Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Grøn Gentagelse

Afrapportering af klimatilpasningsprojekt i Folehaven – Industrimoduler til klimatilpasning og miljøforbedring i trafikbelastede byrum

MUDP rapport

August 2020

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
Marina Bergen Jensen,
Kristoffer Amlani Ulbak

ISBN: 978-87-7038-221-2

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	**Forord**	**4**
2.	**Sammendrag**	**5**
3.	**Rapportens opbygning (Læsevejledning)**	**6**
4.	**Baggrund**	**7**
4.1	Baggrund	7
4.2	Formål	8
5.	**Arbejdsmetode**	**9**
6.	**Projektets resultater**	**10**
6.1	Koncept for Grøn Klimaskærm og vejvandsrensekassette	10
6.1.1	Grøn Klimaskærm	10
6.1.2	Vejvandskassette	18
6.2	Udvikling og test	20
6.2.1	Idefase	20
6.2.2	Test og Mock-ups	26
6.2.3	Valg af materialer til bærende konstruktioner	37
6.2.4	Valg af materiale til vandmagasin	40
6.2.5	Overvejelser omkring vegetation	41
6.2.6	Aktivering af byens rum	45
6.2.7	Simulering af støjreduktion	46
6.2.8	Simulering af luftkvalitet	47
6.3	Folehaveskærmen	47
6.3.1	Præsentation af Grøn Klimaskærm Folehaven	47
6.3.2	Placering af skærmen	47
6.3.3	Dimensionering af regvandshåndtering	50
6.3.4	Skærmens konstruktion	53
6.3.5	Beplantning Grøn Klimaskærm Folehaven	61
6.3.6	Beboerinvolvering	62
7.	**Grøn Klimaskærm fremover**	**64**
7.1	Markedsføring, monitering og videreudvikling	64
7.1.1	Markedsføring	64
7.1.2	Monitering	65
7.1.3	Videreudvikling af Grøn Klimaskærm til andre kontekster	66
8.	**Konklusion**	**68**
9.	**Referencer**	**69**
10.	**Bilag**	**70**

1. Forord

Nærværende rapport præsenterer resultatet af projekt Grøn Gentagelse, finansieret af MUDP-programmet ved bevilling i 2013. Denne bevilling udgør grundlaget for udvikling og test af produktet Grøn Klimaskærm, som takket være en efterfølgende bevilling fra Københavns Kommune i 2019 i samarbejde med boligforeningen 3B (nu KAB) kunne opføres i fuld skala over et 80 m langt stræk ved Folehaven, Valby. Eftersom udvikling- og testforløbet overlappede med tilpasning af koncept til Folehaven har vi valgt at inkludere beskrivelse af Folehave-skærmen i nærværende rapport, for derved at kunne formidle så mange resultater som muligt.

MUDP-konsortiet bestod af følgende partnere: Aarsleff A/S, Malmos A/S, Teknologisk Institut, samt Institut for Geovidenskab og Naturressourceforvaltning ved Københavns Universitet. Ved opførelsen af Folehaveskærmen deltog derudover Københavns Kommune (Teknik- og Miljøforvaltningen samt Byens Fysik), Boligforeningen 3B (nu KAB), Niels Lützen Landskabsarkitekter, TL-Engineering, PileByg A/S og AC-Stål A/S.

Rapporten er udarbejdet af Marina Bergen Jensen, Københavns Universitet og Kristoffer Amlani Ulbak, Teknologisk Institut. Kvalitetssikring af rapporten er foretaget af Henriette Berggren, Københavns Kommune, Rikard R. Nannestad, KAB, Per Malmos, Malmos A/S, Ole Sørensen, Aarsleff A/S, Tim Larsen, TL-Engineering, Erik Plejdrup, AC-Stål A/S, Vibe Gro, PileByg A/S, Niels Lützen, Niels Lützen Landskabsarkitekter ApS, samt Emilia Danuta Lausen, Københavns Universitet. Det skal nævnes at hovedparten af rapportens mange illustrationer er udarbejdet af Tim og Emilia.

Fra Københavns Universitet og Teknologisk Instituts side skal der lyde en stor tak til alle konsortiets partnere, både de, der været med fra start til slut, og de, der er trådt til hen igennem forløbet. Vi vil også gerne takke Nordic Wavin A/S, Grundfos, og Nørløv + Nørløv for værdifulde input i starten af projektet. Der skal også lyde en særlig tak til Boligforeningen 3B - både beboerne og de lokale folk i 3B-Folehaven, samt deres administration for konstruktivt samarbejde og stor tålmodighed.

Rapporten bedes citeret:
Jensen, M.B. og Ulbak, K.A. 2019. Grøn Gentagelse. Afrapportering af klimatilpasningsprojekt i Folehaven - Industrimoduler til klimatilpasning og miljøforbedring i trafikbelastede byrum. MUDP-projekt NST-404-00177.

2. Sammendrag

Selvom naturbaserede løsninger rimer godt på bæredygtighed, er der i praksis mange udfordringer. Det gælder også klimatilpasning af eksisterende byer til fremtidige nedbørsforhold, hvor der godt nok findes en vifte af grønne alternativer til de konventionelle rør-løsninger, men kun få der kan indpasses i tæt by. Ideen bag Grøn Gentagelse er at udnytte tagvands potentielle energi til at håndtere regnafstrømning i vertikale fordampnings-elementer, med et lille fodaftryk og indpasset i byens arkitektur. Fordelene er dels, at pladskrav og CO_2-belastende bortkørsel af jord reduceres, dels at der med fordampning som primær hydraulisk mekanisme opnås unikke frihedsgrader, fordi såvel bekymring for forurening af vandmiljø som risiko for højtstående grundvand er ude af billedet. Via design kan det vertikale element opnå multifunktionalitet, eksempelvis støjreduktion, forbedret luftkvalitet, dæmpning af varmeø-effekt, styrket habitatkvalitet og aktivering af byrum. Med overjordisk håndtering af regnafstrømningen kan ekstremnedbør desuden kontrolleres i lokale, midlertidige bassiner anlagt oven på jorden.

I regi af MUDP-projektet Grøn Gentagelse er der udviklet et koncept for en såkaldt Grøn Klimaskærm, beregnet til opsætning langs større veje, og som, udover at håndtere regnafstrømning fra nabo-tagflader til et serviceniveau tilsvarende den offentlige kloak, har potentiale til at levere de ovenfor nævnte services. Dette koncept er i regi af Folehave-projektet videreudviklet og detailprojekteret til en konkret, modulbaseret løsning, indviet september 2019. Folehave-versionen af en Grøn Klimaskærm er 80 m lang, 3 m høj og modtager regnafstrømning fra 240 m^2 tagflade. En række delfunktioner er testet under laboratorieforhold eller ved simuleringer, mens yderligere dokumentation vil ske i Folehaven de kommende år, jf. moniteringsplan. Parallelt med dokumentation af Folehaveskærmen vil der ske dels en optimering af netop Folehaveskærmen, dels en kreativ konfigurering af basismodulerne til indpasning i yderligere urbane kontekster. Set i et større perspektiv vil introduktionen af vertikale elementer til håndtering af regnafstrømning åbne op for en ny type grøn struktur i eksisterende byer; en struktur, der kan spille positivt sammen med mobilitet for bløde trafikanter (cyklister, fodgængere), og muligvis udgøre spredningskorridorer mellem habitater. Der er foretaget en indledende vurdering af markedsmuligheder.

Vertikale fordampningselementer rummer også et potentiale i forhold til håndtering af vejvand. Vejvand kræver typisk rensning før nedsivning eller udledning, men ved udnyttelse af fordampning som bærende hydraulisk mekanisme, kan innovative løsninger udtænkes. I regi af MUDP-projektet er der udarbejdet et forslag til hvordan, vejvand kan kobles til en Grøn Klimaskærm via en vejvands-rensekassette.

3. Rapportens opbygning (Læsevejledning)

For at give en så fuld formidling som muligt præsenteres MUDP-projektet sammen med demonstrationen af Grøn Klimaskærm i Folehaven. Således afrapporteres udvikling og test af konceptet, der er omfattet af MUDP-projektet (formål 1 og 2), sammen med den opførte demonstrationsskærm i Folehaven (formål 3), der er finansieret af Københavns Kommune og ligger uden for selve MUDP-projektet. Dette giver mening, da MUDP-bevillingen har som mål at bane vejen for markedsføring af Grøn Klimaskærm.

MUDP-projektet bestod af en koncept-udviklingsfase og en testfase. Konceptudviklingen omfattede såvel et koncept for håndtering af tagvand med tilhørende ekstra-services, som et koncept for håndtering og rensning af vejvand. Det resulterende tagvandskoncept beskrives sammen med Folehaveskærmen, mens det resulterende vejvandskoncept beskrives for sig, da det ikke var en del af Folehaveprojektet. Resultatet af testfasen beskrives i forbindelse med de tilhørende funktionaliteter i Folehaveskærmen.

Rapportens resultater er i overensstemmelse hermed opdelt i tre hovedafsnit:

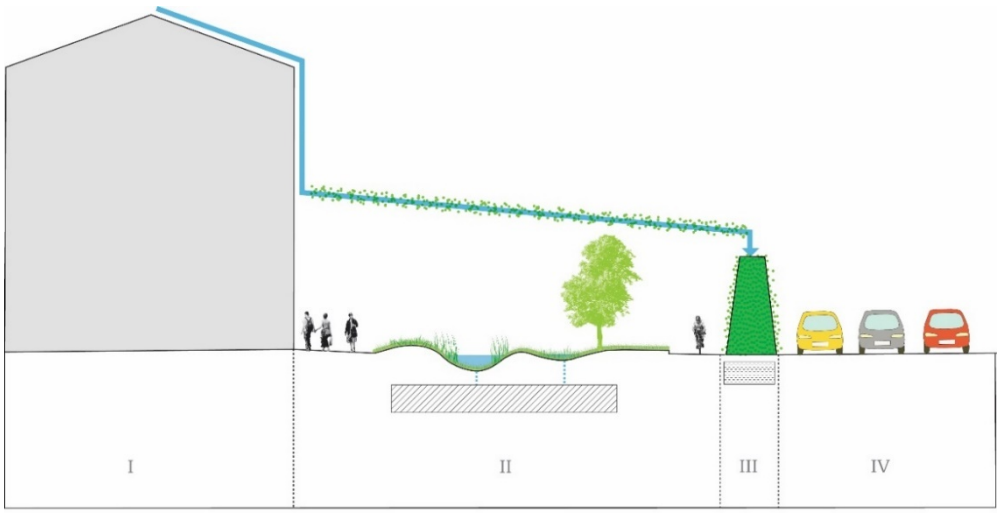
- Først forklares konceptet bag Grøn Klimaskærm, herunder de kriterier som skærmen skal leve op til (svarende til formål 1, og fase 1 leverancer). I dette afsnit præsenteres også koncept for håndtering af vejvand. ’
- Herefter præsenteres selve Folehaveskærmen (formål 3), efterfulgt af gennemgang af de gennemførte tests (formål 2, og fase 2 leverancer). Der er her lagt et snit så kun de væsentligste resultater præsenteres i hovedrapporten, mens diverse bilag uddyber øvrigt relevant materiale.
- Rapporten afsluttes med en præsentation af planlagt monitering af skærmen, overvejelser omkring skærmens potentielle miljø- og klimamæssige betydning, samt vurdering af markedspotentiale for Grøn Klimaskærm.

