

# Konstruerede vækstmedier

Kamilla Aggerlund  
Peter Randrup Nilsson  
Troels Edelslund Raabjerg  
Søren Storm



# Konstruerede **vækstmedier**

Kamilla Aggerlund  
Peter Randrup Nilsson  
Troels Edelslund Raabjerg  
Søren Storm

*Konstruerede vækstmedier*

Af Kamilla Aggerlund, Peter Randrup Nilsson, Troels Edelslund Raabjerg og Søren Storm

© BG Byggros A/S

Redaktion: Charlotte Lerche og Heidi Korsgaard, Skriveværkstedet

Fotos: Lisbeth Hjort, Jes Larsen og BG Byggros A/S

Omslag og grafisk tilrettelæggelse: Klahr

Forsidefoto: Værløse Bymidte

Illustrationer: BG Byggros A/S

Tryk: Narayana Press

Trykt i Danmark 2021

1. udgave, 1. oplag, 2021

ISBN: 978-87-973097-0-4

Denne bog og dens indhold er underlagt copyright © BG Byggros A/S.

Udgivet af BG Byggros A/S

[www.byggros.com](http://www.byggros.com)

<b>Forord</b>	5	SBi-anvisninger	39
Grønne byrum kan blive endnu grønnere	5	Eurocode	39
Et stærkt samarbejde	5	Dansk Standard	40
Hvem er vi?	6	SI-enheder	40
<b>Om forfatterne</b>	8	<b>Kapitel 3 · Materialekendskab og materialevalg</b>	45
<b>Sådan bruger du bogen</b>	11	Valg af materialer	45
Kapitler	11	Valg af bæredygtige materialer	51
Cases	11	<b>Kapitel 4 · Vækstegenskaber</b>	57
Faglige begreber	11	Hvad skal der til, for at en plante kan gro?	57
Eksempelsamling	12	Luft i jorden – luftkapacitet	58
Datablade	12	Rodzone	58
Kildeliste	12	Markkapacitet	58
<b>Introduktion · Vækstmedier indtager byerne</b>	13	Plantetilgængeligt vand	59
Grønne byer	13	Visnegrænse	59
Vækstmedier i byen	13	Permeabilitet	59
<b>Kapitel 1 · Jord i dag</b>	17	Vandets vandring i jorden	60
Jord har mange navne	17	Forholdet mellem vand og luft	60
Naturlige jorde og konstruerede vækstmedier	17	Metode til adskillelse af vand og luft	60
Jord i byer	18	Respiration og fotosyntese	63
Jordens tekstur	19	Kapillærkræfter	64
Jordforbedring	20	Porestørrelse	66
Jordtyper	24	Hængende vandspejl	67
Kornkurve	26	Komprimering	67
<b>Kapitel 2 · Retningslinjer, normer og guidelines</b>	35	Vanding med væge	69
Normer og guidelines	35	Rod-top-forhold	69
FLL	36	Plantevækst i forhold til vækstegenskaber	70
<i>Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2</i> eller <i>FLL-guiden</i>	36	<b>Kapitel 5 · Næringsforhold</b>	79
Green Roof Guidelines	37	Næringsstoffer	79
Normer og vejledninger for anlægsgartnere	38	Næring over tid	81
Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger og MMOPP	38	Næringsioner	81
		Ledetal	82
		Ionbytningskapacitet	83
		pH	85
		Gødningstyper	88

Næringsværdier	88	<b>Kapitel 9 · Drift og vedligeholdelse</b>	155
Mangel på næringsstoffer	89	Hav en plan	155
Mikrobiologisk liv	93	Beplantning	155
Osmose	95	Næring	158
		Vanding	159
		Opretholdelse af den hydrauliske funktion	159
<b>Kapitel 6 · Bæreevne</b>	103		
Skeletjord	103	<b>Kapitel 10 · Datablade, SAB og kontrolplaner</b>	163
Friktion og kohæsion	104	Vigtigheden af datablade	163
E-modul	104	Sådan læser du et datablad	164
Indlejring	107	SAB – særlig arbejdsbeskrivelse	167
Standard proctor og vibrationsindstampning	108	Kontrolplaner	169
Standard proctor	108		
Vibrationsindstampning	109	<b>Kapitel 11 · Grønne certificeringer</b>	183
Maksimal tørdensitet	109	LCA	183
Trafikklasser	110	EPD	183
Partikelstyrke	112	DGNB	184
Uensformighedstal	112	CO <sub>2</sub> -aftryk	184
		<b>Kapitel 12 · Eksempelsamling</b>	189
<b>Kapitel 7 · Regnvandshåndtering</b>	121	<b>Efterskrift</b>	207
Permeabilitet	121	Fremtidens grønne byer bliver grønnere	207
Regnhændelser	122		
Klimafaktor	123	<b>Kildeliste</b>	209
Opland	123		
Hydraulisk ledningsevne, K-værdi	124	<b>Ordliste</b>	211
Afløbskoefficient, C	124		
Afløbskurve	125	<b>Stikordsregister</b>	217
Initialtab	126		
Magasinvolumen og pumpende vandspejl i vækstmedier	126		
Kapillærprincippet	127		
Kend de hydrauliske egenskaber	127		
<b>Kapitel 8 · Filtrering</b>	139		
Filtrering af uønskede stoffer	139		
Vandkvalitet – ind- og udløbsproblematik	139		
Rensekrav	141		
Udvaskningsrisiko	141		
Sedimentation	142		
Ionbytningskapacitet	142		
Levetid	143		
Filterjord	143		
Ny tilgang til filterjord	145		
Tømidler	146		
Hvilket tømiddel skal man vælge?	147		

# Forord

---

## Grønne byrum kan blive endnu grønnere

Byerne udvikler sig hele tiden, og flere og flere grønne byrum blomstrer frem. Nogle bliver skabt i forbindelse med klimatilpasning, mens andre bliver anlagt for at skabe grønne oaser, både til glæde for de mennesker, der bor i området, og for at øge biodiversiteten.

Grønne anlæg har eksisteret i årtier, men i dag er forventninger og krav større. Man vil mere på samme eller til tider endda på mindre plads. Det stiller krav til multifunktionaliteten i anlæggene og kræver et stærkt tværfagligt samarbejde, som med ny viden kan skabe endnu bedre vækstbetingelser på udfordrede steder i byen.

I alle projekter med grønne anlæg i byerne indgår jord eller vækstmedier. Selvom der i projekteringsdelen typisk fokuseres på beplantningen, som er synlig på overfladen, er vækstmediet altafgørende for, at det grønne bliver en succes. Det er dog ikke kun vækstegenskaber, der er relevante. Også vækstmediets hydrauliske funktion, hvis det fx skal kunne håndtere tilstrømmende vand, og bæreevnen kan være vigtig, hvis det skal fungere i en urban kontekst, hvor vækstmediet skal kunne bære fortov, cykelstier og anden befæstelse. Valget af det bedste vækstmedie til hvert enkelt projekt er derfor ikke altid nemt; byrummene er komplekse, og mange fagområder har en holdning til vækstmediets egenskaber. Det stiller store krav til projekteringen.

For at de mange krav kan indfries, er det nødvendigt med en stor tværfaglig forståelse hos de implicerede parter. Netop det urbane miljøes kompleksitet og det tværfaglige samarbejde ved anlæg er omdrejningspunktet i denne bog. Jord er ikke bare jord, og for at lykkes med projekterne er det vigtigt, at de rigtige beslutninger bliver taget fra begyndelsen. Det hjælper denne bog med.

## Et stærkt samarbejde

For at kunne understøtte det grønne i byerne er det vigtigt at have en bred forståelse af det tværfaglige, der ligger i at arbejde med vækstmedier. Det er også vigtigt at forstå, hvordan fagområderne overlapper og spiller sammen – og til tider også modarbejder hinanden.

I *Konstruerede vækstmedier* præsenteres viden fra forskellige faggrupper, så de bidrager til en bred tværfaglig forståelse. Bogens fokus er samspillet mellem basale vækstegenskaber, hydrauliske egenskaber og geoteknik i vækstmedier. I bogen er der eksempler på cases, der viser løsninger, hvor sammenspillet ses med vellykkede resultater.

Målet med denne bog er at klæde læseren på til at navigere i samarbejdet om vækstmedier i en urban kontekst. Ved at give læseren nogle værktøjer til at navigere i det tværfaglige felt og derved forstå den indbyrdes sammenhæng vil det påvirke arbejdet positivt, så de bedste løsninger skabes. En fælles faglig forståelse af materialer og deres egenskaber giver basis for at kunne træffe gode beslutninger ud fra anlæggenes formål.

*Konstruerede vækstmedier* er et tværfagligt planlægnings- og dimensioneringsværktøj, der nedbryder grænsefladerne mellem involverede faggrupper. Ved at kende og bruge de forskellige faggruppers viden er det muligt at vælge det rigtige, bæredygtige og veldokumenterede vækstmedie på en velfunderet baggrund og skabe anlæg, der holder ikke bare 5, men 10, 20, 30 år eller mere.

## Hvem er vi?

Bogen er skrevet af landskabsarkitekt Kamilla Aggerlund, geotekniker Peter Randrup Nilsson, civilingeniør Troels Edelslund Raabjerg og gartneriteknolog og markedschef Søren Storm. Forfatterne har erfaring fra bl.a. anlægsbranchen, gartneribranchen og undervisning på KU og arbejder i dag hos BG Byggros, hvis primære fokus er at understøtte velfungerende grønne byer.

BG Byggros er producent og leverandør til bygge- og anlægsbranchen med over 20 års erfaring med vækstmedier. Vi går forrest i udviklingen af nye, grønne produkter, som kan gøre en forskel i byens landskab. Som en naturlig del af vores arbejde med udvikling af fremtidens vækstmedier har vi gennem en årrække samlet en bred vifte af faglige kompetencer, så vi i dag sidder med den unikke viden, der skal til for at imødekomme ønsker fra alle faggrupper, som arbejder med jord- og vækstmedier i byen. Bogen er tænkt som en opslagsbog om specifikke udfordringer eller som idéskaber til forskellige typer anlæg. Ved at skabe en bred tværfaglig forståelse kan bogen være med til at danne et fælles samtalegrundlag for både anlægsgartnere, ingeniører og entreprenører og derved danne grobund for at forene de forskellige faggruppers faglige kræfter. Vi er et stærkt fagligt team bestående af landskabsarkitekt, jordbrugsteknolog, gartner, geoteknisk ingeniør, civilingeniør med speciale i miljøteknologi og anlægsteknolog. Det er vores vision at:

- Være med i udviklingen af grønne produkter, som gør en forskel.
- Bidrage med effektive løsninger, der afhjælper klimaudfordringer som fx øgede regnmængder og urbane varmeøer.
- Koble kendt viden om vækstegenskaber med nye, naturbaserede materialer.
- Skabe unikke vækstmedier med naturlige, grønne profiler, der har høj kvalitet og dokumenterede egenskaber.
- Nedbryde faglige grænser for at udvikle innovative og tværfaglige produkter.





# Om forfatterne



**Kamilla Aggerlund**, landskabsarkitekt MDL. Arbejder med udvikling af grønne løsninger og vækstmedier samt undervisning og rådgivning omkring klimatilpasningsløsninger og vækstmedier til urbane landskaber hos BG Byggros. Interesserer sig for samarbejde mellem forskellige faggrupper, der arbejder med byplanlægning, med et ønske om at optimere vidensniveauet i branchen og øge fokus på bl.a. vækstmediernes egenskaber og betydning for grønne byers succes. Kamilla har et bredt fagligt kendskab til design, byplanlægning og anlæg inden for den grønne sektor og otte års erfaring med undervisning i design af grønne teknologier og klimatilpasning af byer samt grønne tage og vægge på Skovskolen, Københavns Universitet. Derudover har hun erfaring med praksisnær forskning i forbindelse med sin undervisning om vækstmedier og deres sammensætning samt egenskaber i relation til plantesammensætninger, biodiversitet og drift. I samarbejde med Teknologisk Institut har hun i fem år udviklet og afholdt efteruddannelse til regnvandskonsulent for at opbygge et nationalt netværk af kompetencer i håndtering af regnvand hos praktikere efter forespørgsel fra kommuner.



**Peter Randrup Nilsson**, geotekniker. Arbejder med produktudvikling og salg inden for konstruerede vækstmedier til det urbane rum, herunder rådgivning og vejledning inden for regnvandshåndtering og vejbygning. Interesserer sig for udviklingen og dokumentation af statisk stabile vækstmedier samt vejopbygninger med disse med særligt fokus på at højne vidensniveauet brancherne imellem og dermed skabe nye innovative løsninger. Peter har gennem sit virke været en tur igennem byggebranchens mange facetter fra faglært håndværker til ingeniør og har arbejdet i forskellige nicher i byggebranchen med erfaring inden for bygge- og entreprisedelse. Har tidligere arbejdet med teamudvikling og med at bringe fagligheder sammen og få folk til at udnytte hinandens faglige indfald, så de tilsammen blev stærkere. Derudover er Peter specialist i stabilitetsberegninger og beregninger af bæreevne inden for geoarmerede støttekonstruktioner, traditionel vejbygning og vækstmedier med bæreevne. Peter har tillige erfaring med beregning og projektering af opdriftssikring til regnvandsanlæg samt udvikling og produktion af regnvandsmagasiner.



**Troels Edelslund Raabjerg**, civilingeniør i miljøteknologi med fokus på rensning og håndtering af overfladevand og spildevand. Arbejder med levering af renseløsninger samt udvikling af løsninger inden for håndtering af overfladevand. Interesserer sig for at løse projektspecifikke opgaver samt udvikle løsninger for at sikre bedst muligt miljø for grundvand og havet samt ferskvand. Troels har arbejdet for den rådgivende ingeniørvirksomhed COWI med jordforureninger og beskyttelse af grundvand. Derudover har han arbejdet i forsyningsselskab med regnvandshåndtering og rensning af overfladevand samt hydrauliske beregninger for regnvandsanlæg. Troels er specialist i udskillerteknik og sedimentationsanlæg samt dimensionering af disse, og han sidder i den nationale BAT-arbejdsgruppe "Vandkvalitet der BAT'er" for udarbejdelse af rensespecifikationer for udledning til recipienter i Danmark.



**Søren Storm**, gartneriteknolog og markedschef for regnvandshåndtering og vækstmedier hos BG Byggros samt salgs- og produktansvarlig for Vexti, som udvikler og producerer specialdesignede konstruerede vækstmedier. Bringer 25 års professionel erfaring med vækstmedier og plantedyrkning i spil i udvikling af vækstmedier til byer for BG Byggros. Heraf har han i 15 år arbejdet i grænselandet mellem den grønne sektor og byggebranchen, hvor han har udviklet innovative systemopbygninger med vækstmedier og planter i form af grønne vægge og tage. Interesserer sig for innovativ produktudvikling af vækstmedier til professionel brug, der forbedrer eksisterende teknikker og egenskaber og understøtter vitale grønne og blå anlæg i byerne. Søren er specialist i optimering af vækstegenskaber og planternes fysiologiske betingelser for vækst. Han har stor viden inden for dyrkningsteknik med bl.a. produktion af stauder som produktionschef på staudegartnerier. Dertil har han en stor dyrkningserfaring og en innovativ tilgang til udvikling af vækstmedier og sammensætning af disse samt et stort kendskab til materialernes nicheegenskaber, og hvordan egenskaber påvirker og afhænger af hinanden.



# Sådan bruger du bogen

---

Bogen er tænkt som et opslagsværk, hvor man kan søge viden inden for det tema, man ønsker. På den måde fordrer det ikke, at læseren har læst alle kapitler. Ønskes der yderligere information om udvalgte fagbegreber, kan de findes ved hjælp af stikordsregistret. Bogen er inddelt i kapitler, hvor der til flere er knyttet en case, der illustrerer de områder, som kapitlerne omhandler. Derudover er der en eksempelsamling, datablade på et bredt udvalg af vækstmedier samt kildeliste.

## Kapitler

Bogen er bygget op om en række temaer (der udgør kapitler), som ofte er i brug ved forskellige typer anlæg.

## Cases

Efter flere af kapitlerne er der en række cases. Casene er hentet i hele landet, de har hver deres temaer og samler op på det foregående kapitel, hvor de bærende temaer er i spil. Fx er der en case fra Enebærvej, Værløse, hvor man ønskede regnvandshåndtering, umiddelbart efter kapitlet om regnvandshåndtering.

Casene har to opslag, og med ikoner er det vist, hvad casebeskrivelsens fokus er:

 Biodiversitet

 Bæreevne

 Vækstegenskaber

 Hydraulik

 Filtrering

## Faglige begreber

I kapitlerne er en række ord markeret med grønt. De grønne ord er fagbegreber, der forklares kort i ordlisten bag i bogen. De kan også slås op i stikordsregistret, så man efterfølgende kan læse mere om dem på de anviste sider.

## Eksempelsamling

Kapitlet er en praktisk guide, der viser eksempler på forskellige typer bede eller anlæg. Det kan bruges som idégrundlag eller direkte. Tegningsmateriale fra bogen kan sammen med yderligere tegningsmateriale hentes på [www.byggros.com](http://www.byggros.com).

## Datablade

Bagerst i bogen er der et bredt udvalg af datablade på forskellige produkter. De skal ses som forslag til vækstmedier til forskellige typer anlæg. Flere af produkterne er anvendt i casene i bogen.

## Kildeliste

Kildeliste findes bagerst i bogen, hvor der henvises til eksterne kilder, der anvendes inde i bogen.

Taghave, Budolfi Plads, Aalborg.



## INTRODUKTION

# Vækstmedier indtager byerne

---

### Grønne byer

I takt med at byerne vokser, stilles der også flere krav til byens funktioner og de muligheder, den skal kunne tilbyde dem, der bor i eller bruger byen. Samtidig ændrer klimaet sig; øgede regnmængder og længere tørkeperioder er nogle af forandringerne. Det skaber udfordringer, som må løses.

Klimaændringerne er en stærk katalysator for byudviklingen og er med til at trække mere grønt ind i byerne til glæde for både byens beboere, besøgende og de planter og dyr, der lever der. Adgang til parker og grønne områder højner livskvaliteten og forbedrer den mentale tilstand. Dermed er det grønne i byerne med til at understøtte folkesundheden – også i fremtiden. De grønne, urbane rum skaber også større fordampning, og det er med til at sænke temperaturen i byerne.

Ved byplanlægning fokuseres der ofte på klimatilpasning og biodiversiteten, som begge ligger højt på den politiske dagsorden, og det har resulteret i, at man både finder mange spændende løsninger til håndtering af fx regnvand og finder en varieret biodiversitet i byerne. I takt med at vores viden om vigtigheden af at have noget grønt omkring os vokser, stiger vores krav til kvaliteten af det grønne, der omgiver os. De grønne byrum kan både bidrage med æstetisk værdi, frodighed og håndtering af nogle af de klimaændringer, der ses, og derfor er de vigtige ikke bare nu, men også i fremtiden. Hvis vi kan skabe grønne, vitale oaser i byerne, kan de modvirke urbane varmeøer, samtidig med at de kan skabe merværdi til dem, der bruger byen.

### Vækstmedier i byen

I anlæg af grønne byrum skabes der fysiske grænseflader. Her mødes forskellige materialer, og derved opstår der brud i jordsøjlen, som ikke findes i naturen. Det kan fx være mellem et plantehul og en kørebane. Grænsefladerne har betydning for vandets naturlige vej, da den derved også bliver brudt. Man kan derfor ikke betragte jorden isoleret, men den skal kunne fungere med de grænseflader, der spiller op mod den.

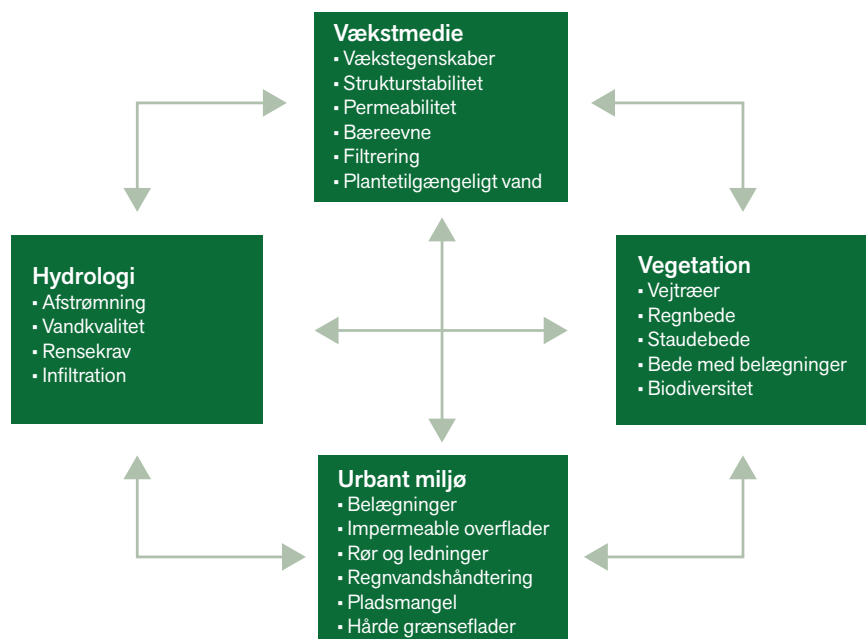
Når vækstmedier bruges til disse anlæg, er det derfor vigtigt, at der tages udgangspunkt i hvert enkelt projekt, så det bedste valg træffes ud fra de forudsætninger, der er til stede. Hvor skal anlægget placeres, hvilke

ydre påvirkninger er der, og hvad er formålet med anlægget? Ofte er der hård kamp om kvadratmeterne i byerne, og der er mange interesser i og over jorden. Under jorden findes der rør, kabler og ledninger, som begrænser volumen af plantebede. Over jorden kan placeringen påvirkes af færdsel, tilledte vandmængder, udtørring, vindkorridorer, sol eller skygge. Derfor kan man ikke betragte jorden alene. Hele løsningen må betragtes, så man træffer valg omkring anlægget på et velfunderet grundlag.

I byen findes der mange forskellige steder, hvor der anvendes vækstmedier. Det er fx:

- Vejbede med træer og stauder
- Bede, der går under belægninger og kantsten
- Regnbede
- Grønne tage
- Løsninger på dæk

Alle de forskellige scenarier, hvor konstruerede vækstmedier indgår i anlæg af grønne byrum, stiller krav til multifunktionaliteten i anlæggene. Det kræver et vækstmedie med mange forskellige egenskaber, der kan spille sammen med de andre flader, det møder. De multifunktionelle krav sætter derfor et øget fokus på konstruerede vækstmedier, som er sammensatte for at opnå specifikke egenskaber, der kan passe til det enkelte anlæg. På grund af de mange stressfaktorer i byen er der stor forskel på, hvordan forskellige jorde og vækstmedier performer i de forskellige kontekster. Da netop kompleksiteten er i spil i byerne, er det nødvendigt, at bygherren stiller krav til vækstmediernes egenskaber og kræver dokumentation for dem hos producenterne, så et godt resultat opnås.



Interaktion mellem jorden og andre aspekter i det urbane miljø.



Det grønne i byerne er kommet for at blive, og den stadig voksende kompleksitet stiller krav til alle dem, der professionelt arbejder med anlæg: byplanlæggere, landskabsarkitekter, entreprenører og anlægsgartnere. Byrummet er komplekst med begrænsede arealer, hårde grænseflader og kampen om den plads, der er til rådighed. Det kræver et godt kendskab til hinandens faglighed og et stærkt samarbejde på tværs af faggrupper for at skabe grønne byrum, hvor der i fremtiden kan skabes endnu bedre vækstbetingelser på de mange udfordrede steder i byen.



## KAPITEL 1

# Jord i dag

---

Krav og ønsker om, hvad en jord skal kunne i dag, stiger. I takt med at vi er blevet mere bevidste om jordens rolle i forbindelse med at gøre byerne mere grønne, har vi større og større forventninger til det, den skal kunne. Det kan være alt fra gode vækstegenskaber for planter enten i terræn eller på dæk til høj bære- eller filtreringsevne. Derudover er en stigende interesse for grøn certificering også ved at finde vej til vækstmedierne. Jord i dag sætter derfor flere fagområder i spil samtidig. Det udfordrer vores normale måde at tale og skrive om jord på. Det ser man både på måden, man beskriver jord på, og hvordan dens egenskaber dokumenteres. Det er derfor nødvendigt, at vi kan forstå de forskellige tilgange og deres traditioner at anskue jord på. På den måde kan de faglige forskelligheder blive en styrke, når fremtidens jorde skal vælges.

### Jord har mange navne

Jord har gennem tiden haft mange navne: Jord, vækstmedie, vækstjord, vækstsubstrat, substrat, konstrueret vækstmedie, matrice og medie er blot nogle af dem. I bogen bruges som udgangspunkt betegnelsen vækstmedie, hvis ikke specifikke navne som fx filterjord kan bruges.

### Naturlige jorde og konstruerede vækstmedier

Der er stor forskel på det, vi kalder en naturligt lejret jord, og et **konstrueret vækstmedie**. Først og fremmest er tid en vigtig parameter, da naturligt lejret jord er skabt ud fra et materiale, der gennem tiden er blevet påvirket af nedbør, levende organismer i jorden, klima og terrænet, som jorden ligger i. Det er konstruerede vækstmedier ikke.

Den naturligt lejrede jord består af en række mineralske partikler som fx grus, sten, sand, silt og **ler**. Derudover er der en andel organisk materiale og **humus**, der stammer fra dyr og planter. Den organiske del i jorden er med til at frigive **næringsstoffer**, efterhånden som den nedbrydes af mikroorganismer, og derudover kan den holde på en mængde vand, som planterne kan bruge.

## KONSTRUERED VÆKSTMEDIER

Konstruerede vækstmedier er et sammensat vækstmedie, der kan være sammensat, så det kan opnå specifikke egenskaber.

Et konstrueret vækstmedie er betegnelsen for jorde, der er sammensatte og eventuelt lavet for at opnå specifikke egenskaber. Det kan fx være gode vækstforhold, hydrauliske forhold, bæreevne eller lignende. Et konstrueret vækstmedie kan dog også blot være et sammensat vækstmedie, hvor man ikke nødvendigvis kender materialeegenskaberne for det. Vækstmedier er derfor ikke ens, da de kan være sammensatte med forskellige hensigter.

Konstruerede vækstmedier har den store fordel i forhold til naturlig jord, at leverandøren kender – eller har mulighed for at kende – de enkelte deles oprindelse og vækstmediets egenskaber. Ved at kende data og forstå datagrundlaget for de forskellige typer vækstmedier er det muligt at stille krav til dem og deres egenskaber og derudfra vælge det vækstmedie, der passer bedst til det enkelte projekt.

## Jord i byer

Grønne anlæg i urbane kontekster stiller krav til de vækstmedier, der benyttes. Den naturligt lejrede muldjord, som er udviklet over tid, tåler dårligt mekanisk arbejde som opgravning, flytning og belastning, da det skader den naturlige struktur i jorden og derved ændrer den naturlige lejring og i sidste ende jordens egenskaber. Derfor er muldjord udfordret og performer i mange tilfælde dårligt de første år i urbane bede som fx vejbede. Det skyldes dels den maskinelt ødelagte struktur, dels de rammer, jorden skal fungere i. Byens processer er markant anderledes end det åbne lands, og de ydre stressfaktorer som tørke, periodisk øget vandtilførsel og vægtpåvirkning arbejder mod den naturlige jords mulighed for at regenerere sig selv i urbane miljøer. Desuden har de ydre stressfaktorer en negativ indvirkning på flere nødvendige vækstegenskaber som ilt- og vandforhold i jorden. I konstruerede vækstmedier har man mulighed for at tage højde for disse udfordringer og løse dem.

I byerne er der mange stressfaktorer, og da der samtidig er stor forskel på forskellige vækstmediers styrke, må man forholde sig til lokationen samt de ydre påvirkninger, der findes det pågældende sted, så jorden fx kan modstå belastning og ikke kollapser på grund af ydre stressfaktorer. Typisk vil deformation og kollaps af jord skyldes, at et forkert vækstmedie er anvendt. Vækstmediets styrke afhænger af dets sammensætning, dets bestanddele og formen på disse. I traditionelle muldbaserede jorde, som ikke har et bærende skelet, vil mængden af vand yderligere kunne påvirke jordens styrke negativt. Det er derfor nødvendigt, at man i projekter, hvor jordens bæreevne udfordres, får en fagperson, fx en geoteknisk ingeniør, til at vurdere vækstmediets bæreevne eller bruger en leverandør, der kan dokumentere bæreevnen for et materiale, så man sikrer, at der ikke sker kollaps. Styrke i et vækstmedie kan også opnås på mere kunstig vis ved at anvende plastikkassetter eller -celler. Man skal dog være opmærksom på, at denne løsning ofte er dyr i materialer og i anlæg.

## STRESSFAKTORER

Stressfaktorer i det urbane miljø kan fx være tørke, øget vandtilførsel, vægtpåvirkning eller ødelagt jordstruktur.

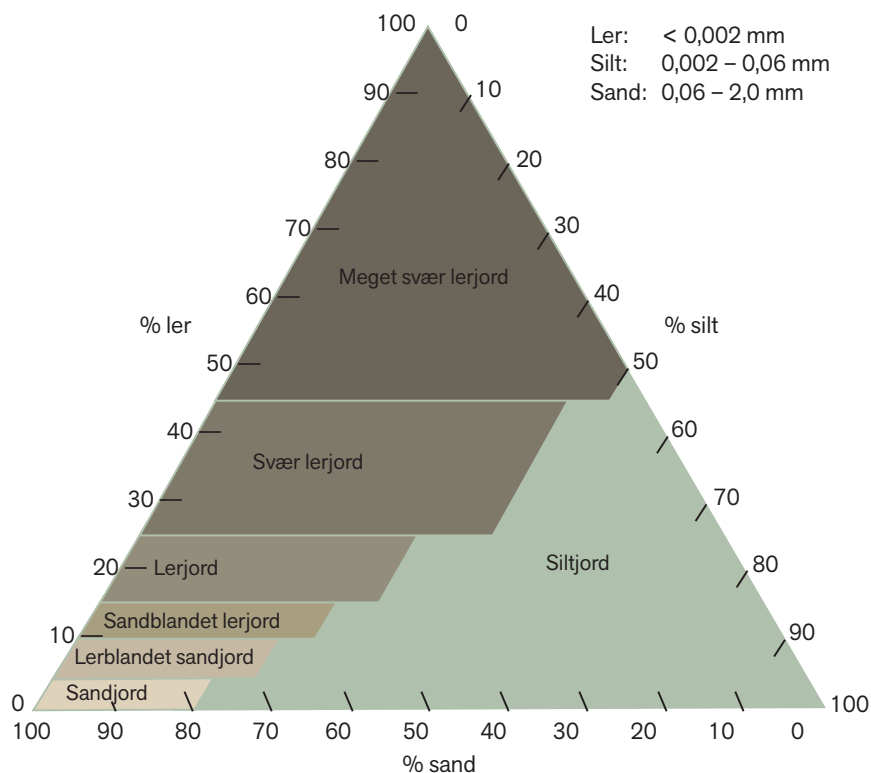
**TEKSTUR / STRUKTUR**

**Tekstur:** Udtryk for fordelingen mellem mængden af partikler i en jord.

**Struktur:** Et udtryk for måden, partiklerne er fordelt mellem hinanden i jorden.

**Jordens tekstur**

I jorden findes der en mængde forskellige partikler som fx silt, ler og sand. Fordelingen mellem mængden af disse partikler i en jord kaldes tekstur. Teksturen danner baggrund for jordbetegnelserne som fx siltjord, lerjord og sandjord. Teksturanalyse dækker kornstørrelser fra 0 til 2 mm, og analysen anvendes traditionelt til inddeling af muldjord i teksturklasser. Da konstruerede vækstmedier ofte indeholder en større andel af partikler > 2 mm, kan man ikke bruge analysemetoden i sammenhæng med denne type konstruerede vækstmedier.



Teksturklasser med procentvis indhold af ler, silt og sand.

## Jordforbedring

*Definition* **Behandling af jord for at opnå forskellige egenskaber.**

Jordforbedringer foretages ofte, hvor den allerede eksisterende jord ikke lever op til de ønsker, man har. I stedet for at udskifte jorden vælger man til tider at jordforbedre den, så den får de egenskaber, man ønsker. De egenskaber, som man kan have ønske om at ændre, kan fx være:

- Luftindhold
- Permeabilitet
- Organisk indhold
- pH-værdi
- Næringsindhold

Jordforbedringer kan ske på flere måder:

- Tilsætning af jordforbedringsmiddel eller -materialer
- Mekanisk jordforbedring
- En kombination af ovenstående

### Jordforbedringsmidler eller -materialer

Der findes et bredt udbud af **jordforbedringsmidler**. Det kan derfor være svært at navigere i udvalget og finde netop det jordforbedringsmiddel, der er bedst til den pågældende jord. Det, der gør valget kompliceret, er, at der stort set ikke findes noget jordforbedringsmiddel, som vil give de samme forbedrende egenskaber i alle tilfælde, da det også er afhængigt af den jord, det blandes i. Det vil sige, at et jordforbedringsmiddel eller -materiale godt kan have nogle specifikke egenskaber i sig selv, men de egenskaber vil altid reagere i forhold til den jord, som den blandes i, og derfor vil resultatet variere. Det er derfor ikke nok at kende og forstå, hvad jordforbedringsmaterialet består af, og hvad det selvstændigt kan, for det er også nødvendigt at vide, hvordan det vil reagere ved iblanding, og netop heri ligger kompleksiteten.

For at få det bedste resultat er det derfor nødvendigt at kende den eksisterende jord så godt som muligt både fysisk og kemisk. Det vil være nødvendigt at indsende jordprøver til analyse, og alligevel kan det være svært at få det fulde overblik over jordens tilstand. Derudover vil det være optimalt med en kritisk tilgang til valg af jordforbedringsmiddel, så det bedste vælges ud fra ønsker om forbedring og den eksisterende jords tilstand. En fagligt valid leverandør eller rådgiver vil kunne give sparring og bør kunne forholde sig til analysen af den eksisterende jord, når jordforbedringsmidlet vælges. Det er dog vigtigt, at man her husker på, at en leverandør af jordforbedringsmidler som udgangspunkt kun kender egenskaberne på sit eget produkt og ikke på den jord, man står med. Derfor vil et fagligt samarbejde være nødvendigt for at finde det bedste middel. For

at jordforbedringen skal lykkes, er det også nødvendigt, at man forstår de påvirkninger, jorden udsættes for, og at man kan gennemskue, hvorfor jorden ikke er som ønsket – og om det overhovedet er realistisk at få den ændret til det ønskede. Hvis ikke vil en investering i jordforbedringsmidler være formålsløs.

### **Eksempel Biokul**

Biokul markedsføres som et godt jordforbedringsmiddel, der kan være vandtilbageholdende, fungere som næringsbuffer og være med til at give mere struktur og luft. Det er dog værd at lægge mærke til, at der findes mange varianter af biokul, og det vil være relevant at bede leverandøren om dokumentation for produkternes evne til ovenstående. Det gør derfor brugen af biokul kompleks, da det kræver, at man undersøger den enkelte leverandørs type biokul.

Biokul kan påvirke mange egenskaber på én gang:

#### **▪ Markkapacitet**

Biokul er et porøst, vandsugende materiale. Det kan derfor opmagasinere vand inde i selve kullet. At kunne tilbageholde mere vand er ikke altid positivt, hvis det er på bekostning af luftindholdet i jorden, hvilket påvirkes af kornstørrelserne i den samlede blanding og dermed af kulletets kornstørrelsesfordeling. En væsentlig parameter er også andelen af biokul, der blandes i.

#### **▪ Luft-/iltindhold i jorden**

Afhængigt af biokullets evne til at suge vand og kornstørrelsesfordelingen vil iblanding med biokul påvirke luftforholdet i jorden til en vis grad. Det er vigtigt at bemærke, at alene kornstørrelsen og mængde vil påvirke luftindholdet forskelligt.

#### **▪ pH**

Biokul er normalt basisk med en pH-værdi på 9-10. Ved iblanding vil det være med til at hæve pH-værdien i jorden. En pH > 8 i jorden vil normalt ikke være positivt i forhold til næringsstofferne tilgængelighed for planterne. Derfor skal mængden, der iblandes, overvejes.

#### **▪ Næringsforhold**

Biokul kan indeholde en række forskellige næringsstoffer og kan derfor også virke som buffer for dem. Typisk vil biokul tilføre næring, men indholdet kan variere meget.

De ovennævnte punkter viser, hvor bredt biokul kan favne rent jordforbedringsmæssigt. Det kan godt lade sig gøre at opnå det ønskede resultat, men det kræver en del viden om det specifikke materiale, før man kan forudsige effekten.

Selv mere simple materialer som grus eller sten vil ikke opføre sig ens i forhold til den andel, der blandes i en given jord. Ofte vil der skulle være en vis andel, en kritisk andel, der skal iblandes for at opnå en positiv effekt. Der vil også kunne opstå niveauer, hvor tilsætning kan have den modsatte effekt. Derfor er det nødvendigt at tage højde for både den jord, det skal blandes i, og selve jordforbedringsmidlet. Derudover bør man generelt være meget kritisk over for generaliserende tilgange og vejledninger, fx om materialeegenskaber og iblandingsvejledning, da de typisk kun vil have afsæt i en del af problemstillingen.

Endelig bør det nævnes, at hvis jorden er meget dårlig, kan tilsætning af jordforbedringsmidler ikke nødvendigvis gøre det til en god jord. Man bør ligeledes være opmærksom på, at der vil være nogle scenarier, hvor man ikke bør anvende eksisterende jord, da succesraten vil være så lille og den efterfølgende drift derfor markant højere. Det giver som oftest et dyrt anlæg, som samtidig har en meget kortere levetid end tilsigtet. Det kan fx være ved forurenede jord eller jord uden struktur. Her bør man overveje andre måder at frembringe en god jord på.

### **Mekanisk jordforbedring**

En måde at forsøge at forbedre en jord på er ved mekanisk bearbejdning. Det kan fx være ved fræsning. En god jord kan som udgangspunkt ikke forbedres ved mekanisk behandling. Den vil kunne løsnes, men enhver mekanisk behandling vil principielt nedbryde strukturen i en eller anden grad, og det vil påvirke jorden negativt efterfølgende. Hvis en mekanisk behandling medfører neddeling af strukturen, vil effekten kun være midlertidig, da der så ikke vil være en bærende struktur i jorden til at opretholde fx luftindholdet.

---

**Eksempel** Ved fræsning af jorden vil det ved første øjekast efterlade jorden luftig. Der er dog imidlertid stor sandsynlighed for, at den mekaniske behandling har ødelagt en del af den eksisterende struktur, der var i jorden. Efter noget tid vil jorden igen sætte sig, men nu med risiko for at falde endnu mere sammen end udgangspunktet, da strukturen kan være ødelagt.

Som udgangspunkt skal jord beskyttes mod unødigt belastning, og enhver håndtering som fx mekanisk jordforbedring vil medføre risiko for at påvirke jorden negativt. Selvfølgelig er der stor forskel på, hvor følsomme jorde er, men skaderne kan i nogle tilfælde være ganske store.

---

Taghave på parkeringsdæk.





## Jordtyper

Der findes i dag mange forskellige typer konstruerede vækstmedier, som sammensættes til forskellige formål. Det er fx **skeletjord** eller **filterjord**. De forskellige typer konstruerede vækstmedier har hver deres egenskaber, som er gode at kende. Derudover kan anvendelsen af dem medføre visse udfordringer, og her nævnes nogle af de parametre, som man bør være opmærksom på.

---

### **Eksempel** **Skeletjord**

*Definition* **Jord, der ved kornkontakt danner et bærende skelet.**

I en skeletjord findes der større partikler, der danner et skelet, som tilfører jorden styrke. Organisk materiale og mindre partikler vil lægge sig i skelettets hulrum. For ikke at gå på kompromis med skelettets styrke må de øvrige bestanddele ikke have en fylde, der overskrider skelettets hulrum. Skeletjord er altså jord med kornkontakt, hvor der er hulrum imellem, men hvor der ikke er puttet så meget organisk materiale – eller andre materialer – i, at det ødelægger den bærende struktur. Skelettets styrke afhænger af materialets styrke og materialernes kornstørrelse og fordeling. Styrken kan og bør eftervises på et vækstmedie, så der findes dokumentation for vækstmediets styrke, hvis det udsættes for belastning.

Makadam er en kendt skeletjord, hvor skelettet består af massive sten, fx af granit. Der findes dog en langt bredere palet af skeletjorde, hvor det bærende skelet består af forskellige typer korn, både massive og porøse som pimpsten og lava.

Skeletjorde bruges der, hvor vækstmediet vil blive udsat for tryk fra fx belægnings med fare for potentiel komprimering. Det gælder fx kantsten, tryk fra vejkanter og tryk fra massiv færdsel som trafikerede gader eller skolegårde.

---

### **Eksempel** **Stockholm-metoden**

*Definition* **En bærende skeletstruktur af granit med en mindre mængde af andet materiale som fx biokul.**

Stockholm-metoden er en svensk metode til at skabe bedre vækstvilkår til træer i urbane miljøer med en særlig form for skelet. Metoden er udviklet af træforvalter Björn Embrén fra Stockholm Kommune, der som så mange andre træforvaltere i byerne havde store udfordringer med at få vitale bytræer til at lykkes. Den begrænsede rodvolumen, der var til rådighed i jorden, forårsagede begrænset kronevækst og resulterede i mistrivsel og deraf hyppig udskiftning af vegetationen. Han udviklede derfor en metode, der skulle forhindre det, fordi han ønskede at udnytte jorden under det belagte gadeplan til træerne, der hermed fik større volumen til rødderne.

Metoden, der senere blev døbt Stockholm-metoden, består af en bærende skeletstruktur af granit, som er opbygget i 2-3 lag, hvori der er spulet andre materialer i som fx biokul og i nogle tilfælde en blanding med organisk indhold. Da opbygningen primært består af granit, er den yderst næringsfattig, og derfor er det nødvendigt med et supplerende gødningsprogram, for at planterne får de nødvendige næringsstoffer, samt vanding. Metoden kan ikke umiddelbart replikeres uden at se på hele metoden både ved anlæg og især den efterfølgende drift. Stockholm-metoden giver mulighed for en øget rodvolumen, men der skal også målrettet og bevidst arbejde med egenskaber som tilgængelig ilt, vand og næringsstoffer til, for at det kan lykkes. Björn Embréns arbejde med korrekt anvendelse og opbygning af materialerne sikrer, at luftindholdet i jorden er optimalt, og ved at tillede vand fra et større areal sikrer han tilstrækkelig vandtilførsel til de specifikke træer, der gror i bedene. Da det tillede vand er regnvand, må der et ambitiøst gødningsprogram til, da regnvand i sig selv kun indeholder begrænsede mængder næring. Den store nærings-tilførsel er derfor en vigtig parameter for træernes vækst og vitalitet.

Stockholm-metoden er et glimrende eksempel på, at man kan opnå flere egenskaber i samme vækstmedie, men det er samtidig også en vigtig lektie i, at kompleksiteten rummer mange faktorer, der skal gå op i en højere enhed for at sikre vækst og vitalitet. Derudover må man forholde sig til mulighederne på den enkelte lokation og i det enkelte bed for at finde den rette løsning. Det er derfor meget vigtigt at se metoden i dens fulde perspektiv, da man ikke kan nøjes med at replikere dele af den.

### **Eksempel** Filterjorde

*Definition* **Jordtype, der bruges i forbindelse med filtrering af regnvand i fx regnbede.**

Filterjord bruges i forbindelse med regnbede, hvor man ønsker en vis grad af filtrering, fx fra forurenede regnvand fra befæstede arealer. Typisk anvendes 30-50 cm filterjord i toppen af et bed. Filterjord er en muldjord, hvor der stilles nogle krav til, hvad jorden skal opfylde. Der findes ingen faste regler eller standarder i Danmark for, hvad en filterjord indeholder, men i Videnblad, nr. 7.03-03, *Sammensætning og brug af filterjord*, udgivet af Skov og Landskab, Københavns Universitet, maj 2015, er der en række anbefalinger til sammensætning af filterjorden, fx:

- **pH**  
6,5-8, men helst i den lave ende af intervallet
- **Permeabilitet**  
 $10^{-5} - 10^{-4}$  m/s
- **Organisk indhold**  
1-3 % (vægtprocent) og af så stabil karakter som muligt
- **Ler- og siltindhold**  
Det samlede indhold af ler (< 0,002 mm) og silt (< 0,063 mm) bør ligge mellem 5 og 10 % (vægtprocent)

Ud over ovennævnte fire punkter bør jorden som udgangspunkt være ren, fx klasse 0 i Sjællandsvejledningen. Det gælder også, at der ikke bør være høje mængder fosfor, som let kan udvaskes med regnvandet.

De forholdsvis åbne krav til en filterjord kan give visse udfordringer. Fx ligger værdien for permeabiliteten eller gennemløbshastigheden inden for et bredt spænd på faktor 10. Da permeabiliteten har direkte indflydelse på vandets kontakttid med jorden og deraf filtrering, kan det være svært at angive præcise filtreringsresultater for en filterjord.

Baggrunden for de eksisterende anvisninger bygger på, at man gerne skal kunne anvende lokal muldjord som filterjord, evt. med lidt forbedringer. Problemet ved denne tilgang er den store varians, kravene åbner for, og dermed følger også stor varians i egenskaberne i jorden. Det viser sig ved, at nogle regnbede fungerer efter hensigten, mens andre regnbede ikke fungerer. Man kan derfor ønske, at kravsspecifikationerne bliver mere snævre og med specifikke egenskaber, der underbygger den ønskede funktionalitet.

---

## Kornkurve

*Definition* **En kurve, der fortæller om en jords fordeling af kornstørrelser.**

Kornkurven laves på baggrund af en simpel sigteanalyse, hvor mængden af gennemfald i forskellige maskestørrelser registreres. Den procentvise angivelse af de enkelte kornstørrelser i blandingen indføres i et enkeltlogaritmisk koordinatsystem med gennemfald i procent op ad y-aksen og maskevidde i mm hen ad x-aksen. Kornkurven viser fordelingen af de enkelte kornstørrelser i mediet, og formen på kornkurven viser, om en jordprøve har en høj koncentration af én kornstørrelse, eller om den har en bred fordeling af kornstørrelser. Det er vigtigt at være opmærksom på, at kornkurven ikke siger noget om kornenes form, men udelukkende om størrelsen på kornene. Fordelingen af kornstørrelser i et medie har indflydelse på en lang række egenskaber i mediet, og derfor er kornkurven et værdifuldt redskab til at vurdere dem. Men den kan ikke stå alene.

Brugen af kornkurver til beskrivelser af vækstjorde i agerlandet, hvor de naturlige jorde bygger på massive korn af mineralogiske materialer, er ikke noget problem. Men den forudsætning er ikke til stede, når vi arbejder med vækstmedier til byerne. Her er nye materialer kommet til som fx de porøse materialer pimpsten og lava, og deres egenskaber afspejles ikke i en kornkurve. Arbejder man med vækstmedier i byerne eller ønsker specifikke egenskaber, bør man derfor aldrig lade en kornkurve stå alene, men derimod efterspørge supplerende data for materialernes egenskaber.

Kornkurver omtales i *Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2*, der i daglig tale ofte bliver omtalt som *FLL-guiden*, og som derfor i denne bog også kaldes det. FLL-guiden anviser kornkurver til FLL 1- og FLL 2-jorde, der anvendes mere og mere i Danmark. Guidelinen er åben for anvendelse af en lang række materialer til jordene, men den tager des-

værre ikke hensyn til det i sit krav til kornkurver for vækstmedierne. Ved brug af FLL-guiden skal man derfor være opmærksom på, at der ved brug af kornkurver er forskel på, om et produkt indeholder porøse, sugende materialer eller ikke. Derfor bør man også nøje overveje, hvilke egenskaber man ønsker, og om kornkurven alene kan repræsentere dem. FLL-guiden beskriver ved siden af kornkurven også krav til de direkte vækstrelaterede egenskaber, men opstiller ikke en vægtning af de anførte krav. Skal en kornkurve give mening i forhold til et vækstmedie, skal de anvendte materialer med tilhørende egenskaber samtidig beskrives. Kornkurven kan derfor ikke være den bærende del af beskrivelsen af et vækstmedie, men et supplement, som bør følges op med yderligere data om materialernes specifikke egenskaber.



## CASE

# Ø-LINJEN, AARHUS

---

På **Ø-Linjen, Aarhus**, ønskede man at skabe et område, der kunne danne grundlag for ophold, aktivitet og nydelse for bydelens beboere og besøgende. Projektet dækker over et 8.000 m<sup>2</sup> stort areal, kaldet Ø-Linjen, der strækker sig langs de fire øer på den gamle pier 4, som er den første del af Aarhus Ø. Resultatet skulle danne et grønt strøg, der bandt de fire øer sammen, og byparken skulle etableres oven på parkeringskældre.

Denne type projekt er et enestående eksempel på, hvordan konstruerede vækstmedier kan skabe de nødvendige vækstbetingelser for parker på dæk. Nødvendigheden af et letvægtsmedie, som både har kontrollerede hydrauliske egenskaber og optimale vækstbetingelser, opnås med en veldefineret skeletstruktur og velkendte materialer.

# Ø-Linjen

Aarhus

**Anlægstype:** Byhave/taghave

**Realiseringsår:** 2017-

**Bygherrer:** Aarhus Kommune, PenSam, Topdanmark, Lighthouse

**Design og udførelse:** SLETH, Buus Anlægsgartner A/S og Willab Garden

**Fondsmidler:** NRGi og Realdania



Til projektet er der benyttet LetVext til at danne grobund til fx græs og træer. Kombinationen af at være det letteste vækstmedie til taghaver og dets unikke egenskaber i forbindelse med at håndtere vand i en tagopbygning gør, at det er muligt at stille de bedste vækstforhold til rådighed.



På området er det opsat insekthoteller og bistader. Der er ligeledes plantet blomstrende buske og træer, som sikrer en lang blomstringssæson.



Vækstmediet LetVext sikrer en maksimal markkapacitet og dermed størst mulig buffer i form af plantetilgængeligt vand. Vækstmediet har høj permeabilitet og sikrer i samspil med det underliggende dræningssystem effektiv vandhåndtering på hele dækket.







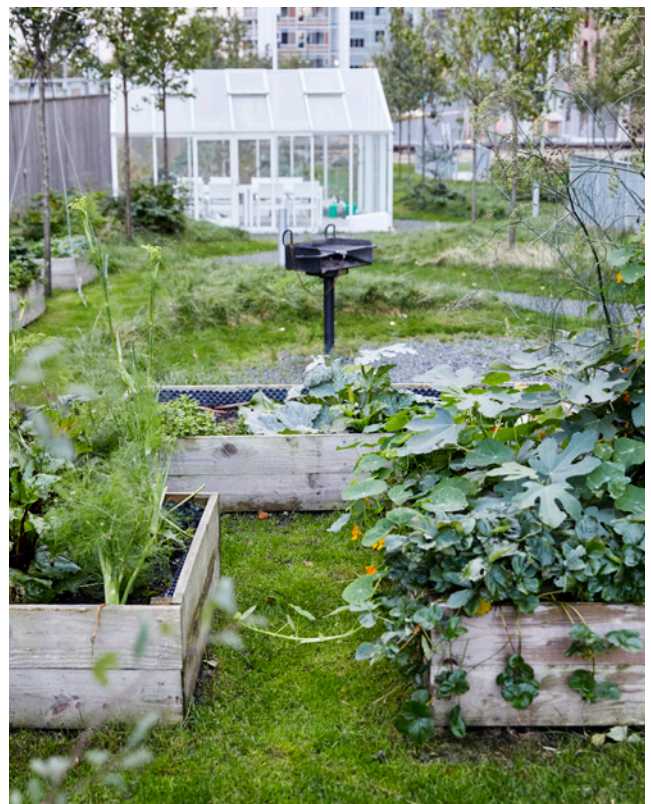


Frodigt naturpræg skaber god stemning og indbyder til ophold. Langs stien ses nedgangen til den underliggende p-kælder.

Principsnit af opbygning af taghave på dæk. Opbygningen sikrer den rigtige hydrauliske funktion og afdræning.

