



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-  
och växtproduktionsvetenskap

# Biologiska strategier hos träd för tillväxt och överlevnad i syrefattig hårdgjord stadsmiljö

Adaptations of trees for growth and survival in anaerobic urban paved sites

*Alicia Rosati*



Självständigt arbete • 15 hp  
Landskapsingenjörsprogrammet  
Alnarp 2014

## **Biologiska strategier hos träd för tillväxt och överlevnad i syrefattig hårdgjord stadsmiljö**

Adaptations of trees for growth and survival in anaerobic urban paved sites

*Alicia Rosati*

**Handledare:** Anna Levinsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Examinator:** Johan Östberg, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Examensarbete för landskapsingenjörer

**Kurskod:** EX0361

**Program/utbildning:** Landskapsingenjörsprogrammet

**Examen:** *landskapsingenjör, kandidatexamen i landskapsplanering*

**Ämne:** Landskapsplanering

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsmånad och -år:** April 2014

**Omslagsbild:** wackybadger, Floodplain Forest, (CC BY-SA 2.0)

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** *Floodplain, waterlogging, dendroecological studies, tolerans, syrefattiga miljöer, strategier, översvämning, hårdgjorda stadsmiljöer, träd*

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

# Förord

Till det här arbetet vill jag tacka följande personer, som har varit betydelsefulla

*Anna Levinsson*, för goda råd, stöd och feedback under arbetets gång.

*Min familj och mina vänner*, för uppmuntran och positiv inställning som gjorde mitt arbete lättare.

*Henrik Sjöman*, för inspiration till det valda ämnet och ett brinnande engagemang som öppnade dörrarna till en helt ny värld av viktig och intressant kunskap i kursen växtteknik (2013).

*Alicia Rosati*

2014-03-10

# Sammanfattning

Syrefattiga förhållanden från översvämningar uppstår tillfälligt i hårdgjorda stadsmiljöer och hotar trädens tillväxt och överlevnad. Under perioder av syrefattiga förhållanden uppstår skador på trädets rotsystem och viktiga biologiska processer som fotosyntes och respiration hämmas. Träd som växer naturligt i flodslätter lever under liknande förhållanden med periodiska översvämningar och stundtals syrefattiga miljöer. Genom att utveckla morfologiska och fysiologiska strategier kan översvämningstoleranta trädarter i flodslätter överleva de syrefattiga förhållandena. Betydande strategier inkluderar aerenchyma vävnader, adventiva rötter, förstörade lenticeller eller klyvöppningar och biokemiska mekanismer. Genom förmågan att utveckla strategier kan träd kompensera för det syre som gått förlorat och upprätthålla normala fysiologiska processer. Översvämningstoleranta trädarter kan ha goda förutsättningar för etablering och utveckling i till exempel hårdgjorda stadsmiljöer. En ökad medvetenhet om översvämningstoleranta trädarters strategier och platsens förutsättningar, exempelvis väderförhållanden och jordstruktur, vid planering skulle kunna leda till att en större andel av träden överlever dagens förhållanden. Vidare forskning i form av fältstudier skulle kunna ge en bredare bild av ämnet och fler slutsatser kring strategiernas utveckling och innebörd i hårdgjord stadsmiljö.

# Abstract

Anaerobic conditions due to flooding occur temporary in urban paved sites and threaten tree growth and survival. During periods of hypoxia, damages emerge on tree roots and important biological processes such as photosynthesis and respiration are inhibited. Floodplain trees grow under similar conditions with periodic flooding and temporary anaerobic environments. Flood tolerant tree species in floodplains have evolved physiological and morphological adaptations to survive stress from anaerobic conditions. These important adaptations include: aerenchyma tissue, adventitious roots, hypertrophied lenticels/stomata and biochemical mechanisms. Evolving adaptations means that trees can compensate for lost oxygen in the soil and maintain normal physiological processes. Increased awareness of flood tolerant tree species and site conditions such as weather and soil structure when planning could lead to a greater portion of trees surviving today's conditions. Further research including field studies would bring more knowledge to the subject and further conclusions of the significance and development of flood tolerant tree species adaptations in urban paved sites.

# Innehållsförteckning

<b>Inledning</b>	1
Bakgrund	1
Syfte	1
Avgränsning, material och metod	1
<b>Träd i hårdgjord stadsmiljö: översvämmade växtbäddar</b>	3
Växtens behov	3
Trädens förhållanden i staden	3
Problematik för träd i hårdgjorda stadsmiljöer	3
Översvämmade växtbäddar	4
Konsekvenser	5
<b>Flodslätter</b>	6
Naturliga översvämningar i flodslätter	6
Översvämningens effekt på vegetationen	6
Hantering av översvämning	6
Strategier	7
<b>Vilka möjligheter ger strategierna till träd i hårdgjord stadsmiljö?</b>	9
<b>Diskussion</b>	10
Metoddiskussion	11
<b>Slutsats</b>	12
<b>Källförteckning</b>	13

# Inledning

## Bakgrund

Träd bidrar med flera sociala, ekologiska, estetiska och ekonomiska fördelar till staden (Tyrväinen et al. 2005). Inte minst förbättrar träd stadens klimat (Tyrväinen et al. 2005). I hårdgjorda stadsmiljöer har träd betydande funktioner som till exempel rening av luften från föroreningar (Beckett 2000).

Att hitta nya träd till hårdgjorda stadsmiljöer är svårt, då dessa miljöer innefattar många stressfaktorer som påverkar trädens vitalitet (Sjöman & Nielsen 2010). Detta ökar trädens utsatthet för sjukdomar och skadedjur (Himelick 1976). Nya träd ska kunna tolerera de stressfaktorer som finns på platsen (Sjöman & Nielsen 2010) och inneha en biologisk och genetisk mångfald för att inte riskera att framtida sjukdomar slår ut stora trädpopulationer i staden (Sun 1992). Dessa krav är prioriterade framför de estetiska och funktionella aspekterna (Sjöman & Nielsen 2010).