4. Baggrund

4.1 Baggrund

Danske byer fremstår i dag som klimasårbare områder med stor udledning af drivhusgasser og overudnyttelse af ressourcer. Gennem en transformationsproces, hvor eksisterende værdier forsøges bevaret, skal byerne omdannes til klimarobuste områder med lille eller ingen udledning af drivhusgasser og reduceret forbrug af ikke-fornybare ressourcer. Det er vigtigt, at transformationen resulterer i løsninger, der kan implementeres globalt, fordi bæredygtig udvikling er en udfordring, som verdenssamfundet i fællesskab skal overkomme. Samtidig er det smart at koble den nødvendige transformation til innovation og eksport, for derved fremmes vækst og beskæftigelse. Naturbaserede løsninger er her interessante, fordi de baserer sig på kendskab til og udnyttelse af naturlige processer og placerer sig dermed i udgangspunktet på et nyt og interessant sted, hvad angår carbonfootprint (CO_2-belastning) og teknologiafhængighed.

Ideen bag projekt Grøn Gentagelse er at udnytte tagvands potentielle energi til at håndtere regnafstrømning i overjordiske løsninger (Figur 1). Så godt som alle eksisterende naturbaserede løsninger til håndtering af regnafstrømning, såkaldte LAR-løsninger (Lokal Afledning af Regnvand), baserer sig på magasinering af afstrømningen i "et hul i jorden", det være sig i form af regnbede, faskiner eller bærelag under permeable belægninger. Alle indebærer de jordarbejde og bortkørsel af jord, hvilket er uhensigtsmæssigt og miljøbelastende. Ved at håndtere regnafstrømningen i et element over jorden kan jordarbejdet minimeres. En anden bærende ide i projektet er at satse på fordampning som primær hydraulisk mekanisme. Dermed udfordres den almindelige antagelse, at fordampning er en proces, der foregår for langsomt til at lade afvandingsløsninger basere sig herpå. De konventionelle hydrauliske mekanismer i LAR-løsninger er infiltration og droslet bortledning. Infiltration kræver at jorden er uforurenet, har tilpas hydraulisk ledningsevne, og har tilstrækkelig magasin-kapacitet (er umættet til en vis dybde).



FIGUR 1: Den oprindelige ide bag Grøn Gentagelse (fra ansøgningen). Tagvand ledes via et pergola-agtigt system til et overjordisk vertikalt vegetationsdækket element, en "Grøn Klimaskærm", der opsuger vandet, hvorfra det forsvinder ved fordampning. De viste magasiner (rektangulære bokse) er tænkt som forsyningselementer. Illustrationen fremhæver desuden ideen om en slags fælles grøn korridor for beboere og forbipasserende på indersiden af skærmen

(mod bygning) og lægger også op til, at regnafstrømning fra vejen (skærmens yderside) kan håndteres i skærmen.

Med et vertikalt element a la den i Figur 1 viste Grønne Klimaskærm muliggøres fuld afkobling og lokal håndtering af både hverdags- og ekstremregn fra naboejendomme, samtidig med at der kan opnås merværdi i form af kobling til forsyningsformål og biodiversitet. Byrumsmæssigt kan der desuden skabes en mental og fysisk komfortzone for beboere, cyklister og fodgængere på indersiden af skærmen, hvor støjniveauet vil være reduceret og luftkvaliteten forbedret.

Ved at gå efter et modulbaseret element er løsningen forberedt til industriel fremstilling og dermed hurtig og effektiv opsætning, kilometer efter kilometer; et markedsaspekt, der er indikeret i projekttitlen “Grøn Gentagelse”.

4.2 Formål

Projektet har tre formål:
1) At udvikle et fuldt koncept for

a. en modulopbygget grøn klimaskærm til opsætning langs større veje for støjreduktion, luftrensning, begrønning af gaderum i form af en grøn korridor, samt lokal håndtering af regnafstrømning fra nabo-tagflader

b. en modulopbygget rensekassette til indbygning under klimaskærm eller i cykelsti for lokal håndtering og rensning af vejvand fra nabo-vejareal.2) At teste centrale konstruktionsmæssige, flowmæssige, støj-, luft- og vandrensningsaspekter af klimaskærm og rensekassetter under laboratorieforhold og ved computersimuleringer, samt
3) At demonstrere klimaskærmen i et pilotanlæg ved Boligforeningen 3Bs ejendomme langs Folehaven, København, med tilhørende grøn korridor, og at dokumentere klimaskærms og korridors egenskaber i forhold til håndtering af hverdagsregn fra tagflader, støjreduktion, luftrensning, og begrønningsværdi. Denne 3. fase er ikke med i selve MUDP-projektet, men finansieres via andre midler.

Et yderligere formål var at vurdere markedspotentialet.

5. Arbejdsmetode

Udviklingen af den grønne klimaskærm er foregået i en iterativ proces, hvor generelle krav og ønsker til skærmens design, funktion og bæredygtighed løbende er præciseret og holdt op imod de konkrete vilkår, krav og ønsker til en skærm i case-området ved Folehaven. Samtidig har undersøgelser af delaspekter givet konkret indsigt og anvist eller udelukket forskellige udviklingsspor.

Forud for designet af Grøn Klimaskærm Folehaven er der gennemført en række brainstorms ved whiteboard, studieture til København og Århus, computersimuleringer af støjreduktion, luftkvalitet og statiske forhold, laboratorietest af vand-flow, mock-ups af udvalgte designmuligheder, forsøg med etablering af planter, en række workshops/møder med konsortiepartnere, planteeksperter, Københavns Kommune, potentielle leverandører, samt møder og workshops med Boligforeningen 3B og den lokale forening 3B-Folehaven (Figur 2).

Figur 2: Billedcollage af aktiviteter i forbindelse med projektet.

I forbindelse med detailprojekteringen af Grøn Klimaskærm i Folehaven er der gennemført yderligere beregninger, udarbejdelse af detailløsninger med tilhørende arbejdstegninger, opmåling af areal og prøvegravning for rør og ledninger, præsentation af løsning ved generalforsamling i 3B-Folehaven, yderligere møder med Københavns Kommune for tilladelse, m.v. Under og efter opførelsen af Folehaveskærmen er der lavet en opsamling på designaspekter, der kan forbedres, og høstet ideer til yderligere konfigureringer af konceptet til andre urbane kontekster.

Aktørkredsen har udviklet sig dynamisk gennem de seks år projektet har varet. Virksomhederne Malmos A/S og Aarsleff A/S har været med fra start til slut, mens andre kom til løbende: TL-Engineering kom ind, da skærmdesignet blev så konkret, at statiske forhold skulle overvejes og moduler detailudvikles; Niels Lützen Landskabsarkitekter trådte til som bygherrerådgiver for 3B og udarbejdede projekteringstegninger, ansøgning om byggetilladelse og førte tilsyn med byggeprocessen, AC-Stål blev kontaktet, da diverse stålbeslag skulle udvikles og produceres; og endelig kom PileByg og bidrog med deres erfaringer omkring støjskærme til en markant reduktion af skærmens CO_2-aftryk og et smukkere udtryk ved at introducere træ som delvis erstatning for stål.

6. Projektets resultater

6.1 Koncept for Grøn Klimaskærm og vejvandsrensekassette

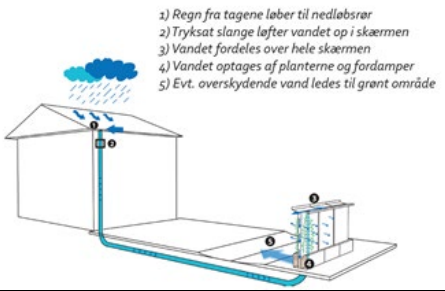
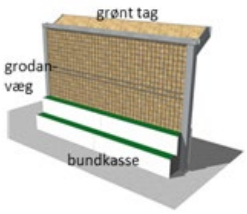
I MUDP-projektet er der opstillet designkriterier for Grøn Klimaskærm til håndtering af tagvand, reduktion af støj, forbedring af luftkvalitet, understøttelse af biodiversitet og etablering af attraktivt byrum. Der er også reflekteret over Grøn Klimaskærms potentiale til at skabe grønne biokorridorer gennem byen. I forhold til vejvandsrensekassette er der på baggrund af en workshop skitseret mulige koncepter.

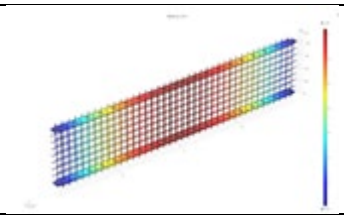
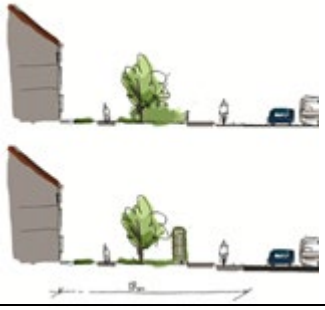
6.1.1 Grøn Klimaskærm

6.1.1.1 Designkriterier for Grøn Klimaskærm, inkl. grøn biokorridor

Gennem workshops, litteraturstudie, studieture og skrivebordsanalyser blev de forskellige problemstillinger omkring et vertikalt fordampningselement gennemgået, både generelt og specifikt i forhold til Folehave-casen. Det resulterede i en tydeliggørelse af krav og ønsker. I en parallel proces blev mulige skærmløsninger skitseret og undersøgt, se afsnit 6.2. I december 2016 præsenteredes materialet vedrørende Grøn Klimaskærm samlet til Københavns Kommune i forbindelse med ansøgning om byggetilladelse til Grøn Klimaskærm Folehaven. Det tilhørende notat er gengivet i Bilag 1 "Resume til KK".

