

Træers multifunktionelle egenskaber i klimatilpasningen af danske storbyer

The multifunctional capabilities of trees in
climate adaptation of major danish cities



Kolofon

- Titel:** Træers multifunktionelle egenskaber i klimatilpasningen af danske storbyer
- Engelsk titel:** The multifunctional capabilities of trees in climate adaptation of major danish cities
- Forfatter:** Britt Hjerl Abildtrup, wfg851, hold 2016
- Dato for aflevering:** 16 Juni 2016
- Uddannelse:** Have og Parkingeniøruddannelsen -
Urban Landscape Engineer
Skovskolen, Skov og landskab,
Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning,
Det Natur og Biovidenskabelige Fakultet
- Opgavetype:** Professionsbachelorprojekt, 15 ECTS
- Vejleder:** Kamilla Aggerlund
- Forside illustration:** University of Washington, Conservation magazine, 15 Marts 2016, This is how much an Urban Forest is worth.



"Architects, urban planners, politicians, investors and citizens will have to revise their ideas about priorities and about what a building, a street, a city should look like. For over a century we have been immersed in modernism and its style. This is how our feelings of what things have to look like are still determined. This will lay a heavy claim on change. We need a complete switch in our mental and aesthetic approach of the city! This is what makes things so difficult the highest barriers are never material or technological, they are mental... The whole thing is a question of mental flexibility, of intelligence, of courage... But as always, there is an avantgarde, the mainstream and tail lights - this is the case now, too. "

Helga Fassbinder

Resumé

Denne opgave søger svar på om man kan klimatilpasse med træer i danske storbyer, både som værn mod oversvømmelser forårsaget af de øgede regnmængder som klimaforandringerne fører med sig, og mod de temperaturstigninger der kommer, som vil forstærke Urban Heat Island fænomenet. Der bliver klimatilpasset som aldrig før med grøn teknik, men ingen steder i Danmark ser man anvendelsen af træer, som et aktivt element for nedkøling af vores byer, eller til LAR i byerne. Man ser det slet ikke som en samlet løsning for begge problematikker nogen steder. I denne rapport vil træers relevante fysiologi og fænologi, blive undersøgt og forklaret, for ved at kende træernes processer kan vi udnytte dem til at klimatilpasse vores storbyer. Klimaudfordringerne, de infrastrukturelle udfordringer i byerne, de hydrologiske forskelle mellem by og land, anbefalinger og retningslinjer der findes til at klimatilpasse med, og vigtige faktorer der er relevante når man vil klimatilpasse med træer, vil blive undersøgt i opgaven. Det vil blive gjort gennem litteraturen, ved at læse hvordan det gøres andre steder, ved at studerer planer og datablade, ved hjælp af tilegnet viden fra studiet, fra praktikker, fra forskellige faglige seminarer, og fra dialog med forskellige fagfolk. Der vil blive oplyst referencer og eksempler, for hvilke effekter træer kan have, fra beregninger og resultater fundet undervejs i arbejdet med opgaven; og en beregnings metode for at måle træers vandforbrug vil blive forklaret. Stockholms systemet er undersøgt og vurderes til at kunne løse mange af de udfordringer og krav til klimatilpasning med træer, både hvad angår nedbør og varme. Der gives også eksempler på hvordan og i hvilke typer anlæg metoden kan bruges. Når man klimatilpasser i Danmark kan man ikke komme uden om at merværdi er et must, træers merværdier for storbyer og mennesker gennemgås derfor kort. Er der nogen træer der giver mest mening at bruge eller ej? Der gøres nogen overvejelser om det og et forsigtigt forslag til en træliste er lavet. Disse afdækninger er nødvendige for at kunne klimatilpasse med træer i danske storbyer, ud fra et velfunderet grundlag af viden.

Abstract

This report seeks answers to how we can mitigate climate problems in major danish cities with trees, as a means to prevent floods caused by stormwater and as a solution to prevent overheating of cities which will inforce the Urban Heat Island effects. Climate adaptation with green technologies are carried out as never before, but nowhere in Denmark are trees used as an active element, either for cooling or handling stormwater. Using trees for handling both problems at the same time is never seen at all. This report will explain the relevant physiology and phenology of trees, as to be able to understand and exploit them in the aim of adapting our cities to the changes. The challenges of climate change, the infrastructural challenges in cities, the hydrological differences between city and nature, recommendations and guidelines for climate adaptations, and important relevant facts for adapting will be examined in the report. It will be done by reading scientific papers and secondary articles, finding out what is done in other parts of the world, by studying plans and data sheets, by using knowledge from the lectures, from attending different seminars, by communicating with different professionals. Examples and references of effects of trees on the city temperature and stormwater treatment, from different calculations and experiments is submitted. The Stockholm system has been found to solve most of the challenges for climate adapting with trees both regarding heat and stormwater. Some examples are given on where and how the method could be used. When climate adapting in Denmark it is essential to address the added values of projects, so the added values of using trees are listed briefly. Are some trees more relevant to use than others? Considerations on this topic are made and a proposal list of tree selection is developed. These identifications are necessary in order to climate adapt with trees in an urban environment from a sound basis of knowledge.

Forord

Denne opgave er afslutningen på uddannelsen til Have og Parkingeniør, Urban Landscape Engineer PBA, ved Københavns Universitet i Juni 2016. Opgaven skulle gerne være en opfordring til alle i den grønne branche, der beskæftiger sig med og ikke mindst planlægger grøn og blå klimatilpasning, om at forstå værdien og fornuften i at benytte og beskytte træer i det urbane landskab. Det angår både regnvandsløsninger og tilpasningen til de forventede øgninger af temperaturer i de indre byer.

Det har været en utrolig spændende rejse, der har ført mig i alle mulige interessante retninger. Jeg har læst, undersøgt, deltaget i diskussioner i udvalgte fora på nettet, korresponderet og talt med mange meget hjælpsomme, vidende og inspirerende personer. Af og til har jeg spekuleret over om jeg ville komme i mål. Jeg har fået at vide at mit tema var meget bredt, og at jeg måtte begrænse mig. Heldigvis har jeg haft en solid støtte i min vejleder, der hele tiden har troet på min ide og troet på at problematikken var interessant og betydningsfuld for vores måde at arbejde med klimatilpasning på i Danmark.

Derfor skal der her lyde en stor tak til Kamilla Aggerlund for god støtte og hjælp. Oliver Bühler, Björn Embrén, Simon Toft Ingvertsen og Lenn Phillips skal også takkes for at præcisere forskellige faglige detaljer og for positiv feedback på mine ideer og tankeretninger.

Jeg håber at informationerne vil inspirere og smitte af på vores måde at klimatilpasse på fremover.

Holte den 16. juni 2016

Britt Hjerl Abildtrup

"Whether landscaping or engineering, the proper function begins with the proper design. Arboricultural research is becoming increasingly interested in tree function and physiology and is investigating urban trees from the perspectives of mechanical and structural engineering (Kane and James, 2011). Though much of this research is specific to tree failure and risk tree evaluation, approaching arboriculture and urban forestry from an engineering perspective has implications that include mechanical and structural engineering, as well as civil and environmental engineering perspectives. Rather than investigating how trees react to outside stimuli (i.e. wind gusts and gravity), a perspective derived from civil and environmental engineering would investigate trees' effects on their surrounding environment."

Clapp,(2014)

Indhold

INDLEDNING.....	10
Baggrund	10
Problemformulering	12
Problemfelt	12
Metode	14
KLIMAFORANDRINGERNES BETYDNING FOR DANSKE STORBYER	18
Vand og nedbør.....	18
Temperatur og varme.....	19
EKSISTERENDE ANVISNINGER FOR KLIMATILPASNINGSLØSNINGER.....	22
BYEN OG NATUREN.....	24
Vand og nedbør i naturlige omgivelser.....	24
Temperatur og varme i de naturlige omgivelser	24
Vand og nedbør i de urbane omgivelser.....	25
Temperatur og varme i de urbane omgivelser.....	26
TRÆERS RELEVANTE FUNKTIONER OG EGENSKABER	30
Generelt.....	30
Vand og nedbør.....	33
Temperatur og varme.....	36
VIGTIGE FAKTORER OG OPMÆRKSOMHEDSPUNKTER	38
Vand og nedbør.....	42
Temperatur og varme.....	44

REFERENCER FOR VÆRDIER PÅ GRUND AF TRÆER	50
Vand og nedbør.....	51
Temperatur og varme.....	53
BEREGNING AF TRÆERS VANDFORBRUG.....	56
MERVÆRDI.....	58
Stockholm metoden	62
PRINCIPPER OG METODER FOR TEKNISK KLIMATILPASNING MED TRÆER....	62
KRITERIER FOR TRÆVALG	70
Nåletræer	70
KONKLUSION.....	76
DISKUSSION.....	77
PERSPEKTIVERING	78
ORDFORKLARING	80
KILDER.....	82
BILAG.....	94

INDLEDNING

Baggrund

Har man har fulgt med i de første pionérår af klimatilpasning i Danmark, vil man måske som jeg have noteret sig et uforståeligt fravær af benyttelsen af træer aktivt i de udførte løsninger.

En generel stor indflydelse fra barnsben med en far som forstkandidat, har gjort at jeg mere eller mindre bevidst altid har observeret og sat stor pris på træer og deres værdier. Opvokset i Marokko, hvor store træer var mere reglen end i undtagelsen i private haver og de mere offentlige rum, har nok været en medvirkende årsag til, at jeg er kommet frem til at kombinere klimatilpasning og træer, og at jeg har savnet kombinationen i nuværende løsninger. Så når jeg på studiet har været introduceret for temaer med træer eller fagområder, hvor anvendelsen af træer gav mening for mig, har jeg været ekstra motiveret og opmærksom. Jeg har automatisk søgt efter gode metoder til at forbedre vilkårene for behandlingen og planlægningen af træer i bymiljøet.

Træer nyder ikke den respekt, udnyttelse og beskyttelse, som de bør have, når man kender deres store betydning og potentiale for mennesker og omgivelser. Træerne i det urbane landskab lider stort under denne manglende bevidsthed og de manglende hensyn, som gør sig gældende på mange måder. Træer har det i forvejen hårdt i de forholdsvis unaturlige omgivelser byen byder dem, derudover er der meget lidt organisering af træplanlægningen i Danmark. Vi bør være bedre til at inddrage træer i mange henseender både af æstetiske grunde, men også set ud fra deres grønne infrastrukturelle og tekniske fordele.

Jeg har registeret en usædvanlig lille værdsættelse af træer i den generelle befolkning herhjemme, end mange andre steder i udlandet. Skyldes den noget kulturelt, som bunder i, at vi klimamæssigt tidligere ikke har villet have skygge om sommeren, simpelthen fordi vores somre ikke har været varme "nok"?

Paradoksalt dannes der et billede, når man læser og undersøger de forskellige statslige, regionale og kommunale klimatilpasningsrelaterede skrifter, af at træer kun har en mindre betydning i klimatilpasningsregi, men der er også en udpræget tendens til at de ses som ricisi. I et uddrag fra **Kortlægning af Klimaforandringer - muligheder og barrierer for handling 2012**, fremgår det med tydelighed; "Det kan ligeledes overvejes, om flere vejtræer bør fjernes, så de ikke kan vælte ud over

vejen". Det er besynderligt i mine øjne at man blot konstaterer at træerne kan vælte og accepterer at konsekvensen er at de må fældes i stedet for at undersøge grunden til at de vælter, og løse det.

De sidste par år er der heldigvis for træerne kommet lidt mere fokus på dem, i kølvandet på den større interesse for biodiversitet og natur i byen, fordi de også i den henseende spiller en stor rolle. Der mangler koordinering af disse indsatser for at kunne håndtere træer i byens vilkår. Det kommer er jeg sikker på, men den mangler i øjeblikket, og der er brug for fagligheder, der kan overskue bredden i mulighederne med urbane træer. Der mangler en samling på politikker og strategier, der anviser hvordan problematikker bør gribes an i et helhedsperspektiv, således at de kan løfte hinanden, og ikke arbejde ukontrolleret i forskellige retninger. De forskellige mål skal koordineres, således at de opfylder deres egen målsætning i synergi med de andres. Når der arbejdes med bynatur og træstrategi, bør der arbejdes samtidigt med klimatilpasning og vice versa, så projekterne rummer hinandens værdier.

København og HOFOR har i maj 2016 boret den første regnvandstunnel, som har kostet over 100 mio. kroner at anlægge. HOFOR (2016). Jeg mener at det er ærgerligt at bruge så mange penge på at komme af med vandet, når man ved at vandmangel er en af fremtidens største trusler, konstateret af FN og mange andre globale organisationer. Der må være en smartere måde at udnytte vandet på, det er et spørgsmål om at tænke bredt, alternativt og kreativt.

København har haft, en aldrig vedtaget, politik om at plante 100.000 træer, **Politikken**,(2015), og det er ganske positivt og sympatisk, men set lidt dybere giver denne viden ikke mening, hvis ikke den sidestilles med en uddybning af, hvor mange træer der mistes i byen, og hvor stor en stor procentdel af nyplantninger der ikke lykkedes. Der mistes mange træer på grund af nybyggeri og udvikling af byen, fordi der mangler en holdning til at træer ikke kun er en blød værdi, men at de bør betragtes ud fra fuldstændig de samme økonomiske forudsætninger, som alle andre mere håndgribelige aktiver.

Træer nævnes sporadisk i planer og strategier, men det kniber med at tydeliggøre præcist hvordan det tænkes gjort, og der mangler beskrivelser af teknikker for at det kan effektueres i praksis. Statens klimatilpasningsvejledning giver ingen anbefalinger eller vejledninger om kortlægning af byers temperatur/ophedning eller kortlægning af den grønne infrastruktur, som det er tilfældet med skybrud og regnvand. Fingerplanen er ikke udarbejdet til at sikre grønt nok til temperaturregulering og har ikke været ment som redskab til det. Bliver den brændende platform overset? Hvis temperaturen generelt stiger som forudsagt, så vil Urban Heat Island effekten blive påvirket og blive endnu kraftigere, det bliver ikke fortalt når man taler om øgede hedebløghændelser.

Problemformulering

Kan træer bruges til at imødegå problemerne vedrørende Urban Heat Island (UHI) fænomenet og til Lokal Afledning af Regn (LAR), i danske storbykerner og hvilke fakta er i så fald vigtige at kende for at kunne nå et acceptabelt resultat?

- Hvilke funktioner og processer i træet er interessante klimatilpasningsparametre ?
- Hvilke udfordringer er der i det urbane miljø, når træer bruges til klimatilpasning ?
- Hvilke merværdier findes der når man klimatilpasser med træer i storbyen ?
- Findes der nogle retningslinjer eller metoder, der kan sikre at de ønskede resultater ?

Problemfelt

Netop i disse år iværksættes rigtig mange klimatilpasningsplaner og løsninger, i nogle planer bliver træer nævnt perifert, men der bliver ikke lagt en strategi for netop træer i relation til klimatilpasning. Når man undersøger og gennemgår de forskellige anbefalinger på forskellige fag sider, findes der ingen konkret information om benyttelsen af træer til klimatilpasning. I teknologisk instituts datablade - København Kommunes kataloger, politikker, planer og strategier, laridanmark.dk, klimatilpasning.dk eller i andre kommunale skrifter mangler der en instruktion i hvordan træer kan bruges til at klimatilpasse med. Det er problematisk eftersom de mange fagfolk, der skal klimatilpasse, bruger disse informationskilder i stor udstrækning når de skal planlægge og projektere. Når informationerne er fraværende bliver mulighederne lettere overset, og hvis de ikke er der bliver det ikke set som validt at lave. Det bliver mere utrygt og usikkert at lave. Man laver det der er sikkert og man har en tiltro til at anvisningerne favner alle løsninger der findes. Her ligger nok en primær årsag til at faglighederne ikke har udnyttet mulighederne med træer, men det skyldes nok også et videnshul.

Hvis man ser på de nye anlæg, ikke kun klimatilpasningsanlæg, rundt om i landets store byer, kan man undre sig over det meget lave omfang af grøn beplantning. Der kan i flæng nævnes Israels Plads, som tilmed er designet til at håndtere regnvand. Vandet her ledes hurtigst muligt væk til recipienter i H.C Ørstedsparken, og lader pladsen tilbage med en utrolig stor flade af belægning, der ikke bidrager til

køling af byen om sommeren, under almindelig varme og eller under hedebølger. Nørreport, der ligger ganske tæt ved, imponerer heller ikke med den grønne andel. Her føler man blot at træerne er sat ind som møbler i uderummet, men de indgår ikke i en decideret regnvandsløsning, vandet dirigeres blot hen i lavninger, hvor cykelstativer udøver dobbeltfunktionen. Der er benyttet grønne tage, men det er som det ofte ses, kun med meget tynde lag sedum, som udtørres meget hurtigt i varme perioder, netop i de perioder hvor de skulle afhjælpe med køling, og dermed ikke får den betydning som var tiltænkt dem.

Kan man ikke tænke sig, at man kan løse mange af de problemer klimaforandringerne vil føre med sig, på en forholdsvis simpel, men raffineret måde, der rammer 3 fluer med et smæk eller oven i købet måske mange flere.



Metode

Metoden har bestået i en kvalitativ dataindsamling sorteret og vurderet efter relevans, og herefter inddraget i rapporten efter det normative princip, der forekommer derfor egne tolkninger og vurderinger løbende i rapporten.

Empiri

Opgaven er bygget op som et litteraturstudie og grunder samtidig i observationer gjort undervejs i uddannelsen, især fagene Planter og klima i byen, Klimatilpasning og byens vand, Klimatilpasning og planlægning, Grønne tage og Design planter og projektering. Min praktik i Klimatilpasning Kokkedal, et projekt under Fredensborg Kommune, har givet mig en grundig indsigt i mange problematikker og aspekter af de udfordringer, der ligger i at klimatilpasse, og denne viden har jeg haft god brug for i opgaven. Jeg har gennem min tid prioriteret at deltage i så mange seminarer og konferencer som muligt. Det har været arrangementer arrangeret af bla. Klikovand, Vand i byer, Vandplus, og IDA ingeniørforeningen.

Teori

Videnskabelige og sekundære artikler er gennemgået indenfor emnets mange forgreninger, der er brugt noter og powerpoints fra forelæsninger i studiet. Præcisioner og detaljer er drøftet med flere undervisere og fagfolk.

Praksis

Gennem min praktik både hos Rambøll i afdelingen for Arkitektur, Proces og Landskab, og i Fredensborg Kommunes store klimatilpasningsprojekt Klimatilpasning Kokkedal og fra flere studieture og ekskursioner, har jeg fået erfaring med tilgangen til at arbejde med klimatilpasning og relateret den til min nysgerrighed for at anvende træer til klimatilpasning. Den tilegnede viden og indsigt har jeg benyttet mig af i udarbejdelsen af opgaven.

Diskussioner og korrespondance

Ved aktiv deltagelse i forskellige fora, Urban Forestry Group, Research Gate, Dendrologisk fællesskab og Red byens træer på forskellige medier har jeg fået udvidet min rammer for vidensindsamling, hvilket betyder at opgaven bygger på et meget bredt fundament, som forhåbentlig resulterer i nogle interessante anskuelser.

Der har været korrespondance, i form af semiinterviews, med følgende videnspersoner:

Len Phillips administrator for Urban Forestry gruppen på LinkedIn. Lenn har tidligere været ansat i forvaltningen af træer i Boxford Trees and Park Division, USA.

Björn Embrén som har udviklet Stockholm metoden, har jeg talt og skrevet med for at få detaljeret og præciseret tekniske løsninger.

Simon Toft Ingvertsen, ansat i Envidan og Cand scient i miljøkemi Ph.d. i kvalitet og rensning af regnvand, har jeg talt med telefonisk for at drøfte problematik omkring forurening af grundvand.

Oliver Bühler, min underviser i Planter og klima i byen, har hjulpet mig med at klarlægge forståelsen af træers morfologi og fænologi, samt vækstvilkår i Stockholm metoden.

Opbygning

Opgaven er bygget op efter et mønster, der skal gøre det enkelt at forstå den viden, der er nødvendig for forståelsen af den brændende platform, træers funktioner og hvilke muligheder der giver mening derefter. I indledningen forklares hvorfor emnet er interessant og hvilke rammer der bliver brugt i opgaven. Derefter følger der flere afsnit der undersøger teori og fakta, der ligger til grund for træers tekniske formåen, og hvilke vilkår de befinder sig under. Siden kommer afsnittene der begynder at anvende den viden, de forrige afsnit har synliggjort, og som tolker og vurderer dem og giver forslag til principper med træer, der kan afhjælpe klimaforandringerne påvirkning af vores byer. I teksten forekommer der indslag og citater på henholdsvis engelsk og svensk, det formodes at de fleste af målgruppens læsere vil kunne læse de to sprog. Det er vurderet vigtigt for overskuelighedens skyld at udvide sideantallet, således at der forekommer sider uden meget indhold for at markere overgange mellem afsnit. For at gøre opgaven nemt forståelig, er enkelte ord markeret med en stjerne * og disse ord er listet under ordforklaring, med en uddybning af ordets betydning.

De fleste afsnit er inddelt i underafsnit med henholdsvis vand og nedbør og temperatur og varme. Jeg har vurderet det bedst for overskuelighedens skyld, og der kan på grund af dette fremkomme gentagelser i afsnittene, men jeg mener at det har mindre betydning, end fordelene i at man kan slå op under hvert emne og få en hurtig oversigt og forståelse af betydningen indenfor den enkelte problematik.

Afgrænsning

Drift er et stort og vigtig emne for alle anlægsprojekter, men det vil være for omfattende at belyse det grundigt i denne opgave. For en Have og Parkingeniør er det næsten forkert ikke at inkludere det i en opgave, men det vejer tungere at prioritere andre vinkler på opgaven, såsom træers morfologi og fænologi for eksempel. Drift af grønne klimatilpasningsløsninger kan udgøre en selvstændig bacheloropgave, da der er så mange parametre involveret.

Juridiske aspekter og myndighedstilladelser vil ikke blive beskrevet i detaljer og begrænser sig mest til der hvor grundvandet har en relevans i opgaven.

Økonomien i forbindelse med klimatilpasning med træer, vil kun blive berørt overfladisk i ganske enkelte tilfælde og ikke som decideret analyse. Hvis det skulle give mening ville det kræve at man tog udgangspunkt i et konkret projekt, dersom økonomien formes meget af den enkelte opgaves vilkår og udfordringer lokalt. Af samme årsag berøres medfinansieringsordningen mellem kommuner og forsyningsselskaber heller ikke selvom det har stor betydning i denne form for arbejder, ligeledes gælder det for tilbagebetaling af tilslutningsbidrag, når private afkobler sig fra spildevandsnettet.

Geografisk og infrastrukturelt vil opgavens fokus holde sig til byens indre og ikke dens perifere områder, konflikterne og udfordringerne er størst her og derfor mest interessant. Hvis man kan løfte disse arealer med klimatilpasning med træer, vil det være nemt at brede det ud til de andre områder, hvor der ikke er så meget kamp om pladsen, og forureningsgraden er knap så tung. Det kræver en definition for, hvad indre by er, det er en meget objektiv og individuel bedømmelse. Opgaven definerer indre by ud fra København som eksempel. I København defineres indre by i opgaven, som omfattende den gamle middelalderby inklusiv brokvartererne Østerbro, Nørrebro, Vesterbro, Frederiksberg (Selvstændig, Kommune men opfattes geografisk som en del af byen København), Christianshavn, Islands Brygge, Amagerbro, Sundby, Nordvest, og Valby.

KLIMAFORANDRINGERNES BETYDNING FOR DANSKE

STORBYER

Fremtiden fører et forandret vejrmonster med sig som vil have stor indflydelse på vores bymiljø. Der vil komme flere hedeølger, skybrud og tørke om sommeren, og mere varme og hverdagsregn om efteråret og om vinteren. DMI baserer sine forudsigelser og tal på IPCC * beregninger og data, og Naturstyrelsen har beskrevet dem i **Analyse af IPCC delrapport 2**. I den fokuseres der på konsekvenserne for Danmark, der nævnes kort at de urbane miljøer er ekstra sårbare og at det især er her de fleste risici er koncentreret. Der står også at der mangler rammer for at, den generelle temperaturstigning på kloden bliver beskrevet og at der forventes en stigning på mellem 2,7 og 3,5 grader. Det lyder ikke umiddelbart af meget, men det er voldsomme stigninger, der vil påvirke vores dagligdag i større grad end man kan forestille sig. Den skaber ubalance og forårsager forskydninger på mange planer. De der har en relevant betydning for problemstillingen i opgaven, bliver behandlet i de følgende afsnit.

Vand og nedbør

Som nævnt får vi i fremtiden mere nedbør, men hvordan vil denne nedbør komme? Det vurderes, med stor sandsynlighed, at vi får ca. 30 % mere hverdagsregn. Det er denne værdi der tages højde for i de fleste klimatilpasningsløsninger. Det gøres ved at man i mange tilfælde afkobler sig 30 % fra kloakkerne, på forskellig vis i vores nuværende klimatilpasnings projekter rundt om i landet. Ekstremregn og skybrud vil forekomme hyppigere og voldsommere. Skybrud er svære at håndtere og ofte er de nødsituationer, der kræver andre løsninger end de øgede 30% hverdagsnedbør. Det erfarer vi med skybruddet i 2011, og det er her den brændende platform kommer fra. Skybrud kan i mange tilfælde ikke løses med frodige grønne løsninger da kapaciteterne heri ikke er store nok. I rapporten; **Analyse af IPCC delrapport 2** skrives; "Generelt bliver stigning i intensiteten af ekstremregn på 10-60 % frem mod 2100. Det giver en forøget risiko for oversvømmelser og overløb fra kloaksystemer med op til 400 % på globalt plan". Et alvorligt problem der skal adresseres og helst med merværdi.

Kan vi stadig nå at handle?

"Ja, ifølge Rapporten fra IPCC – FN's mellemstatlige panel for klimændringer – kan vi stadig nå at holde den globale temperaturstigning på under to grader celsius. Men vi må handle med det samme og med fuld deltagelse fra alle lande og alle samfundets sektorer. Jo længere vi venter, desto sværere og dyrere bliver det at begrænse klimændringerne."

Analyse af IPCC delrapport 2

INDC* - Målsætninger fra COP 21

"Vil INDC'erne være nok? Nej. INDC'erne giver rum for handling, men er ikke et loft. Nuværende skøn indikerer, at selvom landene gennemfører INDC'erne vil planeten alligevel blive udsat for en temperaturstigning på mellem 2,7 og 3,5 grader (afhængigt af forudsætningerne benyttet i modelleringen). Dette er stadig for højt, men også bedre end at fortsætte på den nuværende vej, der ville resultere i en global temperaturstigning på mere end 4 grader. Forhandlingerne sigter efter at holde ambitionsniveauet i landene på et mål på 2 grader eller mindre"

Analyse af IPCC delrapport 2

Temperatur og varme

Der forudsiges en højere middel temperatur generelt i verden, og for Danmark betyder det en stigning på mellem 1,5 og 3,2 grader, nogle af de mere ekstreme modeller forudser endnu højere temperaturændringer. Der er ingen enighed præcist om ændringernes omfang, og de afhænger af de scenarier og modeller der anvendes til beregningerne. På Cop 21 i Paris 2015, lød aftalen at man vil arbejde for en begrænset temperaturstigning på maksimum 2 grader. Aftalen er desværre lagt an på en meget stor andel af frivillighed i INDC* og mange tvivler derfor på om målet kan nås i tide. Flere forskere er bekymrede for at vi passerer, det der kaldes "The point of no return" i 2020, hvis vi ikke inden har vendt vores udledning af drivhusgasser markant, **Johnston,(2015)**. Hvorfor er det relevant i denne sammenhæng? Jo det er værd at holde sig for øje, når man laver klimatilpasningsplaner og klimatilpasser. Det er vigtigt at vide, at de forudsigelser der laves er forbundet med visse usikkerheder og at de måske er for optimistiske i forhold til de nødvendige handlinger der kræves. Så når Københavns Kommune i sin klimatilpasningsplan skriver at der kun skal planlægges løbende og tilpasses efter de hovedtendenser, der kommer, vil det have alvorlig betydning, at der ikke plantes nok træer i tide. Byens træer når ikke at blive funktionelle og følgerne bliver en mere uudholdelig by under de øgede sommertemperaturer, sommertørker og længere hedebølger som forudsiges. Umiddelbart lyder det rart med varmere somre for en almindelig dansk borger, men i storbyerne vil det have en stor effekt på flere niveauer, blandt andet er der en forstørret risiko for varme relaterede dødsfald i svage befolkningsgrupper, og nedsat arbejdsevne. **Wong,(ingen årstal)**

Ny dansk og international forskning viser, at et varmere klima er med til at øge luftforureningen, da både kemiske reaktioner og udledninger afhænger af temperaturen.

