekker over vekstjorda, men isteden med åpen jord, viste bedre vekst av finrøtter enn i ikke-permeable og permeable faste dekker (Viswanathan et al., 2011). Diffusjon er ikke særlig påvirket av porestørrelsen, men

av porevolumet som er luftfylt. Det trengs et visst luftvolum for at diffusjonen skal være høy nok til å ventilere jord. Om porene er små eller store betyr mindre (pers. medd. Trond Børresen).

## 2.5.4 Næringsstoffer

Fruktbarheten til en jord forteller i hvilken grad en jord er i stand til å holde på næringsstoffer og i hvilken grad næringsstoffene er tilgjengelig for planter. Jordas fruktbarhet påvirkes i stor grad av innholdet leire og organisk materiale, og pH (Urban, 2008). Alle høyere planter er avhengige essensielle mikro- og makronæringsstoffer. Det er 6 makronæringsstoffer som plantene trenger i relativt store kvanta og som de tar opp gjennom jorda (i.e. N, P, S, K, Ca, Mg) og 8 mikronæringsstoffer (i.e. B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Cl, Ni) plantene trenger små konsentrasjoner av og tar opp fra jorda hvis begge tas opp gjennom jorda, omformulere? (Aasen, 1997; Urban, 2008). Eksempelvis er konsentrasjonen av nitrogen i en plante 10.000 ganger større enn konsentrasjonen av kopper (Havlin et al., 2005). Til tross for at plantene er avhengig av essensielle næringsstoffer kan overflod i mengden til et gitt næringsstoff være giftig for planter og påvirke vekst og utvikling negativt.

I en standardpakke til analyse av jordbruksjord måles plantetilgjengelig fosfor, kalium, magnesium, kalsium (Eurofins AS), som med unntak av nitrogen er de makronæringsstoffene man finner i størst konsentrasjon i en plante. Vanlige mangelsymptomer er lavt topp/rot forhold grunnet redusert vekst i toppen (fosfor), nedsatt vekt og senere klorose og visning i bladspisser og bladkanter, klorose mellom bladvevet (magnesium), redusert celledeling og nedsatt vekst i delingsvev (kalsium) (Aasen, 1997). Det er demonstrert bedret opptak av fosfor, sink, mangan og kopper som et resultat av symbiose mellom planterøtter og mykorrhizasopp (Raven et al., 2005).

I bymiljø er det funnet at konsentrasjoner av  $K^+$  kan være lavere i jorda til gatetrær enn parktrær (Cekstere & Osvalde, 2013). Alder på treet, og konsentrasjoner av kobber, bor, samt pH er mindre signifikante faktorer for helsen til gatetrær (Cekstere & Osvalde, 2013).

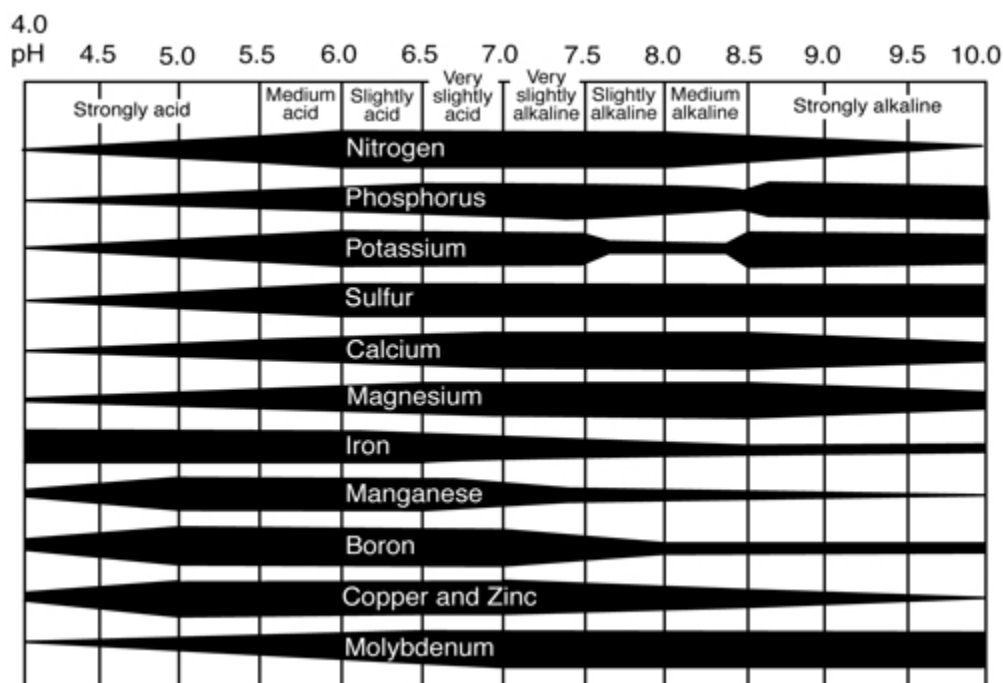
Både jorda til gatetrær og i parker var rike på sink og kobber. Sinkmengder er sterkt korrelert med biltrafikk (Kadi, 2009).



Høyeste konsentrasjoner av kobber og jern der det var der det var trikk. Antyder forurensning fra elektrisk transport pga. nedbrytning av ledninger og skinner og akkumulering av støv.

## 2.5.5 pH

Det hevdes at pH kan være en av de mest signifikante aspektene ved jordkjemi, hva angår plantevekst (Urban, 2008). pH påvirker blant annet trær sin spireevne (Raynal et al., 1982) og tilgjengeligheten til essensielle næringsstoffer. Konsentrasjon av  $H^+$  ioner (pH) påvirker i hvilken grad andre grunnstoffer, inklusive essensielle næringsstoffer, bindes i molekyler, partikkeloverflate eller blir liggende tilgjengelig for opptak i røttene med jordvannet (Havlin et al., 2005).



Figur 1: Sammenhengen mellom pH og tilgjengeligheten av essensielle næringsstoffer. Jo bredere linjen er, jo mer tilgjengelig er næringsstoffet. Hentet fra McWilliams (2003).

Høy pH øker tilgjengeligheten av kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), nitrogen (N), svovel (S), molbyden (Mo) og bor (B), mens tilgjengelighet av jern (Fe), mangan (Mn), sink (Zn), kopper (Cu) og kobolt (Co) øker ved lav pH (Brady & Weil, 2010). Til tross for at tilgjengeligheten til flere næringsstoffer (i.e. Fe, Mn, Zn, Cu og Co) ved svakt

alkalisk miljø er så lavt at planteveksten kan hemmes (Brady & Weil, 2010), er det nettopp pH intervallet 5,5-7.0 som antas å gi best mulighet for næringsopptak på generell basis (Brady & Weil, 2010; Solfjeld & Solfjeld, 2012). Det er viktig å være klar over at optimal pH varierer mellom arter av trær og jord. Vanlige arter til etablering i bymiljø i Norge har følgende optimalt pH intervall: ask og poppel (pH 5,2 - 7+), alm og rødeik (pH 5,2 - 6,8), bjørk, eik og kirsebær (4,8 - 6,5) og furu og gran (4,4 - 5,8) (Brady & Weil, 2010, s. 291).

Opptak av mye aluminium og mangan er spesielt negativt for plantene. Lav pH (pH < 5,2) gjør aluminium tilgjengelig i økende grad, med synkende pH for opptak i røttene (Brady & Weil, 2010). Opphoping av aluminium i røttene skader membraner og hindrer strekning i celleveggen som igjen resulterer i hemmet rotvekst (Aasen, 1997). Mangan, som aluminium, løses lettere ut i jordvannet ved lav pH og blir tilgjengelig i større grad for opptak gjennom røttene med jordvannet ved pH på 5,6 (Brady & Weil, 2010), eller opp mot 6.0 ved vannmettet og pakket jord (Aasen, 1997). Høy konsentrasjon av  $Mn^{2+}$  i rotsonen kan hemme opptaket av jern, mens selve opptaket av mye mangan fører blant annet til at auxininnholdet i planten minker og at transporten av  $Ca^{2+}$  til vekstpunktene blir hemmet, sammen med dannelse av klorofyll (Aasen, 1997).

pH er vanskelig å endre fordi det er knyttet til den fundamentale komposisjonen til jorda (Urban, 2008). Kalk som ikke blandes i jorda, men legges på overflaten bruker relativt lang tid på å påvirke pH lenger ned i jorda. I bymiljø hvor vekstjorda i de fleste tilfeller er dekket med fastedekker, vegetasjon eller stein, vil muligheten for å blande inn kalk i jorda være begrenset. Til tross for dette er det mange reaksjoner og forhold som påvirker pH. Redusert pH oppstår i de fleste tilfeller av at  $CO_2$  reagerer med vann og produserer  $H^+$  og  $HCO_3^-$  (Havlin et al., 2005).  $CO_2$  tilføres jorda gjennom nedbør med atmosfærisk karbondioksid, mikroorganismer som skiller ut  $CO_2$  under nedbryting av organisk materiale, og respirasjon i planterøtter. Planterøtter tar i høyere grad opp næringsstoffer i form av kationer. Dette resulterer i at planterøttene skiller ut  $H^+$  til rhizosfæren for å opprettholde konsentrasjonsnøytralitet, noe som muliggjør videre næringsopptak (Havlin et al., 2005). Vannet som brukes til vanning kan også være en faktor og bør ifølge Urban (2008) undersøkes for pH-verdi. Menge leiremineraler og organisk materiale i en jord avgjør jordas bufferkapasitet og trenger lite tilskudd av kalk for at pH skal øke (Havlin et al., 2005). Til treetablering i Norge er det anbefalt sandbasert jord (Haraldsen, 2010)

I bymiljø er gatetrær ofte etablert i jord under faste dekker av asfalt. Det er målt høyere CO<sup>2</sup> konsentrasjoner i jorda til etablerte trær under faste dekker ved enn jorda til trær etablert uten faste dekker (Viswanathan et al., 2011; Weltecke & Gaertig, 2012). Dette vil trolig være med på å senke pH. Til tross for antagelsene er det målt at jord asfaltdekket medfører økt pH i jorda i forhold til kontrollområder uten fast dekke, trolig som et resultat av at asfalt inneholder sement (Morgenroth et al., 2013). Liyun et al. (2014) målte blant annet pH i fire ulike bymiljøer og sammenlignet med pH i lokal, naturlig jord. Det hevdes at en mulig forklaring på høyere pH i jord i bymiljø er at jorda i bymiljø har høyere innhold av konstruksjonsmaterialer (i.e. betong, murstein og sement) (Liyun et al., 2014; Cekstere & Osvalde, 2013). Sement inneholder Ca(OH)<sub>2</sub>, en sterk base, som nøytraliserer H<sup>+</sup> i jorda og øker pH (Havlin et al., 2005). Der stein og grus dominerer under asfaltdekket oppstår en større økning i pH enn i tilfeller der jord dominerer (Morgenroth et al., 2013). Dette stemmer godt med observasjoner fra Oslo der det i jord under luftig bærelag med 200 mm stein over rotvennlig forsterkningslag ble målt spesielt høy pH, uten at det ble observert negativ virkning på trærne (Pedersen, 2002).