Som det fremgår af Bilag 1, er der arbejdet med designkriterier i forhold til vandhåndtering, indpasning af skærm i vejmiljø, statiske forhold, støjdæmpning, forbedring af luftkvalitet, indretning af grønt areal mellem skærm og bygning, biodiversitet-support og lokal køling (dæmpning af varmeøeffekt). For hvert område er problemstillingen beskrevet, de tilhørende krav og ønsker for en løsning opstillet, og forslag til løsning præsenteret. Dette er gengivet kort i Figur 3.

	**Hverdagsregn.** Håndtering af tagvand op til T= 5 år (ca. 40 mm) ved fordampning, suppleret med nedsivning under skærm. Vandet trykkes op via gravitation, dermed ingen pumper. Vandet fordeles via vandret fordelerrende med drænhuller placeret over rendens bund. Frostsprængning forebygges via dræning af trykslange.
	Ekstremregn. Håndtering af ekstremregn (5 < T < 100 år) ved oversvømmelse af grønt areal mellem skærm og bygning, kontrolleret med 0,3 m terrænhævning i periferi.
	**Indpasning.** Smalt design reducerer pladskrav. Via moduler kan terrænspring og kurver optages. Med rodfaste, robuste slyngplanter kan der sikres et roligt og frodigt udtryk året rundt.

	**Sikkert design.** Tilstrækkelig statik i forhold til vind- og snelast sikres med stål og stolper. (I Folehaveskærmen er stålstolper og rionet udskiftet med akaciestolper og pileflet, henholdsvis, se. Afsnit 3.2). Kontrolleres ved beregninger.
	Støj og luftforurening. Med mineraluld som centralt element opnås støjabsorption. Ved indbygning af 20 kg materiale/m^2 er reduktionen sammenlignelig med andre støjskærme. Ved at tilføje ekstra knæk på skærmen (grønt tagkassette) opnås ekstra reduktion. Luftkvaliteten på indersiden af skærmen forventes forbedret, da skærmen bremser vindbåren transport af forurening fra trafikken.
	**Sociale- og kulturelle værdier.** Buskads på grønt areal kan ryddes, fordi skærmen afskærmer mod trafikken. Derved skabes rum til nye aktiviteter. Tryghed er vigtig og er i Folehaveskærmen opnået gennem gode oversigtsforhold og placering af vinduer i skærmen på kritiske steder. Lys- og skyggeanalyser viser, at der er fint med sollys på arealet i sommerhalvåret.
	Biodiversitet. Vegetation op ad den grønne skærm udgør et nyt habitat. Gennem valg af arter kan biodiversitet fremmes ved at prioritere hjemmehørende og/eller blomstrende arter. I Folehaveskærmen er det sikret, at tre arter af solitære bier bør kunne gennemføre fuld livscyklus.
	Lokal køling. Via øget fordampning og rodfaste slyngplanter kan skærmen bidrage til at konvertere sensibel varme til vanddamp, og dermed skabe et svalt opholdssted.

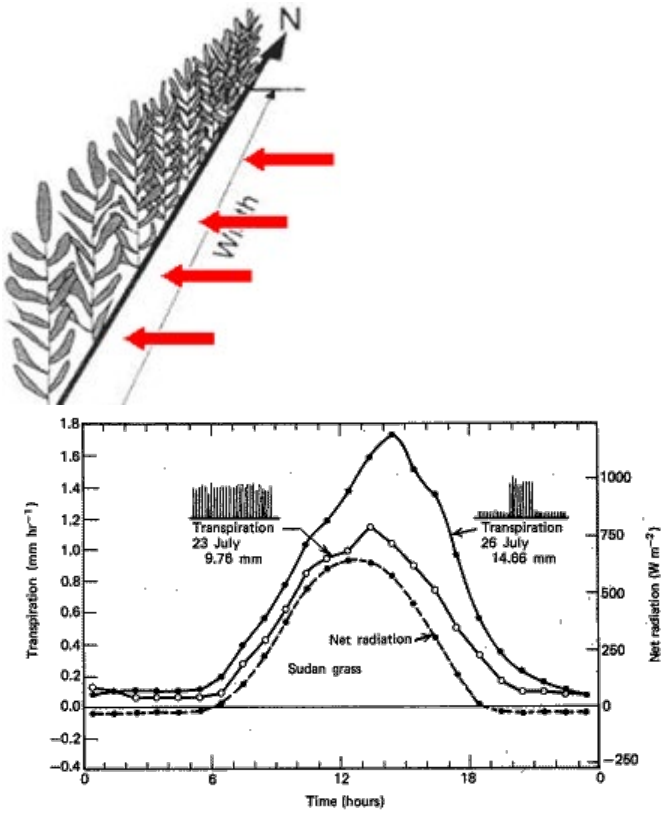
FIGUR 3: Oversigt over problemstillinger og resumé af løsningsprincipper i Grøn Klimaskærm. Se Bilag 1 for uddybning.

Hvis lodrette LAR-elementer á la Grøn Klimaskærm opstilles kilometer efter kilometer langs cykelstier og fortove vil der opstå en ny type rum i byen. En sammenhængende grøn skærm kan understøtte biodiversitet og skabe en zone, hvor cyklister, fodgængere og beboere er afskærmet fra trafikken. Dette kan være en fordel i forhold til tryghed, men samtidig udgør skærmen en barriere for udsyn. Hvilke muligheder og ulemper dette samlet set kan give, er overfladisk analyseret i afsnit 6.2.5.

Uddybning af hydraulisk mekanisme bag vertikalt LAR-element

Fordampning som bærende mekanisme i LAR-anlæg regnes normalt ikke for en mulighed. Det skyldes, at fordampning foregår langsomt og kræver store overflader, der er svære at finde i byens horisontale plan. En undtagelse er de grønne tage, der normalt har begrænset LAR-virkning, fordi bygningen typisk kun kan bære et ekstensivt grønt tag. Ved at tænke i fritstående lodrette flader opstår der flere muligheder. Det gælder især, hvis vandhåndteringen ikke

skal ske på selve bygningsfacaden, hvor der både kan være æstetiske hensyn og bekymring for vandskader i tilfælde af funktionsfejl. I Danmark er den potentielle årlige fordampning omkring 600 mm og overstiger typisk nedbøren i perioden marts-august, hvor der sker en optørring, mens nedbøren i vinterhalvåret overstiger fordampningen, og der sker grundvandsdannelse. Dynamikken omkring de enkelte hændelser er mere kompliceret. For at fordampning kan fungere som primær hydraulisk mekanisme i LAR-elementer, skal elementet både kunne rumme afstrømningsvolumenet og slippe af med vandet igen så tilpas hurtigt at elementet kan stå klar til næste regn. Som tommelfingerregel kan der regnes med, at en 5-års hændelse kræver et magasinvolumen på 40 L per tilsluttet m^2, og at tømmetiden må være maksimalt 72 timer. Det er ikke så let at finde data for fordampningsrater i Danmark, men en undersøgelse fra Tøndermarsken estimerer en sommerfordampning på 2-3 mm/dag (2-3 L/m^2 per dag) fra frie vandoverflader, og 4-5 mm/dag (4-5 L/m^2 per dag) fra vegetationsdækkede områder. Disse niveauer kan sandsynligvis opfattes som minimum, hvis fordampningen sker fra fritstående, lodrette overflader, hvor den såkaldte 'tøjsnors-effekt' kommer ind (Figur 4). Da eksponeres overfladerne mere for vind, og der kan ske fordampning fra begge sider.



FIGUR 4: Illustration af tøjsnors-effekt. Til venstre: Når vegetationen (fordampningsoverfladen) står frit eksponeret, kan vinden lettere komme til. Til højre: Sammenligning af transpiration fra tæt græsbevoksning (23 juli, 9,76 mm) og efter nedklipning af nabo-græs, så der kun blev 1 m^2 tilbage (26. juli, 14,56 mm), resulterende i en stigning på 50 %. Miljøstyrelsen, 2003.

Fordampning er størst om sommeren, hvor vi i Danmark også ser de voldsomste nedbør. Om vinteren vil fordampningen være mindre, men selv i frostvejr kan der ske fordampning (sublimering), hvis luftens fugtindhold er lavere end skærmens, svarende til at man også kan tørre tøj udendørs om vinteren og i frostvejr. Om disse dynamikker er tilpas effektive til at regnafstrømning kan baseres herpå, er vanskeligt at forudse. Hertil kræves observationer og modelleringer. Som med andre LAR-anlæg anbefales derfor robuste anlægsteknikker, dvs. anlæg hvor der er styr på oversvømmelserne, hvis anlægget ikke fungerer 100 % som forventet. Som

indikeret i Figur 3 (“ekstremregn”) og uddybet i 6.3 kan dette gøres relativt simpelt ved hjælp af terrænbassiner, når regnafstrømningen håndteres over jorden.

Vegetation er eminent til at fordampe (transpirere) vand og kan via osmotiske kræfter løfte vand fra jorden mange meter op i luften. Stor biomasse og lang vækstsæson er afgørende for den årlige fordampning fra vegetation, alt andet lige. Dertil kommer artsspecifikke forskelle. I forhold til LAR-anlæg baseret på fordampning kan vegetation bidrage til optørring efter regn, men kan ikke udgøre eneste mekanisme. Det skyldes, at regnafstrømning forekommer året rundt, mens vækstsæsonen kun strækker sig fra ca. 1. april til 1. november.

Uddybning af støjværns-funktion
En støjskærm kan beskytte et areal mod støj fra en støjkilde ved at begrænse lydbølgernes udbredelse på indersiden af skærmen. Dette kan enten ske ved, at lydbølgerne reflekteres eller absorberes. Hårde materialer uden elasticitet vil reflektere lyden tilbage mod støjkilden, mens bløde materialer kan absorbere lydbølgerne, og dermed reducere det samlede støjniveau. Absorberende materialer bør derfor foretrækkes, så støjen ikke blot sendes over til genboerne.