”Rätt växt på rätt plats” är ett grundläggande tillvägagångssätt vid val av arter till en växtplats i staden, och en del av ett större etablerat ekologiskt koncept bland trädplanerare (Dunnett 2004). Ekologiska koncept innebär att titta på naturliga miljöer, där flera växter delar gemensamma egenskaper som kan vara intressanta för till exempel hårdgjorda stadsmiljöer (Sjöman 2012). På så sätt kan besparingar ske i annars resurs- och kostnadskrävande förändringar av växtplatsen (Dunnett 2004). Sjöman (2012) och Sæbø et al. (2005) har studerat naturliga habitat som liknar stadens förhållanden, där trädarter har utsatts för stressade miljöer över tid. Där kan passande strategier för hantering av stress hos arter identifieras, och utgöra ett första steg i den process som kan leda till nya stadsträd med tolerans mot de förekommande stressfaktorerna (Sjöman 2012; Sæbø et al. 2005).

En av de stressfaktorerna som finns i hårdgjorda stadsmiljöer är översvämningar i växtbädden, som innebär att trädet står under stundtals syrefattiga förhållanden. Liknande förhållanden uppstår naturligt i flodslätter. Denna biotop utsätts för periodiska översvämningar där träd måste anpassa sig för att överleva de syrefattiga förhållandena.

## Syfte

Syftet med studien är att ta reda på vilka biologiska strategier träd i flodslätter har för att hantera tillfälligt syrefattiga förhållanden, som kan vara värdefulla för att tolerera liknande förhållanden i en hårdgjord stadsmiljö.

## Avgränsning, material och metod

Eventuella tekniska lösningar och metoder som kan skapa bättre förutsättningar för träd i hårdgjord stadsmiljö tas inte upp. Studien avgränsas till att undersöka växtbäddar i hårdgjorda stadsmiljöer utöver skelettjord. Vegetationen i flodslätter kan även utsättas för torka i översvämningens frånvaro, ett förhållande som är vanligt förekommande i hårdgjord stadsmiljö. Då arbetet fokuserar på att beskriva strategier för hantering av syrefattiga förhållanden, kommer trädarternas hantering av torka endast att presenteras kort.

Metoden för arbetet är en litteraturstudie, baserad på fyra olika typer av litteratur: böcker, en avhandling, vetenskapliga artiklar och föreläsningar. Denna metod har valts för att i så stor utsträckning som möjligt få information och kunskap om ämnet. Litteratursökningen påbörjades med att gå igenom kurslitteratur från en tidigare kurs inom landskapsingenjörsprogrammet, vid namn

växtteknik. Litteraturen, som främst består av böcker, hämtades från SLU:s bibliotek i Alnarp och gav grundkunskap och ytterligare vägledning i det fortsatta sökandet av information.

Vidare söktes litteratur i form av vetenskapliga artiklar i databaserna CAB och Primo, tillgängliga via SLU:s bibliotek. Nyckelord som användes var: flooding, waterlogging, flood response, floodplain, plant selection och urban tree. En utmärkande författare i området flodslätter och trädens strategier är T.T. Kozlowski. Några vetenskapliga artiklar var tillhandahållna på papper, via biblioteket och handledare. Artiklar förmedlade av min handledare var speciellt användbara, då de tillförde ytterligare information kring ämnet, som annars har varit svårt att hitta.

Referenslitteratur har guidat arbetets informationssökning och varit till stor hjälp under arbetets gång. En avhandling av Henrik Sjöman har varit betydelsefull för arbetets bakgrund och en viktig källa för vidareinformation inom det valda ämnet.



# Träd i hårdgjord stadsmiljö: översvämmade växtbäddar

## Växtens behov

Enligt Ericsson (2009) har alla växter fem grundläggande behov för tillväxt och välmående: koldioxid, ljus, vatten, syre, näring och värme. Behoven tillfredställs genom två processer i växten: fotosyntes och andning (respiration). Fotosyntesen är nödvändig för att växterna ska kunna bilda socker, växtens primära byggstenar. För att möjliggöra denna process behövs koldioxid, ljus och vatten. De primära byggstenarna i växten sammanbildas till nya celler och vävnader med hjälp av energi från ATP-molekyl som bildas när växten respirerar (andas). Växtens respiration bildar ATP-molekyler genom att förbränna socker, och för att kunna göra detta krävs tillgång på syre. Tillgången på näring i jorden (mineraler och kväve) styr balansen i fotosyntesen och respirationen (Ericsson 2009).

Syre, mineralnäringsämnen och vatten hämtas främst från rotsystemet i jorden (Kozlowski 1985). För att vatten i marken ska kunna vandra in i rötterna krävs det att rötterna har höga näringskoncentrationer (Ericsson 2009). ATP är den energi som driver näringskoncentrationerna i rötternas yttre delar (Ericsson 2009). För att producera ATP och för att vatten ska kunna tas upp i rötterna krävs alltså tillgängligt syre i jorden (Ericsson 2009). Gasutbytet mellan luften och jorden möjliggör att syre finns tillgängligt i jorden och förhindrar att det konsumeras av jordens mikroorganismer (Kozlowski 1985).

## Trädens förhållanden i staden

I hårdgjorda stadsmiljöer växer träd i konstruerade växtbäddar som består av jord och trädens rotsystem (Watson & Himelick 1997). Vattnet som trädet livnär sig på i staden kommer till större delen från regnvatten. Den urbana jorden (jorden formad av urbanisering) är förändrad från sin naturliga struktur och har ofta en svag vattenhållande och dränerande förmåga samt begränsad syre- och näringstillgång (Bradshaw et al. 1995; Craul 1992). En rad underjordiska och överjordiska faktorer i staden avgör växtplatsens förutsättningar (Trowbridge & Bassuk 2004). Enligt Trowbridge och Bassuk (2004) är förståelsen för trädens behov och de förutsättningar som finns på växtplatsen i staden avgörande för en lyckad trädplantering.