LetVext Intensiv  
 Filterdug, VLF 200  
 Armeringsnet 100 x 100 cm, 12-mm tråd  
 Filterdug, VLF 200  
 Dræn- og vandreservoir, DiaDrain 40H  
 Fugtbevarende beskyttelsesdug, VLU 300  
 Rodbeskyttelsesfolie, LDR 1000  
 Vandtæt membran

Tagkonstruktion



Den grønne taghave står i flot kontrast til Isbjergets ikoniske facader.

Beboernes personlige præg kan bl.a. opleves i området med højbede.



## KAPITEL 2

# Retningslinjer, normer og guidelines

---

I forbindelse med projektering og anlæg af grønne byrum arbejder mange forskellige faggrupper sammen, og det kan være udfordrende, fordi hver faggruppe kan have sit eget fagsprog samt egne normer og standarder. Der findes ikke ét værk, der samler al viden om anlæg med vækstmedier, men en række forskellige, hvor flere af dem relaterer til den tyske FLL-guide, mens andre kan have et dansk afsæt. Man er derfor nødt til at forholde sig til, hvordan data er angivet og fremstillet i hvert enkelt værk, da de mange forskellige værker udspringer både fra forskellige nationaliteter og fra vidt forskellige faglige afsæt. Derfor fremstilles data ikke nødvendigvis ud fra samme grundlag, ligesom de ikke altid bruger samme enheder ved angivelse. Vigtigheden i at have valide og sammenlignelige data bliver netop tydelig i de faglige grænseflader. Der er derfor et behov for, at man er opmærksom på de forskellige normer og standarder, der ligger til grund for oplyst data.

### Normer og guidelines

I arbejdet med **konstruerede vækstmedier** er der et behov for at kunne behandle data og værdier tværfagligt, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på, hvad de brugte normer og guidelines udspringer af, hvem der er afsender, og hvilke grundlag de bygger på. Afkodes de ikke rigtigt, kan det danne grundlag for både misforståelser og anlæg, der fejler. Tværfagligt samarbejde er nødvendigt og kan være en styrke for anlæg med høj kvalitet, men det kan også udfordre på grænsefladen mellem de forskellige faggrupper. Ved at have fokus på de forskellige faggruppers forskellighed og derved de forskellige guidelines, normer og regler og deres baggrund sikrer man, at det tværfaglige samarbejde højnes til alles bedste.

## FLL

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. eller FLL er en tysk fagligt funderet organisation, hvis formål er at underbygge erfaringsudveksling og vidensdeling inden for anlægsbranchen. FLL laver mange forskellige guidelines til anlægsbranchen som fx *Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2*, der primært behandler jord i terræn, og *Green Roof Guidelines*, der omhandler grønne tage.

### ***Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2* eller FLL-guiden**

*Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2* fra 2010 eller *FLL-guiden*, som den ofte bliver omtalt og også omtales i bogen, udgives af Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. FLL-guiden er en tysk guide til planlægning, konstruktion og vedligeholdelse af anlæg med jord eller vækstmedier i terræn. FLL-guiden fornys hvert 5.-10. år og repræsenterer derfor ikke nødvendigvis det helt nye, til gengæld bygger den på mange års erfaringer. FLL-guiden er meget konkret og detaljeret og beskriver også mange af de problematikker, man bør være opmærksom på, når man arbejder med konstruerede vækstmedier. Ved brug af FLL-guiden er det vigtigt at være opmærksom på, at den ikke er et regelsæt, men mere beskriver nogle anbefalede rammer, man bør holde sig inden for. FLL kan derfor betragtes som en samling guidelines. Forskellen på et regelsæt som fx **EC**, **eurocode**, og FLL-guiden er, at FLL-guiden angiver nogle grænseværdier, hvis man fx ønsker at skabe et vækstmedie med nogle specifikke egenskaber, hvorimod en EC-kode er et regelsæt, man skal følge.

I Danmark har vi ikke et værk som FLL-guiden, men vi har *Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde*, der udgives af Danske Anlægsgartnere. Den er dog langt mere generel, og derfor er FLL-guiden et godt bud, når man vil have et værk, hvor mange vigtige erfaringer og viden er samlet. I nogle byer i Tyskland, som fx München og Köln, er der lavet en overbygning til denne FLL-guide for at gøre den endnu mere specifik. I Danmark findes der ingen overbygning til FLL-guiden.

Ved brug af FLL-guiden i forbindelse med konstruerede vækstmedier skal man være opmærksom på, at selvom brugen af porøse, sugende materialer i konstruerede vækstmedier har været brugt i flere år, er der ikke i FLL-guiden taget højde for det, fx i forbindelse med tolkning af **kornkurver**. FLL-guiden åbner for brugen af porøse materialer til vækstmedier, men da brugeren af guiden selv har en vis medindflydelse på valget, er det naturligvis vigtigt, at man forstår konsekvensen af sit valg i det færdige produkt, og det kræver en vis faglig baggrundsviden.

FLL-guiden er et rigtig godt redskab, hvis man er opmærksom på, hvordan man skal bruge den. Da guiden ikke giver entydige opskrifter på vækstmedier, men lader det være op til brugeren af guiden at fastsætte opskriften, er det nødvendigt at eftervise materialeegenskaberne fra gang til gang for at sikre, at de lever op til det ønskede formål. FLL-guiden giver derved plads til råderum for brugere. Det stiller krav om, at brugeren både må have forståelse for og holdninger til konsekvensen af sådan et råderum. Det er netop forskellen mellem en guideline som FLL-guiden og en standard som fx EC.

FLL-guiden findes kun på tysk, men en meget kort dansk opsummering af FLL 2 (jord) kan findes i foreningsbladet *Grønt Miljø*, der udgives af Danske Anlægsgartnere.

Bladet *Grønt Miljø* udgives af Danske Anlægsgartnere 10 gange årligt. I bladet tages aktuelle ting op, og i *Grønt Miljø* (10/2015) findes fx artiklen "Bytræernes kunstige jord", der er skrevet af Christian Nørgård Nielsen, Oliver Bühler og Lars Schultz-Christensen. Artiklens indhold bygger på FLL-guiden og kan derfor anses som en kort dansk introduktion til de tyske guidelines. I artiklen sættes der fokus på FLL-jorde og nogle af de udfordringer, der kan være knyttet til brugen af dem. Artiklen kan derfor bruges som afsæt til at forstå, hvad man kan bruge FLL-guidelines til. Samtidig gør den opmærksom på nogle af de udfordringer, der er i forhold til FLL-jorde – formen af sten, indlejringsgraden og eftervisning af den samt problematikken omkring fuld **indlejring** og konsekvens for vækstegenskaber. Derudover nævner artiklen problematikken omkring **bæreevne** for FLL 2-jord. Artiklen bringer derved nogle problematikker fra FLL-guiden op, som man må forholde sig til. Ønskes en mere uddybende viden, kan FLL-guiden med fordel læses.

### **Green Roof Guidelines**

*Green Roof Guidelines 2018* er også udgivet af Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. Guiden er specielt til grønne tage og dækløsninger og indeholder vejledninger om opbygning og vedligeholdelse af disse typer anlæg. Denne guide findes modsat FLL-guiden oversat til engelsk. Metodikkerne er de samme som bag FLL-guiden og har også samme afsender, og derved må måden, de bør anvendes på, være ens. *Green Roof Guidelines* er meget velfunderet, og ligesom med FLL-guiden er de normer og metoder, man bør teste efter, listet op i appendikset. Dermed peger denne guide også på en standard, selvom den ligesom FLL-guiden er en guideline, og det er positivt.

For at kunne sammenligne data er det vigtigt, at man har et fælles fundament at generere data ud fra. Derfor skal man være bevidst om, at hvis man ønsker at bruge de anviste normer og testmetoder i FLL-guiden, kan man ikke nødvendigvis overføre data til DS, Dansk Standard, én til én. Får

man testet sit produkt op mod de tyske normer og testmetoder, er det ikke mere rigtigt, end hvis man får testet ud fra DS. Begge testmetoder og normsæt er rigtige, men til enhver tid er det vigtigt, at data fremstilles med tilhørende normangivelse, så brugeren kan sammenligne med andre data. Hvis ikke det sker, ved brugeren ikke, om de to er fremstillet ud fra de samme eller helt forskellige præmisser, og derved om de reelt kan sammenligne data.

## **Normer og vejledninger for anlægsgartnere**

Vejledning, der udgives af Danske Anlægsgartnere.

*Normer og vejledninger for anlægsgartnere* udgives af Danske Anlægsgartnere og er en opslagsbog. I vejledningen er der meget praktisk anvendelig viden for fagpersoner, der beskæftiger sig med anlægsarbejde. Vejledningens afsæt til fx dimensionering af bærelag bygger på **katalogmetoden**. Derudover er det en fordel, at det i vejledningen er tydeligt, hvornår man taler normer og standarder, og hvornår det er mere vejledende anvisninger. Der peges også på, hvilke normer der ligger til grund for fx tabeller i bogen. DS/EC er markeret tydeligt med rødt i vejledningen.

I forhold til at arbejde med konstruerede vækstmedier kan vejledningen dog give udfordringer, da den kun ganske kort beskriver, hvordan man kan anvende jordtyper som makadam eller andre rodvenlige bærelag, og man derfor må søge andre steder for uddybende viden.

## **Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger og MMOPP**

Katalogmetoden:

Vejledning vedr. vejopbygning udgivet af Vejdirektoratet.

MMOPP:

Digitalt beregningsværktøj til vejbygning udarbejdet af Vejdirektoratet.

På Vejdirektoratets side om vejbygning ligger *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger*, som er et fælles normativt og vejledende materiale omkring vejbygning. Katalogmetoden er en standardbeskrivelse, som bruges ved anlæg af mindre veje, der ikke beregnes separat, eller hvis der er belastning på fx et bed. Vejdirektoratet står bag katalogmetoden, og det er funderet på vejreglerne, der danner grundlag for planlægning og projektering af anlæg samt drift af infrastrukturen i Danmark. Katalogmetoden må derfor anses for valid, og den angiver også konkrete løsninger på kendte problematikker ud fra en anerkendt platform.



## MMOPP

MMOPP er et beregningsprogram, som Vejdirektoratet står bag, og som tager udgangspunkt i *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægnings*. MMOPP kan derfor betragtes som tabelopslag i vejreglerne. Programmet kan bruges i situationer, hvor man ønsker tabelopslag og ikke specifik beregning på det pågældende anlæg. Det kræver dog, at man kender materialeegenskaberne for de materialer, man ønsker at bruge.

## SBi-anvisninger

Anvisninger om byggeri udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI).

SBi-anvisninger sammenholder forsknings- og erfaringsbaseret viden på et uvildigt grundlag, idet anvisningerne er udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) ved Aalborg Universitet. En *SBi-anvisning* er en publikation om, hvordan man i byggeriet løser opgaver inden for et givent område i overensstemmelse med god praksis. SBi-anvisningerne er dermed byggetekniske anvisninger.

### Har man pligt til at følge SBI's anvisninger?

SBi-anvisninger er en del af det, man kalder "det almene tekniske fælles-eje". Det betyder, at professionelle parter bør kende anvisningernes indhold, og hvis de udfører løsninger, som ikke er i overensstemmelse med anvisningerne, skal de selv kunne dokumentere, at løsningerne er i orden.

I SBi-anvisningerne om grønne tage findes der kun overordnede angivelser og fx ikke noget specifikt om, hvad vækstmediet skal kunne. Ønsker man nærmere beskrivelser, henviser SBI til den tyske FLL's vejledning om grønne tage, *Green Roof Guidelines*.

## Eurocode

Fælleseuropæisk norm inden for byggeriet.

*EC* eller *eurocode* er en europæisk fællesnorm, der inden for byggeri består af 10 regulativer. *EC* er et normregulativ, der til tider ses sammen med DS, Dansk Standard, som DS/*EC*.

### Nationale annekser

Hvert land har mulighed for at fastsætte nationale værdier, *nationale annekser*, *NA*, i forbindelse med eurocode. Det er Dansk Standards standardiseringsudvalg, der udarbejder de danske annekser for bygnings- og anlægskonstruktioner. De nationale annekser knyttes sammen med eurocode, så der fx både henvises til eurocode og til det nationale annekst.

## Dansk Standard

Dansk standardiseringsorganisation.

Er en testmetode beskrevet under Dansk Standard, bærer den benævnelsen DS. Er den gældende som EU-norm, bærer den ligeledes benævnelsen EN. DS/EN har en beskrivelse for testmetoden, der beskriver, hvilke materialer man må teste på netop denne måde. Er et materiale testet efter DS/EN, er det derfor et kvalitetsstempel, da testen er standardiseret og der derved skabes valide og sammenlignelige data. Testes to forskellige materialer fra to forskellige producenter ved hjælp af DS/EN, vil data derfor være sammenlignelige, fordi de er testet ud fra den samme forudsætning. At stille krav til, at data er fremkommet af DS-/EN-tests, gør det derfor nemmere at sammenligne forskellige materialer og træffe kvalificerede beslutninger ud fra det.

## SI-enheder

Internationalt enhedssystem.

SI-systemet er et praktisk, internationalt enhedssystem, der kan bruges ved alle typer målinger, fx mekaniske, elektriske og kemiske. Enhederne benævnes SI-enheder. Grundlaget for SI er de syv basisenheder:

- Længde (meter, m)
- Masse (kilogram, kg)
- Tid (sekunder, s)
- Elektrisk strøm (ampere, A)
- Absolut temperatur (kelvin, K)
- Lysintensitet (candela, cd)
- Stofmængde (mol)

SI-systemet er dermed et internationalt system, der sikrer, at man globalt kan sammenligne data.

Ved kendskab til SI-systemet kan data omregnes til andre enheder. Se fx [K-værdi](#), der kan optræde med mange forskellige enheder, i skemaet her.

	m/s	m/s = (mm/s) / 1.000	mm/s = (m/s) x 1.000	l/s/m <sup>2</sup> = mm/s	mm/min. = (mm/s) x 60	mm/time = (mm/min.) x 60
Filterjord, hurtig	10 <sup>-4</sup>	0,0001	0,1	0,1	6	360
Filterjord, langsom	10 <sup>-5</sup>	0,00001	0,01	0,01	0,6	36
"CityVext", pimpstenssubstrat	3,3 x 10 <sup>-4</sup>	0,00033	0,33	0,33	20	1.200
Leret jord	10 <sup>-7</sup>	0,0000001	0,0001	0,0001	0,006	0,36
Groft sand	10 <sup>-2</sup>	0,01	10	10	600	36.000

K-værdi for udvalgte materialer med forskellige enheder.



# Valdemars Have

Aarhus

Taghave på parkeringsdæk.







## KAPITEL 3

# Materialekendskab og materialevalg

---

Tidligere har man taget udgangspunkt i naturlige materialer med mineralsk oprindelse, når man taler om materialer til jord. Sådan er det ikke mere. På grund af de stigende krav til vækstmedier i dag er materialelisten blevet udvidet markant og indeholder fx også porøse bjergarter og biokul. Uanset hvordan man ønsker at arbejde med vækstmedier, er det absolut nødvendigt at have indgående kendskab til de forskellige materialer og deres specifikke egenskaber for at kunne træffe de bedste valg. Det gælder både, hvis man arbejder med at forbedre en eksisterende jord, eller hvis man vil konstruere nye vækstmedier.

### Valg af materialer

Traditionelt har man ved valg af materialer til fx vækstmedier ofte stillet krav til fremvisning af en **kornkurve** for materialet som en væsentlig parameter. I takt med at der stilles større krav til vækstmedierne i byerne og nye materialer vinder frem, er det dog en udfordring at fastholde denne vane. Kornkurven fortæller grundlæggende om fordelingen mellem kornstørrelserne i en jord og størrelsen af kornene, men den siger ikke noget om, hvilke materialer vækstmediet indeholder, og derfor heller ikke noget om vækstmediets kemiske egenskaber eller samspillet mellem de anvendte materialer. Derudover er der en del egenskaber, der ikke vises i en kornkurve. Det gælder fx kornkurver for **konstruerede vækstmedier** med porøse, sugende korn. Derfor bør man nøje overveje, om kornkurven kan bruges for det valgte materiale. For fremtidens vækstmedier bør kornkurven ikke stå alene, når materialer skal vælges, men derimod følges op med data for de valgte materials egenskaber og former, så alle materialets egenskaber bliver synlige.

Nedenfor ses en liste over udvalgte materialer, som omtales i denne bog:

## Ler

*Definition* **Materiale, der består af partikler fra nedbrudte bjergarter < 0,002 mm.**



Ler er dannet ved en fysisk og efterfølgende kemisk forvitring af bjergarter. Først nedbrydes fx kvarts, feldspat og glimmer til korn, som efterfølgende omdannes til lerminerale gennem den kemiske proces hydrolyse. Hydrolyse er en kemisk reaktion mellem vand og mineralsubstans, der omdanner kornene til lerminerale og opløst stof.

Når ler optager vand, kvælder den op. Når det sker, bliver overfladen på lerpartiklen negativ, og det gør, at den kan fastholde kationer på overfladen. Ler har en høj CEC-værdi (**kationbytningskapacitet**). Det gør, at lerjord ofte er næringsrig, da positive næringsioner kan fastholdes på lerpartiklernes overflade.

Imellem de enkelte lerpartikler findes der elektriske kræfter på grund af deres ladning, som bidrager til at gøre leret **kohæsivt**. Det kan ses, når man graver i det, hvor det er sammenhængende modsat fx sand. Det skyldes lerpartiklernes laggitterstruktur, hvorimod fx sand har rumgitterstruktur.

## Silt

*Definition* **Materiale med en kornstørrelse på 0,002-0,06 mm, der er dannet gennem forvitring.**



Se også under "Sand". Forskellen på sand og silt knytter sig til kornstørrelsen. Silt er en mere finkornet forvitring end sand.

## Sand

*Definition* **Materiale med en kornstørrelse på 0,06-2 mm, der er dannet gennem forvitring af en bjergart.**



Sand, grus, silt og sten har det til fælles, at de alle stammer fra fysisk forvitring af fx granit. Forvitringen skyldes flere ting som bl.a. temperatursvingninger og frostsprængninger på grund af nedsivet vand. Resultatet af forvitringen giver graduerede kornstørrelser og de deraf nævnte materialer. Således er de forskellige nævnte materialer ens kemisk set, mens det er strukturen, der er forskellig.

Grænsen mellem sand og grus er lidt forskellig mellem de forskellige faggrupper. Det anbefales derfor at anføre ønsket kornstørrelse eller interval, de skal ligge imellem. I geoteknisk regi bruges følgende angivelse af fraktion:

Ler: < 0,002 mm  
Silt: 0,002-0,06 mm  
Sand: 0,06-2 mm  
Grus: 2-20 mm  
Sten: > 20 mm



## Grus

*Definition* **Materiale med en kornstørrelse på 2-20 mm, der er dannet gennem forvitring af en bjergart.**



Se også under "Sand". Forskellen på grus og sand knytter sig til kornstørrelsen. Grus er grovere end sand.

## Sten

*Definition* **Materiale dannet ved forvitring af en bjergart med en kornstørrelse > 20 mm.**



Sten stammer fra fysisk forvitring af fx granit, der sker på grund af temperatursvingninger og frostsprængninger på grund af nedsivet vand. Sten findes i mange størrelser, men fælles for dem er, at de har egenskaber ud fra den bjergart, de stammer fra, og de er > 20 mm.

## Skærver

*Definition* **Skarpkantet klippemateriale, der er dannet ved knusning eller sprængning.**



Betegnelsen bruges om knust eller sprængt klippemateriale, der er skarpkantet. Skærver benævnes med efterfølgende størrelsesinterval, og de bruges i en lang række situationer inden for byggeri, hvor der særligt er brug for et stærkt lag med drænende egenskaber. Navnet skærver optræder til tider sammen med et funktionsbeskrivende ord som fx jernbaneskærver.

## Pimpsten

*Definition* **Let, porøs bjergart skabt under vulkanudbrud.**



Pimpsten er en vulkansk bjergart, som dannes under vulkanudbrud under høj gasudvikling og tryk. Når den flydende stenmasse slynges op i luften, udvider gassen sig, og derved dannes der porer, som gør bjergarten porøs. Efterfølgende lander de dannede pimpsten på jorden, hvor de afkøles. Størrelsen af de dannede pimpsten er typisk 0-50 mm. Da stenen er porøs, bruges den bl.a. til at binde [plantetilgængeligt vand](#) i vækstmedier.

## Knust tegl

*Definition* **Knust tegl – genbrugsmateriale.**



Knust tegl i sin rene form anvendes i vækstmedier. For at undgå, at der i genbrug er potentielt skadelige stoffer, er det vigtigt at vide, hvorfra de knuste materialer kommer, og hvad de indeholder. Da tegl er porøs, bruges den bl.a. til at binde [plantetilgængeligt vand](#) i vækstmedier til grønne tage.

## Letklinker

*Definition* **Lette, porøse kugler skabt af plastisk ler.**



Letklinker er plastisk ler, der ved opvarmning blærer op. Det anvendes som komponent i visse vækstmedier til grønne tage på grund af dets vandbærende egenskaber i knækket udgave. Der er dog stor forskel på letklinkers vandbærende egenskaber.

## Spagnum

*Definition* **Fossile dele af planten tørvemos, dannet i højmoser.**



Strukturen i spagnum gør, at den kan indeholde store mængder vand og luft, og den bruges bl.a. som **jordforbedringsmiddel**. Spagnum er forholdsvis næringsfattigt. Gennem tiden har spagnum været meget populært, men brugen af det har været diskuteret, da det er en begrænset naturressource.

## Kompost

*Definition* **Helt eller delvist nedbrudt organisk materiale.**



Kompost er nedbrudt organisk materiale. Nedbrydningen sker ved hjælp af mikrobiel aktivitet, og den er derudover både vand- og temperaturafhængig. Det organiske materiale kan stamme fra både private og offentlige have- og parkanlæg. Det er derfor ikke muligt at kende den nøjagtige blanding og sammensætning af komposten. Ilt og vand igangsætter den bakterielle nedbrydning, som medfører, at temperaturen i det organiske materiale stiger til ca. 70 °C. Ved disse temperaturer ødelægges ukrudtsfrøes spireevne, ligesom eventuelle sygdomskim dræbes.

Kompost kan indeholde store mængder **næringsstoffer**, som planterne kan bruge. Det høje næringsindhold gør dog, at komposten ikke benyttes rent, men som jordforbedring og som organisk komponent i vækstmedier.

## Humus

*Definition* **Stærkt nedbrudt organisk materiale.**



Humus er stærkt nedbrudt organisk materiale. Ved dannelse af humus spiller mikroorganismene en stor rolle, ligesom smådyr og svampe indgår i nedbrydningen, præcis som ved dannelse af **kompost**. Humus er dog langt mere nedbrudt end kompost. Nedbrydningen af organisk materiale til humus afhænger bl.a. af næringsindholdet i jorden og dens **pH-værdi**. Ved næringsfattig jord med lav pH, dvs. sur jord, sker nedbrydningen langsomt. Ved næringsrig jord med svagt sur til neutral pH-værdi sker nedbrydningen hurtigere. Dannelse af humus påvirkes også af til-

gang til ilt og af temperaturen. Jo højere temperatur, des hurtigere sker nedbrydningen. Ilt er nødvendigt for mikroorganismene, og derfor kan jordbearbejdning, der fremmer ilttilgangen, være med til at fremme nedbrydningsprocessen.

Der er forskel på nedbrydningshastigheden for organisk materiale, da de forskellige komponenter i organisk materiale som fedt, kulhydrat, protein, lignin eller cellulose har forskellig stabilitet. Noget nedbrydes forholdsvis hurtigt til humus, mens andet kræver længere tid. Processen kan tage fra måneder til år afhængigt af de nævnte parametre.

Nedbrydning af organisk materiale til humus foregår i det øverste jordlag. I normal dansk agerjord udgør humus 1-6 % af jordens vægt med et normalt kulstofindhold (C) på 55-60 % og kvælstofindhold (N) på 5-6 %. Humus kan være med til at påvirke CEC-værdien (kationbytningskapaciteten) positivt, hvor det især er gældende for sandjorde og i mindre grad for lerjorde, der i forvejen har en høj CEC-værdi.

## Biokul

*Definition* **Kul dannet ved pyrolyse af organisk materiale.**



Biokul er dannet ud fra organisk materiale. Biokul dannes gennem en iltfattig forbrænding (pyrolyse) ved ca. 500-600 °C, hvor det organiske materiale omdannes til kul samt gas og olie. Biokul er derved et restprodukt i processen, og det indeholder store mængder kulstof. Kulstoffet i biokul er stabilt lagret, og man anslår, at det er bundet i minimum 500-1.000 år. Da biokul binder næringsstoffer i jorden, understøtter det plantevæksten og kan bruges som gødning eller jordforbedringsmiddel. Biokul spænder vidt, og dets egenskaber afhænger fuldstændig af materialerne, der indgår i pyrolysen.

## Kalk

*Definition* **Materiale, der er dannet af skaldede fra bl.a. muslinger, koraller og kokolitter.**



Kalk er et sediment, der findes i undergrunden oven på de nederste aflejringer fra kridttiden. Det forekommer som forskellige calciumkarbonater i fx kridt, kalksten og marmor. Det er en gråhvid bjergart, der kan variere i farven, afhængigt af hvor den findes. Kalk består af calciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), der brydes i kalkbrud, og som kan købes både knust, formalet og pulveriseret. Kalk bruges bl.a. til at justere pH-værdien i jord, men kan også tilsættes for at øge de renssemæssige egenskaber, da fosfationer binder sig til calcium-ionerne.

## Muld

*Definition* **Jord, der består af forskellige materialer såsom sand, silt, ler og organisk materiale i forskellige mængder.**



Muld er betegnelsen på et sammensat materiale, en såkaldt muldjord. Den består primært af faste partikler med massive korn i forskellige fraktioner som grovsand, finsand og silt samt ler. Derudover indeholder muld en vis mængde organisk materiale og **humus**, som ved omsætning frigiver næringsstoffer. Mængden af de forskellige komponenter i muldjord er ikke fastlagt, og derfor kan muldjords sammensætning variere fra jord til jord. De fleste agerjorde i Danmark er muldjord. Det organiske indhold kan måles på humusprocenten, som i en dansk agerjord ligger på 1-6 %. En naturlig muldjord vil typisk være rig på mikroorganismer og smådyr som fx regnorme. Der er en del mistolkninger i forbindelse med begrebet muld, da det til tider anses som et materiale frem for en materialeblanding. Begrebet opfattes meget forskelligt og anvendes i mange forskellige sammenhænge, hvor afsender tillægger det individuel betydning. Der findes ikke en entydig definition af, hvad muld er.

## Jordforbedringsmaterialer

*Definition* **Materialer, der tilsættes jord for at forbedre fx indhold af luft eller organisk indhold.**

Materialer til jordforbedring kan i princippet være en stor del af de materialer, der er nævnt i dette kapitel – dog er nogle mere brugte end andre. Et jordforbedringsmiddel er per definition et materiale, der ved tilsætning til den eksisterende jord kan påvirke nogle specifikke egenskaber og spænde over alt fra grus, sand, kokosfibre til svampekulturer. Materialer til jordforbedring udvikles hele tiden.

## Gødning

*Definition* **Kemisk fremstillede eller organiske stoffer, der tilfører næringsstoffer til jorden.**



Gødning findes i mange former, men fælles for dem er, at de skal bidrage med de næringsstoffer, planter har behov for. Næringsstofferne kan også optræde i flere former, og man skelner derfor mellem lettilgængelig næring og mere bundet næring. Den lettilgængelige er næring, som rødderne har nem adgang til at optage, hvorimod den sværttilgængelige eller langtidsvirkende gødning typisk kræver en form for nedbrydning for at blive tilgængelig for planterne.

Den langtidsvirkende gødning virker over en længere periode, hvorimod den lettilgængelige typisk primært vil optræde i vandfasen eller have nemt ved at blive opløst i vandfasen. Af den grund er der stor risiko for, at den lettilgængelige kan blive udvasket. Derved skal den lettilgængelige

gødning også betragtes som et øjebliksbillede af gødningsniveauet, som relativt hurtigt kan ændre sig.

Inden for gødning findes der både konventionelle gødningsformer og organiske gødninger. En konventionelt produceret gødning vil typisk være baseret på lettilgængelige næringsstoffer. Der findes dog også langtidsvirkende konventionelle gødninger, hvor næringen kan være kapslet ind i en form for **polymer**. Hvis en vis kombination af fugtighed og varme er til stede, vil kapslen reagere, så gødningen frigives. Da kombinationen af varme og fugtighed ofte forekommer i vækstsæsonen, bliver gødningen netop frigivet, hvor forholdene for plantevækst er til stede. Er den ene af parametrene ikke til stede, åbner porerne i kapslen sig ikke.

Den organiske gødning kan stamme fra kompost eller dyremøg. Ved nedbrydning bliver det organiske materiale til uorganisk materiale, det kaldes **mineralisering**, og gennem den proces frigives næringsstoffer til jorden. De organiske gødninger har længe været betragtet som mere ukontrollable, fordi det har været umuligt at sige, hvornår den organiske gødning er nedbrudt. Det billede har dog ændret sig markant. Der findes i dag god dokumentation og sikkerhed for de organiske gødninger, som der ligeledes gør for de konventionelle. Det gælder også de langtidsvirkende typer.

Ved brug af gødning skal man generelt forholde sig til de gødningsværdier, der er angivet på produkterne. Der kan være meget stor forskel på, hvad de indeholder af næringsstoffer, hvor koncentrerede de er, samt måden næringsstofferne frigives på. Ud over selve næringsstofferne kan det også være interessant at vide, om der er bærestoffer med, man ikke måtte ønske i jorden.

## Zeolit

*Definition* **Porøs bjergart, der findes i naturen, men også kan skabes kemisk.**



Zeolit er en vulkansk bjergart, der består primært af aluminiumsilikat,  $\text{Al-SiO}_5$  (60-75 %), samt siliciumoxid,  $\text{SiO}_2$  (10-15 %), og aluminiumoxid,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . I zeolit findes også en mindre andel af kalium, magnesium, natrium, mangan, jern og calcium. Zeolit er et porøst materiale, der er velegnet til filtrering af vand, da det på grund af høj **ionbytningskapacitet** kan fastholde tungmetaller som fx kobber, bly og zink.

## Valg af bæredygtige materialer

For at vurdere materialevalget til vækstmedier er der flere forhold, der skal vægtes. Materialerne skal selvfølgelig kunne levere de bedst mulige egenskaber til at skabe plantevækst i byen, men med materialevalget følger der også et miljømæssigt aspekt i forhold til materialernes oprindelse og deres miljøpåvirkning. Miljøpåvirkningen kan ansues på flere måder. Ét er at kigge på materialets direkte påvirkning af miljøet isoleret set, men da materialerne indgår i grønne løsninger, der typisk bidrager positivt til

miljøet, bør man anskue et materiales miljøbelastning i et større perspektiv. Man kan tale om et nettobidrag, hvor materialets direkte belastning holdes op imod dets betydning for løsningens samlede bidrag over tid. Et materiale, der har en høj ydeevne, fx ved at skabe gode vækstegenskaber eller håndtere meget vand, og som samtidig har en lang holdbarhed, vil have en mere positiv indflydelse på det samlede regnskab end fx løsninger, hvor holdbarhed eller ydeevne ikke er høj.

---

**Eksempel** Filterjord til et regnbed indeholder ved levering næring, der udvaskes efter ibrugtagning af bedet. På den måde bidrager filterjorden til udledning af næringsstoffer, som regnbedet egentlig skulle reducere udledningen af. Udvaskningen skal derfor indhentes, før bedet bidrager til en reduktion af udledning totalt set. Alt efter næringsindholdet i filterjorden og mængden af udvaskning kan det tage et ukendt antal år at indhente, før bedet bidrager positivt til filtrering.

---

**Eksempel** Forskellige lavatyper, som har unikke vandbærende egenskaber, forekommer ikke naturligt i Danmark, men må importeres fra andre lande. Det medfører en CO<sub>2</sub>-belastning i forbindelse med transport. Belastningen er samlet ét sted, nemlig ved produktets fragt fra produktionssted til brug. Hvis brugen af materialet medvirker til, at den samlede løsning vil gøre, at man opnår en højere effektivitet i form af bedre tilvækst, rensning eller vandhåndtering, vil CO<sub>2</sub>-belastningen hurtigt tjene sig hjem, hvis effekten vedvarende bidrager positivt år efter år og anlægget derved også har en længere holdbarhed og derfor ikke kræver reetablering.

---

### Regnestykket ser således ud:

$$B_T = B_F - Y_R \times Y_L$$

Hvor:

B<sub>T</sub>: Løsningens samlede CO<sub>2</sub>-belastning

B<sub>F</sub>: Belastning ved fremstilling af løsning

Y<sub>R</sub>: Årlig reduktion

Y<sub>L</sub>: Levetid (år)

Man skal være opmærksom på, at løsningens samlede CO<sub>2</sub>-belastning både kan være positiv og negativ. Positiv betyder, at der er en samlet CO<sub>2</sub>-belastning. Negativ betyder, at der samlet set er en CO<sub>2</sub>-reduktion.

Da der i dag forventes lang levetid på nye anlæg, vægter den årlige reduktion mange gange højere end en evt. merbelastning ved fremstilling af løsningen.

Materialeoversigt

Materiale	Størrelse	pH	Vandsugende	CEC-tal	Miljø
Ler	< 0,002 mm	Ca. 6-8 Efter sammensætning	Ja, hårdt bundet	20-70 meq/100 g	–
Silt	0,002-0,06 mm	Ca. 6-8 Efter sammensætning	Ja, mellem kornene	3-7 meq/100 g	–
Sand	0,06-2 mm	Ca. 6-8 Efter sammensætning	Ja, mellem kornene	2-5 meq/100 g	–
Grus	2-20 mm	Ca. 6-8 Efter sammensætning	Delvist	2-5 meq/100 g	–
Sten	>20 mm	Ca. 6-8 Efter sammensætning	Kapillærbrydende	Afhængigt af materiale	–
Skærver	0-64 mm	Neutral (granit)	Kapillærbrydende	2-5 meq/100 g	–
Pimpsten	Typisk 0-20 mm	Neutral	Ja, stor porevolumen	30 meq/100 g	Naturlig ekspanderet vulkansk bjergart
Knust tegl	Typisk 0-20 mm	Neutral	Ja, stor porevolumen		Knust genbrugstegl Genbrugsprodukt
Letklinker	Typisk 5-20 mm	Basisk	Afhængigt af produkt	20-70 meq/100 g (ler)	Plastisk ler, der ved opvarmning blærer op
Spagnum	Typisk 0-20 mm	Sur	Ja	100-200 meq/100 g	En knap naturres- source
Kompost	Typisk 0-20 mm	Basisk	Ja	50-100 meq/100 g	Nedbrudt have- og parkaffald
Humus		Basisk	Ja	100-200 meq/100 g	
Biokul	Typisk 0-25 mm	Stærkt basisk	Ja	38 meq/100 g	Fremstilles ved pyrolyse af organisk materiale
Kalk til filtrering	Ca. 2-4 mm	Stærkt basisk	Nej	500 meq/100 g	Findes naturligt og udvindes i kalkbrud
Muld		Basisk	Ja	50-200 meq/100 g	Blanding af organisk og uorganisk materiale
Zeolit	Ca. 2-4 mm	Stærkt basisk	Ja	50-200 meq/100 g	Naturlig vulkansk mineral

# H.C. Andersens Hus

Odense

Taghave på parkeringsdæk.







Det nye H.C. Andersens Hus under opbygning. Det forventes at være færdigt i sommeren 2021.



## KAPITEL 4

# Vækstegenskaber

For at få succes med beplantningen i grønne, urbane miljøer kræver det en forståelse for de grundlæggende faktorer, der har indvirkning på plantevækst. Viden om de enkelte materialer og deres egenskaber og sammenspillet mellem disse er vejen til succes.

### Hvad skal der til, for at en plante kan gro?

Fire grundelementer er nødvendige i jorden, for at en plante kan gro:

- Vand
- Ilt
- Næring
- Mikrobiologisk liv

Enhver plante har behov for at kunne optage vand for at gro. Ud over vand har planten også brug for ilt til at respirere samt **næring**. Plantens optagelse af næring er påvirket af jordens **pH**-værdi. Det mikrobiologiske liv i jorden har også betydning, da det nedbryder organisk materiale og derved frigiver næring til planten over tid.

#### BRUDT JORDMATRICE

Når forskellige materialer mødes. Fx et plantebed, der er hårdt afgrænset af fysiske grænseflader til omkringliggende jord eller tilstødende flader. Den brudte jordmatrice er ikke naturligt skabt.

Er de fire grundelementer til stede, kan man skabe gode forhold omkring en planterod og derved opnå rodvækst, der igen har direkte indflydelse på topvæksten. I de urbane miljøer, hvor jordmatricen ofte er brudt, må man derfor sikre, at de fire elementer er til stede i passende mængde, så man skaber muligheder for vækst – også over længere tid.

## Luft i jorden – luftkapacitet

*Definition* **Et udtryk for den luftmængde, et vækstmedie kan indeholde ved markkapacitet. Enhed: vol.%.**

### AEROB / ANAEROB

**Aerob** – med ilt

**Anaerob** – uden ilt

For at **respirations**processen kan forløbe, har planten brug for ilt, men iltens mulighed for at nå ned til plantens rødder afhænger af vækstmediet. Under normale forhold er iltindholdet højest øverst i jordmatricen, mens det langsomt falder ned gennem matricen. Det er almindeligt antaget, at et iltindhold under 10 vol.% er u hensigtsmæssigt, da det øger risikoen for **anaerobe** forhold. Risikoen for anaerobe forhold er størst i den nederste del af jordmatricen.

## Rodzone

*Definition* **Den del af jordmatricen, hvor rødderne er.**

Planteroden vil naturligt lægge sig i et område, hvor forholdet mellem ilt og vand er optimalt for rodens vækstbetingelser. Det er ikke unormalt, at området ligger et sted i midten af jordmatricen – aldrig i ekstremerne med ingen luft eller meget luft, da der enten bliver for vådt eller for tørt. Præcis hvor rødderne lægger sig i jordmatricen, afhænger af vækstmediet. Man kan snakke om den **aktive rodzone**.

Et andet begreb er den aktive rodvolumen, som *ikke* er lig med volumen af vækstmediet. Rod og rodhår er ikke inden i de massive korn/faste partikler, men altid imellem de faste partikler i jordens porer.

En måde at anskue jordens evne til at understøtte rodvækst på er at kigge på den andel af jorden, der kan indeholde vand, luft og organisk materiale – det vil sige **porevolumen**. Det er her, al rodaktivitet foregår. Kombinationen af vand-luft-indholdet og porevolumen kan derfor være en god rettesnor for, hvor effektivt et vækstmedie kan understøtte rodvæksten. Selvfølgelig kan det ikke stå alene, men uden disse basale egenskaber på plads, er fundamentet ikke til stede.

## Markkapacitet

*Definition* **Et udtryk for den vandmængde, et vækstmedie kan tilbageholde efter afdrypning. Enhed: vol.%.**

Markkapaciteten er det vand, som tilbageholdes i hulrum eller porer, og som ikke bliver tømt ved afdrypning. Markkapaciteten eller den maksimale vandkapacitet bliver målt over tre gentagelser. Vækstmediet vandmættes og står i 24 timer. Herefter stilles det til afdrypning i to timer. Vægten af det afdryppede vækstmedie fratrækkes vægt af vækstmediet i tør tilstand og betegnes markkapacitet.

En jordmatrixes markkapacitet er styrende for, hvor ofte det kræver vandtilførsel. Ved lav markkapacitet rammes **visnegrænsen** hurtigere end ved høj markkapacitet. Har matrixen en lav markkapacitet, vil den kunne indeholde en mindre mængde vand. Har den høj markkapacitet, kan den derimod indeholde en større mængde vand. Det er dog forudsat, at vandet er plantetilgængeligt i jordmatrixen. En høj markkapacitet kan derfor nedsætte behov for vanding i driften.

### Plantetilgængeligt vand

*Definition* **Vand, som er tilgængeligt for planten.**

For at planter kan trives og vokse, kræver det ud over sollys og CO<sub>2</sub> også vand. Derudover skal vandet være tilgængeligt for planten, så den kan optage det efter behov. Det er dog ikke alt vand, der er tilgængeligt for planten. Det skyldes både **kapillærkræfterne** mellem de grove porer i jorden og overfladespændingen i de fine porer. Er der intet plantetilgængeligt vand, vil det påvirke planten, så den enten mistrives eller i sidste ende dør. Det plantetilgængelige vand ligger i spændet mellem **markkapacitet** og **visnegrænsen**.

### Visnegrænse

*Definition* **Den grænse, hvor planterne ikke har mere plantetilgængeligt vand.**

Visnegrænsen er et punkt, hvor planten visner, fordi dens rødder ikke længere kan trække vandet ud af jorden. Visnegrænsen er afhængig af plantetypen, da der er forskel på rødder, og hvornår de er i stand til at trække vand ud af jorden. Hvis vand er bundet hårdt i vækstmediets porer, kan en jordmatrixe nå visnegrænsen, selvom der er vand til stede i matrixen, fordi vandet ikke er plantetilgængeligt.

### Permeabilitet

*Definition* **Væskes gennemtrængelighed gennem en jordmatrixe. Enhed: m/s.**

Det er vigtigt at kende vækstmediets permeabilitet, da den viser vandets vandring igennem en given jordmatrixe og dermed også giver en indikation af evnen til at flytte henholdsvis luft og ilt i jordmatrixen. Det er af stor relevans for at sikre iltede forhold i jordmatrixen.

Strukturstabiliteten i et vækstmedie påvirker permeabiliteten. I en strukturstabil jord kan man forvente, der er en ensartet permeabilitet og en ensartet tilførsel af ilt. I en jord, som ikke er strukturstabil, kan man risikere, at permeabiliteten og ilttilførsel vil ændres over tid.

## Vandets vandring i jorden

Vand transporteres gennem materialer som damp eller væske. Drivende kræfter ved transporten er vandtryk, damptryk, temperatur og kapillærkræfter.<sup>1</sup> Herudover har tyngdekraften indflydelse på vandets vandring i jorden. Hastigheden styres af materialets porestruktur. Når man arbejder med jord, er det vigtigt at vide, at vand bevæger sig i den retning, det bliver trukket. Derfor vil vand ikke altid søge nedad. Det afhænger fx af, om kapillærkræfterne er stærkere end tyngdekraften. Vandets vandring i jorden styres altså af den ledende kraft og begrænses af den standsende kraft. Summen af disse kræfter giver vandets bevægelse. De standsende kræfter er bl.a. porestørrelser. I meget finkornede materialer møder vandet stor modstand, hvorimod det i mere grovkornede materialer møder mindre modstand. Ved fortsat vandtilledning til en jordmatrice vil vandtrykket på jordmatricen øges, og det kan presse vandet længere ned gennem jordmatricen.

## Forholdet mellem vand og luft

Materialevalget i konstruerede vækstmedier er afgørende for forholdet mellem vand og luft.

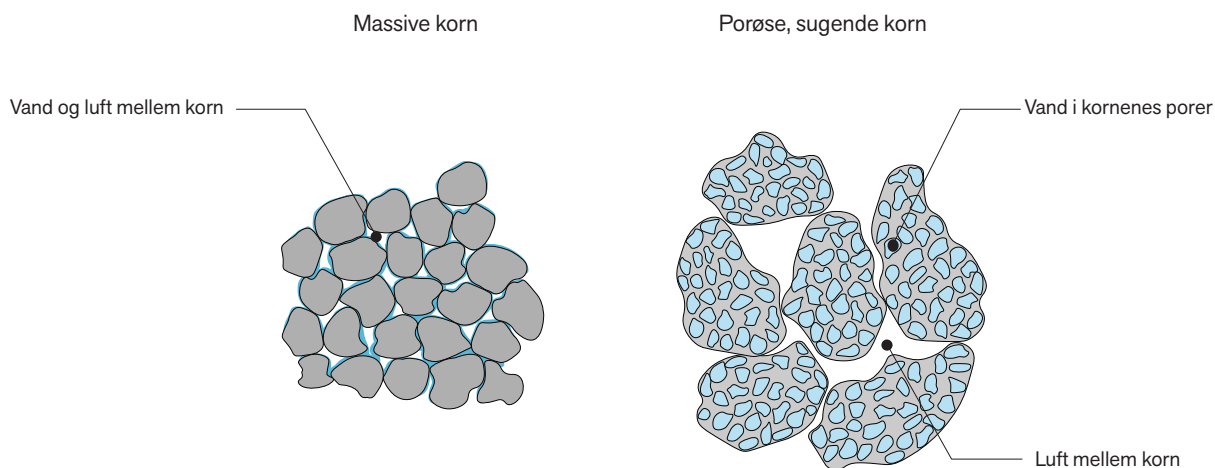
En grundlæggende forskel er, om man arbejder med massive eller porefyldte og vandsugende materialer som primær komponent. Massive og lukkede materialer i form af sten, sand eller grus eller porefyldte materialer i form af **pimpsten** og lava.

I et vækstmedie, der bygger på massive materialer, vil 60-70 % af volumen være inaktiv og derfor ikke bidrage til plantevæksten. Porevolumen på 30-40 % udgør resten. Vand eller luft kan kun optages i porer mellem kornene. Forholdet mellem vand og luft er her omvendt proportionalt. Hvis der fx tilføres én liter vand, fortrænger det én liter luft – og omvendt. I et vækstmedie, der bygger på porefyldte og vandsugende materialer, kan 70-80 % af volumen modsat være aktiv og bidrage til plantevæksten. Porevolumen dækker over både porer i materialer og porer mellem materialets korn.

## Metode til adskillelse af vand og luft

Hvis man benytter porefyldte og vandsugende materialer, har man mulighed for at løfte både vand- og luftindhold op på et højere niveau samtidig.

Metoden er, at man bruger porerne i kornene til at tilbageholde vandet. Hvis kornstørrelsen samtidig sorteres, så de mindste fjernes, kan der opnås store hulrum mellem de enkelte korn, som ikke er i stand til at tilbageholde vandet og dermed sikre et veldefineret luftvolumen.



Vækstmedier med massive og lukkede materialer kan kun binde vand mellem kornene, mens vækstmedier med porefyldte og vandsugende materialer primært binder vandet i kornene.

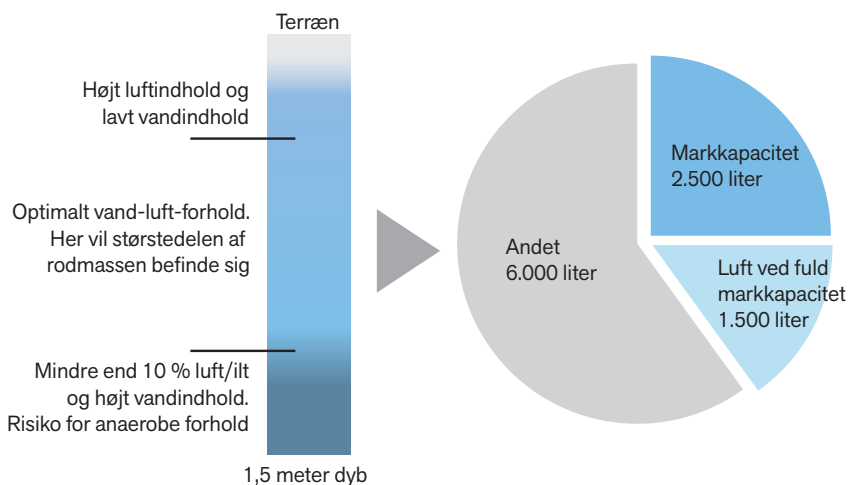
**Eksempel** Et træ skal plantes i et urbant miljø, og plantehullet er beregnet til at være 10 m<sup>3</sup>. En muldblanding vil have 60-70 % inaktive korn. Det vil sige, at 60-70 % af de 10 m<sup>3</sup> ikke kan indeholde vand eller luft. Det svarer til 6-7 m<sup>3</sup> inaktive korn. Tilbage er 3-4 m<sup>3</sup> af volumen, hvor der kan findes luft og vand.

De 3-4 m<sup>3</sup> af volumen, som er aktiv, ligger ikke kun i den optimale del af rodzonen for planten, men vil ligge fordelt i hele jordmatrixens højde. Vi antager, at i et plantehul vil roden primært befinde sig i halvdelen af den aktive jordmatrice. Hvis den optimale rodzone fylder halvdelen af hullet, vil der ud af de 3-4 m<sup>3</sup> kun være 1,5-2 m<sup>3</sup> i volumen, hvor roden har optimale vækstbetingelser.

## Muldjord – massive korn

Muldjord som består af 60-70 % fast materiale og har en total porervolumen på 30-40 %, hvori der kan forefindes vand eller luft. Her kan jordsøjlen opstilles således:

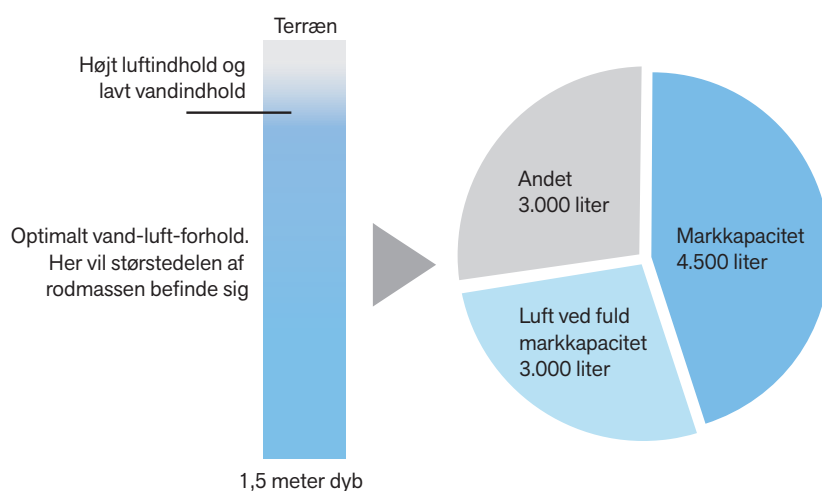
Total porevolumen:	40 vol.%
Markkapacitet:	25 vol.%
Luft ved markkapacitet:	15 vol.%
Permeabilitet:	0,6-6 mm/min.



## Vækstmedie med porøs bjergart

Konstruerede vækstmedier som består af fx 75 % pimpsten og 25 % kompost og har en total porevolumen på 75 %, hvori der kan forefindes vand eller luft. Her kan jordsøjlen opstilles således:

Total porevolumen:	75 vol.%
Markkapacitet:	45 vol.%
Luft ved markkapacitet:	30 vol.%
Permeabilitet:	>20 mm/min.



Den optimale rodzone i hhv. traditionelt muldbaseret vækstmedie og konstrueret vækstmedie. Ved konstruerede vækstmedier øges rodzonen, og den kritiske grænse rykkes længere ned i jordmatri-  
cen.

Hvis der i stedet bruges et **konstrueret vækstmedie** med porefyldte og vandsugende materialer, vil regnestykket se sådan ud:

Plantehullet er 10 m<sup>3</sup>. Materialets store porevolumen betyder, at der kun er 20-30 % inaktiv masse. Det vil sige, at 70-80 % af de 10 m<sup>3</sup> kan indeholde vand eller luft. Det svarer til 7-8 m<sup>3</sup> aktiv porevolumen. De 7-8 m<sup>3</sup> af volumen, som er aktiv, ligger ikke kun i den optimale del af rodzonen for planten, men vil ligge fordelt i hele jordmatri-  
cens højde. Hvis den optimale rodzone fylder 1/2 af hullet, vil der ud af de 7-8 m<sup>3</sup> være 3,5-4 m<sup>3</sup> i volumen, hvor roden har optimale vækstbetingelser.

På grund af den større **luftkapacitet** eller højere permeabilitet transporteres luften længere ned i jorden, og derfor vil det være rimeligt at udvide den aktive rodzone til 75 %, da den kritiske 10-vol.-%-grænse for luft rykker længe-  
re ned i jordmatri-  
cen. Det område, hvor planternes rødder har de optimale vækstforhold, vil derved øges. Det vil sige, at 5,25-6 m<sup>3</sup> er aktiv rodzone.



Resultatet er:

Selv med en konservativ tilgang, hvor rodzonen ikke udvides, vil man opnå en fordobling af den aktive rodvolumen. Inddrager man effekten af den udvidede rodzone, vil man opnå ca. tre gange så stor aktiv rodvolumen.