Københavns Kommunes Klimatilpasningsplan,(2011). En sænkning af bytemperaturen vil derfor få en afledt effekt på renheden af luften i byen og befolkningens sundhed.

Temperaturforøgelserne vil ud over de andre nævnte forhold, få betydning for længden af planternes vækstsæson. Den viden kan bruges når der klimatilpasses med træer, fordi vi kan tænke i nye retninger med hensyn anvendelsen af nye alternative træarter. Det er vigtigt, set i et sygdomsrelateret perspektiv, fordi vi bliver nødt til at tage højde for nye og flere angreb på vores træbestande. Hyppigere angreb vil reducere træbestandene og derfor er der behov for sprede diversiteten af træarter som meget som muligt.

Vigtigst af alt er at de generelle temperaturstigninger betyder, at byerne bliver endnu mere opghedet end de er i forvejen. Byens unaturlige miljø og konsekvenser heraf beskrives nærmere under kapitel Byen og naturen.

		Effekt af klimaændringer	Konsekvens	Risikoniveau ¹	Eksempler på klimatilpasning og tilhørende omkostningsniveau ¹	Reduktion af risiko
		Flere og mere intense ekstreme nedbørshændelser	Forøget risiko for oversvømmelse (overskridelse af kapacitet af afløbssystem) Forøget antal overløb	Nuværende: Lav-Middel Fremtidig: Høj	Forøgelse af hydraulisk kapacitet (Høj) Forbedret drift (Lav) LAR (Middel) Varslingssystemer (Lav)	Høj -> Lav Høj -> Middelhøj Høj -> Middel Høj -> Middelhøj
		Stigning i middelhavniveau og stormfloder	Forøget risiko for oversvømmelse i kystnære områder (overskyl af diger, digebrud, afvanding)	Nuværende: Lav Fremtidig: Høj	Bygning af nye diger og forbedring af eksisterende (Høj) Varslingssystemer (Lav)	Høj -> Lav Høj -> Middelhøj
		Ændringer i nedbørsmonstre	Øget risiko for sætninger og underminering af bygninger og vej/baneanlæg	Nuværende: Lav Fremtidig: Middel	Ændring i design af bygninger og vej/baneanlæg (Middel) Anlæg af drænsystemer (Middel)	Middel -> Lav Middel -> Lav
		Højere temperaturer og flere og mere intense hedeølger	Forøget sundhedsrisiko Forøget risiko for mikrobiel og kemisk forurening i vanddistributionssystemer, som drikkevandsforsyning	Nuværende: Lav Fremtidig: Middel	Brug af køling i vanddistribution (Lav)	Middel -> Lav
		Omkostningsindeks				
Ekstremregn, uden klimatilpasning						
Nuværende klima		100				
2100, bedste estimat		170				
2100, global temperaturstigning på 6 °C		770				
Ekstremregn, skybrudsplanen fuldt implementeret						
Nuværende klima		10				
2100, bedste estimat		20 – 30				
2100, global temperaturstigning på 6 °C		120 – 210				
Stormfloder og havniveaustigning, uden klimatilpasning						
Nuværende klima		0				
2100, begge fremskrivninger		660				

I diagrammerne her, tydeliggøres det at vi er nødt til at sætte forskellige scenarier op eftersom vi operer med usikkerheder når vi klimatilpasser. Det ses også at, selv med de mest positive estimer er vi oppe i mod nogle drastiske udfordringer. Ekstremregn har index 170, selv efter at skybrudsplanen er implementeret har vi kapacitetsproblemer med ekstremregn. Det store diagram længst til højre forholder sig til betydende effekter for byområder og infrastruktur. Der vurderes på risiko og nævnes eksempler på klimatilpasningstiltag og deres potentiale for at reducere risici. Risikoniveau og omkostningsniveau er vurderet kvalitativt ved graduering lav, middel og høj. Det er interessant at lægge mærke til nederste række, der omhandler temperatur; her anses kun en lav risiko i dag og fremtidigt et middelniveau og hvad deres løsningseksempel går ud på er ikke klart. Den brændende platform for Urban Heat Island ses ikke her.

Diagrammerne er fra Analyse af IPCC delrapport 2

EKSISTERENDE ANVISNINGER FOR KLIMATILPASNINGSLØSNINGER

De nævnte analyser og rapporter i forrige kapitel, danner grundlaget for kommunernes klimatilpasningsplaner. Københavns kommune skriver i deres klimatilpasningsplan "*Det giver ikke meget mening, at planlægge på lang sigt efter et bestemt scenarie for den fremtidige udvikling i klimaet*". De vil altså løbende tilpasse til de hovedtendenser der kommer. Det er problematisk, for som det forklares senere i opgaven, tager træer tid om at udvikle sig, fra et ungt træ til et voksent træ i funktionsfasen*, hvor det for alvor har en effektiv indflydelse. Det er alvorligt, at der ikke laves planer og politikker der foreslår konkrete handlinger med træer i et langsigtet perspektiv.

Ved en gennemgang af forskellige kommuners skriv om klimatilpasning, kan man kun se få ukonkrete indslag om Urban Heat Island. Vi har endnu til gode at se træer blive brugt aktivt i temperatursænkende løsninger i Danmark, eller at der tænkes kombinationer af LAR* og træer, for derved at komme både vand og temperaturproblematikken til livs. Der differentieres ikke mellem hvilken slags grønt der skal bruges for at forebygge de kommende klimaændringer, specielt ikke hvad angår de øgede vandmængder. I forbindelse med Urban Heat Island nævnes det dog i eksempelvis i Københavns klimatilpasningsplan, at der bør plantes flere træer, og at der bør laves undersøgelser af varmeproblematikken.

I Århus findes træer kun nævnt en gang i deres klimatilpasningsplan og tillæg til kommuneplan, og der nævnes ikke et ord om Urban Heat Island. Ålborg og Odense deler samme manglende planer for Urban Heat Island og træer. Diverse træpolitikker berører det heller ikke, men omhandler blot flere træer og beskyttelsen af eksisterende træer, hvilket er yderst positivt, men indslag om sammenhængen mellem træer og klimatilpasning ville være ønskelig. Gennem et klimatilpasnings syn, har en træpolitik den indirekte positive virkning, at de sætter rammer for de meget vigtige eksisterende træer, som har den rolle at være den største årsag til den nuværende temperatursænkning i byer. Så vidt vides er det kun Frederiksberg, København og Lyngby-Taarbæk kommuner, der har en sådan politik for deres træer.

En anden problematik er, at når der laves LAR i øjeblikket, benyttes de standarder og beskrivelser der er lavet af teknologisk institut og klimatilpasning.dk med mere, og de følges uden skelen til, at der kan være rigtig gode alternative løsninger. Da historikken for LAR er temmelig kort er det ærgerligt, at der ikke er flere fagfolk der bruger deres viden til at eksperimentere og forsøge sig med alternativer. Under en gennemgang af datablade i forskellige kommuner, på teknologisk instituts eller klimatilpasning.dk hjemmesider, ligger der en del beskrivelser for hvordan eksempelvis regnbede, wadier, grøfter, bassiner kan udformes, men ikke én forslår en kombination med træer.

BYEN OG NATUREN

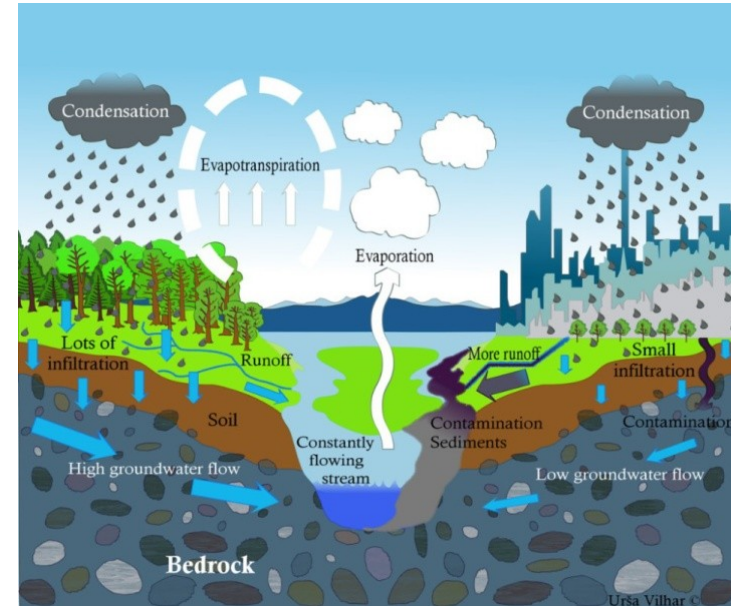
Igennem tiderne har vi mennesker samlet os i større og større byer, og vi har været dygtigere og dygtigere til at udvikle byen med mange nye former for teknik og infrastruktur der er meget anderledes end tidligere. Det har resulteret i en tydelig differentiering mellem by og land, som vi nu bøder for i kraft af oversvømmelser og dårlig luftkvalitet. I dette afsnit vil disse forskelle blive forklaret, for at hjælpe med forståelsen for de to anderledes miljøer og for de årsager der ligger til grund for de problematikker vi har fået i de store byer.

Vand og nedbør i naturlige omgivelser

Det typiske danske landskab er fladt og åbent med marker og spredte skove, her kan nedbøren frit finde vej som den har gjort det igennem årtusinder. Den kan uhindret sive ned i jorden og fylde grundvandsmagasinerne op løbende, eller finde lavninger, grøfter, vandløb og søer at løbe ud i, eller sågar ud i havet. Et netværk af vandveje, der tilpasser sig de skiftende vandmængder der forekommer året igennem. Den høje andel af planter og træer er årsag til en stor evapotranspiration af vandet og hjælper med til at forsinke vandet på dets vej gennem oplandet. Evapotranspirationen er den samlede fordampning fra jordoverfladen og planternes overflade.

Temperatur og varme i de naturlige omgivelser

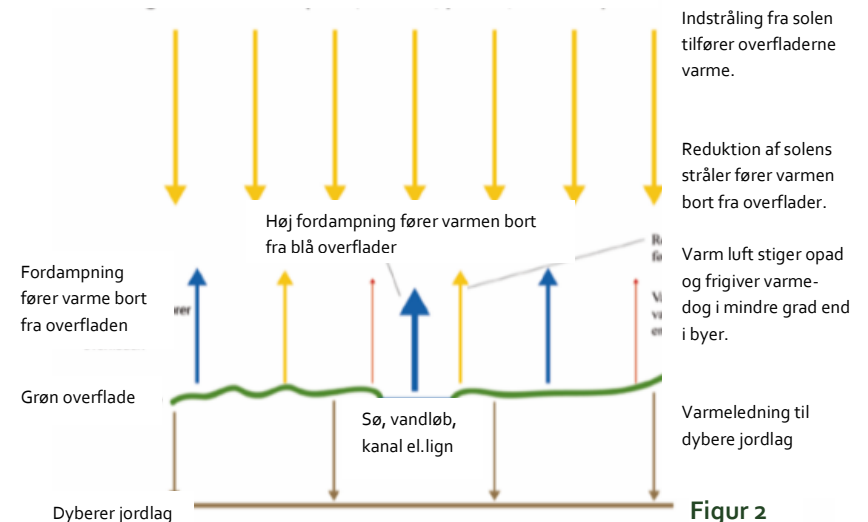
Uden for byen i de mere "bløde" omgivelser med den før nævnte store mængde vegetation af urter, buske og træer, udnyttes lysets indstråling til energidannelse gennem planternes fotosyntese. Det er netop dette fænomen, evapotranspiration, der er med til at temperaturen kan holdes nede og at der skabes en luftfugtighed der er behagelig og sund. Vinden har frit spil og er også med til at køle, og øge transpirationen i væksterne. Nætterne er køligere end dagene, fordi vegetationen har omdannet varmen i de respektive processer.



Det naturlige hydrologiske kredsløb

Figur 1

Grønne og blå overflader (skov, marker, parker, søer)



Figur 2

Vand og nedbør i de urbane omgivelser

I byen er jorden helt anderledes end i naturen. Den er blevet forstyrret gennem årtier sågar nogle steder i århundreder, i takt med at byen har udviklet og ændret sig. Det betyder at jorden er blevet ødelagt og er blevet hård og komprimeret. Både tekstur og struktur er ødelagt, den har en meget høj pH værdi og har er fattig mikrobiologisk liv. Derudover er jorden blevet forurennet gennem tiderne af trafik og forskellige produktioner fra små og store virksomheder, der førhen lå mere centralt i byen end i dag.

Byen er overvejende dækket af hårde overlader og belægninger som gør nedsivning af nedbør svær og afhængig af vores kloaksystem, eller også løber den ved ekstremiteter ned i kældre og andre lavninger og forårsager store skader der. En vigtig parameter at kende når de løsninger der ofte laves er baseret på nedsivning.

Byen har et relativt lille areal dækket af vegetation, "åben" jord og få træer i forhold til det åbne land, og den urbane hydrologi er så forskellig fra den naturlige som den næsten kan blive, fordi vandet ikke kan komme væk i tide, især ikke når der er regnvejrshændelser af større dimensioner.

"I byen er landskabet under jordens overflade domineret af bærelag, der er komprimeret så hårdt, som var de lavet af beton. Rør og ledninger afgiver varme og skal med regelmæssige mellemrum graves op. Vækstjorden er karakteriseret af at indeholde indtil flere tekstur- og strukturlag og er ofte komprimeret. Alt sammen forhold, der er problematiske for rodvækst. Skal byens træer kunne vokse i dette underjordiske landskab, er der behov for at optimere det tilgængelige vækstvolumen."

Randrup,(1996)

Kloakkerne og forsyningsselskaberne er udfordret i disse år, ikke fordi kloakkerne nødvendigvis er udtjente og slidte, men fordi de ikke er dimensioneret efter de øgede regnmængder der ind i mellem forekommer og som vil komme oftere endnu i fremtiden. Det er problematisk og en udfordring for byerne, der har indrettet sig således at spildevandsledninger i mange år har erstattet det naturlige netværk af vandveje der findes i naturen. Det er ikke muligt længere og det er derfor vi må finde tilbage til en mere grøn infrastruktur, der kan efterligne og håndtere variationerne i nedbøren, sådan som vi kender det fra det åbne land.

Når vandet ikke kan trænge igennem de hårde materialer af belægninger, betyder det at træerne ikke får nok vand og mange steder kvæles de af ophobet kuldioxid i rodzonen der ikke kan undslippe jorden af samme årsag, og samtidig lider de også af iltmangel. Det kan ses mange steder i de indre byer ved at træerne får brune blade og bladtab alt for tidligt på sæsonen. Det er ikke noget der gavner hverken vandoptaget eller temperaturreguleringen, og det er derfor også en fejl der skal rettes når der skal anvendes træer til klimatilpasning ellers kan det være lige meget at plante flere træer.

Temperatur og varme i de urbane omgivelser

Byområder med bygninger og befæstede arealer

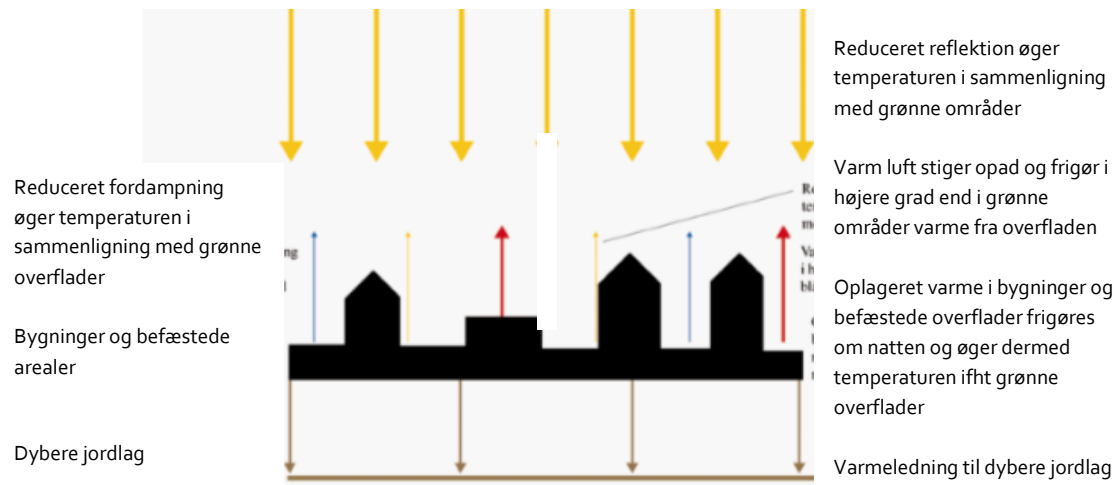


Illustration af Urban Heat Island effektens betydning for temperaturen. Figuren viser princippet bag mikroklimaet i byen. Refleksioner fra byens overflader er nedsat sammenlignet med det åbne land og meget mindre energi frigøres ved evaporation (fordampning) fra vandoverflader og vegetation

Figur 3

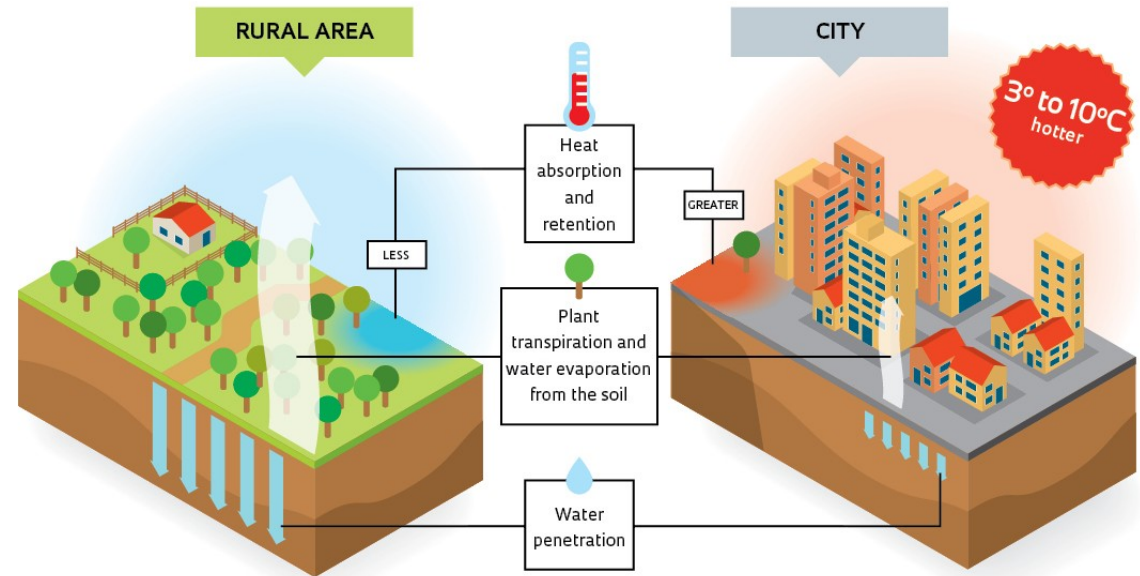
Uden det grønne og med de mange vertikale og kunstige overflader vi har bygget byerne op af, bliver indstrålingen fra solen fanget og har svært ved at slippe væk igen. Varmen ophobes i de mange forskellige materialer vi bruger i byggeriet og forbliver der natten over. Det resulterer især i høje ubehagelige nat-temperaturer, som er ekstra ubehagelige når der er hedebløjer.

"I et tempereret klima, som det danske, er UHI på denne måde påvist med op til 5-8 °C maksimal forskel i lufttemperatur mellem by og land"

Bühler, et al. (2010)

De mange mørke overflader, vores byer består af, betyder at der er et lavt albedo*, og det medvirker til at øge varmen, idet de mørkere materialer absorberer mere og reflekterer mindre. Byens høje bygninger som i udpræget grad findes i bymidterne, begrænser vindens bevægelse og forårsager at varmen fanges i "lommer" og gadeslugter og hindrer den i at slippe væk. Alle vores forskellige aktiviteter i byen med afbrænding af energi til opvarmning, køling og aircondition af boliger og kontorer og transport i biler og lignende er også med til at øge temperaturen i byen. Det kan især opleves om vinteren i byen, når sneen falder og hurtigt forsvinder igen, hvorimod den bliver liggende ude på landet. Fordelingen af de grønne arealer i byen er ikke uden betydning for ophedningen. Er der mange arealer fordelt jævnt ud over byens flade, har det en køligere effekt end hvis der er få store samlede, det har noget at gøre med rækkevidden af kølingen. Akbari, (2002)

HVORFOR OPSTÅR URBAN HEAT ISLAND FÆNOMENET



Diagrammet ovenfor viser glimrende den forskel der er på det åbne land og byen. Det er i forbindelse med opgaven rigtig oplysende at se differencen både for nedsivningen og varmen. Det er netop begge problematikker der søges løst ved hjælp af træer. Altså en multifunktionel rolle for træerne, sammenlagt med alle de værdier de også fører med sig. Det bliver oplyst i afsnittet om Merværdi side 58. Pilenes tykkelse viser graden af funktionen. I byen forekommer der en meget lille nedsivning, og stor akkumulerende varme og lige omvendt i det åbne land. Det åbne land er det der søges efterlignet i byen.

Figur 4

"Også fugtighedsforholdene viser sig, når de underkastes mere detaljerede undersøgelser, at være anderledes i byen end dens omgivelser, selv om vores viden herom er mere begrænset, end når det drejer sig om temperaturforholdene, Mattsson (1979). Hyppigheden af overskyethed øges over byen, ifølge Lowry (1969) med 10%. Årsagen er konvektionsstrømning over byen kombineret med et betydeligt støvindhold i byluften, som fremmer kondensation af vanddamp. Den øgede skydannelse medfører større nedbør over byen. Undersøgelser i såvel Europa som USA peger på et nedbørsoverskud på 5-10% over byen i forhold til omgivelserne, Lowry (1969), Mattsson (1979). En stor del af nedbøren over byen går imidlertid tabt som følge af den tætte bebyggelse og overfladedækning kombineret med afløbssystemer. Resultatet er, at byluften er forholdsvis tør. Medvirkende hertil er også turbulensen i byen, som medfører en ret betydelig vertikal borttransport af vanddamp, Høgh-Schmidt (1979). Den højere temperatur i byen fører yderligere til en nedsættelse af den relative luftfugtighed. Høgh-Schmidt op. cit. refererer en undersøgelse, hvor den relative luftfugtighed i byens centrum ikke alene er nedsat i forhold til byens omgivelser, men også i forhold til parkområder i byen selv. "

Dragsted,(ukendt årstal)

TRÆERS RELEVANTE FUNKTIONER OG EGENSKABER

Vi kender alle træernes umiddelbare udformning med stamme, grene og en krone med blade på. Knap så mange ved hvordan et træ lever og fungerer. Det vil blive beskrevet i dette afsnit, for med den viden kan vi bedre arbejde med træerne og forstå hvordan vi kan udnytte deres livsprocesser og funktioner, til vores egen fordel når vi vil klimatilpasse. Træet er en kompleks organisme, der lever og udvikler sig under særdeles forskellige vilkår, hvor hver del i træet har en specifik opgave den skal udføre. Dynamikken i træers funktioner og fysiologi er meget omfattende. De der er mest relevante for klimatilpasning vil blive beskrevet i dette afsnit. Funktionerne inddeles og forklares generelt og efter hvilken relevans det har for håndteringen af vand og nedbør og for varme og temperatur.

Generelt

Kronen

Udformning - Kronen betegner den samlede helhed som grene, kviste og bladmasse udgør og den er med til at give træet den form og det udtryk som er karakteristisk for arten. Nogle arter har meget tætte og andre har mere lysåbne kroner, det er meget forskelligt og har noget at gøre med hvordan træet konkurrerer med andre. Kronen kan vise os om træet trives og vokser tilfredsstillende. Er årsskuddene på grenene lange er det tegn på en god vækst. Kronens størrelse varierer efter alder og art.

Funktion - Kronen har stor betydning for en række processer i træet. Jo større krone des flere blade eller nåle, der kan foretage fotosyntese og dermed producere kulhydrater til en god vækst. Samtidig sikrer en stor krone og højde at træet bedre kan konkurrere med andre skyggende elementer, det handler om at fange så meget af solens stråler som muligt og derfor komme op og blive højt.

Blade og nåle

Udformning - Træer har enten blade eller nåle. Nogle taber deres blade eller nåle og er løvfældende eller også er de stedsegrønne med blade og nåle der løbende fornyes og derfor står med "løv" hele året. Træerne differentierer sig fra hinanden med mange bladformer og opbygning, nogle er bedre

end andre til at modstå tørke på grund af bladtykkelse og ved at have et beskyttende lag af voks ,kutikula, på oversiden af deres blade. Der findes mange former for tilpasning til deres forskellige oprindelige habitater, som vi kan lære at bruge til vores egen fordel, store blade, små blade, fligede blade, mørke blade osv. Det kræver blot at vi sætter os ind i dem.

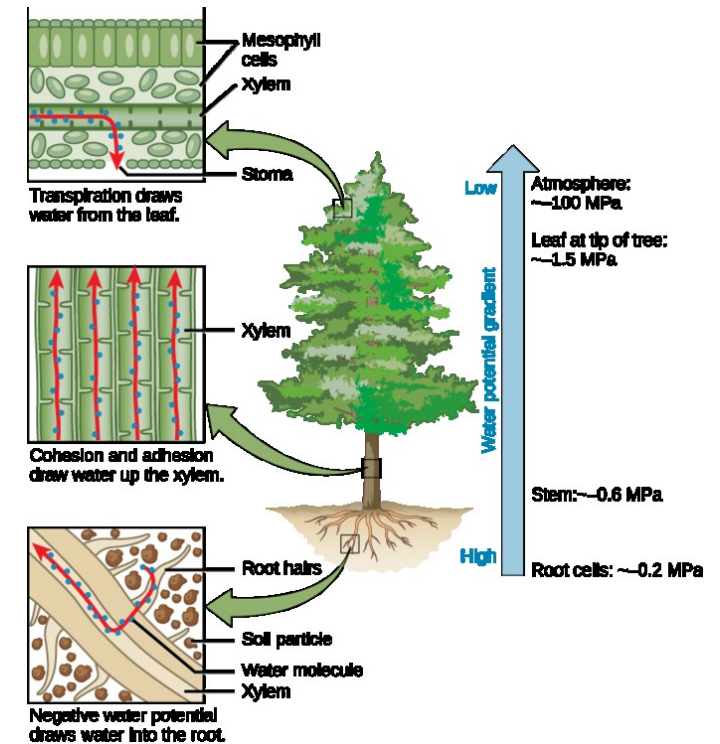
Funktion - Den vigtigste funktion i bladet er omdannelsen af atmosfærisk kuldioxid og solens energi til kulhydrat og ilt, som sker i en kompliceret række af biokemiske processer i fotosyntesen. Omdannelsen skaber næring til træet, som så kan vokse sig større og konkurrere bedre med omgivelserne. Bladene har spalteåbninger på undersiden kaldet stomata, det er her igennem træet foretager sin udveksling af gasser til brug i fotosyntesen og i respirationen, til at afgive blandt andet ilt og vand til atmosfæren. Træet kan styre denne funktion aktivt alt efter de klimatiske forhold der hersker for træet på et givent tidspunkt.