## Problematik för träd i hårdgjorda stadsmiljöer

Staden är komplex och artificiell, med vägar, byggnader, trottoarer och parkeringar som utgör växtplatser för många träd (Bradshaw et al 1995; Himelick 1976; Moeller 1976; Santamour Jr. 1976; Trowbridge & Bassuk 2004). Sådana växtplatser, som omges av hårda och ogenomträngliga material (asfalt, betong etc.) kallas för hårdgjorda stadsmiljöer (Sjöman & Nielsen 2010). Hårdgjorda stadsmiljöer i staden har olika förutsättningar under och över mark som innebär tuffa förhållanden för trädets tillväxt (Bradshaw et al. 1995). Några av de problematiska situationer som uppstår under mark är kompakterad jord, näringsbrist, syrebrist, vattenbrist och över mark värme, föroreningar, vind, vandalisism och ogräs (Bradshaw et al. 1995). Dessa har en stressande effekt på träd och kan leda till en nedsatt tillväxt, försämrade etablering och i många fall, trädets död (Bradshaw et al. 1995). Vilka situationer som uppstår varierar beroende på växtplatsen (Bradshaw et al. 1995). Idag är det många träd som dör i staden vilket ofta är en effekt av flera faktorer (Bühler, et al. 2007; Bradshaw, Hunt & Walmsley 1995; Trowbridge & Bassuk 2004). Bradshaw, Hunt och Walmsley (1995) beskriver

vattentillgången som den allvarligaste stressfaktorn, i form av vattenbrist (torka) eller översvämmade jordar (syrebrist).

## Översvämmade växtbäddar

Syrefattiga förhållanden i växtbädden är en vanlig förekomst i urbana miljöer och är ett resultat av fyra faktorer i jorden: kompaktion, påfyllnad av jord på befintligt rotsystem, ogenomträngliga ytor runt rötterna och översvämning av jorden (Kozlowski 1985). Av dessa fyra faktorer är översvämmade jordar i växtbäddar något som kan uppstå tillfälligt (några dagar) och är därför en situation som är svårt att förutse (Bradshaw et al. 1995). När en jord är vattenmättad minskar gasutbytet drastiskt, då syret sprider sig 10 000 ggr långsammare i vattenmättade jordporer än i luftfyllda jordporer (Blom & Voeselek 1996; Ernst 1990). Det syre som finns kvar konsumeras snabbt av jordens mikroorganismer (Blom & Voeselek 1990; Kozlowski 1985).

Bradshaw et al. (1995) menar att förekomsten av översvämning i växtbädden är en vanlig förekommande under växtsäsongen, när träden är som mest utsatta. Detta är på grund av att rotsystemen är biologiskt aktiva under växtsäsongen (Ashman & Puri 2002). Träd som utsätts för syrefattiga förhållanden senare på växtsäsongen, det vill säga under höst och vinter, drabbas mindre allvarligt (Bradshaw et al. 1995). Översvämning av jorden under trädets vilosäsong är inte något större problem, menar Ashman & Puri (2002) då växtens rotaktivitet är låg.

Orsaken till översvämmade växtbäddar kan vara flera, i många fall handlar det om en undermålig dränering i jorden. Dränering är den infiltrerande förmågan av vatten i jorden, och kan ske mer eller mindre effektivt beroende på jordens textur (proportioner av sand-, silt- och lerpartiklar) och jordens struktur (sammansättning av partiklar till aggregat) (Trowbridge & Bassuk 2004). Inuti och mellan jordens aggregat finns porer (Trowbridge & Bassuk 2004). Vatten transporteras i jordens makroporer (jordens största porer - kanaler för vatten, syre och rottillväxt) mellan aggregaten och den dränerande förmågan ökar ju fler makroporer som finns i jorden (Trowbridge & Bassuk 2004). Det är när makroporer i jorden pressas ihop av olika externa påtryckningar, som syre och dräneringen i jorden minskar kraftigt och en så kallad kompakterad jord bildas (Trowbridge & Bassuk 2004). Kompaktion är vanligt förekommande i urbana jordar och är en av orsakerna till varför dräneringen kan vara undermålig i hårdgjorda stadsmiljöer.

Kompaktion är ett resultat av de förändringar och påverkningar som den urbana jorden utsätts för i samband med bebyggelse, trafik (bilar och människor), hantering (transport och upplag) och vibration (gatutrafik, bebyggelseaktiviteter) i staden (Craul 1992). I en kompakterad jord har dess struktur och aggregat förstörts, vilket lämnar litet utrymme för gasutbyte, vattenflöde, rotpenetrering och näringsupptag (Trowbridge & Bassuk 2004). Rötterna upplever svårigheter att ta sig fram i den kompakta jorden på grund av det mekaniska motståndet och bristen på syre (Craul 1992). En försämrad struktur och dränerande förmåga i jorden kan enligt Trowbridge och Bassuk (2004) resultera i att överskottsvatten tvingas upp till växtens rötter och enligt Bradshaw, Hunt och Walmsley (1995) leda till att vatten stannar kvar vid rotzonen, vilket berövar rötterna på syretillgången.

Om det finns ett kompakt jordlager under växtbädden som hindrar dränering kommer den nedre delen av växtbädden att fyllas med vatten under stora mängder regnfall (Bradshaw et al. 1995). I dessa situationer utsätts delar av rotsystemet för längre perioder av stående vatten i växtbädden (Bradshaw et al. 1995).

I växtbäddar där jordvolymen är begränsad är det vanligt att träd upplever översvämmade jordar (Trowbridge & Bassuk 2004). En begränsad växtbädd som är liten på djupet och volymen innebär att jorden fort blir väldigt blöt efter regnfall, och väldigt torr när den torkar upp (Trowbridge & Bassuk 2004). Syrefattiga förhållanden kan uppstå ifall vattnet inte dräneras bort i den begränsade jordvolymen (Trowbridge & Bassuk 2004).

Plötsliga översvämningar från stora regnfall kan resultera i att stora mängder regnvatten leds ner till växtbäddarna i en högre grad än vad jorden dränerar bort vattnet (Craul 1992). Översvämningar i städer är en alltmer vanlig förekomst och därmed ökar också behovet av omhändertagande av dagvatten (Jha et al. 2012). Orsakerna till översvämningens ökning i städer är bland annat stadens urbanisering, klimatförändringar och ökande befolkningsmängder (Jha et al. 2012).

## Konsekvenser

Syrefattiga miljöer kan innebära allvarliga konsekvenser på trädets tillväxt och överlevnad (Bradshaw et al. 1995). Konsekvenserna innebär komplikationer i trädets rotsystem (Blom & Voesenek 1996; Kozlowski 1985) och betydande biologiska processer (Ericsson 2009). Vanligtvis dör träd utan tillgängligt syre under en längre tid (Perata & Alpi 1993).