## 2.5.6 Avisingskjemikalier

Det finnes flere ulike avisningskjemikalier (e.g. natriumklorid (NaCl), kalsiumklorid (CaCl<sub>2</sub>), Magnesiumklorid (MgCl<sub>2</sub>), kaliumklorid (KCl)) med individuelle fordeler og ulemper (Jull, 2009). Saltet som benyttes til avising av veier i vintersesongen i Norge består primært av natriumklorid (NaCl), også kalt bordsalt. Natriumklorid er lett tilgjengelig og billig, noe som antas å være hovedgrunnene til den hyppige bruken. Natriumklorid er ikke giftig for planter før planter eksponeres i relativt høye konsentrasjoner. Svært høye konsentrasjoner forekommer under vinterdrift av veier da salting benyttes i store kvanta for å smelte is og snø og trygge fremkomsten til gående, syklister og bilister. Statens vegvesen har rapportert en økning i saltforbruk på 4,4 % fra sesongen 2012/2013 til 2013/2014 og en lineær økning gjennom de 10 årene (SVV, 2013). I løpet av vintersesongen (oktober til mai) i 2013 har vinterdrift av riks- og fylkesveier i 2013 krevd 214.000 tonn salt (inkludert salt i strøsand) (SVV, 2013). Over 200.000 tonn ble brukt til å salte riks- og fylkesveier, mens i underkant av 2000 tonn ble brukt til å salte gang- og sykkelvei. Langs riksveiene ble det i løpet av sesongen 2013/2014 benyttet i gjennomsnitt 9,3 tonn salt per kilometer (SVV

2013). Mengdeforholdet tilsvarer i underkant av 10 kg salt per meter. Det er store forskjeller i behov for salting mellom veistrekning med ulike kvaliteter og mellom ulike år på bakgrunn av forskjeller i klima. Det er påvist at salting av vei har miljøskadelige effekter på flora og fauna i innsjøer, salting fører til saltopphoping i grunnvann, og skader på vegetasjon og jord (Statens vegvesen, 2012X). Lignoser er antatt mer utsatt for saltskader enn planter som ikke er lignoser (Havlin et al., 2005) og unge trær er observert mer utsatt enn større trær (Pedersen, 2007).

Saltskader oppstår i trær på en av to måter (1) ved at salt beveger seg fra veien og veikanten med smeltevann og nedbør inn i jorda der det oppstår høye konsentrasjoner av salter (avrenning), eller (2) ved at saltpartikler sprutes eller virvles opp av trafikk og vind, og legger seg på og rundt trærne (saltsprut). En liste over saltsprutskader på løvfellende planter av Jull (2009) inkluderer blant annet forsinket knoppsskyting, redusert bladstørrelse og skuddvekst, misfargede blader, randnekrose, knoppdød og abnormal grenvekst, *heksekost* (som følge av brudd på apikal dominans skyter sovende knopper og danner tett grenvekst rundt tuppen av grenen) og tynning i trekrone. Skader fra salt på trær oppstår ved at salt legger seg på knopper og andre overflater eller ved en opphopning av salt i jorda og opptak fra røttene og akkumulering av salt i planten.

Fordi nyetablerte trær er mindre enn større trær er det verdt å merke seg at langs bilveier med høye fartsgrenser er skadene fra saltsprut størst på de laveste grenene, mens grener over saltsprutgrensen ikke viser tegn til skader eller er mindre skadet (Rose & Weber, 2011). Fostad & Pedersen (2000) viste i et forsøk at saltskader i trær påvirkes i stor grad av vekstmediet.

En studie i Riga (Latvia) av jordkarakteristikk sin påvirkning på gate- og parktrær viste flere målte høyere konsentrasjoner av Na og Cl i gatevegetasjon enn i parkvegetasjon etter vinteren og avtagende nivåer av både Na og Cl utover sommeren (Cekstere & Osvalde, 2013). Området med lavest Cl og Na konsentrasjon lå lengst fra veien (ca. 3,5 m) og hadde de mest vitale trærne. Cl nivåene avtok i større grad enn Na utover sommeren trolig fordi anioner lettere vaskes ut av jorda enn kationer.

## 2.5.6.1 Saltsprut

Observerte skader på trær forårsaket av saltsprut er blitt registrert langs hovedveistrekninger på Østlandet i Norge våren 2003 og 2006 (Pettersen, 2007). Registreringene av saltskader viste at skadene har klar gradient i forhold til veibanen, at arter påvirkes ulikt, at lokale vindforhold synes å spille stor rolle og at unge trær er særlig utsatt. Observerte skader på løvtrær var tilbakedøing av fjorårets årsskudd helt eller delvis, skader på kambium i ytre del av skuddet og døde knopper. En mulig forklaring er at saltet når levende vev gjennom bladarr (Sucoff, 1975, funnet i Rose & Weber, 2011). Basert på observasjonene hevdes det at knoppene er den mest saltfølsomme delen av treet delen (Pedersen, 2007). Unormal forgreining var et resultat av gjentatte skader i krone hos løvtrær. Det ble observert store variasjoner både mellom årene og mellom fartsgrenser. Bjørk, eik og sommereik i et område med fartsgrense 80-100 km langs E6 var uskadd ved 20 meter, men skadet i ulik grad ved 15 meter i 2003. I 2006 var skadeomfanget på de samme trærne moderat ved 20 meter. På strekninger med de høyeste fartsgrensene ble det påvist totalskadd bjørk fra saltskader ved blant annet 20 og 30-35 meter fra veibanen og ved flere tilfeller sterkt skadd bjørk fra saltskader ved ca. 50-70m fra veibanen. Det er i flere tilfeller funnet at avstand fra veien korrelerer med omfanget av saltskadene og at mindre trær er mer utsatt for skade (Pedersen, 2007). Symptomer på trær fra saltsprut er undersøkt av flere forfattere og oppsummert av Pedersen & Gjems (1996, s.5):

*«Direkte saltsprut: gir misfarging av nåler og bladverk, ofte bare på den ene siden av busken/treet. Etterhvert utvikles nekroser (dødt ved) i de misfargede delene. Nekrosene utvikles vanligvis i bladrande, men de kan også være noe uregelmessige. Brune, døde nåler faller etterhvert av. I forbindelse med veistalting rammes særlig nåletrær og vintergrønne arter, men også lauvfellende arter kan få betydelig skade. Både knopper og kambium (vekstlaget under barken) kan bli skadd eller drept. Resultatet kan bli forsinket lauvsprett eller døde greiner. Direkte saltsprut fra vei gir vanligvis ensidig skade hos større individer både av vintergrønne og lauvfellende arter. Små individer kan dø.»*

Som et mulig tiltak mot sprutskader fra veisalting er det forsøkt spyling/dusjing av trekronen til lite salttolerante *Betula* spp. hver uke fra november til april uten at det ble observert redusert effekt på skade fra saltsprut på trærne (SVV, 2010). I dette tilfellet ble det målt klorid (Cl<sup>-</sup>) nivåer på 11 % tørrstoff for både behandlede trær og referansetrær. Målte nivåer var lavere i trær lengre fra veien. Eurofins AS angir nivåer av natrium for høyt ved > 50 mg/100g og ingen av jordprøvene overskred disse verdiene. Lokale forskjeller kan være store, for i en registrering ble det målt dobbelt så høye natriumverdier i vekstjordlaget på sørsiden av en riksvei enn på nordsiden (SVV, 2010). Natrium nivået i jordprøvene var høyere i referansefelt enn i felt som ble spylt.

### 2.5.6.2 Avrenning

Symptomene på opptak av salt gjennom rota er også beskrevet av Pedersen & Gjems (1996, s. 5) på bakgrunn av undersøkelser av andre forfattere:

*«Saltoptak gjennom rota gir misfarging (klorose) i bladranda. Det utvikles en typisk bladrandskade i form av nekrotisk sone som gradvis øker i bredde. Hos nåletrær brunfarges nålene i spissen mot basis før de etterhvert faller av. Ved sterke skader kan alle eldre nåler bli drept, mens nyutviklede årsskudd er grønne. ed saltoptak gjennom røttene fordeles skaden seg jevnt på planten, følger et spiralmønster eller rammer enkelte greiner særlig sterkt. Slike skader forverrer seg vanligvis utover sommeren, særlig under tørre forhold. Ved langvarig eller særlig sterk påvirkning dør etterhvert greiner av økende størrelse og i verste fall hele treet.»*

Salter, eller ioner, i jord består stort sett av de akkumulerte kationene Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> og Mg<sup>2+</sup>, og anionene Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, og CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (Havlin et al., 2005). I jord vaskes anioner raskere ut enn kationer fordi spesielt leirpartikler og organisk materiale i form av humus har negativ overflate der kationer bindes fast i med ulik styrke, mens anionene oftere er løst i jordvannet eller bundet i molekyler som følger vannstrømmen (Hillel, 2005). Dermed blir Cl<sup>-</sup> fra vintersalting med natriumklorid lettere vasket ut enn Na<sup>+</sup>. Konteinertrær (norsk

gran) dyrket i jord med ulik tekstur og utilstrekkelig drenering fikk større skader av tilført natriumklorid i sandjord enn i jord med mindre kornstørrelser (Fostad & Pedersen, 2000). Ionekonsentrasjonene ble målt høyere i sand, trolig som et resultat av redusert drenering i konteinerne og sand sin dårlige bufferevne. I lærebok om fruktbarhet og gjødsling av jord hevdes det at natrium er spesielt skadelig fordi natrium både er giftig for planten ved høye konsentrasjoner og har negativ innvirkning på jordstruktur. Der  $\text{Na}^+$  opptar en høy prosentandel av kation-bytte-kapasiteten (CEC) grunnet høy konsentrasjon  $\text{Na}^+$  resulterer det i at jordaggregater oppløses, det blir reduksjon i dannelsen av nye naturlige aggregater og lite gunstig jordstruktur for plantevekst. Jord som påvirkes på denne måten har dårlig vannledningsevne og det dannes en hard jordskorpe der vann blir liggende på overflaten over lengre tid (Havlin et al., 2005 s. 81). Høye konsentrasjoner av Na kan påvirke opptaket av andre essensielle næringsstoffer i kationform, som  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$ . Når Na bytter plass med Ca på overflaten til jordpartikler kan økning i pH forekomme (Cekstere & Osvalde, 2013).