Stammen

Udformning- Stammen holder træet opret og støtter kronen. Barken, der beskytter stammen, kan være meget forskellige. Nogle er helt glatte og andre er grove og furede. Nogle træer har lenticeller som kan "ånde" ligesom stomata kan det i bladene. Nogle træer har gennemgående stammer og andre fordeler sig med forgreninger som vi kender det fra egetræer. Træer kan også have flere stammer og vokser således at stammen i samarbejde med rødderne skaber balance. Således at hvis et træ ikke har mulighed for at sende rødder i en retning, vil det kompensere for dette ved at "læne" sig i den retning der stabiliserer.

Funktion- Vigtigst er dog de funktioner, der foregår inden i stammen. Transporten af vand og næringstoffer mellem krone og rødder er nødvendig for træets livsfunktioner. Det sker ved hjælp af henholdsvis i vedkar/xylem karstrengene hvor transporten af vand, næringssalte og mineraler sker og i sikar/phloem karstrengene hvor vand og kulhydrat fra fotosyntesen løber. I stammen opmagasineres der næringstoffer blandt andet i parenkymcellerne og i marvstrålerne som dermed fungerer som depot. Vand kan også opbevares i stammen, nogle arter gør dette i større udstrækning end andre, men det er værd at vide for at forstå hvorfor træer kan holde sig uden vand i længere tid end mindre vækster kan.

TRÆERS HYDROLOGISKE SYSTEM



Ovenfor ses en illustration over transporten af vand gennem et træ. Fra optagelse af rødderne under jorden til hævnigen ved hjælp af vandtrykket i træet via Xylem karrene og videre op til bladene og stomataåbningerne. Hævningen sker på grund af trykforskellene som vises med den blå pil til højre i billedet.

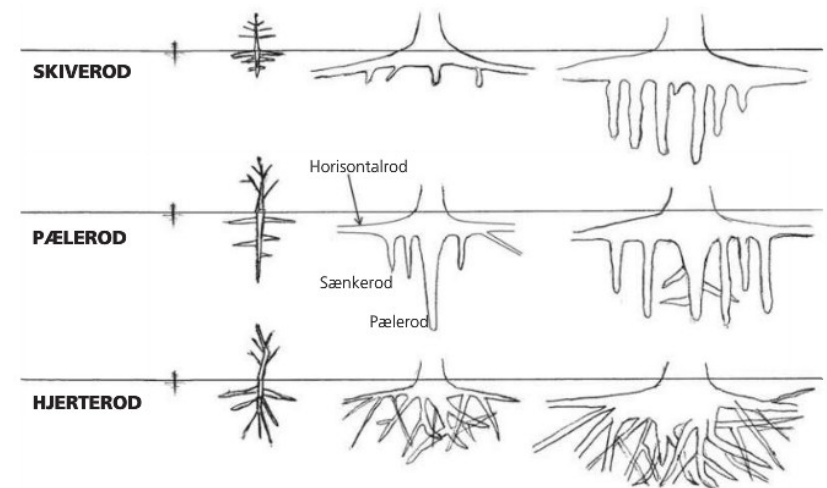
Figur 5

Rødder

Form- Rødderne er træernes skjulte halvdel og ligger under jorden, og på grund af det lider de ofte under manglende hensyn og opmærksomhed. Rødderne inddeles i flere forskellige slags, ligesom vi inddeler efter grene og kviste i kronen. Rødderne betegnes samlet for rodkagen, og dækker over hele rodmassen. De mange forskellige træarter udvikler mange forskellige rodformer, fordi de har tilpasset sig deres specielle habitater. Se figur 6 med illustration over de forskellige former. Det er vigtigt at vide at de træer vi anvender i byen, kommer fra planteskoler hvor produktionsmetoder ændrer rodformerne meget. Træerne bliver omplantet mange gange for at muliggøre opgravning og flytning når de sælges. Disse opgravninger forårsager overskæring af rødder og særligt træer med pælerødder bliver deformeret i forhold til den naturlige udvikling. Det er nyttigt viden når vi senere skal arbejde med klimatilpasning af træer. Træer i byen "agerer" ikke som deres artsfæller i naturen gør.

Funktion - Støtterødderne skaber stabilitet og forankrer træet. Hvis ikke træet får mulighed for at vokse store støtterødder, hvilket kan være tilfældet i byerne, kan man risikere ustabile træer og få risikotræer*. Støtte og trækrødderne danner skelettet for finrødderne, som udgår fra dem i finere og finere forgreninger, som vi kender det fra trækronerne, grenene og kvistene. De mange forskellige træarter udvikler rødder på forskellige vis, fordi de har tilpasset sig deres specielle habitater. Udover den fysiske funktion er den kemiske funktion absolut nødvendig for træets overlevelse. Rødderne står for en stor del af træers vandoptagelse, men optagelse af mineraler og nærings-salte foregår også. Det er finrødderne der står for denne opgave og de er afhængige af jordens indhold af stoffer men også af at jorden har den rette beskaffenhed. Træerne indgår i symbiose med mykorrhizasvampe i jorden, hvis det er muligt. Mykorrhizasvampene er netop meget afhængige af ordentlige jordforhold, såsom iltindhold, struktur og tekstur. De sikrer træet en generel bedre optagelse af vand og næringsstoffer, fordi de fungerer som en forlængelse af finrødderne. Til gengæld modtager mykorrhizasvampene kulhydrater fra træets rødder. Vand er en af de mest begrænsende faktorer for træers overlevelse og derfor er rødderne sundhedstilstand så afgørende.

TRÆER HAR FORSKELLIGE RODFORMER



Det er vigtigt at kende træernes naturlige forskelle, for det har relevans når vi skal vælge de rette træer til det rette sted. Planteskolernes dyrkningsmetoder er dog skyld i at træer med tydelig pælerods form bliver deformeret i omplantningsprocesserne. Så de fleste nåltræer har ikke den dybdegående rod, som bekymrer mange i forbindelse med grundvandsproblematikken.

Figur 6

Vand og nedbør

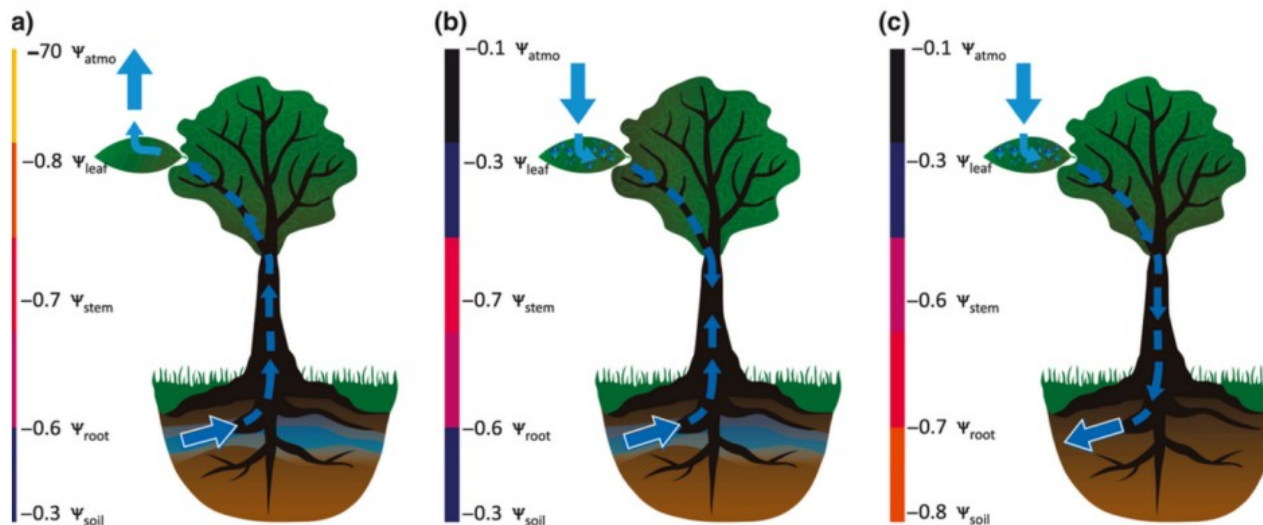
Træerne er dynamiske organismer der udvikler sig i forhold til deres omgivelser, dem med stor biologisk ampletude har nemmere ved at tilpasse sig forskellige vækstforhold. Nogen træer kan tåle at stå meget vådt og næsten anaerobt og andre er meget følsomme over for denne tilstand. Omvendt er der arter der bedre kan tåle længere tørkeperioder end andre. Det er afgørende for anvendelsen, at man kender træernes individuelle krav til voksested, og ikke mindst i de konstruerede miljøer vi former til dem når vi laver kunstige planterhuller og anlæg til dem.

Kronen

Kronen har en interessant funktion der handler om at fange regnen når den falder, kronen er formet således at den mere eller mindre alt efter art, dirigerer vandet langs kviste og grene ned ad stammen og til jorden og dermed til rødderne. Nogle kroneformer fører vandet langs kronens ydre og lader det falde i omkransen af drybzonen, hvor rødderne får gavn af nedbøren. Store mængder vand tilbageholdes af trækronen selv og har en betydelig interception* af nedbøren, som bliver i kronen og fordampes herefter.

Bladene

Stomata på bladenes underside er spalteåbninger der kan åbnes eller lukkes når enten træet tørster, når der er meget varme, vind, eller vice versa. Hvis vi forestiller os en varm sommerdag med en stor regnhændelse, så indstiller træet sig på sine lokale omgivelser. Det betyder at træet på grund af det store vandpotentiale i jorden, og på grund af den forholdsvis høje temperatur, vil iværksætte dets vandoptag både for at fylde dets vanddepoter op, men også fordi temperaturen i luften er høj. Træet er afhængig af sit vandflow til sin stoftransport og styrer det blandt andet ved sine stomata. Hvis spalterne er åbne diffunderer vandet ud af bladet til luften i form af vanddamp, når den gør det former der sig et træk i hele karsystemet i træet som hæver vandet op igennem organismen. På den vis fjernes vand fra jorden, både til træets depoter men også ud i atmosfæren. Denne proces, SPAC*, Soil Plant Air Continuum, er netop hvad vi vil udnytte når vi laver LAR med træer, da temmelig store mængder vand kan bevæge sig og omformes fra jorden og væk op igennem træet.



Optagelse af vand igennem bladet

Her vises den nye viden om optagelse af vand gennem blade Goldsmith, ((2013) illustreret

a) Viser vands bevægelse fra højt vandpotentiale i jord til lavt i atmosfæren

b) Viser vands bevægelse fra højt potentiale i atmosfæren, ved en hændelse der væder bladet, til lavt potentiale i stammen, ved optagelse af bladet. Samtidigt med at vand flyttes fra højt jordpotentiale ved rødderne til lavt i stammen.

c) Viser i sidste scenarie at vand optages via bladet på grund af højt vandpotentiale i atmosfæren, ved en hændelse der væder bladet, til lavt vandpotentiale i jorden. Det betyder at bladene kan ændre jordens fugtighedsgrad omkring rødderne og hindre udtørring i træets underjordiske omgivelser.

Figur 7

Man har for nylig gjort en spændende opdagelse, som betyder at bladene har en funktion i forbindelse med vand, man ikke har været opmærksom på tidligere. "*Optagelse af vand i bladet - regnvand lander på bladene og bliver i modsætning til hvad mange hidtil har troet også optaget direkte i bladet og brugt i træets hydrauliske processer*", Goldsmith, (2013). Træer kan altså også få dækket deres vandbehov via bladene direkte og ikke kun via rodoptag. Det lader tilbage at konstatere, hvilke arter der gør det bedst, artiklen nævner dog, at der ikke er grund til ikke at tro at de fleste træer i mange forskellige økosystemer har disse egenskaber.

Ud over denne nye opdagelse, er bladene ligesom kronen med til interception af regnen som lægger sig på bladet og fordampes lige så stille, og dermed forsinkes vandet når det regner så alt vandet ikke når jorden med det samme.

Stomata på bladenes underside er spalteåbninger der kan åbnes eller lukkes når enten træet tørster, når der er meget varme, vind, eller vice versa. Hvis vi forestiller os en varm sommerdag med en stor regnhændelse, så vil træet indstille sig på sine lokale omgivelser. Det betyder at træet på grund af det store vandpotentiale i jorden, og på grund af den forholdsvis høje temperatur, vil iværksætte sit vandoptag både for at fylde sine vanddepoter op, men også fordi temperaturen i luften er høj. Træet er afhængig af sit vandflow til sin stoftransport og styrer det blandt andet ved sine stomata.

Stammen

Ved nedbør er stammen med til at forsinke og lede det vand, der ikke tilbageholdes af bladene og kronen. Nogle arter har en så furet bark, der gør at en del vand bliver på stammen og fordampes derfra. Overskudsvandet føres videre ned til rodzonen og forsyner rødderne med vand til gavn for væksten. Alt afhængig af jord og belægninger i de urbane omgivelser, siver vandet ned omkring træet og forhindrer det i at strømme på byens hårde overflader og overfylde spildevandssystemets kloakker og rensningsanlæg.

Rødderne

Træet vil altid hvis det kan opretholde en balanceret forsyning af kronen med næring og vand.

Christian Nørgaard Nielsen skriver i; "**Grønt Miljø**" 10/2012 i artiklen, **den ideelle rodstruktur**; at træet på en tør og fattig sandjord vil danne op mod fire gange så mange små og finrødder som på en fugtig og næringsrig jord. Han skriver videre "*de fleste træarter optimerer altså deres struktur og rodmasse efter de fremherskende vandforsyningsforhold*" Træer der får regelmæssig vandforsyning vil være tilbøjelige til at have højere liggende rødder end træer under tørkeprægede livsvilkår, en vigtig pointe at være klar over når man laver klimatilpasningsløsninger i forurenede omgivelser, hvor man er bange for at træernes rødder kommer til at lede forurenede vand til grundvandet.

I det norske fagblad **Park og Anlegg 04 2016**, er der beskrevet en flytning af 2 store bytræer; *Ulmus glabra* - Storbladet Elm, på ca. 20 meters højde. Der observeredes rødder i og med 1,8 meters dybde, med gode vækstforhold i en meget lidt forstyrret jord. Dette er en meget god indikation på at selv store træer ikke har et meget dybere rodnet når de kan få opfyldt deres krav til lys, vand, luft, og næring.

Vand er en af de begrænsende faktorer for et træs overlevelse og derfor er røddernes sundhed af vital betydning i sammenhæng. Hvis ikke der er et ordentlig rodnet, og det kan være særligt udfordret i bymæssig kontekst, sker der ikke en tilstrækkelig vandtilførsel, og træet stresses hvilket leder til en svagere fordampning og dårligere vandhåndtering i en LAR løsning med træer. Så vi leder naturligvis efter løsninger med træer der både kan håndtere gode mængder nedbør og samtidig kan befordre god og sund rodvækst.

Temperatur og varme

Kronen, bladene og nålene

Alle tre elementer fungerer som skyggegivende funktion i byen, de køler omgivelserne ved at sænke overflade temperaturerne af de hårde flader i byen, både horisontalt og vertikalt, via omdannelsen af den latente varme* til fordampning. Afgørende for at dette kan ske er, at træet trives således at det kan opretholde en sund, stor krone med funktionsdygtige blade. Bladene styrer under forskellige klimatiske forhold træets vandbalance, også i denne situation ved at lukke eller åbne stomata. Her har SPAC, altså Soil Plant Air Continuum*, også en betydning fordi funktionen udover at "fjerne" og optage vand også køler. Vel at mærke kan bladene og træet kun udføre dette hvis; der er en vis mængde tilgængeligt vand til stede for træet i jorden, at træets rødder fungerer ordentligt og eller at det har kunnet fylde sine vanddepoter indenfor kort tid. Stomata styres af både transpirationen (fordampningen af vand) og af fotosyntesen.

Som nævnt under vand og nedbør, er visse træarter gode til at optage vand direkte i bladene. Denne proces kan være med til at generere vandtransport gennem træet via dets xylem og ud i jorden, hvilket er særdeles interessant i forhold til tørkeperioder, således at træet bedre klarer disse og derfor kan opretholde dets transpiration igennem disse tider. Lima et al. (2013) Selv for arter der, er svage i det direkte optag, er der en vigtig information i at vide at de ved hjælp af natlig luftfugtighed, (for eksempel hverdags regn om natten) får indirekte fordel af ikke at tabe væske i den periode, hvilket faciliterer vandbalance mellem rødder og jord og igen er med til at skabe kølig-hed, fordi træet stadig holder sin transpiration i gang, hvad det i modsat fald ville neddæmpe ved at lukke mere for stomata om natten.

Transpirationen afhænger af:

- 1) Temperaturen og vokser ved højere varmegrader end lavere.
- 2) Den relative fugtighed indvirker også, således at der ved høj fugtighed er lavere transpiration. Vi ved nu at byen har en relativ lav fugtighed sammenlignet med et naturligt miljø, og det vil gavne processen. Det er lettere at fordampe vand i tør luft.
- 3) Vinden og luftens bevægelse har indflydelse på transpirationen. Mere vind og bevægelse er befordrende for en høj transpiration. I byen afhænger dette meget af mikroklimaet og der er derfor store variationer.

Rødderne

Som vi før har været inde på er rodnettet vigtigt, for hvis ikke det fungerer godt kan det ikke optage vand, og dermed stopper transpirationen og afkølingen af omgivelserne. Alle funktioner hænger sammen og påvirker hinanden, og træet skal ses som en helhed. Hvis der er et missing link, kan processerne ikke fungere og træet lider og dermed virker deres afkøling af omgivelserne heller ikke. Altså har vi at gøre med et cirkulært kontinuerligt og meget afhængigt system.

VIGTIGE FAKTORER OG OPMÆRKSOMHEDSPUNKTER

Nu hvor vi kender til de væsentligst processer i træet for klimatilpasning, bliver de mere overordnede og eksterne faktorer gennemgået i dette afsnit. Det vigtigste og mest betydningsfulde når vi bruger træer til klimatilpasning er at træerne er multifunktionelle. De kan bidrage med så mange aspekter, og det er ærgerligt eller måske ligefremt dumt ikke at tænke træerne ind i løsninger på grund af deres funktionalitet og ikke kun for æstetikens skyld.

Der er meget at tage hensyn til, når vi vil klimatilpasse med træer, og vi ved at betingelserne er meget anderledes end de er i det åbne land. Der er mange variabler der har indflydelse på hvor virksomme træerne er:

- Tid
- Træernes vitalitet
- Træernes alder og størrelse
- Forvaltning af træer
- Træarter eller typer
- Træernes placering og anlæggelse

Derudover er der nogle særlige faktorer vi skal være opmærksomme på når der skal klimatilpasses med træer i danske byer;

- Beskyttelse af eksisterende træer
- Årstider
- Forurening
- Grundvands hensyn
- Salt

Der findes naturligvis flere, men disse er de vigtigste og vil derfor blive behandlet her.

Tiden arbejder med os, hvis vi tænker os om. For træer tager tid. Træernes indflydelse øges med de forventede forandringer, hvis vi altså benytter os af chancen og planter træer i de klimatilpasningsløsninger vi sætter i søen nu i dag. Det gælder om rettidig omhu.

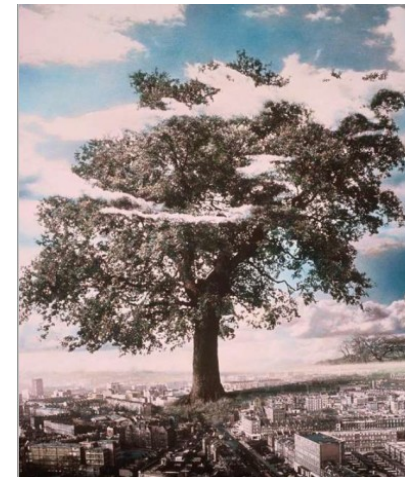
Temperaturstigningerne kommer løbende og det passer med at træerne vokser sig større og mere betydningsfulde i klimatilpasnings sammenhæng, hvis vi anlægger dem rigtigt og planlægger med omtanke.

Vitaliteten af de træer vi har stående i vores byer er alt afgørende for deres effekt i forhold til nedbøren og varmen. Et træplantehuls størrelse skal relatere sig til kroneprojektion og diameter for at sikre at træet har adgang til nok vand og næring, **Randrup**,(1996)¹. Planteområdet skal, ikke at forglemme, opfylde træets fysiske krav på lang sigt, således at det kan nå sin fulde størrelse som art, og dermed bidrage bedst i forhold til klimatilpasning.

Størrelsen hænger uomtvisteligt sammen med **Alderen** og giver en større virkning både tilpasningsmæssigt, men også økonomisk. Se Cost Benefit analyse fra side 48 figur 14, som viser en udregning af, hvor meget mere et stort træ giver af fordele end et lille. Det kan ikke siges ofte nok, det handler om at få et stort og livskraftigt træ, så det kan udføre sine processer optimalt. Er det tilfældet, vil træet kunne opfylde de krav og forventninger, der kræves af det set som et teknisk element til at afhjælpe de skader og gener vi gerne vil undgå. Med andre ord er der brug for så meget evapotranspiration og skygge som muligt fra hvert enkelt træ.

Forvaltning af træer skal planlægges nøje, for det er også med til at sikre vitalitet og størrelse. Det inkluderer alt fra korrekt beskæring til at holde et omfattende og brugbart træregister, der sikrer overblik og handling. Man kan kalde det en form for indirekte klimatilpasning med træer og omhandler en række faktorer, som ikke er klimatilpasning som sådan, men som har en stor indflydelse på trivsel af træer og dermed også på funktions-dygtigheden. I-Tree programmet udviklet i USA, som et skandinavisk samarbejde er ved at tilpasse nordiske forhold, vil skabe et godt udgangspunkt for forvaltere af byernes grønne områder i Danmark. I-Tree rummer udover almindelig registreringsprogrammer, også udregninger for træernes klimatilpasningseffekter, altså på køling og overfladestrømning af regnvand. Det er værd at bemærke at det ikke kun er en øgning i antallet af træer, der er væsentligt for at øge en bys

- *Do our cities have proportionally low numbers of large trees?*
 - *Yes we do*
- *Is loss of large trees problematic in our cities?*
 - To answer this, we need a **long-term** urban forest inventory, which we do not have yet



Perception of a Problem

“Large old trees are disproportionately vulnerable to loss in many ecosystems worldwide as a result of accelerated rates of mortality, impaired recruitment, or both”

Justin Morgenroth, Bytræsseminar 2015

På bytræsseminaret sidst år havde jeg den fornøjelse at høre Justin Morgenroth tale om tabet af store træer i bybilledet. Ovenstående er fra hans slides på præsentationen. Hans undersøgelser bekræftede mig i mine egne iagttagelser gennem mange år om manglen af store træer. Det ansporer til en holdningsændring i forvaltningen af store træer, både af hensyn til byens æstetik, men også i forbindelse med klimatilpasnings tiltag som opgaven her drejer sig om.

Figur 8

kronedække. Rigtig meget kan fås gennem en ordentlig drift og planlægning, der sikrer den stabilitet og funktion vi før har omtalt. Der er god økonomi i at passe på de eksisterende træer, og jo bedre det kan formidles, som eksempelvis gennem et system som I-tree, jo bedre argumentationer opnås der til at forhandle, fortælle og budgettere tværfagligt med.

Træarter eller typer er interessant at forholde sig til. Der er forskel på hver arts måde at fungere på, alt afhængig af hvor de oprindeligt er kommet fra. Nogle tåler bedre skygge, nogle har en større bladmasse, nogle er løvfældende, andre er stedsegrønne. Den viden der følger med i at kende sit plantemateriale er vigtig særligt når man er afhængig af specifikke funktioner. Under kapitlet Kriterier For Trævalg bliver dette præciseret mere.

Placeringen og anlæggelsen har vi været lidt inde på tidligere. Det omhandler ikke kun et korrekt udformet plantebed, men også en stillingtagen og registrering af, hvilke omgivelser plantehullet placeres i. Det kan være et vejbed, en indre gård, en skolegård eller en parkeringsplads, mulighederne er mange. Hvert sted har sine udfordringer for træ og plantehul. Senere i dette afsnit under salt og forurening, kommer vi det nærmere. Under ´guidelines og anbefalinger vil eksempler på placeringer blive gennemgået.

Beskyttelse og bevaring af eksisterende træer hører også til indirekte klimatilpasning, da det gælder om at holde øje med totalmængden af træer og ikke kun se på hvor mange nye man tilføjer. Det kan et godt og funktionelt træregister hjælpe med at holde øje med. **Justin Morgenroth, New Zealand School of forestry og university of Canterbury**, holdt på Bytræsseminaret 2015 oplæg, om manglen på gamle træer i byer generelt. Han opfordrer til at holde et nøjere regnskab gennem et træregister og gennem langsigtede træstrategier, for derved at opretholde en defineret balance i en bys voksende population af træer i funktionsstadiet*. Ifølge ham er bestanden af gamle træer generelt i verdens store byer udfordret og ikke så stor som den måske burde være, i denne sammenhæng. I en artikel i *Politikken*, (2015), **Københavnere må undvære 80.000 nye træer**, oplyser **Jens Ole Juul**, "at der i Københavns Kommune ikke føres regnskab med, hvor mange træer der fældes i byen. Der eksisterer ikke noget samlet overblik over, hvor mange træer rigere byen er blevet gennem de senere år. Men det store billede er, at der bliver plantet mange flere træer end der bliver fældet."

"Når man ved at der er et udfald på ca. hvert 3 nyplantede træ", **Embrén**,(2009) i byer, så er det naturligt at stille spørgsmålstejn ved det regnskab, og mon ikke andre store byer er i samme situation.

Årstiderne bliver anderledes. Som tidligere beskrevet får vi mere tørke og længere og varmere hedeølger, nedbøren ændres til at være mere ekstrem med skybrud om sommeren, og meget mere nedbør i efterårs og vintermånedene. Vintrene bliver generelt mildere, og de klimaforhold skal eventuelle løsningsmuligheder rent teknisk, men også plantemæssigt kunne håndtere og behandle. Det handler om at vi udnytter træernes vækst og livsmønstre til vores egen fordel ved at kende til deres morfologi, fænologi og ikke mindst fysiologi i forhold til forskellige typer for klimatilpasning vi vil lave. De klimatiske ændringer vil også betyde at vækstsæsonen bliver forlænget. Det gør at træerne vil være virksomme og transpirere i længere tid over året, også de løvfældende, og at der kan benyttes nye arter som ikke tidligere har kunnet trives i de nord europæiske egne. **Fryd et al.** (2010)

Forurening af vores omgivelser er særlig høj i byer, hvor der er meget trafik, og hvor der i det hele taget benyttes mange stoffer i forskellige sammenhænge. Vejvand indeholder, afhængig af trafiktrykket, en række forurenende stoffer, som helst ikke skal ledes væk uden omtanke. Når vi laver anlæg med træer der skal håndtere vejvand skal disse forhold inkluderes i løsningerne. Heldigvis kan det problem imødekommes i mange tilfælde, hvis de lokale forhold analyseres grundigt, men det kræver også god indsigt og forståelse for de vilkår der anlægges i. Vejvand kan blandt andet indholde PAH'er *, tungmetaller, fosfor , kvælstof og salte.

Grundvandet er vi særlig kede af at lede forurenede vand til her i Danmark, eftersom vi bruger grundvand som vores primære drikkevandsressource. Mange myndigheder har ekstra fokus på denne problematik, også når der laves klimatilpasning, hvilket kan være en udfordring i byen.

Salt skaber et specielt problem, som er årsag til mange bekymringer og hænger sammen med at vi salter vores veje som foranstaltning mod frosne og glatte veje. Salt har ikke en heldig indvirkning på beplantninger, det skaber ubalance i vandoptagelsen, især fordi der kan opstå fysiologisk tørke*. Fysiologisk tørke forekommer ofte når et højt saltindhold kombineres med lukkede plantebede der ikke bliver rensede for saltet. Altså der saltes om vinteren og hvis der ikke er tilstrækkelig nedbør der kan opløse koncentrationerne eller skylle saltet bort opstår tilstanden og er årsag til meget trædød.