Den första processen som drabbas till följd av syrebrist i jorden är rotens respiration (Craul 1992; Kozlowski). När syret är lågt eller obefintligt i jorden reduceras produktionen av ATP (energidrivande molekyl för vatten- och näringsupptag i rötter), respirationen slutar att fungera och närings- och vattenupptaget hämmas i växten (Kozlowski 1985). Fotosyntes hämmas, stadgan försämras, bladstorlek minskar (Ericsson 2009) och trädets tillväxt reduceras (Craul 1992).

Under perioder av syrefattiga förhållanden sker skador på växtens rotsystem (Craul 1992). Rotsystemets tillväxt reduceras, och i många fall dör rötter till följd av syrefattiga förhållanden (Kozlowski 1985). Gasutbytet påverkas i jorden och koldioxidhalten i jorden ökar vilket verkar giftigt för rötterna (Watson & Himelick 1997).

Ett nyplanterat stadsträd som har dött eller har en försämrad tillväxt innebär stora ekonomiska kostnader, för att inte tala om de visuella (estetiska) och funktionella (ex. vindreducering, skugga, renar luften, hantering av dagvatten) värdena som går förlorat (Bradshaw et al. 1995). En nedsatt tillväxt kan leda till en ökad mottaglighet för skadedjur och sjukdomar (Santamour Jr. 1976).

# Flodslätter

## Naturliga översvämningar i flodslätter

Naturliga översvämningar påverkar ekosystem världen över och har en betydande effekt på vegetationen i det område som påverkas, bland annat i flodslätter (Blom et al. 1990). I stora drag kan två typer av översvämningar i ekosystem urskiljas, de som sker regelbundet och de som förekommer oregelbundet (Blom et al. 1990). De regelbundna översvämningarna finns längst kuster och de oregelbundna längst floder (Blom et al. 1990). Periodisk översvämning är oregelbunden och vanligt förekommande i flodslätter (Cosgriff et al. 2007). Denna typ av översvämning innebär att vegetationen lever med syrefattiga förhållanden under översvämning och lever i torka i översvämningen frånvaro (Ellenberg 1988). Enligt Sjöman (2012) är habitat med blöta och torra vegetationsperioder intressant att närmare på i sökandet efter nya stadsträd.

Kozlowski definierar begreppet flodslätter som: "land adjacent to streams that has been flooded naturally in historic time." (1984a s.2). Översvämningar i flodslätter är ett överflöd av vatten som kommer från anslutande floddalar (Kozlowski 1984a). Flodslätter förekommer exempelvis runt om i Centraleuropa (Ellenberg 1988) och i USA, Canada (Romano 2010; Cosgriff et al. 2007).

## Översvämningens effekt på vegetationen

Översvämningens frekvens, varaktighet och tidpunkt har en betydande effekt för hur trädet klarar av förhållandena i flodslätten (Blom & Voesenek 1996; Cosgriff et al. 2007; Ernst 1990; Kozlowski & Pallardy 2002). Stående vatten innebär allvarligare konsekvenser på träd än rörligt vatten (Kozlowski 1984b; Kozlowski 1985). Även den mest översvämningstoleranta trädart som *Taxodium distichum* reducerar sin tillväxt under stående vatten, menar Shanklin och Kozlowski (1985).

Blom & Voesenek (1996) beskriver att skogen i en flodslätt är uppdelad i vegetationszoner där växterna ställs inför olika förutsättningar beroende på var zonen ligger i topografin. I de lägre områdena, intill flodstranden är översvämningar ett betydande inslag att förhålla sig till för växter, medan i de övre områdena är konkurrenskraftigheten mest betydelsefull. Varje vegetationszon har på grund av detta sin unika artuppsättning. Arter som växer i samma vegetationszon har, trots samma förutsättningar olika strategier för att tolerera översvämningar. Vegetationszoner framkallas av tillfälliga översvämningar (Blom & Voesenek 1996).

## Hantering av översvämning

Bland alla växter är träd de mest toleranta mot översvämning (Crawford 1982). Genom att utveckla morfologiska och fysiologiska strategier kan träd i flodslätter hantera stress från tillfälliga syrefattiga förhållanden på olika sätt (Kozlowski 1985; Kozlowski & Pallardy 2002; Perata & Alpi 1993; Romano 2010; Schulze et al. 2005). Träden kan till och med vara beroende av periodiska översvämningar för etablering, tillväxt och överlevnad (Kozlowski & Pallardy 2002). Träd som hanterar de syrefattiga förhållandena genom att utveckla strategier kallas översvämningstoleranta trädarter (Kozlowski & Pallardy 2002). Översvämningstoleranta trädarter behöver vara opåverkade av översvämningar minst 55 % - 60 % av växtsäsongen för att överleva (Crawford 1982).

Vegetationen i flodslätter har även en förmåga att hantera torka i översvämningens frånvaro genom att följa det tillbakadragna vattnet med rötter eller genom att reducera sin transpiration (Ellenberg 1988).

Vidare menar Ellenberg (1988) att perioder av torra i kan under vissa omständigheter vara mer fördande för vegetationen än översvämningstoleranta perioder i flodslätter.

## Strategier

Betydande morfologiska strategier som utvecklas hos översvämningstoleranta trädarter innefattar: aerenchym vävnader (Kozłowski 1984b; Kozłowski & Pallardy 2002), adventiva rötter (Schulze et al. 2005; Kozłowski 1985; Kozłowski 1984b) och förstörade lenticeller eller klyvöppningar (Kozłowski & Pallardy 1979; Kozłowski 1984b). Biokemiska mekanismer utvecklas hos vissa trädarter (Kozłowski 1985). De morfologiska strategierna gör att trädet kan upprätthålla normala fysiologiska processer (Kozłowski 1985).

Fytohormoner i trädet spelar en stor roll i växtens respons till de förändringar som sker i miljön (Blom & Voeselek 1996). Etylen är ett av de fytohormoner som har en betydande funktion i bildandet av åtminstone två strategier: adventiva rötter och aerenchym vävnad (Blom & Voeselek 1996). Produktionen av etylen ökar under syrefattiga förhållanden (Schulze et al. 2005).