For å illustrere at variasjon i vannpotensial fører til transpirasjonen er det anslått at jordvannet har vannpotensial på omkring -0,3 bar, mens røttene har vannpotensial på -3 bar (Hillel, 2004). Vann og salter beveger fra høyere til lavere vann- og osmotiske potensial, med andre ord fra mindre negativt til mer negativt. Redusert osmotisk potensial på grunn av økning av salter i jordvannet reduserer vannpotensialet i jordvannet (Hillel, 2004; Havlin et al., 2005). Redusert vannpotensial i jordvannet fører til redusert evne til vannopptak av jordvann i røttene fordi forskjellen i vannpotensialet mellom jordvannet og planterøttene reduseres. I de tilfellene det osmotiske potensialet blir lavere i jordvannet enn i cellene, vil vann fra cellene trekke ut av cellen (plasmolyse) (Havlin et al., 2005). Høy konsentrasjon av salter i jordvannet fører til at mer salter blir tatt opp i planten og transportert til bladene, der de kan nå nivåer som er skadelig. Opphoping av  $\text{Cl}^-$  fra veisalt tas opp i rotsonen gjennom røttene eller i luften gjennom bladene (Aasen, 1997).  $\text{Cl}^-$  fra salt i jorda tas opp i løvfellende trær og akkumuleres i knopper og grener i dvale og konsentrasjonene er målt å være høyest like før knoppsprett (Lumis et al., 1976). Dette kan være en av grunnene til knoppdød og sen bryting av skudd på våren. I forsøk av Fostad & Pedersen (2000) ble det målt signifikant høyere  $\text{Cl}^-$  opptak under tørkeperioder sammen med en økning i bladskader og høydevekst. Lignoser er mer utsatt for økte saltkonsentrasjoner som lett kan føre til

omfattende sviskader (eng. leafburn), redusert vekst og mørkere grønnfargede blader (Havelin et al., 2005). Høye konsentrasjoner av  $\text{Na}^+$  har negativ effekt på cellene i planterøttene. Økning i  $\text{Na}^+$  og  $\text{Cl}^-$  forekommer spesielt under tørkeperioder og resulterer i dehydrering i rotvevet og økt opptak. Dette stemmer godt med funn gjort av Fostad & Pedersen (2000). I tilfeller der utbyttbart  $\text{Na}^+$  er over 15 % kan  $\text{Na}^+$  ta plassen til  $\text{Ca}^{2+}$  i cellemembraner som øker den membrane permeabiliteten og øker transport av ioner inn og ut av cellene som i enda større grad fører til dehydrering av cellene (Havelin et al., 2005). Hva angår  $\text{Cl}^-$  anionet er det antatt mindre giftig for planter enn  $\text{Na}^+$ , men lignoser er også mer sensitive mot  $\text{Cl}^-$  enn planter som ikke er lignoser (Havelin et al., 2005). Klor blir tatt opp gjennom røttene som klorion ( $\text{Cl}^-$ ), opptaket går raskt og er avhengig av konsentrasjonen i jordvæsken. Høye konsentrasjoner av  $\text{Cl}^-$  i rotsonen kan hemme opptaket av  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  (Aasen, 1997). En viktig faktor er K:Na ratio i jorda (Cekstere & Osvalde, 2013). De sunneste trærne en studie hadde høye konsentrasjoner av  $\text{K}^+$  og lave konsentrasjoner av  $\text{Na}^+$  (Cekstere & Osvalde, 2013). Antyder at konsentrasjoner mellom 100-200 mg/kg K kan være for lite i områder det er høye Na konsentrasjoner. Fordel å gjødsle med K gjødsel, spesielt om våren i sandjord. Om  $\text{Na} > \text{K}$  kan det føre til forstyrrelse av næringsopptak og negativ effekt på fysiologisk status. Optimal K:Na status bør være 2-2,5:1 (Cekstere et al., 2005). Ifølge Hootmat et al., 1994 er 250 mg/kg Na i jord kritisk grense for de fleste trær.

For å minske saltskader på trær langs veg fra vinterdrift anbefales det å (Jull, 2009):

- plante salttolerante arter
- plante trærne i bed hevet fra vegen slik at saltholdigvann renner vekk fra trærne istedenfor ned i jorda der trerøttene befinner seg
- sette opp fysiske barrierer som reduserer saltsprut
- unngå å brøyte saltrik snø slik at saltholdig snø blir liggende i områder der det vokser trær
- under varme perioder under vinteren, spyle av planter for å fjerne salt som ligger på knopper før de bryter
- vanne jorda godt tidlig om våren for å vaske ut saltet fra rotsonen



## 2.5.7 Jordvolum

Under bakken konkurrerer jordvolum til etablering av trær med blant annet vann- og avløp, ledninger til elektrisitet og telefon, fjernvarme, styringskabler for trafikklys og stikkledningsnett. Haraldsen & Lundetre (2014) fant redusert jordvolum ved flere gatetrær som et resultat av blant annet et stort bakstøp til kantstein og kabler i bakken. Jordvolumet til treetablering i bymiljø kan være så lite at det ikke er hensiktsmessig til etablering av trær. Det er hevdet at jordvolum til rotvekst ofte er begrenset til den faktiske plantegropen i Danmark (Krifstoffersen, 1999). Lite jordvolum gjør at rotvekst blir hemmes og jorda fort tørkes ut (Kopinga, 1993), og at røttenes hovedsakelige horisontale vekst blir hemmet (Urban, 2008). Når trærne overlever etableringsperioden til tross for lite jordvolum kan dette resultere i at rot/topp forholdet reduseres etterhvert som kronen vokser og røttene hindres i vekst. Et lavt rot/topp forhold kan gjøre stresstoleransen til treet dårligere (Kristoffersen, 1999). Nøyaktig størrelse på jordvolum et tre trenger for å etablere seg varierer mellom artene og det lokale miljøet. Urban Horticulture Institute på Cornell University i USA har utviklet en metode til beregning av mengden jordvolum som oppfyller intensjonene til plantingen. Metoden er også omarbeidet til danske forhold av Randrup (1996). Faktorene bladarealindeks (BAI) og kronestørrelse, evaporasjon og transpirasjon i utregningsmodellen anslår treet vannbehov. Med utgangspunkt i vannbehov og plantetilgjengelig vannmengde beregnes nødvendig jordvolum og til slutt finner man plantehullstørrelsen. Utregningen er grov og tar ikke hensyn til ulikheter i blant annet rot/topp forhold eller kvaliteten på jorda. Sanders & Grabosky (2014) undersøkte trivsel og vekst av trær på parkeringsplasser med ulikt jordvolum i New Jersey. De hevder det er urimelig å anta at trær som plantes på parkeringsplasser har samme vekst og trivsel eller vil nå de samme størrelsene som park og skogtrær. I undersøkelsen hadde økende jordvolum og åpen jord positiv påvirkning på størrelsen til trærne 18-23 år etter planting. De største trærne stod på enden av parkeringsplasser der jord ikke var begrensende faktor. Sanders & Grabosky (2014) hevder på bakgrunn av registrering av kronestørrelse og stammediameter at veksten til trær reduseres når det er mindre enn  $20\text{m}^2$  jordoverflate, som er typisk for en lineær stripe som er 2 meter bred og det er plantet med 10 m avstand. For at trær skal nå sin potensielle størrelse er de avhengig av tilstrekkelig tilgang på jord.

## 3 Jord til etablering av trær, casestudier i Oslo

### 3.1 Metoder og materialer

#### 3.1.1 Områdeinndeling

På Ris-Gaustad, Sørenga og Ulven-Sinsen i Oslo er det relativt nyetablerte treplantinger i veimiljø. Statens vegvesen har vært byggherre og anleggene er valgt ut i samarbeid med Statens vegvesen, Region Øst, Veg- og gateplanlegging. Et område med nyetablerte trær ved Nydalen t-bane stasjon ble også valgt. Nydalen, Ris-Gaustad og Ulven-Sinsen ligger alle langs Ring 3 i Oslo, mens Sørenga er lokalisert etter en avkjørselsrampe langs E18 ved Gamlebyen i Oslo. Etter en befaring valgte jeg ut delområder innenfor disse større anleggene representert av nyetablerte trær.

*Delområde 1: Sørenga – Kongshavnveien (59,900868 10,758789)*

Trerække med spisslønn (*Acer platanoides*), dekke av bark rundt stammene, ellers dekket av gress.

*Delområde 2: Ris-Gaustad Haug (59,945767 10,710859)*

Fire trær i en lund på en haug med flat topp, dekke av bark rundt stammene, ellers dekket av gress.

*Delområde 3: Ris-Gaustad Bakke (59,945915 10,711385)*

Trerække av spisslønn (*Acer platanoides*) i en skråning, dekke av bark rundt stammene, ellers dekket av gress og kløver.

*Delområde 4: Ris-Gaustad Profil (59,945915 10,711385)*

Samme som Ris-Gaustad Haug, men er delområdet er lokalisert mellom fire trær, altså ikke i den umiddelbare vekstsonen til trerøttene. Dekke av gress og kløver.

*Delområde 5: Ulven-Sinsen Rabatt (59,92781 10,807171)*

Trerække i rabatt på  $\approx 1$  m bredde. Overflate av jord i rabatten og asfalt på hver side.

*Delområde 6: Ulven-Sinsen Bed (59,928221 10,807663)*

Trær i et buskfelt. Dekke av bark rundt stammene og rundt buskene.

*Delområde 7: Nydalen togstasjon (59,951493 10,77409)*

Spredt samling av trær ved Rolf Wickstrøms vei. Barkdekke rundt stammene, ellers grasdekt.

## 3.1.2 Teksturanalyse ved NMBU

Det ble tatt ut 14 prøver til teksturanalyse ved hjelp av jordbor med edelmann spiss (Dutch auger) høsten 2013. Hver prøve bestod av fem-seks stikk i jorda omkring 50 cm fra stammen til to trær per område. Prøvene ble tatt fra 5-10 cm dyp, og i ett tilfelle 15-20 cm (Ris-Gaustad Profil). Omkring hvert femte stikk, varierende mellom områder, måtte avbrytes fordi borene traff stein eller grus i jorda.

Jordprøvene til teksturanalyse ble tørket i tørkeskap. Fast materiale med diameter større enn to millimeter (grus) ble silt ut av prøvene ved å knuse aggregater over en sil med to millimeter store hull. Jordprøvene ble veid før og etter siling og vektprosentandel av materiale over to millimeter ble regnet ut ved  $vekt > 2\text{ mm} \times 100 / totalvekt = vekt\%$

En mulig feilkilde er at flere av prøvene inneholdt svært kompakt leire. På grunn av leirens plastiske egenskaper ved tørking kunne den svært harde sammensetning være vanskelig å knuse. Det kan i noen tilfeller ha medført at harde leirklumper er blitt oppfattet som grus.

Syv av prøvene ble valgt til videre teksturanalyse der forholdet mellom fraksjonene sand, silt og leire ble undersøkt. Det ble valgt ut en prøve fra hvert område/delområde. De utvalgte prøvene var tatt fra maksimalt 20 cm dybde. Kornfordelingsanalyse ble utført etter pipettemetoden (Krogstad et al., 1991) i jordlaboratoriet ved NMBU. Metoden baserer seg på en kombinasjon av sikting og fraksjonering med bakgrunn i teoretisk fallhastighet til en kuleformet partikkel i vann (Stokes Lov). For en detaljert beskrivelse av metoden les *Manual for kornfordelingsanalyse etter pipettemetoden* (Krogstad et al., 1991).

En annen teksturanalyse ble utført av Eurofins AS av jord fra de samme delområdene tatt ved et annet tidspunkt (se del 3.1.4 og 3.2.3).

## 3.1.3 pF-analyse

Til *pF-analyse* av jorda ble det gravd ut 24 sylinderprøver høsten 2013, der hver prøve bestod av tre parallelle prøver. Uttak av sylinderprøver ble utført etter *Øvelse 5* i Børresen & Haugen (2003). Kategoriene Høy og Lav (i.e. Sørenga Høy/Lav og Nydalen Høy/Lav) refererer til vurdert helhetsinntrykk til trærne jordprøvene ble tatt fra.