Ifølge Vejdirektoratets vejledning (Vejdirektoratet, 2015) omkring opsætning af støjværn bør der maksimalt indbygges 20 kg støjabsorberende materiale per m^2 skærm. Indbygning af yderligere støjabsorberende masse i skærmen kan ikke betale sig, jf. Vejdirektoratets forklaring: ”Grundlæggende skal støjskærmens lydisolerende evne være så god, at den støj, der går gennem skærmen, er uden betydning i forhold til den støj, der går udenom skærmen. Det betyder i praksis, at en støjskærm med en fladevægt på 15 – 20 kg/m^2 som regel har tilstrækkelig lydisolation, hvis støjberegninger viser, at støjskærmen skal dæmpe støjen med op til ca. 10 dB (typisk skærmhøjde op til 3 – 4 meter)”.

En støjskærm virker bedre jo tættere den er på kilden og desto højere skærmen er. I tilfældet Folehaven, hvor vejprofilet indeholder to spor i hver retning foruden parkeringsbane, cykelsti, fortov og midterrabat, er der tale om et bredt gaderum. Støjkilden er dermed fordelt over et stort areal, og selvom en støjskærm placeres tæt på den nærmeste kørebane, er der lille effekt på støjen fra de øvrige kørebaner, der kan udbrede sig i hele gaderummet. Det vil kræve en meget høj støjskærm hvis disse bølger skal bremses.

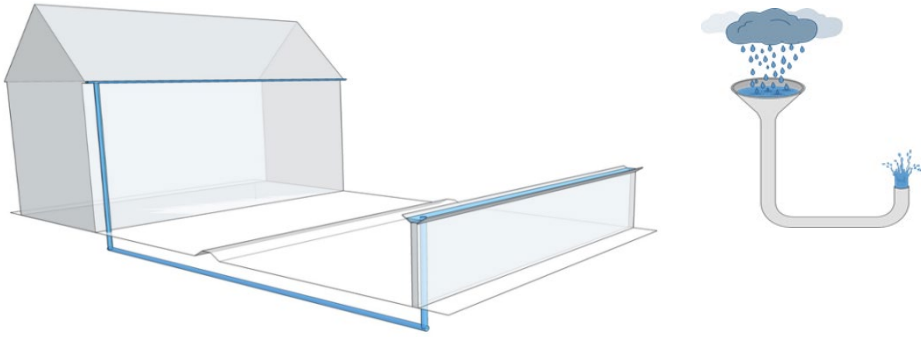
En tiltning af den øverste del af en støjskærm mod trafikkilden, altså et knæk på skærmen ud mod trafikken, kan have god ekstra effekt, uden at gøre skærmen synderligt højere. Lydbølgerne forhindres i at ”kravle op” over skærmens toppunkt, men afbøjes tilbage mod trafikken.

6.1.1.2 Metoder til afkobling og vandføring
Som det fremgår af Figur 1 og øverste række i Figur 3, har vandføring været tænkt enten overjordisk i en pergolastruktur eller underjordisk ved brug af trykledning og forbundne kars princip.

Ved pergola-løsningen gribes vandet i tagnedløbet i en passende højde, og ledes via ‘svævende tagrender’ til toppen af grøn klimaskærm. “Svævende tagrender” benyttes i Küppersbusch, Tyskland, til grave-fri bortledning af tagvand (Figur 5). Dette vil kunne fungere i Folehave-casen, men betyder at beboere skal acceptere en permanent pergola-struktur i det grønne område i mange år frem. Der kan også være sikkerhedsaspekter omkring adgangsforhold for brandbiler.

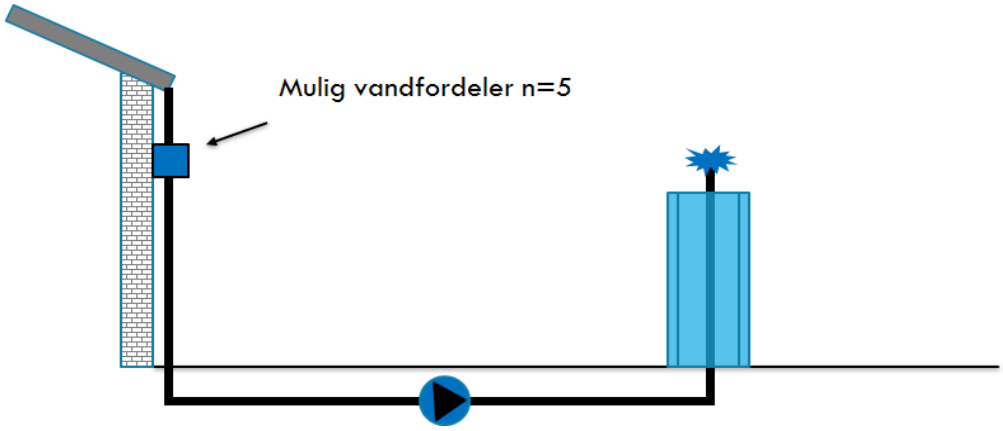
FIGUR 5: Eksempel på pergola-struktur ("svævende tagrender") for transport af tagvand, hvor vandets potentielle energi bevares. Referencefotos fra Küppersbush, Tyskland. Antje Backhaus.

Ved føring af tagvandet under jorden opnås en usynlig transport, og haverummet kan anvendes frit. Princippet er at gribe vandet i en trykslange monteret i passende højde over Grøn Klimaskærms tophøjde, sådan at der kan opbygges en tilpas stor trykhøjde til, at vandet ved forbundne kars princip kan føres fra bygningens tagrende, under jorden og op i fordelerrenden i Grøn Klimaskærm med et tilpas flow (Figur 6). Hertil skal benyttes et overgangsstykke, der kan monteres i eksisterende tagnedløb til at opfange vandet i tagnedløbet, hvorpå en trykslange kan monteres (Figur 7). Der skal desuden sikres renseadgang, sådan at bladsmuldr og jordpartikler kan renses ud af trykrøret, ligesom det også er vigtigt at sikre trykrøret mod frostsprængninger. Se afsnit 6.2 for detaljer herom.



FIGUR 6: Ved hjælp af en trykledning (fuldtløbende slange) kan tagvands potentielle energi udnyttes til at føre vandet under jorden og op i en Grøn Klimaskærm placeret i tilpas afstand fra bygningen. Hastigheden bestemmes primært af overhøjden, mens volumenet bestemmes af trykledningens diameter. Denne løsning er baseret på forbundne kars princip, som vist i den lille illustration til højre. Efter regn vil trykledningen stå vandfyldt, som et U, til skærmens tophøjde.

Ved afkobling af tagvand fra fælleskloak er det normalt tilstrækkeligt at vende tagnedløbet væk fra kloakken, så vandet kan ledes til regnbed, faskine eller anden nedsivningsløsning og blot sikre, at forbindelsen til kloakken tætnes, så der ikke opstår rotte-problemer. Dette er ikke nok, hvis gravitationen skal udnyttes til at løfte vandet op igen. Her beskrives yderligere problemstillinger og principielle løsninger, der er relevante i forbindelse med Grøn Klimaskærm. Der henvises til afsnit 6.3 for specifikke løsninger fra Folehaveskærmen.



FIGUR 7: For at kunne anvende en trykledning skal der indskydes et overgangsstykke på tagnedløbet ('vandfordeler') i en position under bygningens tagrende, og over skærmens toppunkt, Derved sikres en passende trykhøjde og dermed gradient; ved 90-grader knækket under jorden skal den nuværende brønd ombygges, og trykledningen skal monteres på passende vis i toppen af skærmen. Der skal desuden indskydes tryksat renseadgang.

For at opbygge trykhøjde skal tagvandet gribes, mens det stadig har potentiel energi, dvs. i en vis højde over jorden. Af æstetiske årsager vil man måske foretrække at montere trykledningen inde i et sædvanligt tagnedløb, selv om det i princippet ikke er nødvendigt. Det eksisterende tagnedløb kan typisk ikke bruges direkte som trykledning, da det har utætte samlinger, som ikke vil kunne klare en trykhøjde på over en meter. Overgangsstykket, der skal indsættes i tagnedløbet til at fange vandet, kan udnytte, at vand klæber til rørets sider og kan fanges i en slags tragt. Overgangsstykket skal desuden overføre vandet til trykledningen, der derfor skal kunne påmonteres. Eftersom trykledningen har vægt, især i vandfyldt tilstand, skal overgangsstykket have tilpas styrke og må monteres solidt direkte på bygningens ydermur.

Som trykledning kan benyttes en trykfast slange med en passende diameter, á la en overdimensioneret haveslange. Da trykledningen skal være fuldtløbende, må diverse adgangsveje til systemet være tryksatte, eksempelvis rensebrønde.

Overgangen fra trykledning til fordelerrende øverst i Grøn Klimaskærm skal tilsvarende udformes solidt, så vægten af den vandfyldte trykledning ikke ødelægger konstruktionen. Desuden må overgangen være tæt, så vandet, når det slippes i toppen af trykledningen, ikke kan løbe tilbage langs ledningens yderside, men kun fordele sig vandret ud via fordelerrenden.

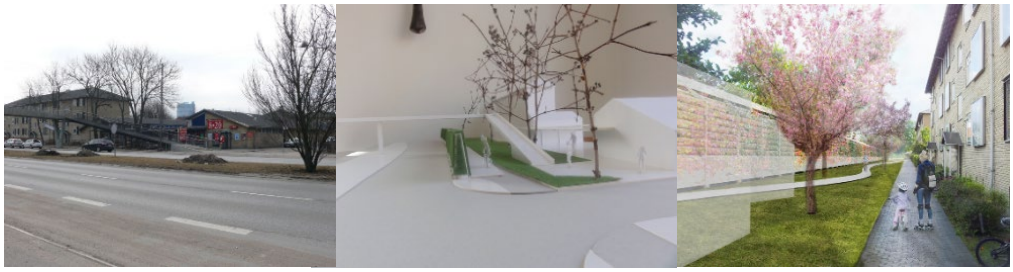
6.1.1.3 Retningslinjer for fælles offentlig-privat forvaltning

Med Grøn Klimaskærms dobbelte funktion som både støjværn og LAR-element vil skærmen ofte skulle placeres på overgangen mellem offentlig og privatejet jord. Hvis man ønsker at placere Grøn Klimaskærm således, at bløde trafikanter, dvs. cyklister og gående, kommer på indersiden - i komfortzonen - vil skærmen skulle stå på linjen mellem vejbane og cykelsti, det vil sige på offentligt areal (se Figur 8). For at skærmen samtidig kan modtage tagvand fra privatejede naboejendomme, vil der være behov for en særlig aftale om, hvem der ejer skærmen, og hvem der har ansvar for drift og vedligehold. En særaftale vil også være nødvendig, hvis man forestiller sig, at skærmen opføres på privat grund tilhørende den ejendom, hvis tagvand skærmen skal håndteres, og ejerne tilbyder at offentlig cykelsti og/eller fortov kan lægges ind på deres areal.