Bildandet av aerenchym vävnader i rötter och stam är en betydande anpassning hos översvämningstoleranta trädarter för att undvika de syrefattiga förhållandena i jorden (Kozłowski 1984b; Kozłowski & Pallardy 2002). Aerenchym vävnader innehåller stora cellutrymmen som bidrar till en effektiv syretransport (Kozłowski 1984b). Cellutrymmena, eller kanaler som Blom och Voeselek (1996) beskriver dem, möjliggör gasspridning och ventilation mellan växtens organ. Vävnaderna kan även finnas permanent hos vissa trädarter, där syre transporteras effektivt från blad till rötter (Kozłowski 1984b) Produktionen av aerenchym är en respons på låg syrehalt i rotzonen och formas genom separation och upplösning av celler (Blom & Voeselek 1996; Kozłowski 2002). Aerenchym vävnad finns permanent hos trädsläkten som *Salix* och *Myrica* (Kozłowski 1984b).

När delar av rotsystemet dör till följd av syrefattiga förhållanden, bildas det hos vissa översvämningstoleranta trädarter adventiva rötter med en väl utvecklad aerenchym vävnad ovanpå trädets ursprungliga rotsystem och- eller i översvämmande delar av stammen (Schulze et al. 2005; Kozłowski 1985; Kozłowski 1984b). De adventiva rötterna letar sig fram i de övre, luftigare jordlagren (Blom & Voeselek 1996) och kompenserar för förlusten av det ursprungliga rotsystemet genom att ta upp syre och mineraler (Kozłowski 1984b). Adventiva rötter kan hittas hos trädarter som *Platanus occidentalis* (Tang & Kozłowski 1982a), *Ulmus americana* (Kozłowski 1984c), *Alnus glutinosa*, *Acer rubrum*, *Liriodendron tulipifera*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Pinus contorta* och *Picea sitchensis* (Hook 1984). Tidigare forskning av flodslätter i Upper Mississippi River System som utsattes för en storskalig översvämning visar att större träd hos flera arter hade bättre överlevnadsförmåga än ett litet träd på grund av dess livskraft och storlek på rotsystemet och därför större kapacitet att bilda adventiva rötter (Cosgriff et al. 2007).

En annan strategi hos trädarter är att absorbera syre genom förstörade lenticeller eller klyvöppningar på stammen och transportera det till rötterna (Kozłowski & Pallardy 1979; Kozłowski 1984b). Syret utlöses sedan i rhizosfären (Kozłowski & Pallardy 1979) - den jordyta som är direkt påverkad av roten (Nationalencyklopedin 2014). Det finns även trädarter som utvecklar förstörade lenticeller i rötterna med hjälp av påskyndade processer och cellförändringar i stammens tillväxtområden (Kozłowski & Pallardy 2002). Lenticeller som utvecklas i rötter bidrar till utbyte av upplösta gaser i jorden samt bortförandet av giftiga ämnen i växten (Kozłowski & Pallardy 2002). Utvecklandet av lenticeller som syreabsorbering finns hos trädarterna *Platanus occidentalis* (Tang & Kozłowski 1982a), *Ulmus americana* och *Quercus macrocarpa* (Tang & Kozłowski 1982b).

Vissa träd utvecklar komplicerade biokemiska mekanismer för att överleva syrefattiga miljöer (Kozlowski 1985). Dessa strategier innefattar förändringar av ämnesomsättningar samt underhåll av sockertillgången och hög energiladdning i trädet (Kozlowski 1985). Enligt Blom och Voesenek (1996) är bildandet av aerenchyma vävnader och adventiva rötter en strategi för hantering av långvariga översvämningar, medan förändringar i växtens ämnesomsättning är en strategi för kortsiktig tolerans av syrebrist.

# Vilka möjligheter ger strategierna till träd i hårdgjord stadsmiljö?

Etableringen av träd i börjar efter de har planterats i staden och är en kritisk och avgörande del för trädets överlevnad (Trowbridge & Bassuk 2004). Den är kritisk eftersom ett träd som planteras har fått en rejäl beskärning av sina rötter i plantskolan, och har ofta svårt att förse kronan med näring och vatten i den utsträckning som behövs (Hirons och Percival 2012). Enligt Hirons och Percival (2012) har trädarter som tolererar översvämning genom att utveckla adventiva rötter, aerenchyma vävnad och förstörade lenticeller benägenhet till bättre etablering och överlevnad i till exempel hårdgjorda stadsmiljöer än träd som inte utvecklar strategierna. Överlevnad och etablering påverkas av följande faktorer enligt Hirons och Percival (2012): Trädartens ekofysiologi (egenskaper – tolerans för planteringsstress m.fl.), trädkvalitet (hantering i plantskola, hantering av transport m.fl.), planterings- och efterplanteringsutförande (kronbeskärning, trädstöd, skötsel av träd efter plantering ex. bevattning m.fl.) och rotsystemets miljö i växtbädden (jordvolym, jordstruktur, m.fl.).

Ett etablerat träd kan leverera de visuella och funktionella värden som var planerat (Bradshaw et al. 1995). Värdena ingår i de ekosystemtjänster som träden bidrar med i städer, och inkluderar bland annat luftfiltrering från föroreningar, reglering av mikroklimat, ljuddämpning, omhändertagande av dagvatten och rekreativa, kulturella värden (Costanza et al. 1997). De rekreativa, kulturella värdena innebär trädens förmåga att skapa en plats för till exempel lek, vila och fåglar (Bolund & Hunhammar 1999). Trädens stressreducerande effekt hos människor är betydande del i dessa värden (Bolund & Hunhammar 1999).

Träd har även en betydelse för bidragandet av mångfald till stadens trädpopulation (Sjöman & Nielsen 2010; Sjöman 2012; Sun 1992). Vikten av mångfald av träd i staden har betonats av flera forskare tidigare, bland annat Sun (1992) och Sjöman och Nielsen (2010). I en stad med låg mångfald av trädarter kan sjukdomar slå ut hela trädpopulationer, sådana fall har skett med tidigare till exempel almsjukan (Sun 1992). Trädarter som kan tolerera den stress som förekommer på växtplatsen i hårdgjorda stadsmiljöer samt har en biologisk och genetisk mångfald är avgörande för en ökad mångfald i staden (Sun 1992). Sådana trädarter har även bättre förutsättningar för etablering och överlevnad (Sun 1992).