Vand og nedbør

Træer der står og kæmper for at overleve er ikke funktionelle og optager ikke vand særlig godt, fordamper ikke optimalt og håndterer derfor ikke så meget vand som vi ønsker det skal. Tilgængeligt vand er vigtigt for trivslen og derfor er udformningen af plantehullerne eller bedene yderst afgørende. Hvis der ikke er nok volumen i plantehullet, vil det hurtigt tørre ud og rødderne vil ikke kunne udvikle sig, og træet vil derfor være afhængig af vanding i mange år efter etablering. Træet vil under disse forhold bestræbe sig på at finde vand, og i dets ihærdighed finde sprækker og revner udenfor plantehullet, steder vi ikke ønsker dem. Når vi klimatilpasser vil vi gerne kunne skaffe så meget vand af vejen som muligt, for at det ikke skal oversvømme følsomme arealer i byen. Ergo lad os benytte vandet fra omgivelserne, som en ressource, så vi kan forsinke regnvandet og vande vores træer. Der er rigeligt med vand i byen, hvis bare vi kan finde ud af at opfange det og ikke lede det hurtigt væk, i panik. På den måde får vi ikke rødder der hvor vi ikke vil have dem.

I forhold til mindre buske og stauder kan træer tåle tørke i længere tid. De har et større rodnet og har derfor adgang til vand i længere tid, og de kan opmagasinere meget mere vand i deres væv. Samtidig vil de anlæg der laves med træer også have en betydelig hurtigere tømningshastighed ene og alene på grund af træers relative vandforbrug. Der vil med træer ske et markant større vandoptag end for eksempel med de regnbede typer, som laves i dag, hvor kun stauder bruges som grønt islæt, og hvor der kun satses på nedsivning. I de fleste regnbede benyttes der en speciel jord der skal øge nedsivningshastigheden af det tilkomne vand. Dette skyldes mindst to ting. Man vil gerne af med vandet så anlægget er klar til en ny regnvejrshændelse, og man vil gerne undgå at planterne i bedet skal lide nød i vandmættet jord og anaerobe forhold i for lang tid. Det problem kan bedre håndteres med træer, fordi de qua deres størrelse bedre kan udholde de midlertidige omstændigheder, og man kan undre sig over at den mulighed ikke har været anvendt før i større udstrækning. Det burde være muligt at finde en metode til at udnytte det urbane overskudsvand. "*Her er den primære udfordring at sikre vandforsyningen, og teknikker til kobling af lokal regnvandshåndtering med vanding af byens grønne struktur er et oplagt innovationsområde*" Bühler et al. (2010)²

Den specielt konstruerede jord, filterjord, er en specielt udviklet til brug i LAR anlæg, udover en høj infiltrationsevne, skal jorden rense det belastede vejvand i bedet. Det bør ikke være nødvendigt at bruge filterjord når vi har træer i regnvandsbedene. Træer kan tåle et længere ophold af stående vand og behøver ikke filtreringen, den klarer de selv, og benytter vandet i større udstrækning til eget

forbrug og fordampning. Selvfølgelig er der forskel på om der står et lille ungt træ eller et stort fuldvokset eksemplar. En løsning kunne være at sætte flere unge træer sammen, for derefter at tynde ud i dem, lidt som man gør i skoven eller som **C.TH. Sørensen** gjorde i mange af hans anlæg. En fordel ved ikke at behøve filtermuld er, at det ikke længere er nødvendigt at skulle udskifte jorden i bedet, og dermed skulle omlægge hele bede, som det er tilfældet med eksisterende regn og vejbede, med stauder.

I næste afsnit forklares rensningen af eventuelt forurenede vand fra især veje men også andre flader i byen.

Træer kan rense regnvandet og grundvands problematikken

Jord og jordbakterier i kombination med træer har en rensende effekt på den forurening, der kan følge med regnvandet til plantehuller og andre anlæg. Der sker en nedbrydning, og et optag eller filtrering af stofferne mellem disse enheder, og gør jorden klar til en ny omgang regn. Den mængde kvælstof og fosfor, der også er til stede i regnvand er blot gødning til urbane træer, der ofte lider under mangel på gødning. **Nathalie Shanstrom**, nævner i en artikel i en blog på **Deeprooot.com** at jorden og vandet ikke blot bliver rensede for uønskede stoffer, men at det i følge et videnskabeligt studie, er fundet at træer, der bliver vandet med regnvand fra veje og tage, trives bedre, vokser sig højere og havde en større rodtæthed, end træer der var vandet med vand fra hanen. **Maj et al.**(2006) I USA er det ved at udvikle sig til BMP-Best Management Practise, det der svarer til vores BAT- Bedst Anvendte Teknik. Der har i mange år været en praksis, udenfor byen til behandling af forurenede industrigrunde, hvor træer har været anvendt specifikt til oprensning. Fænomenet kaldes phytoremediation*. Pil og Poppel har rigtig gode egenskaber i den retning, men alle træer udfører disse funktioner i mere eller mindre grad. Den viden kan med fordel bruges når vejvand skal håndteres i forbindelse med klimatilpasning.

Dix et al.(1997), **Cederkist et al.**(2009)

Når jorden i byerne er hårdt komprimeret, som den mange steder er, betyder det også at det forurenede vand vil have svært ved at nedsive og derfor ikke truer grundvandet i det omfang mange frygter. Det gælder om at differentiere og anerkende forholdene, der hvor plantehuller laves og træer plantes, ellers bliver det et for unuanceret og ensidigt grundlag der bedømmes og planlægges ud fra. Det er faren ved standarder.

Pollutant	Concentration Reduction (%)	
	Small event	Large event
Total Phosphorous	52%	62%
Total Suspended Solids (TSS)	95%	77%
Aluminum	89%	45%
Zinc	57%	71%
Lead	92%	81%
Nickel	58%	79%
Copper	44%	63%
Iron	89%	85%

Rensning af vejvand i træplantninger

Forsøg lavet af Deeprooot viser hvor meget forurening, der har kunnet fjernes i et testfelt med silvercells og træer. Ganske store mængder af de stoffer man er bekymret for i Danmark bliver optaget af træer, omdannet af bakterier og på anden biologisk vis. Endnu en indikator på at træer kan reducere belastningen på rensningsanlæggene ved, at det vand der ledes til kloak og videre, efter at have været igennem et træbed, er renere end det ellers ville have været. Rensningsanlægget skal således bruge mindre energi på at rense så vandet end det ellers skulle.

Figur 9

Der bør måske ikke være så stor grund til bekymring for at vejvand, der ledes til træplante-kummer, er årsag til forurening af grundvandet. Hvis vi udvikler løsninger fornuftigt og med god research kan det godt løses. Det er værd at bedømme hvert scenarie for sig selv. Nogle anlæg kan designes således at overskudsvand fra træplantehuller drænes væk til sikker rensning via det eksisterende spildevandssystem, hvis man er for usikker på hvor meget rensning der kan ske i det enkelte anlæg.

Der eksisterer i branchen en bekymring for at trærødder leder urensset vand til grundvandet, fordi man mener at rødderne danner sprækker og kanaler, der leder det direkte derned. Det forholder sig egentlig omvendt, træerne finder eksisterende sprækker og revner i søgen efter tilgængeligt vand og kun hvis det er nødvendigt for dem. Træerødder kan ikke søge efter vand i dybden mange steder i byen, netop fordi jorden er så komprimeret. Tværtimod er reglen, at man registrerer at træerødderne finder andre veje. De tilpasser sig og leder deres rødder under de øvre hårde overflader, hvor vand kondenseres. **Oliver Bühler**,(2013). Oliver Bühler har i analysen af fældningen af den oprindelige Krins på Kongens Nytorv, været med til at registrere at der ikke fandtes træerødder dybere end anlæggets udformning, hvilket vil sige under 1,8 meters dybde. Anlægget var opbygget af makadam og vækstjord og vurderedes at have gode vækstvilkår.

Temperatur og varme

Når vi vil klimatilpasse for at reducere varmen og generne af den i byen, befinder vi os på ny i et pionérstadiet i Danmark. Det er derfor nødvendigt at se hvad der gøres i udlandet. Man skal selvfølgelig holde sig for øje, at forholdene der kan være anderledes på mange fronter. Når der tales om og måles på varme, er der flere parametre der gør sig gældende. Der kan måles temperaturer i luften, på belægninger og byens overflader, og så kan man måle på en interessant måde efter den temperatur der egentlig har betydning direkte for menneskers velbefindende. Der er store forskelle på disse målinger og det er vigtigt at kende dem ellers kender man ikke den korrekte virkning træer har. Vi ser på det i dette afsnit.

Urban tree canopy cover

City of Ann Arbor, US

Analyse af kronedække.

- By-niveau: 32.9%
 - Beboelsesområder: 46%
 - Infrastrukturområder: 23.7%
 - Grønne områder: 22%
- USDA Forest Service anbefaler at byer i den tempererede klima zone opnår et kronedække på 40% på by-niveau



Multi-spektral luftfoto

Kronedække anbefalinger

Fleere udenlandske studier især i USA har beskæftiget sig med hvor stor en andel af byer, af en hvis størrelse, der bør beplantes for at opnå et tilfredsstillende kronedække for byens borgers velbefindende. I ovenstående eksempel fra Anders Busses forelæsning på bytræs seminar i 2014, ser man USDA's, svarer til vores Naturstyrelse, anbefalinger på 40 % i byer i den tempererede klima zone som svarer til vores danske forhold. Der er lang vej fra Københavns mål på 20% kronedække til USDA's anbefaling.

Figur 10

Hvad er afgørende for nedkølingen af byen?

- Vitaliteten af træerne
- Mængden af træer
- Fordelingen af træer

De er vigtige elementer at arbejde med og bør være med i planlægningen og udviklingen af denne specielle form for klimatilpasning. Heldigvis går de fleste i spænd med klimatilpasning og vand.

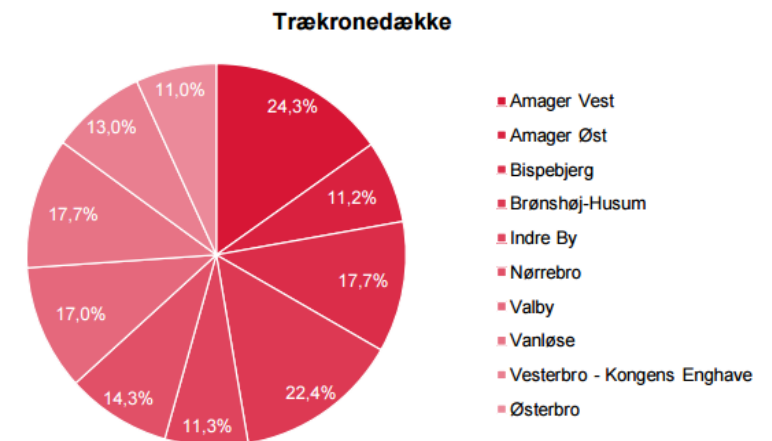
Vitaliteten tydeliggøres af at urbane træer ofte ikke bliver ældre end 10-15 år gamle. **Fryd et al. (2010)**. Byen har brug for funktionsdygtige træer til nedkølingen af de hårde og varme flader i byen. Det har været omtalt i sidste afsnit at træernes alder er afgørende.

Mængden er vigtig og omhandler kronedækket af byen, som en faktor der skal opfyldes til en vis grad før at virkningen kan føles eller måles. Det måles som en procentdel af byens overflade, og findes ved opmåling på kort og ved hjælp af GIS værktøjer. Det hører også med her at fortælle at flere træer samlet kan give en højere effekt, men det er ikke proportionalt. Et meget stort træ kan have samme effekt som mange samlede, fordi dets krone kan næsten være af samme omfang, alderen af træerne har dermed også betydning for outputtet.

Fordelingen hentyder til at det ikke er ligegyldigt hvordan det grønne kronedække forekommer. Det nytter ikke hvis der er et samlet højt kronedække, hvis kronedækket er isoleret til enkelte bydele. Rækkevidden på kølingseffekten er begrænset, og afhængig af størrelsen på området der er kronedækket. Det skal der selvfølgelig i videst muligt omfang planlægges ud fra.

Reel varme og målt varme - Mange af de videnskabelige undersøgelser, der er lavet af træers virkning på køling, har været særligt koncentreret på den faktiske temperatursænkning i menneske højde under træer og ikke den oplevede temperatur. I en undersøgelse af **Potcher et. al. (2009)**, beskrives den termiske komfort for mennesker og her

Procentvis fordeling af det samlede trækronedække på de 10 bydele.



Analyse af Københavns trækronedække 2015

Det kan læses ud af figuren herover at Indre By, Nørrebro, Valby, Østerbro, Vesterbro som er repræsentativt fra afgrænsningen i denne opgave for bykernen, i gennemsnit har 13,32 % kronedække. Indre by defineret i Kommunens undersøgelse har kun 11,3% kronedække, det kan konstateres at København er langt fra de udenlandske anbefalinger og mål.

Figur 11

er resultatet, at der er en markant højere køling, når man måler den oplevede varme. Den værdi der i grafen til højre kaldes PET, physiologically equivalent temperature. Den reelle varmereduktion måles ofte til 2-8 grader celsius, når den måles normalt. I denne undersøgelse fandtes forskelle i Freiburg, Tyskland, nogenlunde sammenligneligt med Danmark, på op til 13 C for den thermiske menneskelige komfort. I dette tilfælde målt den reelle temperatur sænkning til 1,5 C. En forskel på 11,5 grader er væsentlig.

"Træer har generelt vist sig at have den største effekt på overfladetemperaturen. Dels takket være skyggeeffekten, dels pga. dybtgående rødder, der kan sikre vandfordampning over en lang periode", Bühler et al. (2010) 1

Når træer forhindrer overfladerne i at overophede, reducerer de UHI, helt enkelt fordi opstuvet varme i materialerne ikke bliver hængende om natten, hvor UHI er størst.

Målet for kronedække i København er at , 20 % af Københavns samlede areal er dækket ifølge planen, **Bynatur i København 2015-2025**. Dette er vel at mærke ikke mål for klimatilpasning, men for bynatur og oplevelsen af en grøn by for borgerne. Sammenlignet med **Københavns Universitets og Realdanias rapport Plan09**, side 11, så vurderesmet 20% vegetationsdække som lavt. Det fremgår af diagrammet for Københavns kronedække for 10 bydele, at indre by og brokvartererne ligger så lavt som 11,3 %, se diagram modsatte side til venstre. Der er i den grad plads til forbedring, i følge **USDA Forest Service** anbefales byer i den tempererede klimazone, som Danmark ligger i, at opnå et kronedække på hele 40 % se figur 10.

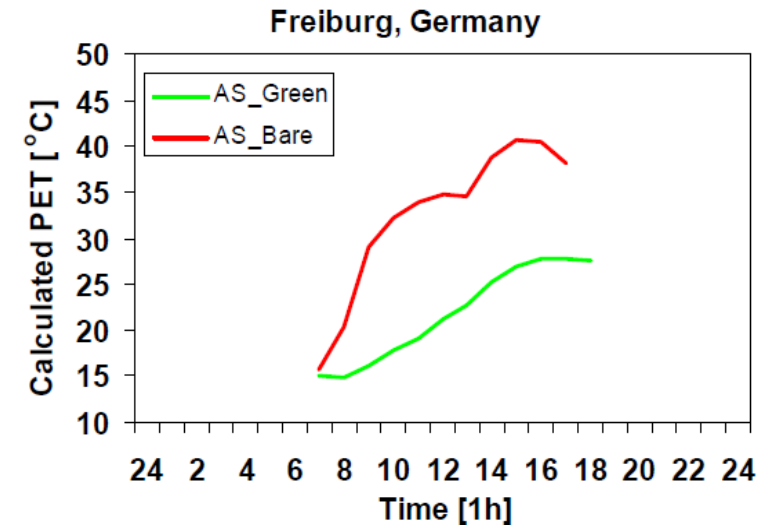
Eksisterende træers værdi

Det vil tage lang tid før de træer, der etableres som klimaforanstaltning nu, når deres optimum for tilpasningens ønskede virkning, og derfor er det meget vigtigt at beskytte og sikre de eksisterende træer i byen. De får ikke de hensyn og den respekt, når der bygges og anlægges, som de burde.

PET Physiological Equivalent Temperature

På grafen aflæses en forskel på 15 grader ved den største difference på følt varme mellem et bart areal uden træer og et med.

Figur 12



Where Have all the Mature Trees Gone?

Meta analyse har identificeret høje dødeligheds/fjernelses rater, som forhindrer store populationer af store træer. Der er brug for langtids Urban Skov registrering for at forstå temaet til fulde



Figur 13

Træer fældes alt for lemfældigt, fordi det umiddelbart virker lettest, blandt andet for økonomien og logistikken i et projekt, men i det store billede er det dyrere, byen bliver fattigere i deres kroneareal, og nyplantninger i bymiljø er temmelig kostbart. Ofte erstattes fuldvoksne træer lige over, med et lille nyt træ, hvilket slet ikke står mål til værdien af det eksisterende. Red byens træer, en borgergruppe i København, gør et stort arbejde for at gøre opmærksom på borgernes ønsker om at bevare så mange træer som muligt, hvilket har givet et politisk fokus, der har resulteret i at København har fået sin første træpolitik i år.

Eksisterende træer bør opfattes som dyre installationer både forvaltningsmæssigt, af landskabsarkitekter, andre projekterende og af borgerne. Heri ligger et stort formidlingsarbejde. Der ligger også et arbejde i at udvikle et brugbart værktøj til værdisætning af træer, som ville kunne bruges til at stille entreprenører og andre til ansvar i tilfælde af beskadigelser eller fældninger. Hidtil har VAT 03 været anvendt, som aldrig rigtigt har vundet indpas. Der arbejdes på en ny udgave, da man godt er klar over anvendeligheden af et sådant værktøj. På dansk bytræs seminar 2015, blev de nye overvejelser til den nye udgave vist. Det fremgik ikke at træer bliver vurderet ud fra klimatilpasningsparametre, som denne opgave prøver at fremhæve. Jeg anbefaler at det bør indgå i det ny værdisætningsværktøj fremover.

	Small trees (<7.5m)	Medium trees (7.5-12m)	Large trees (>12m)
Benefits per annum	\$23	\$33	\$55
Costs per annum	\$14	\$17	\$18
Net benefits	\$9	\$16	\$37

Cost - Benefit Analyse for størrelsen af træer og deres økonomiske værdi

hvor cost ses som udgifter til forvaltningen af træer og benefit er de miljømæssige og klimamæssige fordele for henholdsvis små, mellem store og store træer. Undersøgelsen foretaget af CIRIA og US Department of Agriculture and US Forest Service i 2004. Undersøgelsen konstaterer at store træer giver større kost besparelser end små og mellem store træer

Figur 14

KAMPEN OM PLADSEN I BYEN

Pladsen i midtbyen er en knap ressource, der skal opfylde en lang række interessenters behov. Der er mange der har brug for den trange plads, kampen foregår både over og under jorden. Klimatilpasning har ikke været en infrastrukturel agenda før for ganske nylig, og nu skal disse grønne infrastrukturelle services* og grønne teknikker finde deres plads i hierakiet. Det kan ikke lade sig gøre, i ordentlig skala, hvis ikke løsninger kan foregå i synergi med andre anlæg i byen. I den indre by er pladsen selvfølgelig ekstra presset. Oven i købet skal LAR helst være synligt og ikke kun ske under jorden i følge diskursen for klimatilpasning, og det hele skal gerne munde ud i at give merværdi. Det er mange udfordringer til et i forvejen meget nyt område som klimatilpasning er og som går på tværs af mange fagligheder som ikke nødvendigvis har været vant til at samarbejde. Alle disse funktioner skal og bør kunne hænge sammen i fælles funktioner og synergi. Tingene skal kunne kombineres, parkeringspladser skal kunne andet end at indeholde parkerede biler, skolegårde skal rumme grønne klimatilpasningsteknikker for varme og vand samtidig med at de inspirerer børn; vores veje skal kunne andet end at lede trafikken og ligeså vores fortove, sådan kan man blive ved. Det er muligt.

Der tales meget om liveable cities, vi kan ikke have liveable cities uden en vis mængde træer af en vis størrelse, denne liveability trend går fint i spænd med klimatilpasning med træer.

Vores infrastrukturer skal indstille sig på ikke bare at være dobbeltanvendelige men måske også multianvendelige.

Træer må ofte vige for byggeri

Behovet for plads til byggeri æder sig ind på det grønne og ikke mindst på træerne. Dansk Træpleje Forening fremhæver at den største trussel mod byernes træmasse igennem de sidste par årtier har været det massive gravearbejde i forbindelse med udvidelsen af ledningsnettet. Det er fordi at de eksisterende træer i nærheden af gravearbejdet enten er blevet fældet eller skadet i en sådan grad at

de senere er blevet fældet på grund af deres ringe tilstand. Det er et kæmpe problem at der ikke i lovgivningen findes ordentlig hjemmel til at tage vare på vores træer. De projekterende og bygherrer må finde en diskurs der legitimerer en bedre bevarelse af træer, og det er ikke nok at erstatte store træer en til en med små nyplantninger.

BYENS INFRASTRUKTURELLE UDFORDRINGER



Det er i disse omgivelser pladsen til at klimatilpasse med træer skal findes, en ikke helt nem verden at navigere i. Det tydeligør hvor mange interessenter der findes.

Figur 15

REFERENCER FOR VÆRDIER PÅ GRUND AF TRÆER

Det er meget svært at måle på træernes nøjagtige virkning på klimatilpasning for vandhåndtering og temperaturhåndtering uden at have et areal at gå ud fra. Denne opgave har ikke haft som mål at lave et specifikt testprojekt, selvom det ville være spændende at lave. Havde det været tilfældet ville der skulle laves beregninger og dimensioneringer for kapacitet, og hvilke regnhændelser T10, T50 eller T100*, området ville kunne rumme. I dette afsnit vil eksempler på nogle værdier, der kan findes på forskellige kilder, både primære og sekundære blive fremlagt. De er gode som pejlemærker og rettesnore. Der skal dog tages højde for at der ikke kan laves direkte sammenligninger fra projekt til projekt, da der kan være et utal af variabler. De kan være med til at give en forståelse af hvor meget træerne egentlig kan yde.

Generel Behov For Urban Skov

"US research suggests that 40% tree cover in cities will ensure the sustainability of the urban forest and maximize community benefits from trees. It is thought that this level of tree cover will ensure the sustainability of the urban forest and maximize the ecological, social and economic benefits derived from urban trees."

Figur 16

Cost Benefit

"Are trees worth it? Findings suggest that energy savings, air-pollution mitigation, avoided runoff, and other benefits associated with trees in Chicago can outweigh planting and maintenance costs. Given the assumptions of this analysis (30 years, 7% discount rate, 95 000 trees planted), planting and maintaining trees costed \$21 million, whereas the benefits conferred by the trees was valued at \$59 million, for a net present value of \$38 million or \$402 per tree planted. A benefit-cost ratio of 2.83 indicates that the value of projected benefits is nearly three times the value of projected costs".

Figur 17

Vand og nedbør

Vandforbrug

"I Malmø har man i sommeren 2006, målt vandforbruget for et fuldt udvokset lindetræ med en kronediameter på omkring 14m, til 670 liter vand om dagen i July måned. Der er derfor en stor kapacitet i form af håndtering af vand, det bør kunne udnyttes. Har man 10 lindetræer i en trægruppe formet som regnbed, vil de kunne fjerne 6700 liter vand om dagen i tilfælde af store regnskyl."

Figur 18

Vandforbrug

"The availability of sufficient water supply to the tree is crucial. Blunt(2008) suggested that in a dry year trees greater than 15m height required 60-150 m³ of water from the soil during growing season. The largest tree took 240m³ and a small 10m high birch took 30m³. It is, therefore important to ensure that the runoff area draining to the tree will provide sufficient water for when its fully grown."

Figur 19

Vandforbrug

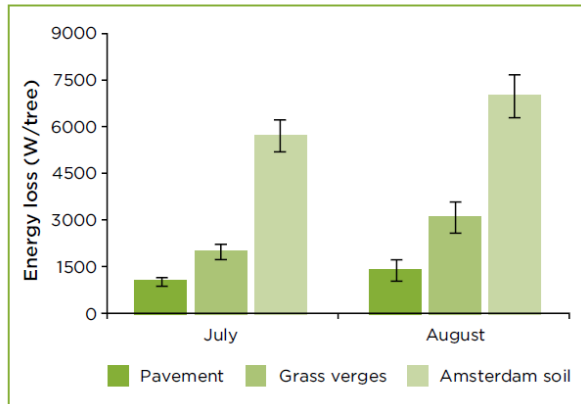
"Dagligt maximum vandforbrug gennem jorden varierer mellem 500 - 1000 liter afhængig af art."

Figur 20

Vandforbrug

I en amerikansk forsknings undersøgelse fra Oktober 2015 ; Study Examines Performance of Trees in Bioswales, fandt man frem til at træer i vejbede (amerikansk bioswale), stod for mellem 46 til 72 % af total tømningen via transpiration.

Figur 21



Figuren viser den evapotranspirationelle køling, for træer placeret i 3 forskellige plantehuller. Mørke grøn er for plantehul i asfalt, mellemgrøn i græs, og lyseste grøn i makadamjord. Det er tydeligt at se at træer plantet i makadam har den størst kølende effekt på grund af stor evapotranspirations rate. **Figur 22**

Interception

"Når det regner, lægger noget af vandet sig på blade og grene, og det tager typisk 10-20 minutter, før vandet drypper ned på jorden. Det er med til at fordele belastningen på kloaksystemet." **Figur 23**

Interception

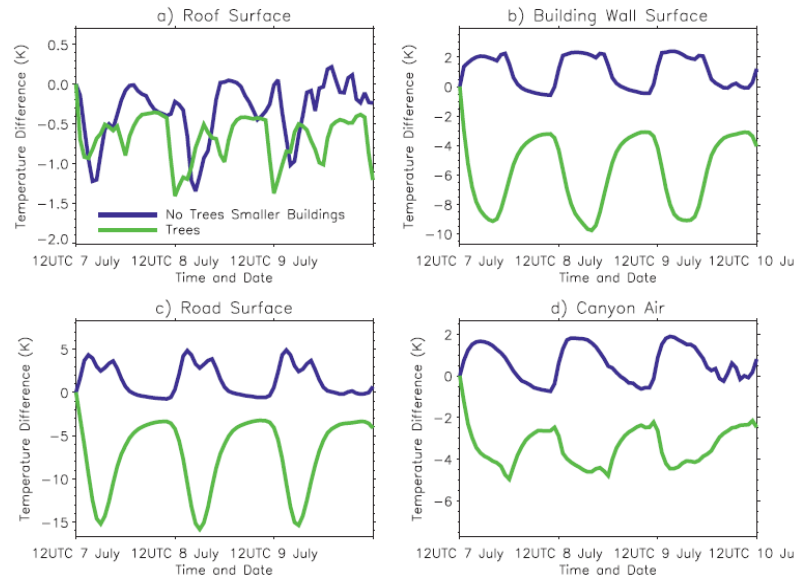
"Vegetation can intercept up to 50% of the rain that falls on its leaves. The leaves of deciduous trees commonly intercept anywhere from 20 to 30% of the falling rain." **Figur 24**

Interception

" The average annual interception rate per tree ranges from a low of 102 gal to a high of 1,481 gal based on tree size, rainfall amounts, and foliage period. Over the 35-year span of the project, 1 million trees will reduce runoff by approximately 13.5 to 21.3 billion gallons (1,810 to 2,840 million cubic ft). The value of this benefit ranges from \$97.4 to \$153.1 million for the high- and low-mortality scenarios, respectively. 1 gallon er lig med 3,8 liter "

Figur 25

Temperatur og varme



Figuren herover er en oversigt over forskel på temperaturen af forskellige overflader med og uden træer. Med træer er vist med den grønne linje og uden træer er den blå. Målinger stammer fra den samme undersøgelse i Freiburg, Schweiz med den følte varme som vi har set tidligere i opgaven. Temperaturen er målt samme dag for alle flader. Grafen viser med tydelighed forskellen i mikroklimaet i byen med og uden træer. **Figur 26**

Evapotranspiration

"Pr. døgn kan den ikke overstige 5 liter vand pr. m². Ud fra dette tal kan man beregne det maksimale tab af vand pr. døgn, når man kender arealet af planternes drypzoner. Bladenes areal er nemlig i gennemsnit 4-5 gange så stort som dette areal."