For å finne porestørrelser, porevolum og vannets bindingsenergi (pF-kurve) ble jordprøvene fra de ulike områdene plassert trykkammer på keramiske plater. Metoden for forsøkene er beskrevet i Øvelse nr. 13 i Børresen & Haugen (2003).

pF-analyse ble utført på laboratoriet for jordfysiske prøver ved NMBU. Syllinderprøvene ble utsatt for sug tilsvarende 0,02 bar, 0,05 bar, 1 bar og 3 bar, henholdsvis pF1,2, pF1,7, pF2 og pF3 på keramiske plater i trykkammer. Etter at jordprøvene var kjørt til 0,05 bar ble luftinnholdet bestemt ved hjelp av lufttryknometer etter Øvelse 7 i Børresen & Haugen (2003). Kjøring av prøvene ved 15 bar (pF4,2) ble utført i et annet trykkammer, der jord fra sylindrerprøvene ble lagt i mindre plastringer og satt på keramiske plater, metoden står beskrevet i Øvelse nr. 13 i Børresen & Haugen (2003). Relevante beregninger og utfyllende forklaring til beregningene er hentet fra Øvelse nr. 13 i Børresen & Haugen (2003) og i Børresen (2011) og inkluderer:

$$\text{vol\% vann ved } X \text{ bar} = \text{vekt ved } X \text{ bar} - \text{tørrvekt}$$

For sylindrerprøvene er vekt% = vol-%, fordi hver sylinder rommer  $100 \text{ cm}^3$  og vann sin tetthet er tilnærmet lik  $1 \text{ g/cm}^3$ . Ett gram vekttap av vann fra en sylinder tilsvarer en  $\text{cm}^3$ .

$$\text{Totalt porevolum} = \text{vekt ved metning} - \text{vekt etter tørking}$$

Ved å først fylle alle porene med vann (mettet jord) og så tømme porene med jord (tørking) kan man ut ifra forskjell i vekt beregne porevolum.

$$\text{Jordtetthet} = (\text{tørrvekt} - \text{TARA}) * 100$$

f.eks. sylindrer 938: jordtetthet =  $250,7 - 152,3 = 98,4 / 100 = 0,984$

$$\text{vekt\%} = (M_{vs} - MT) / (MT - M_{tara}) * 100$$

$M_{vs}$ : vekt av prøve ved pF4,2

MT: vekt av prøve etter tørking

$M_{tara}$ : vekt av plastboks

Fordi forsøk med trykk på 4,2 bar ikke ble utført i  $100 \text{ cm}^3$  sylindere må først vekt% av vann beregnes og omgjort til vol%:

$$\text{Vol\%} = \text{vekt\%} * \text{jordtetthet}$$

### 3.1.4 Kjemisk analyse

De seks jordprøvene til kjemisk analyse ble alle tatt ut med jordbor med tynn spiss (small-bore sampling tube) ved 5-30 cm dybde tidlig våren 2014. Prøvene ble blandet i en bøtte og lagt i standard Eurofins AS pappesker markert med jorddybde og prøvelokasjon.

Pappeskene med jordprøver ble sendt til Eurofins AS for analyse. Det ble bestilt analysepakke 1, som inkluderer analyse av jordart (teksturanalyse), moldklasse, leirklasse, pH, tilgjengelig fosfor (P-AL), kalium (K-AL), kalsium (Ca-AL), magnesium (Mg-AL) og natrium (Na-AL). I tillegg til analysepakke 1 ble det bestilt undersøkelse av kobber (Cu) verdier i jorda. På internetthjemmesidene til Eurofins finnes en veileder til jordanalyser som kan leses for mer detaljert beskrivelse av kjemiske jordanalyser (Eurofins AS, 2014).

Det ble ikke foretatt analyse av nitrogeninnhold til tross for at et balansert nitrogeninnhold er viktig for plantevekst. Kostnadene tilknyttet nitrogenanalyse er høye og prøvetakingsprosessen er krevende. Dersom mer midlene hadde vært tilgjengelig kunne man med fordel også bestilt analyse av nitrogeninnhold i jorda.

## 3.2 Resultater

### 3.2.1 Teksturanalyse

#### Grus

Resultatene fra prøvene viser at det er varierende mengde grus i jordprøvene (se tabell 4). Det varierer fra 11,5 vekt% på 5-20 cm dyp på Sørenga til 30,9 vekt% i Ris-Gaustad Bakke. Resultatene viser en tendens mot relativt små sprik innad i anleggene og større sprik mellom anlegg. Sørenga har klart lavest grusfraksjon med 11,5 på 5-20 cm dybde og 13,7 vekt% på 50-100 cm dybde. Ris-Gaustad har høyest grusfraksjon målt i vekt% og er det eneste anlegget med grusfraksjon over 30 målt i vekt%. De to områdene på Ris-Gaustad anlegget har tilsammen tre av fem målinger grusfraksjon på over 30 vekt%

## Sand

De jordprøvene det ble utført videre teksturanalyse etter pipettemetoden på inneholdt relativt store mengder sand. Det minste innholdet av sand ble målt i jord fra Ulven-Sinsen Rabatt og var på 60,5 vekt%. Høyest vekt% sand ble målt i jord fra Nydalen til 75 vekt%.

Sanden består i stor grad av fin og middels fin sand. Andelen grov sand er på det høyeste 11,2 % (Ulven-Sinsen Bed), mens den høyeste andelen fin sand er 38,8 % (Sørenga) og den høyeste andelen middels sand er 42,3 % (Nydalen). Kumulativ fordeling av kornstørrelser i prosent kan leses av i tabell 5. Ifølge den norske jordartstrekanten tilhørte alle jordprøvene jordarten siltig sand. For å bli definert som en sandjord må jorda inneholde mer enn 50 % sand, og en siltig sand inneholder mellom 50 og 85 % sand (Børresen, 2004).

## Silt

Siltig sand inneholder som nevnt mellom 50 og 85 % sand, men den inneholder også mellom 15 og 50 % silt. Mest silt ble målt i jord fra Ulven-Sinsen Rabatt til 36,3 vekt % og lavest innhold silt ble målt til 20 vekt% i jord fra Nydalen og 23,6 vekt% fra Ris-Gaustad Bakke.

## Leire

Leirmengden har et spenn fra 1,7 % ved Sørenga til 6,6 % i prøve fra Ris-Gaustad Haug

Tabell 5. Kumulativ fordeling av kornstørrelse i prosent fra jordprøver i flere grøntanlegg.

Prøve ID	Dybde (cm)	<0,002 (mm)	<0,006 (mm)	<0,02 (mm)	<0,06 (mm)	<0,2 (mm)	<0,6 (mm)	<2 (mm)
		Leire		Silt			Sand	
			Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov
<b>Sørenga</b>	5-20	1,7	4,1	8	27,2	66,0	96,9	100
<b>Ris-Gaustad Haug</b>	5-10	6,3	8,0	14,7	35,8	56,9	88,3	100
<b>Ris-Gaustad Profil</b>	5-20	3,7	7,3	12,9	30,9	51,8	86,5	100
<b>Ris-Gaustad Bakke</b>	5-10	2,3	4,7	11,5	25,9	44,6	83,7	100
<b>Ulven-Sinsen Rabatt</b>	5-20	3,2	7,8	16,6	39,5	59,1	88,1	100
<b>Ulven-Sinsen Bed</b>	5-20	3,3	6,4	14,1	32,6	52,8	82,8	100
<b>Nydalen</b>	5-10	4,8	9,2	14,2	25,0	49,5	91,8	100

Tabell 6. Jordart og vektprosent av grus (>2mm). Leire (>0,002 mm), silt (0,002-0,06 mm) og sand (0,06-2 mm) for de prøvene som det ble utført teksturanalyse på etter pipetteметоден (Krogstad et al., 1991). Jordart er bestemt etter Norsk jordartstrekant (Sveistrup & Njøs, 1984) og Food and agricultural organization of the United Nations (FAO) 1990/2006.

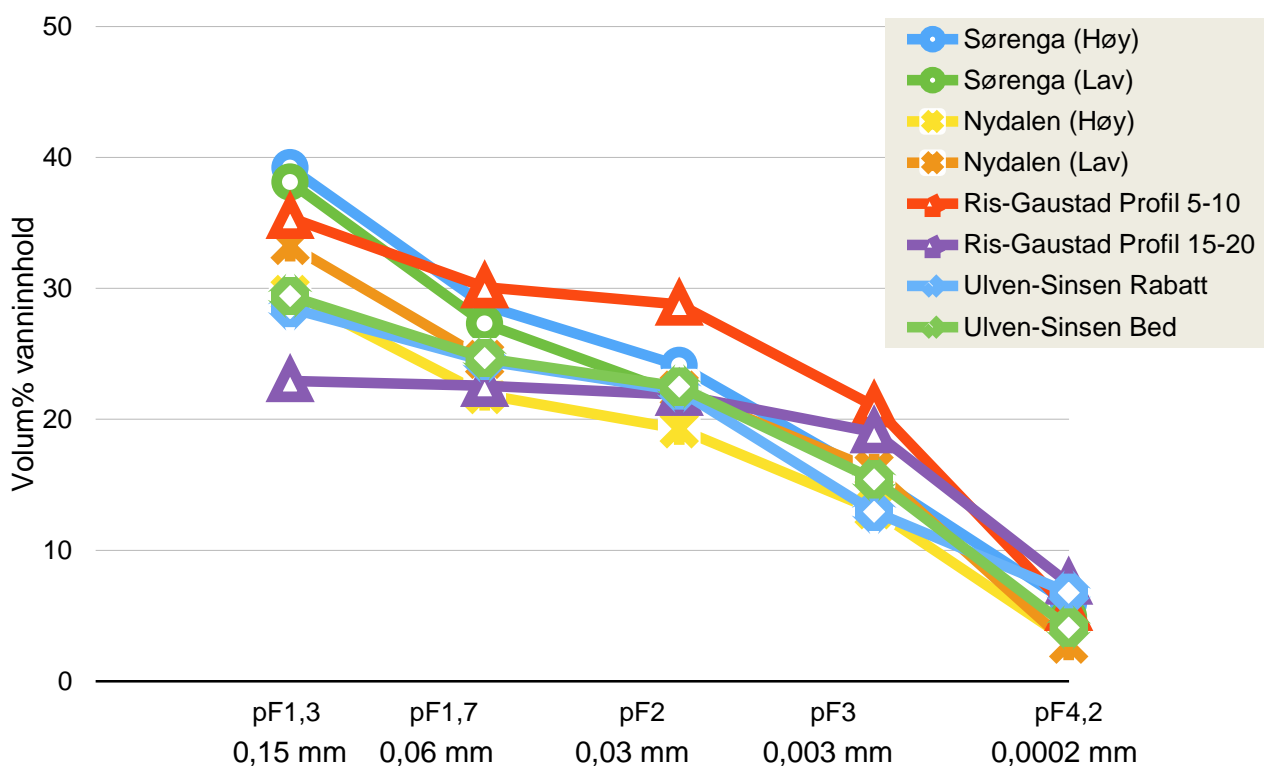
Område	Dybde (cm)	Grus (vekt%)	Leire (vekt%)	Silt (vekt%)	Sand (vekt%)	Jordart *	Jordart **
Sørenga	5-20	11,5	1,7	25,5	72,8	Siltig sand	Loamy sand
Sørenga	50-100	13,7					
Ris/Gaustad Haug	5-10	31,2	6,3	29,5	64,2	Siltig sand	Sandy loam
Ris/Gaustad Haug	30-50	30,8					
Ris/Gaustad Profil	5-20	26,2	3,7	27,3	69,1	Siltig sand	Sandy loam
Ris/Gaustad Bakke	5-10	23,6	2,3	23,6	74,1	Siltig sand	Loamy and
Ris/Gaustad Bakke	30-50	30,9					
Ulven-Sinsen Rabatt	5-10	27,9					
Ulven-Sinsen Rabatt	5-20	27,4	3,2	36,3	60,5	Siltig sand	Sandy loam
Ulven-Sinsen Rabatt	20-40	27,7					
Ulven-Sinsen Rabatt	30-40	28,0					
Ulven-Sinsen Bed	5-20	25,9	3,3	29,3	67,4	Siltig sand	Sandy loam
Nydalen	5-10	23,5	4,8	20,2	75,0	Siltig sand	Loamy sand
Nydalen	5-20	20,1					
*Jordart bestemt etter norsk jordartstrekant (Sveistrup & Njøs, 1984)							
** Jordart bestemt etter FAO 1990/2006.							