Forskning inom liknande ämnen har gjorts av Day et al. (1999), som visade att *Acer Saccharinum*, en väl utbredd översvämningstolerant trädart ökade sin rottillväxt i en måttlig kompakt jord med låg syrenivå. Experiment av Smith et al. (2001) gjordes på vanligt förekommande stadsträd som utsattes för översvämmade jordar under vintern för att se trädens respons och påverkan på etablering. Slutsatsen var att arternas respons hade en betydelse för etableringen, att kännedomen kring den urbana jordens förhållanden är en betydande del i designprocessen samt att artval bör gå efter tolerans till platser med kritiska jordförhållanden. Vidare menar Day et al. (1999) att några av de mest framgångsrika träd i hårdgjorda stadsmiljöer är översvämningstoleranta trädarter, till exempel *Ulmus americana*, *Platanus x acerifolia*, *Quercus palustris* och *Fraxinus pennsylvanica*.

# Diskussion

Syrefattiga förhållanden till följd av en översvämmad jord ofta är ett resultat av dåligt utförande. Orsaken kan även vara oförutsedda förändringar i klimatet, till exempel vid stora regnfall. Dunnett (2004) talar om ”rätt växt på rätt plats” vilket lyfter betydelsen av kunskap kring trädarters strategier och en noggrann undersökning av platsen där man ska plantera trädet. I detta fall kan det handla om att undersöka exempelvis platsens väderförhållanden och jordstruktur för att få förståelse för platsens förutsättningar. En ökad medvetenhet om översvämningstoleranta trädarters strategier och platsens förutsättningar vid planering skulle kunna leda till att en större andel av träden överlever dagens förhållanden. Detta skulle resultera i en långsiktig kostnadsbesparing och ökade ekosystemtjänster.

Enligt Hiron och Percival (2012) kan de strategier som identifierats i denna studie bidra till förbättrade etableringsmöjligheter. Samma källa redovisar ett flertal faktorer som påverkar etableringen av ett träd förutom trädartens ekofysiologi: trädkvalitet, planterings- och efterplanteringsutförande och rotsystemets miljö i växtbädden. Slutsatser man kan dra utifrån detta är att även andra faktorer som till exempel transporten av träd och etableringsskötseln efter plantering är betydande för att trädet överhuvudtaget ska kunna etablera sig på platsen. Flera faktorer måste alltså samspela under etablering av ett träd och det krävs mer än bara trädens egenskaper och strategier för en lyckad etablering.

Likt de hårdgjorda stadsmiljöerna, förekommer olika förutsättningar även i naturen. I flodslätterna varierar förutsättningarna mellan olika vegetationszoner på samma sätt som dessa varierar mellan olika växtplatser i hårdgjorda stadsmiljöer. Enligt Blom och Voesenek (1996) skiljer sig de utvecklade strategierna även mellan olika arter inom samma vegetationszon. Vad beror detta på? Kan det vara så att vissa arter har större potential att utveckla strategier? I sådana fall innebär det att man inte bara ska titta på en ursprunglig miljö där det förekommer liknande förhållanden, utan även titta på specifika arters förmåga att utveckla strategier som kan vara avgörande för tillväxt och överlevnad i hårdgjorda stadsmiljöer.

Strategierna som träd utvecklar efter etablering är lika värdefulla som under etablering och deras förmåga att använda sig av strategierna ökar i takt med tillväxten. Ett översvämningstolerant träd som har etablerats och utvecklats till ett stort träd har en större förmåga att hantera syrefattiga förhållanden då trädet har ett stort rotsystem med hög kapacitet till att utveckla adventiva rötter. Att välja stora kvaliteter av översvämningstoleranta träd till hårdgjorda stadsmiljöer kan därför vara avgörande för dess etablering och hantering av syrefattiga förhållanden på växtplatsen.

Översvämningstoleranta trädarter som nämns i studien, till exempel *Ulmus americana* och *Fraxinus pennsylvanica* tillhör några av de mest framgångsrika träd i hårdgjord stadsmiljö, enligt Day et al. (1999). Gemensamt för båda trädarterna är att de utvecklar strategier för att hantera tillfälligt syrefattiga förhållanden. Det tyder på att strategier har en avgörande påverkan på trädets möjligheter vad gäller etablering och utveckling i ett långsiktigt perspektiv. Att titta på översvämningstoleranta trädarter i flodslätter är därför högst relevant i sökandet efter nya träd till hårdgjorda stadsmiljöer.

Sjöman (2012) utmärker identifiering av strategier som ett första steg i processen. Förslag på vidareforskning är att studera varaktigheten, tidpunkten och frekvensen av översvämning under växtsäsongen i hårdgjorda stadsmiljöer. Detta är relevant då översvämningstoleranta träd kräver att jorden är fri från översvämning minst 55 - 60 % av växtsäsongen (Crawford 1982) och eftersom översvämningar i växtbädden är mest förekommande under växtsäsongen (Bradshaw et al. 1995). Ett



annat förslag är att undersöka vilken påverkan olika produktionsmetoder har på strategierna under uppodling i plantskolan, det vill säga effekterna av olika beskärningsmetoder på rotsystemet.

Vidare kan det vara intressant att undersöka vad som är mest kostnadseffektivt - att konstruera goda växtmiljöer för träd eller att välja arter som är kan tolerera stress. Visserligen är båda faktorerna beroende av varandra eftersom träd oavsett tolerans kräver goda förutsättningar vid plantering. Det kan dock vara intressant att veta den ekonomiska skillnaden då översvämningstoleranta trädararter kan innebära förbättrade etableringsmöjligheter och utveckling i en hårdgjord stadsmiljö.

## Metoddiskussion

Litteratur som behandlar översvämningar i växtbäddar är utländsk, men det tas för givet att problemet även uppstår i Sverige. Direkta kopplingar mellan hårdgjorda stadsmiljöer och översvämningar har inte hittats i litteraturen, som framförallt pratar om översvämningar i "urban areas". Detta begrepp innefattar många olika typer av växtplatser och därför har ett antagande gjorts – att situationen uppstår i hårdgjorda stadsmiljöer, som är en typ av växtplats i staden. Tidigare forskning av Day et al (1999) och Smith et al. (2001) visar att det finns ett samband mellan hårdgjorda stadsmiljöer och översvämningar, vilket styrker detta antagande. Med det sagt finns det ett behov av ytterligare forskning kring översvämningarnas förekomst i hårdgjorda stadsmiljöer. Detta är en viktig utgångspunkt för att kunna gå vidare inom ämnet.