Figur 27

Perception

"Trees can intercept between 7 percent and 22 percent of storm water runoff from impermeable surfaces "

Figur 28

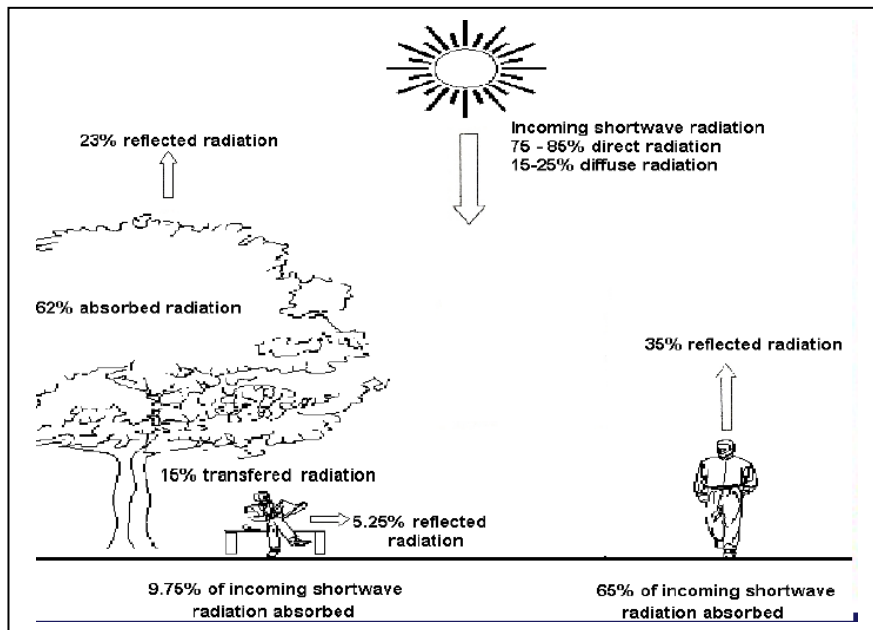
Transpiration

"Gennem en vækstsæson kan et blad på denne måde udånde mange gange sin egen vægt. For et eksempel kan et stort egetræ afgive 151.000 liter vand pr. år."

Figur 29

meteorological variable September 6-10 2009	Beer Sheva sites, Israel			Freiburg sites, Germany		
	KKL_N Green street	Stern_N Bare street	Station above roof level	Albertstr Green section	Albertstr Bare section	Station above roof level
Max air temperature Ta (°C)	31.7	33.1	31.4	29.6	29.5	30.0
Min air temperature Ta (°C)	20.5	20.4	20.0	17.5	18.0	16.6
Max water vapour pressure VP (hPa)	24.7	25.6	25.2	20.7	17.2	15.8
Min water vapour pressure VP (hPa)	19.6	19.8	20.8	16.7	10.2	9.7
Max wind speed v (m s ⁻¹)	0.4	0.8	2.7	2.0	4.1	4.3
Max mean radiant temperature Tmrt (°C)	27	61	61	34	67	57
Max physiological equivalent temp PET (°C)	29	46	44	28	41	37

Her ses temperatur forskelle med træer og uden træer på forskellige overflader, den følte varme er vist på nederste kolonne og viser stor forskel fra den følte varme på gaderne med og uden træer. **Figur 30**



Vi ser her i ovenstående tegning forskellen på indstrålingen og refleksionen med træer og uden træer. **Figur 31**

Evapotranspirationsværdier

"Tree canopies can divert over 60% of the incoming radiation to evapotranspiration. Even a small (4m high) Callery pear tree - a commonly planted species in Northern Europe - can provide 6 kW of cooling, the equivalent of two small air-conditioning units." **Figur 32**

Temperatursænkning

"I Manchester har forskerne beregnet, at 10 pct. mere grønt i boligområderne kan kompensere for det meste af den stigning i temperaturen, man forventer frem til år 2080. Hvis der omvendt bliver 10 procent mindre grønt, vil temperaturen i værste fald kunne ligge 8 °C højere i bymidten end i dag." **Figur 33**

Køling

"Because of high inter- and intra-species variability, it is tempting at this initial stage to despair of ever being able to estimate the cooling effects of an individual tree without measuring them directly. Fortunately, however, one trend that has become apparent during our tests is that the trees that were healthiest and growing at the fastest rate provided the most cooling. The message is a useful one for tree professionals, as the data suggests that healthy, fast-growing trees are superior to unhealthy trees." **Figur 34**

BEREGNING AF TRÆERS VANDFORBRUG

Træers vandforbrug beregnes som beskrevet i **Randrup,(1996)** og er en mellemudregning for udregningen af størrelsen af et træs plantehul. Udregninger af det daglige vandforbrug for træer er svært at lave nøjagtigt fordi der er så utrolig mange afgørende faktorer der spiller ind, så denne metode er kun retningsgivende. Størrelsen på træet spiller en væsentlig større rolle end arten. Der er ingen tvivl om at disse værdier vil variere efter træart, lokalitet, luftfugtighed, vind og temperatur på det givne sted træet skal stå og skal bruges som vejledende værktøj. Vandforbruget findes tilnærmelsesvist ved hjælp af denne ligning.

KP x BAI x ER x TK = vandforbrug målt i liter/dag

KP= Kroneprojektion som er det samme som arealet under træets dryplinje. Arealet beregnes som en cirkel. Antager man at træet har en drypzone på **10 m i diameter** er: **KP = 3,17 x 5 (radius)^2 = 79,25 m²**

BAI= Blad Areal Index er forholdet mellem bladareal og grundareal det vil sige : Bladareal/KP (grundareal) I Danmark er denne værdi sat til **4** og er svært at måle individuelt fra træ til træ, heri ligger der naturligvis en vis usikkerhedsfaktor. Et solitært træ vil dog kunne udvikles sig frit og skabe en stor krone og derfor kan BAI justeres efter om træet har kunnet udvikle kronen eller ej.

ER = Evaporations Raten eller fordampningsraten bliver regnet ud af DCA - Nationalt Center For Fødevarer og Jordbrug, som overtog det fra Statens Planteavlsvforsøg, som nævnes i vidensbladet. I vidensbladet benyttes landsgennemsnittet for Juni måned, denne vil ændre sig i fremtiden eftersom den baseres på nedbør og fordampningsraten det pågældende år. Eksempelvist benyttes værdien 101 mm. Den gennemsnitlige daglige fordampningsrate er dermed 101:30 = **3,37 mm**, eller 0,00337 m³/m² vand fordampet pr. dag. ER = 0,00337 m

TK= Transpirations konstanten er fundet via forsøg, men den indebærer også en usikkerhedsgrad eftersom et træ kan justere sin transpiration alt efter forholdene. Forsøgene er kommet frem til værdien 25%=0,25

Dermed udregnes det gennemsnitlige vandforbruget for et træ med en kroneprojektion på 10m :

79,25m² x 4 x 3,37mm x 0,25 = 227,07 liter /dag for Juni måned i 1996, Juni er den måned der er højst fordampning på året.

Denne udregningsmetode skal, som sagt, kun bruges som tommelfinger regel, men er en udmærket rettesnor for en ellers temmelig svær beregning. Den kan også benyttes til at udtænke tømningssraten for et plantehul med et træ via vandoptagelse og oveni skal beregnes evapotranspirationen, interceptionen for arealet.

MERVÆRDI

Fornuften og værdien ved at benytte træer til klimatilpasning, udmynter sig specielt i at træerne er multifunktionelle. Når vi anlægger klimatilpasningsanlæg af den ene eller anden slags, følger der et hav af goder med i købet udover køling og vandhåndtering. Ved klimatilpasning i Danmark er diskursen at der skal være findes nogen afledte værdier ved tilpasningen, disse værdier omtales som merværdier. Træernes merværdier er mange og forskellige, nogen af dem relaterer sig til sundhed, natur, og økonomi.

Grønne infrastrukturelle værdier

- **Reducerer luft forurening i byerne** - Klimaforandringerne og stigende temperaturer vil medføre større gener af luftforureningen. **Tyrväinen et al. (2005)**. Træer renses luften for luftbårne forureningspartikler, som ozon, kvælstofoxider, svovloxider, carbonmonoxid, og mindre partikler, There is up to a 60% reduction in street level particulates with trees. **Coder,(1996)**.
- **Reducerer støjgener** - Træer absorberer højfrekvens lyde, som er mest stressende for mennesker, **Alliance for Community Trees,(2011)**
- **Reducerer CO2**- Et træ der skygger dit hus i byen, sparer flere fossile brændstoffer og ophober mere CO2 end 15 skovtræer gør i følge, **National Arbor Day Foundation**
- **Reducerer energiforbrug** - Urbane træer kan stå for hele 25 % reduktion i netto forbruget af varme og køling af byggeri i byer. **Akbari,(2002)**

Økonomiske værdier

- **Øger ejendomsværdier** - med op til 5-15 % øgning, Benefits of Urban Trees, Kommerciel udlejning af bygninger i urbane landskaber med træer kan få 7% højere lejeindtægt, **Georgia Urban Forestry Publication**
- **Øger kommerciel aktivitet** - Shoppere er villige til at betale 11% mere for varer købt i gader med træer, kvaliteten af de varer de købte blev opfattet som bedre i de gader med træer end dem

uden, og de bliver længere der hvor der butikker med træer omkring, **Georgia Urban Forestry Publication**

Menneskelige værdier

- **Reducerer sundhedsudgifter-** og øger folkesundheden, og giver socioøkonomisk fordele. Mennesker trives bedre med grønt om sig og heler bedre efter sygdom. **Konijnendijk et al.**(2005)
- **Reducerer kriminalitet** - Lejlighedskomplekser med høj andel af grønt og træer har 52 % færre indbrud. **Kuo et al.**(2001)
- **Sundhed** - Et studie har vist at arbejdere, der ikke havde udsigt til grønt (træer) havde 23 % færre sygedage. **Kaplan**,(1989).
Børn der er i kontakt med grønt (træer) får mindre stress, **Wells et al.** (2003)
- **Rekreative muligheder-** I romantikken blev mennesket rigtig bevidst om hvilken værdi de grønne omgivelser har. Samtidig med byernes udvikling kom behovet for at kunne omgive sig med noget natur hvor det var muligt at udfolde alskens aktiviteter, det behov har vi stadig og det giver de urbane træer os mulighed for at opleve. **Konijnendijk et al.**(2005)

Naturværdier

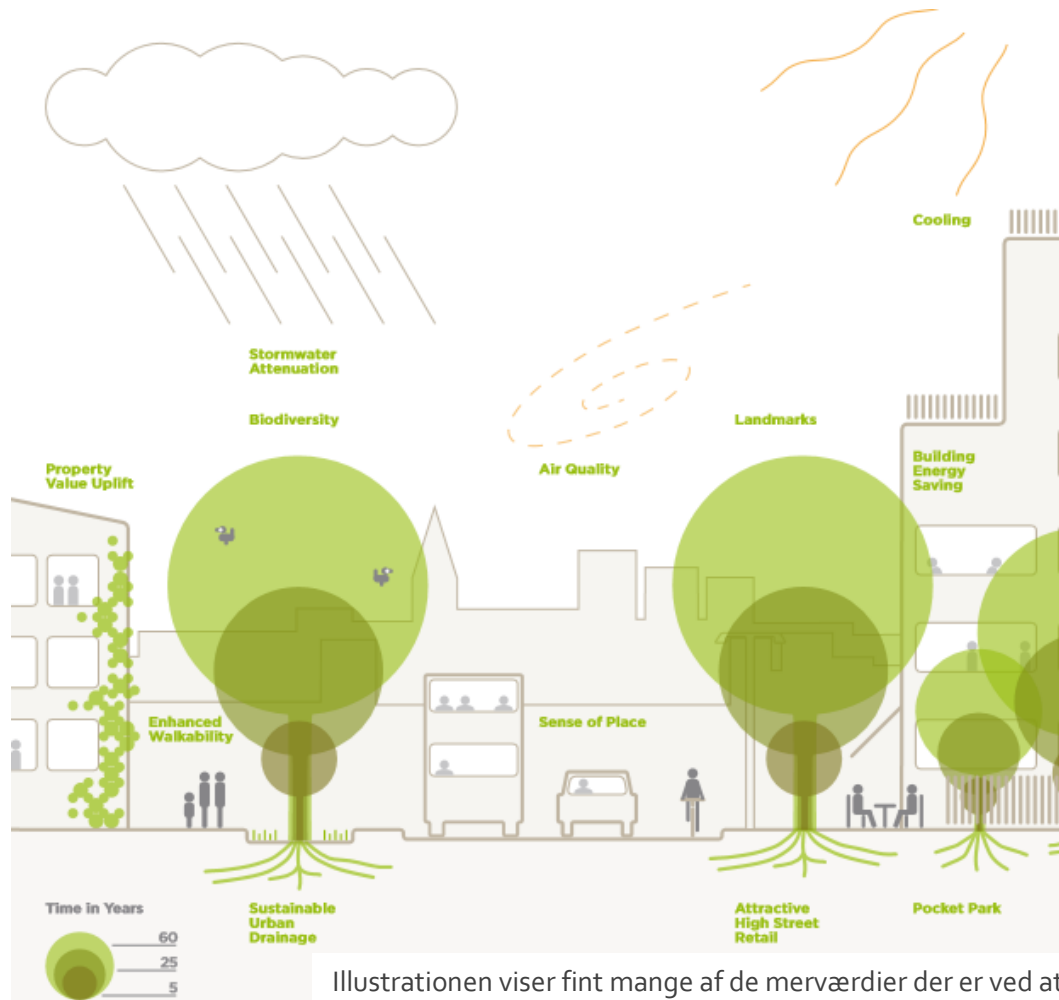
- **Biodiversitet** - Urban skov er med til at skabe og forbedre truede dyre og plante habitater, **Thaler**, (2011)
- **Korridorer** kan skabes med flere træer i byen som er vigtig for at flora og fauna kan sprede sig.

Trafikale værdier

- **Uheld** - der forekommer færre uheld på veje med træer, da træer for vejen til at virke smallere og træerne gør at chauffører slapper mere af. **ACTrees**,(2011)
- **Mindsker nedbrydning af asfalt** - Skygge fra træer har vist sig at have positiv indflydelse så skader på asfalt i form af sprækker, krakeleringer og sporkøringer, **Mcperson et al.**(2005)

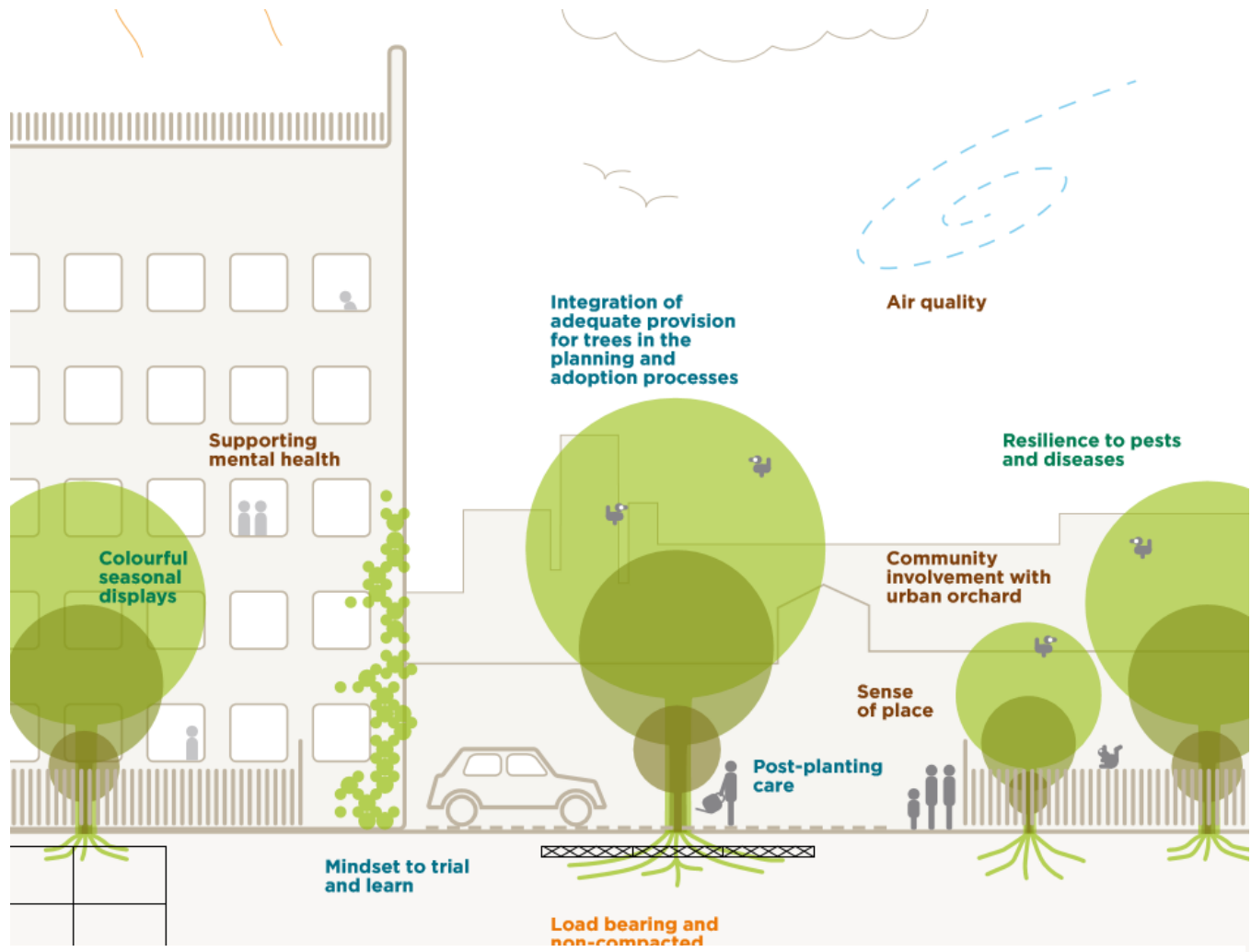
- **Formindsker reparations udgifter** - Vejtræer er skyld i besparelser på op til 60% af vedligehold af asfalt, Mcpherson et al.(2005)

Som overskriften på rapporten indikerer er træer multifunktionelle især hvad angår merværdier, det vil være umuligt at skulle nævne dem alle her. De nævnte giver et billede af hvor alsidige og diverse egenskaberne er.



Illustrationen viser fint mange af de merværdier der er ved at integrere træer i byer

Figur 35



Figur 36

PRINCIPPER OG METODER FOR TEKNISK KLIMATILPASNING MED TRÆER

Hvordan kan vi sikre, at vi får de ønskede virkninger, som ligger bag ideen med at klimatilpasse byens mest befæstede og bebyggede kvadratkilometre, ud fra de perspektiver og med den viden der er fundet frem til i arbejdet med rapporten. Efter mange overvejelser om at skabe de rette forhold og udforme en grøn teknologi med træer, er jeg kommet frem til et system der er anvendt i over 10 år i Sverige. Principperne derfra kan dække de problematikker der findes og som skal løses. Björn Embrén, træforvalter i Stockholm by, har udviklet systemet, udløst af en bekymring for bytræers vitalitet og ikke for at klimatilpasse, men han har også forstået den afledte effekt i forhold til klimatilpasning og set potentialet deri.

Stockholm metoden

Det er gennem rapporten blevet beskrevet, at træer skal have et vist minimum af vækstvolumen for at kunne gro tilfredsstillende. Videnskaben har dog ikke kunnet give et præcist svar herpå. *"Vi indførte i år 2004 en anlægsstandard for gadetræer, som kræver enten 10m² åben jordoverflade (et åbent muldbed) eller 2,5 m² åben jordoverflade med muld i et 15 m² rodvenligt bærelag". Juul et al, (2013).* Er det virkelig nok? Nej det tager ikke højde for at træet med tiden bliver større og derfor stiller krav til endnu mere volumen. Der avles forstørrede bonsai på denne måde. Måske er det medvirkende til den lave alder der er for nyplantede bytræer. Stockholm systemet er et system, hvor der ikke går på kompromis med volumet for træbede. Tværtimod søger det at udnytte det potentiale, der findes skjult under vores gader og flader i byen i sam-hørighed med den underjordiske infrastruktur. Grundlæggende går systemet ud på at skabe så stort et volumen for træernes rødder og at skabe så gode vækstvilkår som muligt. Anlægget eller bedet bygges op af makadam, også kaldet skeletjord blandet med forskellige typer for vækst-medier og i en specifik lagdeling. Nogle gange udelades al vækstmedie og træerne plantes i ren skeletjord, andre gange med rigtig godt resultat er biokul anvendt. Makadam har visse ligheder med en gammeldags stenfaskine til nedsivning og forsinkelse af vand. De to funktioner, plantehul og vandforsinkelse er en interessant kombination, når der arbejdes med klimatilpasning og træer. Vandhåndtering og trivsel kobles og skaber vandvolumen til regnvand, og til træers vækst med

Makadam



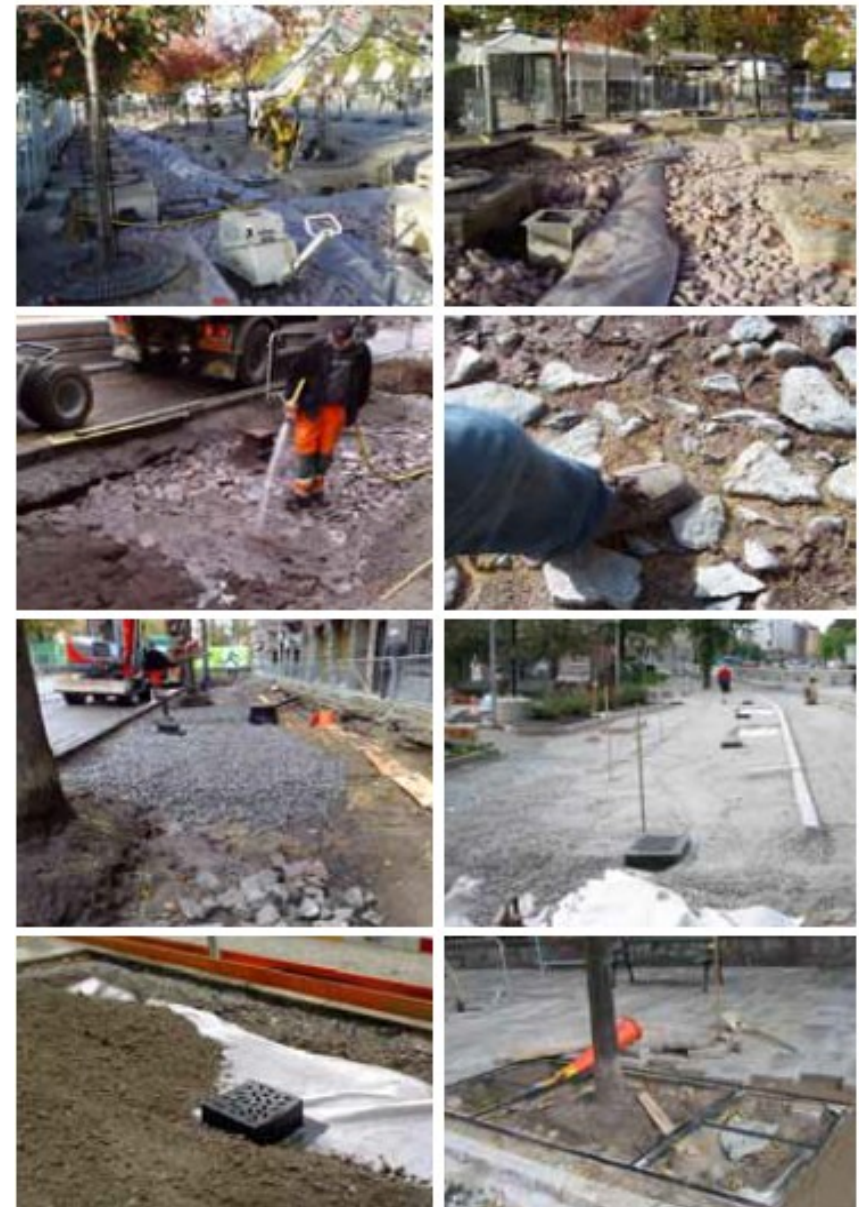
Oprindeligt var makadam en teknik der blev benyttet langt tilbage i historien, til at opbygge stabile vej-kasser. Der bruges store helst skarpe sten der kan låse sig og pakke sig ved komprimering, som billedet herover viser. Det kunne være interessant om man i fremtiden kan få godkendt denne gamle teknik til vejopbygning i Danmark, som det er blevet af de Svenske vejmyndigheder

Figur 37

stor fordampningsevne og køling til følge. Der skabes plads til vand og rødder i uudnyttet plads under jorden, og det sikres at jorden ikke komprimeres omkring træerne i de dobbeltfungerende løsninger, samtidig med at der skabes nødvendig ilt og luft i anlægget. Afsnittet her vil forklare systemet, samt give 2 eksempler på hvor et anlæg kan laves. Biokul er et udtryk for kul der har en speciel anvendelse, såsom jordforbedring. I Stockholm producerer de selv biokul fra haveaffald og det er derfor et bæredygtigt materiale. I stedet for sten fra klipper kan beton genbruges fra byggebranchen.