FIGUR 8: Overvejelser omkring placering af skærm. T.v.: Reference-eksempel på støjskærm, der skaber komfortzone for cyklister og gående, placeret på linjen mellem cykelsti og køre-

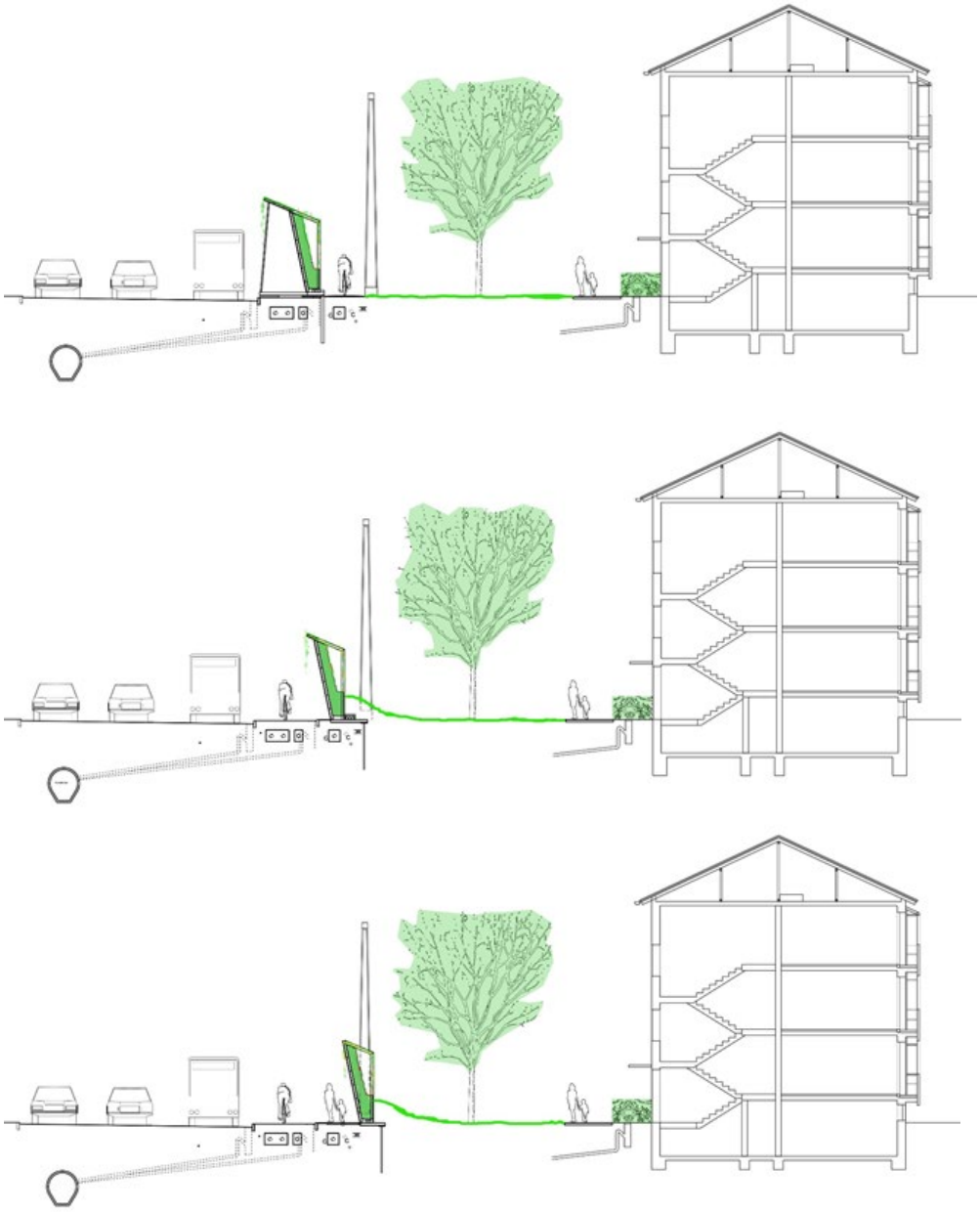
bane. Hvis en støjskærm også skal håndtere tagvand fra privatejede naboejendomme, kompliceres skærmens ejer- og ansvarsforhold. Til højre: Situationen ved Folehaven, hvor en skærm, der også beskytter bløde trafikanter, ville skulle placeres dér, hvor kantstenen mellem cykelsti og parkeringsstribe findes i dag.

Det er vigtigt, at alle fysiske elementer i en by har en entydig ejer, så ansvar for konstruktionen og dens vedligeholdelse er klart defineret. Som beskrevet i 6.3 lykkedes det af forskellige årsager ikke at få cykelsti og fortov med ind på indersiden af Folehaveskærmen (Figur 9), og skærmen er derfor ejet af Boligforeningen 3B (nu KAB), og opført på deres areal. Det er også boligforeningen, der har det fulde ansvar for drift og vedligehold.



FIGUR 9: Tidlige overvejelser i projektet om indretning af fælles offentligt-privat areal mellem grøn klimaskærm og boligblok. T.v.: Området før (med gangbro over Folehaven). Midt: Området efter, med cykelsti langs skærm og fodgængere sammen med beboere på fortov langs bygning (foto af model). T.h.: Området efter (rendering af midtersituationen). @Nørløv + Nørløv.

Forud for beslutningen om ikke at flytte cyklister og gående ind på skærmens inderside var projektet i dialog med Københavns Kommune. Her blev vilkårene for en eventuel placering af skærmen på offentligt areal tydelige. Hvis skærmen således i stedet skulle være placeret på offentligt areal og cykelsti og/eller fortov lagt ind på indersiden af skærmen (Figur 8), ville det kræve en særlig aftale (partnerskabsaftale eller driftsoverenskomst) mellem kommunen og boligforeningen. Man kunne forestille sig, at ejendommens ejere stod som ejere af skærmen med ansvar for skærmens drift og vedligehold, men at kommunen gav et tilskud til såvel anlæg som drift og vedligehold, eftersom den opnåede støjreduktion og grønne komfortzonen ville være til offentlighedens fordel. Anlæg, drift og vedligehold af cykelsti og fortov ville sandsynligvis fortsat bedst varetages af kommunen frem for ejendommens ejere, da kommunen har ansvar for standard og sikkerhed, herunder snerydning. I det tilfælde, at offentligt fortov erstatter et gangareal foran ejendommen, kan ejendommens ejere betale kommunen for at tage sig af dette. Der findes en række eksempler på den slags aftaler, hvor private tager medansvar for anlæg placeret på offentligt areal, til glæde for både private og offentlige. Et dansk eksempel er Århus Å, hvor kommunen i forbindelse med genåbningen af åen aftalte med café-ejere og andre private lodsejere med areal op til åen at de, mod betaling, står for vedligehold og til gengæld tillader offentlig adgang. I Københavns Kommunes begrundelse for afslag (Bilag 2 “KK afslag cykelsti”) peges på en række komplicerende forhold, der udover det rent administrative især handlede om økonomi for flytning af cykelsti, tilgængelighed på tværs af skærmen, tryghed og ulykkessikring.



FIGUR 10: Forslag til skærmplacering, drøftet med Københavns Kommune tidligt i projektet. Øverst: Al blød trafik på indersiden (cykelsti langs skærm, og delt offentligt/privat fortov foran bolig). Midt: Kun fodgængere på indersiden. Begge afvist af Københavns Kommune med begrundelser anført i Bilag 2. Nederst: Status quo, al blød trafik på ydersiden, skærm opført på boligforeningens areal. @Nørløv + Nørløv.

6.1.1.4 Trafikale vilkår for opstilling og drift

Eftersom Folehave-casen endte med opstilling i skel mellem fortov og boligforeningens forareal forsimpledes situationen, og vilkårene for opstilling på linjen mellem cykelsti og kørebane blev kun overfladisk udfoldet. Der blev dog lavet en mock-up, placeret på netop dette sted, se nærmere i afsnit 6.3.

De forhold, der skal tages i betragtning ved placering af Grøn Klimaskærm mellem kørebane og cykelsti, er ikke anderledes end de forhold, der gælder ved placering af øvrige støjskærme, når ejer- og ansvarsforhold ellers er placeret. Skærmen skal leve op til de samme statiske krav. Der skal være åbninger i skærmen sådan at adgang for fodgængere til busstop m.v. muliggøres. Hvis der er en parkeringsstribe, skal adgangsforhold til og fra parkeret bil afklares.

Adgangsforhold i forbindelse med drift af skærmen, herunder pleje af beplantning, skal også iagttages.

Uanset hvor skærmen placeres er der spørgsmålet om, hvordan eksisterende infrastruktur håndteres, eksempelvis vejskilte, busstop og elskabe. Skal de flyttes eller bygges med ind?

Der er naturligvis også spørgsmålet omkring diverse eksisterende rør- og ledninger i jorden, som nedgravning af bærende elementer, dvs. stolper i den modulopbyggede Grønne Klimaskærm, skal tage højde for.

6.1.1.5 Implementeringsrækkefølge

Tilladelser og ansvar

Forud for etablering af Grøn Klimaskærm skal der indhentes en række tilladelser og ansvarsforhold skal afklares. Bygherre indsender ansøgning til kommunen om byggetilladelse. Tilladelsen forudsætter bl.a., at statiske forhold er forsvarlige, at der er indhentet afkoblingstilladelse fra forsyningsselskabet, at arealer mod fortov reetableres, at skærmen har en vis minimum levetid, osv. Inden gravearbejdet går i gang, skal entreprenøren indhente gravetilladelse. Kommunen kan også stille særlige krav omkring tryghed, belysning, æstetik m.v.

Ansvaret for skærmen påhviler bygherren, men bygherren kan sende 'regningen' videre til de udførende virksomheder (entreprenører og leverandører), hvis de ikke har lavet arbejdet ordentligt. Hvis flere virksomheder er involveret, skal det aftales, hvordan deres respektive forsikringer kan dække evt. fejl og mangler.