---

## Respiration og fotosyntese

*Definition* **Respiration: Nedbrydning af glukose for at skabe energi. Foregår både i dyre- og planteceller.**

*Definition* **Fotosyntese: Proces, hvor glukose dannes ved hjælp af sollys, vand og CO<sub>2</sub>. Foregår i planteceller, alger og visse bakterier.**

Respiration er det modsatte af fotosyntese, og for planter foregår det i cellernes mitokondrier. Ved respirationen nedbrydes glukose, hvor der i processen også indgår vand og ilt. Nedbrydningen frigiver energi, som planten bruger til at vedligeholde eksisterende celler og producere nye, så planten kan vokse.

Respirationen foregår efter følgende reaktionsligning:



Glukosen, der nedbrydes i respirationen, er dannet gennem fotosyntesen i plantens blade. Ved fotosyntesen dannes glukose ud fra kuldioxid, sollys og vand; biproduktet i processen er ilt. Glukosen lagres i planten og bruges efterfølgende som energi, der frigives ved nedbrydning. Glukose dannes efter følgende formel:



Der er fire nøgleparametre, der påvirker respiration ved planteroden. Det er:

- Vand
- Ilt
- Glukose
- Temperatur

Hvis hver af de fire nøgleparametre er til stede i den rette mængde eller ved den rette størrelse, kan de understøtte plantevæksten. Men modsat kan alle fire parametre også virke begrænsende for, at respirationsprocessen kan forløbe. Det skyldes:

### Vand:

Hvis planten mangler vand, kan respirationen ikke finde sted eller være stærkt begrænset.

### Ilt:

Hvis iltindholdet i en jordmatrice kommer under 10 vol.%, stiger risikoen væsentligt for, at der skabes anaerobe forhold, som udfordrer respirationen. Anaerobe forhold opstår, fordi den iltforbrugende omsætning af organisk materiale i jorden sammen med plantens iltbehov til respiration bliver større end den ilt, der er til rådighed. Det kan opleves i ekstremt våde jorde, hvor vandet er stillestående over længere tid.

### Glukose:

Plantens lagrede energi, glukose, dannes over jorden i **grønkornene (kloroplaster)** gennem fotosyntesen. Er fotosyntesen udfordret, enten fordi planten mangler vand, står et ekstremt skyggefuldt sted, eller hvis en stor del af bladene mangler, fx på grund af kraftig beskæring, kan glukose blive en hæmmende faktor for respirationen og dermed plantens vækst.

#### RESPIRATION / FOTOSYNTESE

**Respiration:** Kræver hos planten: glukose, vand og ilt.

**Fotosyntese:** Kræver hos planten ud over blade: sollys, CO<sub>2</sub> og vand.

### Temperatur:

Jordens temperatur har betydning for hastigheden af nedbrydningen af glukose. Ved lave temperaturer nedsættes respirationsprocessen.

## Kapillærkræfter

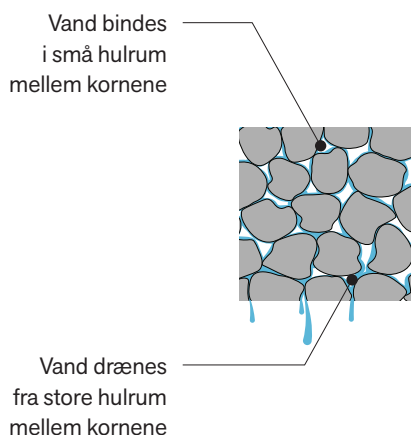
*Definition* **Fysisk kraft, der trækker væske ind i kapillære gange.**

Vand er livsvigtigt for planter. Det findes i jorden, hvor det er opmagasineret. Det er dog ikke alt vand, som er tilgængeligt for planterne.

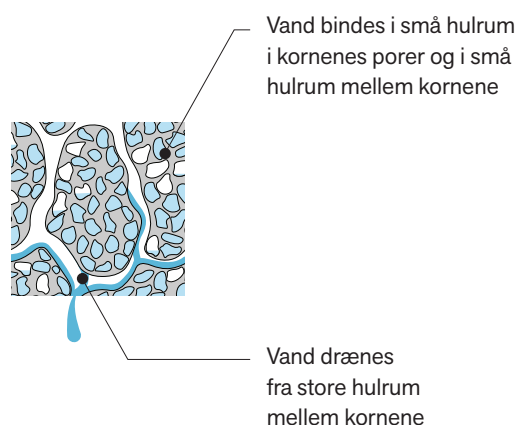
Kornene i et vækstmedie kan have forskellige størrelser; nogle kan være små, andre store. Imellem kornene er der ganske små hulrum, der kan binde vand eller luft. Hvis et vækstmedie indeholder porøse, sugende materialer, har de en porestruktur, hvor vand eller luft også kan være til stede.

I en given jordmatrice vil der mellem kornene være kapillærkræfter. Kapillærkraften er en fysisk kraft, der trækker i alle retninger, og som endda kan overvinde tyngdekraften i særlige tilfælde.

### Kapillærkræfter, massive korn



### Kapillærkræfter, porøse korn



Kapillærkraften kan være så stærk, at den både kan overvinde tyngdekraften og trække vandet gennem snævre passager som fx mellem korn i vækstmediet.

Den kraft, kapillærkraften trækker med, afhænger af porestørrelse. Jo mindre porestørrelse, des stærkere kapillærkraft, og jo hårdere vil en pore holde på vandet. Det giver en lav permeabilitet og en høj markkapacitet. Hvis porestørrelsen i vækstmedier med massive korn er stor, er det omvendte tilfældet: en høj permeabilitet og en lav markkapacitet.

#### VÆKSTMEDIE MED MASSIVE KORN

Muldjord er et eksempel på et vækstmedie med massive korn. Muld består af forskellige materialer såsom sand, silt, ler og organisk materiale i forskellige mængder.

### Tyngdekraften og kapillærkræfter

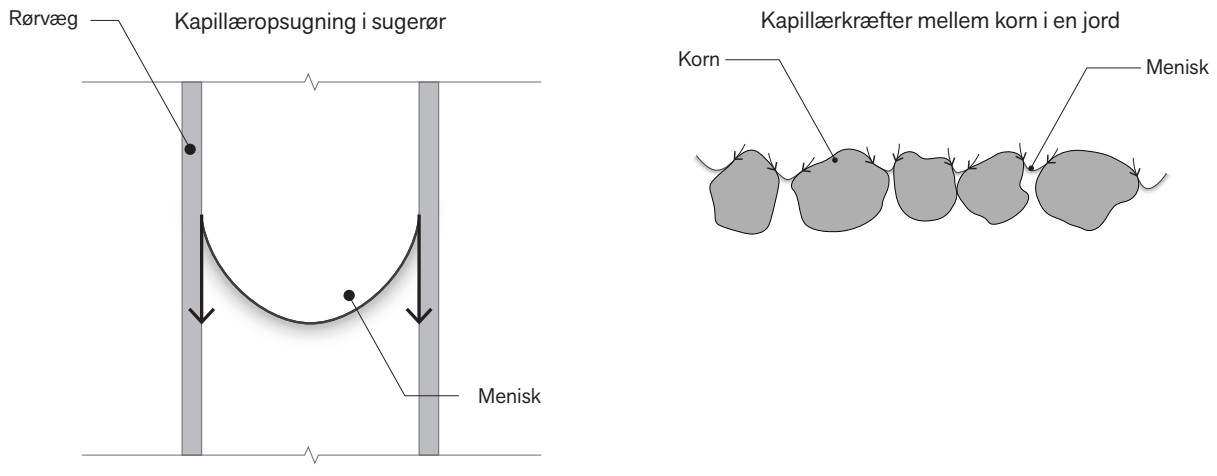
Porestørrelsen i kornene og i hulrummene mellem dem påvirker et materials permeabilitet og er derfor med til at bestemme, hvor mobilt eller immobilt vandet er i en given jordmatrice. Hvis porestørrelsen er lille nok, kan kapillærkraften være så stærk, at den kan overvinde tyngdekraften, så vandet ikke siver nedad.

Et tørt, porøst materiale som fx sand vil blive opfugtet på grund af kapillærkræfterne, hvis det kommer i forbindelse med vand. Transporten sker fra overfladen og ind i materialet gennem kapillærer, som er snævre hulrum. Når et materiale med åbne porer bringes i kontakt med et frit vandspejl, vil vandet suges ind i materialet på grund af hårrørsvirkningen. Vandets opstigning vil i princippet stige med tiden, men vil dog i praksis begrænses af tyngdekraften. Den maksimale stighøjde bestemmes af, at undertrykket skal kunne bære den væskesøjle, som hænger under den, og kan altså betragtes som en ligevægt mellem tyngdekraften og undertrykket i kapillærene. Den del af jorden, som er indbefattet af den **kapillære stighøjde**, benævnes *den kapillære mætningszone*.

### Eksempel

Når et sugerør sættes i et glas vand, hæver vandet sig op i sugerøret, så det står højere i sugerøret end vandoverfladen i glasset. Det er kapillærkraften, der nærmest suger vandet op i sugerøret. Hvis sugerøret er tyndt, vil vandet trænge højere op i sugerøret, end det vil gøre, hvis sugerøret

er tykt. Kapillærkræfterne er altså stærkere i det tynde sugerør end i det tykke, præcis som i jorden, hvor kapillærkraften er stærkere i de mindre pore størrelser end i de større.



### Vands overfladespænding

Kapillærkraften hænger også sammen med vands overfladespænding. Hvis en pore er lille, vil vandets overfladespænding være med til at holde vandet inde i poren. Er poren derimod stor, vil overfladespændingen ikke kunne holde vandet fast, og det kan løbe ud. Det samme sker i vækstmediet: Så længe vandet er i poren og poren er lille, kan overfladespændingen holde det fast. Bliver poren for stor, er overfladespændingen ikke kraftig nok til at fastholde vandet, så overfladespændingen brydes og vandet løber ud.

Hvis vandet skal bevæge sig fra ét sted til et andet, må kapillærkraften mellem de to steder ikke være for stor. Er den det, fx mellem små porer og store porer i et vækstmedie, vil vandet ikke bevæge sig mellem de to steder. Hvor jævn vandfordelingen er i en jordmatrice, afhænger af kapillærkraften i de enkelte porer.

### Porestørrelse

*Definition* **Diameter på porer.**

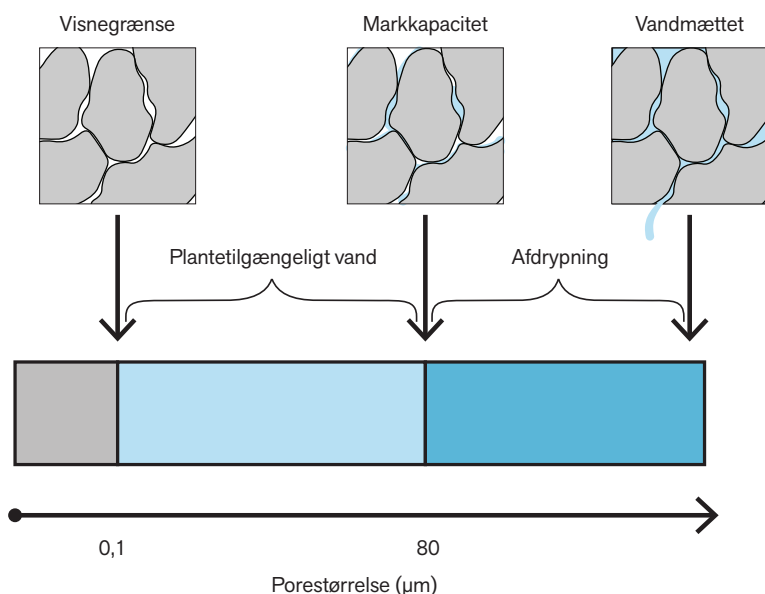
Der er meget forskel på, hvor homogene pore størrelserne er i forskellige vækstmedier. I nogle vækstmedier er porerne meget homogene, mens de i andre ikke er det. Det har betydning for tilbageholdelse af vand i mediet.

I et vækstmedie vil kapillærkraften trække i alle retninger. Hvis porerne i et vækstmedie er homogene, vil kapillærkraften have den samme styrke i porerne. Det vil betyde, at den kapillærkraft, der findes et specifikt sted, mere eller mindre bliver ophævet af kræfterne i de omkringliggende porer. Da en del af kapillærkræfterne derved ophæver hinanden, vil tyngdekraften være stærkest, og vandet vil flytte sig nedad i jordmatricen.

## Hængende vandspejl

*Definition* Tilfælde, hvor kapillærkraften og vandets overfladespænding tilsammen er stærkere end tyngdekraften, så vandet bliver hængende i mediet.

Normalt vil vandet trækkes ned af tyngdekraften, men hvis porerne i vækstmediet er små, kan kapillærkraften sammen med vandets overfladespænding være stærkere end tyngdekraften. Optræder denne situation sammen med et underliggende kapillærbrydende lag, bliver vandet hængende i mediet og danner et hængende vandspejl. Et ofte set eksempel af hængende vandspejl ses i forbindelse med forkeret anvendt vækstmedie på grønne tage.



I et hængende vandspejl kan mediet blive op til 100 % vandmættet, og hermed dannes anaerobe forhold, som kan føre til, at planter i bedet kan mistrives og dø. Derudover vil mange materialer med fuld vandmætning over længere tid miste en del af deres struktur.

I et hængende vandspejl kan mediet blive op til 100 % vandmættet, og hermed dannes anaerobe forhold, som kan føre til, at planter i bedet kan mistrives og dø. Derudover vil mange materialer med fuld vandmætning over længere tid miste en del af deres struktur.

## Komprimering

*Definition* Pakning af jord på grund af øget tryk, der medfører sammenpresning.

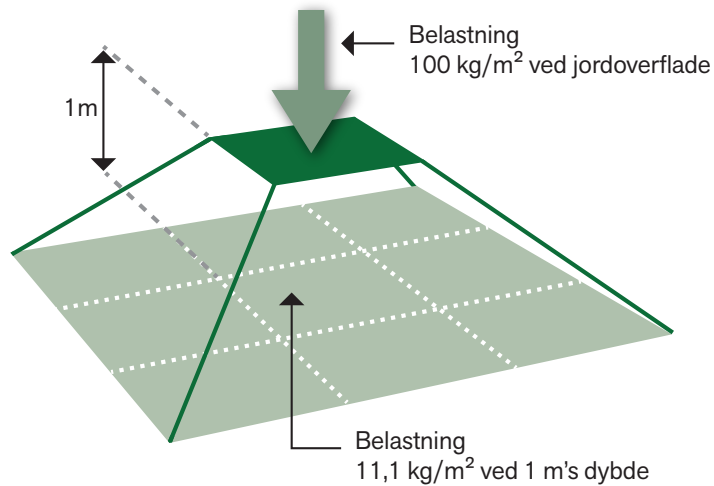
Jorde kan komprimeres ved enhver form for belastning, men hvordan komprimering påvirker en jordmatrice, afhænger af vækstmediets sammensætning.



Tryk er afhængigt af arealet, der trykkes på. Hæltryk og belastning fra dæk kan fx være det samme.

Hvis en jord belastes og dermed komprimeres, vil den største belastning være øverst i jordmatricen. Der sker en trykspredning ned igennem jordmatricen, så jo længere ned man bevæger sig, des mere spredes belastningen ud.

### Trykfordeling ved komprimering

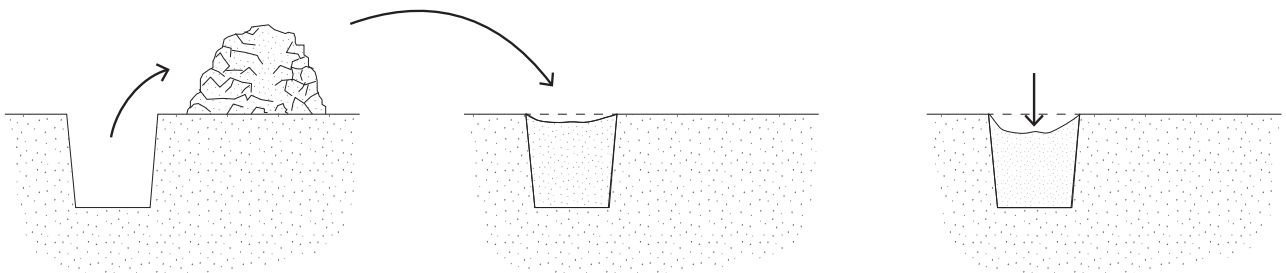


Da belastningen er konstant, men arealet vokser ned igennem jordmatrixen, falder belastningen pr. arealenhed.

Trykspredning i jord ved 1 meters dybde.

Allerede 30 cm under overfladen vil belastningen være reduceret til  $39 \text{ kg/m}^2$ .

Komprimering af muldbaserede jorde kan forårsage mistrivsel hos planter i byerne. Det skyldes, at de kompakte muldbaserede jorde hindrer infiltration af vand og dræning, og dermed kan de på sigt få ringe iltindhold. Allerede ved flytning af en almindelig muldbaseret jord vil strukturen ændre sig. Det ses ved, at en deponeret jord, der tilbagelæsses, fylder 10-20 % mindre. Jo mere man håndterer en muldjord, jo mere skade påfører man den.



Komprimering af deponeret muldbaseret jord.

Komprimering forringer vækstbetingelser for planter væsentligt, og det bliver sværere for planternes rødder at penetrere jorden. Visse konstruerede vækstmedier kan komprimeres, samtidig med at de fastholder porer til luft og vand. Ønskes der anlæg, hvor jorden kan komprimeres, samtidig med at der ønskes vækst af planter, bør der bruges et vækstmedie med skeletstruktur, der er beregnet til det.

## Vanding med væge

*Definition* **En vandingsanordning, der kan løfte væske fra ét sted til et andet.**

En væge kan benyttes der, hvor man gerne vil have vand til at stige op i et vækstmedie. Væger kan fx bruges i forbindelse med genanvendelse af opsamlet regnvand fra faskiner eller kassetter. Vægefunktionen kræver, at kapillærkræfterne i de forskellige medier fungerer sammen, så vandet i det ene medie kan afleveres til det andet i grænsefladen, hvor de to medier rører hinanden.

Ved brug af vægeløsninger må det derfor undersøges, hvordan kapillærkraften gradueres op gennem mediet og ind mod det tilstødende vækstmedie. At en væge kan løfte vand, betyder ikke nødvendigvis, at den kan aflevere vandet til det omkringliggende medie. Ved at stille krav til, at der ligger data for den samlede løsning, sikres det, at vægefunktionen fungerer. Hvis der ikke ligger validt data, vil der være stor risiko for, at den ønskede effekt ikke opnås.

*Eksempel* Kapillærkasser fra drivhuse er eksempler på vægeløsninger, der fungerer godt. De fungerer, fordi der både som vægemateriale og i plantesækken oven på kapillærkassen er den samme jord – oftest en spagnumblanding. Hvis plantesækken i stedet udskiftes med muldjord, vil det sandsynligvis ikke fungere, fordi kapillærkraften ikke er ens i de to medier. Det medfører en hård grænseflade, hvor de to vækstmedier mødes, og resulterer i, at vandet ikke kan vandre fra det ene medie til det andet. Derved opnås en fugtig spagnum i vægen, men en tør muldjord på toppen, hvor intet kan gro.

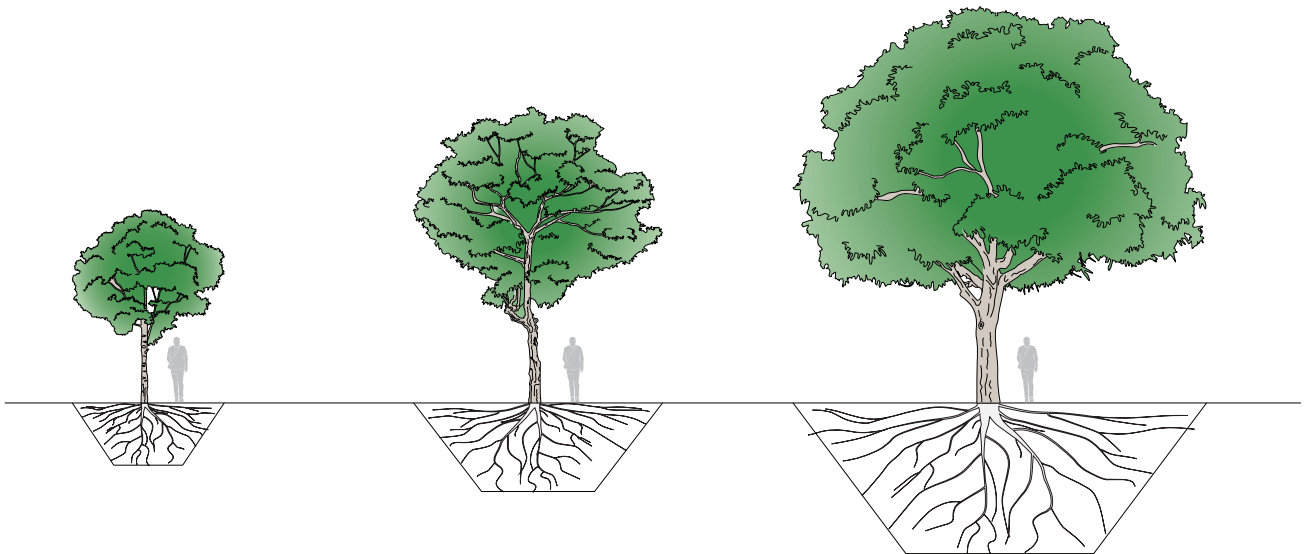
## Rod-top-forhold

*Definition* **Forholdet mellem roden og toppen på en plante.**

For planter gælder et rod-top-forhold, hvor en given rodvolumen fører til en given topvolumen. Som hovedregel vil en stor rod give en stor top. Hvis planten har begrænset plads til rådighed, og rodzonen deraf er lille, vil det afspejle sig på toppen – træets krone bliver lille. Især i urbane miljøer kan volumen af jordmatricen tit være udfordret.

Planten laver **fotosyntese** for at skaffe energi til at vokse. Fotosyntesen foregår i plantens blade, og derfor har plantens top indflydelse på den. Hvis der er en stor bladmasse, vil planten kunne lave tilstrækkelig energi, men hvis bladmængden er lille, vil fotosyntesen blive mindre og måske utilstrækkelig. Rodzonen har også indflydelse på plantens vækst, fordi den understøtter toppen med **næringsstoffer** og vand, så fotosyntesen kan forløbe

optimalt. Hvis en plante beskæres hårdt, så en stor del af toppen fjernes, vil en tilsvarende del af roden forgå. Rodbeskærer man omvendt en planterod hårdt, vil det give afledt effekt på toppen med døde grene og blade, der falder af. På den måde er plantens rod og top afhængige af hinanden.

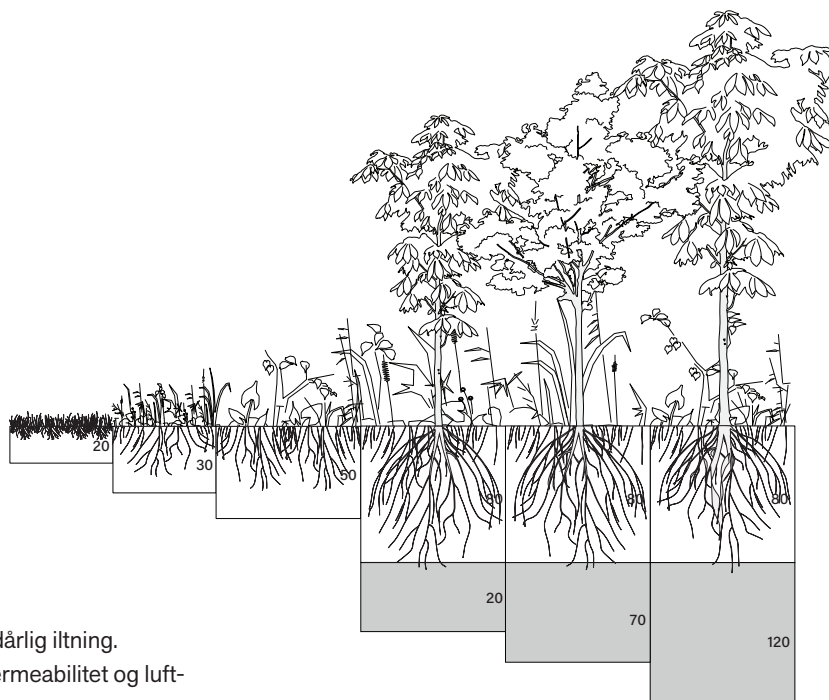


Rod-top-forhold. Begrænset rodplads vil afspejle sig i kronestørrelsen.

### Plantevækst i forhold til vækstegenskaber

Plantevækst afhænger af materialesammensætningen i vækstmediet og dybden på bedet. Det er i dag meget normalt, at man ikke søger at anlægge bede dybere end 1 m, da man ved, at det kan være relativt svært at skabe optimale forhold i mere end 1 m's dybde med de jordtyper, man typisk anvender. Det er dog i tyske undersøgelser vist, at man ved at benytte konstruerede vækstmedier, der bygger på metoderne i FLL-guidelines, har kunnet skabe plantegruber med aktiv rodzone helt ned til 2 m's dybde. Det afgørende for, at dette kan lade sig gøre, er, at man får skabt så meget permeabilitet i vækstmedierne, at man kan trække luft/ilt dybere ned end de typisk anvendte jordtyper.





Vækstmedie med dårlig permeabilitet og dårlig iltning.

Fx i det muldbaserede vækstmedie kan permeabilitet og luftgennemstrømning være markant mindre. I disse typer medier har man ikke samme mulighed for at sikre iltede forhold i dybden, hvilket betyder en tyndere opbygning og dermed en mindre aktiv rodzone.



Konstrueret vækstmedie med høj permeabilitet og god iltning.

Fx i et vækstmedie med skeletstruktur kan man have en veldefineret permeabilitet og dermed veldefineret luftgennemstrømning, der skaber en sikkerhed for iltningen gennem hele jordmatrixen. I disse typer medier er permeabiliteten/luftindholdet ofte mere end dobbelt så stort som traditionelle muldbaserede jorde, og det åbner derfor muligheden for at have en stor, veliltet rodzone helt ned til to meters dybde.



# CASE

## **BUDOLFI PLADS, AALBORG**

---

På **Budolfi Plads, Aalborg**, ønskede man en taghave anlagt oven på et eksisterende parkeringshus. Anlægget skulle give plads til både store træer og plantebede og derved være med til at skabe et attraktivt grønt byrum, der kunne fremstå som en grøn oase.

For at opnå god og sund plantevækst er det nødvendigt at anvende et let vækstmedie med høj markkapacitet, der holder en stor mængde plantetilgængeligt vand. Samtidig er det vigtigt, at vækstmediet er strukturstabilt og også har en veldefineret permeabilitet og god balance mellem vand og ilt, som sikrer en aktiv rodzone.

# Budolfi Plads

Aalborg

**Anlægstype:** Bypark/taghave

**Realiseringsår:** 2019

**Bygherre:** Aalborg Kommune

**Design og udførelse:** SLA, byMUNCH by- og landskabsdesign, Kjaer & Richter, NCC, ÅF Buildings Denmark



For at understøtte alt fra mindre buske til større træer er der anvendt LetVext, som tillader indbygningshøjder på op til 1,5 meter. For at sikre optimale luft-vand-forhold i hele opbygningen er der anvendt et pimpstensbaseret vækstmedie. Sammen med pimpstenen sikrer det organiske indhold optimale vækstbetingelser på alle parametre.



På grund af vækstmediets gode vækstegenskaber er der hurtigt dannet et tæt og frodigt plantedække. Vitalitet og blomstring i løbet af året er med til at understøtte biodiversitet i området.



LetVext sikrer en maksimal høj markkapacitet og dermed størst mulig buffer i form af plantetilgængeligt vand. Vækstmediet har høj permeabilitet og sikrer i samspil med det underliggende dræningssystem effektiv vandhåndtering på hele dækket.





# Budolfi Plads

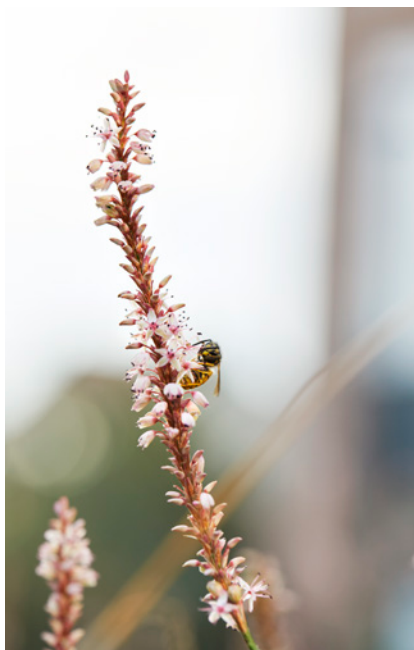
Aalborg

Til projektet er der anvendt mere end 1.000 m<sup>3</sup> af vækstmediet LetVext Intensiv, der netop med sin lave massefylde og sine gode vækstegenskaber er som skabt til formålet, en taghave på dæk.

Byrum med opholdsmuligheder



Biodiversitet



Teknisk snit. Varierende dybde på vækstmediet understøtter forskellige typer beplantning og former et varierende landskab.

- LetVext Intensiv
- Filterdug, VLF 200
- Armeringsnet, 100 x 100 cm, 12-mm tråd
- Filterdug, VLF 200
- Dræn- og vandreservoir, DiaDrain 40H
- Fugtbevarende beskyttelsesdug, VLU 300
- Rodbeskyttelsesfolie, LDR 1000
- Vandtæt membran

Tagkonstruktion







## KAPITEL 5

# Næringsforhold

For at planter kan vokse, kræver det vand, ilt, næring og en korrekt pH-værdi. Når bede med planter anlægges, har det valgte vækstmedie fra begyndelsen et næringsniveau og en pH-værdi, men det er dynamiske værdier, der bliver påvirket af forskellige faktorer, og derfor ændres de over tid. Næringsindholdet er derved ikke vedvarende, men må konstant vedligeholdes, så de bedste vækstbetingelser skabes for planterne. Her er vandingsplaner og gødningsplaner en god investering.

### Næringsstoffer

En plante har brug for 17 forskellige grundstoffer for at vokse; man kalder dem essentielle plantenæringsstoffer. De inddeles i tre hovedgrupper:

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Aq	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
Lanthaider				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Actinium				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

De essentielle plantenæringsstoffer er inddelt i tre grupper: makronæringsstoffer, mikronæringsstoffer og ikkemineralske grundstoffer.

- Makronæringsstofferne (N, P, K, Mg, Ca og S)
- Mikronæringsstofferne (B, Cl, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn og Mo)
- Ikkemineraliske grundstoffer (C, O, H)

Det er forskelligt, hvor meget en plante skal bruge af hvert af de essentielle næringsstoffer, men alle næringsstofferne er lige vigtige for planten at få tilført – også selvom mængden er forskellig.

#### MAKRO- / MIKRONÆRINGSSTOFFER

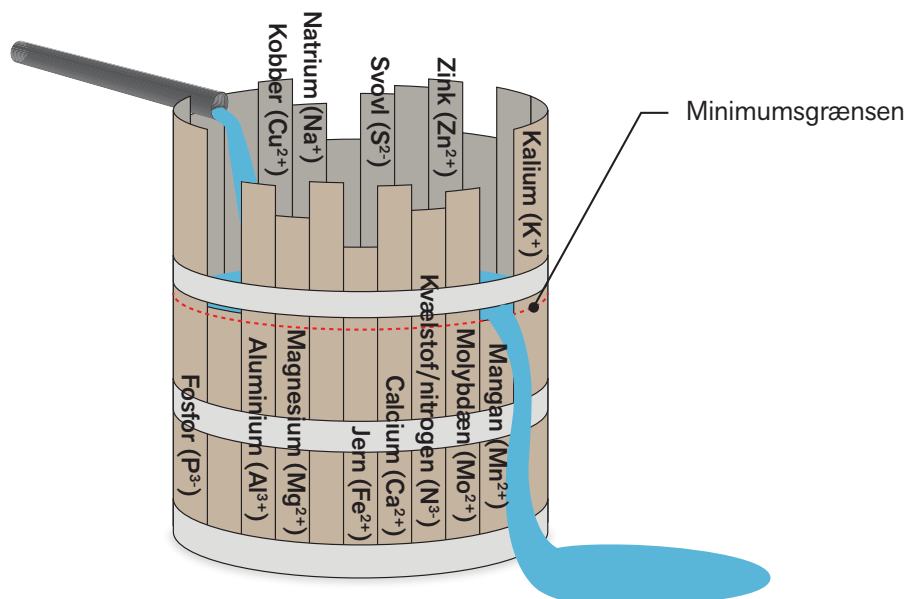
Makronæringsstoffer er næringsstoffer, planten skal have en større mængde af.

Mikronæringsstoffer er næringsstoffer, planten skal have en mindre mængde af.

Grundstofsymbol	Næringsstoffets navn	Koncentration i tørstof
C	Kulstof	39,5 %
O	ilt	40,2 %
H	Brint	5,6 %
N	Kvælstof	5,0 %
P	Fosfor	1,0 %
K	Kalium	5,5 %
S	Svovl	0,3 %
Ca	Calcium	2,0 %
Mg	Magnesium	0,8 %
Cl	Klor	200 ppm
B	Bor	30 ppm
Fe	Jern	150 ppm
Mn	Mangan	50 ppm
Zn	Zink	30 ppm
Cu	Kobber	15 ppm
Mo	Molybdæn	1 ppm
Ni	Nikkel	0,1 ppm

Oversigt over indholdet af næringsstoffer i en ung salatplante.

Hvis planten mangler et eller evt. flere næringsstoffer, vil det næringsstof, der er mest i underskud, styre plantens vækst. Det kalder man Liebigs minimumslov. Det mindst tilgængelige stof sætter grænsen for plantens vækst og performance. Mangler en plante fx molybdæn (Mo), vil det betyde, at planten ikke vokser optimalt, heller ikke selvom de andre essentielle næringsstoffer er til stede i rigelig mængde.



Minimumsloven.

Det næringsstof, der er mest i underskud, sætter grænsen for plantens vækst.

## Næring over tid

Når et vækstmedie leveres til et projekt, vil det indeholde en vis mængde næringsstoffer. Hvor meget afhænger af det enkelte vækstmedie. På de enkelte vækstmediers datablad kan man læse, hvor meget af de enkelte næringsstoffer vækstmediet har på leveringstidspunktet. Databladet fortæller altså kun, hvordan næringsbilledet er ved levering.

Næringsindholdet bliver påvirket af forskellige faktorer som fx vandtilstrømning, da en stor vandtilstrømning kan udvaske næringsstoffer hurtigere, end hvis der ikke er et stort vandtilløb. Det gælder både næringsstoffer, der er i vækstmediet, når det leveres, og næringsstoffer, der tilsættes i forbindelse med drift. Har et vækstmedie en stor næringsværdi ved levering, er det derfor ikke ensbetydende med, at den næring efterfølgende er tilgængelig over lang tid. Det skyldes, at næringen både forbruges, men især potentielt kan udvaskes hurtigere, end planterødderne kan optage den.

Næring kan optræde i to former. Det kan være som frie, tilgængelige næringsioner, der er direkte tilgængelige i vandsøjlen i jorden, eller det kan indgå i andre organiske forbindelser. Hvis næringen indgår i andre forbindelser, kræver det **mikrobiologisk liv** for at blive nedbrudt, inden planterne kan optage den. **Humus** spiller fx en meget stor rolle for planterne, da det ved nedbrydning frigiver mange forskellige næringsioner som kvælstof, kalium og fosfor.

## Næringsioner

*Definition* **loner, som planterne skal bruge for at leve.**

Planterødder kan optage næring som ioner, og organiske forbindelser skal derfor først nedbrydes, før de kan frigive tilgængelig næring. Når man laver analyse for næringsstoffer i et vækstmedie, er det de frie, tilgængelige næringsioner, man tester for. Hvis en analyse konkluderer, at en jord er næringsrig, kan man ikke med sikkerhed vide, hvor lang tid den vil være det. Testværdien viser, hvor mange næringsstoffer der er i jorden på det pågældende tidspunkt, og er altså et øjebliksbillede. Det er derfor vigtigt at kende indholdet af organisk materiale, da det efter et stykke tid vil blive nedbrudt og hermed frigive næring, der i første omgang ikke kan ses i en analyse.

Data for næringsstoffer kan være testet efter forskellige normer og metoder. Ekstraktionsmetoder er forskellige fra norm til norm og er derfor vigtige at kende til for at kunne vurdere et datasæt.

### Eksempel

Ved måling af indholdet af fosfor er den danske målemetode forskellig fra FLL's. Den danske målemetode måler den rene fosfor-ion,  $P^{3-}$ , uden ilt, mens FLL-normen måler fosfor med ilt delen i den kemiske forbindelse fosforpentoxid,  $P_2O_5$ . Da mængden af næringsstoffer vurderes ud fra vægt og angives i milligram (mg), vil den prøve, der er testet efter FLL, resultere i en højere vægt end den, der er testet efter de danske normer – også selvom de er lavet ud fra samme jordprøve. Det er, fordi ilt delen i den tyske metode tælles med, og derved kan man fejlagtigt tro, at den indeholder mere fosfor, selvom det ikke nødvendigvis er tilfældet. Det samme gør sig gældende for flere andre næringsstoffer som fx kalium og calcium, hvorfor indholdet af disse ioner umiddelbart ser forskelligt ud, men reelt bunder i, at nogle testmetoder måler dem som rene ioner, mens andre måler dem, hvor de indgår i kemiske forbindelser.

Sammenhæng mellem testværdier for hhv. grundstoffet og den kemiske forbindelse, den indgår i. Vægten ved de to tests er forskellig, da de andre grundstoffer, der indgår i de kemiske forbindelser, også tælles med i den samlede vægt.

Næringsstof	Vægt, grundstoffet	Vægt, den kemiske forbindelse med ionen
Fosfor	100, P	229, $P_2O_5$
Kalium	100, K	120, $K_2O$
Calcium	100, Ca	139, CaO

Ofte vil det være sådan, at hvis et vækstmedie er opbygget efter den tyske FLL-guide, bygger testmetoder og normer også på FLL-guiden.

### Ledetallet

#### Definition

**Udtryk for, hvor høj konduktivitet (elektrisk ledningsevne) der er i jordvæsken i jorden.**

Ledetallet er en simpel måde at give et billede af næringsniveauet i et vækstmedie, og der findes forskellige typer EC-/TDS-målere, så man selv nemt kan bestemme et givent vækstmediets ledetal. Man skal dog være opmærksom på, at ledetallet intet fortæller om de forskellige ioner, der er til stede, eller i hvilken mængde de findes. Ledetallet er et øjebliksbillede af næringsindholdet, og man skal være opmærksom på, at ledetallet for et vækstmedie ændres over tid. Test af ledetallet kan være en hjælp til at vurdere, om næringsniveauet ændres.

Ledetallet kan måles på to forskellige måder:

1. Et EC-meter, der måler elektrisk ledningsevne i siemens/meter (S/m) eller mikrosiemens/cm ( $\mu S/cm$ )
2. Et TDS-meter, der måler TDS i ppm (parts pr. million eller mg/L)

Et EC-meter og et TDS-meter er det samme apparat, hvor måleenheden er forskellig. Både et EC-meter og et TDS-meter måler vandets elektriske ledningsevne (electric conductivity, eng.). TDS (total dissolved solids) er det totale antal ladede ioner fra mineraler, salte og metaller, som er opløst i en given mængde vand. Enheden er mg/L, også kaldet parts pr. million (ppm).

Det gælder, at:

$$1.000.000 \mu\text{S/cm} = 1.000 \text{ mS/cm} = 100.000 \text{ mS/m} = 1 \text{ S/cm} \text{ eller } 1 \mu\text{S/cm} = 100 \mu\text{S/m}$$

## Ionbytningskapacitet

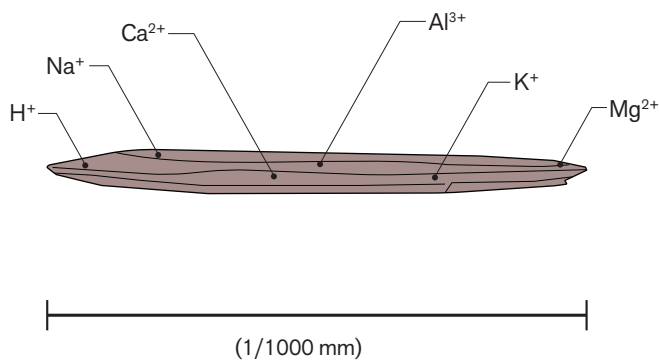
*Definition* **Ionbytningskapaciteten angiver en jords evne til at fastholde positive og negative ioner. Kationbytningskapaciteten angiver en jords evne til at fastholde positive ioner. Begge værdier angives i cmol/kg.**

De makronæringsstoffer, mikronæringsstoffer og ikkemineralske grundstoffer, som planterne har brug for, og som tidligere er vist i det periodiske system, skal optræde som ioner, for at planterødderne kan optage dem. Næringsstofferne findes enten som positivt ladede ioner, kationer, eller som negativt ladede ioner, anioner. Kalium,  $\text{K}^+$ , er et eksempel på en positivt ladet ion, og svovl,  $\text{S}^{2-}$ , er en negativt ladet ion.

Næringsstoffer optræder enten som kation eller anion afhængigt af deres ladning som frie ioner. Enkelte af ionerne kan optræde i forskellige former afhængigt af pH. Det gælder fx jern, der kan optræde som flere forskellige ioner.

Kationer	Anioner
Kalium ( $\text{K}^+$ )	Kvælstof/nitrogen ( $\text{N}^{3-}$ )
Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Fosfor ( $\text{P}^{3-}$ )
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	Svovl ( $\text{S}^{2-}$ )
Natrium ( $\text{Na}^+$ )	
Jern ( $\text{Fe}^{2+}$ )	
Aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ )	
Zink ( $\text{Zn}^{2+}$ )	
Kobber ( $\text{Cu}^{2+}$ )	
Mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ )	
Molybdæn ( $\text{Mo}^{2+}$ )	

For at de frie næringsioner i jorden ikke bliver udvasket, har de brug for at blive fastholdt. Forskellige stoffer kan skabe bufferkapacitet og dermed fastholde nogle af næringsstofferne i jorden. Fx er lerpartikler og biokul negativt ladet på overfladen, og derfor kan de fastholde de positivt ladede næringsioner, kationer, som fx  $\text{Ca}^{2+}$  eller  $\text{Mg}^{2+}$ . På den måde kan ionerne frigives over tid, så planter kan optage dem. Humus kan optræde som både negativt og positivt ladet og kan derfor fastholde både positivt og negativt ladede næringsioner.

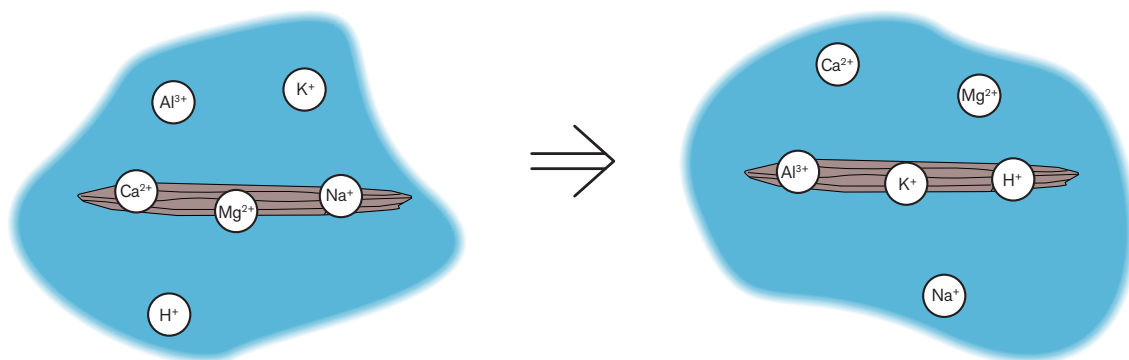


Lerpartiklens og biokullets negativt ladede overflade gør, at positive ioner som  $\text{Ca}^{2+}$  eller  $\text{Mg}^{2+}$  tiltrækkes og fastholdes.

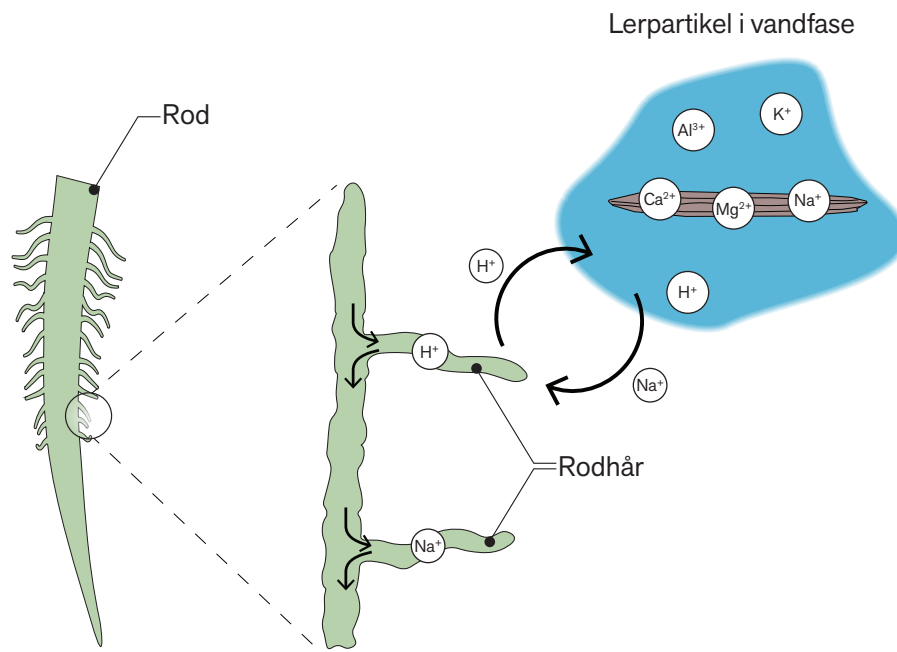
### CEC

Frigivelse af ioner fra fx lerpartikler til vandsøjlen i jorden sker for at skabe ligevægt mellem de kationer, der er bundne i lerpartiklerne, og dem, der findes frit i vandet. For at opnå denne ligevægt vil en vis mængde af de bundne næringsioner frigives og strømme ud i vandsøjlen og dermed blive tilgængelige for planterne. Når en kation frigives fra lerpartiklen, vil en anden kation optage dens plads på lerpartiklens overflade. Evnen til at udveksle ioner kaldes ionbytningskapacitet, og den varierer fra materiale til materiale. Den totale mængde udbyttelige kationer, en jord kan tilbageholde, kaldes kationbytningskapaciteten, CEC (cation exchange capacity). Jo større evne jorden har til at tilbageholde næringsstoffer, des højere er dens CEC. Enheden for CEC er  $\text{cmol}^+$  pr. kg materiale, hvor  $\text{cmol}^+$  er  $1/100 \text{ mol H}^+$ .

Lerpartikel i vandfase



Ionbytning på lerpartikels overflade.



Udveksling af ioner mellem rodhår og vandfase.

Hvis en jord har en meget lav ionbytningskapacitet, og man tilfører en stor mængde næring, må man forvente, at næringsstofferne vil blive udvasket, hvis jorden bliver udsat for vandtilledning. Det sker, fordi næringsionerne findes opløst i vandsøjlen og ikke er bundet til fx lerpartiklerne eller biokul.

Et vækstmedies ionkapacitet kan fremgå direkte af vækstmediets datablad.

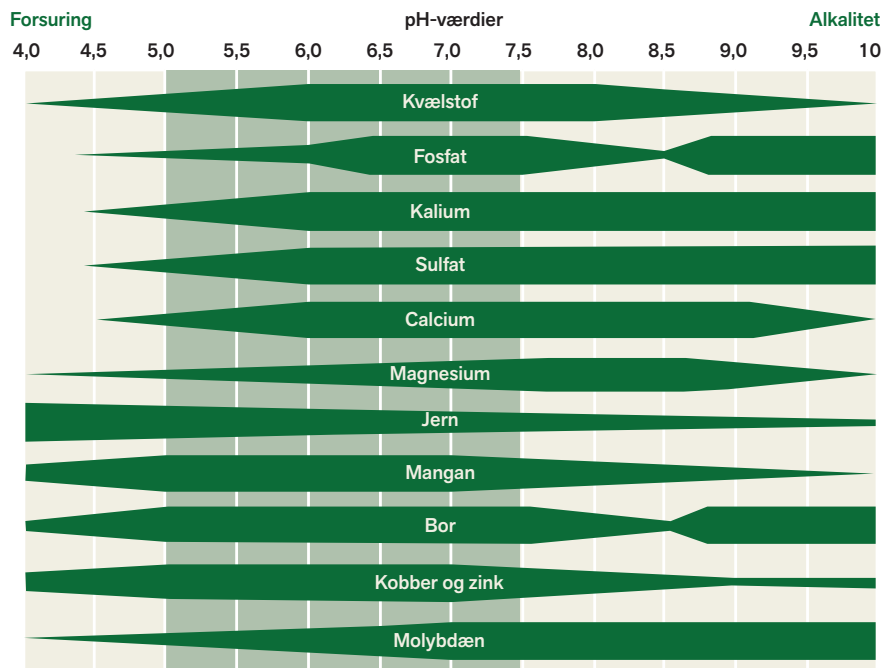
**Eksempel** CEC for sandjord er ca. 5 cmol<sup>+</sup> pr. kg, morænejord 10-20 cmol<sup>+</sup> pr. kg, mens humus er ca. 200 cmol<sup>+</sup> pr. kg. Jorde med lav CEC-værdi som sandjord indeholder ikke mange næringsstoffer og kræver derfor kontinuerlig tilførsel af gødning i små doser, så det ikke udvaskes til grundvandet. Humus har derimod en høj CEC-værdi og evner derfor at tilbageholde næringsstoffer, som kan frigives til planterne over tid, og derved udvaskes næringen i humus ikke så nemt.

## pH

**Definition** *Talværdi for surhedsgraden af en vandig opløsning. pH måles i området 0-14.*

Planternes evne til at optage næring afhænger af jordens pH-værdi og tilstrækkelig mængde **plantetilgængeligt vand**. Jorde med pH < 7 er sure, mens jorde med pH > 7 er basiske. Det betyder dog ikke, at jord med pH 6 rent plantemæssigt set regnes for en sur jord. Der skal pH-værdien under ca. 5.

De forskellige næringsstoffer, som planten behøver, kan optræde i forskellige kemiske bindinger. For at planterne skal kunne udnytte de enkelte næringsioner, må de kemiske bindinger brydes, så ionerne optræder frit. Nogle næringsstoffer optages nemmest, hvis pH-værdien er lav, som fx mangan, mens andre kræver højere pH-værdi for optimal optagelse, som fx molybdæn. Hvis pH-værdien bliver for høj, vil mangan derfor blive svært tilgængeligt for planten, og selvom det er et mikronæringsstof, er det meget vigtigt, da det indgår i dannelse af klorofyl (grønkorn) og derved har indflydelse på plantens evne til at lave **fotosyntese**. Et for lavt optag af mangan vil derfor resultere i dannelse af færre grønne blade i plantens blade, og det vil typisk vise sig som en misfarvning af bladene mod den lysere, gullige side. Hvis andre næringsstoffer mangler, vil der opstå andre mangelsymptomer, og derfor er det nødvendigt, at pH-værdien ligger inden for et interval, hvor planterne kan optage næringsstofferne, så de får de bedste vækstbetingelser.



Optagelse af næringsioner i forhold til pH-værdi i jorden, hvor det generelt kan antages, at pH-værdier på 5-7,5 har de bedste forudsætninger for, at samtlige næringsstoffer vil være tilgængelige for planterne. For visse surbundsplanter som fx blåbær eller rododendron kan pH-værdien dog ligge lavere.



Herunder ses eksempler med træer og den maksimale pH-værdi i jorden, hvor de vokser.

Botanisk navn	pH
Acer rubrum	≤ 7,0
Amelanchier arborea	≤ 7,5
Liquidambar styraciflua	≤ 7,5
Ginkgo biloba	≤ 8,2
Robinia pseudoacacia	≤ 8,2
Tilia tomentosa	≤ 8,2

Den optimale pH-værdi for planter kan variere meget. Selv inden for en gruppe som fx træer er der stor forskel på den maksimale pH-værdi i den jord, de vokser i.