Fakta og egne ideer til integrering i byens infrastruktur

- Består som hovedregel af to komponenter 1) knust sten eller beton affald til strukturskelettet 2) og jord eller biokul
- 30 % porevolumen til luft, vand og næringssubstrat
- Homogent knust sten (100-150mm)
- Skeletopbygningen lægges i 2 -3 lag af 30-40 mm dyb homogen struktur jord, iblandet jord udgør maksimalt 25-30%. Hvert lag anlægges for sig.
- Kun 2% humus i det sidste øverste lag strukturjord
- Lerindhold i jorden holdes under 8% vægtforhold.
- Skeletjord til træer i omgivelser med asfalt er en sikring af at trærødderne ikke skader overfladiske installationer, men også de underjordiske rør og ledninger. Rødderne bliver hvor de skal fordi de har gode forhold der. De behøver så at sige ikke at anstrenge sig for at søge længere ud i periferien efter næring eller vand.
- Strukturjorden eller skeletjorden kan forme en forbindelse til tilstødende grønne områder hvor rødderne kan udfolde sig og skabe yderligere grobund for vitalitet.
- Regnvand er en ressource og udnyttes lokalt hvor det falder til vanding af træer plantehuller. Det kommer fra tage, fortove, veje, p-pladser og andre urbane flac



Stockholm metoden vist skridt for skridt; pakning af sten, spuling af jord eller biokul ned i stenskelettet og de forskellige anlæggelser af de forskellige lag fra øverst til nederst

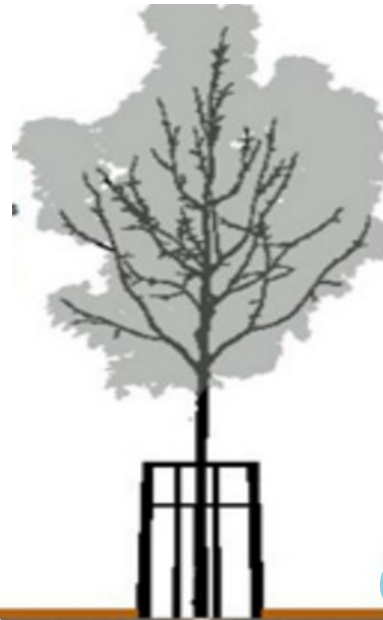
Figur 38

- Vandet forsinkes i træhullet og afhjælper dermed de pressede kloakker og letter mængden af regnvand der når spildevandssystemets rensningsanlæg og sparer dermed samfundet penge.
- Det er vigtigt at have en god dræning i anlægget, for at regnvandet ikke skaber anaerobe forhold i anlægget. For meget vand fylder porerne op og leder til iltmangel og rodråd. Der bør derfor være overløb til eksisterende kloak, således undgås at det til dels forurenede vejvand ikke når grundvandet, hvis der er bekymring for det. Der kan lægges en vandtæt membran i bunden hvis man vil være helt sikker.
- Salt fra vintertjenesten gør ingen skade fordi volumenerne under jorden er så store at saltkoncentrationer aldrig når problematiske værdier. I traditionelle træplante huller ved veje ødelægges jordstrukturen af salt som får jorden til at kollapse. Det undgås ved Stockholm metoden fordi koncentrationen af vækstmedie er så lille og saltkoncentrationen aldrig bliver kritisk. Når biokul anvendes undgås det helt fordi biokul er så stabil og robust.
- Stockholm metoden kan laves omkring eksisterende træer, som en reovering af plantebedet. På den måde kan nye regnvandsanlæg laves i synergi med eksisterende træer og der kan opnås stor vandtransport og køling fra begyndelsen. Træet har allerede eller når hurtigt sin funktionsdygtige alder.
- Med biokul øges porevolumen med til 40% og øger dermed vandtilbageholdelseskapaaciteten i anlægget, hvilket er yderst favorabelt i regnvandsløsninger og bevirker at træerne i længere perioder har tilgængeligt vand til trivsel og vækst.
- Kan integreres i utallige anlægsformer, alt fra langs veje, både med og uden volumen i vej kassen til vejtræer, på og under parkeringspladser, i indre private gårde i karréer i stedet for faskiner, hvor træer ikke kan indgå, i forbindelse med supercykelstier, som en form for kæmpe espalier på større husgavle i skeletjord i stedet for løsninger med faskiner.
- Et Eco Vault filter eller et Brunns filter som beskrevet af Lindfors et al.(2014) kan tilføjes anlæggene og er en supplerende måde at behandle forureningsgraden af vejvand med vejbede og træer ved veje med stor trafikbelastning. De er specielt udviklede til at håndtere PAH*, tungmetaller, SSP, suspenderede stoffer, og næringsstoffer som fosfor. Se bilag 2

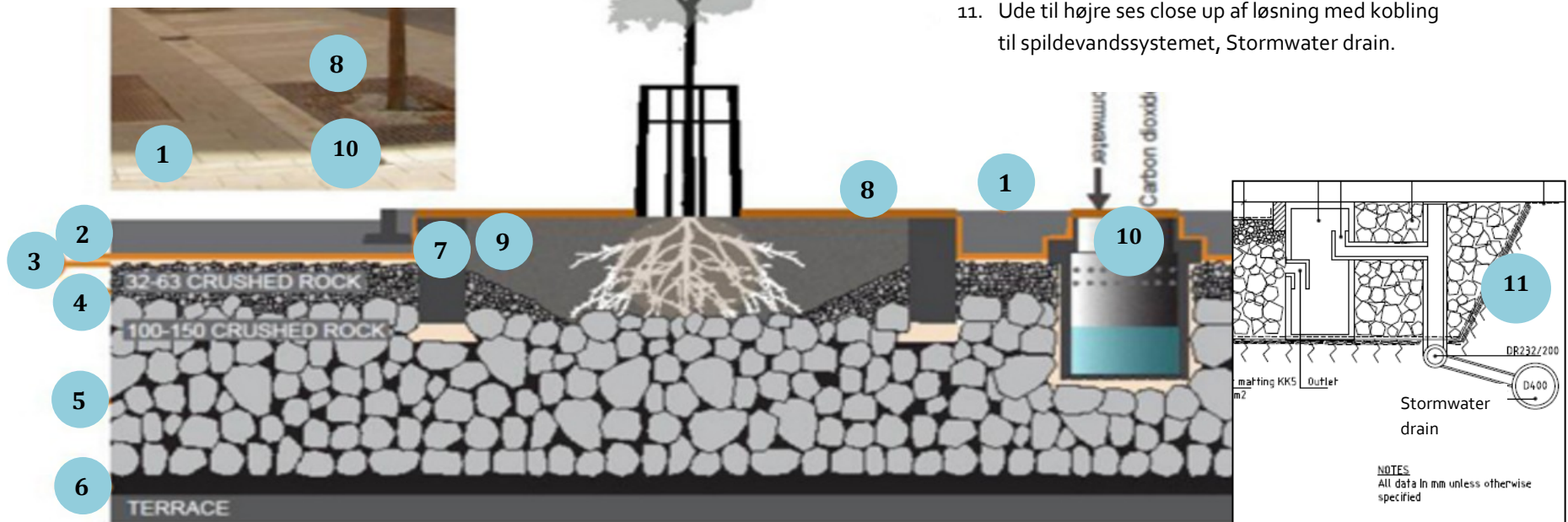
Principtegning af metoden til asfalterede urbane arealer

Strukturjord med biokul

En metode til at anlægge træer i asfalterede arealer med regnvand fra veje og andre urbane overflader, der skaber gode vækstvilkår samtidig med stor bæreevne og stabilitet. En metode der yderligere sikrer at rødder ikke skader asfalteringen og underjordiske infrastrukturelle elementer



1. Asfalteret overfalde med forsænkede regnvandsriste
2. Geotekstil
3. Afretningslag (knust sten 8-10 mm) - også brugt i betonplantekassen og vandindløb
4. Luftfyldt bærelag (knust sten 32-63 mm)
5. Skeletjord (knust sten 100-150 mm) med forgødet biokul spulet ned i skeletjorden
6. Ren biokul i bunden over råjorden til rensning
7. Betonplantekassen
8. Overflade gitter
9. Knuste sten i bed med forgødet biokul
10. Indløb til luft og vandtilførsel
11. Ude til højre ses close up af løsning med kobling til spildevandssystemet, Stormwater drain.



Figur 39

Beskrivelse af vandhåndteringen



Metoden kan som de tre billeder viser kombineres med regnvandstilførsel fra forskellige overflader i byen. Fra fortove, tagflader via nedløbsrør til træbedet og fra veje. Når anlægget er for fyldt med vand løber det resterende vand fra en regnhændelse i de traditionelle riste og videre til spildevandsanlægget. Billedet herover viser hvor meget kapacitet 600 mm strukturjord kan rumme på knap 28 min. 100 mm regn er næsten sammenligneligt med den nedbør som faldt under det store skybrud i 2011 i København. Her fik, ifølge DMI, Botanisk Have mest nedbør; 135 mm, som svarer til T100 = 100 års hændelse. Stockholm metoden er i den grad en effektiv LAR løsning som kapacitetsmæssigt kan meget mere end vi er vant til.

100 mm vand fyldt på skeletjord med en dybde på 600 mm



Hvis infiltrationslaget er fyldt løber vandet til alm. kloak



Vand fra tage og asfaltarealer føres til det luftfyldte bærelag og skeletjord

Figur 40-43

Anvendelses eksempel 1 Parkeringsplads



Figur 44

Parkeringspladser i midtbyen

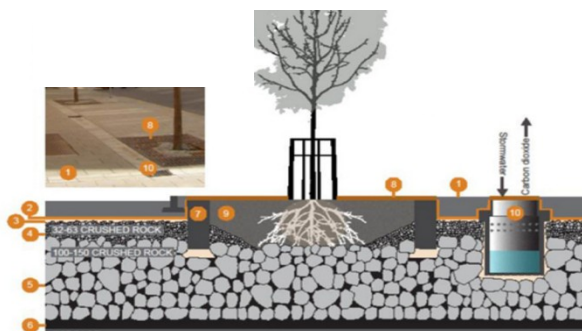
P-pladser er en af de anlægsformer der bruger rigtig meget plads i det urbane landskab, som derfor vil være rigtig oplagt at udnytte til køling og vandhåndtering med anlæg med træer. Der ligger mange kubikmeter under overfladen til vandmagasinering og træerødder. Her er der plads til at træer kan udfolde sig i deres fulde arkitektoniske og tekniske potentiale og få et stort og givtigt kroneareal. Derudover er der en vis merværdi i at biler ikke bliver overophedet mens de er parkeret, og forebygger strålingsvarme fra dem også.



Figur 45

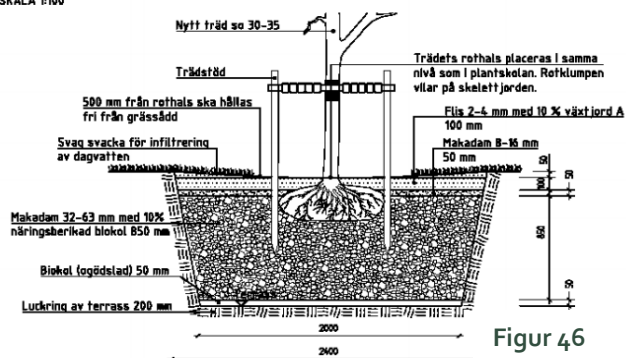
Herover ses en typiske parkeringsplads i en dansk storby. En stor pladskrævende installation, der er nødvendig i vores hverdag. Overfladen er ikke permeabel og al nedbør føres til spildevandskloakken hvad enten den er separat eller fælles med det grå spildevand. I ekstrem tilfælde belaster det kloakkerne så meget er der sker overløb fra systemet til naturlige recipienter og forurener der. Det går ikke i længden, at vi ikke udnytter infrastrukturer som denne til at kunne mere end en ting, når pladsen er så trang, som den er i store byer.

Principtegning af metoden i asfalterede urbane arealer



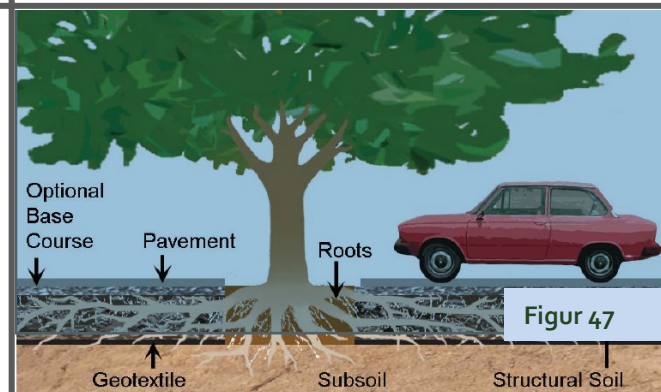
Herover vises en helt anden type parkeringsplads, der både kan rumme biler, træer, vand og rødder. Under jorden er der bygget op med skeletjord, som i Stockholm, overfladen er permeabel og tillader regnvand at sive ned i strukturen under, til glæde for træernes livsprocesser, og de merværdier der følger med i form af øget menneskelig velvære, mere natur og biodiversitet, og færre udgifter til større kloakrør og ledninger. Der er overløb til kloaksystemet, hvis hulrummene bliver for fyldte.

SKALA 1:100



Figur 46

Tegningerne til højre og venstre, viser princippet for hvordan pladsen under jorden kan udnyttes til vandmagasinering uden at drukne træerødderne og kommer fra henholdsvis Stockholm og Philadelphia. Der forekommer ikke anaerobe forhold fordi volumet når det fyldes op til et vist punkt drænes videre til rensningsanlæg via kloaknettet. Salt er ikke et problem fordi koncentrationerne formindskes i de store volumer og i nogen grad skylles videre til renseanlæg. Biokul sammen med træerne, bruges i Stockholm til filtrering af forurenset vejvand, og til næring for træerne.



Figur 47

Anvendelses eksempel 2 Green Streets



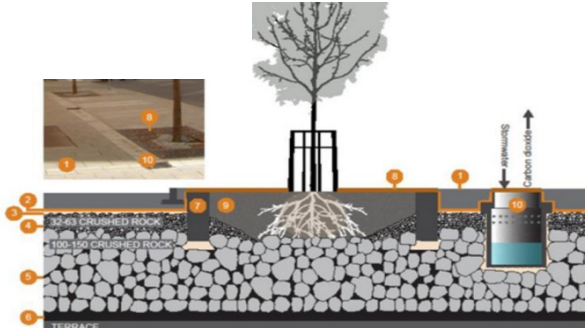
Herover ses en typisk dansk gade i en storby uden åbne permeable flader. Alt er lukket og alt vand her ledes direkte til kloakken, som ikke kan følge med presset, hverken nu eller i fremtiden hvor vi forventer 30% mere nedbør. Vi har brug for løsninger der kan gå i spænd med hinanden og kontrollere regn og temperatur samtidigt. Vi behøver ikke at være bekymret for at forurene grundvand, eller at blive ramt af salttørke. Veje udgør mellem 1/3 til 1/2 af en bys overfladeareal, og er derfor fortrinlige til anvendelse som dobbeltfunktion med Stockholm metoden.

Green Streets

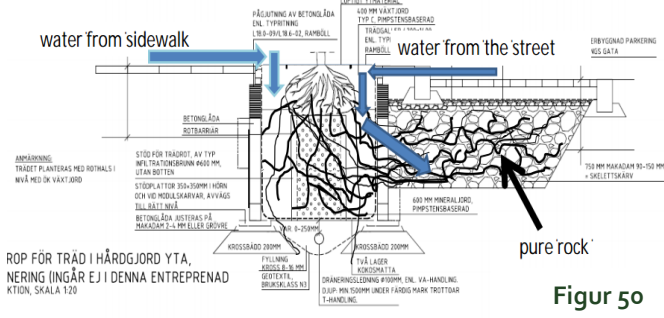
Er betegnelsen for særlige gader der er grønne og samtidig håndterer vand fra regnvand. Der er forskellige designs rundt om i verden, og de vil kunne kombineres fint med stockholm metoden. På overfladen ligner det en almindelig beplantet gade med træer. Det er under jorden, at systemet udfolder sig, med vandreservoir og tilbageholdelse af regnvand. Overskudsvand ledes til kloaksystemet, for at undgå anaerobe forhold.



Principtegning af metoden i asfalterede urbane arealer



Herover ses en illustration af hvordan den typiske gade fra billedet øverst til venstre kan komme til at se ud. Temperaturen sænkes til glæde for borgernes sundhed og velvære, og samtidig løses opgaven med at lede dagligdagsregn og skybrudsregn væk. Så meget regn som muligt får plads i vandreservoiret i forbindelse med plantehullerne, og udnyttes af træernes transpiration. Ved skybrud løber det vand der ikke kan rummes i bedene i kloakken som normalt i dag. Træer og mennesker trives, og det er det vi ønsker.



Tegningerne til højre og venstre, viser principper for kombinationer. Pladsen under jorden kan også her udnyttes til vandmagasinering og der gælder samme fakta for anaerobe forhold og salt som i eksempel 1. Biokul sammen med træerne, bruges i Stockholm til filtrering af forurenede vejvand, og til næring af træerne. Er man ekstra påpasselig og nervøs for grundvandet kan særlige træer anvendes som er kendt for at have rensende evner se eventuelt næste afsnit om trævalg. Filtre som Eco-Vault og Brunnsfiltre kan også bruges som ekstra sikring for rensning. Se bilag 1



KRITERIER FOR TRÆVALG

Det var dejligt enkelt hvis man kunne udarbejde en liste over gode træer specifikt til anvendelse i klimatilpasningsløsninger. Det har også været et stort ønske at kunne lave en, men undervejs i mine undersøgelser er det blevet mere og mere tydeligt for mig at det ikke rigtigt giver mening. Det gør det ikke, fordi de forskelle der findes på træernes forskellige fordelagtige egenskaber og funktioner tilrettet klimatilpasning med vand og køling for øje, er så små eller uvæsentlige for et ordentligt output, når det kommer til stykket. Stockholm metoden kan principielt rumme de fleste arter, da forholdene hverken er udprægede tørre eller våde. Et af Stockholm metodens styrker er netop at vækstmediet ikke er hverken eller men snarere både og, og ikke for meget af det ene eller andet. Hulrummene i macadam, vækstmediet både med og uden biochar sikrer en høj fugtigheds-konstant af tilgængeligt vand uden at drukne væksterne ifølge Bjørn Embrén. Nogle træer har et større BAI* end andre men det er der ikke forsket grundigt nok i og i følge Rahman,(2015), mangler der forskning i, og eksperimenter i træarter, størrelse og træer i forhold til de forskellige biomekaniske egenskaber der er fordelagtige. En meget interessant og signifikant forskel mellem træer findes alligevel, og den kan godt give mening at udforske mere. På flere forskellige områder skiller nåletræer sig ud, og en øget brug af nåletræer kan i den grad godt overvejes. De fordele der kan være ved at bruge nåletræer vil blive forklaret i dette afsnit.

Nåletræer

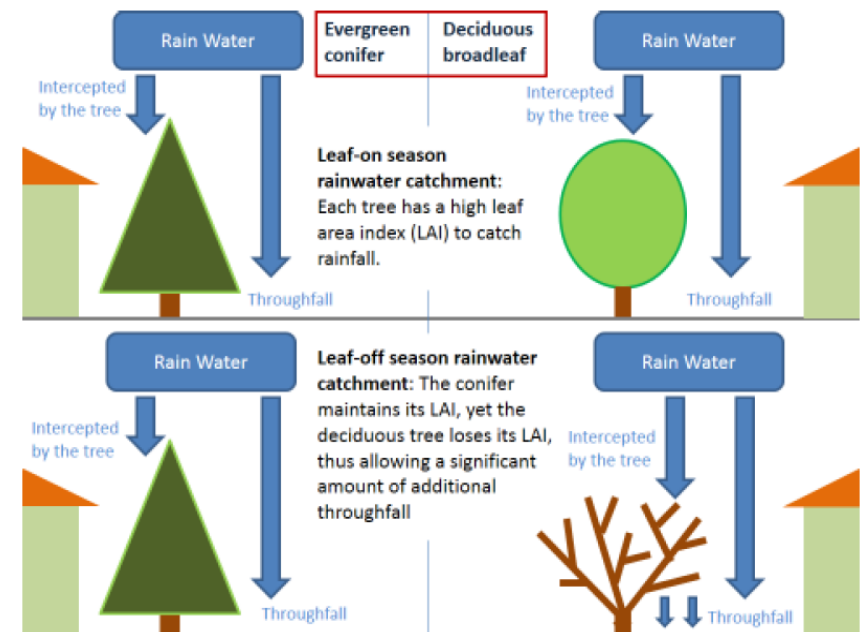
Nåletræer har en helt anderledes fænologi og morfologi end løvtræer, som med fordel kan udnyttes i arbejdet med at klimatilpasse byer mod overdreven varme og nedbør. Nåletræerne har den væsentlige forskel fra løvtræer, at de netop ikke er løvfældende. De har derfor mulighed for at drive fotosyntesen hele året

Tal for interception

Tabellen viser hvor meget løvtræer ikke interceperer af regnvand i Avg. Missed kolonnen, i Avg.Int. kolonnen vises hvor meget regn der er stoppet af trækronerne. Nåletræer vil i sagens natur have en mindre procent i Avg.Missed og større i Avg.Int. fordi de har nåle hele året.

	Annual Total	Leaf-On (Apr-Oct)	Leaf-Off (Nov-Mar)	Avg. Missed	Avg. Int.
Portland	36.94	12.46	24.48	66.27%	33.73%
Boston	41.63	23.21	18.42	44.25%	55.75%

Figur 52



Diagrammet viser at nåletræer har den fordel at de interceperer regnvand året rundt i modsætning til løvtræer.

Figur 53

igennem, og som diagrammet til højre viser, så opfanges der vand af kronen året rundt, det der tidligere er blevet omtalt som interception, fordi de beholder deres nåle og kronearkitektur vinteren igennem.

Derudover adskiller nåletræer sig, fordi deres nåle er med til at give træerne et meget større BAI*, altså bladarealindeks end løvtræer, **Gerrits,(2010)**. En buet eller rund overflade som en nål har, resulterer i et meget større overfladeareal end et fladt blad, og det resulterer i et større BAI.

Nisbet (2005) reports that studies in the UK have found that 25–45% of annual rainfall is typically taken up by Interception from conifer stands, compared with 10–25% for broadleaves (Calder *et al*, 2003). Transpiration rates, on the other hand, vary little between the two forest types, with annual losses mainly falling within a relatively narrow range of 300–350 mm (Roberts, 1983). Research in southern England, however, has found higher annual transpiration losses for broadleaves of 360–390 mm (Harding *et al*, 1992). Therefore, if both Interception and transpiration are considered together, and assuming an annual rainfall of 1000 mm, conifers could be expected to use some 550–800 mm of water compared with 400–640 mm for broadleaves. Preliminary research results from the University of Manchester indicate that trees can reduce runoff by as much as 80% compared to asphalt (Armson *et al*, 2011).

Den store overflade resulterer i et højere fotosyntesepotentiale og dermed mulighed for større vandforbrug og et større vandtab. Nåletræernes mørke farve absorberer sollyset som højner temperaturen i nålene, som derved skaber en øgning af træets metaboliske processer og vandtab igen. Den viden kan bruges når vi vælger træart, det er derfor bydende nød-vendigt hvis vi vil dimensionere præcist, at vi kender til disse tekniske data om træerne. Det er ikke ukompliceret og kræver ekspert viden om netop forskelle mellem forskellige trætyper. Et felt der med fordel kan forskes mere i. Det indebærer også, når vi klimatilpasser med grøn teknik, at de forskellige instanser udvider deres faglige kompetencer i organisationen i den retning, da det unægtelige er en anderledes form for spildevandshåndtering end traditionelt.

Typical range of annual evaporation losses (mm) for different land covers receiving 1000 mm annual rainfall

Land cover	Transpiration	Interception	Total evaporation
Conifers	300–350	250–450	550–800
Broadleaves	300–390	100–250	400–640

Figur 54

Måske det i fremtiden vil være mere almindeligt at have planteingeniører med denne specifikke viden i forskellige organisationer indenfor blandt andet klimatilpasning.

Nåletræer har ydermere generelt tilpasset sig vintertilstanden ved blandt andet at have udviklet xylemceller, som står for vandtransporten til bedre at tåle frosten. Normalt ville xylemceller sprænges af frysende vand ved frost, men de er indrettet til at kunne følge udvidelserne af vandet både fysisk og kemisk. Det er med til at opretholde et vandflux gennem organismen i vinterperioden.

WinterTrees, (2016). En særdeles værdifuld oplysning når vi vil klimatilpasse med træer, dersom vi ved at de øgede daglige mængder nedbør netop vil forekomme i efterårs og vinter måneder, og at denne egenskab bør udnyttes. Det betyder ganske enkelt at nåletræerne netop fungerer i de perioder, hvor der er mest brug for dem. Fordi nåletræer ikke er så højt repræsenteret i byen, **Juul et al. (2013)**, kan der være en ide i at benytte disse i større udstrækning. Det vil være med til at sprede artsdiversiteten i byens træmasse og gøre byen mere robust over for forskellige sygdoms-angreb og epidemier. Ifølge en amerikanske undersøgelse er det konstateret, at urbane beplantninger af nåletræer, forekommer sjældnere i forhold til løvtræer, **Clapp,(2014)**.

I det følgende kommer en liste der ikke er ment som en rettesnor, men mere som inspiration.

Mange planlæggere, arkitekter og andre i de grønne branche benytter en meget fattig palette af nåletræsarter. Listen skal opildne til at udforske og anvende flere typer af nåletræer, end vi gør i dag. Nogle af dem har visse fordele over andre og vice versa, men der er ingen tvivl om at der er fornuft i at forsøge sig frem, både hvad angår funktion, æstetik, og praktik. De ændrede klimaforhold vil også være grund til at nye arter kan vinde indpas og anvendes.

Inspirationsliste over interessante nåletræer

Abies bornmülleriana- Tyrkisk ædelgran Op til 25m højt kegleformet træ med mørke grønne nåle, frostfølsomt i forårs måneder, men eftersom forårsfrosten menes at være minimal i forhold til i det åbne land, tænkes det ikke at være et problem i by. Brugt i Danmark til juletræsproduktion og kan skaffes fra danske planteskoler.

Abies alba- Alm. ædelgran Stort træ der herhjemme kan blive over 45m højt, ingen specielle krav til vækstmediet dog ikke alt for vådt. Rumænske og Italienske provenienser trives bedst i følge skovdyrkernes hjemmeside. Specialitet tåler meget skygge, er resistent over for rodfordærver og tåler sommertørke særdeles godt.

Abies concolor- Langnålet ædelgran Stort træ der kan blive 25m højt, hurtigt voksende. Glat grå bark i voksenstadiet. Tolererer varme som ingen anden, lave fugtigheder og tørkeperioder og forurenede byluft. Bliver meget gammel.

Cryptomeria japonica - Cryptomeria Indtil 20m højt, krone smalt kegleformet. Tåler ikke streng frost, vind, leret jord eller udtørring sidst på vinteren, men ellers nøjsom og tåler luftforurening godt. Ikke hurtigt voksende. Salttolerant. Anbefales ikke til vejbed, på grund af udsynsforhold og trafikikkerhed, men til åbne urbane pladser i nærheden som lommeskov eller solitær. Kan skaffes fra danske planteskoler

Cedrus libani- Libanon ceder Ifølge Van den Berks on trees katalog den bedste Ceder til byjord. De andre cederarter tåler ikke høj pH værdi. Der findes flere varianter også søjleformede hvis det kniber med pladsen. Smukt skulpturelt træ der bliver ca. 20m højt i Danmark.

Picea omorika - Omorika gran Højt 20 m, opretvoksende smal gran, salttolerant trives fint i DK. Anbefales ikke til de fleste vejbede men enkelte steder på pladser i nærheden af trafik som lommeskov, men ikke hvor der er stort behov for udsynsforhold på grund af trafikikkerhed. Kan skaffes fra danske planteskoler

Picea pungens 'glauca' - Blågran Højt 18-20m, stift opretvoksende gran med regelmæssig, pyramidal vækst. Stålblå stikkende nåle. Anbefales ikke til de fleste vejbede men på åbne urbane pladser i nærheden som lommeskov eller solitær, men ikke hvor der er stort behov for udsynsforhold på grund af trafikikkerhed. Kan skaffes fra danske planteskoler

Boblere:

Kan være interessante på sigt, men ikke endnu, da klimaet ikke passer arterne. Klimaet i byen er mildere og derfor kan arterne med fordel anvendes tidligere end man kan forestille sig.

Abies veitchi - Veitchs ædelgran - Parktræ i Danmark sjældent højere end 20m, hurtig i ungdom.

Pinus halepensis- Aleppofyr - Salttolerant, tørketålende. Meget smuk struktur. Er ikke hårdfør i dansk almindeligt klima, måske kan den trives på meget beskyttede placeringer i byen.

Pinus pinaster- Strandfyr Salttolerant, tørketålende. Meget smuk struktur. Er ikke hårdfør i dansk almindeligt klima, måske kan den trives på meget beskyttede placeringer i byen. I sine hjemegne bliver den 40 m høj, den udvikler en meget lang bugtet nøgen stamme og kegleformet krone.

Pinus rigida- Begfyr Hjemhørende i Nordamerika, hvor den vokser på mager sandet jord og i klippeterræn. Ca. 25 m høj, findes i nordeuropa som forsøg også i Danmark. Salttolerant.

Pinus peuce - Silke-fyr 20m højt herhjemme. Hårdfør og stiller ikke store krav til hverken jordbund eller klimatiske forhold. Mere modstandsdygtig overfor blæserust.

Pinus banksiana 'Lambert' - Banks fyr Medium størrelse træ 15 m, kronen er tynd og uregelmæssig med nedadhængende grene. Nøjsomt og robust, men der er ikke egentlige erfaringer med dem i byer.

Psuedotsuga menziesii - Douglasgran Hurtigt voksende og kan blive op til 35 m i Danmark. Bløde nåle og i ungdomsfasen er kronen kegleformet, senere bliver den mere uregelmæssig.

Tsuga heterophylla - Skarntydegran Bløde nåle 25-30 m højt under danske forhold, regelmæssigt kegleformet, toppen ender i en tynd spiral. Andre varianter for Tsuga kan med held afprøves, det anbefales ikke til vejtræ på grund af sin tætte form.