Rækkefølge

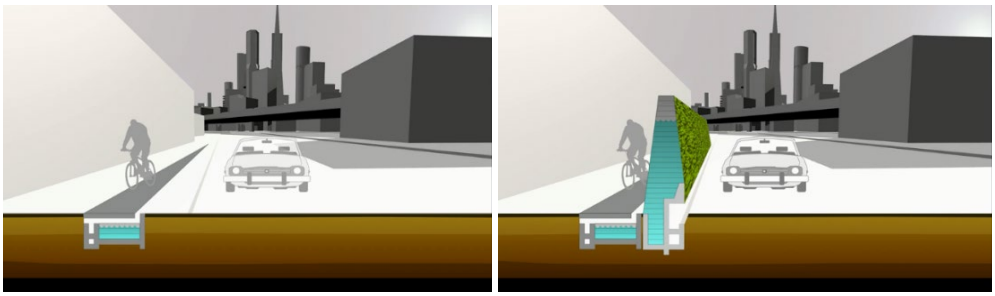
For at der ikke skal opstå unødige pauser i anlægsfasen til gene for beboere og forbipasserende, er det vigtigt, at alle materialer er klar fra start; at der er udarbejdet tilpas detaljerede arbejdstegninger, herunder at arealet er opmålt omhyggeligt med indtegninger af faste elementer, brønde, ledninger, samt nøjagtige koter. Det er også vigtigt, at der er en klar plan for, hvem der gør hvad hvornår, herunder skal det sikres, at de forskellige arbejdshold kan komme til for hinanden. Det er dette, som en bygherrerådgiver kan tjekke op på.

Efter rydning af eksisterende beplantning og inventar i den grad, det er nødvendigt, vil næste skridt ved en modulopbygget klimaskærm være montering af bærende stolper. Herefter monteres vægelementerne mellem stolper, og derefter bundkasse. Til sidst løftes et eventuelt grønt tag på, og grønne arealer reetableres.

Efter etablering skal arbejdet gennemgås, og fejl og mangler udbedres. Der bør også være en 1- og 5-års gennemgang, hvor de udførende virksomheder fortsat har et ansvar for konstruktionen.

6.1.2 Vejvandskassette

Med et vertikalt LAR-element placeret langs kørebanen er det oplagt at tænke muligheden for håndtering af vejvand med ind i løsningen. Enten som et selvstændigt element, indbygget i samme omgang som klimaskærmen opsættes, eller som et koblet element, hvor kapillarkræfter i klimaskærmen udnyttes til at fordampe vejvandet. Disse to principielle løsninger er illustreret i Figur 11.



FIGUR 11: Koncept for håndtering af vejvand i en form for rensekassette, enten placeret under cykelsti (til venstre), eller i kombination med Grøn Klimaskærm (til højre), hvor kapillarkræfter kan udnyttes til at fordampe en andel af vandet.

Ved udformning af evt. rensekassette kan erfaringerne fra dobbeltporøs filtrering indtænkes. Denne teknik, der er i brug i Ørestad, København til rensning af vejvand, er optimeret til fjernelse af partikulær forurening (Jensen et al., 2010). I udformningen skal der sikres renseadgang, så akkumuleret sediment kan spules, børstes og/eller suges væk efter behov.

Kan vejvand kobles til fordampning, opnås unikke fordele. I rensemæssig sammenhæng har fordampning den fordel, at kun vandmolekylerne fordamper, hvorved vejvandets forureningsindhold i form af opløste salte, f.eks. tungmetaller på ionform, større organiske molekyler som pesticider og PAH'er, samt partikler efterlades og akkumuleres i fordampningselementet, hvorfra de kan håndteres. Da vejvand i modsætning til tagvand ikke indeholder potentiel energi, er eneste løsning umiddelbart at satse på kapillære kræfter (hårrørsvirkning, væge-funktion) i skærmmaterialet, hvorved vejvandet kan suges et stykke op i skærmen. Materialer med kapillarkræfter inkluderer jord, her særligt spagnum, diverse kunstfibre, skumglas, mineraluld m.v. Det er dog begrænset, hvor højt vandet kan løftes, måske maksimalt omkring 0,5 m, og den hastighed, hvormed det foregår, er også begrænset. En vejvandsrensemetode baseret på fordampning vil derfor kræve indbygning af et magasin under materialet, hvor vejvandet i første omgang kan opbevares, indtil opsugning og fordampning kan forløbe. Dette lægger op til en first-flush tilgang, hvor kun den første del af afstrømningen håndteres, eksempelvis de første 6 mm nedbør, mens efterfølgende afstrømning håndteres uden forudgående rensning, f.eks. ved nedsivning.

Se desuden Bilag 3 "Vejvandskoncept", der er et notat udarbejdet efter workshop om håndtering af vejvand.

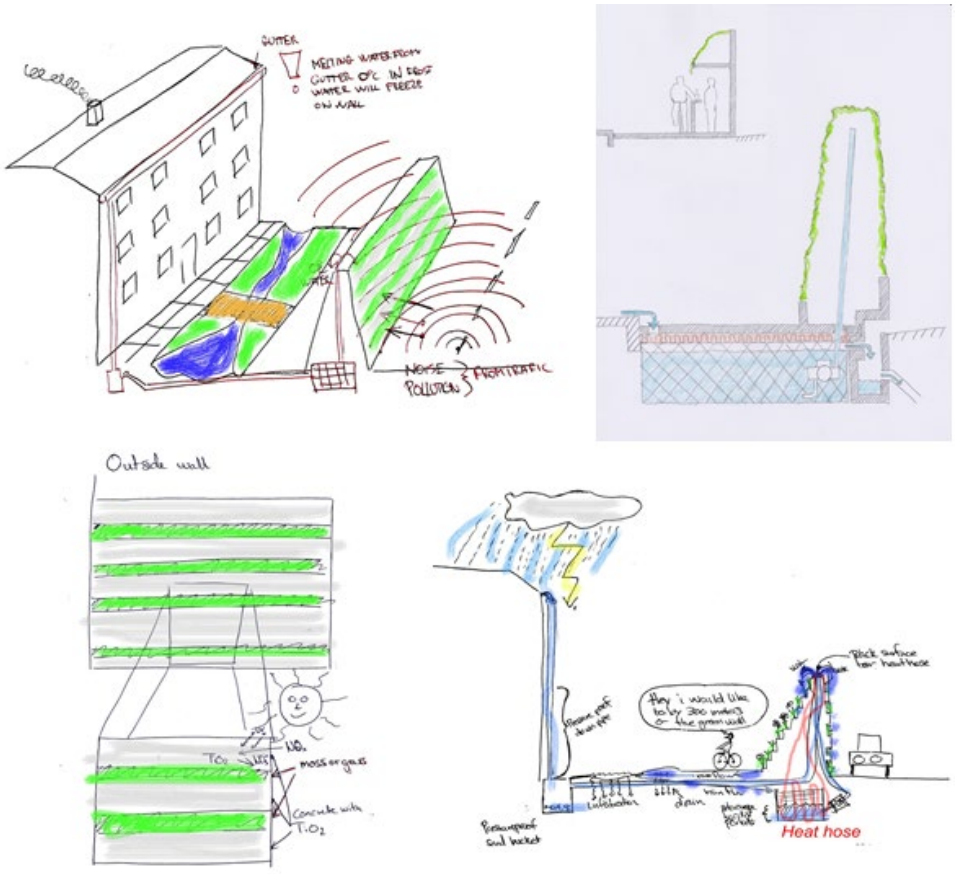
6.2 Udvikling og test

Parallelt med identifikation og opstilling af relevante designkriterier samt dialog med Københavns Kommune og Boligforeningen 3B om placering og drift af Folehaveskærmen (afsnit 6.1), blev der arbejdet på at afdække de konkrete skærmmuligheder, herunder valg af materialer til konstruktion og fyld, metoder for afkobling, og beplantning ("grøn korridor"). Der blev som nævnt ikke arbejdet videre med rensekoncept for vejvand, da dette aspekt ikke kunne rummes i Folehave-casen. Af samme årsag blev oprindelige ideer om mulighed for at koble regnvandshåndteringen til vandforsyning kun sparsomt udviklet. Til gengæld indebar dialogen med Københavns Kommune og Boligforeningen 3B, at flere aspekter blev belyst ekstra grundigt, bl.a. spørgsmål omkring tryghed og æstetik.

I dette afsnit beskrives de overvejelser og forsøg, der ledte hen til det princip Folehaveskærmen endte med at få, inklusive begrundelser for valg af konstruktionsmaterialer, fyldmateriale, og vegetation. Også metoder for afkobling og støjdæmpning beskrives. De undervejs gennemførte undersøgelser, test og mock-ups resumeres samtidig. Selve fremstillingen og opførelsen af Folehaveskærmen beskrives i afsnit 6.3.

6.2.1 Idefase

I denne indledende, divergerende ide-fase, blev der hentet inspiration til konstruktionsmulighederne fra litteraturen, internettet, studieture (Bilag 4 "Inspiration") og fire workshops (Figur 12).