### Nitrogen og pH-værdi

Et af de næringsstoffer, som planterne har brug for, er nitrogen, N. Det findes i jorden enten som ammonium-ionen,  $\text{NH}_4^+$ , eller som nitrat-ionen,  $\text{NO}_3^-$ . Planterne optager, hvad der er tilgængeligt, og skelner derfor ikke mellem, hvor nitrogenet stammer fra. Det har dog betydning for jordens pH-værdi, om nitrogenet optages fra ammonium-ionen eller nitrat-ionen. Ved optagelse fra ammonium-ionen frigives  $\text{H}^+$ -ioner, og derved sænkes pH-værdien i jorden. Ved at bruge det letopløselige kvælstofgødning calciumnitrat,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , eller kalksaltpetet, som det også sælges under, vil planterne kunne hente nitrogen derfra, så pH-værdien løftes i jordmatrixen. Tilføres der i stedet ammoniumsulfat,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , også kaldet svovl-blomme, vil der under nedbrydning dannes svovlsyre, der sænker jordens pH-værdi. Kvælstof er det eneste næringsstof, der kan optræde både i negativt og positivt ladede forbindelser.

### Reaktionstal

Især i landbruget bruges **reaktionstallet** i stedet for pH-værdi. Reaktionstallet benævnes Rt. For vækstmedier kan reaktionstallet, Rt, bestemmes ud fra en jordprøve, der er blandet op i en  $\text{CaCl}_2$ -opløsning, hvoraf pH-værdien måles. Ud fra dette beregnes reaktionstallet. Sammenhængen mellem pH og reaktionstal er følgende:

$$\text{Rt} = \text{pH} + 0,5$$

En jords reaktionstal er derfor blot jordens pH-værdi adderet med 0,5.

## Gødningstyper

*Definition* **Stoffer, der kan tilføres planter, og som indeholder vigtige næringsstoffer.**

Gødning inddeles i to hovedtyper: kemisk produceret gødning, også kaldet konventionel gødning, eller organisk baseret gødning som fx hønsegødning. Begge typer findes i hurtigtvirkende og langsomtvirkende form. Forskellen på de to gødningstyper er, at den konventionelle gødning typisk optræder i nemt opløselig form. Den organisk baserede gødning har typisk et lavere indhold af hurtigt tilgængelige næringsstoffer, fordi den organiske del først skal nedbrydes af det mikrobiologiske liv i jorden, inden næringsstofferne optræder som plantetilgængelige.

Bruger man den konventionelle gødning, skal man derfor være bevidst om mængden, da den hurtigere er opløst og dermed hurtigt findes i vandsøjlen. Gøder man kraftigt, og tilføres der meget vand, kan der ske en **udvaskning** af de netop tilførte næringsstoffer, fordi planterne ikke har haft tid til at optage dem.

Nedbrydningen af den organiske gødning er påvirket af udefrakommende faktorer som vand, varme og mikrobiologisk liv. Det organiske materiale har en længere frigivelsesperiode, da det omsættes over tid.

### Langtidsvirkende gødning

Der findes også langtidsvirkende konventionelle gødninger. Typisk er denne type gødning coated med en **polymer**, der gør, at næringsionerne kun kan vandre ud gennem coatingen, når varme og vand er til stede i de rigtige forhold. Derved har temperatur og vand indflydelse på frigivelseshastigheden. Hvis temperaturen er høj, men der ingen fugtighed er til stede, vil næringsstofferne ikke blive frigivet. Plantevækst fordrer dog også en vis temperatur og fugtighed. Dette modsvarer frigivelsesbetingelserne for næringsstofferne, så den i store træk frigives, i takt med at planterne forbruger dem. Det er med til at minimere risikoen for udvaskning, men giver yderligere den fordel, at man kan tilføre en større gødningsmængde i én arbejdsgang i stedet for flere.

Ønsker man ikke gødningsstoffer med polymer, eller ønsker man fx at tilgodese en grøn profil, der har langtidseffekt, kan de organisk baserede gødningsstoffer vælges. Både den langtidsvirkende konventionelle coatede gødning og den organisk baserede gødning er dyrere end de traditionelle gødningstyper uden coating.

### Næringsværdier

Ved at lave en jordanalyse eller som minimum kende **ledetal** og **pH-værdi** for jordmatricen sammenholdt med viden om de valgte planter kan man sammensætte en gødningsplan. Der ligger en del forskning og viden om, hvad den optimale næringstilførsel er for mange plantearter, og de

er værd at studere for at finde den optimale næringstilførsel. Næringsstofanalyserne er fremstillet ud fra tørstof i planternes blade, og følger man disse anbefalinger om næring, matcher man derfor plantens behov.

### Anbefaling fra FLL

Behovet for næring for træer afhænger af træets størrelse og derved stammeomkreds. I tabellen ses et eksempel på en anbefaling af næringsstoffet nitrogen, N, til træer ved nyplantning til én vækstsæson.

Hvis træerne plantes om foråret, anbefales det, at der bruges langtidsvirkende gødning med en virkningstid på 3-6 måneder. Planter dem i stedet om efteråret, anbefales det at anvende en langtidsvirkende gødning, der har en virkningstid på 9-12 måneder. Begge langtidsvirkende gødninger er coatede, så næringsstofferne frigives langsomt og over tid.

Stammeomkreds i cm	Mængde N/træ	Mængde gødning ved en N- koncentration på 15 %
12-14	Ca. 15 g	80 g
16-18	Ca. 18 g	120 g
20-25	Ca. 24 g	160 g
25-30	Ca. 30 g	200 g

Kilde: *Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1*, udgivet af FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., 2015.<sup>2</sup>

### Mangel på næringsstoffer

Når planten optager næringsstoffer, bliver de transporteret rundt i planten. Derfor vil eventuelle mangelsymptomer relateret til de forskellige næringsstoffer fx kunne ses som misfarvning af blade eller deformationer af nye skud. Planter, der mangler næringsstoffer, vil være langt mere modtagelige for fx svampeangreb eller sygdomme end sunde, velnærede planter.

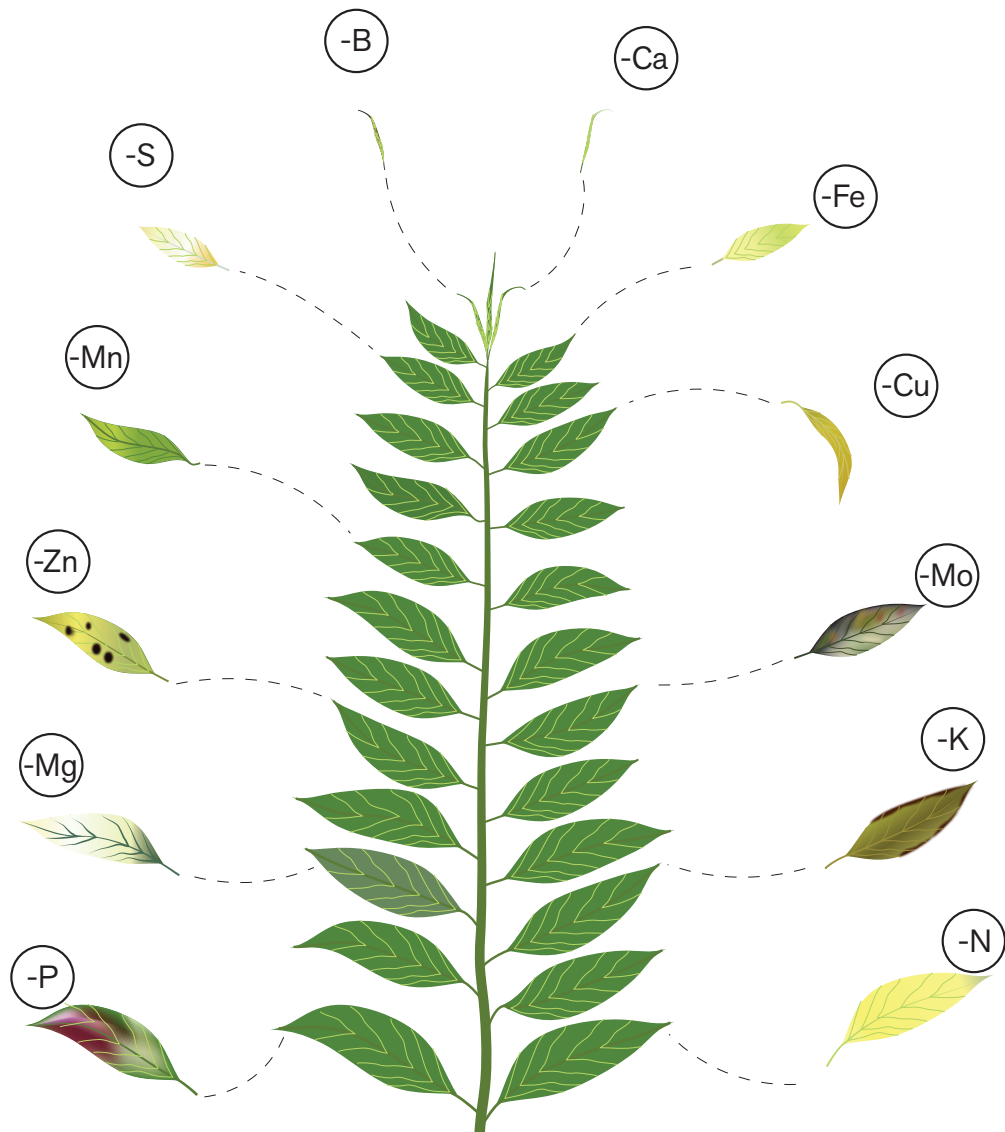
Man taler om to forskellige næringsstofmangler hos planter: reel næringsstofmangel og induceret næringsstofmangel. De to mangeltilstande dækker over forskellige problematikker:

Reel næringsstofmangel:

- Næringsstoffet er ikke til stede i hverken jorden eller i luften, som planten kan optage.

Induceret næringsstofmangel:

- Næringsstoffet er til stede i jorden, men pH-værdien i jorden gør det svært optageligt.
- Næringsstoffet er til stede i jorden, men et stort overskud af et andet næringsstof, der minder om det i opbygning, og som er lettere optageligt, hindrer optagelse af det rigtige næringsstof.
- Næringsstoffet er til stede i jorden, men jorden er vandmættet, så der opstår **anaerobe forhold**, og planten kan derfor ikke respirere.



Mangelsymptomer på næringsstoffer viser sig ved specifikke kendetegn.

De forskellige næringsstoffer vil give forskellige mangelsymptomer, hvis planten mangler det. Ved at studere planten vil man derfor kunne danne sig et billede af, hvilke næringsstoffer den kan være i underskud af. Hvis det følges op med en jordanalyse, vil man mere nøjagtigt kunne fastslå, hvad de nøjagtige næringsstofniveauer er, og derefter lægge en gødningsplan efter dette.

I tabellen ses mangelsymptomer på de mest gængse næringsstofmangler. Både makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer kan udløse mangelsymptomer hos en plante, hvis der er mindre til stede, end planten behøver over et vist stykke tid.

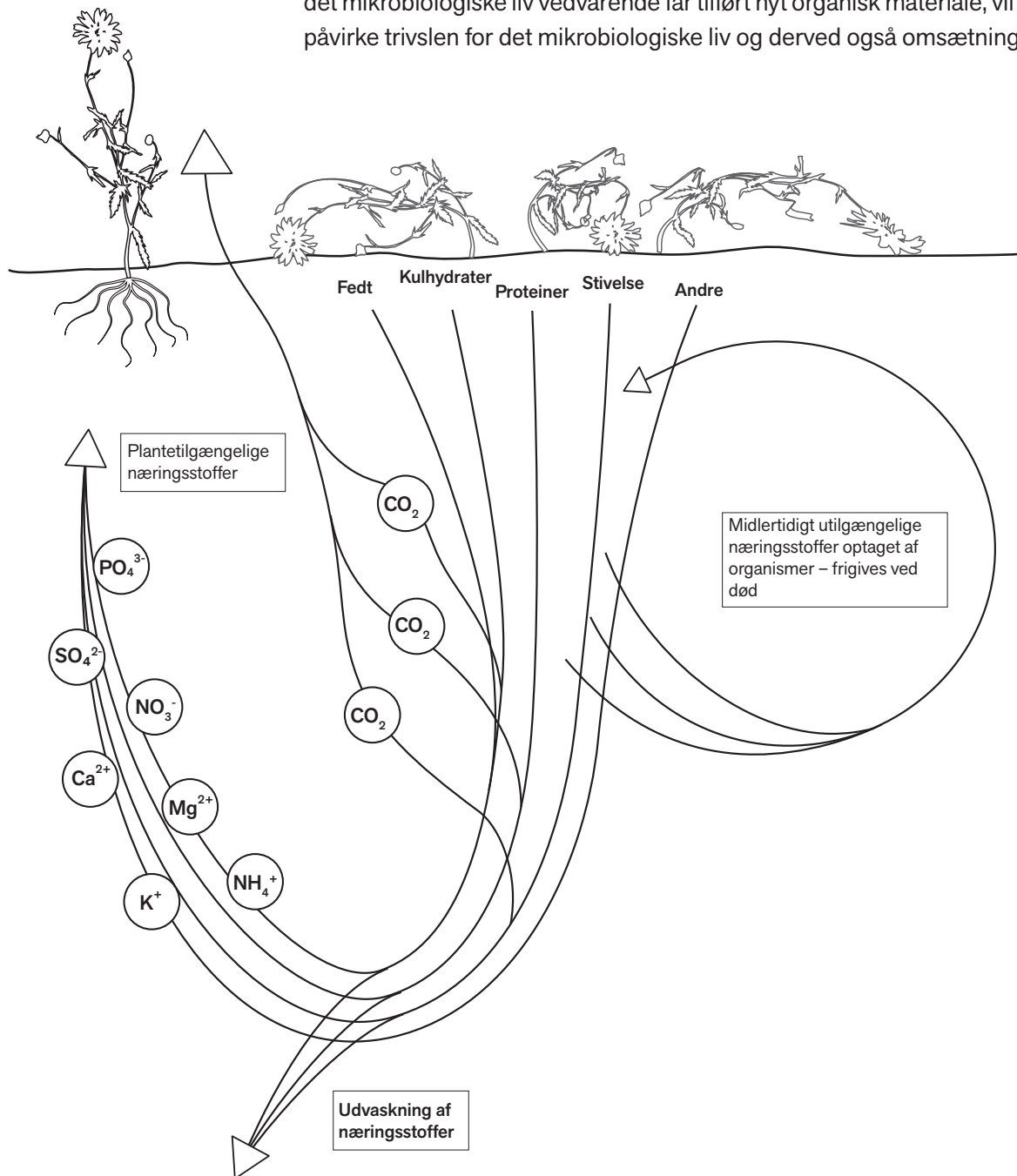
Makronæringsstof	Mangelsymptom
<b>Kvælstof, N</b>	
Indgår bl.a. i protein og opbygning af klorofyl (det grønne farvestof i planterne).	Kvælstofmangel viser sig ved begrænset vækst og lysegrønne blade, som ofte er små. Mangelsymptomerne ses først på de ældre blade, men vil senere sprede sig til de nye. Hvis planten mangler kvælstof over længere tid, vil det give klorose, der giver helt hvide blade, og blomstringen kan blive påvirket, så den blomstrer for tidligt. Græsarter kan ved kvælstofmangel få et rødligt skær ved bladskejerne. Derudover kan væksten påvirkes, da de får en meget spids vækst. Manglen på kvælstof kan forveksles med mangel på svovl.
<b>Fosfor, P</b>	
Indgår i cellekernen og derved ved dannelse af nye celler. Er også vigtig for rodvækst.	Fosformangel viser sig ved røde pletter ofte på undersiden af plantens blade eller ved blade med rødligt skær. Roden og derved også væksten påvirkes, så den bliver dårlig. Hvis pH-værdien er for lav eller for høj, kan planten udvikle fosformangel, fordi den ikke evner at optage næringsstoffet, selvom der måske er nok af det.
<b>Kalium, K</b>	
Indgår i opbygning af proteiner og kulhydrater og har derved også indflydelse på størrelsen af blomster og frugter.	Kaliummangel viser sig ved, at planterne bliver små, fordi væksten hæmmes. Hvis planten bærer frugt, vil de blive mindre ved kaliummangel. Hvis kaliummanglen er stærkt udbredt, vil det ses ved, at bladene visner i kanten, som samtidig ruller indad. Den øvrige del af bladet vil stadig være grønt. Topblade viser sjældent symptomer på mangel, men derimod blade, der har basis ved skuddene.
<b>Magnesium, Mg</b>	
Indgår i opbygningen af klorofyl (det grønne farvestof i planterne).	Magnesiummangel viser sig ved gule eller visne pletter mellem bladribberne. Pletterne sidder ofte parvis på hver side af midterribberne. Magnesiummangel kan også medføre brune bladrande som ved kaliummangel, men ved magnesiummangel vil der som oftest også være visne pletter på bladet samtidig. Derudover ruller bladrandene ikke ind, som de gør ved kaliummangel. Bladene på en plante med magnesiummangel vil ofte falde af, og eventuelle nye skud vil ligeledes miste mange blade. Er jorden for sur, hæmmes optagelsen af magnesium. I sådanne tilfælde kan det anbefales at tilføre kalk, som fx dolomitkalk, der indeholder magnesium, og derudover bruge basisk gødning.
<b>Calcium, Ca</b>	
Vigtig for planterøddernes vækst.	Calciummangel viser sig ved, at nye skud på planten tørrer ud, væksten hæmmes, og frugter som fx æbler får pletter. Rødderne vil ved calciummangel blive fortykkede, og vækstpunkterne på planten vil ofte dø.
<b>Svovl, S</b>	
Indgår i visse planters aroma og påvirker derfor både kvalitet og smag.	Svovlmangel viser sig ved hæmmet vækst og klorose med hvidlige blade og kan derfor forveksles med kvælstofmangel. Symptomerne kan vise sig på de yngste blade først. Hvis kvælstof er begrænsende for væksten, ses symptomerne først på de ældste blade, hvorimod de først ses på de yngste blade, hvis kvælstof ikke er begrænsende. Ofte vil det dog ses på alle blade. Da svovlmangel er svær at diagnosticere og kan forveksles med nitrogenmangel, kan en jordanalyse, hvor sulfat-ionen, $SO_4^{2-}$ , undersøges, fastlægges, om det er problemet. Ved forveksling med kvælstofmangel og deraf tilførsel af det kvælstof vil symptomerne forværres, hvorfor en jordanalyse anbefales.

Makronæringsstof	Mangelsymptom
<b>Jern, Fe</b>	
Indgår i klorofyl (det grønne farvestof i planterne).	Jernmangel viser sig ved, at de yngste blade bliver gule mellem bladnerverne. Hos enkimbladede planter afbleges bladpladen, så vener og det intervenøse træder skarpt frem. Ved tokimbladede planter bliver bladene klorotiske, og hvis der er udbredt mangel på jern, vil selv nerverne på bladene bliver lyse.
<b>Mangan, Mn</b>	
Indgår i klorofyl (det grønne farvestof i planterne).	Manganmangel viser sig ved, at bladene bliver punktvis gule mellem bladnerverne. Derudover forekommer små pletter med døde celler på bladene. Pletterne er ofte omgivet af lysere bladkød.
<b>Kobber, Cu</b>	
Indgår i enzymer, der styrer fotosyntesen.	Kobbermangel viser sig ofte ved udtørring af spidser og kanter på de yngste blade. Derudover bliver bladnervernes hals grøn. Lav frø- og kernesætning hos frugtbærende buske og træer. Ved alvorlig kobbermangel bliver stængler slappe og hængende, og bladene snor sig sammen og bliver blege på spidserne.
<b>Zink, Zn</b>	
Indgår i proteinomsætningen.	Zinkmangel viser sig ved hæmmet strækningsvækst på stænglen, og de yngste blade bliver ofte misdannede og mindre end normalt.
<b>Molybdæn, Mo</b>	
Indgår i dannelse af proteiner.	Molybdænmangel viser sig ved samme symptomer, som kendes fra nitrogenmangel. Ved svær mangel ses deformede blade, der er skeformede med en meget irregulær kant.
<b>Bor, B</b>	
Påvirker både blomstring og frøsætning.	Bormangel viser sig ved gulligt bladmateriale mellem nervetrådene, og overfladen på fx æbler kan blive ru.
<b>Klor, Cl</b>	
Er katalysator for iltudviklingen under fotosyntesen.	Klormangel viser sig ved nedsat rodudvikling og dannelse af døde celler på bladrande (nekrose).

## Mikrobiologisk liv

*Definition* Svampe, bakterier og smådyr, der nedbryder organisk materiale i jorden.

I jorden findes levende organismer, der påvirker den. Det kan fx være bakterier, svampe eller smådyr, der tilsammen kaldes det mikrobiologiske liv. Det mikrobiologiske liv omsætter det organiske materiale i jorden gennem forskellige mikrobiologiske processer. Under nedbrydningen bliver det organiske stof til uorganisk materiale, det kalder man **mineralisering**, og det påvirker jordens egenskaber som vækstmedie. Hvis ikke det mikrobiologiske liv vedvarende får tilført nyt organisk materiale, vil det påvirke trivslen for det mikrobiologiske liv og derved også omsætningen.



Mineraliseringsprocessen

Omsætningen af organisk materiale kræver ud over mikrobiologisk liv vand og ilt. Under processen vil den hårdt bundne næring i det organiske materiale blive nedbrudt, og næringsstofferne blive frigivet. Den hastighed, som det organiske stof nedbrydes med, kaldes omsætningshastigheden, og den er også afhængig af temperaturen i jorden. Ved lave temperaturer sker omsætningen langsommere end ved høje temperaturer.

I det åbne land er der en naturlig balance i mængden af tilført organisk materiale fra omgivelserne, der opretholder et stabilt mikrobiologisk liv. Men i byerne er den balance udfordret, bl.a. på grund af den manglende naturlige tilførsel af organisk materiale. Det er fx tilfældet i mange af byens bede, i særlig grad vejbede, hvor jordmatricen går under belægninger. Nedfaldne blade blæses væk over belægningerne eller fejes op og fjernes af driftspersonale. Det forhindrer en naturlig tilførsel af organisk materiale, og derved bliver den naturlige cyklus brudt. Det mindsker stabiliteten af det mikrobiologiske liv.

I en traditionel **muld** kan man have en forventning om, at det mikrobiologiske liv altid er til stede, og at det derved har gode levevilkår. Men sådan behøver det ikke at være. Det er nødvendigt, at vækstmediet giver mulighed for, at ilt kan være i hulrummene i jorden, og at den derfor ikke er for kompakt. Komprimeres en traditionel muld uden skeletstruktur for meget, vil det påvirke det mikrobiologiske liv, fordi den udtvungne luft på sigt vil blive erstattet med vand. Derved skabes en anaerob og våd jord med ringe vilkår for både mikrobiologisk liv og planter. I jorde med anaerobe forhold vil omsætningen stadig ske, men nedbrydningen vil have slutproduktet metan, der har en skarp lugt.

En forudsætning for, at det organiske materiale i et vækstmedie kan bidrage til at understøtte ernæringsdelen for planterne, er derfor, at forholdene er **aerobe**, og at der er vand til stede sammen med mikrobiologisk liv. I nogle vækstmedier tilsættes organisk materiale som fx **kompost** for at understøtte det mikrobiologiske liv. Omsætningsgraden på den tilsatte kompost kan variere og henviser til, hvor meget komposten er omsat til humus.



## Osmose

*Definition* **Diffusion af vandmolekyler gennem en semipermeabel membran for at udligne koncentrationen af vandmolekyler på begge sider af membranen.**

Hvis saltniveauet i jorden er højere end i planten, vil det osmotiske tryk forsøge at udligne forskellen ved, at vand fra planten vil trænge ud i den omkringliggende jord for at opnå samme saltkoncentration begge steder. Det kaldes osmose og vil medføre, at planten kan blive dehydreret eller i værste fald dø. Et højt indhold af salt i jorden er derfor ikke hensigtsmæssigt, og det taler for, at man tilføjer næring i den hastighed, som planterne kan optage den.

*Eksempel* En gulerod sættes i et glas med saltvand. Efter lidt tid vil guleroden blive blød og slatten. Det skyldes, at saltindholdet i guleroden og saltvandet er forskelligt, og det osmotiske tryk vil forsøge at udligne den forskel ved, at der trænger vand ud af guleroden. Sættes den bløde gulerod efterfølgende i et glas almindeligt vand, vil den kunne optage en del af det vand, den i første omgang har mistet. Det er igen på grund af det osmotiske tryk, der denne gang forsøger at skabe ligevægt mellem saltkoncentrationen i guleroden og glasset med almindeligt vand.

En plantes evne til at optage vand kan påvirkes af saltindholdet i jorden omkring plantens rod. Koncentrationen af de opløste salte kaldes ledetallet, EC, og ledetallet angiver derved, hvor mange ioner der er til rådighed for planten. Ledetallet siger ikke noget om, hvilke ioner det er.

## Frøsåning

Ved frøsåning er frøenes evne til at spire afhængig af vand, ilt, salte i jorden og pH-værdien. Ledetallet i vækstmediet har derfor stor indflydelse på spiringen og de unge planter, fordi for højt gødningsniveau i jorden kan medføre plantesvækkelse eller død som følge af osmose.

Hvis man skal frøsa, er det vigtigt, at vækstmediet ikke har for høj næringsværdi, fordi de unge planter er sårbare over for for meget gødning. Spiring foregår derfor ofte i et relativt næringsfattigt vækstmedie. Senere i vækstprocessen, når der er kommet gang i væksten, kan næringsniveauet hæves, så planten får den næring, den har brug for. Hvor meget gødning en plante skal have, er artsspecifikt og derfor nødvendigt at klarlægge.

Spiringssuccesen er også afhængig af jordens pH-værdi. Den optimale pH-værdi for spiring er afhængig af planteart, men for en større del af arterne vil en pH omkring 6 være optimal.



## CASE

# STENO DIABETES CENTER COPENHAGEN, HERLEV

---

På **Steno Diabetes Center Copenhagen (SDCC)** i tilknytning til Herlev Hospital ønskede man at skabe et landskab oven på en parkeringskælder. Når man trådte ind, skulle det være som at træde ind i et naturligt landskab, der er integreret i selve bygningen. På den måde skulle taghaverne være med til at favne naturen og dens mangfoldighed, og det stiller store krav til de vækstmedier, der anvendes. De mange naturtyper stiller øget krav til pH og næringsforhold i de specialdesignede vækstmedier.

For at muliggøre den ønskede plantevækst på dæk er et let vækstmedie med høj markkapacitet og dermed meget plantetilgængeligt vand nødvendigt. Samtidig sikrer strukturstabilitet og veldefineret permeabilitet lang levetid og god balance mellem ilt og vand, som netop understøtter en aktiv rodzone.

# Steno Diabetes Center Copenhagen

Herlev

---

**Anlægstype:** Taghave

**Realiseringsår:** November 2021

**Bygherre:** Region Hovedstaden, støttet af  
Novo Nordisk Fonden

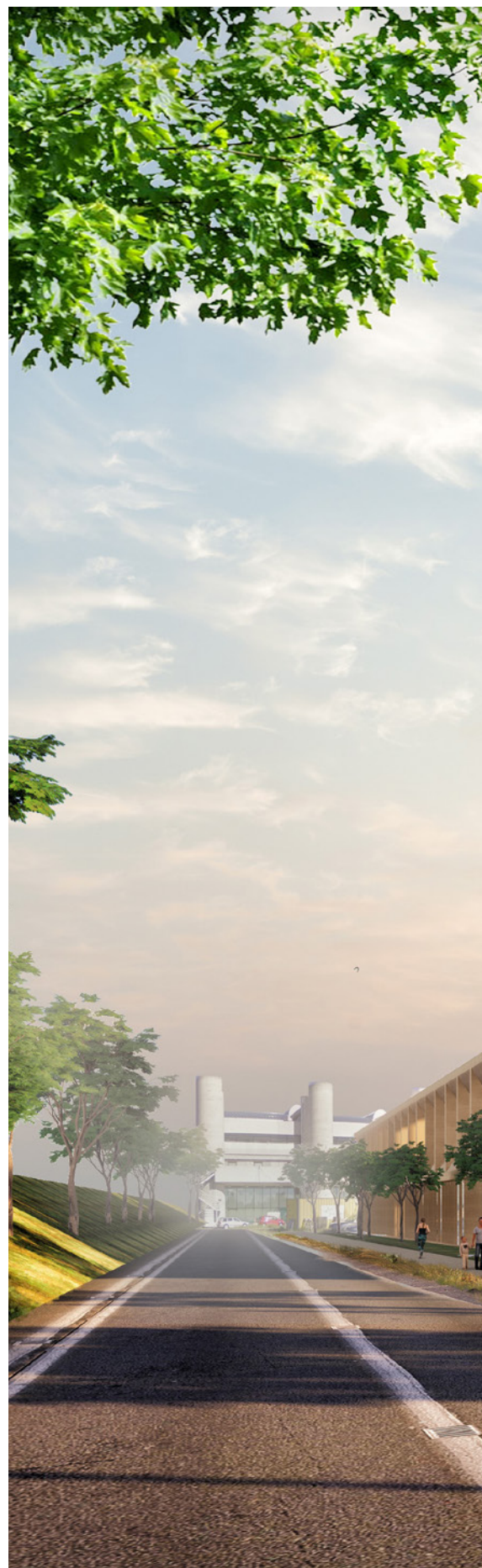
**Design og udførelse:** STED, COWI A/S,  
Vilhelm Lauritzen Arkitekter, Mikkelsen Arkitekter,  
landskab udført af HedeDanmark A/S



Taghavesubstrater er som andre vækstmedier ikke bare én løsning. På dette projekt benyttes der flere typer LetVext, hvor blandingerne er justeret efter plantsammensætningerne. Det betyder bl.a., at pH-niveauet varierer, uden at de andre egenskaber ændres. Det åbner for anvendelse af planter, der normalt ikke ses på taghaver, nemlig mere surbundselskende arter.



Vandhåndtering på tag- eller dækopbygninger er et kritisk element, der kræver veldefinerede egenskaber. Alle benyttede LetVext-produkter er testet efter Green Roof Guidelines fra FLL. Det gælder også de hydrauliske egenskaber.





# Steno Diabetes Center Copenhagen

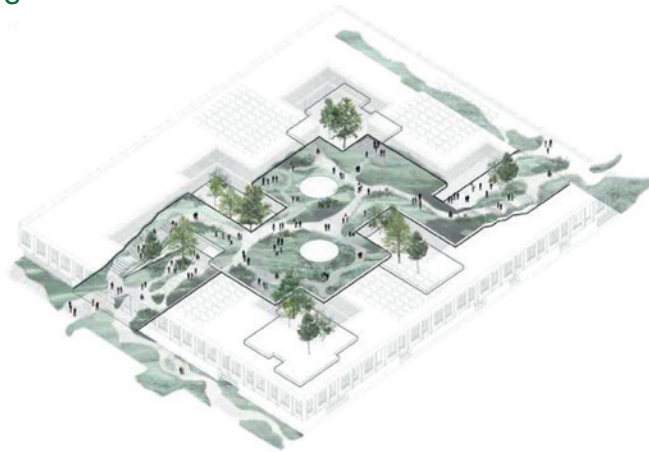
Herlev

Landskabet skal ud over at bidrage med maksimal sanselighed til glæde for besøgende og personale også være med til at løse udfordringer i forhold til trafik, tilgængelighed og regnvandshåndtering – alt sammen ud fra en ambition om størst mulig bæredygtighed.

Landskabet findes i to etager. Etage 01 består af fire temagårdhaver og bryder gennem landskabets anden etage, etage 02, som er et bevægelseslandskab, der forbinder taghaven med det omkringliggende landskab.

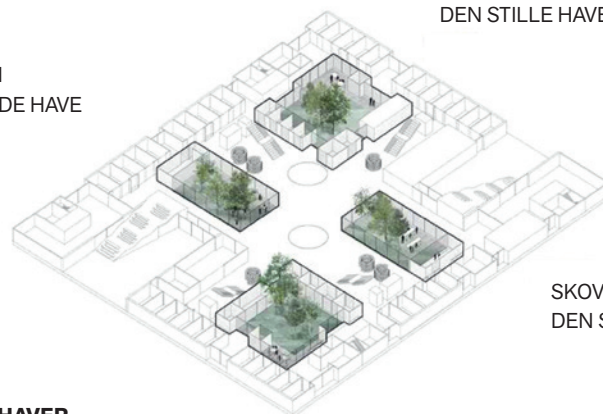
Der er visuel og fysisk kontakt fra etage 01 til den centrale taghave på etage 02.

ETAGE 02  
**TAGHAVE – BEVÆGELSESLANDSKAB**



HØJSKOVEN  
DEN LEGENDE HAVE

LYSNINGEN  
DEN STILLE HAVE



SKOVBRYNET  
DEN SPISELIGE HAVE

ETAGE 01  
**FIRE GÅRDHAVER**

HØJEN  
DEN AKTIVE HAVE

Principsnit for opbygningen af  
landskabet på taghaverne.

LetVext Intensiv  
Filterdug, VLF 200  
Armeringsnet, 100 x 100 cm, 12-mm tråd  
Filterdug, VLF 200  
Dræn- og vandreservoir, DiaDrain 40H  
Fugtbevarende beskyttelsesdug, VLU 300  
Rodbeskyttelsesfolie, LDR 1000  
Vandtæt membran

Tagkonstruktion







## KAPITEL 6

# Bæreevne

---

Rummet i byen er trangt, og planter kæmper om pladsen med bl.a. cykelstier, veje og bygninger. Efterspørgslen på at få etableret plantebede, hvor planterne kan have rodzoner under vejbanerne, vokser. Det stiller specielle krav til de vækstmedier, der bruges, så det sikres, at rødderne kan trives. Standard proctor og E-moduler er begge vigtige parametre ved sådanne etableringer, og ved at stille krav til dem begge er det muligt at skabe et velfungerende, rodvenligt bærelag. Det åbner for brugen af nye typer vækstmedier, som kan opfylde ønsker til både høj bæreevne og gode vækstegenskaber for planterne.

### Skeletjord

*Definition* **Jord, der ved kornkontakt danner et bærende skelet.**

Skeletjorde bruges der, hvor der er behov for bæreevne som fx veje, cykelstier, fortove eller andre steder, hvor der er befæstelser henover, og hvor jorden ikke ligger åben. Det særlige ved en skeletjord er, at der er kontakt mellem kornene i jorden, så det danner en skeletstruktur. Skeletstrukturen er bygget af ikkeforgængelige materialer, og det gør, at det er muligt både at opnå struktur og bæreevne i jorden. Uden skeletstrukturen vil det ikke være muligt at forene bæreevne og gode vækstegenskaber. Samtidig kan skeletjorden bankes op til at tåle en vis belastning.

Ved indbygning af en skeletjord bliver materialet presset hårdt sammen, så kornene låser, og derved kan matricen blive stabil. Formen på de enkelte korn har betydning for, hvor fast materialet låser. Runde søsten låser fx mindre godt end kantede skærver, ligesom stabilgrus er langt mere stabilt end sand, hvis det bankes op. I **FLL-guiden** gives der ikke en standard for formen af kornene i skeletjorden, og hermed om man skal bruge runde eller kantede sten, selvom der er forskel på, hvor godt de låser ved **indlejring**. For **friktionsjord**, som skeletjorde er, har kornenes form stor indflydelse på jordens styrke, men også andre faktorer som kornstørrelse, **poretal** og **gradering** har indflydelse. Ved etablering af vejkasser med rodvenligt bærelag, der kræver en vis stabilitet, er det derfor vigtigt at kende de forskellige materialer og deres egenskaber, så de optimale valg kan træffes.

Pimpstensbaseret skeletjord.

## Friktion og kohæsion

*Definition* **Friktion: gnidning mellem to materialer eller genstande.**

*Definition* **Kohæsion: sammenhæng mellem to materialer på grund af fysiske eller kemiske kræfter.**

Der er to ting, der kan få en jord til at hænge sammen: friktion og kohæsion. Ved **skeletjorde** eller friktionsjorde, som de også kaldes, er det friktionen mellem kornene, der gør, at jorden låses og kan tåle en vis belastning. Stabilgrus er et eksempel på en jord, der hænger sammen ved friktion. **Kohæsionsjord** derimod holdes bl.a. sammen af vandets binding i partiklerne, kaldet kohæsionskræfter. I en kohæsionsjord rører kornene ikke hinanden, og det har betydning for kohæsionsjordens stabilitet. **Lerjord** er et eksempel på en kohæsionsjord. Selvom en kohæsionsjord bankes op, vil lerflagerne aldrig røre hinanden. Områder med ler i naturen kan umiddelbart virke faste, men selvom naturen selv kan indlejre leret fast, har lerflagerne ikke kontakt.

## FLL og skeletjorde

I FLL-guiden er der anvisninger til blanding af skeletjorde, men desværre indeholder den brede marginer for de materialer, der blandes sammen, og det giver usikkerhed om bæreevnen i sidste ende. Ved etablering af fx en vejkasse, hvor skeletjorden skal indgå i vejkonstruktionen, er FLL-guiden derfor ikke en garant for, at den kan bære nok, da det netop er en guideline og ikke en decideret standard. Det giver mening at stille krav til **E-modulerne** i forhold til bæreevnen, for at den kan indgå i statiske beregninger. Det optimale vil være at have en veldefineret måde at opbygge et stabilt vækstmedie på, som man efterfølgende kan teste, og som kan replikeres. Det er muligt at måle bæreevne (E-modul) på alle FLL 2-jorde. Kan blandingerne ikke replikeres 100 % fra gang til gang, skal der måles på alle blandinger.

## E-modul

*Definition* **E-modul eller elasticitetskoefficient, E, beskriver et materiales modstandskraft over for deformation. Angives i N/mm<sup>2</sup> eller MPa.**

Elasticitetskoefficienten er forholdet mellem spænding og tøjning (relativ længdeforøgelse) for et lineært, elastisk materiale, inden det overgår til flydning og plastisk deformation. Jord er ikke et lineært, elastisk materiale, men opfører sig delvist som et. Derfor ansues jord tilnærmelsesvis som elastisk, fordi en given jordmatrice vil deformere ud til siderne, hvis den udsættes for en nedadgående kraft. Størrelsen af deformationen benævnes delta,  $\Delta$ .

## Reversibel og irreversibel deformation

Helt overordnet set kan deformationer i jord deles op i to, nemlig reversible og irreversible. Kort beskrevet knytter de reversible deformationer sig til de deformationer, som ikke forårsager brud i jordsøjlen. Jorde opfører sig så at sige elastisk og genfinder, teoretisk set, sin oprindelige form efter endt belastning. De irreversible deformationer betyder brud i jordsøjlen med varige, ikkegenoprettelige deformationer til følge. Ved eksempelvis vejbyggeri har man behov for at kende til jordens styrkeegenskaber for at undgå, at der opstår irreversible skader på jordsøjlen med sporkøring og ødelagte veje til følge.

## Måling af E-modul

E-modul måles enten ved laboratorietests eller i felten med hhv. statisk pladebelastningsforsøg eller minifaldlod.

Ved laboratorietest fastlægges E-modul gennem en kompleks test, hvor forsøget under en aksialsymmetrisk spændingstilstand finder jordprøvens styrke, deformation og strømningssegenskaber. Det aksialsymmetriske tryk sikres ved, at jordprøven under testen befinder sig nedsænket i en væske indpakket i et "membranrør". Som det fremgår af prøvens navn, er det en cyklisk testmetode. Der foretages først 20.000 belastninger (cyklusser), hvorefter prøvens beskaffenhed kontrolleres og holdes op imod kravene i normen. Klarer den dette, udsættes den for resten af testforløbet, som udgør mindst 80.000 cyklusser. Testen resulterer bl.a. i værdi for materialets E-modul, E.

I felten kan E-modul bestemmes for en udlagt jordtype med en geofon, der måler vibrationer, et faldlod og en datalogger, der registrerer fremkomne data. Ved at løfte faldloddet og derefter lade det falde måles der, hvor meget materialet fjedrer. Dataloggeren registrerer målingerne, og forsøget gentages et antal gange efter et bestemt mønster, til kurven stabiliserer sig.

## Materialers E-modul

E-modul er afhængig af materialet. Inden for jordarter er morænelers E-modul 10-50 MPa afhængigt af typen, mens E-modul for grus er 100-300 MPa. Ved indbygning vil hårdheden af de underliggende lag have indflydelse på, hvilket E-modul der kan opnås.

I tabellen er der E-moduler for forskellige materialer.

Materiale	E-modul MPa
Beton, C40/50 <sup>1</sup> , uarmeret	35.000
Skærvemacadam (SKM)	1.000
Singelsmacadam (SIM)	600
Stabilgrus I (SG I)	350
Stabilgrus II (SG II)	300
Knust beton (KB)	350
Knust beton/tegl I (KBT I)	250
Knust beton/tegl II (KBT II)	200
Knust beton/tegl III (KBT III)	150
Knust asfalt (KAS)	250
Knust asfalt/beton I (KAB I)	250
Knust asfalt/beton II (KAB II)	300
Bundsikringslag, sand, kvalitet I (BL I), uensformighedstal U > 3	150
Bundsikringslag, sand, kvalitet I (BL I), uensformighedstal U ≤ 3	100
Bundsikringslag, sand, kvalitet II (BL II), uensformighedstal U > 3	150
Bundsikringslag, sand, kvalitet II (BL II), uensformighedstal U ≤ 3	100
Forbrændingslagge som bundsikringslag	100
FLL 2-jord uden yderligere dokumentation	Ca. 45
RodVext E150 02 / FLL 2	> 150
RodVext E80 015 / FLL 2	> 80
RodVext E45 020 / FLL 2	> 45
CityVext P40 020 / FLL 1	> 40
CityVext P15 025 / FLL 1	> 15
<b>Noter</b>	
1) Styrkeklasse iht. DS/EN 1992-1-1 + AC, 2008.	

Jordarter	E-modul MPa
Moræneler, kalkfrit <sup>1</sup>	10-20
Moræneler, kalkholdigt <sup>1</sup>	20-50
Moræneler, fedt, kalkholdigt <sup>1</sup>	10-30
Senglaciale ler- og siltaflejringer <sup>1</sup>	5-15
Sand, fint (frostfarligt)	40-70
Sand	70-150
Grus	100-300
Andre materialer	Se note <sup>2</sup>
<b>Noter</b>	
1) Afhængigt af in situ-vandindhold.	
2) Fastlægges ud fra felt- eller laboratoriemålinger.	

E-moduler for forskellige materialer.<sup>3</sup>

## Stil krav til E-modul

Ønsker man at indbygge et **konstrueret vækstmedie** som en del af en vejopbygning, bør der stilles krav til, at materialeegenskaberne er veldokumenterede, så man ikke udfordrer styrkeegenskaberne i opbygning.

Ved indlejring af et materiale er det derfor vigtigt at kende materialets E-modul, så en ønsket indlejring og styrke kan opnås og eftervises, og det kræver yderligere klare, entydige beskrivelser af, hvordan materialet indbygges. Har man ikke valide oplysninger, fx om et materiales E-modul, kan man ikke lade det rodvenlige bærelag indgå i vejopbygningen.

For vejmaterialer bør E-modul testes efter DS/EN13286-7, Dansk Standard/Europæisk Norm, som er en triaksial prøvning ved cyklisk belastning. Testmetoden spænder over to metoder (metode A og B), som dækker over, hvorvidt det støttende tryk er variabelt eller konstant.

## Indlejring

*Definition* **At komprimere et kornmateriale, så man opnår en stabil skeletstruktur.**

Indlejring sker, når partikler lagrer sig med en given tæthed. Indlejringen kan være naturlig, eller det kan ske ved mekanisk indlejring, fx med pladevibrator eller lignende. Et jordmateriales maksimale indlejringstæthed viser, hvor tæt partiklerne i en given jordprøve kan indlejres. Vandindholdet i jordprøven har indflydelse på, hvor tæt partiklerne kan indlejres.

I forbindelse med etablering af fx vejkasser indlejres materialerne, så de opnår så stabilt et niveau som muligt. Hvis indlejringen ikke er optimal, kalder man det en løs indlejring. Det vil gøre, at vejkassen og i sidste ende belægning kan sætte sig over tid. En stabil indlejring afhænger af masse-tætheden i materialet efter **komprimering**.

Ved etablering af befæstede arealer er det derfor nødvendigt at have en holdning til, hvor meget materialet skal indlejres, og samtidig hvor meget det *kan* indlejres. Efter anbefalinger kan en FLL 2-jord indlejres til maksimalt 95 % **standard proctor**. Ved vejbygning kræves en indlejring til minimum 95 % standard proctor. Derved kan FLL 2-jorden kun lige indlejres til det minimale i forhold til anbefalingerne for vejbygning. Gøres det, vil det samtidig skade vækstegenskaber for planterne i nærhed af vejbanen. Det er et problem, hvis det er et ønske, at der fx skal kunne vokse rødder ud under en vejbane, fordi en maksimal indlejring pakker materialet for hårdt, så der ikke er plads eller luft til rødder og derved vækst. Indlejres FLL 2-jorden til en mindre standard proctor-værdi for at give bedre vækstbetingelser for planterødder, vil det ødelægge bæreevnen for opbygningen. FLL-guiden berører problematikken omkring indlejring af FLL 2-jord som bærelag og risikoen for ødelagte vækstegenskaber, hvis den bankes fuldt op. I FLL-guiden er angivet et spænd, som FLL-jorden skal indlejres ved, og det er derfor vigtigt at være opmærksom på, at guiden samtidig beskriver nogle af de konsekvenser, der kan være ved at indlejre til en vis værdi.

Bygges der med en skeletjord med fuld kornkontakt, vil porerne i jorden ikke forsvinde ved indlejring, og derved kan der opnås både den ønskede indlejring og mulighed for rødder til at søge ud i materialet efter **plantetilgængeligt vand** og ilt.

Normalt ved man, at man ved fuld indlejring vil opnå den styrke, som er beskrevet i materialets data. Hvis man udfordrer indlejringen, hvor man ønsker at ramme inden for et bestemt vindue for indlejningsværdien som fx proctor 85-90 for at tilgodese vækstegenskaber, kræver det en dygtig fagperson med ekstremt godt kendskab til både indlejring og det specifikke vækstmedie. Der kan være stor risiko for, at det ikke lykkes, og samtidig opnås den fulde styrke ikke. Hvis en rådgiver skal tage ansvar for en opbygnings styrke, er det derfor en forudsætning, at der ligger valide data for bl.a. styrken ved en given indlejring, som man efterfølgende kan påvise, samt vejledning i, hvordan materialet skal indbygges.

## Standard proctor og vibrationsindstamping

Der findes to metoder til at fastlægge den **maksimaltørdensitet**: proctorforsøg og vibrationsindstamping.

### Standard proctor

*Definition* **En referenceværdi for komprimering. Angives i procent af maksimal indlejring foretaget ved standardiseret laboratorietest.**

Ved laboratorietest kan et materiales evne til maksimal indlejring fastlægges. Et materiale, der er indlejret maksimalt, har en standard proctor-værdi – eller blot proctor-værdi – på 100. Proctor-værdien er en værdi for, hvor tæt på et materiales maksimale indlejring det er indlejret. Skal et materiale indlejres til fx 95 % af den maksimale indlejring for materiale, indlejres det til en 95 % standard proctor. Standard proctor fortæller ikke noget om, hvad produktet kan i forhold til fx bæreevne, når det er indlejret.

---

**Eksempel** Stabilgrus II har et E-modul på 300, og bundsikringslag i sand i kvalitet II har et E-modul på 100. Begge materialer kan bankes op til en proctor 95, men bæreevnen for de to materialer vil ikke være det samme. Derfor bør der stilles krav til både standard proctor-værdien og til E-modulet for et givent materiale for at sikre, at det har de egenskaber, som ønskes.

---

Ifølge *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger* skal materialer, der bruges som bærelag, indlejres ved min. 95 % standard proctor. Indlejrer man en FLL 2-jord til denne proctor-værdi, vil det udfordre vækstegenskaberne, hvis det er ønsket, at fx rødder fra træer skal kunne befinde sig i mediet. Hvis indlejringen nedbringes, så det indlejres til en

lavere værdi,  $\leq$  proctor 95, udfordrer man styrken af vejkkassen, samtidig med at det rykker ved den grundforudsætning, som hele vejkkassen er dimensioneret ud fra. Et materiales egenskaber er derfor kun til at regne med, hvis indbygningen er korrekt. Er den ikke det, vil grundforudsætningen for at kunne bruge materialekonstanten og dermed den oplyste bæreevne på vækstmediet ikke kunne bruges, og derved holder beregningerne ikke. Det kan over tid betyde, at ved længerevarende belastning og især ved kraftig påvirkning af vand vil materialet kunne sætte sig, fordi det ikke er indlejret fuldt ud. Derfor er det essentielt, at man kan få oplyst materialekonstanten til dimensionering efter katalogmetoden, og at materialet samtidig bliver behandlet korrekt, så materialekonstanten opnås.

## Vibrationsindstampning

*Definition* **Bestemmer den maksimale tørdensitet og det hertil hørende vandindhold for et kohæsionsløst og frit drænende materiale ved hjælp af et vibrationsbord.**

Vibrationsindstampningen (DS/EN13286-5) er en nyere måde at foretag referenceforsøg på. Metoden er velegnet til friktionsjorde og generes ikke af store kornstørrelser. Metoden er generelt udbredt og foretages stærkt forenklet ved, at en jordprøve anbringes i et cylinderformet stålør med en volumen på 14 liter, som placeres på et vibrationsbord. Prøven vibreres let efter de i normen angivne visuelle kriterier i 6 minutter. Jordprøven skal være godt opfugtet, gerne lidt over det optimale vandindhold. Oven på jordprøven placeres en mellemlægspade samt et vægtlod med en samlet vægt på 86,2 kg. Den vibreres med amplitude (halv slaglængde) på 0,6 mm ved 50 Hz. Herefter foretages vejning, og volumen af materialet bestemmes, hvorefter hele prøven tørres til konstant vægt, og tørdensitet og det tilhørende vandindhold bestemmes.

Det er en normal antagelse, at resultater fra vibrationsindstampningen svarer til resultater fra modificeret proctor – og altså *ikke* standard proctor.

## Maksimal tørdensitet

*Definition* **Den maksimale vægt for et vækstmedie pr.  $m^3$  med dertilhørende optimalt vandindhold.**

Den maksimale tørdensitet er det punkt, hvor vandindholdet i materialet er optimalt, så materialet kan komprimeres bedst og massetætheden derved blive størst. Hvis der er henholdsvis for lidt eller for meget vand i materialet, kan det ikke komprimeres tilfredsstillende. Kender man den maksimale tørdensitet for et materiale, ved man altså, hvad vandindholdet skal være, for at man kan opnå den optimale indlejring.

Der findes to metoder til at fastlægge den maksimale tørdensitet: proctor-forsøg og vibrationsindstampning. Proctor-forsøg dækker over

både standard proctor og modificeret proctor, som begge er en indbygning, hvor der anvendes en ganske bestemt komprimeringsenergi fra et bestemt faldlod. Der foretages en række komprimeringsforsøg ved forskellige vandindhold, hvorved der fås værdier, som efter indtegnning i koordinatsystem kan bruges til at bestemme det optimale vandindhold ved indlejring.

Modificeret proctor udføres efter samme princip som standard proctor, dog indbygges prøven i 5 og ikke 3 lag som ved standard proctor-forsøget. Derudover anvendes en større hammer og et større faldlod.

Proctorforsøgene rummer visse begrænsninger, fx har de begrænsninger i den acceptable kornstørrelse samt udfordringer ved velsorteret friktionsmaterialer samt fedt ler. Generelt er proctor-forsøg ved at blive erstattet med forsøg med vibrationsindstampning undtagen ved test af kohæsionsjord. Her er proctor-test eneste mulighed.

## Trafikklasser

*Definition* **Antal tunge køretøjer pr. dag. Angives som T0-T7, hvor T0 er laveste trafikklasse og T7 er højeste trafikklasse.**

Ved opbygning af veje eller andre steder, hvor der vil være belastning, er det vigtigt at vide, hvilke typer trafik man forventer, der vil være på anlægget, og hyppigheden af den. Til det bruger man trafikklasser.