Under litteraturstudien har det inte hittats någon forskning som praktiserar flera steg i processen för detta ekologiska koncept. Endast det första steget i processen som innebär studier av naturliga miljöer och identifiering trädarters strategier har praktiserats.

Andra metoder för att besvara syftet med denna studie skulle kunna vara en tilläggande fältstudie där man jämför etableringen och utvecklingen av översvämningstoleranta träd som utvecklar olika strategier i en hårdgjord stadsmiljö. Detta skulle kunna vara ett sätt att ta reda på vilka strategier som resulterar i bättre etablering.

# Slutsats

I hårdgjorda stadsmiljöer förekommer tillfälliga översvämningar av växtbäddar som innebär att trädet står under stundtals syrefattiga förhållanden. Situationen är svårt att förutse eftersom det kan pågå ett fåtal dagar men ändå vara kritiskt för trädets tillväxt och överlevnad, framförallt om det inträffar under växtsäsongen. För att hitta nya stadsträd som kan tolerera stress från översvämningar kan man titta på träd i flodslätter, en naturlig biotop där liknande förhållanden uppstår. Träd i flodslätter utsätts för periodiska översvämningar och måste anpassa sig för att överleva de syrefattiga förhållanden som uppstår. Sådana träd benämns som översvämningstoleranta, då de utvecklar morfologiska och fysiologiska strategier för att hantera förhållandena. Strategierna innefattar

- bildandet av stora cellutrymmen för effektiv syretransport, så kallade aerenchyma vävnader i rötter och stam
- adventiva rötter som tar upp vatten och näring och växer i de övre, mindre blöta jordlagren
- förstörade lenticeller eller klyvöppningar på rötter eller stammen som absorberar syre, bidrar till utbyte av gaser och för bort giftiga ämnen i trädet
- biokemiska förändringar av ämnesomsättningen och underhåll av sockertillgången och hög energiladdning i trädet

Träd som har utvecklat strategier för att hantera stundtals syrefattiga förhållanden kan ha goda förutsättningar för etablering och utveckling till exempel i hårdgjorda stadsmiljöer. En lyckad etablering och utveckling innebär att träd kan bidra med ekosystemtjänster och ökad mångfald till stadens trädpopulation. En ökad medvetenhet om översvämningstoleranta trädarters strategier och platsens förutsättningar vid planering skulle kunna leda till att en större andel av träden överlever dagens förhållanden. Detta skulle resultera i en långsiktig kostnadsbesparing. Vidare kan det vara intressant att undersöka vad som är mest kostnadseffektivt - att välja trädarter som kan tolerera stress eller att konstruera goda växtmiljöer för träd.

Ämnet är relativt outforskat. En källa av Hirons och Percival (2012) bekräftar att strategier utvecklade hos översvämningstoleranta trädarter är värdefulla för etablering. En annan källa av Day et al. (1999) bekräftar att översvämningstoleranta arter, ex *Ulmus americana* och *Fraxinus pennsylvanica* har goda framgångar i ett långsiktigt perspektiv i hårdgjord stadsmiljö. Studien har redovisat att båda trädarterna utvecklar strategier som innefattar stängda klyvöppningar och adventiva rötter. Det tyder på att dessa två strategier har en värdefull roll i trädets etablering och utveckling. Enligt Blom och Voesenek (1996) är bildandet av aerenchyma vävnader och adventiva rötter en strategi för hantering av långvariga översvämningar, medan förändringar i växtens ämnesomsättning är en strategi för kortsiktig tolerans av syrebrist. Med hjälp av en fältstudie skulle möjligtvis fler slutsatser kunna dras kring vilka strategier som är värdefulla, då det skulle kunna vara ett sätt att ta reda på om det finns vissa strategier som är mer värdefulla än andra.

# Källförteckning

- Ashman, M. R. & Puri, G. (2002). *Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science*. Oxford: Blackwell Science.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. & Taylor, G. (2000). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *The Arboricultural journal*, 24(2/3), ss. 209-230.
- Blom C.W.P.M., Bögemann G.M., Laan P., van der Sman A.J.M., van de Steeg H.M., Voesenek L.A.C.J. (1990). Adaptations to flooding in plants from river areas. *Aquatic Botany*, 38(1), ss. 29-47. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304377090900975>
- Blom, C.W.P.M & Voesenek, L.A.C.J. (1996). Flooding: the survival strategies of plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 11(7), ss. 290-295. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0169534796100343>
- Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), ss. 293-301. Tillgänglig: <http://sfxeu11.hosted.exlibrisgroup.com/sfxslub/img/ajaxtabs/transparentpixel.png>
- Bradshaw, A., Hunt, B. & Walmsley, T. (1995) *Trees in the urban landscape: principles and practice*. London: Spon
- Bühler, O., Kristoffersen, P. & Larsen, S. U. (2007). Growth of Street Trees in Copenhagen With Emphasis on the Effect of Different Establishment Concepts. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(5), ss. 330-337.
- Cosgriff, R. J., Nelson, J. C. & Yin, Y. (2007) Floodplain forest response to large-scale flood disturbance. *Transactions of the Illinois State Academy of Science*, 100(1), ss. 47-70.
- Costanza, R., d'Arge, R., deGroot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P & vandenBelt, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), ss. 253 -260 Tillgänglig: <http://www.nature.com/nature/journal/v387/n6630/full/387253a0.html>
- Craul, P.J. (1992). *Urban soil in landscape design*. New York: Wiley.
- Crawford, R.M.M. (1982). Physiological Responses to Flooding. I: Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. (red.) *Physiological plant ecology. 2, water relations and carbon assimilation*. Berlin: Springer-Verlag, ss.453-477.
- Dunnett, N. (2004). The dynamic nature of plant communities – pattern and process in designed plant communities. I: Dunnett, N. & Hitchmough, J. (red.) *The dynamic landscape: design, ecology and management of naturalistic urban planting*. London: Spon, ss. 97-114.
- Ellenberg, H. (1988) *Vegetation ecology of central Europe*. 4 uppl., Cambridge: Cambridge University Press.
- Ericsson, T. (2009). *Växtbiologi*. Stockholm: Riksförbundet Svensk trädgård.