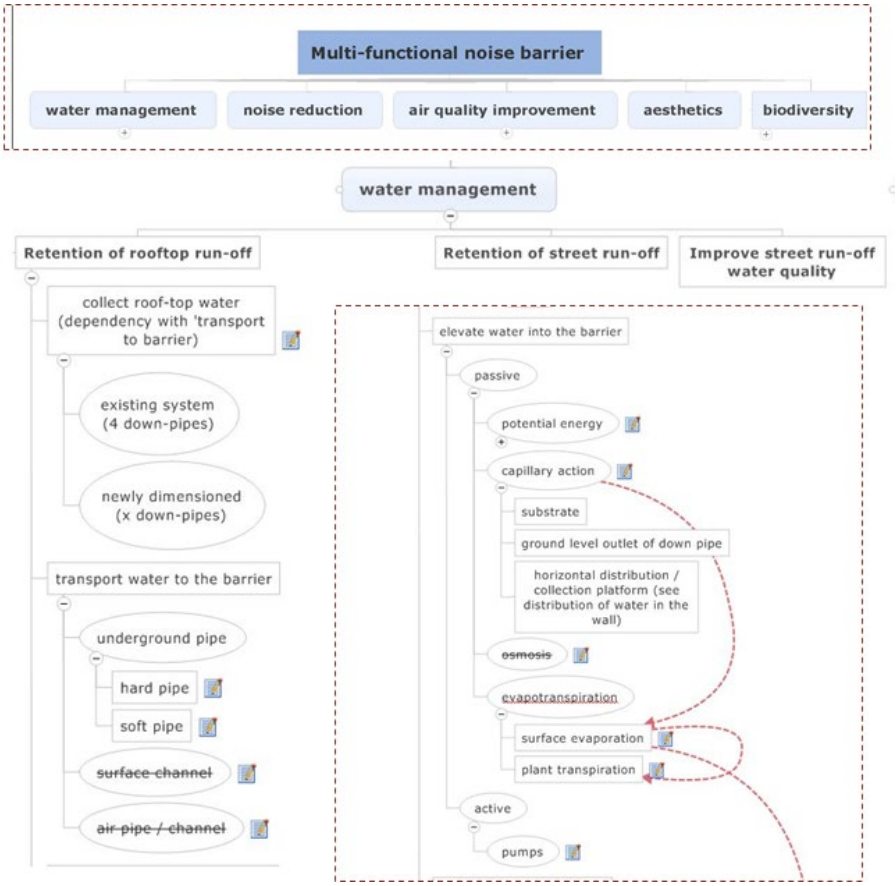
FIGUR 12: I løbet af projektets første år blev der gennemført fire workshops med projektpartnere for at hente inspiration. Her ses resultat af gruppearbejder på en sådan workshop omkring multifunktionalitet af skærm.

Udfordringen er at finde en konstruktion, der kan honorere de mange krav og ønsker oplistet i Figur 2, og samtidig skele til levetid, CO_2-aftryk, æstetik, økonomi m.v. Eksempel på midlertidig status i 2014, ca. 1 år inde i projektet, er vist i Figur 13.

	Folehaven test ('if tomorrow')	Knowledge gap	**Ideal product** (for full scale)
Construction units	- H-beams with anchors for strength - Stormwater boxes for holding substrate	- Calculations of forces - Identify alternative materials	- Safe construction - few parts belowground - Flexible design - Easy assembling
Water storage	In substrate Extra in half-pipes	Type of substrates Water holding capacity Drainage/evaporation	- Sustainable - Good WHC - Durable/ slow degradation - Easy to fill into wall
Water transport from roof to wall	Flexible tube inserted into the downpipe	- Can a flexible tube stand frost? - Will a closed pipe clock?	- Exploit potential energy - Easy to maintain - Overflow from downpipe
Vegetation	- Climbers, perennials, annuals - Plug plants - Pregrown mattress	- Feasible plants - Feasible growth establishment	- Fast establishment - Adaptable to site need

FIGUR 13: I løbet af idefasen blev det klart, at der måtte skelnes mellem det muliges kunst (hvad kan vi bygge i Folehaven, hvis vi skulle gå i gang i morgen), og hvad der vil være det ideelle, optimerede produkt. Opsummeringstabel præsenteret ved 4. og sidste ide-workshop, marts 2014.

De primære funktioner blev tydeliggjort ved brug af et funktions-metode-træ (function-means tree), baseret på Excel-regneark, hvor hver enkelt funktion med bagvedliggende metode beskrives (Figur 14). Dermed kan alle følge med i fremdrift for de enkelte funktioner, og det er lettere at huske det hele. I sidste ende er det dog en kompliceret proces, der ikke kan gennemføres lineært, men kræver, at hver funktion løbende genbesøges i en iterativ proces.



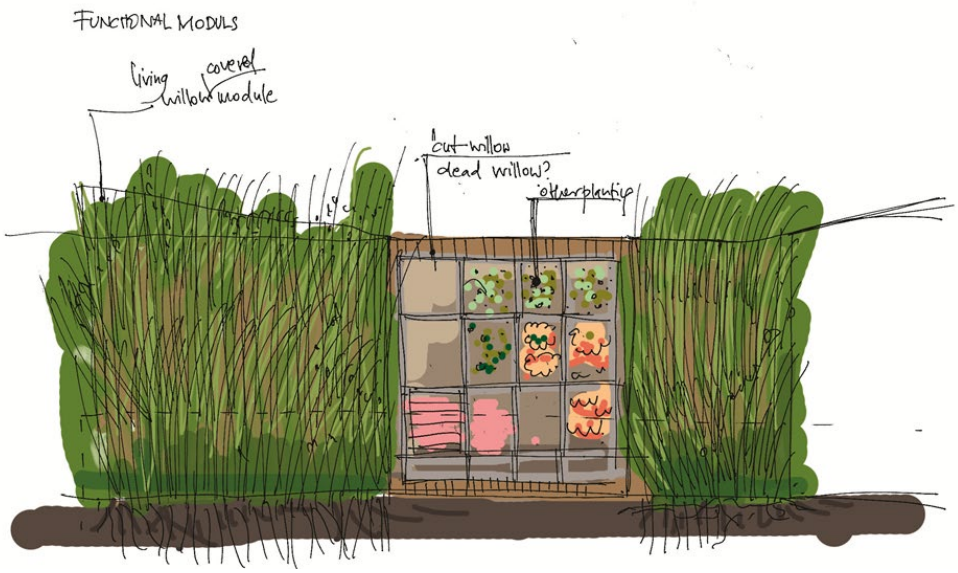
FIGUR 14: Udtræk fra 'Function-means tree', der blev benyttet i idefasen til at holde styr på de mange funktioner. Øverst ses hovedfunktioner. Når man så klikker på f.eks. 'water management' folder dette aspekt ud med underspørgsmål om retention, vandkvalitet, transport fra bygning til skærm, fordeling i skærm, der så igen kan foldes ud, osv.

De første ideer gik på, om levende træer kunne udgøre stolper mellem moduler (Figur 15), men træernes fortsatte vækst gik dårligt hånd i hånd med støjværns-kravet om lydtæthed. Så denne ide blev relativt hurtigt forladt, omend ønsket om vegetation blev fastholdt, blot ikke som en del af de bærende konstruktioner.

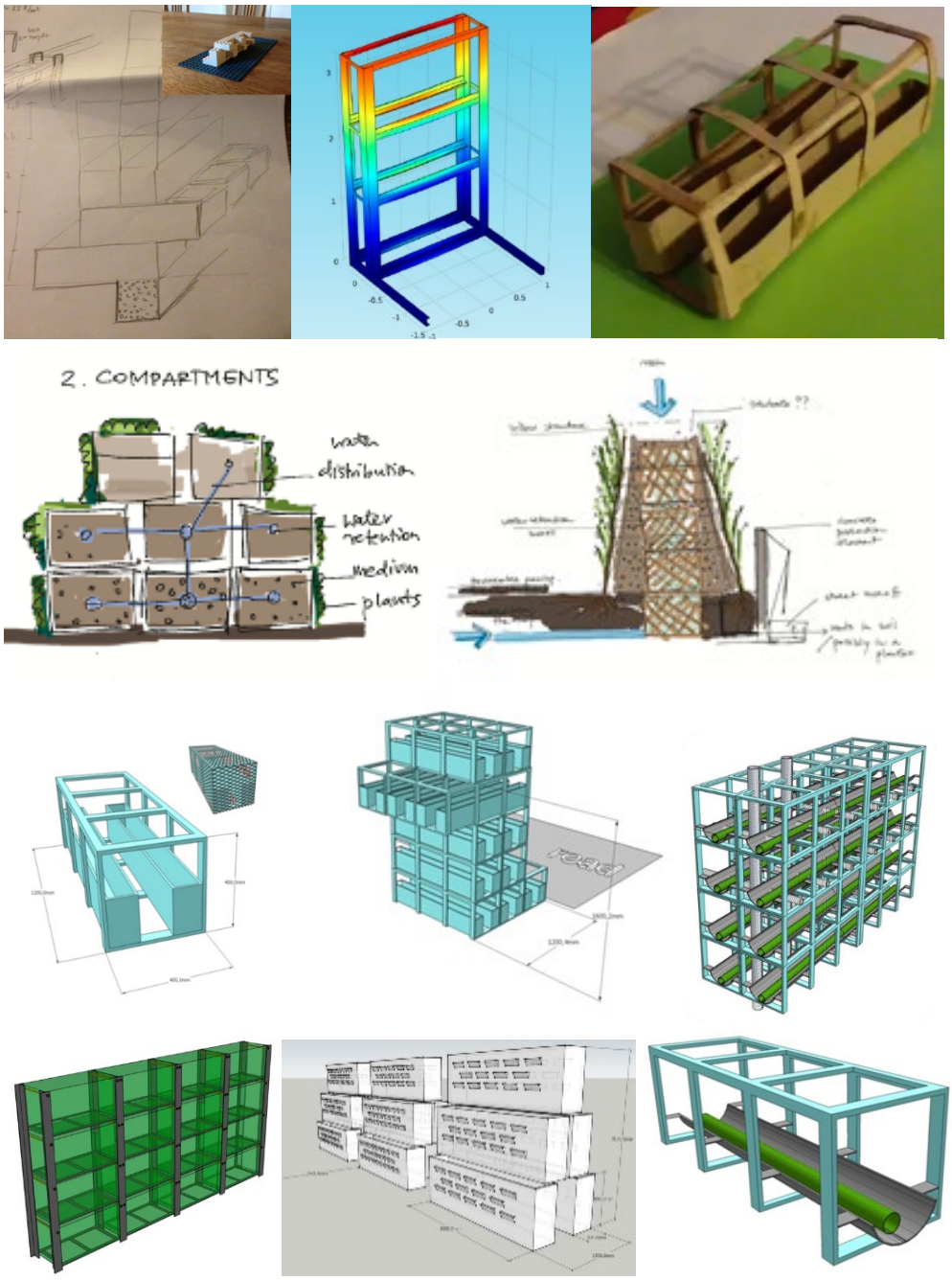
Herefter fulgtes to spor, dels et spor baseret på stablede bokse, dels et spor baseret på A-skærme eller skærme båret af jord-forankrede stolper. Inspirationsmaterialer og diverse skitser er i Figur 16 og Figur 17 vist for disse to spor, henholdsvis.

En udfordring omkring boks-løsningen var valg af materiale, idet en oprindelig ide om at omdanne Wavins regnvandskassetter, der benyttes i underjordiske faskiner, viste sig umulig at realisere, fordi den normalt anvendte plast ikke tåler sollys. Ideen blev alligevel forfulgt et stykke tid i form af bokse baseret på gabioner, som beskrevet under Test og Mock-ups. Heri indgik forsøg med vegetation.