## 3.2.2 pF-analyse

Sylinderprøver av jord dominert av sand var problematiske å behandle. Jorda hadde lett for å synke sammen under bearbeiding (i.e. vannbad og kjøring av ulike sug). Sylinder 809 og 888, begge fra Sørenga (Lav) sank så mye sammen at det ikke var mulig å fortsette testene etter prøvene var utsatt for sug på 50 cm H<sub>2</sub>O. Dermed består Sørenga (Høy) kun av en sylinderprøve og er mer utsatt for et tilfeldig resultat enn de andre områdene.

pF kurven er ment å gi en grov oversikt over tilgjengelig vanninnhold i jorda basert på porestørrelser. For spesifikke verdier se vedlegg 1.

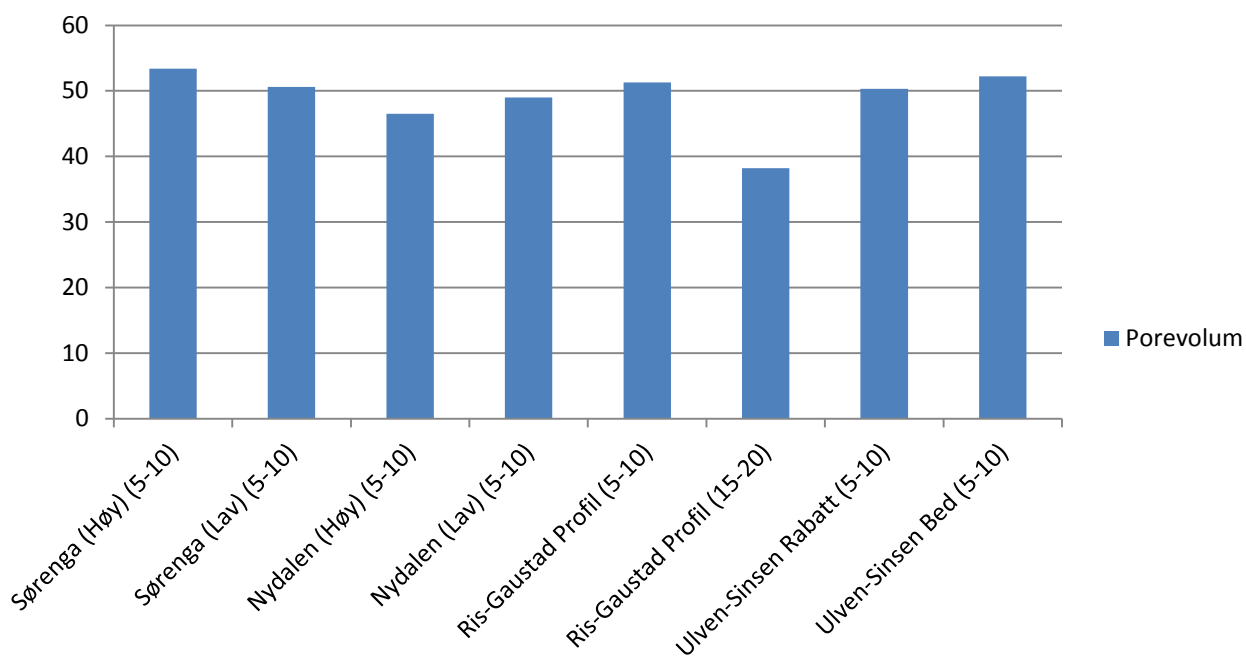
Resultatene viser at det er varierende mengde (vol%) vanninnhold i jord fra forskjellige grøntanlegg. I alle prøvene er det mindre enn 8 vol % porer tilknyttet porestørrelser mindre enn eller lik 0,0002 mm. I tilfellet Nydalen (Høy) er det i snitt 2,82 vol%. pF4,2 er den porestørrelsen nærmest tilknyttet jordpartikler innenfor leirfraksjonen (Børresen, 2004).



Figur 2: pF-analyse av jord til etablering av trær i bymiljø i Oslo. Høy og lav viser til kvalitet på treet jordprøven er tatt basert på en subjektiv vurdering av helhetsinntrykket til treet.



Vanninnhold i vol% ved feltkapasitet (pF2) varierer i litt større grad. Ris-Gaustad (5-10) har i gjennomsnitt 28,8 vol% vanninnhold, mens Nydalen (Høy) og Ulven-Sinsen Rabatt hadde lavest vanninnhold ved feltkapasitet med tilnærmet lik 13 vol%. Tilgjengelig vann i porer tilsvarer vann i vol% mellom pF2 og pF42 og er avrundet til nærmeste hele prosent som følger: Sørenga (Høy): 18 vol%, Sørenga (Lav): 17 vol%, Nydalen (Høy): 16 vol%, Nydalen (Lav): 19 vol%, Ris-Gaustad Profil (5-10): 23 vol%, Ris-Gaustad Profil (15-20): 14 vol%, Ulven-Sinsen Rabatt: 15 vol% og Ulven-Sinsen Bed: 18 vol%. Resultatene viser at tilgjengelig vann varierer mellom 23 % på det høyeste og 14 % på det laveste.



Figur 3. Porevolumanalyse av jord til etablering av trær i bymiljø i Oslo. *Totalt porevolum = vekt ved metning – vekt etter tørking.*

Gjennomsnittlig porevolum fra de tre parallelle prøvene fra hvert område viser at tilnærmet lik halvparten av volumet i jorda består av porer. Porevolum er lavest i jord fra Ris-Gaustad Profil (15-20) med 38,2 % og høyest i jord fra Sørenga (Høy) (15-20) med 53,4 %.

### 3.2.3 Kjemisk analyse

Resultatene benyttes sammen med *Veileder til jordanalyser* (Eurofins AS, 2014).

Resultatene viser at jorda til treetablering fra de ulike områdenes t hovedsakelig er siltig sand (se tabell 7).

Tabell 7. Resultater av jordanalyser. Merking 1 = Sørenga, 2 = Ris-Gaustad Haug, 3 = Ris-Gaustad Bakke, 4 = Ulven-Sinsen Rabatt, 5 = Ulven-Sinsen Bed og 6 = Nydalen.

Tolkes ved hjelp av Eurofins AS sin *Veileder til jordanalyse*, hentet fra:

[http://www.eurofins.no/media/7322159/veiledertiljordanalyser\\_sept\\_2012.pdf](http://www.eurofins.no/media/7322159/veiledertiljordanalyser_sept_2012.pdf)

Merking	Skifte	Volumvekt kg/L	Jordart	Leirklasse	Mold %	Moldklasse	pH	P-AL mg/100g	P-klasse	K-AL mg/100g	K-klasse	Mg-AL mg/100g	Ca-AL mg/100g	Na-AL mg/100g	Glødetap % TS	Kopper mg/kg
1		1.3	2	1	3.8	2	7.8	8	C1	5	1	9	180	21	3.8	1.9
2		1.1	5	2	5.9	3	6.4	7	B	9	2	12	150	<6	6.9	2.0
3		1.2	5	2	4.3	2	7.4	16	D	8	2	9	150	19	5.3	4.4
4		1.2	5	2	4.6	3	7.3	4	A	6	1	6	200	6	5.6	2.3
5		1.2	6	2	3.8	2	6.7	12	C2	14	2	7	84	<5	4.8	3.3
6		1.2	2	1	5.4	3	7.9	8	C1	9	2	12	150	41	5.4	7.8
Lab		K	M	M	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Jordarter		* Ved volumvekt over 1.00 blir benevnningen mg/100g. Ved volumvekt mindre enn 1.00 blir benevnningen mg/100ml For mikronæringsstoffer er benevnningen mg/kg	Leirinnhold	Moldinnhold	Næringsinnhold																		
1 Grovsand	8 Silt		1 < 5 %	1 Moldfattig 0-2,9 %	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>P-AL</th> <th>K-AL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lavt</td> <td>A 0-4</td> <td>1 0-6</td> </tr> <tr> <td>Middels</td> <td>B 5-7</td> <td>2 7-15</td> </tr> <tr> <td>Moderat høyt</td> <td>C1 8-10</td> <td>.</td> </tr> <tr> <td>Høyt</td> <td>C2 11-14</td> <td>3 16-30</td> </tr> <tr> <td>Meget høyt</td> <td>D &gt;14</td> <td>4 &gt;30</td> </tr> </tbody> </table>		P-AL	K-AL	Lavt	A 0-4	1 0-6	Middels	B 5-7	2 7-15	Moderat høyt	C1 8-10	.	Høyt	C2 11-14	3 16-30	Meget høyt	D >14	4 >30
	P-AL	K-AL																					
Lavt	A 0-4	1 0-6																					
Middels	B 5-7	2 7-15																					
Moderat høyt	C1 8-10	.																					
Høyt	C2 11-14	3 16-30																					
Meget høyt	D >14	4 >30																					
2 Mellomsand	9 Letteire		2 5-10 %	2 Moldholdig 3-4,4 %																			
3 Finsand	10 Siltig letteire		3 10-25 %	3 Moldholdig 4,5-12,4 %																			
4 Siltig grovsand	11 Mellomleire		4 25-40 %	4 Moldholdig 12,5-20,4 %																			
5 Siltig mellomsand	12 Stiv leire		5 > 40%	5 Mineralbl. mold 20,5-40,4 %																			
6 Siltig finsand	13 Mineralblandet moldjord (20,5-40,4 % humus)			6 Organisk >40,4 %																			
7 Sandig silt	14 Organisk jord (>40,4% humus)																						

Jorda i områdene Ris-Gaustad Haug, Ris-Gaustad Bakke og Ulven-Sinsen Rabatt ble bestemt til siltig mellomsand, mens jorda på Ulven-Sinsen Bed var siltig finsand. Jorda fra Sørenga og Nydalen er kategorisert som mellomsand. Det er mindre enn 10 % leire i jorda fra alle områdene. I jorda fra Sørenga og Nydalen er det mindre enn 5 % leire. Jorda har moldklasse moldholdig på alle steder og mold % varierer mellom 3,8 % og 5,9 %. pH er på det minste pH6,4 i jord fra Ris-Gaustad Haug og pH 6,7 fra jord fra Ulven-Sinsen Bed. pH er høyest i jord fra Sørenga og Nydalen med henholdsvis pH7,8 og pH7,9. P-klasse (lettløselig fosfor) varierer i stor grad og alle klassene er representert. Jord fra Ris-Gaustad Bakke faller innenfor kategorien Meget høy P-klasse mens jord fra Ulven-Sinsen Rabatt får Lav P-klasse. De resterende områdene faller i kategorier mellom høv og lav. K-klasse (lettløselig kalium) har i jord fra Sørenga og Ris-Gaustad verdi på 1, mens resten av områdene er målt verdi 2. Mg-AL (lettløselig magnesium) verdiene ligger mellom 6 og 12, eller i kategoriene lite behov og ikke-behov. Ca-AL- verdien (lettløselig kalsium) i

mineraljord er lavt ved <80-140. Ulven-Sinsen Bed er det eneste området innenfor denne kategorien med en verdi på 84. Na-AL (lettløselig natrium) er høyt dersom det overskrider 50. Jord fra Nydalen fikk verdi på 41, mens jord fra Ris-Gaustad Haug, Ulven-Sinsen Bed og Ulven-Sinsen Rabatt hadde mindre eller lik verdien 6. Kopperverdiene varierer mellom 1,9 og 7,8. Den kritiske grensen for koppermangel regnes å være 10 mg Cu pr kg jord (Eurofins AS, 2014). Tall over 50 kan resultere i kopperforgiftning i planten (Eurofins AS, 2014).