Picea glauca- Hvidgran Langsomt voksende og forholdsvist lille træ bliver ca.10 m højt. Kegleformet, opadrettede grene, der nederst bortvisner med alderen. Tåler salt og er generelt meget robust, men ynder og trives rigtigt godt i lys.

Pinus densiflora ´umbraculifea´ - Japansk rød fyr Langsomtvoksende, paraplyformet top 2-4m højt, meget dekorativt og strukturelt træ. Duer ikke til vejbed ved smalle veje, kan anvendes i gårde og på pladser, fordel bliver ikke så høj og generer ikke med skygge for lejligheder.Sol til halvskygge, tåler vind og salt. Kan skaffes fra danske planteskoler

Pinus mugo var. rostrata (uncinata) - Fransk bjergfyr 12-15m højt, for det meste enstammet Bjergfyr med mørkegrønne nåle. Særdeles hårdfør over for saltgrus og snetryk, meget nøjsom, kan klare sig under de fleste vækstforhold. Kan skaffes fra danske planteskoler

Pinus nigra var. austriaca - Østrigsk fyr 15-20 m kegleformet ungdomsvækst senere strukturel bred top. Brede anvendelses muligheder. Salttolerant. Kan blive 150 år eller mere i Danmark.

Pinus sylvestris 'Fastigiata' - Søjle Skovfyr Alternativ til alm. Skovfyr, 15m høj, opretvoksende med kraftig åben vækst. Salttolerant. Kan blive meget gammelt under gode vilkår 150 -300 år. Da den nederste del af træet med tiden bliver fri for grene er det et godt bud på et alternativ til løvtræer ved veje.

Pinus cembra- Cembrafyr Medium størrelse træ 15 som vokser langsomt , men til gengæld kan det blive meget gammelt. Trives godt i byklima, i al slags veldrænet jord.

Pinus contorta- Klitfyr Anses for en problemart da den er invasiv i klitter og på hedesletter. Jeg mener ikke der er et problem i at benytte i bykerner, men det er kontroversielt. Træet er dog særdeles egnet som bytræ og vejtræ. Kan nemt opstammes og middelstort ca.20m højt. Salttolerant.

Pinus ponderosa- Gul fyr Stort majestætisk træ der kan blive 15-20m højt her i landet, grov furet og skællende bark.

Pinus peuce - Silke-fyr 25-30 m herhjemme. Kronen er smal og kegleformet og bliver hurtig åben forneden. Stive oprette grene med mørkegrønne nåle.

Thuja plicata - Kæmpe thuja Smalt vertikalt træ der bliver konisk senere. Bliver ca. 20 m højt og 4-5 m glimrende træ til klimatilpasning med stor interference og vandoptagelsesevne.

Løvtræer med specielle egenskaber

Pil og **Poppel** arterne bruges ofte ikke i byer og er i visse kredse bandlyst på grund af at, de kan danne rods kud. Det er ærgerligt da de ellers trives rigtig fint i byen. Arterne er interessante fordi det netop er dem der er fundet bedst til phytoremediation. De vil være gode at bruge i anlæg der kan tænkes at blive infiltreret med vejvand og lignende.

Dix et al.(1997)

KONKLUSION

Når der hersker forholdsvis store usikkerheder om fremtidens klima, er det godt at løse dem med træer, som er multifunktionelle og derfor automatisk løser flere problematikker på en gang. Det giver rigtig god mening at klimatilpasse med træer, både hvad angår vandhåndtering af forskellig slags, og regulering af temperaturen i byen. De multifunktionaliteter, som træerne indiskutabelt har, sikrer, gavner og styrker vores byer på alle de parametre, der er blevet behandlet i opgaven og indeholder et utal af merværdier fra folkesundhed til større biodiversitet.

Træernes fænologi og fysiologi er beskrevet og relateret til klimatilpasning, sammenholdt med viden om planters transpiration, SPAC* og evapotranspirationen, kan både køling og vandhåndtering kobles til de funktioner træer har.

Det kan konkluderes at træer er anvendelige som et teknisk instrument til at klimatilpasse danske storbykerner, både for at imødegå Urban Heat Island fænomenet, og til LAR i danske bykerner. Der findes mange udfordringer for træer og for klimatilpasning med træer i byens unaturlige miljø, men de er ikke uoverkommelige. Det viser sig at Stockholm systemet kan løse de fleste af de udfordringer og kan anvendes med justeringer således at de anlægges med udgangspunkt i klima-tilpasning. Metoden sikrer trævitalitet, udviklingen af gamle træer, et anvendeligt volumen til for-sinkelse og anvendelse af regn og vejvand der falder i byen, en aflastning af de belastede spildevandssystemer, rensning af forurenede vejvande med biokul. Der findes meget materiale fra studier og udenlandsk praksis, der hjælper med at tydeliggøre potentialet med træer og klimatilpasning, blandt andet hvad angår kronedække, UHI regulering og træers vandforbrug. Det kan give mening at se på enkelte trætyper, nål eller løvtræer, når der skal vælges træer til Stockholm metoden, men det allervigtigste i klimatilpasning med træer er sikringen af at træer kan udføre deres funktioner optimalt og at de kan blive gamle og store. Systemet fra Stockholm er en god løsning for pladsproblematikken i byens kerner, fordi det bliver muligt at lave anlæg i forbindelse med andre infrastrukturer, såsom parkeringspladser og vejbede langs veje, hvor det ikke før har været muligt på grund af salt og andre udfordringer. Sammenlignet med andre LAR anlæg vi kender kan et LAR anlæg med skeletjord, biokul, og træer håndtere mere vand på mindre plads, hvilket er særdeles smart i byen hvor der er rift om pladsen.

DISKUSSION

Metoden i opgaven har været formålstjenlig om end tidskrævende. Det har været godt at kombinere litteratur, med diskussioner med forskellige fagligheder på forskellige fora, personlige møder, samtaler på telefon eller mail. Det har givet en sikkerhed hele tiden at understøtte litteraturens validitet med kommentarer fra fagfolk. Ligeså med de ideer og tanker jeg har gjort mig, når teori og litteratur har ledt mig på sporet af løsninger eller har skabt en nysgerrighed for et eller andet problem. Kombinationen af mine praktiske erfaringer og observationer under studiet og praktikker har dannet et godt udgangspunkt for stillingtagen til valid data. Opbygningen af opgaven har hjulpet med at holde fokus på retningen fra starten af. Der har været overvejelser undervejs over opdelingen mellem vand og temperatur, men jeg har vurderet at hvis den har hjulpet mig, må den også give mening og give overskuelighed for læserne.

Når man ser på regnbede, vejbede og generelt LAR, der er lavet i Danmark indtil videre, ligger der en fast linje som der ikke afviges fra i særlig grad. De resultater der er kommet ud af opgaven, udvider rammerne for at lave regnvandshåndtering i danske storbyer. Når det drejer sig om at temperaturregulere byer, så befinder vi os på ukendt territorium og har ikke noget dansk at sammenligne med. Det er er dog muligt at finde brugbare udenlandske referencer at læne sig op ad.

Det er en styrke at den løsning der er fundet er baseret på mange års forsøg i Stockholm. Hvis man læser det materiale, der findes om metoden, erfares det, at de har eksperimenteret meget og målrettet. Det giver validitet. Det har været et stort ønske at besøge Stockholm og Björn Embrèn, for at opleve og se deres resultater, men det blev desværre ikke muligt. Det har været en udfordring at sortere og forholde sig kritisk til de kilder og den litteratur, der er fundet, men har været en læreproces. Det har krævet øvelse at finde virkelig brugbart materiale og det har været meget givende at læse rapporter og planer fra udlandet. De kilder har været medvirkende til at finde rigtig relevant teori og til at lære at tolke materialet. Det vurderes derfor, at troværdigheden af informationer og data for konklusionen ligger højt. Det har været svært ikke at inddrage drift, og økonomi i opgaven. Der ligger ellers megen god argumentation i de to parametre, som så ikke har kunnet forklares. Det har været givtigt og meningsfyldt kun at arbejde med de mest udfordrede arealer for klimatilpasning i følge afgrænsingen. Forfatteren har hele tiden holdt sig for øje ikke at lade sin begejstring for træer og anvendelsen deraf farve beslutninger og vurderinger.

PERSPEKTIVERING

Der ligger et stort formidlingsarbejde og en god portion argumentation hos de rette instanser for at udbrede mulighederne i at benytte træer til klimatilpasning. Det er lidt revolutionerende og kræver mod hos myndigheder og planlæggere at kaste sig over nyt. Opgaven her bør kunne hjælpe med til det, men der kræves en målrettet indsats, tests og afprøvninger er afgørende for at komme videre. Når Københavns kommune sammen med HOFOR, de næste år skal lave 3-400 klimatilpasningsprojekter for et samlet beløb der andrager omkring 400 mio. kroner **Dagens Byggeri**,(2016), kan man håbe at myndigheder og planlæggere ser fordelene ved Stockholms metoden og anvender den. Hvis ikke får vi en masse pladskrævende LAR installationer, der ikke samtidig håndterer varme. Fremtiden bringer mange ændringer med sig som vi har svært ved at forestille os, men nogle af dem ligger og bobler og kan give et glimt af de forhold, der kunne blive virkelige. Om få år vil bilparken være domineret af elbiler der forurener mindre. Flere og flere byer er begyndt at planlægge bilfri bydele. Det vil skabe mere rum til at klimatilpasse med træer, til Green Streets og til at lave volumen til vand i de gamle vejarealer som de gør i Stockholm. **DR.dk**, (2015)

Mon Vejdirektoratet kunne godkende Stockholm systemet til opbygning af vejopbygning? Hvis det blev tilfældet, hvad der ikke burde være noget til hinder for, ligger der uanede volumener til vand og klimatilpasning med træer. Træernes rødder vil få frit spil, hvor vi vil have dem, og de ville få adgang til masser af vand der kan samles i porevolumet, og sikre overlevelse af træer i et omfang vi ikke er vant til i dag. Vores byer ville kunne udvikle sig i den rigtige retning for mennesker, dyr og for klimatilpasning også i forhold til CO2 balancen. Et træ i byen er mere værd en et på landet i den henseende. **Every tree counts**, (ingen årstal)

Borgerne skal informeres om vigtigheden af træer, således der kan opstå en respekt og forståelse af hvor afhængige vi er af deres ressourcer i urbane omgivelser. En stor del af byens arealer er private og derfor skal de private lodsejere inspireres og ansføres til anvendelsen af træer til LAR og UHI regulering ligesom det offentlige. Vi må udover den holdning der hersker i Danmark om at træer skygger, er irriterende besværlige elementer. Red byens træer er måske en bevægelse der kan udnyttes til den opgave, der ligger foran os?

ORDFORKLARING

Albedo - Omhandler hvordan et objekt reflekterer sollys. Fra latin og betyder hvid. Skalaen går fra 0-1. 0=mørke og 1=lys.

BAI og LAI - Henholdsvis dansk og engelsk udtryk for det samme begreb. Blad Areal Index og Leaf Area Index

Evapotranspiration - Udtryk for den samlede fordampning fra omgivelserne jord, planter og vand

Fotosyntesen - omdanner lys energi og kuldioxid til kemisk energi , klorofylet eller grønkornene i planternes blade er hovedårsagen for at fotosyntesen kan ske.

Funktionsstadie - refererer til træets tid hvor det er har nået sit fulde potentiale i størrelse og form. Ligger mellem udviklingsstadiet og forfaldstadiet.

Fysiologisk tørke - En tilstand der opstår, når vi salter vores veje om vinteren, for planterne i nærheden af veje. Vand søger mod saltholdige miljøer, det betyder for planter der er udsat for vintersalt, at saltkoncentrationen om sommeren hvor jorden udtørres stiger kraftigt, at vand fra planten trækkes ud i den omgivende jord. Denne tilstand kan være så alvorlig at væksterne dør. Den tidligere omtalte Soil Plant Air Conductancy balance ødelægges og udtørre træet.

Grøn infrastruktur - Udtryk for netværket af naturlige elementer der tilpasser byen til klimaforandringerne. Grøn skal forstås bogstaveligt som grønne vækster og dermed også træer.

INDC- står for "Intended Nationally Determined Contributions" eller på dansk de tilsigtede mål.

Interception- Udtryk for den funktion trækronen udfører ved at tilbageholde og forsinke regnvand når den falder på træet.

IPCC -Står for the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC's informerer om det videnskabeligt syn på aktuel viden om klimaændringer og deres potentielle konsekvenser for miljø og samfundsøkonomi.

LAR - Lokal Afledning af Regnvand, LUR er også ved at vinde indpas fordi det dækker over at regnvandet skal udnyttes og ikke blot afledes.

Latent varme - Den varme der er bundet af en proces. Således at varmen fra solen omdannes af blade og vækster til anden energi eller fugtighed. Det er en faseændring som også sker når vand bliver til is, is smelter og blive til vand. Træernes fordampning er en latent varme.

PAH'er - Forkortelse for polyaromatiske hydrocarboner, som er en fælles betegnelse for aromatiske forbindelser, de mest kendte er Naftalen, Antracen og Fluanthen, og er forurenende stoffer.

Phytoremediation - Betegnelsen for at oprense forurenede jord ved hjælp af planter.

Risikotræer - Træer der er til fare for de menneskelige omgivelser, som regel på grund af dårlig anlæggelse eller forskelligt arbejde omkring rodzonen, eller forkert beskæring. Det kan også være på grund af driften af træet i forhold til for eksempel græsklipning tæt på stammen der forårsager åbne sår og dermed giver indgange til svampe. Påkørsler er årsag til samme skader som driften kan pådrage træet.

Sekundær grundvand - Er det højest liggende flukturende grundvand, ikke det der indvindes drikkevand fra som er det primære grundvandsspejl

SPAC - Soil Plant Air Continium eller Jord Plante Luft Kontinuum, balancen og fordelingen af komponenterne i forhold til fysiske og kemiske kræfter i og omkring planten/træet.

Super plantekumme - Udtryk for en plantekumme til træer der bør have volumen nok til et træs vækst, men det er en standard der faktisk ikke tager højde for træers egentlige potentielle størrelser

T10,T50,T100 - Er udtryk for regnhændelser. T10 er en hændelse der hænder hvert 10 år statistisk og fremdeles.

Urban Heat Island - Betegnelse for den overophedning der forekommer i byer, fordi varmen ikke så let kan slippe de bundne overflader fra befæstelser og byggeri.

Økosystem services - Er udtryk for de goder der erhverves gennem den grønne infrastruktur.

KILDER

Samtaler

Oliver Bühler - underviser på Have og Parkingeniørstudiet i Planter og byens klima

Simon Toft Ingvertsen - Cand scient miljøkemi Ph.d i kvalitet og rensning af regnvand

Korrespondance

Björn Embrèn, Tree Officer, Street Department, Stockholm, Sweden

Online dialog

Lenn Phillips tidligere Tree Warden & Planning Board Administrator i Boxford Massachusetts,

Internet

Dagens Byggeri, (2016), <http://www.dagensbyggeri.dk/artikel/89345-skybrudsprojekter-for-naesten-400-mio.-kr.-besluttet> (hentet 13 juni 14:20)

DR.dk, (2015), <https://www.dr.dk/nyheder/udland/oslos-nye-groenne-byraad-lover-bilfri-inden-2019> (hentet 13 juni 2016 14:30)

Fazio How trees can retain stormwater runoff , Tree City USA, Bulletin no.55 (hentet 15 April 2016 12:15)

HOFOR (2016), <http://www.HOFOR.dk/pressemeddelelser>, (hentet 25 Maj 2016 15:50)

<http://www.deeprooot.com/blog/blog-entries/how-trees-and-soil-improve-water-quality>, (hentet 19 April 2016 15:25)

<http://www.scientificamerican.com/article/have-we-passed-the-point-of-no-return-on-climate-change/>- Kapitel - Klimaforandringernes betydning for Danmark (hentet 26 Maj 2016 13:15)

http://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2015/10/COP21_FAQ_Danish.pdf (hentet 01 juni 2016 10:30)

<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8k.html>, (hentet 01 juni 2016 17:20)

<https://www.aarhus.dk/da/borger/natur-og-miljoe/Vand/Spildevand/Afledning-af-regnvand/LAR-metodekatalog.aspx> (hentet 09 juni 2016 09:15)

Politikken,(2015), <http://politiken.dk/indland/ECE2537553/koebenhavnerne-maa-undvaere-80000-nye-traeer/> (hentet 7 Februar 2016 14:55)

Winter Trees,(2016), <http://mff.dsisd.net/Environment/WinterTrees.htm> (hentet 15 maj 2016 11:50)

www.skovdyrkerne.dk

www.Klimatilpasning.dk

www.Teknologisk.dk

Andre artikler

Ennos,2015, Can trees really cool our cities down, The Conversation, University of Hull

Ennos,(ukendt årstal), PP How usefull are urban trees. The lessons of Manchester, research project

Embrén, (2016), Planting Urban Trees with Biochar, the Biochar Journal

Gravearbejde ødelægger bytræer,(2012), mestertiden.dk 02 okt

Georgia Urban Forestry Publication,(2004), Shade-Healthy Trees, Healthy Cities, Healthy People

Juul et al. (2013), Landskab 4, 100.000 træer – København slår rødder

Lindfors et al., (2014), Inventering av dagvattenlösningar för urbana miljöer, Sweco

Lund,(2004), KVL artikel - Grønne områder og byplanlægning - Værn mod varmere klima

Nielsen,(2012), Grønt Miljø, 10/2012, Den ideelle rodstruktur, Christian Nørgaard Nielsen

Nielsen,(2013), Grønt Miljø, Rodens langsigtede udvikling, Christian Nørgaard Nielsen

Nielsen,(2012), Grønt Miljø, Den ideelle rodstruktur, Christian Nørgaard Nielsen

Maj et al.(2006), research of two street trees, watered with stormwater and normal tap water

Park og Anlegg 04, 2016, Store træer på flyttefot

Bøger

Konijnendijk et al. (2005), Urban Forests and Trees, Springer Berlin, New York

Pallardy,(2008), Physiology of woody plants, Elsevier

Trees in hard landscapes TDAG, Trees and designs action group

Tyrväinen et al. (2005), Benefits and Uses of Urban Forests and Trees, Urban Forests and Trees, Springer Berlin, New York

Rapporter, planer og strategier

ACTrees, (2011) Benefits of Trees and Urban Forests, Alliance for Community Trees

Alliance for Community Trees (2011), Benefits of Trees and Urban Forests: A Research List

Analyse af IPCC delrapport 2, Naturstyrelsen

Benefits of Urban Trees, Keep Indianapolis Beautiful, Inc

Ciria Suds Manual, Chapter 19 Trees

Clapp,(2014), Rationale for the increased use of conifers as functional green infrastructure

Ennos, TBPEII, How Useful are Urban Trees? The Lessons of the Manchester Research Project

Embrem, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook

Every Tree Counts, (ingen årstal), A Portrait of Toronto's Urban Forest, Torontos Parks, Forestry & Recreation Urban Forestry

Georgia Urban Forestry Publication

International Society of Arboriculture Tree Care Bulletin, Benefits of Trees

Kortlægning af klimaforandringer - muligheder og barrierer for handling, 2012, klimatilpasning.dk

Københavns Kommunes Klimatilpasningsplan,(2011)

Københavns strategi for træpolitik,(2016)

Københavns strategi for bynatur 2015-2025,(2015)

Københavns klimatilpasningsplan,(2011)

Københavns Universitets og Realdanias rapport Plan09

Lyngby og Tårnbæk, og Frederiksberg kommuners træpolitikker

National Arbor Day Foundation pamphlet #90980005

Odense Kommunes tillæg Nr.1 til kommuneplanen

Street Tree Inventory Reports, Portland, OR, 2011- 2012

Valuing London's urban forest; Results of the London i-Tree Eco Project 2015

Vandkredsløbet, fra De Forenede Staters Geologiske Undersøgelser

Wong (ingen årstal), Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies, Climate Protection Partnership Division in the U.S. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs.

Århus Kommunes Klimatilpasningsplan 2014

Videnskabelige artikler

Akbari,(2002), Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants

Bühler,et al. (2010) 1, Videnblad,Urban Heat Island

Bühler,et al. (2010) 2, Videnblad, Bytræer er med til at afbøde virkningerne af klimaændringer

Cederkvist et al,(2010), Filterjord til rensning af vejvand, Vand og Jord

Cederkvist et al.(2009), Planter til oprensning og stabilisering af lettere forurenede jord i Københavns Kommune

Coder, (1996).,Identified Benefits of Community Trees and Forests", University of Georgia, October

Dragsted (ukendt årstal), Byens klima og dets betydning for træer i byen, KU Landbohøjskolen

Dix et al.(1997), Potential Use of *Populus* for Phytoremediation of Environmental Pollution in Riparian Zones, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RM-GTR-297

Ennos, (2015), The Conversation, Can trees really cool our cities down

Fryd et al. (2010), The role of urban green space and trees in relation to climate change

Gerrits, (2010),The role of interception in the hydrological cycle

Goldsmith, (2013), Changing directions: the atmosphere–plant–soil continuum

Johnston, (2015), Have we passed the point of no return?, Scientific American

Kaplan et al. (1989), The Experience of Nature: a Psychological Perspective

Kuo, et al.(2001) Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime a ?

Lima et al.(2013), Foliar uptake of fogwater and transport below ground and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species

Loughner et al. (2012), Roles of Urban Tree Canopy and Buildings in Urban Heat Island Effects: Parameterization and Preliminary Results

McPherson et al. (1997), Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project

McPherson et al.(2005), "Effects of Street Tree Shade on Asphalt and Concrete Pavement Performance." Journal of Arboriculture

McPherson et al. (2008), Los Angeles 1-Million Tree Canopy Cover Assessment

Potcher et. al.(2009), Comparative study of trees impact on human thermal comfort in urban streets under hot-arid and temperate climates

Rahman et al. (2015), What we know and don't know about the cooling benefits of urban trees

Randrup,(1996),Videnblad, Bytræers rodvækst og vandforbrug

Randrup, (1996) 1, Videnblad, Bestemmelse af jordvolumen for bytræer

Randrup,(1996) Vidensblad , Bytræers vækst og vandforbrug

Thaler (2011) ,The environmental, financial and health benefits of urban forestry, Center for City Park Excellence. The trust for Public Land.

Tom Nisbet, 2005, Water use by trees

Wells et al. (2003), Nearby nature a buffer of life stress among rural children, Enviromental Behavior

Andet

Justin Morgenroth, Powerpoint fra bytræseminar, findes på KU hjemmeside

Oliver Bühler,(2013), Forelæsning fra Planter og Klima i Byen

Illustrationer

<http://www.theage.com.au/victoria/greener-cities-the-key-to-happier-healthier-stressfree-lives-20160126-gmeay5.html> (hentet 07 Juni 2016 15:55)

Billede modsat kolofon

[http://www.forestry.gov.uk/pdf/LONDONI-TREECOSUMMARY160331.pdf/\\$FILE/LONDONI-TREECOSUMMARY160331.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/LONDONI-TREECOSUMMARY160331.pdf/$FILE/LONDONI-TREECOSUMMARY160331.pdf) (hentet 30 Maj 2016 21:10) **Side 13**

Analyse af IPCC delrapport 2, Naturstyrelsen, **Side 16**

Begge diagrammer er uddrag fra Københavns Klimatilpasningsplan, **Side 17**

Analyse af IPCC delrapport 2, Naturstyrelsen, **Side 20**

- Figur 1 <https://efuf2016.wordpress.com/2016/03/21/urban-forests-and-water/>
(hentet 10 Juni 2016, 16:30), **Side 24**
- Figur 2 Powerpoint pdf fra undervisning i Planter og Klima i byen, **Side 24**
- Figur 3 Powerpoint pdf fra undervisning i Planter og Klima i byen, **Side 26**
- Figur 4 revistapesquisa.fapesp.br (hentet 11 Juni 2016 12:20), **Side 27**
- Figur 5 <https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/plant-form-and-physiology-30/transport-of-water-and-solutes-in-plants-183/movement-of-water-and-minerals-in-the-xylem-698-11923> (hentet 16 Maj 2016 09:20), **Side 31**
- Figur 6 Nielsen,(2013), Grønt Miljø, Træernes skjulte halvdel 3, **Side 32**
- Figur 7 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.12332/full>
(hentet 11 Juni 2016 13:15), **Side 34**
- Figur 8 Morgenroth,(2015), From Sapling to Maturity - Exploring Structural Diversity in Urban Forests, **Side 39**
- Figur 9 <http://www.deeprooot.com/blog/blog-entries/how-trees-and-soil-improve-water-quality> (hentet 03 Maj 2016 11:30), **Side 43**
- Figur 10 http://ign.ku.dk/efteruddannelse-kurser/kurser-temadage-og-konferencer/afholdte-konferencer/2014/bytraeseminar-2014/12_Anders_Busse_Registrering.pdf (hentet 11 April 2016 08:50), **Side 44**
- Figur 11 Analyse af Københavns trækronedække, TMF,2015, **Side 45**

- Figur 12 Potcher et al.(2009), Comparative study of trees impact on human thermal comfort in urban streets under hot-arid and temperate climates, **Side 46**
- Figur 13 Morgenroth,(2015), From Sapling to Maturity - Exploring Structural Diversity in Urban Forests, Præsentation på Bytræsseminar 2015, **Side 46**
- Figur 14 <http://www.helm.org.uk/upload/pdf/The-Canopy.pdf?1302601721> (hentet 11 Juni 2016 16:30), **Side 47**
- Figur 15 Embrem, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, **Side 49**
- Figur 16 Sustaining and expanding the urban forest: Toronto's strategic forest management plan 2012-2022, **Side 50**
- Figur 17 McPherson et al. (1997), Quantifying urban forest structure, function, and value:the Chicago Urban Forest Climate Project, **Side50**
- Figur 18 Embrem,(2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook, **Side 51**
- Figur 19 The SuDS Manual C753, (2015), ciria , **Side 51**
- Figur 20 Nisbet,(2005), Water use by trees, **Side 51**
- Figur 21 Study Examines Performance of Trees in Bioswales, October 30 2015, Water Environment Federation, Stormwater report, **Side 51**
- Figur 22 Ennos, TBPEII, How Useful are Urban Trees? The Lessons of the Manchester Research Project, **Side 52**
- Figur 23 Bühler,et al. (2010) 2, Videnblad, Bytræer er med til at afbøde virkningerne af klimaændringer, **Side 52**
- Figur 24 <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8k.html>, dato010616 (hentet 11 Juni 2016 17:50), **Side 52**

- Figur 25 McPherson et al.,(2008), Los Angeles 1-Million Tree Canopy Cover Assessment, **Side 52**
- Figur 26 Loughner et al. (2012), Roles of Urban Tree Canopy and Buildings in Urban Heat Island Effects: Parameterization and Preliminary Results, **Side 53**
- Figur 27 Heinrich, et al.(1992), Munksgaards atlas - økologi, ISBN 87-16-10775-6, **Side 53**
- Figur 28 Georgia Urban Forestry Publication, Shade-Healthy Trees, Healthy Cities, Healthy People, 2004, **Side 53**
- Figur 29 Vandkredsløbet, fra de Forenede Staters Geologiske Undersøgelser, **Side 53**
- Figur 30 Loughner et al. (2012), Roles of Urban Tree Canopy and Buildings in Urban Heat Island Effects: Parameterization and Preliminary Results, **Side 54**
- Figur 31 Ennos et al., (Ukendt årstal) How usefull are urban trees. The lessons of Manchester, research project, **Side 54**
- Figur 32 Ennos,(2015), The Conversation, Can trees really cool our cities down, **Side 54**
- Figur 33 Randrup, (1996) 1, Videnblad, Bestemmelse af jordvolumen for bytræer, **Side 54**
- Figur 34 Ennos,(2015), The Conversation, Can trees really cool our cities down, **Side 54**
- Figur 35 Trees in the townscapes, A guide for decision makers, Trees & Design Action Group, **Side 60**
- Figur 36 Trees in the townscapes, A guide for decision makers, Trees & Design Action Group, **Side 61**
- Figur 37 <http://www.thefarmreport.williammckeen.com/nnfhd/Macadam> (hentet 11 Juli 2016 21:30), **Side 62**
- Figur 38 Embrem, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook, **Side 63**