Trafikklasserne kan bestemmes ud fra nedstående tabel:

Trafikklasse	Lastbiler på vejen/ døgn i begge retninger tilsammen	$N_{\geq 10}$ /døgn i spor (øvre grænse)	Dimensioneringstrafik $N_{\geq 10}$ /år
T0 <sup>1</sup>	Kun lette køretøjer	–	–
T1	Mindre end 1	0,5	75
T2	Op til 65	20	7.300
T3	65 til 120	50	18.300
T4	120 til 560	200	73.000
T5	560 til 1.200	500	180.000
T6	1.200 til 1.500	800	300.000
T7	Mere end 1.500	1.500 <sup>2</sup>	500.000 <sup>2</sup>

Tabel over trafikklasser. Jo højere trafikklasse, des større belastning pr. dag.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> I trafikklasse T0 bør der træffes aktive foranstaltninger mod færdsel med tunge køretøjer (mere end 3.500 kg totalvægt), fx tungt snerydningsmateriel.

<sup>2</sup> Principielt ubegrænset – de angivne værdier bruges som standardværdier i MMOPP.



Trafikklaser defineres af antal tunge køretøjer pr. dag, hvor belastningen omregnes til 10 ton akseltryk pr. døgn. Trafikklaserne har sammen med underlagets hårdhed indflydelse på tykkelsen af bærelag ved opbygning af veje. I Danmark dimensioneres der efter mængden af trafikbelastning. Dette beskrives ved antal ækvivalente 10-t-akseltryk ( $N_{\text{Æ}10}$ ) pr. kørespor i dimensioneringsperioden.

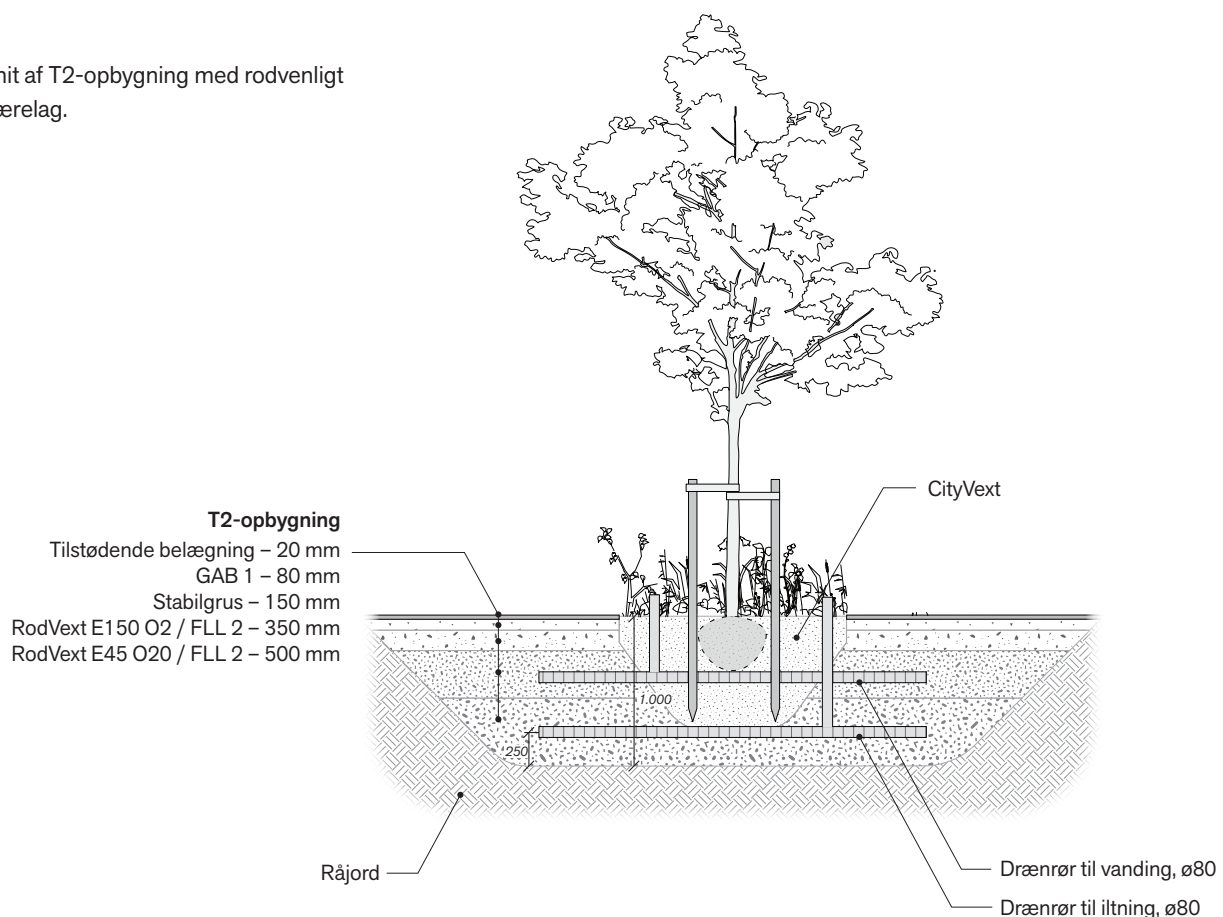
Ved dimensionsgivende beregninger for opbygning af vejkasser bruges trafikklaserne. Ved mindre veje eller stier bruges der ofte tabelopslag, men ved større vejanlæg som fx motorveje laves der specifikke dimensionsgivende beregninger, så man sikrer, at opbygningen af vejkassen laves i forhold til både underlaget under vejkassen og den forventede belastning.

## MMOPP

*Definition* **Digitalt beregningsværktøj til vejbygning udarbejdet af Vejdirektoratet.**

MMOPP er et dimensioneringsværktøj udviklet af Vejdirektoratet til dimensionering af vejbefæstelser ud fra belastning, undergrund og materialevalg. MMOPP bygger på *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger* og indeholder derfor ikke noget, som denne ikke har. Ved indtastning af trafikklasse og materialevalg kan MMOPP beregne bærelagets tykkelse. Derudover kan MMOPP bruges til dimensionering i forhold til befæstelsens levetid. MMOPP kan således bruges ved mindre anlæg som fx T0-T5, hvor man ikke ønsker eksakte dimensioneringsudregninger, men i stedet benytter allerede eksisterende tabelværdier for disse typer befæstelser.

Snit af T2-opbygning med rodvenligt bærelag.



Ved brug af vækstmedier med E-modul på fx 150 MPa, som vist på illustrationen, vil volumen for planters rodvækst udvides, da planternes rødder trives i RodVext-mediet, hvorimod både bundsikringslag og råjord ved traditionel opbygning hæmmer plantevæksten over tid. Ønskes der vækstzone under fx en befæstelse, kan RodVext eller lignende vækstmedie derfor med fordel benyttes.

## Partikelstyrke

*Definition* **Værdi for, hvor stærkt et materiale er i forhold til knusning. Måles i kg/cm<sup>2</sup> eller t/m<sup>2</sup>.**

Partikelstyrken for et materiale har betydning for, hvor tung en belastning det kan tåle, før det ødelægges ved fx knusning. Om et materiales partikelstyrke kan være problematisk ved anlæg af veje, afhænger bl.a. af lagets placering i vej-kassen. Jo højere i vej-kassen et materiale er placeret, des højere partikelstyrke skal det have, da belastningen stiger op gennem vej-kassen, hvor den tungeste belastning er øverst.

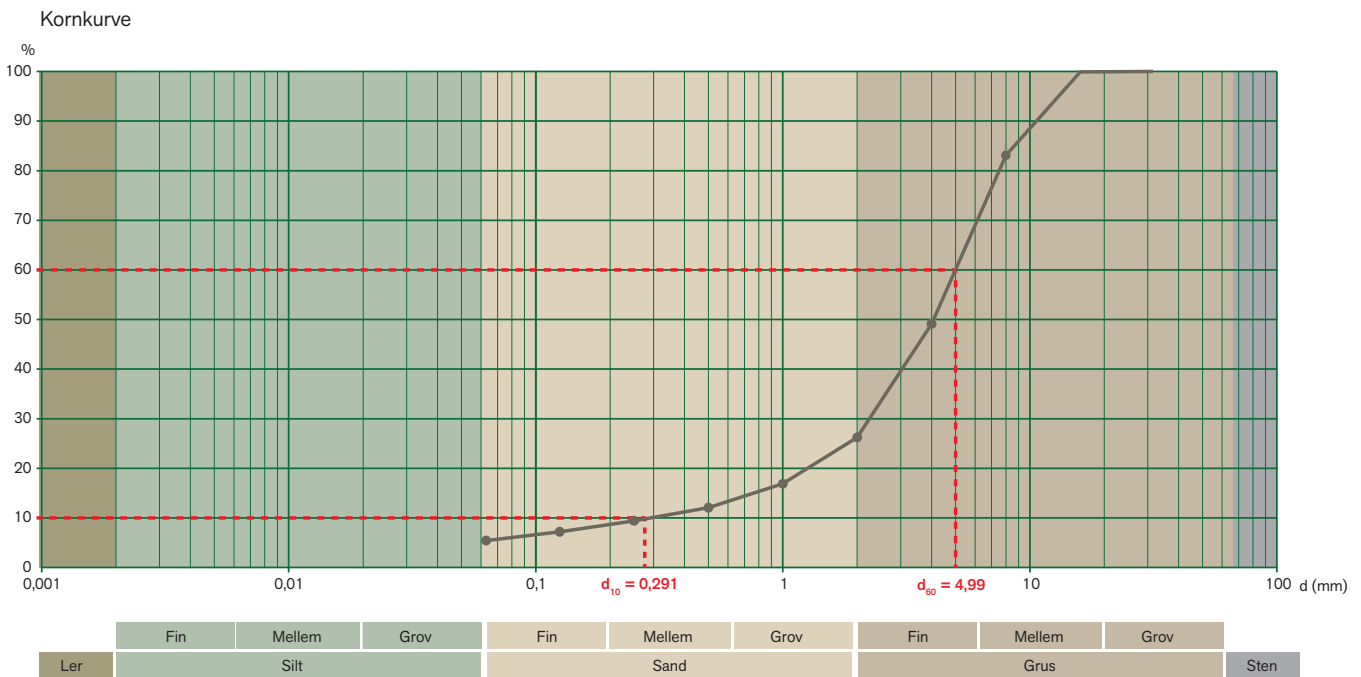
Ved brug af forskellige materialer som letklinker eller **pimpsten** i vækstmedier er det derfor vigtigt at kende materialernes partikelstyrke og deres placering i vej-kassen. Letklinker kan tåle typisk 20 t/m<sup>2</sup> (200 kN/m<sup>2</sup>); pimpsten kan tåle > 20 t/m<sup>2</sup> (> 200 kN/m<sup>2</sup>). Placeres de i opbygningen i forhold til deres partikelstyrke, bør det ikke give problemer ved selve indlejringen. Man bør dog altid være kritisk i dimensioneringen, så man sikrer, at underlaget kan bære, hvis det udsættes for en stor punktbelastning, fx fra støttebenet på en kran. Stil derfor krav om testresultater for materialers partikelstyrke, så der opnås den rigtige dimensionering med mediet.

## Uensformighedstal

*Definition* **En talværdi, der beskriver forholdet mellem 60- og 10%-fraktilen på en kornkurve.**

Vær opmærksom på, at uensformighedstallet til tider benævnes U-værdi, men at denne værdi også bruges for varmetransmissionskoefficienten eller varmestrøm gennem et areal af en konstruktionsdel pr. grad kelvin. Derfor bruges ordet uensformighedstal her i sin uforkortede form for at undgå misforståelser, og værdien U bruges i formler og udregninger. Uensformighedstallet repræsenterer kornsammensætningen for en given jordblanding. En **kornkurve** siger noget om fordelingen af korn i et materiale, men den siger ikke noget om, hvorvidt fordelingen af korn i materialet er hensigtsmæssigt i forhold til brugen. En kornkurve er en sumkurve med en aritmetisk inddelt y-akse, som viser kornenes vægtprocent, og en logaritmisk inddelt x-akse, som angiver kornstørrelsen i

mm. Forløbet af kornkurven fortæller noget om et materiales sortering og derved egenskaber. En meget stejl kurve er tegn på et velsorteret materiale, hvor mange korn er lige store, hvorimod en meget flad kurve er tegn på et velgraderet materiale med en bred fordeling af de enkelte kornstørrelser.



Eksempel på en kornkurve. Kurven viser et velgraderet materiale.

Uensformighedstallet beskriver med en talværdi, hvordan et materiales kornkurve ser ud, og er altså et værktøj til at tolke kornkurven. Uensformighedstallet fås ved at dividere 60-%-fraktilen med 10-%-fraktilen. Hvis tallet er større end fem ( $> 5$ ), er jordarten velgraderet med en bred fordeling af kornstørrelserne. Er tallet mindre end eller lig med to ( $\leq 2$ ), er den velsorteret med meget høj koncentration af én kornstørrelse. Ofte ses krav på  $U > 3$  for bærende jordarter.

Uensformighedstal:

$U > 5$ : Velgraderet jordart med en bred fordeling af kornstørrelser

$U \leq 2$ : Velsorteret jordart med meget høj koncentration af én kornstørrelse

På kornkurven er hhv. 10-%-fraktilen og 60-%-fraktilen for gennemfald tegnet ind.

Uensformighedsværdien,  $U$ , kan udregnes efter følgende formel:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Giver:  $U = \frac{4,99}{0,29}$

Giver:  $U = 17,15$

Kurven er således udtryk for et velsorteret materiale.



CASE

# RAHBEKS ALLÉ, FREDERIKSBERG

---

På **Rahbeks Allé, Frederiksberg**, ønskede man at løse udfordringer med øgede regnvandsmængder, der oversvømmede vejbanen, og derudover ønskede man at genskabe den allé, som tidligere har været langs vejen. Løsningen er lavet ved at omlægge den almindelige asfaltvej med parallelparkerede biler i begge sider til et grønt strøg med 38 allétræer i regnbede. Da der er begrænset plads på vejen, er det nødvendigt, at træernes plantehuller er anlagt, så træernes rødder kan brede sig ind under den omkringliggende belægning. For at det kan lade sig gøre, kræver det et strukturstabilt vækstmedium med kendt og høj bæreevne (E-modul).

# Rahbeks Allé

Frederiksberg

**Anlægstype:** Skybrudssikring

**Realiseringsår:** 2020/2021

**Bygherre:** Frederiksberg Kommune

**Design og udførelse:** OPLAND, Climate Value Solutions (OPLAND, DGE Miljø- og Ingeniørfirma og Nyrup Plast A/S)



Plantehullerne spiller en væsentlig rolle i forbindelse med vandhåndteringen fra vejen. Alt vejvand ledes til plantehullerne til gavn for vejtræerne, inden det overskydende vand ledes videre til store, underjordiske opstuvningsmagasiner, kaldet S-MAG. Herfra ledes vandet stille og kontrolleret videre mod recipient. Hvert plantehul har egen magasinkapacitet, og sammen med den høje markkapacitet i vækstmediet spiller plantehullerne en betydelig rolle på vandets vej til recipient ud over at være med til at sikre flotte, grønne bytræer.



Ved etablering af de 38 plantehuller var der stort fokus på vækstmediet. Når plantehuller til bytræer også skal kunne håndtere stor hydraulisk belastning og kunne indbygges under belægning, er kravene ekstremt høje, da vækstegenskaberne ikke må forringes i forhold til ønskerne til bæreevne og hydrauliske egenskaber. Dette lykkedes ved at benytte RodVext E80, der evner at kombinere netop disse egenskaber på højeste niveau.



De 38 plantehuller på Rahbeks Allé på Frederiksberg er udfordret i deres udbredelse af snævre fysiske forhold. Rodzonen strækker sig således ind under de befæstede arealer. Grundet udfordringer med kabler og rør i vejaksen er lagdelingen opbygget med hhv. stabilgrus, RodVext E150 og RodVext E80. For at gardere sig mod risikoen for differenssætninger er der desuden indbygget geonet i skillelaget mellem stabilgrus og RodVext.





# Rahbeks Allé

Frederiksberg

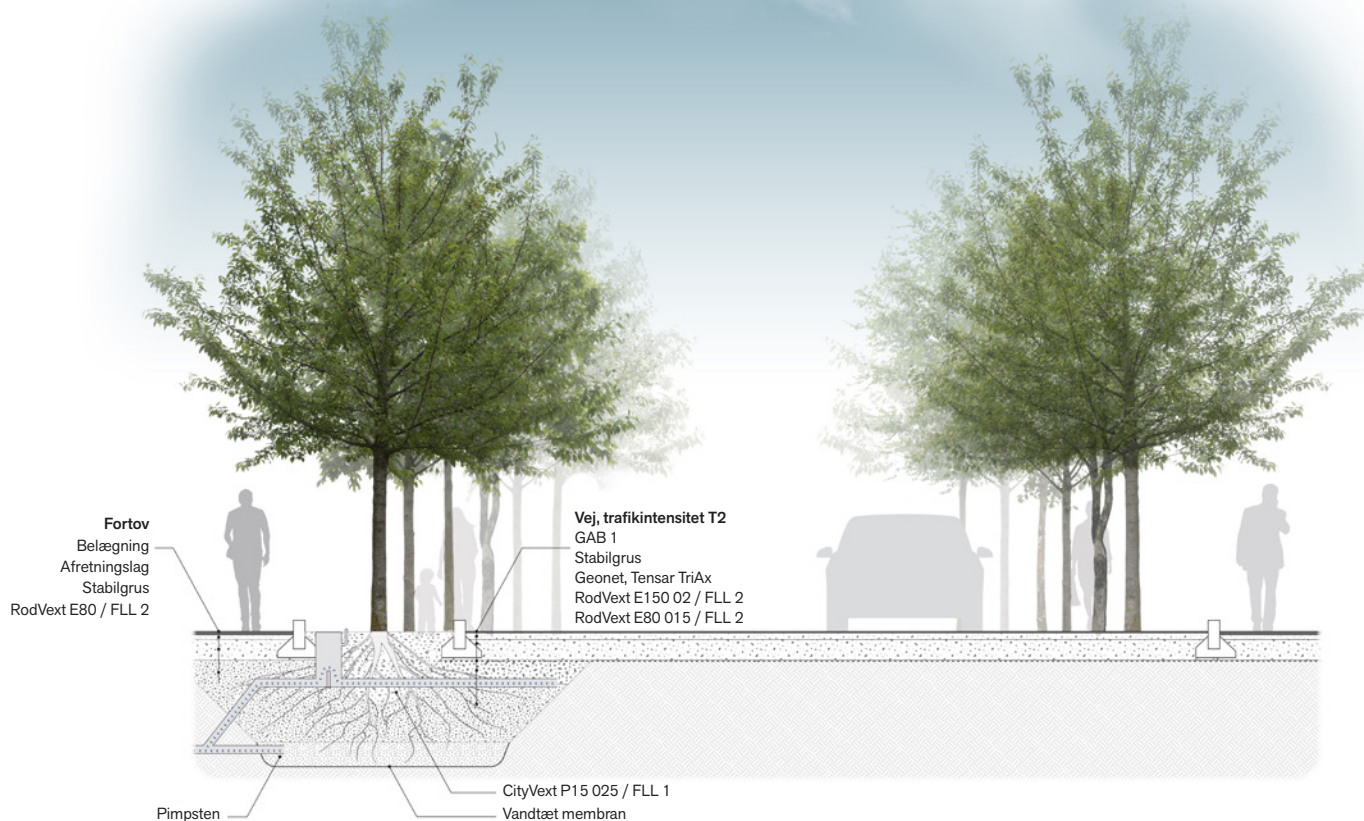
For at sikre en stor rodzone og skabe størst muligt rum for regnvandet er vækstmediet ført med ud under vejbelægningen. Det lader sig gøre grundet brug af RodVext E80 O15 / FLL 2 og RodVext E150 O2 / FLL 2, begge med dokumenteret bæreevne.



Der er kamp om pladsen under terræn, som både skal indeholde traditionel ledningsføring, magasiner til overfladevand og plantehuller til alléens træer.



Teknisk snit. Plantehullerne er placeret forskudt langs vejen.



Vandet ledes ind og igennem topslidse-  
de drænrør, så bedet holdes fugtigt og  
derved fungerer som en del af skybruds-  
løsningen.

Når magasinet er fyldt, ledes det reste-  
rende vand videre til underjordiske ma-  
gasiner. Det hele er bygget op i seriefor-  
bundne enheder ned gennem vejen.

Den nederste del af bedet omkranset af  
membran i ca. 40 cm's højde. I denne del  
er der anvendt ren pimpsten til at opma-  
gasinere og tilbageholde mest muligt  
vand. Vandet kan herfra trække op i det  
overliggende vækstmedie til gavn for  
vejtræerne.

RodVext E80 under  
indbygning.





## KAPITEL 7

# Regnvandshåndtering

Hyppigere og kraftigere regn øger presset på kloaksystemer og rensningsanlæg. For at kunne håndtere disse udfordringer er der kommet et øget fokus på separering af regnvand samt LAR-løsninger. Vækstmedier med gode hydrauliske egenskaber kan være med til at optimere disse løsninger markant, og hvis deres hydrauliske egenskaber er veldefinerede, kan de indgå i beregningerne og derved være værdiskabende for den hydrauliske kæde og grønne anlæg. Derudover ønsker man flere steder at udnytte overfladevandet i byerne til at understøtte det grønne, og derfor er der også her et ønske om, at vækstmedier kan bidrage aktivt og veldokumenteret til den del. Det er ikke længere kun et spørgsmål om hydraulik i forhold til nedsivning og afledning, men i høj grad også om hydraulik i forhold til plantevækst.

### Permeabilitet

*Definition* **Væskes gennemtrængelighed gennem en jordmatrice. Enhed: m/s.**

Det er vigtigt at kende vækstmediets permeabilitet, når man arbejder med håndtering af overfladevand. Permeabiliteten fortæller om ind- og udløbshastighed i et vækstmedie. I **konstruerede vækstmedier** kan man gennem materialevalg opnå meget veldefineret permeabilitet. Det giver mulighed for at beregne vandets vandring igennem en given jordmatrice.

Strukturstabiliteten i et vækstmedie påvirker permeabiliteten. I en strukturstabil jord kan man forvente, at der er en ensartet permeabilitet. I en jord, som ikke er strukturstabil, kan man risikere, at permeabiliteten vil ændres over tid.

## Regnhændelser

*Definition* **En nedbørsmængde med en kendt intensitet og varighed.**

Når man skal dimensionere et regnvandsanlæg, benyttes regnhændelsen som et udtryk for, hvor meget det statistisk set regner ved en given intensitet over en tilhørende tidsperiode, og derudover hyppigheden af hændelsen. Fastlæggelse af regnhændelser bygger på statistisk data indsamlet over tid.

Regnhændelsen defineres med bogstavet T efterfulgt af et tal. Tallet angiver gentagelsesperioden angivet i år, fx T1, T2, T3, T4 og T5, hvor T1 er en regnhændelse, der statistisk set forekommer én gang om året, T2 er en regnhændelse, der optræder én gang hvert andet år osv.

Volumen af de enkelte regnhændelser varierer. Det afhænger af varighed og intensitet for hændelsen. Det behøver derfor ikke at være den korte, intense hændelse, der er værst, da det lige så godt kan være den lange regnhændelse, der samlet set genererer langt mere vand, selvom den falder langsommere. En T10 kan derfor føre mange forskellige regnmængder med sig, da det afhænger af varighed og intensitet på regnhændelsen.

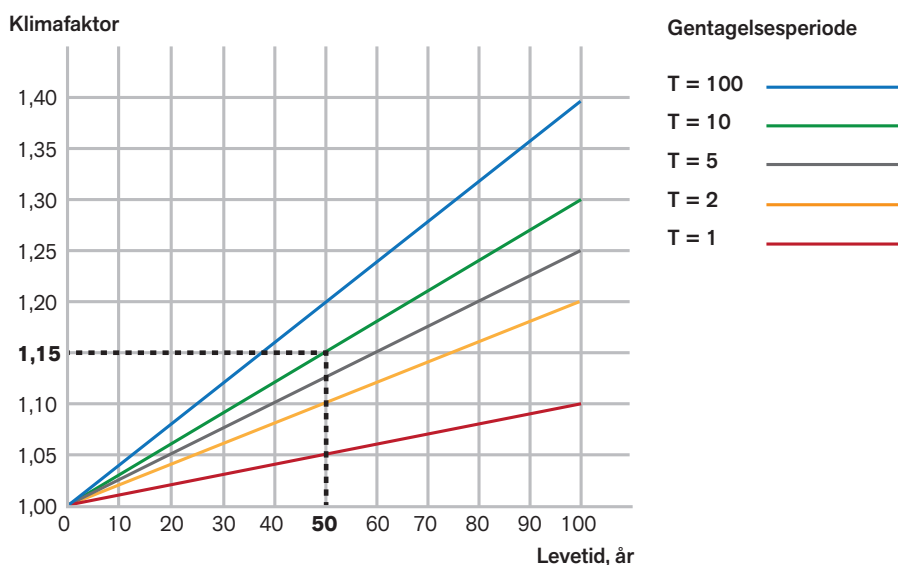
Gentagelsesperiode T (år)	Varighed, T (minutter)								
	5	10	15	20	25	30	40	60	120
20	350	280	240	205	172	149	119	86	64
10	310	230	190	170	142	123	98	72	43
5	260	190	160	128	108	94	76	56	33
2	200	140	114	92	78	68	56	43	26
1	150	110	88	72	61	54	44	33	21
0,5	110	83	64	53	46	41	34	26	17
0,2	80	52	40	34	29	26	22	17	11

Regnhændelser på landsplan, l/s/ha.<sup>4</sup>

## Klimafaktor

*Definition Fremskrivningsfaktor for forventede øgede nedbørsmængder.*

For at sikre forskellige regnvandsanlægs levetid har Spildevandskomiteen lavet anbefalinger om brug af en klimafaktor, der tager udgangspunkt i, hvor meget ekstra nedbør man forventer der vil komme i fremtiden. Ved brug af klimafaktoren i dimensioneringsberegninger tager man derfor hensyn til, hvordan vejret forventes at belaste anlægget i fremtiden. Hvis man på en location har en klimafaktor på 1,3, forventer man, at der vil falde 30 % mere regn. Kommuner fastsætter selv deres klimafaktor, og de er oftest nedskrevet i kommunens klimatilpasningsplan.



Graferne viser, hvilken klimafaktor man skal bruge i beregningerne, hvis man kender den dimensiongivende hændelse T og forventet levetid på anlægget.<sup>5</sup>

## Opland

*Definition Arealet, hvorfra overfladevand tilstrømmer fra.*

Oplandets størrelse og det reducerede areal afgør, hvilken mængde vand der tilstrømmer og derved skal håndteres. Det reducerede areal er lig med oplandsarealet gange med overfladens afløbskoefficient. Et opland kan opdeles i mindre deloplande, som håndterer en andel af den samlede regnmængde. I forbindelse med dimensionering af regnbede anvendes der i nogle situationer et forholdstal mellem bedareal og oplandsareal. Det er ikke unormalt, at et regnbed opgives til at kunne afvande i forholdet 1:15 – 1:50.

## Hydraulisk ledningsevne, K-værdi

*Definition* **Udtryk for jordens hydrauliske ledningsevne. Enhed: m/s.**

Den hydrauliske ledningsevne er en værdi, der udtrykker vands nedsivningshastighed i en jordmatrice. K-værdien anvendes i dimensioneringen af regnvandsanlæg, hvor K-værdien vil være en afgørende faktor for, hvor stort et nedsivningsareal der er nødvendigt for at håndtere regnmængden fra et givent opland.

	m/s	m/s = (mm/s) / 1.000	mm/s = (m/s) x 1.000	l/s/m <sup>2</sup> = mm/s	mm/min. = (mm/s) x 60	mm/time = (mm/min.) x 60
Filterjord, hurtig	10 <sup>-4</sup>	0,0001	0,1	0,1	6	360
Filterjord, langsom	10 <sup>-5</sup>	0,00001	0,01	0,01	0,6	36
CityVext, pimpstenssubstrat	3,3 x 10 <sup>-4</sup>	0,00033	0,33	0,33	20	1.200
Leret jord	10 <sup>-7</sup>	0,0000001	0,0001	0,0001	0,006	0,36
Groft sand	10 <sup>-2</sup>	0,01	10	10	600	36.000

K-værdi for udvalgte materialer med forskellige enheder.

## Afløbskoefficient, C

*Definition* **Udtryk for andelen af en regnhændelse, der afstrømmer fra det areal, hvorpå den falder.**

Afløbskoefficienten angiver, hvor stor en andel af regnvandet som falder på et areal, der afstrømmer. Afløbskoefficienten siger dog ikke noget om, hvornår i den angivne tidsperiode det nedsiver. Hvis alt vandet løber af en overflade, er afløbskoefficienten 1. Kan overfladen tilbageholde noget af vandet, vil afløbskoefficienten ligge i intervallet 0-1. Er afløbskoefficienten fx 0,6 for en overflade, betyder det, at 40 % tilbageholdes og 60 % afstrømmer. Overfladetyper, som regnvandet falder på, har betydning for afløbskoefficienten, da nogle overfladetyper formår at absorbere vand, mens andre ikke gør.

Overfladetype	Afløbskoefficient ca.
Med hård belægning	1,0
Med grusbelægning	0,6
Fliser med splitfuger	0,6
Permeabel belægning	0,2
Græsarmeringssten	0,2
Grønne områder	0,1

Afløbskoefficient for forskellige overfladetyper.

### Afløbskoefficient i terræn:

En græsplæne med en afløbskoefficient på 0,1 tilføres 1.000 liter vand. Af de 1.000 liter afstrømmer 10 %, altså 100 liter. De resterende 900 liter nedsiver på arealet.

### Afløbskoefficient på et grønt tag:

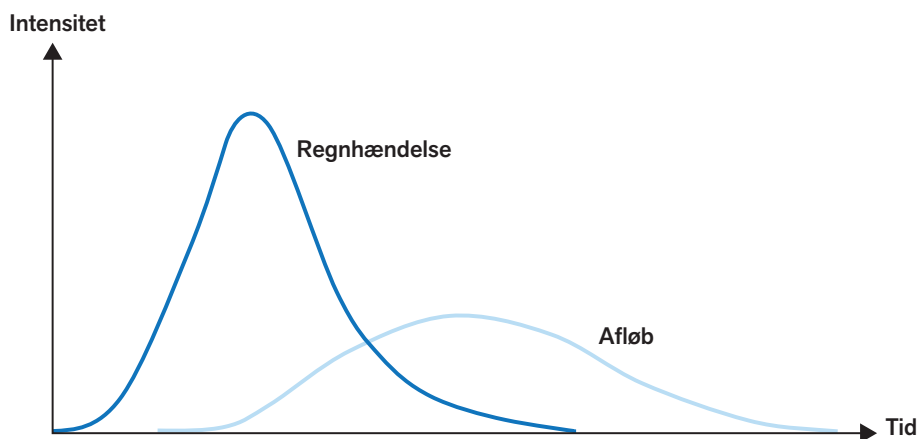
På grønne tage kan man ikke på samme vis anvende afløbskoefficienter, da grundforudsætningen omkring nedsivning ikke er til stede. Den tilbageholdte vandmængde vil afledes til afløb over tid, og på den måde fjerner man vandmængden, men reducerer intensiteten, hvormed den afledes. Den eneste reduktion af afløbet sker i form af **initialtabet** i form af fordampning fra overfladen.

På grønne tage vil en **afløbskurve** kunne illustrere intensitet af afløbet over tid og synliggøre forskydning af **peak flow**.

## Afløbskurve

*Definition* **Kurve, der viser afløbsintensiteten over tid ved en given regnhændelse.**

Afløbskoefficienten fungerer på terræn, men kan ikke overføres på systemer, hvor der ikke sker nedsivning. Her bør man i stedet benytte en afløbskurve over den specifikke opbygning. En afløbskurve viser, hvor meget vand der afstrømmer over tid. På grønne tage vil en afløbskurve kunne illustrere intensiteten af afløbet over tid og synliggøre forskydning af peak flow. Afløbskurven er designet med tid ud ad x-aksen og intensiteten op ad y-aksen.



Eksempel på afløbskurve

## Initialtab

*Definition* **Den nedbørsmængde, der skal falde, før egentlig overfladeafstrømning forekommer. Enhed: mm.**

Vand, der lander på jorden, og som fordamper, kan også betragtes som initialtab. Noget af det vand, der fanges på grønne tage, og som ikke løber videre, kan derfor også betragtes som initialtab. For asfalterede områder regnes almindeligvis de første 0,6 mm til initialtab, men kan vurderes efter overfladens beskaffenhed.

## Magasinvolumen og pumpende vandspejl i vækstmedier

Magasinvolumen i jord er den mængde af vand, der kan opmagasineres i store porer i jordmatricen ved opstuvning, og som frit kan afstrømme. Et **pumpende vandspejl** er en teknik, hvor man udnytter et lag af vækstmediet til periodevis vandmætning ud over **markkapacitet** ved hjælp af opstuvning.

Vand kan opmagasineres i et vækstmedie uden problemer i mindst 24 timer. Opbygges jorden med den rigtige kornstørrelse, er det muligt at opnå en magasinvolumen helt op til 50 vol.%.

Et bed, hvor denne teknik anvendes, skal opbygges af to veldefinerede lag, hvor det nederste lag designes til opstuvning og øverste lag optimeres til plantevækst.

Den nederste del af jordmatricen, hvor opstuvningen finder sted, må ikke indeholde finmaterialer og organisk materiale, da disse materialer vil være flytbare i vandmættet tilstand, og derved vil der kunne opstå uhenigtsmæssig lagdeling. De fine partikler samler sig i et meget snævert lag, og det bliver derfor sværere for vandet at løbe gennem bedet ved næste hændelse. Hydraulisk vil jordmatricen nu performe dårligere, da **permeabiliteten** er reduceret i væsentlig grad. Generelt kan det siges, at kornstørrelser mellem 0 og 2 mm skal undgås.

Teknikken kan fx anvendes i regnbede for at undgå brug af plastfaskiner. Metoden giver en markant større **rodzone** og er derudover simpel og hurtig at anlægge.



## Kapillærprincippet

Kapillærprincippet kendes fra vanding i drivhuse via kapillærkasser, hvor vandet suges op af vækstmediet til toppen af kapillærkassen, hvor planterne gror. Ofte bruges en **spagnum**blending som væge og vækstmedie, men da spagnum bliver omsat og forgår forholdsvis hurtigt, må det anses som en midlertidig løsning med kort levetid. Til professionelt brug til løsninger i terræn skal der anvendes ikkeforgængelige materialer for at sikre lang levetid.

For at kapillærprincippet kan fungere, skal både magasin, vækstmedie og væge fungerer sammen, så vægen ikke bare kan opsuge vandet, men også kan aflevere det til vækstmediet. Overgangen mellem væge og vækstmedie er en kritisk grænseflade. At en væge kan suge vand, betyder ikke, at den kan aflevere vandet til alle typer vækstmedier. Det er nødvendigt, at væge og vækstmedies **kapillærkræfter** passer sammen, da der ellers dannes en hård grænseflade, der stopper vandstrømmen – en kapillærbrydende flade.

Væge og vækstmedie skal derfor ses som et samlet system og bør komme fra samme leverandør, som kan dokumentere systemets funktion.

## Kend de hydrauliske egenskaber

Når man arbejder med vækstmedier i forbindelse med regnvandshåndtering i byer, belastes vækstmediet hydraulisk i ekstrem grad. I et regnbed leder man op mod 25 gange – eller mere – overfladevand til end normalen målt i regnmængde pr. areal bed.

For at imødekomme de udfordringer, man møder, når man tilleder de øgede vandmængder, såsom uhensigtsmæssig lagdeling, dårlig hydraulik og infiltrationsevne, skal man kigge på materialer med specielle egenskaber, der underbygger den ønskede funktion.



**Eksempel** På Enebærvej i Værløse ønskede man membran under bedet, så man undgik nedsivning. Derudover skulle der være gode hydrauliske egenskaber og gode vækstforhold for træer på toppen af bedet.

Der var følgende data til anlægget:

- Opland: 2.400 m<sup>2</sup>
- Afløbskoefficient: 0,9
- Reduceret areal: 0,9 x 2.400 = 2.160 m<sup>2</sup>
- Initialtab: 0,6 mm = > 1.440 liter

Til beregningen brugte man følgende data:

Regnhændelser, 10 min., WGS 82 Zone 32: N 6185000, E 715000. (SVK regnrække, version 4.1):

	l/s/ha uden klimafaktor	Klimafaktor ved forventet levetid på 50 år	l/s/ha med klimafaktor
T 1 år	10,99	1,1	12,09
T 2 år	13,65	1,1	15,02
T 5 år	17,67	1,15	20,32

#### Yderligere betragtninger:

Der accepteres opstuvning på terræn ved en 1-årshændelse af 10 minutters varighed og overløb fra bedet ved en 5-årshændelse af 10 minutters varighed.

#### Bed:

Da der er fokus på den hydrauliske håndtering af regnvandet:

- Udføres bedet med højpermeabelt pimpstensbaseret vækstsubstrat med stor magasinvolumen.
- Udføres bedet med en 200-mm-kant, så der er mulighed for opstuvning oven på bedet.
- Udføres bedet med tæt membran i bunden og en udløbsledning med vandbremse med en kapacitet på 0,5 l/s.

#### Andre oplysninger:

Permeabilitet: 40 mm/min.

Areal: 35 m<sup>2</sup>

Kapacitet, permeabilitet, 10 min.: 40 x 10 x 35 = 14.000 liter – kan nedsives gennem overfladen af bedet på 10 minutter

Dybde: 2,0 meter

Tilgængelig magasinvolumen: 40 % af det samlede bed

Magasinvolumen: 35 x 1,5 x 0,40 = 21 m<sup>3</sup>

Der blev lavet beregninger for hhv. T1, T2 og T5:

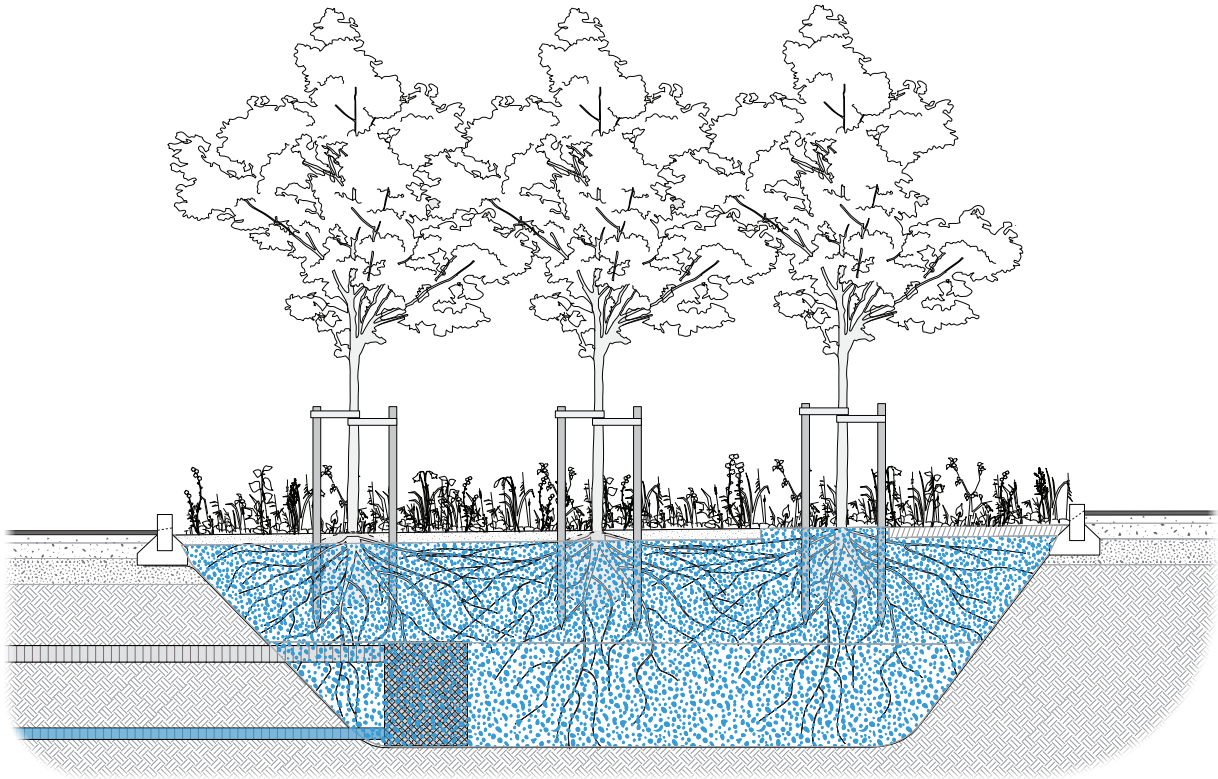
### 1-års regnhændelse:

$2.160 \text{ m}^2 \times 0,01209 \text{ l/s/m}^2 \times 10 \text{ min.} \times 60 \text{ s} - 1.440 \text{ liter (initialtab)} = 14.229 \text{ liter.}$

Opstuvning oven på bassin:  $14.229 - 14.000 = 229 \text{ L} = > 229/35 = 7 \text{ mm opstuvning.}$

Ved permeabilitet på  $40 \text{ mm/m}$  siver det ned i bedet på  $10 \text{ sek.}$

Opstuvning i bassin efter  $10 \text{ min og } 10 \text{ sek.}: (14.229 - (0,5 \times 610)) / 35 \text{ m}^2 / 0,4 = 995 \text{ mm.}$



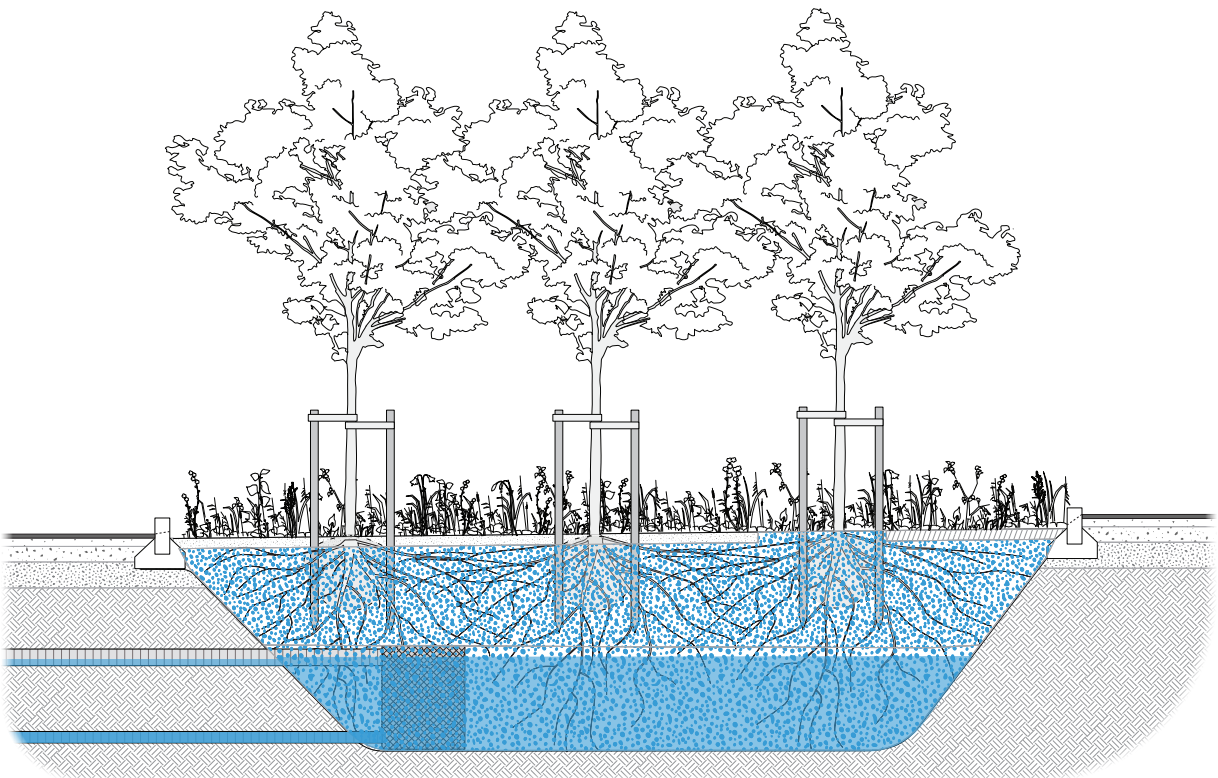
### 2-års regnhændelse:

$2.160 \text{ m}^2 \times 0,01502 \text{ l/s/m}^2 \times 10 \text{ min.} \times 60 \text{ sek.} - 1.440 \text{ liter (initialtab)} = 18.026 \text{ liter.}$

Opstuvning oven på bassin:  $18.026 - 14.000 = 4.026 \text{ liter} = > 4.026/35 = 115 \text{ mm opstuvning.}$

Ved permeabilitet på 40 mm/m siver det ned i bedet på 2 min. og 53 sek.

Opstuvning i bassin efter 13 minutter:  $(18.026 - (0,5 \times 13 \times 60)) / 35 \text{ m}^2 / 0,40 = 1.260 \text{ mm.}$



### 5-års regnhændelse:

$2.160 \text{ m}^2 \times 0,02032 \text{ l/s/m}^2 \times 10 \text{ min.} \times 60 \text{ s} - 1.440 \text{ liter (initialtab)} = 24.895 \text{ liter.}$

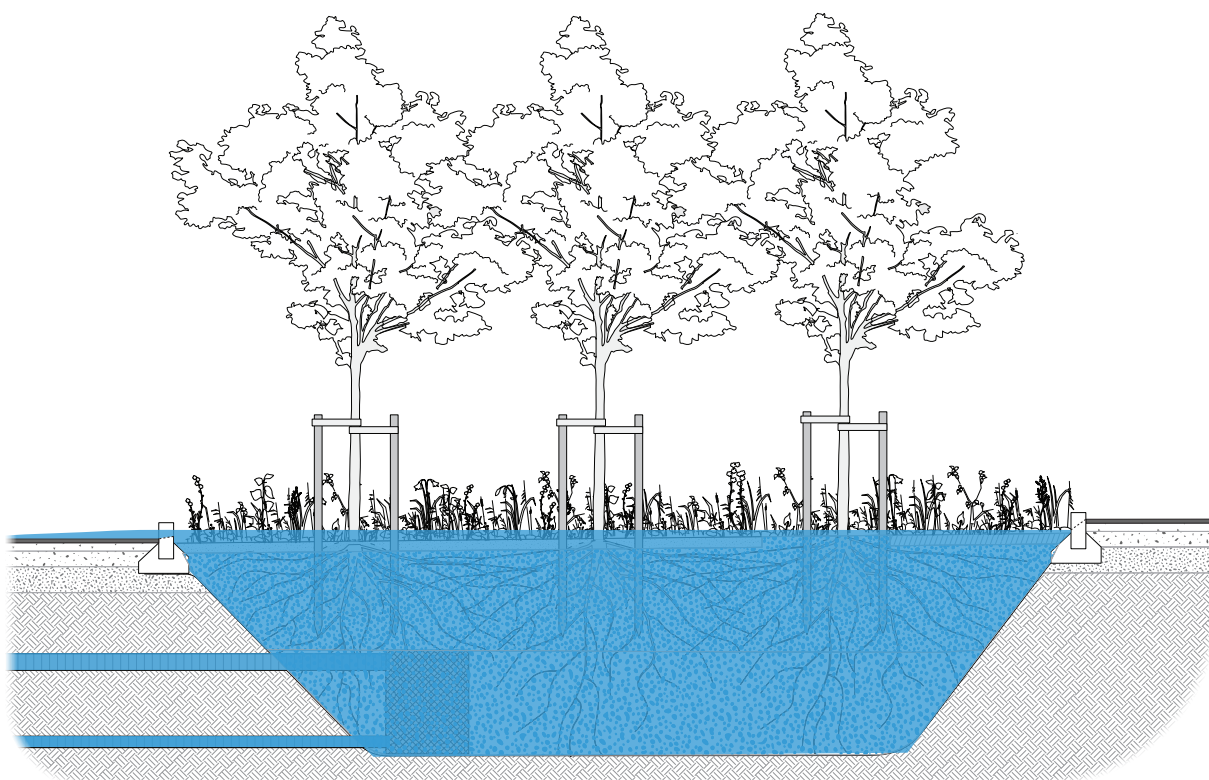
Opstuvning oven på bassin:  $24.895 - 14.000 = 10.895 \text{ liter} = > 10.895/35$   
 $= 311 \text{ mm opstuvning} + \text{overløb.}$

Da der kun er plads til 200 mm over bedet, vil de sidste 111 mm (3.885 liter) løbe i overløb og derved forbi bedet.

Ved permeabilitet på 40 mm/m siver de 200 ned i bedet på 5 minutter.

Opstuvning i bassin efter 15 minutter:

$(24.895 - 3.885 - (0,5 \times 15 \times 60)) / 35 \text{ m}^2 / 0,40 = 1469 \text{ mm.}$



### Konklusion:

Ovenstående viser, at bedet opfylder de stillede krav til kraftige 10-minutters regnhændelser. Der kommer marginal opstuvning oven på bedet ved en 1-årshændelse og ca. 11,5 cm opstuvning ved en 2-årshændelse. Ved en 5-årshændelse opstår der overløb, hvilket i dette tilfælde kunne accepteres.



## CASE

# ENEBÆRVEJ, VÆRLØSE

---

På **Enebærvej, Værløse**, havde man brug for at afkoble overfladevandet fra et større opland på 2.400 m<sup>2</sup>, så man undgik oversvømmelser. Oplandsarealet krævede et regnbed med stor volumen og høj permeabilitet for at kunne modtage de store vandmængder. Det 45 m<sup>2</sup> store bed med en dybde på 2 m skaber en stor samlet volumen, som både understøtter plantevæksten og muliggør opmagasinering i jordmatricen i det specialdesignede vækstmedie, som også muliggør et pumpende vandspejl.

De åbne bede med vejtræer og staudebeplantning går i hele vejens bredde med en gennemgående cykelsti og er derved sammenhængende under cykelstien. Det stiller krav til en veldefineret bæreevne i vækstmediet.

# Enebærvej

Værløse

**Anlægstype:** Regnbed

**Realiseringsår:** 2019

**Bygherre:** Furesø Kommune og Novafos

**Design og udførelse:** BOVAK ApS



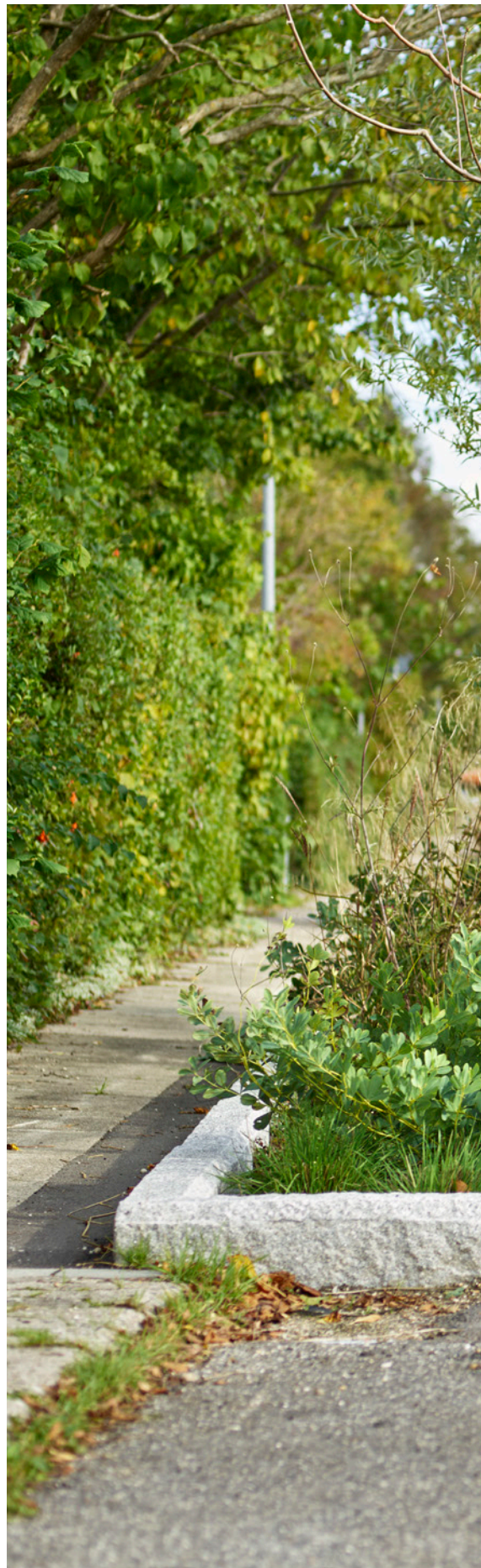
I projektet er en cykelsti ført hen over regnbedet. Cykelstien er således funderet oven på vækstmediet. Det er muligt, da der anvendes en RodVext E150, som styrkemæssigt svarer til bundsikringssand. Bæreevnen på RodVext er dokumenteret af tredjepart og leveres grundet en unik kornfordeling og et veldefineret produktionsapparat med en dokumenteret bæreevne.