### 3.3 Diskusjon

#### Datamaterialet

Syllindermetoden (Børresen & Haugen, 2003) viste seg å være lite gunstig for bruk på sandjord. I flere tilfeller mer eller mindre kollapset jorda i sylindere. Dette gjør at resultatene fra pF-analysen og porevolumanalysen må tolkes med forsiktighet. Kollaps av sandjorda i sylindere er et tegn på at aggregering i jorda er liten. I jordbruket er aggregering en viktig faktor for sunn jord (Børresen, 2004). Resultatene fra jordteksturanalyse varierte noe mellom Eurofins sin subjektive metode og pipetmetoden utført av NMBU jordlabben. Enda det ble tatt flere stikk for hver jordprøve er det sannsynlig at prøver fra samme jord kan bli kategorisert ulikt fordi teksturen i jorda, selv til tross for at den er konstruert for å være homogen, varierer over korte avstander.

I retrospekt burde data om sunnheten til trærne i vekstjorda vært innhentet. Med data fra trærne i vekstjorda ville tolkning av hva egenskapene til jord har å si for sunnheten til nyetablerte trær vært mulig. Innsamling av jorddata burde også vært mer systematisk med flere prøver fra ulike dybder. Mer data ville i dette tilfellet økt troverdigheten til resultatene.

Konklusjoner fra litteraturstudiet bør også gjengis med forsiktighet. Det som hevdes i litteraturstudiet er i mange tilfeller kun basert på et fåtall forsøk. Litteratur som omhandler emnet etablering av trær i bymiljø er omfattende og dersom et litteraturstudie et annet litteraturstudie skal skrives under samme omstendigheter kan det med fordel omhandle færre faktorer.

## Jordfysiske egenskaper

Både teksturanalyse ved NMBU og av Eurofins viser at jord fra alle områdene i stor grad består av kornstørrelsen sand. Jord er svært sjelden homogen og graden av innslag av de ulike kornstørrelsene påvirker jordas egenskaper i stor grad. Kornstørrelsen sand har relativt store porer som medfører høy vannledningsevne, økt luftutveksling og lav evne til vannretensjon (Børresen, 2004; Hillel, 2005). Ved etablering av trær i jord med mye sand vil det trolig være nødvendig med vanningsanlegg eller vanningsposer fordi sandjord tørker fort ut. Jevnlig gjødsling vil også være nødvendig fordi sand har lav kation-bytte-kapasitet og i liten grad makter å holde på næringsstoffer (Havelin, 2005; Brady & Weil, 2010). Sandjord har dårlige kapillære egenskaper og vil i liten grad være i stand til å trekke vann fra jorda som omgir plantehullet som øker faren for uttørking. Høy vannledningsevne minimerer dog faren for drukning. Røttene vil ikke bli stående i vannmettet jord over lengre perioder dersom ikke jorda rundt plantehullet har svært lav vannledningsevne. Om jorda under og rundt plantehullet er komprimert kan plantehullet bli et basseng med vann og et lite gunstig miljø for røttene til nyetablerte trær. Andelen silt i vekstjorda til etablering av trær fra casestudien i Oslo varierte fra omkring 20 % til 36 %. Erfaringer fra jordbruket tilsier at sandjord som inneholder 15-50 % silt er relativt tørkesterk og har gode bruksegenskaper (Børresen, 2004). I jordbruket bearbeides jorda årlig. I grøntanlegg vil komprimering og tilslemming av vekstjorda oppstå i økende grad med økende finmateriale, og trolig utgjøre et større problem enn i landbruket. Overflaten i bymiljø oftest dekket av vegetasjon eller faste dekker av asfalt eller brostein, og den komprimerte jorda er vanskelig å komme til. Allikevel, siltig sand har god vannlagringsevne og er lett å håndtere, som er grunnen til at den er antatt som godt egnet til etablering av busker og trær (Haraldsen, 2010). I jordbruket bidrar silt til å gjøre jorda tørkesterk fordi silt holder godt på vann og har god kapillær ledningsevne (Børresen, 2004; Hillel, 2005). Egne analyser viste at alle områdene bestod av siltig sand (se tabell 6). Eurofins sin vurdering av jordas tekstur var siltig sand (i.e. siltig mellomsand og siltig finsand) og mellomsand (se tabell 7). Det ble målt porevolum på mellom 38 og 52 %. Høyt porevolum er å forvente i jord med mye sand og 38 % porevolum i sandjord er ifølge Trond Børresen (pers. medd.) lavt. Det laveste porevolumet (38 %) ble funnet i Ris-Gaustad Profil (15-20). Prøvene fra dette området ble tatt i 15-20 cm dyp og, 5-10 cm dypere enn de andre jordprøvene. Porevolum reduseres nedover i jordsjiktene fordi tyngden av massene presser jorda sammen og finmateriale

vaskes nedover i jorda (Børresen, 2004; Brady & Weil, 2010). Dette kan forklare det lavere porevolumet i dette tilfellet. I tillegg ble prøvene fra Ris-Gaustad Profil tatt fra jord under gresset mellom trær, og ikke direkte fra vekstjorda til nyetablerte trær. I forsøk på luftutveksling er det målt spesielt høye nivåer av CO<sub>2</sub> i jordarter som består av mye finmateriale (e.g. Viswanathan et al., 2011). Redusert luftutveksling reduserer blant annet rotvekst (Weltecke & Gaertig, 2012) Opphopning av CO<sub>2</sub> i jorda er trolig lite gunstig for plantevekst (Raven et al., 2004), men oksygen antas å være hovedårsaken til mistriksel i planter ved lav luftutveksling (Børresen, 2004; Weltecke & Gaertig, 2012). Jord med mye sand øker graden av luftutveksling mellom atmosfæren og jorda.

pF-kurven viser evnen jorden har til å holde på vann. Tilgjengelig vann i jorda fra anleggene i casestudien varierer mellom 23 % på det høyeste og 14 % på det laveste. Fordi jorda er en sandjord vil relativt mye av det totale vanninnholdet etter metning tilhøre intervallet pF<sub>0</sub>-pF<sub>2</sub>. Dette er vann jorden ikke evner å holde på, men som drenerer nedover i sjiktene på grunn av tyngdekraft. Jorden hentet fra Ris-Gaustad (5-10) for eksempel inneholder underkant av en tredjedel av det totale vanninnholdet ved metning etter drenering, ved feltkapasitet. Nydalen (Høy) og Ulven-Sinsen Rabatt hadde minst vann igjen ved feltkapasitet tilnærmet lik 13 vol%.

Innholdet av grus fra jorda på flere av områdene var på over 30 % i vekt%. Grus har liten til ingen evne til å holde på vann og næringsstoffer, og inngår ikke i naturlige aggregater på samme måte som sand, silt og leire. Grus tar kun opp plass i vekstjorda uten å bidra til plantevekst. 30 vekt % kan være et noe høyt tall i de tilfellene trærne i utgangspunktet har begrenset jordvolum til rotvekst. Leirinnholdet varierte mellom 1,7 % og 6,3 %. Leire har svært høy spesifikk overflate med svært mange negative bindingssteder i forhold til silt og sand. Organisk materiale har også denne egenskapen. De negative bindingssetene øker evnen jorda har til å binde næringsstoffer i form av kationer og vann (Havelin, 2005; Brady & Weil, 2010).

## Jordkjemiske egenskaper

pH verdiene fra casestudien ble målt innenfor intervallet 6,4 til 7,9. På bakgrunn av litteraturen kan det hevdes at en noe sur pH på 6,4 er mer gunstig for plantevekst enn en noe basisk pH nærmere 7,9. anbefalte verdier til jord i grøntanlegg er i intervallet 5,5-7,0 (Brady & Weil, 2010; Solfjeld & Solfjeld, 2012). Høy pH gjør kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), nitrogen (N), svovel (S), molbyden (Mo) og bor (B) mindre tilgjengelig for opptak gjennom planterøttene (Brady & Weil, 2010). Det stemmer godt med figur 1 (s 34) tolkes slik at dersom pH overskrider 7 i særlig grad vil innholdet av tilgjengelig jern, mangan, bor kobber bli redusert. Kalium er mindre tilgjengelig for opptak i røttene fra pH 7,5. Når pH synker under 5,5 blir tilgjengelig nitrogen, fosfor, kalium, svovel og kalsium, magnesium og molybden redusert. Dette skyldes kompleks jordkemi der molekyler foretrekker binding i ulike form ettersom konsentrasjonen av positivt ladde  $H^+$ - og negativt ladde  $OH^-$  ioner det finnes i jordløsningen.

Ifølge Hootman et al., 1994 er 25 mg/100g Na i jord kritisk grense for de fleste trær. Området Nydalen befinner seg få meter fra høyhastighets riksvei og antas å være det mest utsatte området hva angår saltskader. Jordprøvene viste Na-innhold i jorda på 40 mg/100g. Dette er langt over kritisk grense og kan regne med i beste fall redusert vekst dersom konsentrasjonene opprettholdes. Det er tidligere funnet sammenheng mellom trehøyde og trevitalitet, og K:Na ratio (Cekstere & Osvalde, 2013). Det antydes at konsentrasjoner av  $K^+$  mellom 10-20 mg/100g kan være for lite i områder det er høye Na konsentrasjoner. Om  $Na > K$  kan det føre til forstyrrelse av næringsopptak og negativ effekt på fysiologisk status. Optimal K:Na status bør være 2-2,5:1 (Cekstere et al., 2005). I jordprøvene fra casestudien i Oslo var dette tilfellet i kun en av de seks prøvene. I jord fra Sørrenga er Na innhold på 21 mg/100g og under kritisk grense, men K innholdet er på kun 5 mg/100g. K:Na ratio er tilnærmet lik 0,24. Det samme kan utgjøre et problem for plantevekst i Ulven-Sinsen Rabatt med 19 Na mg/100g og 8 K mg/100g og en K:Na ratio på 0,42. Ifølge Eufofins AS (2014) er kaliumkonsentrasjoner i jordbruket innenfor kategoriene 1 og 2 at man bør (1) gjødsle sterkere enn middels og (2) middels gjødsling. Kaliumkonsentrasjonen i alle prøvene fra casestudien tilhørte kategori 1 eller 2.

# Referanser

- Aasen, I. 1997. *Mangelsjukdomar: og andre ernæringsforsyrringar hos kulturplantar*. (2. utgave). Landbruksforlaget. AiT Enger AS, Otta. ISBN 82-529-2258-9.
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos. 2013. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12: 282-286.
- Arnberger, A., & Eder, R. 2012. The influence of green space on community attachment residents. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11:41-49.
- Artsdatabanken (2012). *Fremmede arter i Norge: -med norsk svarteliste 2012*. Skipnes Kommunikasjon AS, Trondheim. ISBN 978-82-92838-31-0.
- Basler, D., & Körner, C. 2012. Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*. 165: 73-81.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. 2010. *Elements of the Nature and Properties of Soils*. (3rd edition). Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey. 614 s. ISBN 0-13-800281-9.
- Bryan, D. L., Arnold, M. A., Volder, A., Watson, W. T., Lombardini, L., Sloan, J. J., Alarcón, A., Valdez-Aguilar, L. A., & Cartmill, A. D. 2011. Planting depth and soil amendments affect growth of *Quercus virginiana* Mill. *Urban Forestry & Urban Greening*. 10: 127-132.
- Bühler, O. 2009. A study of factors affecting the establishment success of urban trees. PhD theses. Forest & Landscape Denmark, University of Copenhagen.
- Børresen, T., & Haugen, L. E. 2003. Jordfysikk, øvelseskurs jord 221: Felt- og laboratorieøvelser. Institutt for plante- og miljøvitenskap. Ås: Norges landbrukshøgskole.
- Børresen, T. 2004. Jordarbeiding: Kompendium for JORD220. Ås, NLH: Landbruksbokhendelen. ISBN: 82-557-0338-1.
- Børresen, T. 2011. Pore size distribution and pH - analysis. By use of ceramic plate, sandbox and air

pycnometer. Department of plant- and environmental sciences. Norwegian University for Life Sciences.