- Figur 39 Embrem, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook, **Side 65**
- Figur 40-43 Embrem, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook, **Side 66**
- Figur 44 <http://stiften.dk aarhus slut-med-parkering-paa-bispetorv.dk>
(hentet 13 juni 2016 11:00), **Side 67**
- Figur 45 <http://buildabetterburb.org/copenhagen-green-city-green-parking/>
(hentet 13 juni 2016 11:00), **Side 67**
- Figur 46 Embrén, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook, **Side 67**
- Figur 47 Day et al.(2008),Managing Stormwater for Urban Sustainability,
Using Trees and Structural Soils, **Side 67**
- Figur 48 www.oplevbyen.dk, **Side 68**
- Figur 49 http://www.phillywatersheds.org/what_were_doing/green_infrastructure/programs/green_streets (hentet 15 Maj 2016 10:45), **Side 68**
- Figur 50-51 Embrén, (2009), Planting beds in the city of Stockholm, a handbook, **Side 68**

Planteliste

<http://ign.ku.dk/arboret-hoersholm/plantebeskrivelser> (hentet 30 Maj 2016 11:45)

<http://woodyplants.cals.cornell.edu> (hentet 31 Maj 2016 13:15)

<http://www.haveabc.dk/> (hentet 30 Maj 2016 09:20)

https://www.oakgov.com/msu/Documents/publications/oc0257_salt_tolerant.pdf
(hentet 29 Maj 2016 15:10)

Bøger

Bruns plantekatalog 2014-15

Birkholms plantekatalog

Hededanmarks plantekatalog

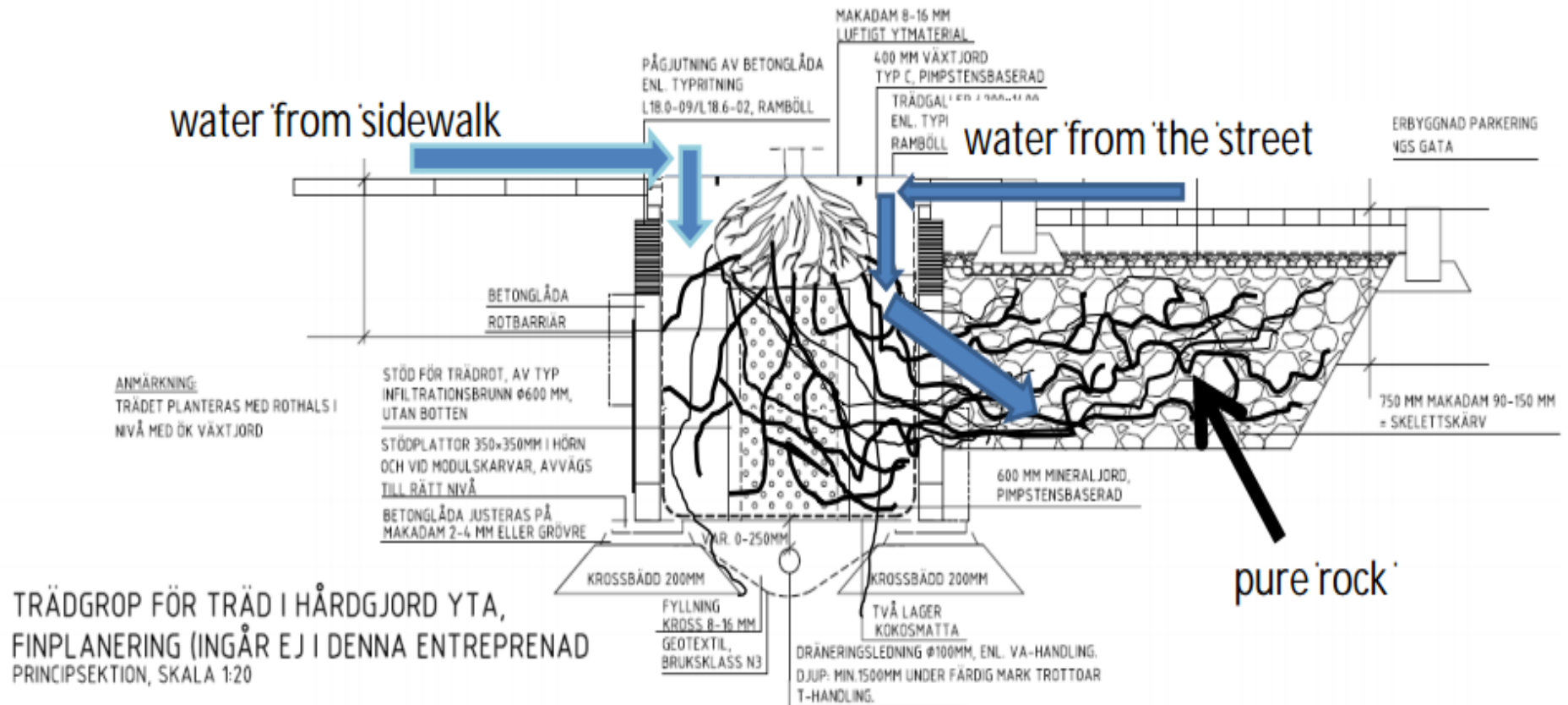
Jørgensen et al, 2005, Træer og buske

Kortegaards plantekatalog

Van Den Berks On Trees,Katalog 2016

BILAG

Bilag 1 Fra Planting beds in the city of Stockholm Handbook, 2009, Björn Embrén



Bilag 2

Uddrag af Lindfors et al., (2014), Inventering av dagvattenlösningar för urbana miljöer, Sweco

5.2.2 Filtermagasin (EcoVault)

Nedan följer en fördjupad studie av filtermagasin.

Funktion

Magasin med filterinsats för rening lämpar sig främst för t.ex. industriområden och bostadsområden där det inte finns utrymme för ytliga dagvattenlösningar. I föreliggande kapitel behandlas en typ av filtermagasin som kallas EcoVault (EcoSense International, 2014).

EcoVault är ett filtersystem inrymt i en betongkammare avsedd för rening av dagvatten.

Betongkammaren utformas som ett underjordiskt armerat magasin med galler, sedimentering och filterinsats.

Vid stora dagvattenflöden kan bräddning (bypass) ske på två sätt. Antingen sker bräddning innan dagvattnet når filtersystemet eller så bräddar det inne i magasinet enligt skissen nedan (se *Figur 60*).

Vid bräddning inne i magasinet är det viktigt att dimensioneringen görs så att bräddning sker mycket sällan eftersom allt på ytan (t.ex. flytande olja) då kommer att sköljas ut ur magasinet utan rening. En dålig skötsel med igensatt filter leder till ökad risk för mer frekvent bräddning. Det är dock möjligt att installera en flytande oljeavskiljande skärm eller liknande före/efter den oljeavskiljande väggen, vilket rekommenderas om inkommande dagvatten kan innehålla mycket olja.

Anläggningen har kapacitet att klara stora flöden tack vare sin konstruktion där dessa flöden passerar ovanför sedimentationsdelen via specialutformade riktningsskärmar som styr vattenflödet. Därigenom minskar risken för uppvirvling av sediment. Väljer man att brädda flödet innan inlopp till magasinet kan det med fördel ledas till ett mindre gallerförsatt magasin där löv, skräp och liknande samlas upp. EcoVault kan med fördel kompletteras med brunnsfilter i brunnar uppströms. Om det är nivåmässigt möjligt kan de vara försedda med rostfria gallerkorgar för insamling av skräp, löv och liknande.

Figur 60. Principskiss EcoVault (Larm, 2012).

Rening

I en EcoVault avskiljs sediment, näringsämnen, skräp, tungmetaller, organiskt avfall, olja och fett.

Systemet är utformat för att rena dagvattnet genom flera processer.

Magasinet är utformat så att

58 % vattenflödet bromsas upp för att underlätta sedimentering. EcoVault bedöms ha en hög reningseffekt, t.ex. ca 80 % avseende partiklar (suspenderad substans).

Gallerskärmar används för att separera skräp och organiskt material från vattnet vilket förhindrar

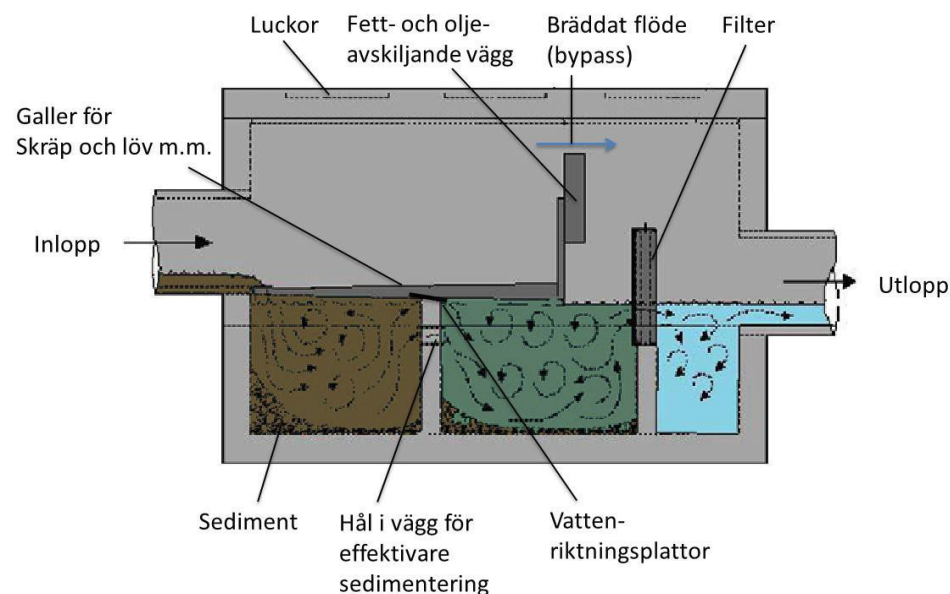
läckage av näringsämnen och föroreningar. Slutligen renas vattnet genom att det passerar ett

filtermaterial. Filtren kan anpassas för en hög reningsgrad avseende de ämnen som prioriteras högst

med hänsyn till dagvattnets kvalitet och mottagande recipient. Ett

kompletterande kemiskt reningssteg

kan läggas till systemet för att öka reningsgraden. Magasinen har även en oljeavskiljande funktion.





Figur 61. Gallerskärmar separerar skräp och organiskt material.

Filter

Filtret är av typen "ESI MZ", ett aluminiumsilikat med hög permeabilitet och öppna kanalvägar samt porhål för att minska igensättningsrisken och öka flödet som kan passera. Filtermaterialet anpassas efter de ämnen som är viktigast att reducera. Lösta fraktioner av föroreningar kan avskiljas i filtret vilket är en skillnad mot de avsättningsmagasin som vanligen används i Sverige. Det är ofta lösta fraktioner som är viktigast att rena med hänsyn till recipienteffekter.



Figur 62. Löstagbara filter vid utloppet.

59

Kompletterande reningssteg

Vault-Ox är en torr kemikalie som kan placeras i en diffusionsmodul i magasinet. Den förbättrar syrgasförhållanden, immobiliserar fosfater och ökar pH-värdet i vattnet (EcoSens, 2014). Det kompletterande reningssteget med Vault-Ox bidrar till att hålla kvar tungmetaller i sedimenten och fälla ut löst fosfor. Vault-Ox hämmar även spridningen av patogener och koliforma bakterier. Med ökad syrehalt i vattnet ökar den aeroba aktiviteten vilket sänker halten organiskt material (COD/BOD).



Figur 63. Insats av Vault-Ox för kemisk fällning i magasinet.

Reningseffekter

Det har genomförts omfattande flödesproportionell provtagning vid in- och utloppen på tre EcoVaultanläggningar i Florida under juni 2013 till januari 2014 (City of Casselberry, 2014). Bland annat mättes koncentrationen av: fosfor (P), kväve (N), koppar (Cu), zink (Zn) och partiklar (SS). Medianvärden av reningseffekten för respektive ämne redovisas i Tabell 17. I provtagningen inkluderades EcoVault-anläggningar med respektive utan tillsats av Vault-Ox. Resultatet visar att kemikalien ger stor påverkan på reningseffekten, undantaget för kväve. För de ämnen som inte ingick i studien har reningseffekten uppskattats genom att studera effekten för de liknande anläggningarna av typen avsättningsmagasin och filter i databasen i StormTac, version 2014-10 (www.stormtac.com). Utöver ämnena i Tabell 17 finns i rapporten (City of Casselberry, 2014) data för olika former av P och N, Fe och fekala coliformer. De senare bakterierna reducerades till ca 70-80% i anläggningarna med Vault-Ox, men ingen reduktion kunde mätas i den tredje anläggningen utan Vault-Ox. Det bör även nämnas att det enligt EcoSense förekom problem med bl.a. uppdämning av vatten i den tredje anläggningen utan EcoVault vilket gör de värdena mer osäkra. Troligen ger EcoVault utan Vault-Ox högre reningseffekter än vad som här angivits för fekala coliformer och för de ämnen som visas i sista raden i Tabell 17. Provtagning av två-tre EcoVault-anläggningar i Sverige utan Vault-Ox startade under hösten 2014 av SEKA Miljöteknik. När dessa data finns tillgängliga kan data i Tabell 17 kompletteras.

Tabell 17. Uppmätt (**fet stil**) och uppskattad (*kursiv stil*) reningseffekt i EcoVault(%). Värdena är avrundade till närmsta femtal.

	P (%)	N (%)	Pb (%)	Cu (%)	Zn (%)	Cd (%)	Cr (%)	Ni (%)	Hg (%)	SS (%)	olja (%)	PAH (%)	BaP (%)
Reningseffekt	40	15	75	60	70	75	70	55	45	80	65	80	80
Uppmätt reningseffekt, 2 anläggningar med Vault-Ox (medelvärde)	50	10		65	75					85			
Uppmätt reningseffekt, 1 anläggning utan Vault-Ox	10	15		15	20					65			

Tabell 17. Uppmätt (**fet stil**) och uppskattad (*kursiv stil*) reningseffekt i EcoVault(%). Värdena är

avrundade till närmsta femtal.

Utformning

EcoVault-magasinet är betydligt mindre än vad som är normalt för svenska "avsättningsmagasin". En förklaring till det är filterlösningen och den anpassade utformningen som ger god genomströmning även vid relativt höga flöden. Rekommenderad storlek på magasinet beror på dimensionerande inflöde och dimensionerad vattenhastighet i ett tvärsnitt genom magasinet (normalt ca 0,46 m/s). Beroende på inloppsdimensionen (normalt 300-1800 mm) kan dimensioner inom följande intervall bli aktuella (längd x bredd):

- Min 1,8 x 0,9 m (dimensionerande inloppsflöde <100 l/s)
- Max 6,1 x 3,7 m (dimensionerande inloppsflöde ca 3500 l/s)

Placering

Vanligen placeras EcoVault-magasin nedströms i ett större avrinningsområde för att kunna rena dagvatten från hela området. Placeringen ska anpassas till var reningen gör mest nytta. Ibland kan placering lokalt nära föroreningskällan vara mer gynnsamt. Magasinen anläggs normalt med inlopp i självfall, men om pumpning skulle behövas kan anläggningen anpassas för det.

Dimensionering

Anläggningen dimensioneras så att det dimensionerande flödet, i ett tvärsnitt genom anläggningen, inte överskrider en hastighet på <0,5 m/s. Vid dimensionering ska hänsyn tas till tillrinningsområdets storlek, avrinningskoefficienten, inkommande föroreningskoncentrationer m.m. Under sommaren

2014 kommer recipient- och dagvattenmodellen StormTac anpassas för att kunna dimensionera EcoVault-anläggningar (StormTac, 2014).

Skötsel

Funktionen hos inlopp, mekaniska och kemiska filter samt utlopp bör kontrolleras regelbundet. Periodvis skötsel med vakuumsug 4-12 ggr/år rekommenderas, liksom filterbyte 1 ggr/år. Filtret i magasinet skall bytas ut vid viss mättnad, vilket kan avgöras med enkel viktmätning. Skräp och sediment avlägsnas vid behov, vilket varierar från plats till plats beroende på verksamheten i tillrinningsområdet. Oljan kan antingen sugas bort eller avskiljas via upptag i filtren.

Kompletterande brunnsfilter och gallerkorgar uppströms erfordrar en årlig skötselinsats då filter byts och korgar rensas.

Olyckshantering

Vid olyckor och haverier som ger utsläpp av föroreningar, t.ex. olja och kemikalier, ska anläggningens handlingsplan för efterbehandling följas. En handlingsplan kan tas fram med hjälp av Vägverkets 61

”Handledning – beredskapsplanering för skydd av vattentäkt vid olycka med farligt gods” (Vägverket, 2007). Handlings- eller beredskapsplanen ska ingå i anläggningens skötselprogram. En inspektion och kontroll av anläggningens funktion ska alltid göras efter olyckor.

Filtermagasinet kan, om det finns trafik med farligt gods, behöva kompletteras med avstängningsventil för att förhindra spridning nedströms anläggningen.

Klimatförändring

Det bör utredas vilka klimatfaktorer som ska användas vid beräkning av dimensionerande flöden in till anläggningen. Med klimatfaktor menar man en säkerhetsfaktor som ansätts för att ta hänsyn till framtida klimatförändringar och ökade nederbörds mängder. Det bör även utredas hur de ökade nederbörds mängderna påverkar föroreningsbelastningen i dagvattnet. Ökat dimensionerande flöde resulterar i ökad erforderlig volym för anläggningen.

Materialval och hållfasthet

De material som vanligen behövs för en EcoVault listas nedan:

- Betong
- Armeringsjärn
- Filter (aluminiumsilikat)
- Vault-Ox (tillval)
- Galler

Integrering av lösningen i urbana miljöer

En EcoVault kan integreras både i nya och befintliga områden. Anläggningen är bäst lämpad när det av utrymmesskäl inte ryms stora och ytliga lösningar. EcoVault passar således bra i tätbebyggda områden. Exempelvis kan en EcoVault anläggas som avsättningsmagasin för ett stadsområde. Den kan också integreras för att rena dagvatten från lokala verksamheter och fastigheter, t.ex. i tätbebyggda industriområden. Filtret kan anpassas för olika typer av rening vilket gör att den lämpar sig för rening

av dagvatten från industrier med särskild föroreningsbelastning. Alternativt kan filtret användas för rening av dagvatten innan detta når en recipient med känslighet mot specifika föroreningar.

Anslutning och avledning till/från anläggningen

Anslutning och avledning till och från magasinet utgörs vanligtvis av dagvattenledningar.

Instruktioner för utförande och kontroll

Periodvis skötsel med vakuumsug 4-12 gånger per år rekommenderas, liksom filterbyte en gång per år.

Filtret i magasinet skall bytas ut vid viss mättnad, vilket kan avgöras via enkel viktmätning. Filtret lyfts normalt upp med hjälp av en kranbil.

Skräp, löv och sediment tas bort vid behov, vilket varierar från plats till plats beroende på verksamheten i tillrinningsområdet. Skräp och löv som fastnat på gallret sugas normalt upp genom en lucka till anläggningen, där servicepersonal med suganordning står på marken ovanför magasinet.

Personalen kan, om det samlats stora mängder skräp och löv, behöva klättra ner på stege, ställa sig på gallerdelen och därifrån kratta ihop materialet i högar och hålla i röret för att underlätta uppsuget.

Personalen går ner på gallerdelen för att öppna gallerluckorna och sänka ner och styra sugröret nere i sedimentdelen för uppsug av ackumulerat sediment. Högtrycksvatten kan vid behov användas för att få loss sediment från botten. I de allra flesta fall behöver inte personalen gå ner på magasinbotten.

62

Anläggningskostnader

Magasinet är mer kostnadseffektiv (i storleksordning upp till 10 ggr) i anläggningskostnad än motsvarande betydligt större svenska avsättningsmagasin som utförs utan filter och som ofta kräver pumpning och styrning. Svenska avsättningsmagasin kostar normalt uppåt 5-15 miljoner kr (databas i StormTac, version 2014-10). Kostnaderna varierar beroende på storlek på magasin och platsspecifika markförhållanden. Kostnaderna bör beräknas från fall till fall, de hålls nere på grund av att betongmagasinet tillverkas lokalt i Sverige, med regionala tillverkare som har kontrakt med EcoSense International i Florida.

5.2.3 Brunnsfilter

Nedan följer en fördjupad studie av brunnsfilter.

Funktion

Vid regn avrinner förorenat dagvatten från vägar, parkeringsplatser, industrimark och andra hårdgjorda ytor ner i dagvattensystemet och kan släppas ut till recipient utan att ha genomgått någon behandling. För att minska föroreningar i dagvatten kan ett reningssteg sättas in i rännstensbrunnar för att på så sätt rena dagvatten nära källan. En förteckning av några olika fabrikat ges i Bilaga 3. Exempel på en typ av brunnsfilter ges i *Figur 64*.



Figur 64. Brunnsfiltret FlexiClean (Foto: Eric Bick, RD Rent Dagvatten AB).

Rening

Dagvattnet renas genom att föroreningar fastnar på ytan hos filtermaterialet genom adsorption och absorberas i filtermaterialet. Partiklar som sand, grus och löv separeras i ett sandfång i brunns botten. Brunnsbetäckningen hindrar skräp av större storlek från att komma ned i brunnen. Alternativt samlas grus och löv ovanför eller bredvid filtret i en perforerad korg av plast eller rostfritt stål. Det finns filter som tar upp olika typer av kemikalier och metaller som olja, bensin, bly, zink, koppar, andra tungmetaller, PCB, fosfor och polycykliska aromatiska kolväten (PAH).

Olika experimentella undersökningar har gjorts av hur mycket föroreningar som fastnar i filtren. Blom & Skogsjord (2006) studerade metallupptagning med kolonnförsök hos torv och furubarksflis.

Neherheim m fl (2011) rapporterar laboratorieexperiment för att studera upptagning av metaller och då främst zink med filtermaterialen furubarksflis, Polonite (typ av kalksten) och aktivt kol. Samtliga filtermaterial visade bra reningseffekt för metaller. Mellan 70-90% zink och bly tas upp av filtren. Aktivt kol lakar dock ut arsenik och furubarken kadmium. Tester görs i dagsläget för att analysera brunnsfilters funktionalitet och reningsgraden på olika föroreningar. Tester som har utförts i Sverige

63 visar på en betydligt lägre reningsgrad än den som utlovats av filtertillverkarna. Filtren har visat på läckage av föroreningar, både då filtret är mättat och läckage av ämnen från själva filtermaterialet. Ett försök med brunnsfilter av tre olika fabrikat (Innolet, SorbClean, Absorbo) har genomförts på två platser i Stockholm (Dromberg, 2009). I studien analyserades både filterat och icke filterat vatten samt filtermaterialet efter användande. Resultatet visar att tillsyn och skötsel är nödvändig för att bibehålla filtrens funktion. Det är även viktigt att filtermaterialet byts ut regelbundet så att det inte blir mättat.

Fördröjning

Brunnsfiltret har i princip ingen fördröjande effekt även om det tar viss tid för vattnet att strömma igenom filtret. Vid stort vattenflöde passerar vattnet utan att renas i filtret via ett bräddavlopp eller bypass.

Utformning

Ett brunnsfilter består av en kassett av plast eller stål i vilken filtermaterialet placeras. Rening av dagvatten sker antingen i inloppet till brunnen eller på vägen ut ur brunnen.

När vattnet renas på väg ner i brunnen används ofta en cylindrisk konstruktion som tätar mot brunnens insida. Före filtret kan det finnas ett galler, som stoppar sand, grus, löv och andra partiklar från att passera filtret. Detta material leds istället vidare bredvid filtret ner i brunnens botten i ett sandfång eller stannar till viss del kvar i gallret.

När vattnet renas på väg ut ur brunnen kan det sitta en rektangulär kassett som tätar mot brunnsväggen vid utloppet. Om filtret sätter igen, eller om det är ett stort vattenflöde, kan vattnet passera ovanför brunnsfiltret ut genom dagvattenledningen.

Dimensionering

Det finns inga speciella dimensioneringskriterier kopplade till brunnsfilter vid sidan av dimensionering av avloppssystemet för att ta hand om dagvatten vid nederbörd. Vid val av filter bör den hydrauliska kapaciteten beaktas, så att det mesta av dagvattnet kan passera genom filtret. Filtrets genomströmningskapacitet anges i regel av producenterna.

Skötsel

Brunnar med brunnsfilter skall slamsugas i storleksordning två gånger per år och filtren skall bytas ut en till fyra gånger per år. Utbytta filter kan analyseras. Filtermaterialen kan beroende på typ och föroreningar komposteras, brännas, deponeras eller hanteras som miljöfarligt avfall.

Olyckshantering

Vid stora utsläpp av föroreningar i samband olyckor bör filtren bytas, om utsläppet passerat filtren. Speciella åtgärder för omhändertagande av förbrukat filter bör övervägas.

Klimatförändring

Ökade flöden till följd av klimatförändringar kan leda till att brunnsfilter snabbare sätter igen.

Materialval och hållfasthet

Brunnsfiltret består av kassetter med tillhörande mekaniska detaljer och filtermaterial. Kassetterna består ofta av rostfritt stål eller plast, t ex polyeten. Kassetterna utsätts inte för några speciella laster. Konstruktionen och infästningarna måste kunna bära filtermaterialet och hålla för flödet och trycket från vattnet. Filtermaterialet kan vara av diverse slag. Det finns filter som innehåller bark, träfiber, zeolit, polypropen, torv, aktivt kol, järnhydroxid, etc., se vidare Bilaga 3.

64

Integrering av lösningen i urbana miljöer

Brunnsfilter placeras i rännstensbrunnar och kan därför användas både i planerade och befintliga områden. De lämpar sig bäst i tätbebyggda miljöer utan plats för ytliga dagvattenlösningar och med måttlig till hög föroreningsbelastning på dagvattnet. På grund av ifrågasatt reningsgrad rekommenderas de endast till platser där andra dagvattenlösningar inte anses lämpliga.

Parkeringsplatser, industriområden och bensinstationer är exempel på platser där brunnsfilter kan vara lämpligt. De är dock ingen effektiv lösning för dagvatten från stora trafikleder eftersom installation och underhåll kräver ett stort intrång i trafiken (Dromberg, 2009).

Anslutning och avledning till/från anläggningen


Brunnsfilter sitter i brunnen och det krävs ingen ytterligare anslutning eller avledning än vad som redan finns då brunnen installerades.

Instruktioner för utförande och kontroll

Brunnsfilter installeras efter leverantörens anvisningar. Filtermaterialet kan analyseras efter användning för att bestämma upptaget av föroreningar. Montering av brunnsfilter är tidskrävande och i kombination med ett omfattande behov av tillsyn och skötsel betraktas driftinsatsen oproportionerligt stor i förhållande till nyttan (Dromberg, 2009).

Anläggningskostnader

Det finns en kostnad för projektering, inköp och installation, men även för kontinuerligt underhåll med filterbyten och slamsugning av brunnar. Det sistnämnda kan anses som en kostnad som redan finns och bör belasta brunnen i sig. Kostnadsuppskattningar ges av Larm m fl (1999) där en filterkassett bedöms kosta upp till 3000 kr och byte upp till 2000 kr. Kostnaden för att projektera och installera tio brunnsfilter i befintliga brunnar på en industrimark ligger på omkring 150 000 kr, och underhåll med två filterbyten per år följande fyra år ligger kring 50 000 kr per år enligt Bick (2014). I uppskattningarna ingår behovsanalys, belastningsberäkning, val av filtermaterial, installation, framtagande av driftsplan, drift och underhåll, analys av utbytta filter samt framtagande av årlig miljörapport. Ökas antalet brunnar till 40 medför detta att totala kostnaderna endast dubblas.

A street scene featuring a large, leafy green tree in the foreground on the right. To the left is a multi-story building with a light-colored facade and many windows. The street is busy with cars and pedestrians. The text "Når roden er god er alting godt" is overlaid on the right side of the image.

Når roden er god
er alting godt