Alt vandet skal her igennem en næsten to meter høj jordmatrice inden udløb. Udløbet er droslet ned i forhold til oplandets størrelse, så der opnås længst mulig kontakttid i jorden. Den høje markkapacitet forlænger kontakttiden endnu mere for det vand, der tilbageholdes.



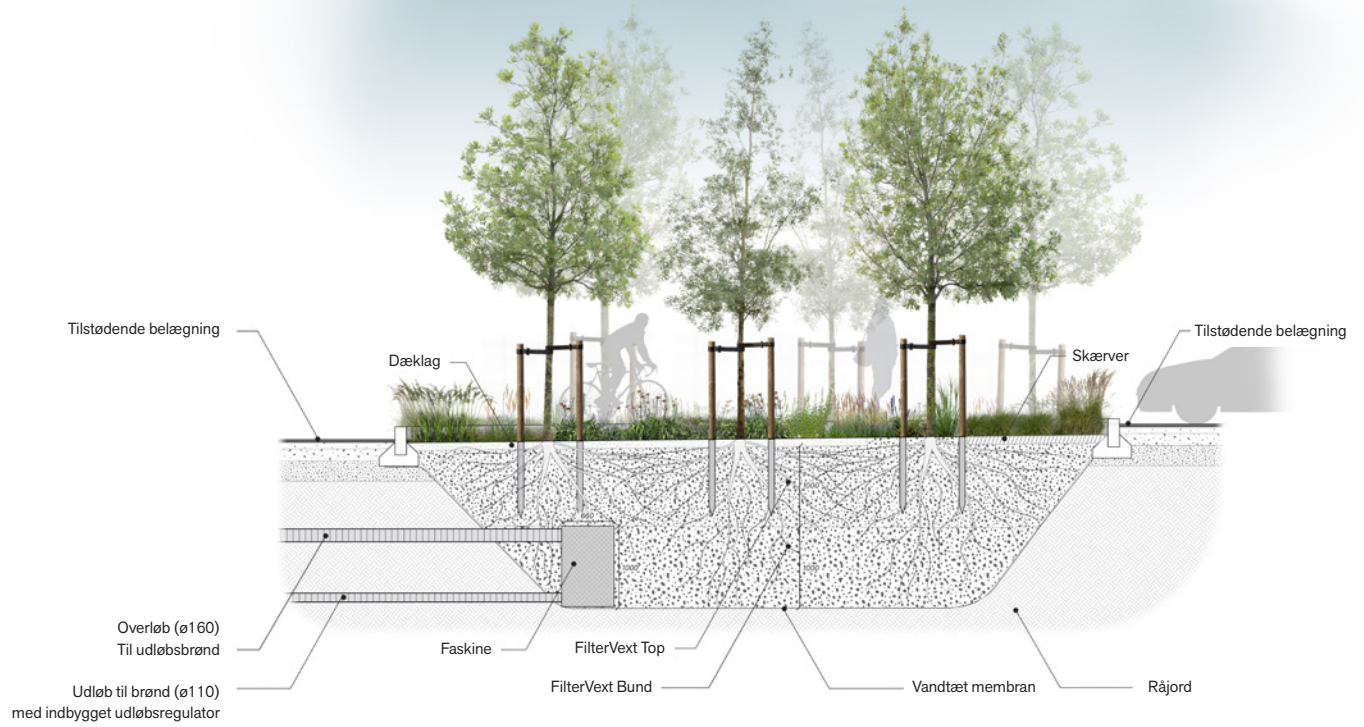
Det er meget atypisk, at kun ét regnbed skal afvande så stort et opland. Det kan kun lade sig gøre, fordi der er anvendt vækstmedier med ekstremt høj porøsitet og veldefineret permeabilitet og dermed stor magasin kapacitet, og der tillades pumpende vandspejl i den nederste halvdel af opbygningen. På den måde maksimeres kapaciteten på bedet.





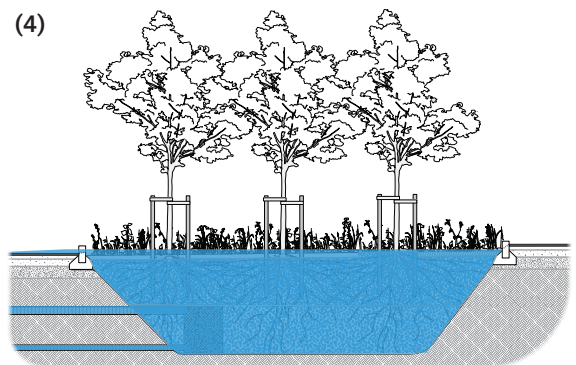
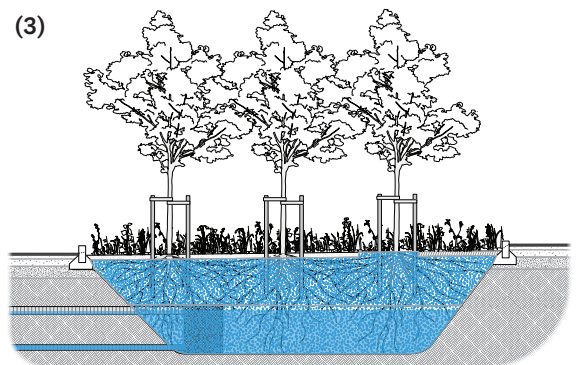
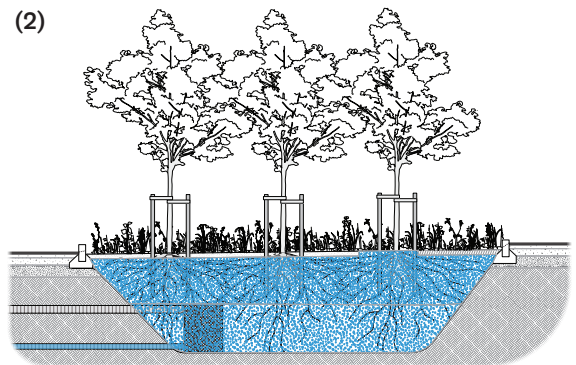
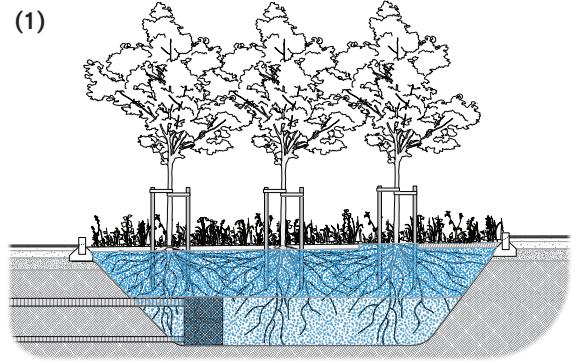


Sænket bedkant for styret overløb.





Hydraulikken i bedet under forskellige regnhændelser. Hverdagsregn (1) optages i vækstmediet. Når det regner mere eller gennem længere tid, vil den nederste del af bedet aktiveres og droslet afløb aktiveres (2). I situationer, hvor vandmængderne er større, vil vandet kunne opstuve i den nedre del af vækstmediet (3), og overløbet midt i bedet vil aktiveres. Ved ekstremhændelser vil hele bedet gå i overløb (4).





## KAPITEL 8

# Filtrering

---

I dag tilstræber man at separere mere vand end tidligere for at nedsætte belastningen på kloakkerne. Regnvand og spildevand bliver adskilt, og separeringen sætter nye krav til rensemetoderne, hvor man nu også skal forholde sig til det vand, der skal håndteres. Da regnvand ofte har været i forbindelse med befæstede arealer og tage, betragtes det i dag som spildevand, som afhængigt af recipient kræver en vis rensning. Filterjorden, der benyttes til de forskellige renseløsninger, er ikke standardiseret, og det medfører visse problemer for fastlæggelse af den eksakte filtrering.

### **Filtrering af uønskede stoffer**

Ved filtrering af overfladevand i regnbede kan der benyttes to teknikker til at fjerne uønskede stoffer: adsorption (kemisk binding) eller sedimentering. Teknikkerne afhænger af, om stofferne er i opløst form og dermed fri i vandfasen, eller om de er i sedimentbundet form, hvor de er hæftet på partikler. Det første er en kemisk proces, den anden en mekanisk. For at sikre god filtrering bør begge processer finde sted, og her spiller filterjord en stor rolle.

### **Vandkvalitet – ind- og udløbsproblematik**

Design af en filterjord kan være problematisk, fordi vandkvaliteten på det vand, der ønskes filtreret, varierer. Kvaliteten er afhængig af den givne lokation og overflade, vandet berører.

## Vurderede forureningsgrader fra forskellige befæstelser

	Enheder	Centrale bymiljøer	Lave boligområder	Veje (ÅDT < 500 køretøjer)	Veje (ÅDT 5.000-15.000 køretøjer)	P-pladser	Oplagspladser til skrot og affald
<b>SS og org. stof</b>							
Suspenderet stof	mg/l	4,90	66	77	800	27	680
BOD	mg/l		7,60	8,40	12	12	490
COD	mg/l		58	77	310	150	1.200
<b>Næringsalte</b>							
Total-P	mg/l	0,14	0,25	0,49	0,96	0,15	3,40
Total-N	mg/l	2,20	2,30	2,50	5,90	1,60	28
<b>Metaller</b>							
Zink	µg/l	710	190	24	480	57	2.500
Zink, filtreret	µg/l	360	320	16	24	20	
Kobber	µg/l	7,40	11	17	110	20	540
Kobber, filtreret	µg/l	7,70	2,70	7,60	18	8,40	

Kilde: "Regnvandskvalitet vers. 1.3" (flere værdier kan være baseret på meget få data).

Skema over forureningsgrader. Forureningsgraden afhænger bl.a. af belastningen på de veje, som vandet er i berøring med.

Københavns Kommune har klassificeret deres recipienter for at afdække, hvad de enkelte recipienter kan tåle, for at kunne definere nogle renskrav til udløbssiden. I den forbindelse har de også klassificeret vandkvaliteten på indløbssiderne ved at gå ud fra trafikbelastningen og derved **trafikklasserne** fra Dansk Hydraulisk Institut, DHI. Det er et forsøg på at gøre tilgangen mere veldefineret, så filterjordene nemmere kan sammensættes. Kender man ikke sine recipienters følsomhed og heller ikke vandkvaliteten af det tilstrømmende vand, kan det være næsten umuligt at beregne og designe, hvordan filterjorden skal sammensættes for at kunne leve op til det ønskede.

For at fastlægge renskravet til mediet må man dels kende kravene til udløbet, dels belastningen på indløbssiden. DHI har lavet et regneark, hvor man kan lave beregninger på filterjorden ved at indtaste data for overflade og belastning, samt hvilke rensparametre i forhold til forskellige grundvandskriterier og marinekriterier der ønskes. BEK nr. 1625 af 19/12/2017 *Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand* ligger til grund for regnearkets udformning, der bl.a. findes på regnvandskvalitet.dk. Indtastes overfladen, udregnes det, hvor meget forurening forskellige stoffer som fx næringsalte, metaller, ftalater, PAH m.m. giver. Regnearket bruges fortrinsvis af kommuner og forsyninger som et redskab til at vurdere en belastning på deres overfladevand. Det kan også testes ved vandprøver, der dog kan være usikre.

Et ønske for fremtiden må være at have veldefinerede filterjorde, hvor **permeabilitet** og deraf opholdstid er kendt, så den kan replikeres og derfor leve op til nøjagtig samme niveau hver gang. Ved samtidig at kende den aktuelle forureningsgrad af tilstrømmende overfladevand vil man kunne skabe en endnu bedre filtrering.

## Rensekrav

*Definition* **Krav til rensning af overfladevand, så det modsvarer renseegenskaberne beskrevet som BAT (best available technology), der i dag svarer til et overfladebassin.**

### BAT

BAT står for "best available technology", altså bedste tilgængelige teknologi på det pågældende tidspunkt.

Der findes forskellige krav i forhold til vandkvaliteten hos recipienten, når vi taler om overfladevand og grundvand. Her er det EU's vandrammedirektiv 2000 og Miljøbeskyttelsesloven BEK 1433 af 21/11-2017 *Bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenende stoffer til vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og havområder*, der benyttes. I 1433, § 1, undtages separate regnvandsudledninger dog, og derfor kan de eksakte grænseværdier ikke benyttes. I EU's vandrammedirektiv 2000, artikel 10, står der bl.a., at kontrollen er baseret på den bedste tilgængelige teknologi. Her peges på **BAT** til at efterkontrollere.

Parameter	Minimum	Maksimum
SS/TSS	60 %	90 %
COD	30 %	90 %
BOD	20 %	75 %
Tot-N	10 %	60 %
Tot-P	10 %	80 %
Zn	40 %	85 %
Pb	65 %	75 %
Cu	60 %	80 %
Olie		80 %
PAH		90 %

Eksempel på rensegrad for et vådt bassin ifølge BAT.<sup>6</sup>

Myndighed må godt stille krav til rensningen, men de skal være baseret på BAT – og må også være strengere end kravene i BAT.

## Udvaskningsrisiko

*Definition* **Risiko for udvaskning af uønskede stoffer til recipient.**

Afhængigt af materialevalg i filterjordene kan der være en øget risiko for udledning af forurenende stoffer i indkøringsperioden efter anlæg. Næsten ethvert materiale har en eller anden grad af baggrundsbelastning, som man skal have kendskab til for at kunne vurdere, hvor stor belastning den nye jord pådrager recipienten, og hvor længe den pågår. Mængden af den udledning er afgørende for, hvornår man opnår en reel nettorensning, altså hvornår baggrundsbelastningen er indhentet rent resemæssigt.

## Sedimentation

*Definition* **Udfældning af faste partikler i en væske.**

En væsentlig andel af de forurenende stoffer i overfladevand vil være sedimentbundne. Det vil sige, at de forurenende stoffer er bundet på partikler. For at tilbageholde disse partikler skal man fastholde dem i jordmatrixens øverste del. For at det sker, er det nødvendigt, at man har den laveste permeabilitet øverst i bedet. Hvis permeabiliteten er lavest i bunden af bedet, vil sedimentationen foregå her, hvilket besværliggør en udskiftning af filterjorden ved tilklogning. Derfor er kravet om lavest permeabilitet i øverste del af jordmatrixen vigtigt.

## Ionbytningskapacitet

*Definition* **Ionbytningskapaciteten angiver en jords evne til at fastholde positive og negative ioner. Kationbytningskapaciteten angiver en jords evne til at fastholde positive ioner. Begge værdier angives i cmol/kg.**

I jorden findes der partikler som fx ler med negativ elektrisk ladning. De kan fastholde positivt ladede ioner, kationer, som fx  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  eller  $Cu^{2+}$ . Den totale mængde kationer, en jord kan tilbageholde, kaldes kationbytningskapaciteten, CEC (cation exchange capacity).

Jo flere negativt ladede partikler, der findes i jorden, des flere positivt ladede ioner kan de tiltrække. En jord med højt indhold af ler eller organiske stoffer som fx humus med negativt ladede partikler har en høj kationbytningskapacitet; sand har derimod en lav kationbytningskapacitet.

Jordtype/tekstur	Kationbytningskapacitet cmol/kg
Organisk	> 50
Fin (ler)	25-50
Middel	8-30
Grov (sand)	2-15

Kationbytningskapacitet for forskellige jordtyper.<sup>7</sup>

Hvis en jordmatrice er udsat for stor hydraulisk belastning, er der risiko for, at der sker en udvaskning, så lerpartikler føres med af det nedsivende vand og aflejres længere nede i jordmatrixen, hvor de kan medvirke til tilklogning. Biokul har ligesom lerpartikler en høj kationbytningskapacitet, og derudover bibeholder det sin faste form, selvom det belastes hårdt hydraulisk. Det gør, at det ikke som ler udvaskes over tid.



## Levetid

*Definition* **Den tid, man forventer et produkt eller anlæg vil holde.**

En filterjord har ikke uendelig levetid, da den kan blive udfordret på to parametre: **ionbytningskapaciteten** og sedimentaflejring og dermed nedsat infiltration. Levetiden afhænger af mange faktorer, og derfor er det svært at give en specifik levetid for en filterjord. Ønsker man at bestemme levetiden, må man kende belastningen, som den udsættes for – det vi sige den tilløbne vandkvalitet og mængde.

For at kunne binde de opløste ioner i vandet må der være en vis ionbytningskapacitet til rådighed i det anvendte materiale i filterjorden. Kapaciteten vil over tid blive mindre, efterhånden som ionerne binder sig. Derudover vil tilbageholdelse af de partikelbundne stoffer også over tid give en vis ophobning i jordmatricen. Da det samtidig er svært at kvantificere både indløbsmængde og vandkvaliteten, vil det være problematisk at lave en præcis beregning af levetid. CEC-tallet (**kationbytningskapaciteten**) danner basis for, hvad man kan forvente i forhold til de positive ioner. I dag har man en forventning om, at filterjorde har en levetid på 10-20 år, men da man ikke har hårde data på de anvendte jorde, må man forvente en stor usikkerhed om validiteten af denne antagelse.

## Filterjord

*Definition* **Filterjord er en jord, der kan rense overfladevand ved gennemløb svarende til BAT.**

Der er kommet øget fokus på rensning af regnvand, og at man kan validere og eftervise renseegenskaberne ved brug af filterjord. Det rensende medie i regnbede er i dag defineret ud fra en beskrivelse af en jordtype – også kaldet filterjord – hvor man har defineret udvalgte materialer og egenskaber. Beskrivelsen findes i Videnblad, nr. 7.03-03, *Sammensætning og brug af filterjord*, udgivet af Københavns Universitet maj 2015. Her er der dog ikke opgivet en eksakt opskrift på filterjord, men en anbefaling om sammensætning og brug af den.

Her beskrives filterjord på denne måde:

- Jorden skal være ren i udgangspunktet, fx klasse 0 i Sjællandsvejledningen. Det gælder også, at der ikke bør være høje mængder fosfor, som let kan udvaskes med regnvandet.
- Filterjordlaget bør være 30-50 cm tykt afhængigt af behovet for rensning og ønsker til plantevækst.
- Filterjorden skal være homogent blandet. Kan købes færdigblandet hos flere producenter eller blandes på stedet.
- Det samlede indhold af ler (< 0,002 mm) og silt (< 0,063 mm) bør ligge mellem 5 og 10 % (vægtprocent).

- Indholdet af organisk materiale bør være mellem 1 og 3 % (vægtprocent) og af så stabil karakter som muligt.
- Jordens pH bør være mellem 6,5 og 8, men helst i den lave ende af spektret.
- Jordlaget skal placeres ved overfladen i nedsivningsanlægget og bør være vegetationsdækket.
- Jordens hydrauliske ledningsevne bør ikke være lavere end  $10^{-5}$  m/s ved anlæggelse (afhænger af jordens tekstur og kompakt-hed), men heller ikke højere end  $10^{-4}$  m/s. Justeres ved iblanding af sand.
- Forholdet mellem vejareal eller parkeringsareal og nedsivningsareal kan variere alt efter det forventede forureningstryk og dybden af jordlaget. Danske eksempler varierer mellem ca. 1:5 og 1:25.
- En større bindingskapacitet og længere levetid kan opnås ved at iblande stærke "sorbenter" som eksempelvis aluminiumoxider (ALCOsand).

Da der ikke findes eksakte beskrivelser af, præcis hvad en filterjord indeholder, kan den variere i sammensætning og derved også filtreringsevne. Gennem årene har man derfor også måttet konkludere, at det nogle steder virker efter hensigten, mens det andre steder virker mindre godt. En af udfordringerne i filterjordsblandinger er permeabiliteten. I beskrivelsen for filterjord kan permeabiliteten ligge inden for  $1 \times 10^{-5}$  –  $1 \times 10^{-4}$  m/s, svarende til 0,6-6 mm/min. Det er en forskel på faktor 10. Permeabiliteten har en direkte effekt på opholdstiden i mediet og derved på, hvor meget vand mediet evner at modtage. Da opholdstiden i mediet er en nøgleparameter for, hvor lang tid mediet har til at optage opløste stoffer i vandet, er det problematisk, at beskrivelsen af den traditionelle filterjord er forbundet med så store marginer.

Ved anlæg kan lagtykkelsen af filterjorden variere fra 30 til 50 cm. Ved brug af fx 30 cm filterjord vil opholdstiden ligge mellem 50 og 500 min. for nedsivning. Dertil kommer, at valget af planter på toppen af et vejbed eller regnbed kan variere og påvirke nedsivningen. At regnvandet filtreres gennem fint materiale, øger også risikoen for, at det med tiden vil klogge til og derved påvirke både permeabiliteten samt vækstegenskaber for planterne.

De store marginer opfordrer til, at man for at sikre den ønskede rensningseffekt som udgangspunkt regner med worst-case-tilfælde med høj vandtilførsel og hurtig nedsivning. Det giver ifølge filterjordsbeskrivelsen 6 mm/min. og en opholdstid på 50 min. Ønsker man en høj rensningseffekt, kræver det lav permeabilitet for at opnå så lang berøringsstid mellem regnvand og filterjord som muligt, og det vil begrænse oplandsstørrelsen, som bedet kan afvande. Normalt vil oplandsfaktor anbefales at være i intervallet 1:5 – 1:25. Ønsker man at opnå både optimal rensning og afvanding af et stort opland, må man kompensere med andre tiltag.

Typisk optræder filterjord i den tætte by sammen med en underliggende faskine for at opnå større magasinvolumen.

## Erfaringer med filterjord

- **Infiltration og permeabilitet**

Den store variation i filterjordenes permeabilitet skaber usikkerhed omkring den vandvolumen, det enkelte bed kan modtage.

- **Markkapacitet**

Den høje permeabilitet og primære anvendelse af massive materialer resulterer i et vækstmedie med lav **markkapacitet**, som begrænser vækstegenskaberne og udvalget af plantearter.

- **Lagtykkelse og vækstegenskaber**

Den tynde lagtykkelse er en begrænsende faktor for rodudvikling. Sammen med den lave markkapacitet begrænses vækstegenskaberne i jorden.

## Ny tilgang til filterjord

I filterjorde bør man være meget bevidst om andelen af det organiske materiale, da det frigiver **næringsstoffer**, når det nedbrydes. Det skaber et paradoks, da planter har brug for de samme næringsstoffer, man vil undgå nedsivning eller udledning af. Da risikoen for **udvaskning** skal minimeres, bør **kompost** i filterjorde fravælges, da det tilfører meget næring til jorden. Et alternativ kan være ren **spagnum**, da det understøtter **mikrobiologisk liv** og samtidig er ekstremt næringsfattigt. Spagnum har dog andre miljømæssige aspekter, der bør overvejes inden brug. Af andre materialer, der potentielt kunne benyttes, kan nævnes biokul, som er et organisk materiale med lav omsætningshastighed. Biokul kan dog være en udfordring, da næringsindholdet svinger meget, alt efter hvilket råmateriale der indgår i pyrolysen ved fremstilling.

For at sikre filtrering af problematiske stoffer og samtidig understøtte plantevækst i et regnbed kan jordmatricen deles i to dele, der supplerer hinanden: et toplag og et bundlag. I toplaget er man interesseret i at opnå så høj en ionbytningskapacitet som muligt for at skabe bufferkapacitet til at tilbageholde tungmetaller og næringsstoffer, så de er tilgængelige for planterne. Ved at have en høj markkapacitet i toplaget vil det give mulighed for, at planterne kan optage de næringsstoffer, der måtte være i det tilledte vand. pH-niveauet i toplaget skal være  $< 7,5$ , for at næringsstofferne er plantetilgængelige. Da toplaget primært har kationbytningskapacitet, skal bundlaget have fokus på at kunne tilbageholde negativt ladede stoffer som fx fosfor. Desuden skaber bundlaget en øget **rodzone** og hæver markkapaciteten for den samlede jordmatrice.

I denne løsning tages faskinen ud, og volumen erstattes med ovenstående bundlag, der fungerer både som vækstmedie og vandmagasin. Det betyder, at top- og bundlag sammen skaber en jordmatrice på 1 meter. Man går fra en ekstremt tør løsning til en løsning med en stor rodzone

med mange gange mere **plantetilgængeligt vand**, som let danner grobund for frodige og vitale vejtræer.

## **Tømidler**

*Definition* **Midler, der spredes på belægninger for at forhindre eller fjerne is.**

**Tømidler** bruges til at fjerne primært is fra belægninger som fliser eller asfalt. Generelt giver brugen af alle tømidler, vi kender, en negativ miljømæssig effekt og påvirker således også filtreringsanlæg. Brug af tømidler i området omkring et bed kan medføre negative konsekvenser for filtreringen. I relation til vækstsustater og vejbede er der også stor forskel på påvirkningen fra forskellige tømidler. Nogle tømidler anses for mindre miljøskadelige end andre; det er fx natriumklorid (NaCl), calciumklorid (CaCl<sub>2</sub>), magnesiumklorid (MgCl<sub>2</sub>), calciummagnesiumacetat (CaMg(CH<sub>3</sub>COO)<sub>4</sub>), kaliumformiat (KCOOH), glykolbaserede tømidler og urea, som er kvælstofbaseret ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO).

### **NaCl, almindeligt vejsalt**

Det mest brugte og kendte tømiddel er NaCl eller vejsalt, som det også kaldes, der fås i forskellige former og blandinger. NaCl er lertilgængeligt og tilmed det billigste, når der kun ses på driften i forhold til at holde vejene isfri.

Klorid fra NaCl har i større mængder, som der vil forekomme ved saltning, en toksisk effekt samt en osmotisk negativ effekt på planter, hvilket giver en dårligere vækst. Effekten ses også for andre kloridbaserede tømidler. Klorid-ioner (Cl<sup>-</sup>) i saltene bytter plads med andre ioner i jordmatricen, der ellers skulle fanges som fx fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), og de kan herefter uønsket ledes videre til recipient.

Natrium-ionerne kan i nogen grad ionbytte med andre kationer og derved forårsage udvaskning af tungmetaller og næringsstoffer til recipienter. Kloriderne har desuden en korroderende virkning, som har en negativ betydning for materialer af metal som fx stålarmerede betonkonstruktioner eller bedkanter i metal.

### **Calciumklorid (CaCl<sub>2</sub>) og magnesiumklorid (MgCl<sub>2</sub>)**

Calciumklorid-ioner og magnesiumklorid-ioner anses for at have de samme negative effekter på planter og miljø som NaCl på grund af indholdet af klorid. Både calcium-ioner og magnesium-ioner har en større evne til at ionbytte end natrium-ioner, så de vil i endnu højere grad kunne påvirke udvaskning af kationer og forårsage udvaskning af tungmetaller og næringsstoffer.

### **CMA eller calciummagnesiumacetat ( $\text{CaMg}(\text{CH}_3\text{COO})_4$ )**

CMA anses for at være et af de mest miljøvenlige tømidler, da acetat ikke påvirker planterne negativt i samme grad som de mere traditionelle tømidler med klorid. Det forbruger dog ilt ved omsætning, og det kan hæmme væksten for planter og træer samt være skadeligt for vandmiljøet. De miljømæssigt skadelige effekter af CMA er dog ikke fuldstændig klarlagt. Calcium-ioner og magnesium-ioner kan som nævnt forårsage udvaskning af andre kationer, og det kan øge pH-værdien i jorden. CMA virker i praksis kun optøende ned til  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  og har derfor i forhold til de øvrige tømidler et mere begrænset temperaturinterval, hvor det kan benyttes. De CMA-produkter, der forhandles som opløsninger, er svanemærket.

### **KF eller kaliumformiat ( $\text{KCOOH}$ )**

KF anses ligesom CMA for et miljøvenligt tømiddel.

### **Glykol**

Glykoler som propylenglykol ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ ) og ethylenglykol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ) er tømidler, der bl.a. bruges til kølervæsker og til afisning af fly. De har et ekstremt højt iltforbrug ved nedbrydning, som hurtigt vil medføre iltvind, hvis det havner i vandmiljøet. Det anbefales generelt ikke at bruge glykoler som tømiddel.

### **Urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ )**

Urea er et urinstof, der indeholder kvælstof, og det har derfor en negativ effekt på vandmiljøet. Urea anbefales derfor ikke som tømiddel.

## **Hvilket tømiddel skal man vælge?**

Det kræver viden at træffe de rigtige valg i forbindelse med tømidler, der påvirker planter, jord og vandmiljø mindst muligt. Generelt er ionbytning i forbindelse med brug af tømidler en udfordring. Natriumklorid, der findes i almindeligt vejsalt, vil udfordre filtreringen, da klorid har en negativ indflydelse på plantevækst. Det samme gælder tømidler med calciumklorid. Flere alternative tømidler er næringsstofbaseret, og de vil derfor tilføre næring som fx nitrogen (N) til bede, hvis der fx er tilstrømmende vand fra en vejstrækning, hvor tømidlet benyttes. Da nitrogen er uønsket i vandmiljøet og samtidig har en kraftig gødningseffekt, er det ikke optimalt. Det er calciumnitrat et eksempel på.

Generelt anbefales de formiat- (myresyre) og acetatbaserede (eddikeyre) tømidler frem for kloridbaserede, hvor det er muligt. Af alternative tømidler findes fx CMA (calciummagnesiumacetat,  $\text{CaMg}(\text{CH}_3\text{COO})_4$ ). CMA opererer med et andet temperaturinterval end almindeligt vejsalt, og det bør derfor tages med i overvejelserne ved valg af tømidler.



CASE

# FRUENS BØGE ALLÉ, ODENSE

---

Ved **Fruens Bøge Allé, Odense**, ønskede man at håndtere regnvand, så beboerne ikke skulle kæmpe med vand i kældrene. Derudover var der et ønske om at filtrere regnvandet for uønskede stoffer inden udløb til recipient.

VandCenter Syd har derfor sammen med beboerne og Odense Kommune etableret otte nye filtrerende regnbede, der ud over at håndtere regnvand også forskønner lokalområdet.

Ved hjælp af en lagdelt opbygning med filterjord indeholdende bl.a. biokul, kalk og pimpsten sikres en renseeffekt, dels ved sedimentation, dels ved adsorption. En veldefineret permeabilitet i filterjorden sikrer kontrolleret rensning, og den lagdelte filterjord sikrer samtidig en dyb jordmatrice, som derved også understøtter vegetationen.

# Fruens Bøge Allé

Odense

---

**Anlægstype:** Regnbed

**Realiseringsår:** 2020/2021

**Bygherre:** VandCenter Syd, de lokale borgere og Odense Kommune

**Design og udførelse:** Munck Forsyningsledninger, Rambøll Danmark



Til denne opgave er der anvendt FilterVext, der indeholder flere forskellige elementer til rensning som bl.a. biokul og kalk i kombination med pimpsten. Fokus er rettet mod høj kationbytningskapacitet og tilbageholdelse af partikelbundet forurening. Der benyttes et tolagssystem, som er optimeret til opgaven.



Modsat traditionelle regnbede benyttes der ikke faskiner i opbygningen. Det er ikke nødvendigt, da de hydrauliske egenskaber i FilterVext er så unikke, at der kan opnås samme kapacitet uden faskinerne. Filtermedierne er så veldokumenterede på de hydrauliske egenskaber, at ingeniøren kan medregne jordens egenskaber uden problemer.



Da bedene er opbygget af FilterVext i hele dybden og ikke med faskiner, giver samme hulstørrelse mere end den dobbelte jordvolumen og dermed tilsvarende stor rodzone. Det åbner for en helt anden tilgang for plantevalg. Sammen med den store rodzone er der også en væsentlig større buffer for plantetilgængeligt vand i bedene. Man går derfor fra traditionelle "tørre" bede med lille rodvolumen til bede med optimale vækstbetingelser, som stiller en stor rodzone til rådighed for plantevæksten.







# Fruens Bøge Allé

Odense



Nyplantet regnbed venter på forår. I bedene er plantet *Sorbus latifolia* 'Atro'.



Teknisk snit. De åbne regnbøde er placeret forskudt langs vejen.



FilterVext Top – vækstmediet kan bankes op maskinelt uden at tage skade.



## KAPITEL 9

# Drift og vedligeholdelse

---

For at et grønt anlæg bliver ved med at opfylde den funktion, det er tiltænkt, er det nødvendigt at vedligeholde det. Drift og vedligeholdelse er vigtigt, men det bliver ofte nedprioriteret. Det er en stor fejl, da det er essentielt for at opretholde bedets funktion. Desuden kan man ved at sikre et velfungerende anlæg ofte opnå en bedre totaløkonomi.

Kapitlet behandler udvalgte områder inden for drift og vedligeholdelse med særligt fokus på de aspekter, der berører vækstmedier.

### Hav en plan

Når man laver drifts- og vedligeholdelsesplaner, skal man forholde sig til det konkrete anlæg og se på, hvilke funktioner man skal understøtte i det grønne anlæg. Det kan være et staudebed, som har en æstetisk funktion, så man gennem drift og vedligeholdelse sikrer et smukt, grønt bed. Eller det kan være et regnbed, som ud over den æstetiske funktion har en hydraulisk funktion, der skal driftes og vedligeholdes, så det fortsat fungerer. Er anlægget en del af en større kæde, bør der også stilles krav til vedligeholdelsen af det, da det er en delkomponent af en større løsning og dermed vil have indflydelse på resten af kæden.

### Beplantning

Beplantning i et bed understøtter dets æstetiske funktion, og man kan vælge mange forskellige typer af beplantning i grønne anlæg som fx stauder, vejtræer eller buske. I relation til vækstmediet er plantedække et meget vigtigt punkt at forholde sig til, fordi det er afgørende for, hvilken efterfølgende drift man bør have på anlægget. Har man et tæt plantedække, vil man have mindre risiko for, at indflyvende ukrudtsfrø spirer og derved øger behovet for lugning i bedet. Derfor kan det være problematisk, hvis man sparer på anlægsbudgettet og fx sætter færre stauder pr. kvadratmeter, fordi man får en langsommere dækning af jordoverfladen. Jo tættere plantedækket er fra begyndelsen, des hurtigere vil planterne dække, og des mindre vil der være brug for at luge de næste år.

Ønsker man hurtigt plantedække og vitale planter i sit plantebed, er det en fordel at vælge et godt vækstmedie. Det giver samtidig også en potentielt bedre spiring for indflyvende ukrudtsfrø, og derfor er det særlig

vigtigt at få dækket jordens overflade med beplantning eller evt. **dæklag**. Vækstmediet bør hverken ligge utildækket i lang tid inden etablering eller være installeret i et bed lang tid før beplantning, da det i begge tilfælde er blotlagt og derfor nemt giver adgang for indflyvende ukrudtsfrø. Når et bed skal tilplantes, afgør de specifikke plantearter, hvor mange antal planter der behøves pr. kvadratmeter.

## Dæklag

*Definition* **Et materiale, der er placeret oven på vækstmediet. Et dæklag bør have en permeabilitet, der er større end eller det samme som det underliggende vækstmedies.**

Dæklagets primære funktioner er at hindre indflyvende ukrudtsfrø i at få direkte kontakt med det underliggende vækstmedie. Derved nedsættes risikoen for spiring af indflyvende ukrudtsfrø, der ellers nemt ville etablere sig. Brugen af dæklag vil i sidste ende lette driften af anlægget og nedsætte driftsomkostningerne til lugning.

Når der skal vælges dæklag, er der flere egenskaber og forhold, man bør overveje:

- Ikke vandtilbageholdende
- Lav markkapacitet
- Kapillærbrydende effekt
- Gerne pH-neutral
- Strukturstabilt
- Intet indhold af næringsstoffer eller kemiske stoffer
- Eroderer ikke ved indløbszone
- Tykkelse

Et dæklag må ikke være vandholdende, og derved bør det have så lav **markkapacitet** som muligt, så vandet ikke bliver i dæklaget over længere tid. For at undgå, at dæklaget løfter fugt op nedefra og derved understøtter spiringsmulighederne i dæklaget, bør det have en kapillærbrydende effekt. På den måde kan dæklaget skabe ugunstige forhold for indflyvende frø. Dæklagets **pH**-værdi må gerne være neutralt eller så tæt på neutralt som muligt, så der ikke sker u hensigtsmæssig påvirkning af det underliggende vækstmedie. Et dæklag, der er strukturstabilt, er at foretrække, og det kan tale hen mod brugen af mineralske materialer. Bruges der organiske materialer til dæklaget, bør man være opmærksom på, at det over tid vil blive nedbrudt og derfor skal efterfyldes. Ydermere bør dæklaget ikke indeholde store mængder **næringsstoffer** eller kemiske stoffer, der kan udvaskes over tid. I visse typer grønne anlæg, hvor vandet ledes til fra overfladen fra omkringliggende **opland**, skal valg af dæklag også tage hensyn til, at det ikke eroderer ved indløbet i bedet. Det er typisk for bede med en indløbszone, at det er aktuelt. Tykkelsen af dæklaget er vigtig, da det ikke må være tykkere, end at de planter, der er sat, har kontakt med

vækstmediet nedenunder. Til gengæld skal det have så tilpas tykkelse, at det hindrer indflyvende ukrudtsfrø i at spire. Dæklagets tykkelse må derfor have en afstemt tykkelse, som sikrer funktionen i anlægget. En normal tykkelse på dæklaget er 5-10 cm afhængigt af materialet og tilpasset vegetationen i det specifikke anlæg.

### Eksempler på dæklag

Der findes mange forskellige typer dæklag, fx grus, flis eller **skærver**.

Grus ses tit anvendt, fordi det er nemt at anlægge og efterfølgende også at luge. Grus skal vaskes og sorteres, så 0-2-mm-fraktionen er taget ud for at gøre det mere kapillærbrydende.

Flis ses også tit anvendt. Da det er et organisk materiale, skal man være opmærksom på, at det nedbrydes over tid og derfor vil kræve opfyldning.

Skærver er effektive til at hindre erosion, fx i indløbszoner i regnbede. Skærvernes grove struktur danner en ujævn overflade, og det gør evt. lugning eller renholdelse tung, da det må gøres med håndkraft.

Dæklag i bed, Værløse Bymidte.



## Næring

Når man etablerer grønne anlæg og bruger vækstmedier, bør vækstmedierne ved levering og installering have et vist indhold af næringsstoffer. Man skal have en holdning til, hvordan næringsindholdet er sammensat ved leveringen. Næringsindholdet kan bestå af nemt opløselige næringsstoffer, som kan være tilgængelige med det samme, og det kan bestå af hårdere bundet organiske næringsstoffer, der kræver, at det organiske nedbrydes, før det er plantetilgængeligt. De fleste vækstmedier bærer noget nemt tilgængeligt næringsstof med sig og noget hårdere bundet, som vil frigives over en periode.

Næring indgår i planternes livscyklus og er nødvendig for, at de kan trives. Det naturlige kredsløb af løvfald og andet organisk materiale er ofte ikke til stede i det urbane miljø, da det fjernes eller ikke kan blive trukket ned i jorden af fx regnorme, og derved vil jorden ikke modtage næring i naturlig form gennem nedbrydning af organisk materiale. Det vil med tiden føre til, at jorden bliver næringsfattig eller direkte udpint. Det er derfor essentielt i forbindelse med drift at forholde sig til plantenæring og lave en plan over tilførsel af den. Hvis der ikke kommer naturlig tilførsel af næringsstoffer, bør næring kontinuerligt tilføres, så de bedste vækstmuligheder for planterne skabes. En næringsplan – eller gødningsplan, som nogle kalder den – skal forholde sig til plantevalg, opland og tilløbende vandmængder samt kvaliteten af denne og volumen af plantehullet. Derudover må der tages højde for risiko for **udvaskning** for at undgå dette.

	Lukkede bede	Åbne bede	Regnbed med udlednings- eller nedsvivningskrav	Regnbed uden udlednings- eller nedsvivningskrav
<b>Beplantning</b>			Dødt organisk materiale og afklip bør fjernes for ikke at tilføre næring til jorden.	
<b>Dæklag</b>			Vælges med opmærksomhed på erosion og permeabilitet.	Vælges med opmærksomhed på erosion og permeabilitet.
<b>Næring</b>	Næring gives i forbindelse med vanding, da belægningen afskærer muligheden for naturlig tilførsel af organisk materiale.	Mulighed for naturlig tilførsel af organisk materiale. Det skal vurderes, om plantematerialer forbliver og forfalder i bedet, eller om det fjernes. Hvis det sidstnævnte er tilfældet, er der øget behov for tilførsel af supplerende næring.	Må aldrig tilføres næring pga. udvaskningsrisiko.	Kan tilføres næring, men med hensyn til hvilken recipient afvanding fra bedet løber til.
<b>Vanding</b>	Vanding er vigtigt, da belægninger mindsker naturligt tilløb til bedet.	Vanding ved etablering og i tørkeperioder.	Skal normalt ikke vandes, da der tilledes store mængder vand fra tilstødende opland. Vanding kan være hensigtsmæssigt ved etablering og i tørkeperioder.	Skal normalt ikke vandes, da der tilledes store mængder vand fra tilstødende opland. Vanding kan være hensigtsmæssigt ved etablering og i tørkeperioder.
<b>Hydraulik</b>			Opmærksomhed på tilklogning over tid.	Opmærksomhed på tilklogning over tid.

Drift og vedligeholdelse



## Vanding

I det urbane miljø er det almindelig kendt, at det er nødvendigt at vande. Der er dog stor forskel på vandbehovet, alt efter hvordan det grønne anlæg er designet. Hvis et allétræ fx er plantet, hvor der er ført belægning helt tæt på stammen, så der ikke kommer naturligt vand til det, vil træet være afskåret fra den naturlige tilførsel af vand i modsætning til et helt åbent plantebed, hvor regnen naturligt vil ramme overfladen. I tilfældet med allétræet vil vanding derfor være en naturlig del af driften. Vanding af grønne anlæg bør afhænge af nogle vurderinger, hvor der er stor forskel på, om det er et åbent bed, eller om der er belægning på toppen.

Vanding afhænger derfor af en lang række faktorer som fx markkapacitet, fordampning, belægning over bedet, naturlig tilstrømning af vand fra opland, dæklag, plantevalg og sekundær vanding, fx fra underliggende kapillærmagasin eller anden form for tilførsel fra vandreservoir. Vanding bliver endnu vigtigere i fremtiden på grund af klimaforandringer, hvor der vil være perioder med kraftigere regn, men også længerevarende tørkeperioder.

Skemaet viser forskellige bedtyper med tilhørende drift. Skemaet er ikke en fyldestgørende drifts- og vedligeholdelsesplan, men den markerer nogle punkter, man bør være opmærksom på. Derudover viser den, hvilke forskelle der er for hhv. lukkede og åbne bede samt regnbede med eller uden filtrering.

## Opretholdelse af den hydrauliske funktion

I mange grønne anlæg er permeabiliteten en vigtig parameter for, at anlægget fungerer. Det kan fx være et regnbed, hvor der tilledes vand fra et givent opland. Her har det tilstrømmende vands kvalitet og andelen af sediment direkte indflydelse på permeabiliteten i jordmatricen.

I forhold til drift vil der i sådan et anlæg aflejres sediment, som det tilløbende vand medbringer. Et eksempel er i forbindelse med vejarbejde eller etablering af byggepladser. Her kan der hurtigt opstå kritisk punktvis forureningskilder i form af fx aflæsning af grus på en del af oplandet, hvor vandet tilløber fra. Det er derfor vigtigt, at man ud over at drifte selve det grønne anlæg også har fokus på det omkringliggende areal, så det kan tages med i drifts- og vedligeholdelsesplanen for anlægget.

Et grønt anlæg, hvor der er overfladeindløb, bør være designet, så sedimentationsaflejringen foregår i toplaget af bedet og det dermed er nemt at drifte. Man bør på et tidspunkt forvente, at man skal udskifte det øverste lag af vækstmediet, fordi det indeholder så meget sediment, at det påvirker permeabiliteten i anlægget. Ved tilførsel af vand via slidsede rør i jordmatricen er det vigtigt at sikre, at vandet er fri for mindre partikler. Det gøres ved at lede det gennem et driftet sandfang, så man sikrer, at jordmatricen fungerer korrekt. Derudover bør udledning fra bedet gennem fx droslet udløb, rørført udløb eller ventilløsninger også driftes, da hydraulikken i et grønt anlæg kun kan opretholdes, hvis både indløb og udløb driftes.

### SEDIMENT

Aflejret masse af mineralske eller organiske partikler.

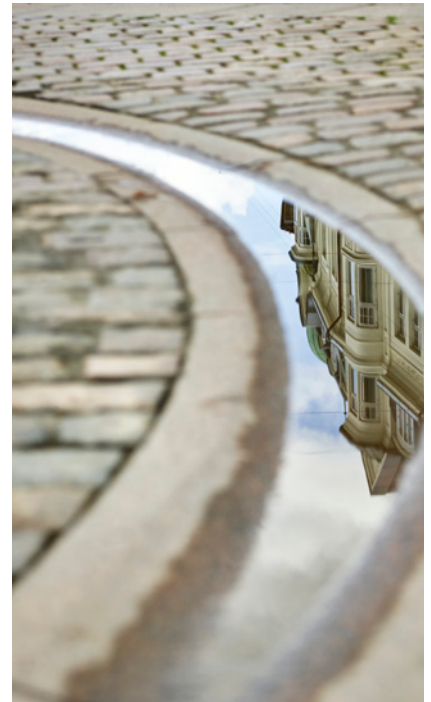
### DROSLET UDLØB

Anlæg, hvor der ved udløbet af vandet er installeret en bremse, så udløbshastigheden styres.

# Store Torv

Aarhus  
Plantekummer







## KAPITEL 10

# Datablade, SAB og kontrolplaner

---

For at sikre holdbare og succesfulde anlæg i byerne er det vigtigt, at vækstmedier kan leve op til de krav, der forventes af dem. Det kan valide datablade sikre. Derfor er det vigtigt, at der til ethvert vækstmedie findes et datablad, der beskriver de specifikke egenskaber, der er fremkommet ved tredjeparts undersøgelser på anerkendte laboratorier eller institutter, så den højeste validitet er til stede. Det sikrer et solidt grundlag for udvælgelse af de bedst egnede produkter til hver enkelt sag.

### Vigtigheden af datablade

Kravene til vækstmediernes egenskaber stiger, og vigtigheden af, at de performer optimalt, er altafgørende for de grønne byrum. Derfor er det vigtigt at sikre, at man kan beskrive de ønskede egenskaber for vækstmediene så præcist som muligt. Samtidig skal leverandører og producenter kunne dokumentere de beskrevne krav, så de kan gentage blandingerne fra gang til gang.

For at sikre, at man kan sammenholde beskrivelser og datablade fra forskellige vækstmedier, skal alle led i kæden gerne agere ud fra samme sæt normer og testmetoder. Man ser i dag en klar tendens til at kigge mere mod de tyske FLL-guidelines og de normer og testmetoder, der er beskrevet der. Her arbejdes der både med **kornkurver** og direkte egenskaber. Generelt må det anbefales, at der fokuseres på de reelle egenskaber frem for kornkurver, når der beskrives vækstmedier. Egenskaberne er et udtryk for det totale samspil i vækstmediet og ikke en materialebeskrivelse i form af kornkurven, der normalt også dækker over et spænd, der medfører varians, og heller ikke tager hensyn til anvendte materialer.

Vækstmedier er et materiale som alle andre materialer i byggebranchen, og det er derfor meget rimeligt at stille krav om, at en producent kan levere dokumentation af de leverede materialer.

Dokumentationen findes ofte som datablade for vækstmediet og vil typisk indeholde information om **næringsstoffer**, vand-luft-forhold, **pH-værdi**, densitet, gradering og for de vækstmedier, der skal indbygges under befæstede arealer, også styrkeegenskaber, det vil sige **E-modul** og beskrivelse af indbygning. Data bør være tilknyttet tredjepart og udført af anerkendte laboratorier eller institutter i henhold til gældende normer eller standarder.

## Sådan læser du et datablad

Egenskaber	Værdi
<b>Klassifikationsegenskaber</b>	
Fraktion	0-18 mm
Gradering	Velgraderet
Partikelform, pimpsten	Uregelmæssigt kantet
Materialer	Pimpsten + organiske materialer
<b>Styrkeegenskaber</b>	
Kohæsion c	0 kPa
Partikelstyrke (EN 13055-1)	ca. 2 kg/cm <sup>2</sup>
E-modul, materialekonstant (DS/EN13286-7)	> 80 MPa
Friktionsvinkel	45
<b>Densitet</b>	
Tør	500-550 kg/m <sup>3</sup>
Våd – markkapacitet	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>
Sætningsfaktor	ca. 1,2
<b>Vand og luft</b>	
Total porevolumen	ca. 80 vol.%
Maks. vandkapacitet – markkapacitet	ca. 45 vol.%
Luftindhold v. maks. markkapacitet	ca. 35 vol.%
Permeabilitet K <sub>f</sub>	> 50 mm/min.
<b>Organisk indhold</b>	
Indhold af organisk stof	< 50 g/l
<b>pH</b>	
pH-værdi	7-8
<b>Næringsstoffer til planter*</b>	
Konduktivitet (ledningsevne)	0,4 – 1,2 mS/cm
Nitrogen (N)	< 70 mg/l
Fosfor (P205)	< 70 mg/l
Kalium (K20)	< 400 mg/l
Magnesium	< 80 mg/l

\* Der kan iblandes organisk, langtidsvirkende gødning efter aftale.

Variationen på kornstørrelsen.	
Formen på kornene. Har betydning iht. fx bæreevne.	Udtryk for kornkurvens forløb. Graderingen udtrykkes ved uensformighedstallet, U. U > 5: Velgraderet jordart med en bred fordeling af kornstørrelser.
Hovedkomponenter, der indgår i produktet.	U ≤ 2: Velsorteret jordart med meget høj koncentration af én kornstørrelse.
Sammenhængskraft i jorden skabt af bindinger mellem partiklerne.	
Knusningsstyrken på pimpstenen. Altså hvornår kornet vil knuses.	
Udtryk for, hvor stejlt produktet kan stå. Maksimal vinkel, materialet kan indbygges i.	
Vægten i tør tilstand.	
Vægten i våd tilstand, afdryppet.	
Hvor meget produktet må forventes at sætte sig. 1,2 vil sige, at der skal anvendes 1,2 m <sup>3</sup> løst materiale pr. indbygget m <sup>3</sup> .	
Volumen af alle porer i produktet, som enten kan indeholde vand eller luft, altså summen af de to nedenstående.	
Volumen af vand, som produktet kan indeholde efter afdrypning ≈ plantetilgængeligt vand.	
Volumen af luft, der vil være til stede, når produktet er vandmættet og afdryppet (markkapacitet). Hvis denne er angivet med betegnelsen p <sub>f</sub> 1,8, skal man være opmærksom på, at tallet typisk vil være højere, da det måles ved undertryk, og derfor skal markkapaciteten sænkes tilsvarende, således at summen stadig modsvarer total porevolumen.	
Udtryk for, hvor hurtigt vand kan vandre lodret igennem produktet. Tallet har ofte en direkte relation til luftindholdet. Vigtigt i forhold til, hvor hurtigt produktet kan modtage og aflevere vand.	
Organisk indhold måles ved at tørre materialet og derefter afbrænde det, da det organiske stof herved brændes af. Vægttabet er så et udtryk for det organiske indhold. Større tal = mere indhold. Ses også angivet i % af tørstofvægten.	
Surhedsgrad i produktet. Ses også angivet som reaktionstal, som er 0,5 højere. Samme målemetode anvendes.	
Produktets elektriske ledningsevne. Et udtryk for, hvor mange frie ioner (typisk næringsstoffer) der findes i produktet. Skal ses som et øjebliksbillede og siger ikke noget om næringsniveauet over tid.	
Mængden af de enkelte næringsstoffer. Vær opmærksom på, at de enkelte næringsstoffer kan optræde i forskellige former alt efter analysemetode og derfor ikke altid kan sammenlignes én til én.	