Børresen, T. Instituttleder for Institutt for Miljøvitenskap. Norges Universitet for Miljø- og Biovitenskap. Personlig meddelt.

Bymiljøetaten. 2014. Trær i byen - park og gatetrær i Oslo. Hentet fra [http://www.bymiljoetaten.oslo.kommune.no/natur/planter\\_og\\_bloemster/trar\\_i\\_byen/](http://www.bymiljoetaten.oslo.kommune.no/natur/planter_og_bloemster/trar_i_byen/)

Cekstere, G., Osvalde, A., Karlsons, A., Nollendorfs, V., & Paegle, G. 2005. The effect of urban environment on the mineral nutrition status of street trees in Riga, the problems and possible solution. *Acta Universitatis Latiensis, Earth & Environmental Sciences*. 685: 7-20.

Cekstere, G., & Osvalde, A. 2013. A study of chemical characteristics of soil in relation to street trees status in Riga (Latvia). *Urban Forestry & Urban Greening*. 12(1): 69-78.

Dansk Planteskoleforening 2002. Plantestandard. Hentet fra internett 20.03.2014: [http://www.danskeplanteskoler.dk/NR/rdonlyres/3C25DFC6-5358-47BE-B052-04B42D123734/0/Dansk\\_Plantestandard\\_web.pdf](http://www.danskeplanteskoler.dk/NR/rdonlyres/3C25DFC6-5358-47BE-B052-04B42D123734/0/Dansk_Plantestandard_web.pdf)

Døving, A. 2014. Planter i vassjuk jord. *Park & Anlegg*. 3: 28-30.

Eurofins AS. 2014. Veiledning til jordanalyser. Hentet fra [http://www.eurofins.no/media/7322159/veiledertiljordanalyser\\_sept\\_2012.pdf](http://www.eurofins.no/media/7322159/veiledertiljordanalyser_sept_2012.pdf)

Fostad, O., & Pedersen, P. A. 1997. Vitality, variation, and causes of decline of trees in Oslo center (Norway). *Journal of Arboriculture*. 23(4): 155-165.

Fostad, O., & Pedersen, P. A. 2000. Container-grown tree seedling responses to sodium chloride applications in different substrates. *Environmental Pollution*. 109: 203-210.

Gerhold, H. D. 1985. Performance testing of street tree cultivars: a model project. *Journal of Arboriculture*. 11(9): 263-271.

Gilbertson, P., & Bradshaw, A. D. 1985. Tree survival in cities: The extent and nature of the



- problem. *Arboricultural Journal*. 9: 131-142.
- Gilbertson, P., & Bradshaw, A.D. 1990. The survival of newly planted trees in inner cities. *Arboricultural Journal*. 14: 287-309.
- Gilman, E. F., & Grabosky, J. 2011. *Quercus virginiana* root attributes and lateral stability after planting at different depths. *Urban Forestry & Urban Greening*. 10: 3–9.
- Gilman, E. F., & Wiese, C. 2012. Root Pruning at Planting and Planting Depth iun the Nursery Impact Root System Morphology and Anchorage. *Arboriculture & Urban Forestry*. 38(5): 229-236.
- Gröna näringens riksorganisation [GRO]. 2013. Kvalitetsregler för plantskoleväxter. (4:e upplagen). Hentet fra [http://www.lrf.se/PageFiles/98759/Kvalitetsregler%202013\\_web.pdf](http://www.lrf.se/PageFiles/98759/Kvalitetsregler%202013_web.pdf)
- Hallanaro, E., & Pylvänäinen, M. 2001. Nature in Northern Europe: Biodiversity in a changing environment. Nord 2001:13. Nordic Council of Ministers. 252 s. ISBN 92-893-0635-1.
- Hansen, O. B., & Fløistad, I. S. 2005. Ugras i grøntanlegg: Trær og busker. *park & anlegg*. 2: 32.
- Hansen, O. B. 2008. Sølv lind (Tilia tomentosa Moench): treportrettet. *park & anlegg*. 7: 34-35.
- Hansen, O. B. 2012. Landskapsplanter: Lignoser i emnet PHG213 (2. utgave). Boksmia. Ås-UMB.
- Haraldsen, T. K. 2010. Vurdering av prosesskoder for jord til grøntanlegg. *Bioforsk rapport*. 5(165).
- Haraldsen, T. K. & Lundetræ, V. 2014. Veilsalting kan ødelegge røttene. *Park & Anlegg*. 3:24-27.
- Harris, R. W., & Bassuk, N. L. 1994. Seasonal effects on transplantability of scarlet oak, green ash, Turkish hazelnut and tree lilac. *Journal of Arboriculture*. 20(6): 310-317.
- Harris, R. W., Clark, J. R., & Matheny, N. P. 2004. *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines* (4th edition). Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey.

578 s.ISBN 0-13-088882-6.

- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers*. (7th edition). Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey. 513 s. ISBN 0-13-027824-6.
- Havis, J. R. 1976. Root Hardiness of Woody Ornamentals. *HortScience*. 11(4): 385-386.
- Henwood, K., & Pidgeon, N. 2001. Talk about woods and trees: Threat of urbanization, stability, and biodiversity. *Journal of Environmental Psychology*. 21(2):125-147.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, China.494 s. ISBN-13 978-0-12-348655-4.
- Hofstra, G., Hall, R., & Lumis, G. P. 1979. Studies of salt-induced damage to roadside plants in Ontario. *Journal of Arboriculture*. 5(2): 25-31.
- Hootman, R. G., Kelsey, P. D. Reid, R., & Heide-Spravka, K. 1994. Factors affecting accumulation of deicing salts in soils around trees. *Journal of Arboriculture*. 20(3): 196-201.
- Höglind, M., Thorsen, S. M., Østrem, L., & Jørgensen, M. 2009. Hvordan vil endret klima påvirke overvintring og grasvekst i Norge? *Bioforsk FOKUS*. 4(2): 72-73.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate change 2014: Impacts, Adaption, and Vulnerability. Hentet fra [http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC\\_WG2AR5\\_SPM\\_Approved.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf)
- Jull, L. 2009. Winter salt injury and salt-tolerant landscape plants. Cooperative Extensions of the University of Wisconsin-Extension. Hentet fra <http://pdf.countyofdane.com/myfairlakes/A3877.pdf>
- Junttila, O. 1996. Plant adaptation to temperature and photoperiod. *Agricultural and food science in finland*. 5: 251-260.
- Junttila, O., Nilsen, J., & Igeland, B. 2003. Effect of temperature on the induction of bud dormancy

in ecotypes of *Betula pubescens* and *Betula pendula*. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 18: 208-217.

Kadi, M. W. 2009. "Soil Pollution Hazardous to Environment": A case study on the chemical composition and correlation to automobile traffic of the roadside soil of Jeddah city, Saudi Arabia.

Kopinga, J. 1992. The effects of restricted volumes of soil on the growth and development of street trees. *Journal of Arboriculture*. 17(3): 57-63.

Kristoffersen, Palle 1999. Vækst af træer i rodvenlige befæstelser. *Trepleie*. 2: 6-11.

Krogstad, T., Jørgensen, P., Sogn, T., Børresen, T., & Kolnes, A. G. 1991. Manual for kornfordelingsanalyse etter pipetmetoden. Rapport nr. 6. Institutt for jordfag, Ås-NLH, 1991.

Li, C. Junttila, O., Heino, P., & Palva, E. T. 2004. Low temperature sensing in silver birch (*Betula pendula* Roth) ecotypes. *Plant Science*. 167(1): 165-171.

Liyun, Y., Yuan, L., Kui, P., & Songtao, W. 2014. Nutrient and heavy metals in urban soils under different green space types in Anji, China. *Catena*. 115: 39-46.

Lumis, G. P., Hofstra, G., & Hall, R. 1976. Roadside woody plant susceptibility to sodium and chloride accumulation during winter and spring. *Canadian Journal of Plant Sciences*. 56: 853-859.

McWilliams, D. 2003. Interpreting Soil Tests for Efficient Plant Growth and Water Use. New Mexico State University. GuideA-141- Hentet fra [http://aces.nmsu.edu/pubs/\\_a/A141/welcome.html](http://aces.nmsu.edu/pubs/_a/A141/welcome.html)

Messel J. 2008, 18.april. Kjemper for byens trær. Hentet fra <http://www.lokalavisenfrogner.no/nyheter/kjemper-for-byens-trer-1.4925730>

Miller, R. W. 2007. *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces*. (2nd edition). Waveland Press Inc., Long Grove, Illinois. 502 s. ISBN 1-57766-510-4.

- Morgenroth, J., Buchan, G., & Scharenbroch, B. C. 2013. Belowground effects of porous pavements – Soil moisture and chemical properties. *Ecological Engineering*. 51: 221-228.
- Norsk Standard 4400 – 4413: 2000. Planteskolevarer - Generelle regler for sortering, bunting og merking.
- Oliver, B. W. 2012. Ressursdyrka planter 2011-2016. Statens vegvesen Region Øst. Hentet fra [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/334759/binary/583358?fast\\_title=Kontraktsdyrka+planter.pdf](http://www.vegvesen.no/_attachment/334759/binary/583358?fast_title=Kontraktsdyrka+planter.pdf)
- Pauleit, S., Jones, N., Garcia-Martin, G., Garcia-Valdecantos, J. L., Rivière, M., Vidal-Beaudet, L., Bodson, M., & Randrup, T. B. 2002. Tree establishment practice in towns and cities – Results from a European survey. *Urban Forestry & Urban Greening*. 1(2): 83-96.
- Pautasso, M., Aas, G., Queloz, V., & Holdenrieder, O. 2013. European ash (*Fraxinus excelsior*) dieback – A conservation biology challenge. *Biological Conservation*. 158: 37-49.
- Pedersen, P. A., & Gjems, L. S. 1996. Effekter av ceisaltning på jord, vann og vegetasjon: Effekter av veisalt (natriumklorid) på planter). Rapport nr. 1/96. Institutt for plantefag. NLH.
- Pedersen, P.A. 2002. Rotvennlig forsterkningslag – vellykket i Rådhusgata. *Park & anlegg*. 1(1): 12-13.
- Pedersen, P. A. 2007. Skader på trær og busker forårsaket av saltsprut: registreringer i Østlandsområdet våren 2003 og 2006. Rapport nr. 2007/15. Utbyggingsavdelingen, Miljøseksjonen, Vegdirektoratet.
- Pedersen, P. A. 2010. Saltsprutskader på vegetasjon: langs veger i Østlandsområdet 2010. Rapport nr. 2414. Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen. Vegdirektoratet.
- Pedersen, P. A., & Brun, J. 2012. Vinterskader i årene 2008-2012. *park & anlegg*. 5: 48-52.
- Percival, G. C., Keary, I. P., & AL-Habsi, S. 2002. An assessment of the drought tolerance of *Fraxinus* genotypes for urban landscape plantings. *Urban Forestry & Urban Greening*. 5 (1): 17-27.