- Ernst, W.H.O. (1990). Ecophysiology of plants in waterlogged and flooded environments. *Aquatic Botany*, 38(1), ss.73-90. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304377090900997>
- Himelick E.B. (1976) Disease stresses of urban trees. I: Santamour Jr., F.S., Gerhold, H.D., Little, S. (red.) *Better trees for metropolitan landscapes*. Upper darby, Pa, ss. 113-125.
- Hirons, A.D & Percival, G.C. (2012). *Fundamentals of tree establishment: a review*. (Research Report, 2012:017). Edinburgh: Forestry Commission.
- Hook, D.D. (1984). Adaptions to flooding with fresh water. I: Kozlowski T.T. (red.) *Physiological ecology*. New York: Academic Press, Inc, ss. 265-294.
- i-Tree Streets. <http://www.itreetools.org/index.php> [2014-03-04]
- Jha, A.K., Bloch, R. & Lamond J. (2012) *Cities and flooding, a guide to integrated urban flood risk management for the 21<sup>st</sup> Century*. Herndon: World bank Publications. Tillgänglig: <http://site.ebrary.com/lib/slub/docDetail.action?docID=10535701> [2014-02-26].
- Kozlowski, T.T. (1984a). Extent, Causes, and Impacts of Flooding. I: Kozlowski T.T. (red.) *Physiological ecology*. New York: Academic Press, Inc, ss. 1-7.
- Kozlowski, T.T. (1984b). Plant Responses to Flooding of Soil. *BioScienc*, 34(3), ss. 162 -167. Tillgänglig: <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/34/3/162>
- Kozlowski, T.T. (1984c). Responses of Woody Plants to Flooding. I: Kozlowski T.T. (red.) *Physiological ecology*. New York: Academic Press, Inc, ss. 129-163.
- Kozlowski, T.T. (1985). Soil aeration, flooding and tree growth. *Journal of Arboriculture*, 11(3), ss. 85-96.
- Kozlowski, T.T. & Pallardy, S.G. (1979). Stomatal Responses of Fraxinus-Pennsylvanica Seedlings during and after flooding. *Physologica Plantarum*. 46(2), ss. 155-158. Tillgänglig: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.1979.tb06549.x/abstract>
- Kozlowski, T.T & Pallardy, S.G. (2002). Acclimation and Adaptive Responses of Woody Plants to Environmental Stresses. *The Botanical Review*, 68(2), ss. 270-334. Tillgänglig: <http://sfxeu11.hosted.exlibrisgroup.com/sfxslub/img/ajaxtabs/transparentpixel.png>
- Moeller, G.H. (1976). Foreword. I: Santamour Jr., F.S., Gerhold, H.D., Little, S. (red.) *Better trees for metropolitan landscapes*. Upper darby, Pa.
- Nationalencyklopedin* (2014). Rotzon. <http://www.ne.se/rotzon> [2014-02-14].
- Perata, P. & Alpi, A. (1993). Plant responses to anaerobiosis. *Plant Science (Limerick)*, 93(1-2), ss. 1-17.
- Romano, S.P. (2010). Our current understanding of the Upper Mississippi River System floodplain forest. *Hydrobiologia*, 640, ss. 115-124.

Santamour Jr., F.S. (1976) Breeding and selecting better trees for metropolitan landscapes. I: Santamour Jr., F.S., Gerhold, H.D., Little, S. (red.) Better trees for metropolitan landscapes. Upper darby, Pa, ss. 1-8.

Schulze, E-D., Beck, E. & Müller-Hohenstein, K. (2005) *Plant ecology*. Berlin: Springer.

Shanklin, J. & Kozlowski T.T. (1985). Effect of flooding of soil on growth and subsequent responses of *Taxodium distichum* seedlings to SO<sub>2</sub>. *Environmental pollution. Series A. Ecological and biological*, 38(3), ss. 199 -212. Tillgänglig:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0143147185901266#>

Sjöman, H. (2012). *Trees for tough urban sites: Learning from nature*. Diss. Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Sjöman, H. & Nielsen, A.B. (2010) Selecting trees for urban paved sites in Scandinavia – A review of information on stress tolerance and its relation to the requirements of tree planners. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(4), ss.281-293. Tillgänglig:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866710000385>

Sun, W.Q. (1992). Quantifying species diversity of streetside trees in our cities. *Journal of Arboriculture*, 19(2), ss. 91-93. Tillgänglig: [http://joa.isa-arbor.com/browse.asp?Journals\\_ID=1](http://joa.isa-arbor.com/browse.asp?Journals_ID=1)

Sæbø, A., Zelimir, B., Ducatillion, C., Hatzistathis, A., Lagerström, T., Supuka, J., Garcis-Valdecantos, J.L., Rego, F., Slycken, J. (2005). The selection of plant materials for street trees, park trees and urban woodlands I: Konijnendijk, C.C., K. Nilsson, T.B. Randrup, and J. Schipperijn (Red.) *Urban Forests and Trees*. Berlin, Heidelberg :Springer-Verlag, ss. 257-280. Tillgänglig:

<http://link.springer.com.ezp.sub.su.se/book/10.1007/3-540-27684-X/page/1>

Tang, Z.C. & Kozlowski, T.T. (1982a) Physiological, morphological, and growth responses of *Platanus occidentalis* seedlings to flooding. *Plant and Soil*, 66(2), ss. 243-255. Tillgänglig:

<http://link.springer.com/article/10.1007/BF02183983>

Tang, Z.C. & Kozlowski, T.T. (1982b) Some physiological and morphological responses of *Quercus-macrocarpa* seedlings to flooding. *Canadian journal of forest research*, 12(2), ss. 196-202.

Tillgänglig: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x82-030>

Trowbridge P.T. & Bassuk N.L. (2004). *Trees in the urban landscape: site assessment, design and installation*. Hoboken, N.J.: John Wiley.

Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K. & De Vries, S. (2005). Benefits and Uses of Urban Forest and Trees I: Konijnendijk, C.C., K. Nilsson, T.B. Randrup, and J. Schipperijn (Red.) *Urban Forests and Trees*. Berlin, Heidelberg :Springer-Verlag, ss. 81-114. Tillgänglig:

<http://link.springer.com.ezp.sub.su.se/book/10.1007/3-540-27684-X/page/1>

wackybadger. <http://www.flickr.com/photos/wackybadger/9755619214/sizes/l/>. Hämtad: [2014-03-17].

Watson, G.W. & Himelick, E.B. (1997). *Principles and practice of planting trees and shrubs*. Savoy, Ill.: International society of arboriculture.