Til ethvert vækstmedie bør der være en medfølgende beskrivelse, som minimum indeholder følgende specifikationer:

Egenskab/type medie	FLL 1	FLL 2	Taghave	Filterjord
<b>Klassifikationsegenskaber</b>				
Fraktion				
Gradering				
Partikelform				
Materialer				
<b>Styrkeegenskaber</b>				
E-modul, materialekonstant				
Friktionsvinkel				
<b>Densitet</b>				
Tørvægt				
Vægt ved markkapacitet				
Sætningsfaktor				
<b>Vand og luft</b>				
Total porevolumen				
Maks. vandkapacitet – markkapacitet				
Luftindhold ved maks. vandkapacitet				
Permeabilitet, $K_f$				
Magasinkapacitet				
<b>Organisk indhold</b>				
Indhold af organisk stof				
<b>pH</b>				
pH-værdi				
<b>Næringsstoffer til planter</b>				
CEC (kationbytningskapacitet)				
Konduktivitet (ledningsevne)				
Nitrogen (N)				
Fosfor (P205)				
Kalium (K20)				
Magnesium (Mg)				
<b>Isolering</b>				
Lambdaværdi, $\lambda$				
<b>Udførelse</b>				
Kontrolplan				

Har et vækstmedie et fyldestgørende datasæt, sikrer man langt bedre, at det kan leve op til de funktioner, man ønsker.



## SAB – særlig arbejdsbeskrivelse

*Definition* **Særlig arbejdsbeskrivelse for styring og samarbejde i en anlægssag.**

På anlægsprojekter laves der en særlig arbejdsbeskrivelse (SAB), der beskriver flere delkomponenter i en anlægssag som fx beskrivelse af ønskede egenskaber for et vækstmedie eller krav til en jords egenskaber. I SAB arbejder man traditionelt med at bruge kornkurver til at definere en jord, ligesom humus- og lerindhold er nævnt som vigtige komponenter, men det gør dog, at det er materialerne, man beskriver, og ikke direkte deres egenskaber. Ved kun at kigge på kornkurver og indhold af ler og humus er der flere egenskaber, man ikke får vished om, og det kan få fatal betydning i sidste ende, hvis de ønskede egenskaber ikke er til stede i vækstmediet. Det er derfor optimalt, hvis der ved udarbejdelse af SAB indgår en beskrivelse af vækstmediernes egenskaber, så de enkelte afdækkes.

---

### **Eksempel** SAB på vækstmedie:

**Case:** Vækstmedie til vejtræ, hvor plantehullet går ind under fortov og cykelsti.

RodVext E80 O15 / FLL 2

RodVext E80 O15 / FLL 2 er et specielt vækstmedie til rodvenligt bærelag baseret på minimum 80 vol.% pimpsten. Der er angivet følgende data om vækstmediet:

Fraktion:	0-18 mm
Bæreevne:	> 80 MPa
Friktionsvinkel:	ca. 45°
pH-værdi (målt i CaCl <sub>2</sub> ):	7-8
Maks. vægt pr. m <sup>3</sup> , vandmættet til markkapacitet:	1.000-1.050 kg
Markkapacitet:	ca. 35 vol.%
Luftkapacitet (ved maksimal vandkapacitet):	vol.% ≥ 35
Organisk indhold:	< 50 g/l (glødetab)
Ledetal, Lt:	0,4-1,2
Permeabilitet:	>50 mm/min.
Bæreevne testet af GEO	

**Indbygning:** Vækstmediernes styrkeegenskaber kræver komprimering til minimum 95 % standard proctor. Ved indbygning komprimeres vækstmediet med tre overkøringer i lag af maks. 30 cm's tykkelse med vibrator (200-500 kg).

De forskellige parametre fortæller om forskellige egenskaber, som er gode at kende ved forskellige typer anlæg:

- **Fraktion**  
Angiver grænseværdien for kornstørrelsen.
- **Bæreevne i MPa**  
Oplysningen sikrer, at materialet kan indgå i beregning af opbygningens styrke, hvilket er nødvendigt, når der er belægning ind over jordmatricen. Findes der ingen oplysninger om E-modulet, kan bæreevnen ikke beregnes.
- **Friktionsvinkel**  
Er afhængig af kornsammensætningen i materialet og har indflydelse på bæreevne og mulig indbygningsvinkel.
- **pH-værdi**  
Vigtig i forhold til plantevalg samt næringsstofferne tilgængelighed for planterne.
- **Maks. vægt pr. m<sup>3</sup> vandmættet til markkapacitet**  
Kan være vigtigt at kende i forhold til grønne tage og anlæg på dæk af hensyn til den underliggende konstruktions bæreevne.
- **Markkapacitet**  
Beskriver vækstmediets evne til at tilbageholde vand.
- **Luftkapacitet (ved maksimal markkapacitet)**  
Luft-vand-forholdet er vigtigt for vækstegenskaberne, og dette tal kan variere meget i de forskellige typer vækstmedier. Har indflydelse på, hvor dybt vækstmediet kan holdes iltet.
- **Organisk indhold**  
Beskriver indholdet af organisk materiale og giver derved indikation af næringsniveauet ved anlæg og evnen til at understøtte mikrobiologisk liv.
- **Ledetal**  
Beskriver det samlede næringsniveau ved levering af vækstmediet. Ledetallet er et øjebliksbillede og beskriver altså ikke den andel, det organiske indhold vil frigive over tid.
- **Permeabilitet**  
Dokumenteret permeabilitet sikrer, at der kan regnes på vandets vej gennem matricen. Har sammen med luftkapaciteten direkte indflydelse på, hvor dybt vækstmediet kan holdes iltet.

- **Bæreevne testet af GEO**

Materialet skal være testet af anerkendt tredjepart – her GEO. At kende bæreevnen er nødvendigt, for at ingeniøren kan regne på den på lige fod med de øvrige bærelagsmaterialer.

- **Indbygning**

Vigtigt for at sikre korrekt indbygning af materialet, fx bør der stilles krav til en **kontrolplan** for indbygning af vækstmedier under befæstede arealer. Kontrolplanen giver entreprenøren validitet for korrekt indbygning og dermed opnåelse af forventede egenskaber.

## Kontrolplaner

*Definition* **Plan for kontrol af det udførte arbejde ved anlæg.**

Kontrolplaner er et almindelig kendt værktøj i byggebranchen og bør også være det for vækstmedier. Kontrolplanerne er entreprenørens værktøj for korrekt anvendelse af det leverede vækstmedie og derved et kvalitetssikringsdokument. Derved kan den sikre både entreprenør og bygherre, at det leverede vækstmedie lever op til forventningerne.

Der er nogle punkter, som bør indgå i en kontrolplan, og som man specielt skal være opmærksom på i forhold til det pågældende vækstmedie. På den måde fortæller kontrolplanen, hvordan man skal agere:

- Inden modtagelse
- Ved modtagelse
- Opbevaring inden brug
- Ved indbygning
- Efter indbygning
- I forhold til vinterforanstaltninger

Kontrolplaner kan se forskellige ud afhængigt af leverandør og materiale, der leveres, og er altså produktspecifikke. For BG Byggros/Vexti kunne en kontrolplan se sådan ud:

BG Byggros/Vextis holdning til kontrolplan		Vær særlig opmærksom på	
1.	Inden modtagelse	Mængder samt krav til de forskellige lags styrker bør verificeres, inden den endelige mængde afsendes fra BG Byggros/Vextis lager.	Erfaringsmæssigt ændrer jordprojekter sig altid, når grave-arbejdet er i gang. Kontrollér derfor altid det reelle behov, så den korrekte mængde vækstmedie modtages.
2.	Ved modtagelse	Ved modtagelse kontrolleres: 1. At jordtype samt mængde stemmer overens med det bestilte. 2. At blandingen fremstår homogent blandet.  Ved mangelfuld opfyldelse af punkt 1 og/eller 2 rettes omgående henvendelse til BG Byggros/Vexti, hvorefter det videre forløb aftales.	Forkert vækstmedie på det forkerte sted kan have fatal betydning. Kontrollér altid, at der er overensstemmelse mellem det forventede og det leverede. Vær desuden altid nøje med at kontrollere, at blandingen er homogen. Der bør ikke være store klumper af ensartet materiale.
3.	Opbevaring inden brug	Skal vækstmediet opbevares på byggepladsen inden indbygning, opbevares det på en normalt drænet plads, hvor der ikke er risiko for ophobning af vand ved regn. Opfugtes vækstmediet til mere end markkapacitet, kan det ikke forventes at kunne indbygges, jf. de i pkt. 4 foreskrevne retningslinjer. Har man brug for at deponere vækstmediet i en periode, anbefales det, at man tildækker mediet for at mindske indflyvning af ukrudtsfrø.	Dette punkt er særlig vigtigt for vækstmedier, som indbygges under befæstede arealer.
4.	Indbygning	Vækstmediernes styrkeegenskaber kræver komprimering til $\geq 95\%$ standard proctor. Ved indbygning komprimeres vækstmediet med 2-3 overkøringer i lag af maks. 30 cm's tykkelse med vibrator (100 kg). Da vækstmediernes skeletstruktur opbygges af en porøs bjergart, kan der ikke foretages isotopsondemålinger. Eftervisning af komprimeringsgrad sker ved hhv. vand-/sandefterfyldningsmetoden. Måling af bæreevne foretages med minifaldlod eller statisk pladebelastning. Metode samt omfang angives af rådgiver.	Det er af stor vigtighed, at den maksimale tykkelse pr. lag ikke overskrides, da det vil medføre dårligere indlejringstæthed med risiko for efterfølgende sætninger til følge. Følger entreprenøren det beskrevne, opnås der sikkerhed for, at de beskrevne egenskaber er til stede.
5.	Efter indbygning	Vækstmediet må efter indbygning ikke udsættes for belastning i form af kørende, slæbende eller rullende maskiner, som belaster vækstmediet mere, end det givne lag er dimensioneret til at kunne bære. Om nødvendigt må der etableres fysiske begrænsninger for opretholdelse af dette.  På grund af vækstmediets gode spire- og vækstegenskaber anbefales det, at man tilplanter bedet straks efter anlæg. Dette gøres for at lukke overfladen af for spiring af tilflyvende ukrudtsfrø og dermed reducere driften.	Korrekt behandling efter indbygning er lige så vigtigt som korrekt installering. Vær derfor opmærksom i forbindelse med dette punkt.
6.	Vinterforanstaltninger	Leveres vækstmediet i vintertid med frost, kan det ikke forventes at kunne indbygges i frossen tilstand. Frosne klumper vil være løst lejret, og efterfølgende komprimering, jf. punkt 4, vil ikke være i stand til at ændre dette. Indbygning af frossent vækstmedie giver således betydelig risiko for efterfølgende sætninger. BG Byggros/Vexti påtager sig intet ansvar for vækstmedier indbygget i frostvejr.	Det kan på ingen måde anbefales at indbygge vækstmedier i frostvejr, da risikoen for efterfølgende sætninger er overhængende.

# **DATABLADE**



## Terræn



# CityVext

Et konstrueret vækstmedie, der anvendes i åbne plantehuller i terræn. Vækstmediet er udviklet til vejtræer og andre beplantninger i urbane grønne miljøer.

CityVext giver store, sunde vejtræer og anden beplantning, der forskønner bybilledet. Dette vækstmedie har særdeles gode vækstegenskaber og er designet til at frembringe et sundt og stærkt rodnet, der kan sikre planterne et langt liv.

CityVext-vækstmediets sammensætning af pimpsten og organisk materiale er med til at skabe optimale forhold for beplantningens vækst og trivsel.

Pimpstenen har en stor porevolumen, der gør vækstmediet i stand til at tilbageholde store mængder plantetilgængeligt vand og luft. Samtidig er pimpsten et meget permeabelt materiale, der sikrer, at både vand og luft er til stede i hele bedets dybde, hvilket giver god plads til, at planternes rødder kan brede sig og udvikle en sund vækst.

Den porøse bjergart er i stand til at fungere som et bærende element, der kan bære op til 50 vol.% vand ved fuld markkapacitet og samtidig have > 25 vol.% luftindhold. Derudover betyder pimpstens skeletstruktur, at produktet er strukturstabilt og ikke sætter sig over tid.

Pimpsten er et 100 % rent, naturligt fremkommet materiale og indeholder ingen kemi eller tilsætningsstoffer.

CityVext udmærker sig ved:

- Særdeles gode vækstegenskaber
- Høj permeabilitet, der giver en ekstra stor aktiv rodzone
- Stabil struktur

Varianter, der muliggør en større aktiv rodzone

CityVext kommer i to varianter. P15 muliggør en større og mere aktiv rodzone i ned til 1 meters dybde, og P40 udvider den aktive rodzone helt ned til 2 meters dybde.

Produktets høje permeabilitet og vandtilbageholdende egenskaber fra pimpstenen modvirker anaerobe forhold i bunden af indbygningen. Dette giver vejtræer mulighed for at etablere dybe og kraftige rødder, hvilket giver et større, stærkere og mere vitalt træ.

BG Byggros er involveret i hele produktionen af vækstmediene, og vi kan derfor stå inde for alle vores materialer, vi kan fuldt replikere vores produkter, og vi kan projektilpasse vækstmediene efter behov.

---

### Hvem er vi?










Vores vækstmedier er udviklet af passionerede fagfolk. Faktisk har vi hele paletten fuld – geoteknikere, gartneriteknologer, landskabsarkitekter og miljøingeniører. Vores ønske er at skabe en langsigtet løsning, der sikrer en sund og stabil bynatur.

---

CityVexts vækstegenskaber er testet efter de beskrevne testmetoder i FLL's guidelines ved Eurofins.

## Tekniske data

### CityVext

	P15	P40
 Vækstegenskaber		
 Bæreevne		
 Filtrering		
Egenskaber	P15 025 / FLL 1	P40 020 / FLL 1
Klassifikationsegenskaber		
Fraktion	0-18 mm	0-18 mm
Gradering	Velgraderet	Velgraderet
Partikelform, pimpsten	Uregelmæssigt kantet	Uregelmæssigt kantet
Materialer	Pimpsten + organiske materialer	Pimpsten + organiske materiale
Densitet		
Tør	500-550 kg/m <sup>3</sup>	500-550 kg/m <sup>3</sup>
Våd – markkapacitet	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>
Sætningsfaktor	ca. 1,2	ca. 1,2
Vand og luft		
Total porevolumen	ca. 80 vol.%	ca. 80 vol.%
Maks. vandkapacitet – markkapacitet	ca. 50 vol.%	ca. 50 vol.%
Luftindhold v. maks. markkapacitet	ca. 30 vol.%	ca. 30 vol.%
Permeabilitet K <sub>f</sub>	> 15 mm/min.	> 40 mm/min.
Organisk indhold		
Indhold af organisk stof	< 60 g/l	< 60 g/l
pH		
pH-værdi	7-8	7-8
Næringsstoffer til planter*		
Konduktivitet (ledningsevne)	0,2 – 1,5 mS/cm	0,2 – 1,5 mS/cm
Nitrogen (N)	< 100 mg/l	< 90 mg/l
Fosfor (P205)	< 80 mg/l	< 75 mg/l
Kalium (K20)	< 600 mg/l	< 500 mg/l
Magnesium (Mg)	< 125 mg/l	< 100 mg/l

\* Der kan iblandes organisk, langtidsvirkende gødning efter aftale.

**Leveringsnote:** På grund af vækstmediets gode spire- og vækstegenskaber anbefales det at indbygge vækstmediet umiddelbart efter levering for at undgå spiring af tilflyvende ukrudtsfrø. Alternativt bør vækstmediet tildækkes for at undgå uønsket plantevækst. Produkterne sælges i m<sup>3</sup> i løs vægt; der foretages løbende vejeprøver.



# RodVext

Et konstrueret vækstmedie, der kan indbygges under belægning. Vækstmediet er designet med fokus på bæreevne og på at opnå en stabil skeletstruktur.

*RodVext bruges der, hvor bæreevnen er alfa og omega. RodVext har dokumenteret høj bæreevne, samtidig med at der er lagt stor vægt på vækstegenskaberne. Derfor er RodVext det oplagte vækstmedie til indbygning under eller i forbindelse med belægning.*

Produktets sammensætning af pimpsten og organisk materiale garanterer høj bæreevne kombineret med særligt gode vækstegenskaber.

Pimpstensindholdet sikrer en stabil skeletstruktur og stor porevolumen, der kan indeholde store mængder plantetilgængeligt vand og luft. Skeletstrukturen betyder, at vækstmediet kan bære belastningen, og stadig sikre gode vækstforhold til beplantningen.

Pimpsten er en porøs bjergart, som fungerer som et bærende element, der kan bære op til 50 vol.% vand ved fuld markkapacitet og samtidig have > 25 vol.% luftindhold. Derudover betyder pimpstens skeletstruktur, at produktet er strukturstabilt og ikke sætter sig over tid.

Pimpsten er et 100 % rent, naturligt fremkommet materiale og indeholder ingen kemi eller tilsætningsstoffer.

## Fire varianter

RodVext skal anerkendes for sin store bæreevne i alle fire varianter. Forskellen i produkternes styrke afhænger af blandingens kornkurve.

Alle varianterne udmærker sig ved et stort indhold af plantetilgængeligt vand og luft, men mængden af organisk materiale falder let, når bæreevnen øges.

RodVext udmærker sig ved:

- Dokumenteret høj bæreevne
- Stabil skeletstruktur
- Gode vækstegenskaber

## Test

Vækstmediets bæreevne er testet og dokumenteret via tredjeparts laboratorietests udført af GEO. Disse tests påviser en bæreevne, der overstiger FLL's guidelines for rodvenlige bærelag.

Bæreevnen er så fremtrædende i RodVext, at varianten E45, som er den udgave, der har den mindste bæreevne, stadig overholder FLL 2-guidelines for forventet bæreevne i et vækstmedie.

Da produktet er fuldt replikerbart på grund af materialernes stabile sammensætning, kan vi altid garantere produktets egenskaber og anvendelsesmuligheder.

BG Byggros er involveret i hele produktionen af vækstmedierne, og vi kan derfor stå inde for alle vores materialer, vi kan fuldt replikere vores produkter, og vi kan projektilpasse vækstmedierne efter behov.

---

### Hvem er vi?

*Vores vækstmedier er udviklet af passionerede fagfolk. Faktisk har vi hele paletten fuld – geoteknikere, gartneriteknologer, landskabsarkitekter og miljøingeniører. Vores ønske er at skabe en langsigtet løsning, der sikrer en sund og stabil bynatur.*
















---



RodVexts vækstegenskaber er testet efter de beskrevne testmetoder i FLL's guidelines ved Eurofins og bæreevne af GEO.

## Tekniske data

### RodVext

	E45	E80	E100	E150
 Vækstegenskaber				
 Bæreevne				
 Filtrering				
Egenskaber	E45 020 / FLL 2	E80 015 / FLL 2	E100 010 / FLL 2	E150 02 / FLL 2
<b>Klassifikationsegenskaber</b>				
Fraktion	0-18 mm	0-18 mm	0-18 mm	0-16 mm
Gradering	Velgraderet	Velgraderet	Velgraderet	Velgraderet
Partikelform, pimpsten	Uregelmæssigt kantet	Uregelmæssigt kantet	Uregelmæssigt kantet	Uregelmæssigt kantet
Materialer	Pimpsten + organiske materialer	Pimpsten + organiske materialer	Pimpsten + organiske materialer	Pimpsten + organiske materialer
<b>Styrkeegenskaber</b>				
Kohæsion c	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
Partikelstyrke (EN 13055-1)	ca. 2 kg/cm <sup>2</sup>	ca. 2 kg/cm <sup>2</sup>	ca. 2 kg/cm <sup>2</sup>	ca. 2 kg/cm <sup>2</sup>
E-modul, materialekonstant (DS/EN13286-7)	> 45 MPa	> 80 MPa	> 100 MPa	> 150 MPa
Friktionsvinkel	45	45	45	45
<b>Densitet</b>				
Tør	500-550 kg/m <sup>3</sup>	500-550 kg/m <sup>3</sup>	500-550 kg/m <sup>3</sup>	500-550 kg/m <sup>3</sup>
Våd – markkapacitet	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>
Sætningsfaktor	ca. 1,2	ca. 1,2	ca. 1,1 – 1,2	ca. 1,1 – 1,2
<b>Vand og luft</b>				
Total porevolumen	ca. 80 vol.%	ca. 80 vol.%	ca. 80 vol.%	ca. 85 vol.%
Maks. vandkapacitet – markkapacitet	ca. 50 vol.%	ca. 45 vol.%	ca. 40 vol.%	ca. 50 vol.%
Luftindhold v. maks. markkapacitet	ca. 30 vol.%	ca. 35 vol.%	ca. 40 vol.%	ca. 35 vol.%
Permeabilitet K <sub>f</sub>	> 40 mm/min.	> 50 mm/min.	> 60 mm/min.	> 70 mm/min.
<b>Organisk indhold</b>				
Indhold af organisk stof	< 60 g/l	< 50 g/l	< 40 g/l	< 10 g/l
<b>pH</b>				
pH-værdi	7-8	7-8	7-8	7-8
<b>Næringsstoffer til planter*</b>				
Konduktivitet (ledningsevne)	0,4 – 1,2 mS/cm	0,4 – 1,2 mS/cm	0,4 – 1,0 mS/cm	0,2 – 0,6 mS/cm
Nitrogen (N)	< 75 mg/l	< 70 mg/l	< 50 mg/l	< 20 mg/l
Fosfor (P205)	< 75 mg/l	< 70 mg/l	< 60 mg/l	< 20 mg/l
Kalium (K20)	< 500 mg/l	< 400 mg/l	< 250 mg/l	< 75 mg/l
Magnesium	< 100 mg/l	< 80 mg/l	< 75 mg/l	< 50 mg/l

\* Der kan iblandes organisk, langtidsvirkende gødning efter aftale.

**Leveringsnote:** På grund af vækstmediets gode spire- og vækstegenskaber anbefales det at indbygge vækstmediet umiddelbart efter levering for at undgå spiring af tilflyvende ukrudtsfrø. Alternativt bør vækstmediet tildækkes for at undgå uønsket plantevækst. Produkterne sælges i m<sup>3</sup> i løs vægt; der foretages løbende vejeprøver.

**Bæreevne:** RodVext leveres med garanterede 3.-partsvaliderede E-moduler på >45-150 MPa.

Terræn



# FilterVext

Et konstrueret vækstmedie, der indbygges i regn- og vejbede, hvor du ønsker en filtrerende funktion.

FilterVext filtrerer og oprensner forurenede og beskidt vejvand, mens det fungerer som grobund for en frodig og sund vejbeplantning. FilterVext giver det smukke bed, der forskønner og renser miljøet på samme tid.

FilterVext er udviklet med fokus på at forsinke og filtrere overfladevandet via absorption og sedimentering. På grund af produktets høje indhold af pimpsten absorberes overfladevandet og ledes langsomt igennem pimpstens poreholdige skeletstruktur. Derved forsinkes vandmassen, inden det ledes videre i drænsystemet, og vækstmediet får tid til at filtrere og rense det forurenede vejvand.

Vækstmediets sammensætning af pimpsten og organisk materiale giver beplantning optimale vækstforhold, da pimpstens stabile skeletstruktur og store porevolumen giver rødderne plads til at brede sig, samtidig med at mediet opsuger store mængder plantetilgængeligt vand og luft.

Den porøse bjergart fungerer som et bærende element med en ekstremt stor porevolumen, der kan bære op til 50 vol.% vand ved fuld markkapacitet og samtidig have > 25 vol.% luftindhold.

Derudover betyder pimpstens skeletstruktur, at produktet er strukturstabilt og ikke sætter sig over tid.

Pimpsten er et 100 % rent, naturligt fremkommet materiale og indeholder ingen kemi eller tilsætningsstoffer.

FilterVext udmærker sig ved:

- Gode filterevner
- Gode vækstegenskaber for beplantning
- God bæreevne

## En tolagsløsning

For at skabe de bedste betingelser for plantevæksten og samtidig opnå den bedst mulige rensning arbejdes der ofte med to forskellige lag i samme løsning.

Øverste lag modtager vandet og skaber optimale vækstbetingelser for plantevæksten. Nederste lag giver løsningen stor magasinkapacitet og renser og finpudser vandet, inden det ledes til udløb.

Den unikke opbygning betyder, at vækstmediet kan modtage store mængder vand fra oplandet og samtidig sikre lang berørings-/rensetid inden udløb. FilterVext benyttes i regnbede og vejbede til filtrering af overfladevand og har en stor opskalingsfaktor per m<sup>3</sup> bed.

FilterVext kan indbygges under diverse belægninger.

BG Byggros er involveret i hele produktionen af vækstmediene, og vi kan derfor stå inde for alle vores materialer, vi kan fuldt replikere vores produkter, og vi kan projektilpasse vækstmediene efter behov.

---

### Hvem er vi?

Vores vækstmedier er udviklet af passionerede fagfolk. Faktisk har vi hele paletten fuld – geoteknikere, gartneriteknologer, landskabsarkitekter og miljøingeniører. Vores ønske er at skabe en langsigtet løsning, der sikrer en sund og stabil bynatur.

---

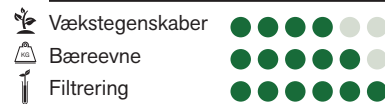
FilterVexts vækstegenskaber er testet efter de beskrevne testmetoder i FLL's guidelines ved Eurofins.

## Tekniske data

### FilterVext

Egenskaber	Værdi	
Klassifikationsegenskaber	Toplag	Bundlag
Fraktion	0-18 mm	0-16 mm
Gradering	Velgraderet	
Partikelform	Uregelmæssigt kantet	
Materiale	Pimpsten, biokul, spagnum	Pimpsten, kalk
<b>Densitet</b>		
Tør	500 kg/m <sup>3</sup>	
Våd markkapacitet	1.100 kg/m <sup>3</sup>	
Sætningsfaktor	1,1 – 1,2	
<b>Vand og luft</b>		
Total porevolumen	ca. 80 vol.%	ca. 70 vol.%
Maks. vandkapacitet – markkapacitet	ca. 50 vol.%	ca. 40 vol.%
Luftindhold v. maks. markkapacitet	> 30 vol.%	
Permeabilitet K <sub>f</sub>	> 3,3 x 10 <sup>-4</sup> m/s	
Magasinvolumen	ca. 30 vol.%	
<b>pH</b>		
pH-værdi – top/bund	ca. 6,5	ca. 8,5 – 9,0
<b>Styrkeegenskaber</b>		
Kohæsion c	0 kPa	
Partikelstyrke	ca. 2 kg/cm <sup>2</sup> (EN 13055-1)	
E-modul, materialekonstant (DS/EN13286-7)	> 80 MPa	> 150 MPa
Friktionsvinkel	45°	
<b>Rensning (forventede rensegrader, årligt gennemsnit)</b>		
Suspenderet stof (SS)	90-95 %	
Total fosfor (P)	60-80 %	
Opløst fosfor (opløst P)	40-70 %	
Total zink (Zn)	45-90 %	
Total kvælstof (Tot. N)	10-60 %	
Total kobber (Cu)	60-90 %	
Ben(a)pyren (PAH)	50-90 %	
DEHP (ftalat)	15-45 %	
Bisphenol A	50-90 %	

#### FilterVext



**Leveringsnote:** På grund af vækstmediets gode spire- og vækstegenskaber anbefales det at indbygge vækstmediet umiddelbart efter levering for at undgå spiring af tilflyvende ukrudtsfrø. Alternativt bør vækstmediet tildækkes for at undgå uønsket plantevækst. Produkterne sælges i m<sup>3</sup> i løs vægt; der foretages løbende vejprøver.

Tag & dæk



# LetVext

Et konstrueret vækstmedie til grønne tage, taghaver og anlæg på faste dæk.

*LetVext vækstmedie sikrer optimale forhold for din beplantning og giver dig det frodige og sunde planteflor, der gør de grønne tage så enestående. Det er let, har en høj vandtilbageholdelse og har gode vækstegenskaber. Derfor er LetVext det oplagte vækstmedie til grønne tage og taghaver.*

LetVext består af pimpsten og organisk materiale. Pimpsten er luftigt, har en meget lav vægt samt en stor porevolumen, der sikrer en optimal tilbageholdelse af både plantetilgængeligt vand og luft.

Pimpsten er en porøs bjergart, som fungerer som et bærende element, der kan bære op til 50 vol.% vand ved fuld markkapacitet og samtidig have > 25 vol.% luftindhold. Derudover betyder pimpstens skeletstruktur, at produktet er strukturstabilt og ikke sætter sig over tid.

Pimpsten er et 100 % rent, naturligt fremkommet materiale og indeholder ingen kemi eller tilsætningsstoffer.

Alle vores tagsubstrater er designet til at modvirke hængende vandspejl, så der altid er en effektiv afvanding. Derved undgås anaerobe forhold.

LetVexts lave vægtfylde betyder, at der kan anlægges et tykkere vækstlag, hvilket giver planterne bedre betingelser og derved muliggør etablering af beplantning med større rodnet såsom træer og buske.

LetVext udmærker sig ved:

- Gode vækstegenskaber, der skaber en frodig og sund beplantning
- Lav vægtfylde
- Strukturstabile materialer
- Gode hydrauliske egenskaber, der modvirker hængende vandspejl

LetVext fås til både intensive og ekstensive tage

Til et ekstensivt tag ønskes der et næringsfattigt medie, der understøtter nøjsomme og tørketålende arter som sedum og tørketålende urter og græsser.

Til et intensivt tag ønskes der et mere næringsrigt substrat, der understøtter beplantning med parkkarakter såsom plænegræs, stauder, buske og træer.

LetVext til intensive tage har derfor et højere indhold af organisk materiale, der sikrer fornøden næring til mere krævende beplantning.

BG Byggros er involveret i hele produktionen af vækstmedierne, og vi kan derfor stå inde for alle vores materialer, vi kan fuldt replikere vores produkter, og vi kan projektilpasse vækstmedierne efter behov.

---

## Hvem er vi?

Vores vækstmedier er udviklet af passionerede fagfolk. Faktisk har vi hele paletten fuld – geoteknikere, gartneriteknologer, landskabsarkitekter og miljøingeniører. Vores ønske er at skabe en langsigtet løsning, der sikrer en sund og stabil bynatur.

---

LetVexts vækstegenskaber er testet efter de beskrevne testmetoder i FLL's guidelines ved Eurofins.

## Tekniske data

### LetVext – ekstensiv/intensiv

Egenskaber	Ekstensiv	Intensiv
<b>Klassifikationsegenskaber</b>		
Fraktion	0-18 mm	0-18 mm
Gradering	Velgraderet	Velgraderet
Partikelform, pimpsten	Uregelmæssigt kantet	Uregelmæssigt kantet
Materialer	Pimpsten + organiske materialer	Pimpsten + organiske materialer
<b>Densitet</b>		
Tør	500-550 kg/m <sup>3</sup>	500-550 kg/m <sup>3</sup>
Våd – markkapacitet	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>	1.000-1.050 kg/m <sup>3</sup>
Sætningsfaktor	ca. 1,2	ca. 1,2
<b>Vand og luft</b>		
Total porevolumen	ca. 80 vol.%	ca. 75 vol.%
Maks. vandkapacitet – markkapacitet	ca. 50 vol.%	ca. 45 vol.%
Luftindhold v. maks. markkapacitet	ca. 30 vol.%	ca. 30 vol.%
Permeabilitet K <sub>f</sub>	> 20 mm/min.	> 25 mm/min.
<b>Organisk indhold</b>		
Indhold af organisk stof	< 45 g/l	< 90 g/l
<b>pH</b>		
pH-værdi	7-8	7-8
<b>Næringsstoffer til planter*</b>		
Konduktivitet (ledningsevne)	< 0,3 mS/cm	< 0,6 mS/cm
Nitrogen (N)	< 50 mg/l	< 100 mg/l
Fosfor (P205)	< 75 mg/l	< 100 mg/l
Kalium (K20)	< 750 mg/l	< 1.000 mg/l
Magnesium (Mg)	< 100 mg/l	< 150 mg/l
<b>Isolering</b>		
Lambdaværdi	< 0,26 W/mK	< 0,26 W/mK

**Leveringsnote:** På grund af vækstmediets gode spire- og vækstegenskaber anbefales det at indbygge vækstmediet umiddelbart efter levering for at undgå spiring af tilflyvende ukrudtsfrø. Alternativt bør vækstmediet tildækkes for at undgå uønsket plantevækst. Produkterne sælges i m<sup>3</sup> i løs vægt; der foretages løbende vejprøver.



Tag & dæk

# SIM/SEM

En substratjord til grønne tage, taghaver og anden etablering på dæk.

SIM/SEM jordsubstrat bygger på genbrugsmaterialer, der får nyt liv på de grønne tage. Blandingerne er nøje afstemt efter at give en smuk og frodig beplantning uden at gå på kompromis med vægt og pris.

SIM/SEM substratjord består af en blanding af knust tegl, knækket leca, sand og have-/parkkompost. Knust tegl og leca har en god vandtilbageholdelse og høj permeabilitet. Det giver særdeles gode vækstegenskaber for beplantningens rødder i form af rigeligt med plantetilgængeligt vand og luft. Den tilførte kompost giver næring til beplantningen, så denne fremstår sund og frodig.

Den knuste tegl er genbrugsmaterialer fra nedrevne byggerier og lignende. På den måde indgår materialerne i den cirkulære økonomi, hvilket gør disse jordsubstrater til et meget bæredygtigt produkt.

Materialernes sammensætning giver desuden et meget strukturstabilt substrat.

SIM/SEM udmærker sig ved:

- Gode vækstegenskaber.
- God vandtilbageholdelse
- Strukturstabilitet
- Gode hydrauliske egenskaber, der modvirker hængende vandspejl

Jordsubstratet fås i to varianter, SIM og SEM

SEM er designet til anvendelse på ekstensive tage, hvor opbygningen er lav og beplantningen består af sedumplanter. Disse planter trives under næringsfattige forhold og kræver ikke et tykt vækstlag. Derfor er indholdet af organisk materiale i SEM afstemt efter beplantningens lave næringsbehov.

SEM jordsubstrat udlægges i vækstlag på minimum 4 cm.

SIM er jordsubstratet til intensive tage, taghaver og beplantninger på dæk, hvor der ønskes et tykkere vækstlag og en højere koncentration af næring til etablering af mere næringskrævende planterarter såsom stauder, buske og træer. Dette substrat indeholder en højere andel af organisk materiale for at tilføre den fornødne næring. SIM jordsubstrat udlægges i et vækstlag på minimum 25 cm.

---

## Hvem er vi?

*Vores vækstmedier er udviklet af passionerede fagfolk.  
Faktisk har vi hele paletten fuld – geoteknikere,  
gartneriteknologer, landskabsarkitekter og miljøingeniører.  
Vores ønske er at skabe en langsigtet løsning,  
der sikrer en sund og stabil bynatur.*

---

SIM/SEM vækstegenskaber er testet efter de beskrevne testmetoder i FLL's guidelines ved Eurofins.

## Tekniske data

### SIM/SEM jordsubstrater

Egenskaber	SEM	SIM
<b>Klassifikationsegenskaber</b>		
Fraktion	0-20 mm	0-20 mm
Gradering	Velgraderet	Velgraderet
Partikelform, pimpsten	Uregelmæssigt kantet	Uregelmæssigt kantet
Materialer	Knust tegl, leca + organiske materialer	Knust tegl, leca + organiske materialer
<b>Densitet</b>		
Tør	ca. 800-850 kg/m <sup>3</sup>	ca. 800-850 kg/m <sup>3</sup>
Våd – markkapacitet	1.250-1.300 kg/m <sup>3</sup>	1.250-1.300 kg/m <sup>3</sup>
Sætningsfaktor	ca. 1,1 – 1,2	ca. 1,1 – 1,2
<b>Vand og luft</b>		
Total porevolumen	ca. 65 vol.%	ca. 65 vol.%
Maks. vandkapacitet – markkapacitet	ca. 40 vol.%	ca. 40 vol.%
Luftindhold v. maks. markkapacitet	ca. 25 vol.%	ca. 25 vol.%
Permeabilitet K <sub>f</sub>	> 3 mm/min.	> 6 mm/min.
<b>Organisk indhold</b>		
Indhold af organisk stof	< 60 g/l	< 90 g/l
<b>pH</b>		
pH-værdi	ca. 8,0	ca. 8,5
<b>Næringsstoffer til planter*</b>		
Konduktivitet (ledningsevne)	0,4 mS/cm	0,6 mS/cm
Nitrogen (N)	< 100 mg/l	< 100 mg/l
Fosfor (P205)	< 50 mg/l	< 75 mg/l
Kalium (K20)	< 700 mg/l	< 1.000 mg/l
Magnesium	< 150 mg/l	< 200 mg/l

**Leveringsnote:** På grund af vækstmediets gode spire- og vækstegenskaber anbefales det at indbygge vækstmediet umiddelbart efter levering for at undgå spiring af tilflyvende ukrudtsfrø. Alternativt bør vækstmediet tildækkes for at undgå uønsket plantevækst.





# Grønne certificeringer

Der er en øget interesse for grøn certificering inden for vækstmedier. Efterspørgslen på livscyklusvurderinger og data om miljømæssige parametre som fx ressourceforbrug, energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning ved produktion for produkter stiger, og det stiller krav til producenterne af vækstmedier. Der findes flere metoder og certificeringsordninger inden for bæredygtighed, fx LCA, EPD og DGNB, der alle vurderer et produkts eller projekts bæredygtighed.

### LCA

*Definition* **Life cycle assessment eller livscyklusvurdering. Vurdering af et produkts miljøbelastning fra vugge til grav.**

Livscyklusvurdering (LCA) er en måde at vurdere et produkts miljøbelastning på. Et produkt gennemlever flere forskellige trin i sin levetid, og den samlede miljøbelastning, LCA, kan bestemmes ud fra et grundigt kendskab til produktet. Fra et produkt udvindes som råmateriale, fremstilles til produkt, forbruges, evt. vedligeholdes og bortskaffes efter brug, påvirker det miljøet. Hvor meget et produkt gennem hele sin livscyklus påvirker miljøet, afhænger af det enkelte produkt. Når LCA vurderes for et produkt, vurderer man energiforbrug samt produktets udledning til vand, luft og jord ved både udvinding, produktion samt belastning ved bortskaffelse. For at minimere den samlede miljøbelastning må man derfor sikre, at alle delene i produktets livscyklus påvirker det omkringliggende miljø mindst muligt.

### EPD

*Definition* **En standardiseret LCA-baseret miljødeklaration for byggeprodukter.**

EPD (environmental product declaration) er en frivillig dokumentation for byggeprodukter, der viser de miljømæssige egenskaber ved et produkt. EPD bygger på produktets LCA (livscyklusvurdering), og i produktets EPD dokumenteres produktets energi- og ressourceforbrug samt de miljøbelastninger, produktet har i dens livscyklus. Det er EPD Danmark, der sikrer, at EPD'en lever op til de internationale standarder, der er fastsat.

Det er også de internationale standarder, der definerer, hvilke faser af produktets livscyklus miljøvaredeklarationen skal omfatte, og hvilke kategorier inden for miljøpåvirkning den skal bygge på. En EPD kan være verificeret af en tredjepart. På den måde sikres en stor troværdighed.

Flere og flere producenter får lavet en EPD for at få en kvantitativ vurdering af et eller flere af deres produkter. EPD'en kan bruges i forbindelse med udarbejdelsen af DGNB-certificeringen. Som aftager af produkter kan det give mening at stille krav til, at produkterne har en EPD, da der ofte stilles krav til netop EPD ved offentlige udbud og visse kommuner, fx Københavns Kommune, er begyndt at stille krav om EPD på visse materialer ved nybyggeri.

## DGNB

*Definition* **Vurdering af et projekts bæredygtighed ud fra de tre områder: social bæredygtighed, økonomisk bæredygtighed og miljømæssig bæredygtighed.**

DGNB er en grøn, frivillig miljøcertificering for byggebranchen, der varetages af Green Building Council Denmark, som er en nonprofitorganisation. DGNB er baseret på den tyske bæredygtighedscertificering DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), hvorfra den danske udgave er udviklet og tilpasset til det danske bygningsreglement og de danske byggetraditioner. DGNB arbejder med et pointsystem, der viser projekters bæredygtighed inden for både social bæredygtighed, økonomisk bæredygtighed og miljømæssig bæredygtighed samt balancen mellem de tre områder.

## CO<sub>2</sub>-aftryk

*Definition* **Et mål for et produkts samlede udledning af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser, enten direkte eller indirekte. Enhed: CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (CO<sub>2</sub>-ækv.), måles i ton.**

CO<sub>2</sub>-aftryk – eller carbon footprint – er en værdi for et produkts samlede udledning af CO<sub>2</sub>, fra råstoffet bliver udvundet, til det er indbygget i en given løsning.

---

**Eksempel** For at undersøge CO<sub>2</sub>-aftrykket af et produkt kan man lave et flowchart, der viser råstoffets vej fra opgravning eller brydning til forbrugeren. Nedenfor er vist et flowchart for pimpsten, der graves flere steder i verden og derefter fragtes til aftageren.



Eksempel på flowchart, der viser et materiales vej fra udvinding til kunde.

---

# Værløse Bymidte

Værløse

Regnvandshåndtering.

Regnvand ledes gennem permeabelt fliseareal til bed.







## KAPITEL 12

# Eksempelsamling

---

Eksempelsamlingen er en praktisk guide, der kan bruges som idégrundlag eller direkte i projektering. Eksemplerne er udvalgt for at repræsentere løsningsmuligheder på specifikke udfordringer i byen.

Ved design af grønne anlæg i byerne møder man mange forskellige grænseflader og udfordringer, som er specifikke for den pågældende lokation. På trods af anlæggenes individuelle udfordringer optræder visse udfordringer dog alligevel i større grad end andre. De grundlæggende udfordringer er medtaget som eksempler her i samlingen og eksemplificerer, hvordan man kan løse udfordringer som fx at skabe stabile kantsten og belægninger over et funktionelt vækstbed med rodudvikling. Eksempelsamlingen bygger på vækstmedier fra Vexti, der er udviklet og produceret i samarbejde med BG Byggros.

Tegningsmaterialet fra bogen kan sammen med yderligere varianter og øvrig information og tegningsmateriale hentes på [www.byggros.com](http://www.byggros.com).

### Eksempler

1. Bytræer, uden belægning, uden bæreevne
2. Bytræer, med belægning, med bæreevne
3. Bytræer, med kantsten, med bæreevne
4. Staudebed, uden belægning
5. Staudebed, med belægning
6. Regnbed, åbent filterbed
7. Regnbed XL, med membran
8. Taghave, tegl
9. Taghave, pimpsten

# 1. Bytræer

Uden belægning, uden bæreevne

## Guide

Plantehul til bytræer

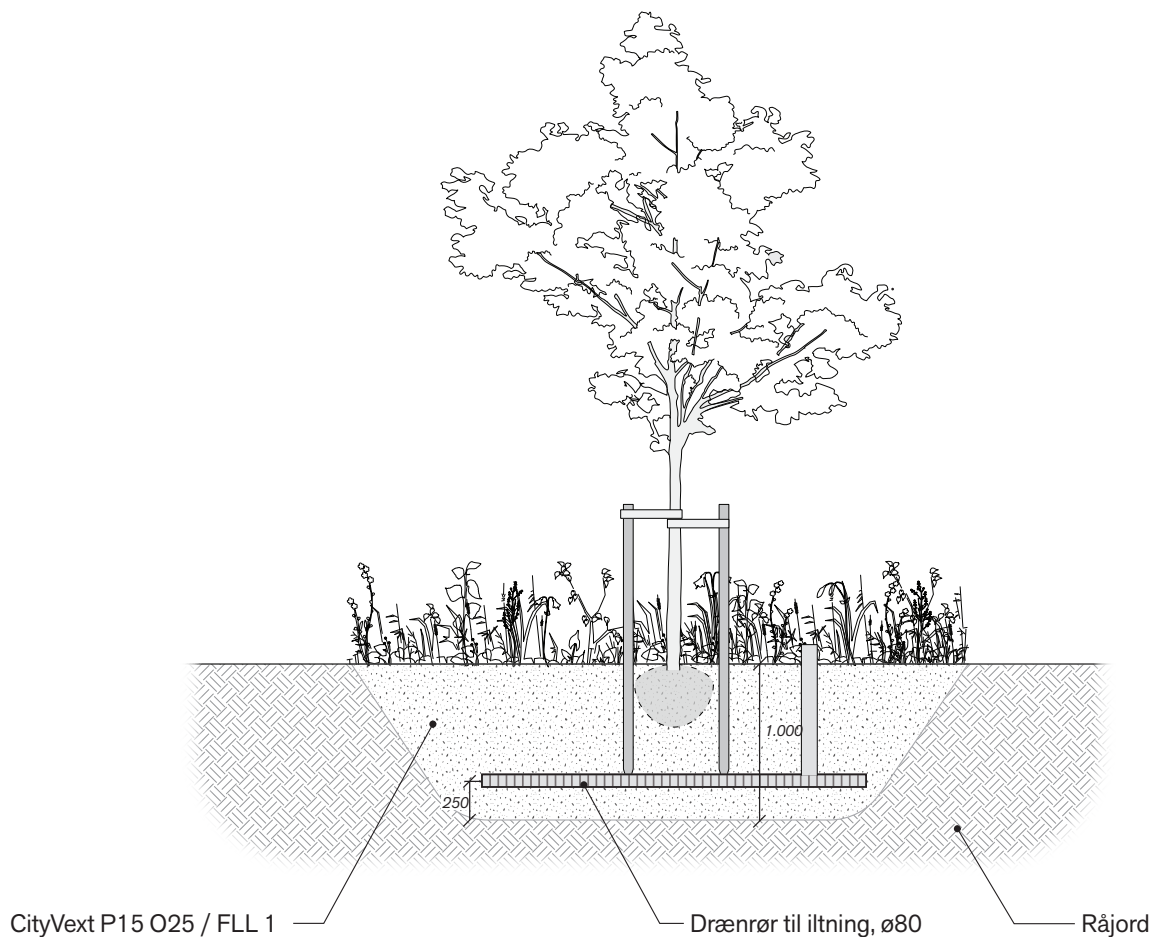
Anbefalet jordvolumen: min. 12-15 m<sup>3</sup>

Vandtilbageholdelse (markkapacitet) ved 12 m<sup>3</sup> = ca. 5.400 liter vand

Mulig iltet dybde: op til 2 m

Ved dybder over 1 m anbefales det at anvende rør for iltning.

Yderligere varianter, se byggros.com







## 2. Bytræer

Med belægning, med bæreevne

### Guide

Plantehul til bytræer, hvor vækstmediet går under belægning.

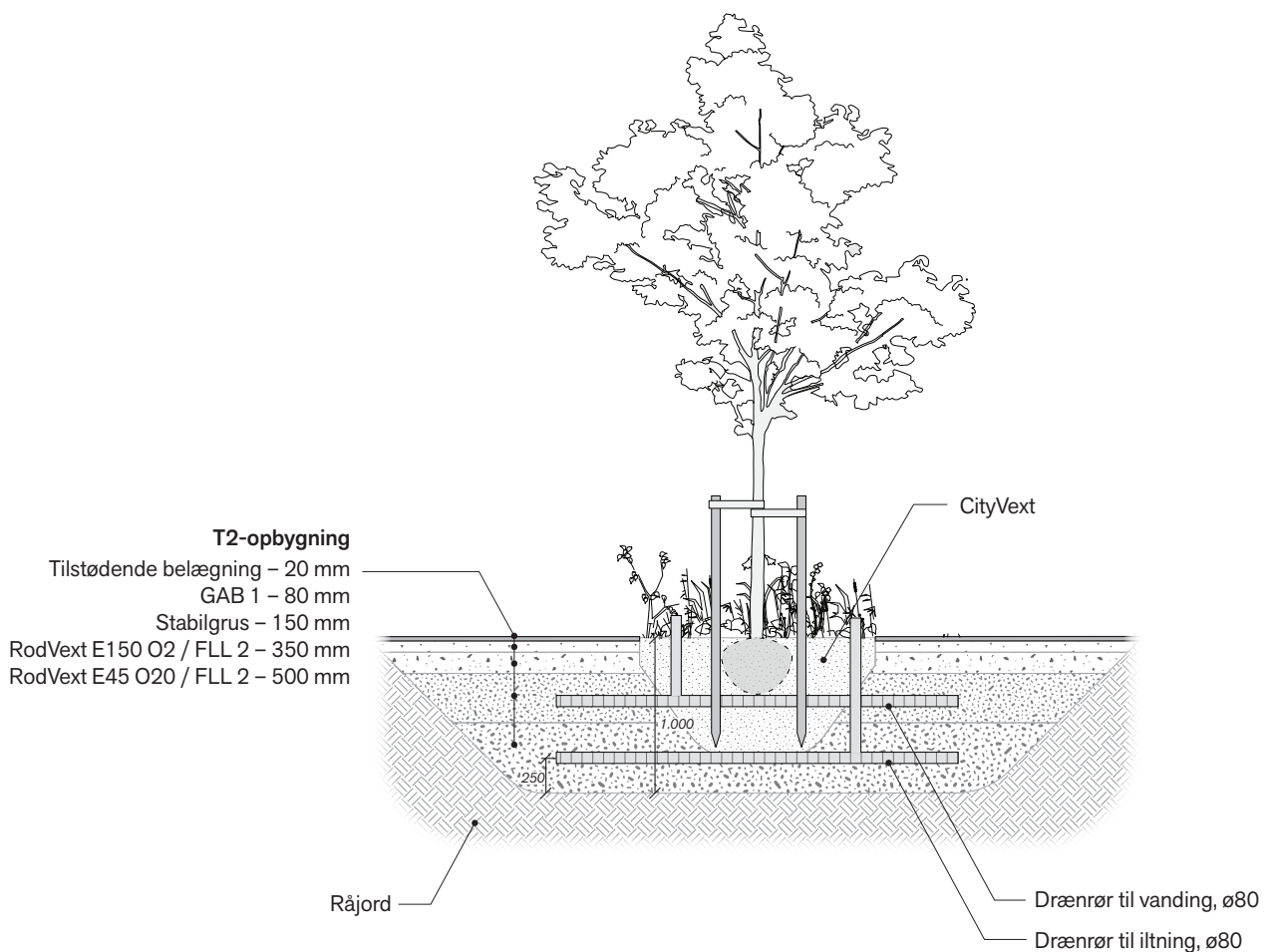
Anbefalet jordvolumen: 12-15 m<sup>3</sup>

Vandtilbageholdelse (markkapacitet) ved 12 m<sup>3</sup> = ca. 5.400 liter vand

Mulig dybde: op til 2 m

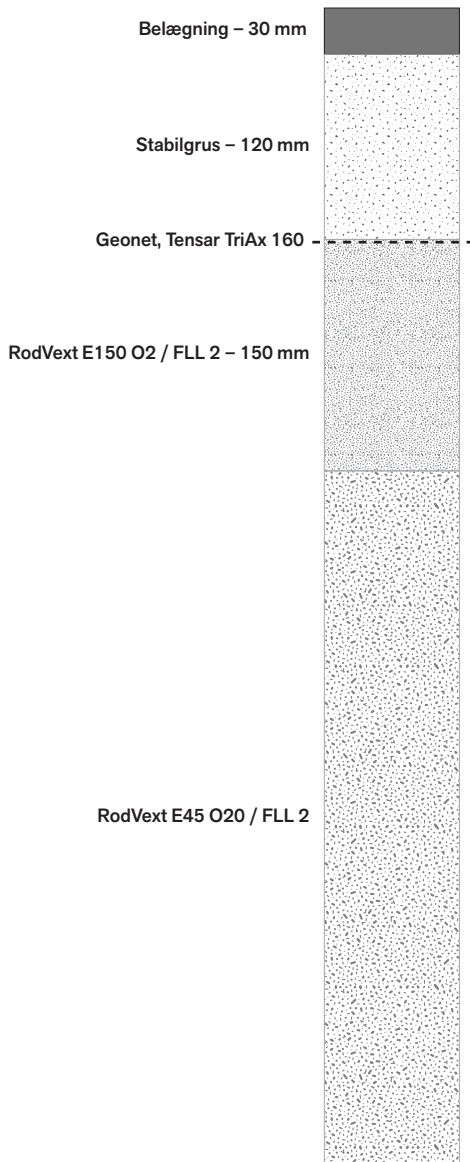
Ved dybder over 1 m anbefales det at anvende rør for iltning.