- Randrup, T. B. 1996. Bytræers rodvekst og vandforbrug. *Vitenblade, Park- og Landskapsserien*. 4: 6-14.
- Raven, P. H. Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. 2004. *Biology of plants* (7th edition). W. H. Freeman and Company, New York, USA. ISBN 978.0-7167-1007-3.
- Raynal, D. J., Roman, J. R., & Eichenlaub, W. M. 1982. Response of tree seedlings to acid precipitation: Effect of substrate acidity on seed germination. *Environmental and Experimental Botany*. 22(3): 377-383.
- Rose, D., & Weber, J. 2011. De-icing salt damage to trees. Pathology Advisory Note (No. 11). Center for Forestry and Climate Change, Forest Research. Hentet fra [http://www.forestry.gov.uk/pdf/pathology\\_note11.pdf/\\$FILE/pathology\\_note11.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/pathology_note11.pdf/$FILE/pathology_note11.pdf)
- Sanders, J., & Grabosky, J. 2014. 20 year later: Does reduced soil area change overall tree growth? *Urban Forestry & Urban Greening*. Hentet elektronisk fra <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2013.12.006>
- Schwets, T., & Brown, R. D. 2000. Form and structure of maple trees in urban environments. *Landscape and Urban Planning*. 46: 191-201.
- Sjöman, H., Östberg, J., & Bühler, O. 2012. Diversity and distribution of the urban tree population in ten major Nordic cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11: 31-39.
- Solbakken, C. 2013, 14. april. Kuttet ned hele rekken av trær. Hentet fra <http://www.osloby.no/nyheter/Kuttet-ned-hele-rekken-av-trar-7170796.html>
- Solheim, H. 2007. Artsdatabankens faktaart – Almesjukesopp. Hentet fra <http://www2.artsdatabanken.no/faktaark/Faktaark236.pdf>
- Solfjeld, I., & Hansen, O. B. 2004. Post—transplant growth of five deciduous Nordic tree species as affected by transplanting date and root pruning. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2: 129-137.

Solfjeld, I. S., & Solfjeld, E. 2012. Etablering av trær. Statens vegvesens rapporter nr. 89. 45 s.

Statistisk sentralbyrå [SBB] 2013. Statistisk årbok 2013. Hentet fra

[http://www.ssb.no/befolkning/artikler-og-publikasjoner/\\_attachment/140702?\\_ts=1415a7ca078](http://www.ssb.no/befolkning/artikler-og-publikasjoner/_attachment/140702?_ts=1415a7ca078)

Statens vegvesen. 2010. Vinterspyling av nyplantede trær for å redusere omfanget av sprutskader fra avisingskjemikaliet natriumklorid NaCl. Vegdirektoratet. Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen. Ressursavdelingen. Rapport Nr. 2615.

Statens vegvesen 2012a. Standard for drift og vedlikehold av riksveger. Håndbok 111. Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

Statens vegvesen, 2012b. Sluttrapport for etatsprogrammet Salt SMART. Vegdirektoratet.

Trafikk, miljø- og teknologiavdelingen. Vegteknologi. Statens vegvesens rapporter. Nr. 92.

Statens vegvesen 2012c. Prosesskode 1: Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter.

Hovedprosess 1-7. Retningslinjer Håndbok 025. Vegdirektoratet.

Statens vegvesen, 2012d. Grøntveileder for Region vest. 153 s. ISBN 978-82-91228-29-7.

Statens vegvesen. 2013. Mengderapportering vinteren 2012/2013. Vegdirektoratet. Trafikk, miljø- og teknologiavdelingen. Vegteknologi. Statens vegvesen rapporter. Nr. 240.

Statistisk sentralbyrå [SBB] 2013. Statistisk årbok 2013. Hentet fra

[http://www.ssb.no/befolkning/artikler-og-publikasjoner/\\_attachment/140702?\\_ts=1415a7ca078](http://www.ssb.no/befolkning/artikler-og-publikasjoner/_attachment/140702?_ts=1415a7ca078)

Sveistrup, T.E. & Njøs, A.1984. Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. Revidert forslag til klassifisering. *Jord og myr* 8: 8-15.

Swanson, B. T. (1977). Transplanting woody plants successfully. *American Nurseryman*. 146(8): 7-8

Sæbø. A. ingen dato. Lind - hellig tre med mange egenskaper. Hentet fra

[http://www.skogoglandskap.no/Artsbeskrivelser/lind/default\\_view](http://www.skogoglandskap.no/Artsbeskrivelser/lind/default_view)

- Teiz, L., & Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology* (5th edition). Sunderland, Massachusetts U.S.A.: Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Terho, M., & Hallaksela, 2005. Decay characteristics of hazardous *Tilia*, *Betula*, and *Acer* trees felled by municipal urban tree managers in the Helsinki City area. *Forestry*. 81(2): 151-159.
- Timonen, S., & Kauppinen, P. 2008. Mycorrhizal colonization patterns of *Tilia* trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*. 7(4): 265-276.
- Urban, J. 2008. *Up by roots: Healthy Soils and Trees in the Built Environment*. International Society of Arboriculture, Champaign, Illinois, U.S. 479 s. ISBN 1-881956-65-2.
- Viswanathan, B., Volder, A., Watson, T., & Aitkenhead-Peterson, J. A. 2011. Impervious and pervious pavements increase soil CO<sub>2</sub> concentrations and reduce root production of American sweetgum (*Liquidambar styraciflua*). *Urban Forestry & Urban Greening*. 10: 133-139.
- Watson, G. W., & Himelick E. B. 2012. Root distribution of nursery trees and its relationship to transplanting success. *Journal of Arboriculture*. 8(9): 225-229.
- Weltecke, K., & Gaertig, T. 2012. Influence of soil aeration on rooting and growth of the Beuytrees in Kassel, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11(3): 329-338.
- Østlandsposten, 2011, 25.april. Hugget ned lindetrær på Torget. Hentet fra <http://www.op.no/nyheter/article5617295.ece>
- Øverlie, T., Colleuille, H., & Haugen, L. E. 2006. Vann i jord: Simulering av vann- og energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord Trøndelag. Norges vassdrags- og energidirektorat. Rapport nr. 15: 1-103.

# Vedlegg 1. Beregninger og tall fra utførelsen av pF-analyse.

Sylinder nr.	TARA	Sted	Dybde (cm)	Akt. vekt	Tørrvekt (g)	Vekt etter metning	Vekt ved 20 cm v.s.(g)	Vekt ved 50 cm v.s.(g)	Vekt ved 100 cm v.s.(g)	Vekt ved 1 bar (g)	Lufttryk. Sattill	Luft ved 50 cm v.s.	Vann ved			Jordleth. et	Sylinder nr.	Vann ved (vol%)	Porevolum m	
													20 cm v.s.	50 cm v.s.	100 cm v.s.					
938	152.3	Sørenga (Høy)	5-10	288.9	250.7	303.9	288.5	273.5	274.9	286.5	363	43.2	37.8	28.8	24.2	15.8	0.984	938	5.42	53.2
729	152.4	Sørenga (Høy)	5-10	272.8	253.4	308.8	291.8	284.2	279.7	271.8	373	39.7	38.4	30.8	26.3	18.4	1.01	729	2.777	55.4
1110	153.4	Sørenga (Høy)	5-10	248.5	235	286.8	276.4	281.5	256.8	247.7	340	> 50	41.4	26.5	21.8	12.7	0.816	1110	9.652	51.8
809	152.7	Sørenga (Llav)	5-10	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	tom	809	tom	tom
528	146.6	Sørenga (Llav)	5-10	241.8	234.5	285.1	272.6	281.8	256.4	243.1	345	43.7	38.1	27.3	21.3	14.6	0.879	528	4.908	50.6
888	156.8	Sørenga (Llav)	5-10	264.4	mister mye	294.1	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	mister mye	888	mister mye	mister mye
943	153	Nydalen (Høy)	5-10	281.2	265.5	312.5	294	287.4	284.8	278	358	44.9	28.5	21.9	19.3	12.5	1.125	943	3.023	47
988	153	Nydalen (Høy)	5-10	292.5	280.5	327.4	309.8	302	299	293.5	375.5	38.7	29.3	21.5	18.5	13	1.271	988	3.454	46.9
944	162.6	Nydalen (Høy)	5-10	306.8	288.7	334.3	319.5	310.9	308.7	302.4	366	35.5	30.8	22.2	20	13.7	1.261	944	2.852	45.6
736	152.7	Nydalen (Bta)	5-10	294.1	276.1	324	308.2	299.8	297.6	291.4	362	36.8	32.1	23.7	21.5	15.3	1.234	736	2.654	47.9
1008	156.4	Nydalen (Llav)	5-10	300.4	280	323.8	313.6	305	302.4	296.1	388	34.9	33.6	25	22.4	16.1	1.236	1008	2.58	49.8
1360	157	Nydalen (Llav)	5-10	300.9	280.8	330.2	314.9	305.8	303.6	297.8	366	36.2	34.1	25	22.8	17	1.238	1360	3.221	49.4
220	146	Nydalen (Llav)	5-10	282.7	254.4	306.2	289.7	285.6	283.7	275.8	392	33.6	35.3	31.2	29.3	21.4	1.084	220	9.802	51.8
142	146	Nydalen (Llav)	5-10	300.4	272.5	323.16	308.4	302.6	300.8	291.8	409	28.6	35.9	30.1	28	19.3	1.265	142	2.479	50.66
603	163	Nydalen (Llav)	5-10	304.5	278	323.4	313	308.4	307	300.3	408	28.9	35	30.4	29	22.3	1.15	603	4.097	51.4
407	148	Nydalen (Llav)	5-20	306	271	313.7	294.3	293.2	292.3	289.1	376.50	38.4	23.3	22.2	21.3	18.1	1.23	407	5.996	42.7
555	143.3	Nydalen (Llav)	5-20	310	288.9	325.6	312.4	312.4	311.7	308.9	406	29.5	23.5	23.5	22.8	20	1.456	555	7.418	36.7
1095	151.3	Nydalen (Llav)	5-20	300	280.5	315.8	302.5	302.5	302	299.5	387	35.2	22	22	21.5	19	1.282	1095	8.982	35.3
1019	152.5	Nydalen (Llav)	5-10	265.4	245.4	297.9	276.4	272.1	270	259.8	361	43.9	31	26.7	24.6	14.4	0.929	1019	7.401	52.5
1387	156.3	Nydalen (Llav)	5-10	259.7	242.7	294	271.1	267.3	264.9	256.2	345	43.7	28.4	24.6	22.2	13.5	0.864	1387	5.058	51.3
762	152.5	Nydalen (Llav)	5-10	244.2	228.8	275.9	254.8	250.9	248.6	239.7	322	> 50	26	22.1	19.8	10.9	0.763	762	7.771	47.1
817	152.5	Nydalen (Llav)	5-10	278.4	261.6	310.4	291	286.5	284.5	276.6	370	40.8	29.4	24.9	22.9	15	1.091	817	3.716	48.8
1058	153.2	Nydalen (Llav)	5-10	281.7	264.4	317.1	293.4	288.6	286.5	280.9	373	39.7	29	24.2	22.1	16.5	1.112	1058	3.388	52.7
1537	152.2	Nydalen (Llav)	5-10	288.1	250.1	305.1	279.9	275	272.6	264.8	359	44.6	29.8	24.9	22.5	14.7	0.979	1537	5.14	55









Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)