Yderligere varianter, se byggros.com



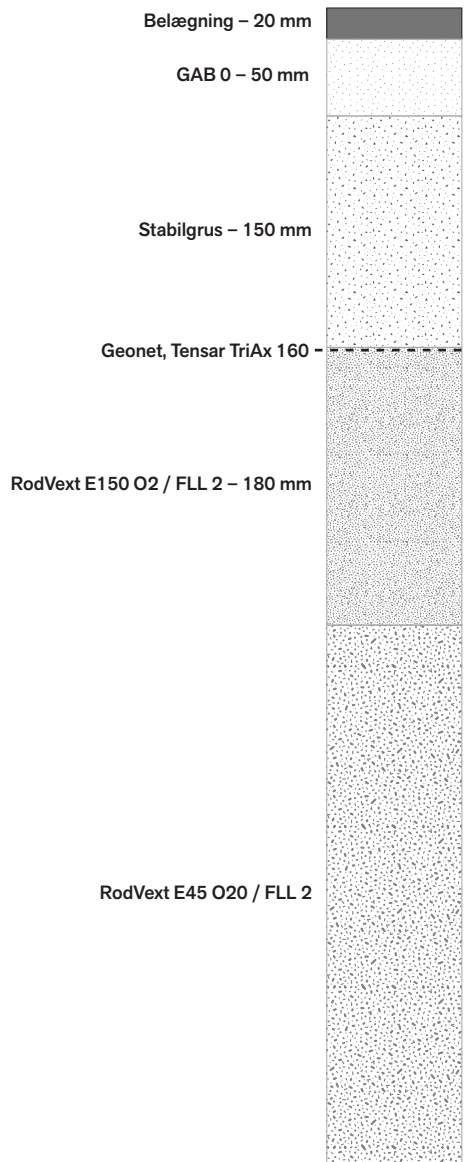
Lagtykkelser iht. katalogmetoden  
10 års trafik

T0



T0 = kun lette køretøjer

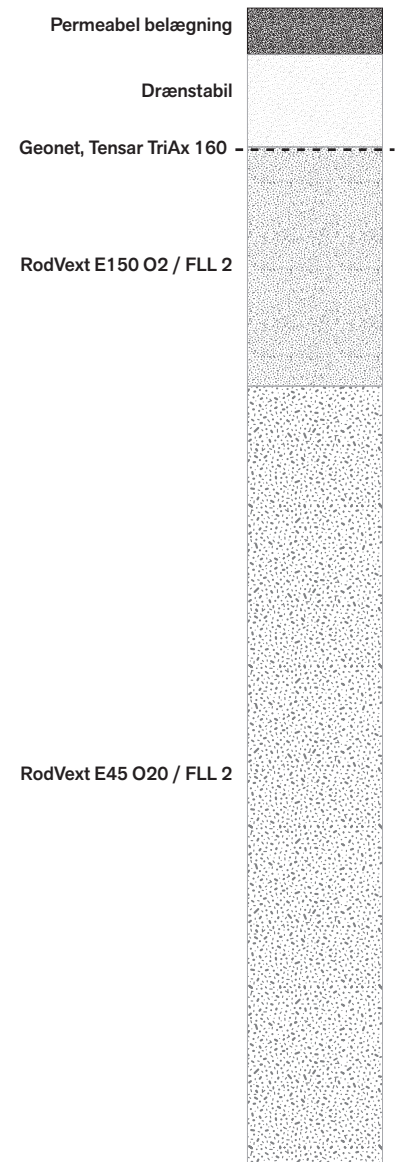
T1



T1 < 1 lastbil/døgn

Permeabel  
belægning

Lagtykkelser i henhold til trafikklasser



Ved anvendelse af permeable belægninger skal der sikres, at der anvendes materialer i vej-kassens øvre lag, som kan holde til dette.

### 3. Bytræer

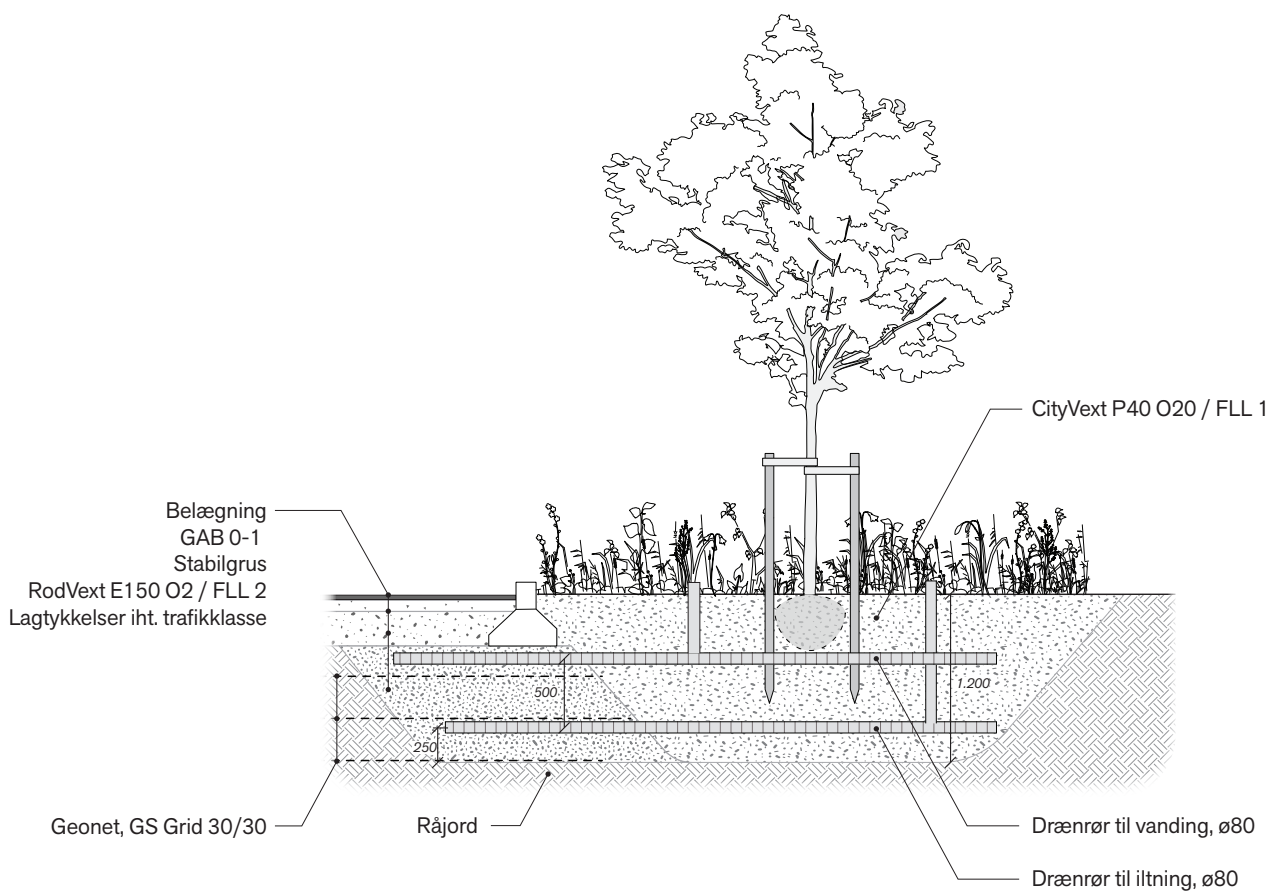
Med kantsten, med bæreevne

Plantehul til bytræ, hvor der etableres belægning og kantsten hen over bedet. Der accepteres ikke efterfølgende sætninger på kantstenen.

Der etableres rodvenligt bærelag under kantsten med RodVext E150 med samme styrkeegenskaber som BS. Den aktive rodzone vil have en fri porevolumen på ca. 30 % samt yderligere ca. 45 % aktivt fugtindhold i pimpsten.

Det rodvenlige bærelag armeres med tre lag geonet, type GS-GRID B30/30, til optagelse af sidetryk fra vejkasse og kantsten. Den armerede opbygning under kantsten vil kunne opfattes som en "geoarmeret" støttemur, og således er "modtryk" fra CityVext principielt neutralt beregningsteknisk, og komprimering i plantebed er dermed ikke afgørende. Geoarmering forankres i den oprindelige vejkasse med ca. 1,0 m's bredde for at eliminere differenssætninger, idet RodVext E150 vil have karakter af "letfyld" med en effektiv rumvægt på maksimalt 900 kg/m<sup>2</sup>. Udbredelsen af RodVext foreslås at modsvare ca. 1,0 m's bredde med henblik på optimering af den samlede rodvolumen til beplantning.

I plantebed anvendes CityVext med henblik på optimering af vækstbetingelser for planter.





## 4. Staudebed

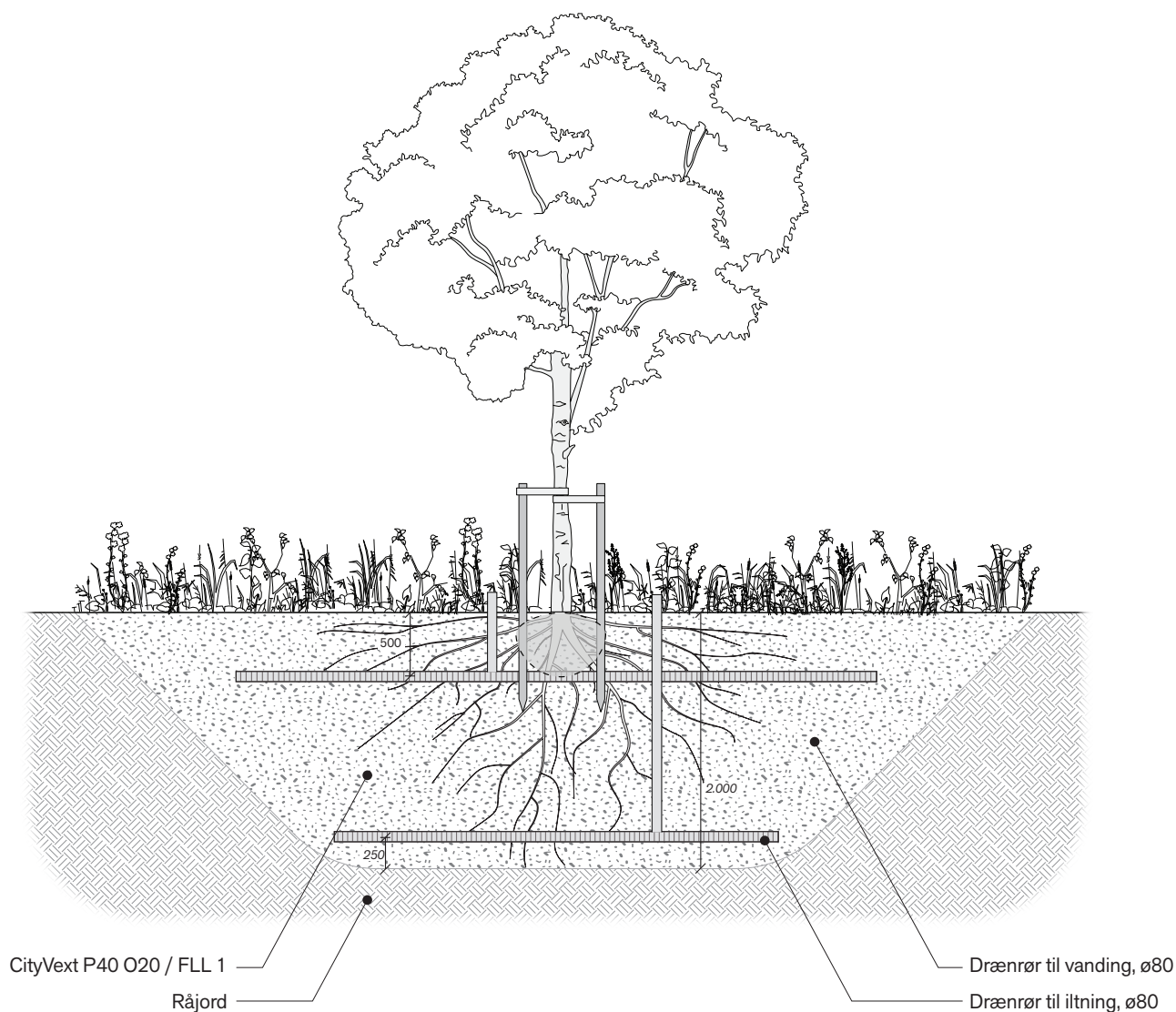
Uden belægning

Bede anlagt uden udefrakommende stressfaktorer såsom tilstrømmende vand og belægninger.

### Guide:

Mulig beddybde: 30-200 cm

Ved dybder over 1 m anbefales det at anvende rør for hhv. vanding og iltning.



# 5. Staudebed

Med belægning

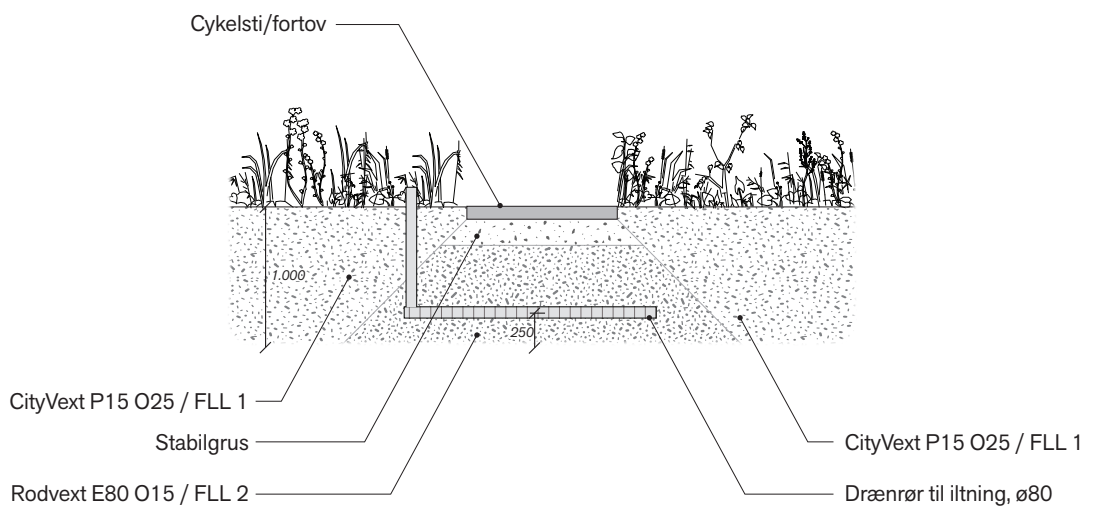
**Guide:**

Bed med belægning til let trafik.

Mulig beddybde: 2 m

Sammenhængende rodzone under belægning

Ved dybder over 1 m anbefales det at anvende rør for hhv. vanding og iltning



## 6. Regnbed

### Åbent filterbed

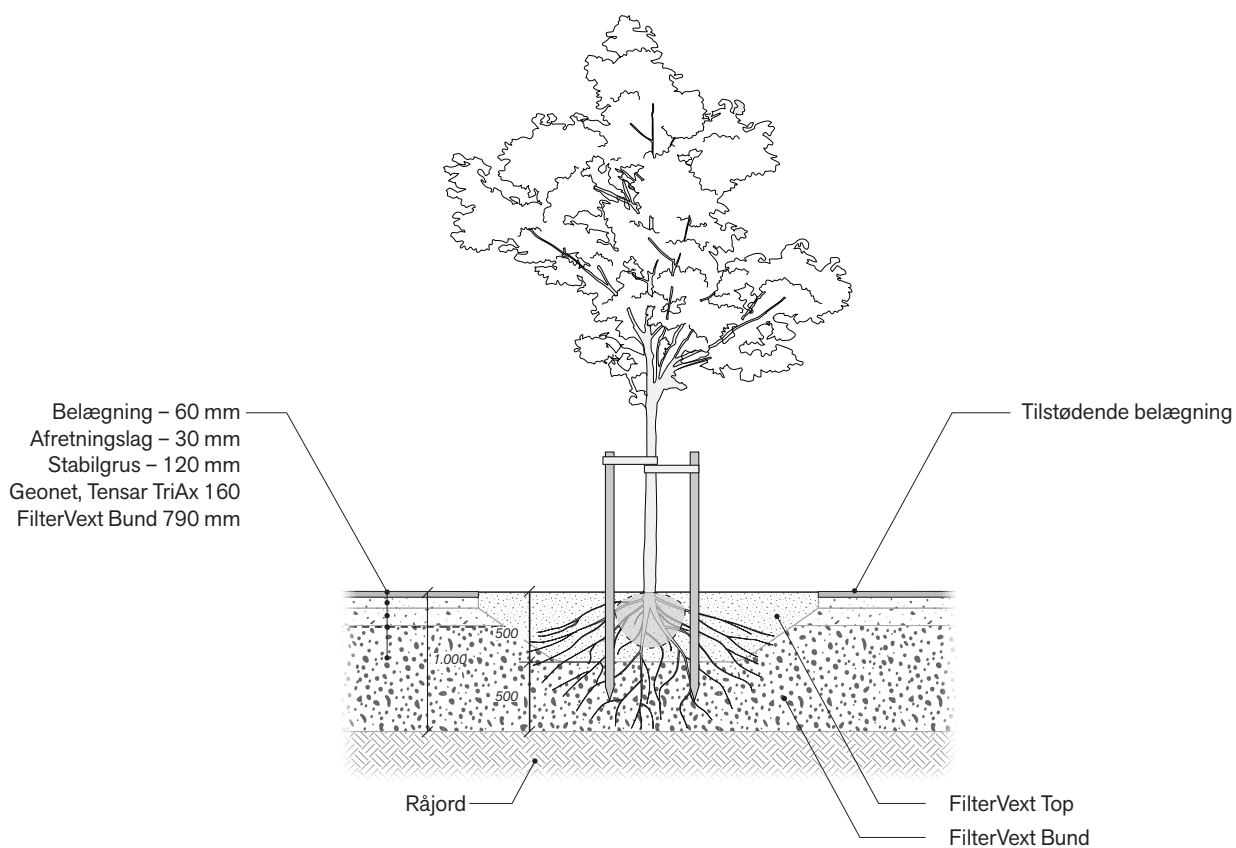
#### Guide:

Beddybde  $\geq 100$  cm

Opland per m<sup>2</sup> bed:  $> 25$  m<sup>2</sup>

Kan bygges under belægning

Indløb fra toppen/belægning







# 7. Regnbed XL

Med membran

## Guide:

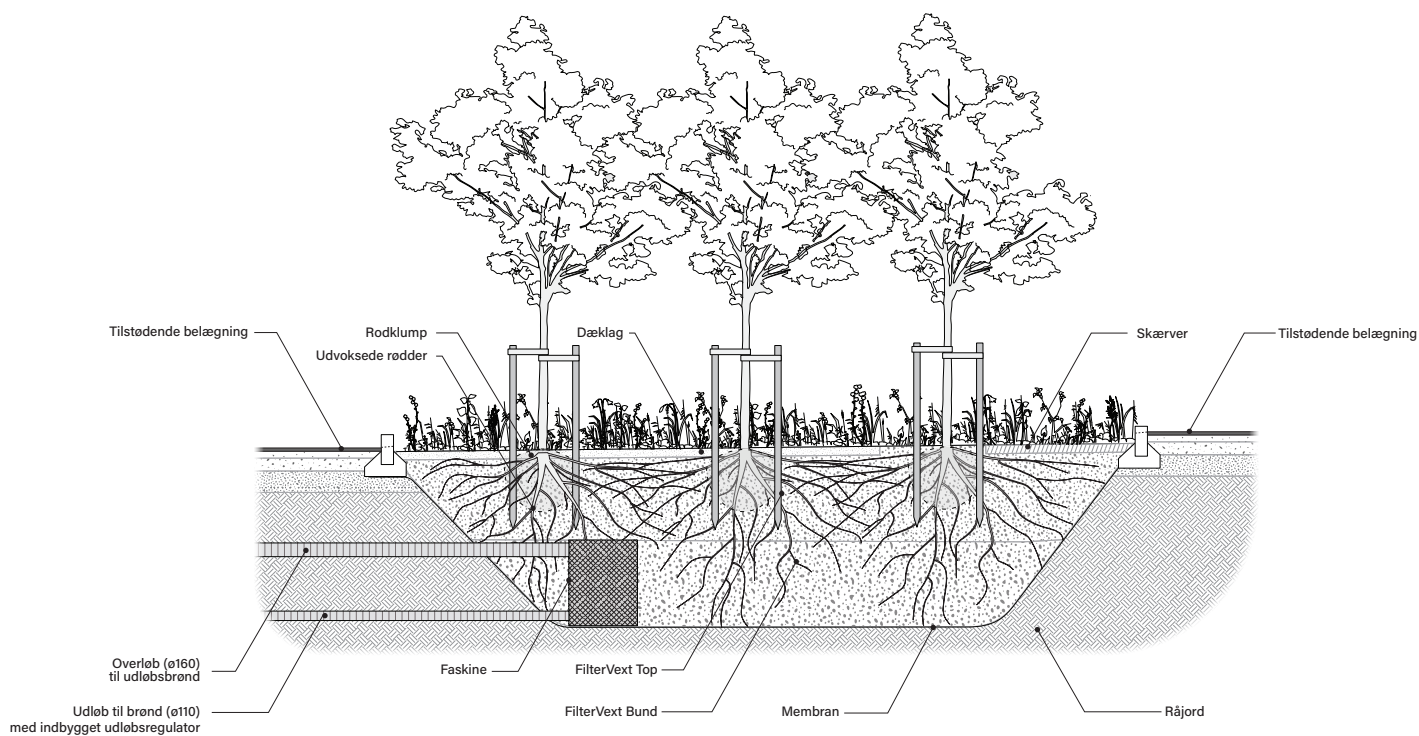
Beddybde  $\geq 100$  cm

Opland pr. m<sup>2</sup> bed: op til 50 m<sup>2</sup>

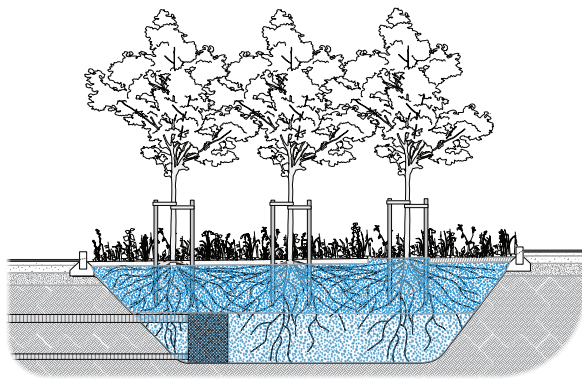
Kan bygges under belægning

Indløb fra toppen/belægning

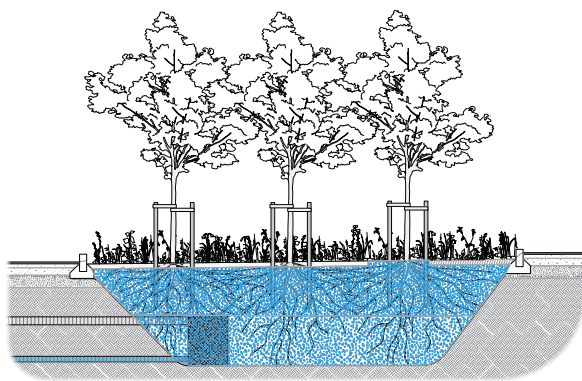
Mulighed for droslet udløb



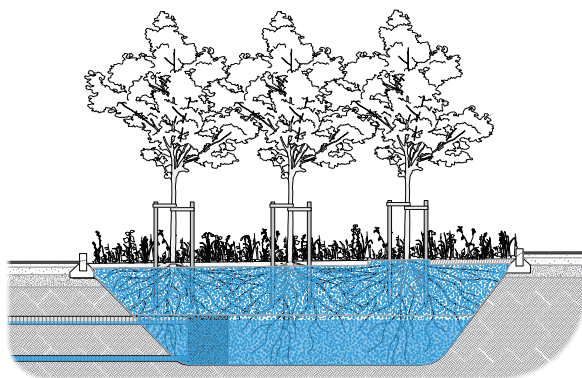
## Hydraulikken i bedet under forskellige regnhændelser



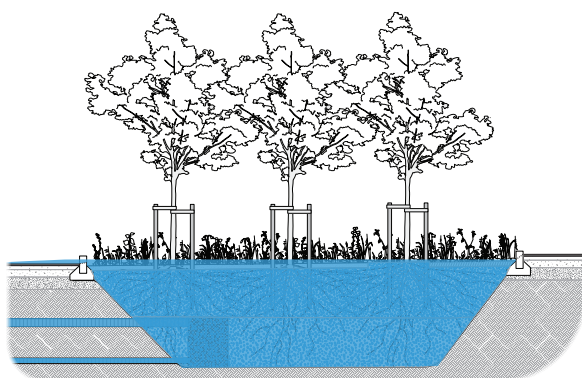
(1) Hverdagsregn optages i vækstmediet.



(2) Når det regner mere eller gennem længere tid, vil den nederste del af bedet aktiveres, og droslet afløb aktiveres.



(3) I situationer, hvor vandmængderne er større, vil vandet kunne opstuve i den nedre del af vækstmediet, og overløbet midt i bedet vil aktiveres.



(4) I ekstremhændelser vil hele bedet gå i overløb.

## 8. Taghave

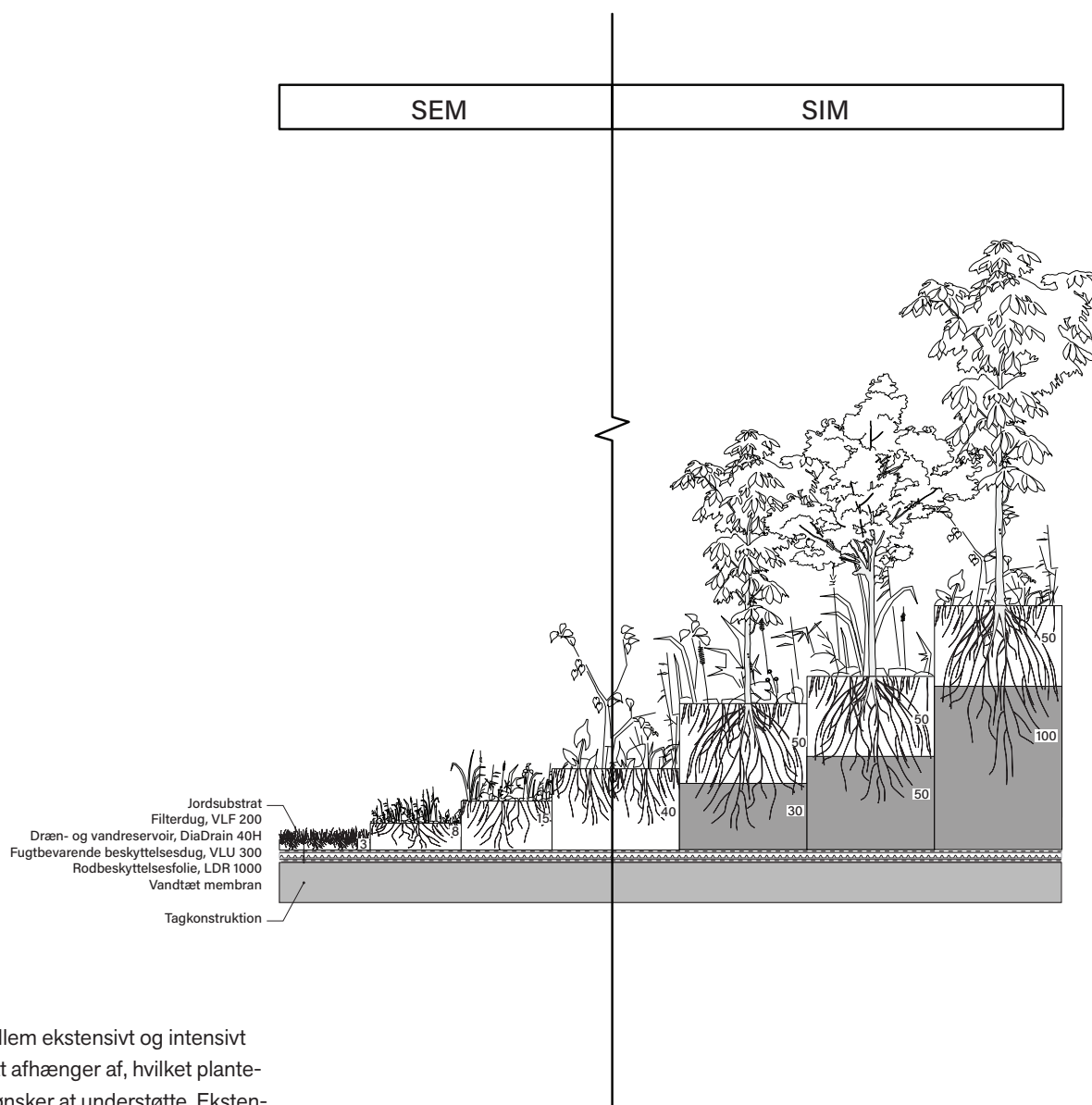
Tegl

### Generelt:

Have anlagt på dæk

Tykkelse op til 0,5 m, plus bundopbygning

Ved projektering skal der altid tages højde for lagsammensætningen, så vandets vej gennem opbygningen sikres. Dette altid iht. det konkrete projekt.



Skiftet mellem ekstensivt og intensivt tagsubstrat afhænger af, hvilket plantevalg man ønsker at understøtte. Ekstensivt tagsubstrat er mindre næringsrigt og understøtter nøjsomme arter. Intensivt tagsubstrat er mere næringsrigt og understøtter vegetation med parkkarakter.

# 9. Taghave

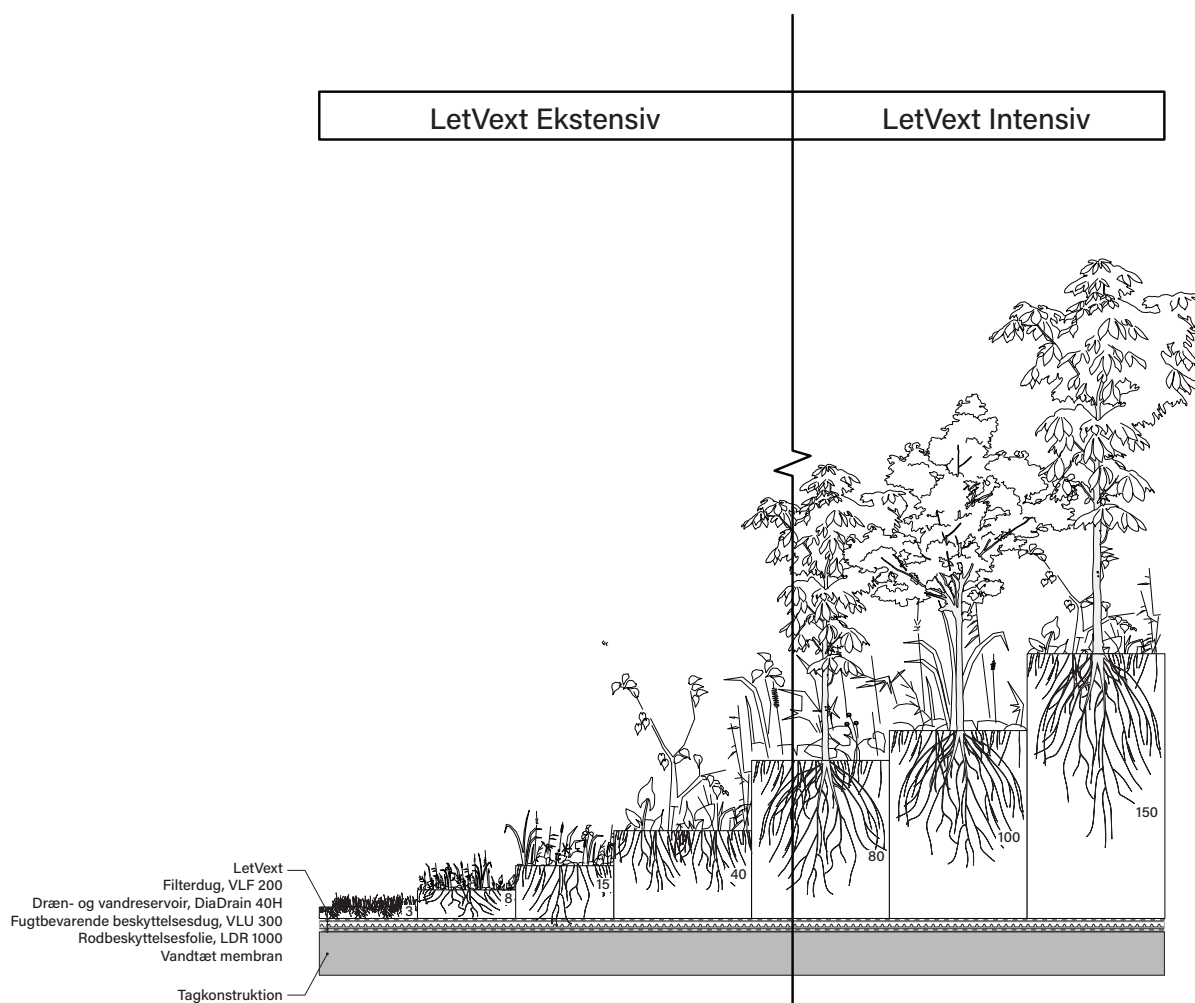
Pimpsten

## Generelt:

Have anlagt på dæk

Tykkelse op til 1,5 m

Ved projektering skal der altid tages højde for lagsammensætningen, så vandets vej gennem opbygningen sikres. Dette altid iht. det konkrete projekt



Skiftet mellem ekstensivt og intensivt tagsubstrat afhænger af, hvilket plantevalg man ønsker at understøtte. Ekstensivt tagsubstrat er mindre næringsrigt og understøtter nøjsomme arter. Intensivt tagsubstrat er mere næringsrigt og understøtter vegetation med parkkarakter.

# Odense Letbane

Odense

Græsarealer mellem letbanespor.









# Efterskrift

## Fremtidens grønne byer bliver grønnere

Der stilles stadig større og større krav til det grønne i byerne. De skal fungere som grønne, æstetiske rum for byens brugere, og samtidig skal de ofte håndtere regnvand, filtrere tilløbende vand eller understøtte biodiversiteten. Det gør, at det grønne skal understøtte flere funktioner, og alle parametre peger på, at det vil fortsætte og ligefrem vokse i fremtiden. Byerne udvikler sig hele tiden, og med de stigende krav til de grønne byrum på grund af blandt andet klimaændringer og den voksende befolkning kræves det, at nutidens grønne byrum fortsat ændrer sig, så de kan løse klimamæssige udfordringer også i fremtiden. Det stiller også krav til det tværfaglige samarbejde for de faggrupper, der arbejder med grønne anlæg i byerne. Ved at gøre den tværfaglige viden tilgængelig for alle fagligheder kan man skabe en platform, hvorfra et stærkt samarbejde kan sætte nye standarder for velplanlagte og funktionelle grønne anlæg.

Allerede i dag opsøger man velfungerende referencer og erfaringer i både indland og udland som fx FLL-jorde i Tyskland og Stockholm-metoden i Sverige for at finde de bedste måder at skabe succesfulde grønne byrum på. Det er en tendens, man ser i dag, men som man kan forvente vil fortsætte og måske endda blive forstærket i fremtiden. Det er nærliggende at se vækstmedier som en grøn teknologi, der vil indgå som en værdifuld teknisk komponent også i fremtidens projekteringer. At fremtidens vækstmedier samtidig skal performe bedre og understøtte flere funktioner, taler for, at det vil afføde et behov for og efterspørgsel på yderligere dokumentation for vækstmediets egenskaber. Allerede nu ser man i storbyer sydpå, hvordan temperaturstigningerne i byerne påvirker tanker og projekteringer for at skabe levedygtige beboelige storbyer, der både favner storbylivet og håndterer klimaændringernes udfordringer med urbane varmemøer. Ved at kunne designe multifunktionelle vækstmedier kan man skabe rammer, der kan understøtte frodig beplantning og grønne trækroner, der kan være med til at sænke temperaturen. Der er ingen tvivl om, at konstruerede vækstmedier har en stor og vigtig plads i fremtidens grønne byer.



# Kildeliste

## Kildehenvisninger

- <sup>1</sup> Gottfredsen, F. et al., *Bygningsmaterialer – grundlæggende egenskaber*, ISBN 978-87-502-0788-7, Polyteknisk Forlag, 1. udgave, 6. oplag, 2010.
- <sup>2</sup> *Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1*, udgivet af FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., 2015.
- <sup>3</sup> Baltzer, S. et al., *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger*, Vejdirektoratet, 2017.
- <sup>4</sup> Linde, J.J. et al., *Afløbsteknik*, Polyteknisk Forlag, 4. udgave, 2002.
- <sup>5</sup> Teknologisk Institut. *Rørcenter-anvisning 028*, 1. udgave, 1. oplag, 2020.
- <sup>6</sup> Jensen, D.M.R. et al., "From EU Directives to Local Stormwater Discharge Permits: A Study of Regulatory Uncertainty and Practice Gaps in Denmark", *Sustainability*, 2020.
- <sup>7</sup> Oliver Bühler i samarbejde med partnerne Danske Planteskoler, Danske Skov- og Landskabsingeniører, Foreningen af Danske Kirkegårdsledere og Dansk Træplejeforening, *Arbejdsrapport. Gødning af træer og træplantninger – et projekt under PartnerLandskab*.



# Ordliste

**Aerobe forhold:** Forhold med ilt.

**Afløbskoefficient:** Udtryk for andelen af en regnhændelse, der afstrømmer fra det areal, hvorpå den falder.

**Afløbskurve:** Kurve, der viser afløbsintensiteten over tid ved en given regnhændelse.

**Aktiv rodzone:** Den zone, hvor der er de optimale forhold for planternes rødder, og som derfor vil indeholde størstedelen af rodmassen.

**Anaerobe forhold:** Forhold uden ilt.

**BAT:** Best available technology, altså bedste tilgængelige teknologi på det pågældende tidspunkt.

**Biokul:** Kul dannet ved pyrolyse af organisk materiale.

**Bæreevne i MPa:** Oplysningen sikrer, at materialet kan indgå i beregning af opbygningens styrke, hvilket er nødvendigt, når der er belægning ind over jordmatricen.

**Cellulose:** Kulhydrat, der afstiver celle væggene hos planter.

**CO<sub>2</sub>-aftryk:** Et mål for et produkts samlede udledning af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser, enten direkte eller indirekte.

**DGNB:** Vurdering af et projekts bæredygtighed ud fra de tre områder: social bæredygtighed, økonomisk bæredygtighed og miljømæssig bæredygtighed.

**Dæklag:** Et materiale, der er placeret oven på vækstmediet.

**EC, eurocode:** Europæisk fællesnorm, der inden for byggeri består af 10 regulativer.

**E-modul eller elasticitetskoefficient, E:** Beskriver et materiales modstandskraft over for deformation.

**Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2 (også kaldet FLL-guide i daglig tale):** Tysk guide til planlægning, konstruktion og vedligeholdelse af anlæg med vækstmedier i terræn. Udgivet af Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL).

**EPD:** En standardiseret LCA-baseret miljødeklaration for byggeprodukter.

**Filterjord:** Jordtype, der bruges i forbindelse med ønsket filtrering i fx regnbede.

**FLL-guiden:** Se *Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2*.

**Fotosyntese:** Proces, hvor glukose dannes ved hjælp af sollys, vand og CO<sub>2</sub>. Foregår i planteceller, alger og visse bakterier.

**Fraktion:** Angiver grænseværdien for kornstørrelsen.

**Friktion:** Gnidning mellem to materialer eller genstande.

**Friktionsjord:** Jord med friktion mellem kornene, der gør, at kornene låser og derved kan tåle belastning. Se også *skeletjord*.

**Green Roof Guidelines 2018:** Tysk guide til grønne tage og dækløsninger, der indeholder vejledninger om opbygning og vedligeholdelse af disse. Udgivet af Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.

**Humus:** Stærkt nedbrudt organisk materiale.

**Hængende vandspejl:** Tilfælde, hvor kapillærkraften og vandets overfladespænding tilsammen er stærkere end tyngdekraften, så vandet bliver hængende i mediet.

**Indlejring:** At komprimere et kornmateriale, så man opnår en stabil skeletstruktur.

**Initialtab:** Den nedbørsmængde, der skal falde, før egentlig overfladeafstrømning forekommer. Enhed: mm.

**Ionbytningskapacitet:** Ionbytningskapaciteten angiver en jords evne til at fastholde positive og negative ioner.

**Jordforbedring:** Tilsætning af jordforbedringsmiddel eller -materialer eller gennem mekanisk behandling for at forbedre luftindhold, permeabilitet, organisk indhold, pH eller næringsindhold.

**Kalk:** Bjergart, der bruges til at justere pH-værdien i jord. Kan også bruges til filtrering.

**Kapillærkræfter:** Fysisk kraft, der trækker væske ind i kapillære gange.

**Kapillære stighøjde:** Den maksimale stighøjde bestemmes af, at undertrykket skal kunne bære den væskesøjle, som hænger under den, og kan altså betragtes som en ligevægt mellem tyngdekraften og undertrykket i kapillærene.

**Kapillære mætningszone:** Den del af jorden, som er indbefattet af den kapillære stighøjde, benævnes den kapillære mætningszone.

**Katalogmetoden:** Angiver standardforslag til opbygning af vejopbygninger.

**Kationbytningskapacitet, CEC:** Angiver en jords evne til at fastholde positive ioner.

**Klimafaktor:** Fremskrivningsfaktor for forventede øgede nedbørsmængder.

**Kohæsion:** Sammenhæng mellem to materialer på grund af fysiske eller kemiske kræfter.

**Kohæsionsjord:** Jord, hvor kornene ikke rører hinanden, men holdes sammen af kohæsive kræfter.

**Kompost:** Helt eller delvist nedbrudt organisk materiale.

**Komprimering:** Pakning af jord på grund af øget tryk, der medfører sammenpresning.

**Konstrueret vækstmedie:** En sammensat jord, som evt. er lavet for at opnå specifikke egenskaber.

**Kontrolplan:** Plan for kontrol af det udførte arbejde ved anlæg.

**Kornkurve:** En kurve, der fortæller om en kohæsionsjords fordeling af kornstørrelser.

**K-værdi:** Udtryk for jordens hydrauliske ledningsevne. Enhed: m/s.

**LCA:** Life cyclus assessment eller livscyklusvurdering: Vurdering af et produkts miljøbelastning fra vugge til grav.

**Ledetal:** Udtryk for, hvor høj konduktivitet (elektrisk ledeevne) der er i jordvæsken i jorden.

**Ler:** Materiale, der består af partikler fra nedbrudte bjergarter (< 0,002 mm).

**Lignin:** Afstivningsmateriale i planter og derved vigtig for planterets stabilitet.

**Luftkapacitet:** Et udtryk for den luftmængde, et vækstmedie kan indeholde ved markkapacitet. Enhed: vol.%.

**Maksimal tørdensitet:** Den maksimale vægt for et vækstmedie pr. m<sup>3</sup> med hertil hørende optimalt vandindhold.

**Markkapacitet:** Et udtryk for den vandmængde, et vækstmedie kan tilbageholde efter afdrypning. Enhed: vol.%.

**Mikrobiologisk liv:** Svampe, bakterier og smådyr, der nedbryder organisk materiale i jorden.

**Mineralisering:** Nedbrydning af organisk stof til uorganisk materiale.

**MMOPP:** Digitalt beregningsværktøj til vejbygning udarbejdet af Vejdirektoratet.

**Muld:** Jord, der består af forskellige materialer såsom sand, silt, ler og organisk materiale i forskellige mængder.

**Næringsstoffer:** Stoffer, som er nødvendige for planterne for at kunne vokse.

**Næringsstofmangel:** Mangel på essentielle næringsstoffer, som kan vise sig på forskellige måder.

**Opland:** Arealet, hvorfra overflawtrømmer fra.

**Osmose:** Diffusion af vandmolekyler gennem en semipermeabel (halvgennemtrængelig) membran for at udligne koncentrationen af vandmolekyler på begge sider af membranen.

**Partikelstyrke:** Værdi for, hvor stærkt et materiale er i forhold til knusning. Måles i  $\text{kg}/\text{cm}^2$  eller  $\text{t}/\text{m}^2$ .

**Peak flow:** Den del af en afløbskurve, hvor intensiteten er størst.

**Permeabilitet:** Væskes gennemtrængelighed gennem en jordmatrice. Enhed:  $\text{m}/\text{s}$ .

**pH:** Talværdi for surhedsgraden af en vandig opløsning. pH måles i området 0-14.

**Pimpsten:** Let, porøs bjergart skabt under vulkanudbrud.

**Plantetilgængeligt vand:** Vand, som er tilgængeligt for planten.

**Polymer:** Et meget stort molekyle, hvor plast er et eksempel på en polymer. Bruges fx til at coate langtidsvirkende gødningsstoffer.

**Porevolumen:** Sum af porernes volumen i materialet og mellem materialets korn.

**Pumpende vandspejl:** En teknik, hvor man udnytter et lag af vækstmediet til periodevis vandmætning ud over markkapacitet ved hjælp af opstuvning.

**Reaktionstal, Rt:** Jordens pH-værdi adderet med 0,5. Bruges primært i landbruget.

**Regnhændelse:** En nedbørsmængde med en kendt intensitet og varighed.

**Respiration:** Nedbrydning af glukose for at skabe energi. Foregår både i dyre- og planteceller.

**Rodzone:** Den del af jordmatricen, hvor rødderne er.



**SAB – særlig arbejdsbeskrivelse:** Særlig arbejdsbeskrivelse for styring og samarbejde i en anlægssag.

**SBi-anvisninger:** Anvisninger om byggeri udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI).

**Sedimentation:** Udfældning af faste partikler i en væske.

**SI-system:** Internationalt enhedssystem.

**Skeletjord:** Jord, der ved kornkontakt danner et bærende skelet.

**Skærver:** Skarpkantet klippemateriale, der er dannet ved knusning eller sprængning.

**Spagnum:** Fossile dele af plantens tørvemos, dannet i højmoser.

**Standard proctor:** En referenceværdi for komprimering. Angives i procent af maksimal indlejring foretaget ved standardiseret laboratorietest.

**Stockholm-metoden:** En bærende skeletstruktur af granit med mindre mængder af andet materiale som fx biokul.

**Trafikklasser:** Antal tunge køretøjer pr. dag. Angives som T0-T7, hvor T0 er laveste trafikklasse og T7 er højeste.

**Tømidler:** Midler til at fjerne sne og is på en given belægning som fx fliser eller asfalt.

**Udvaskning:** Situation, hvor fx næringsstoffer eller tungmetaller med nedbør eller tilløbende vand vaskes ud af en given jordmatrice og videre ud i vandløb, søer eller ned i undergrunden.

**Uensformighedstal:** Beskriver, hvordan kornkurven ser ud for et materiale.

**Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger:** Fælles normativt, vejledende materiale omkring vejbygning. Også kaldet Vejkataloget i daglig tale.

**Vejkataloget:** Daglig tale for *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger*. Se katalogmetoden.

**Vibrationsindstampning:** Bestemmer den maksimale tørdensitet og det hertil hørende vandindhold for et kohæsionsløst og frit drænende materiale ved hjælp af et vibrationsbord.

**Visnegrænse:** Den grænse, hvor planterne ikke har mere plantetilgængeligt vand.

**Zeolit:** Vulkansk bjergart.



# Stikordsregister

- Aerobe forhold 58  
Afløbskoefficient **123-125**, 128  
Afløbskurve 125  
Aktiv rodzone **62**, 70-71  
Anaerobe forhold **58**, 64
- Bæreevne 37, **103-104**  
BAT 141  
Biokul 21, 24-25, **49**, 145
- Cellulose 49  
CO<sub>2</sub>-aftryk 184-185
- Dæklag 156
- EC, eurocode 39  
Elasticitetskoefficient 104  
E-modul, E 104-108  
Empfehlungen für Baumpflanzun-  
gen – Teil 2 36  
EPD 183-184
- Filterjord 25, 139-140, **143-145**  
FLL-guiden **36**, 103-104, 107  
Fotosyntese 63-64  
Fraktion 164-168  
friktion 104  
Friktionsjord 103-104
- Green Roof Guidelines 2018 37
- Hængende vandspejl 67  
Humus **48**, 81, 83, 85
- Indlejring 107-110  
Initialtab 126  
Ionbytningskapacitet **83-85**,  
142-143
- Jordforbedring 20-22  
Kalk 49  
Kapillære mætningszone 65  
Kapillære stighøjde 65  
Kapillærkræfter **64-66**, 127  
Katalogmetoden 38  
Kationbytningskapacitet, CEC 46,  
49, **83-84**, 142, 143  
Klimafaktor **123**, 128  
Kohæsion 104  
Kohæsionsjord 104  
Kompost **48**, 94, 145  
Komprimering **67-68**, 107, 108  
Konstrueret vækstmedie **17-18**,  
62, 71  
Kontrolplan 169-170  
Kornkurve **26-27**, 112-113  
K-værdi 40, **124**
- LCA 183  
Ledetal **82**, 88, 95  
Ler 19, **46**, 53, 83-85, 104  
Lignin 49  
Luftkapacitet **58**, 62
- Maksimal tørdensitet 109  
Markkapacitet 21, **58-59**, 62, 65,  
145, 156  
Mikrobiologisk liv 93-94  
Mineralisering 51, **93**  
MMOPP 38-39, **111**  
Muld 18-19, **50**, 61-62, 65,  
68-69, 71, 94
- Næringsstoffer **25**, 50-52, 79-90,  
93-94, 145, 146, 158  
Næringsstofmangel 89  
Opland **123**, 144, 158-159  
Osmose 95
- Partikelstyrke 112  
Peak flow 125  
Permeabilitet **59**, 62, 65, 70,  
**121**, 144  
pH 21, 48, 49, **85-87**, 88-89, 95  
Pimpsten **47**, 60, 62, 112, 185  
Plantetilgængeligt vand **59**, 66  
Polymer 51, **88**  
Porevolumen **58**, 60, 62  
Pumpende vandspejl 126  
Reaktionstal, Rt 87  
Regnhændelse **122**, 124-125,  
128-131  
Respiration 58, **63-64**  
Rodzone **58**, 61-63, 69-71
- SAB – særlig arbejdsbeskrivelse  
167  
SBI-anvisninger 39  
Sedimentation 142  
SI-enheder 40  
Skærver 47  
Skeletjord **24**, 103-104  
Spagnum 48  
standard proctor 107-110  
Stockholm-metoden 24-25
- Tømidler 146-147  
Trafikklasser 110-111
- Udvaskning 52, 88, **141**, 142,  
145, 146-147  
Uensformighedstal 112-113
- Vibrationsindstampning 109  
Visnegrænse 59  
Zeolit 51

**Grønne byer er fremtiden.  
Konstruerede vækstmedier er en grøn teknologi,  
der understøtter de grønne byrum.  
Men det er sjældent nemt at plante her.**

Kampen om pladsen er hård, og planterne kæmper med bl.a. kloakering, elkabler og belægnings. I dag er forventninger og krav til de grønne anlæg store, fordi man vil mere på samme eller til tider endda på mindre plads. Det øger kompleksiteten, og derved øges kravene til anlæg af dem også. Byens rammer udfordrer derfor alle, der professionelt arbejder med anlæg – byplanlæggere, landskabsarkitekter, ingeniører, entreprenører og anlægsgartnere. For at skabe succesfulde grønne byrum er det derfor nødvendigt at arbejde tværfagligt og udnytte og forstå hinandens fagligheder.

Jord er ikke bare jord. For at lykkes med projekterne og skabe endnu bedre vækstbetingelser på udfordrede steder i byen er det vigtigt, at de rigtige beslutninger bliver taget fra begyndelsen. Det hjælper denne bog med. Ved at kende og bruge de forskellige faggruppers viden er det muligt at vælge det rigtige, bæredygtige og veldokumenterede vækstmedie, som understøtter samspillet mellem basale vækstbetingelser, hydrauliske egenskaber og geotekniske teknikker.

**Konstruerede vækstmedier** er et opslagsværk og et tværfagligt planlægnings- og dimensioneringsværktøj, der nedbryder grænsefladerne mellem de involverede faggrupper i planlægning af grønne byrum.