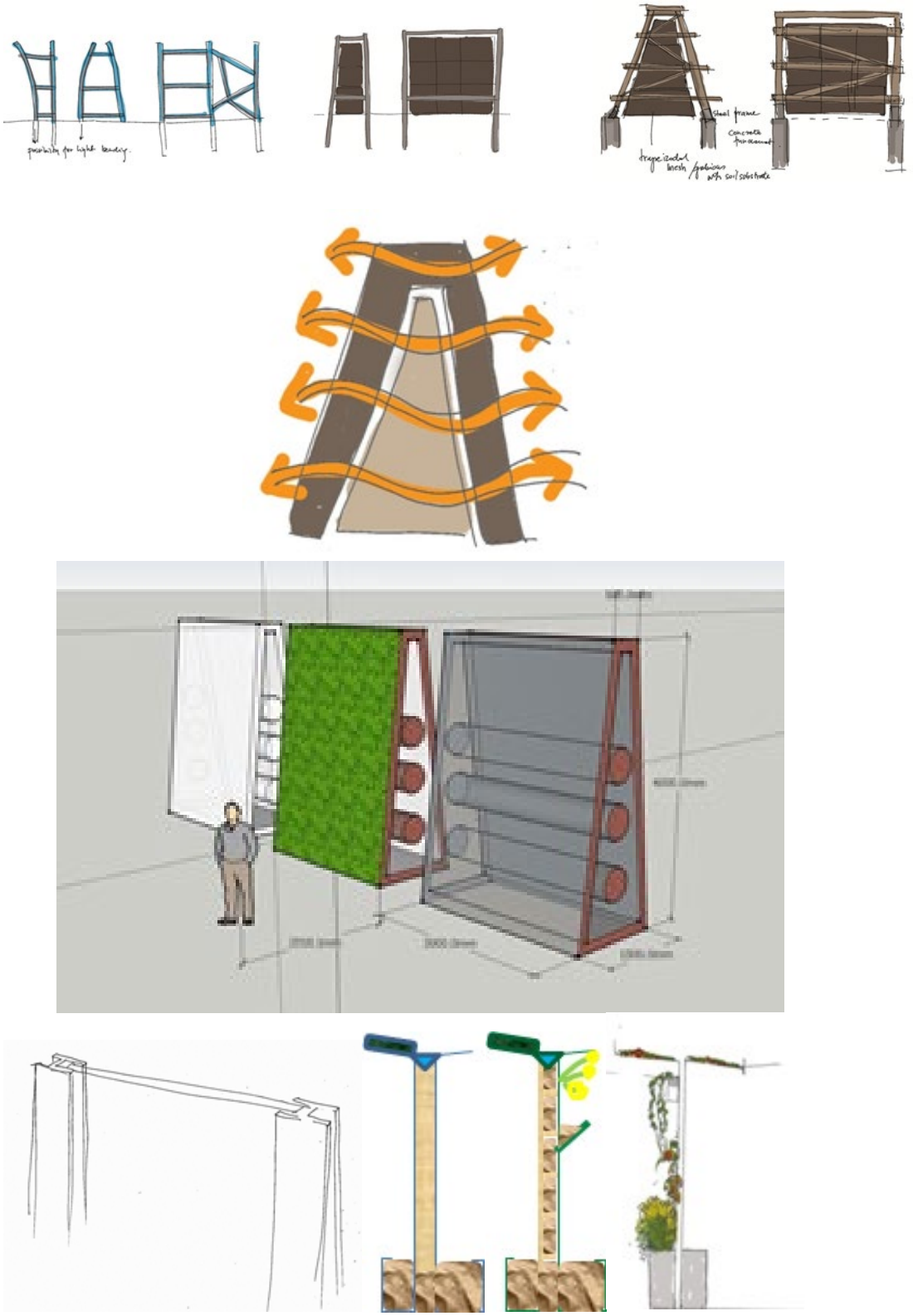
En stolpe-baseret skærm endte med at blive den valgte løsning. Her indgik rionet langt hen i forløbet som et væsentligt element, og blev også afprøvet i et par versioner, som vist under Test- og Mock-ups, bl.a. også en model hvor et foldet rionet i sig selv var det bærende element. Vegetation blev her enten overvejet forankret på selve skærmen, eller som rodfast beplantning (plantet i jorden), se mere i afsnit 6.2.5.



FIGUR 15: Indledende ideer om brug af levende materiale i skærmen. Her en kombination af levende buskads, måske pil, afbrudt af bokse med biodiversitetsfremmende materialer.



FIGUR 16: Udviklingsforløb med udgangspunkt i stablede bokse, med magasin indbygget i hver enkelt boks, afsluttende med statiske beregninger på muligt støtte-skelet.



FIGUR 17: Udviklingsforløb baseret på A-stillede skærme eller stolper.

6.2.2 Test og Mock-ups

I den udvælgende, konvergerende fase, blev de mest lovende spor forfulgt ét efter ét, med vurdering af fordele og ulemper. Enkelte blev afprøvet i mock-ups, ligesom der blev kørt forsøg med substrat, vegetation på lodrette flader og vandsystemer.

6.2.2.1 Test i forbindelse med stablede bokse

Valg af substrat

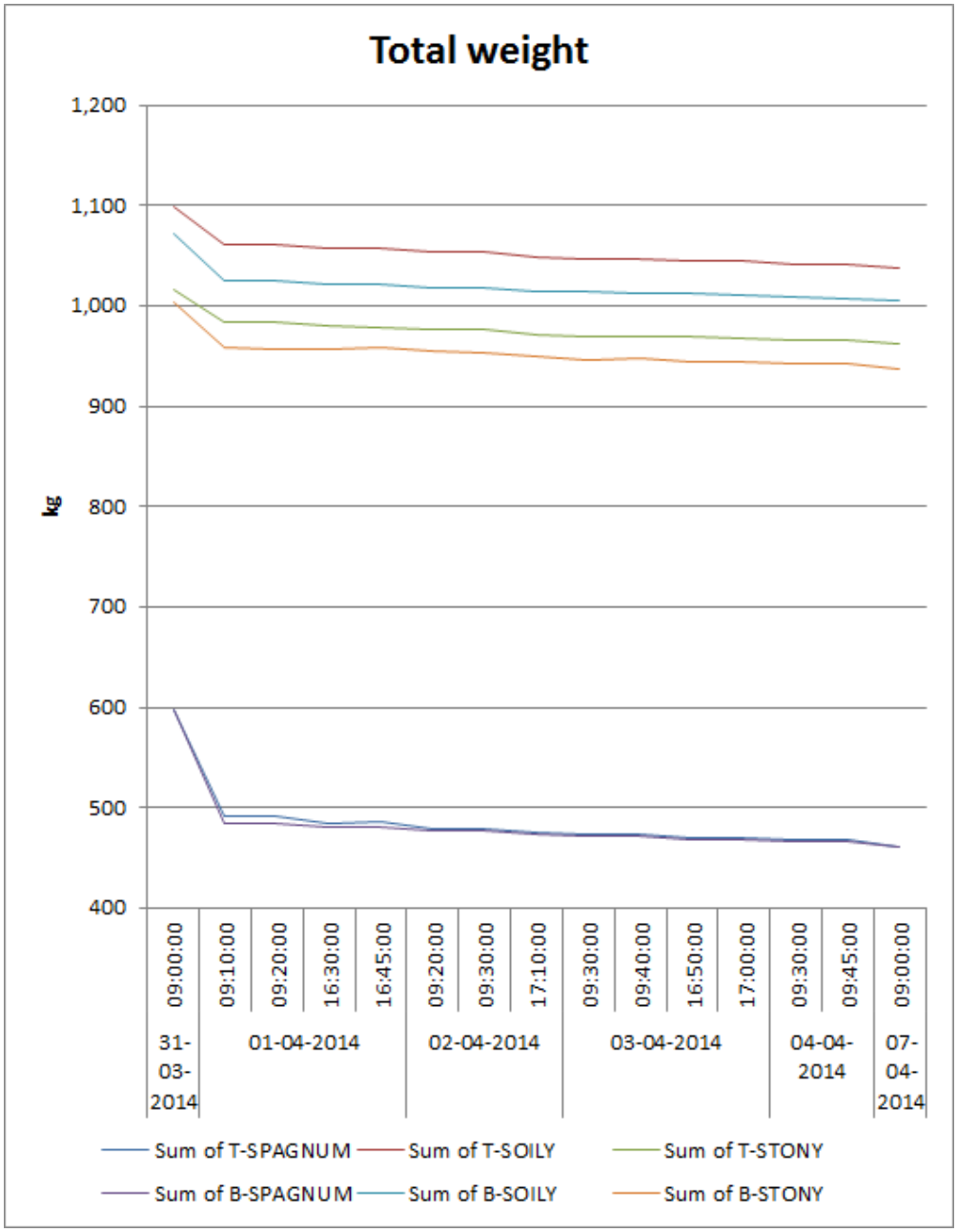
For at vurdere vandtilbageholdelse og tab af vand blev der gennemført et forsøg med tre typer vækstsubstrat, nemlig spagnum, sedumsubstrat og taghavesubstrat (Figur 18), der blev stoppet i Wavin regnvandskassetter (0,5 m x 0,5 m x 1 m = 0,25 m^3, ca. 98 % porøsitet efter fjernelse af nogle indvendige afstivningsstykker) og placeret udendørs på paller i en enten kubisk eller rektangulær konfiguration (Figur 19). Kassetterne blev pakket ind i tynd geotekstil, for at holde substratet på plads. Antallet af bokse var i alle fire tilfælde fire, svarende til et rumfang på ca. 1 m^3. Efter opvanding til fuld mætning blev vægttab fulgt i en uge, ved brug af palleløfter med indbygget vægt (præcision 0,1 kg). Forsøgene blev gentaget fem gange.

Spagnum kunne indeholde godt dobbelt så meget vand som de to øvrige substrater, der begge var domineret af nedknust tegl. I gennemsnit over en uge mistede spagnum således 135 L vand, mens de to substrater domineret af nedknust tegl mistede 55-65 L med en tendens til, at taghavesubstratet kunne holde lidt mere vand end sedumsubstratet. Omtrent ¾ af vandet blev i alle tilfælde mistet i løbet af det første døgn og kan opfattes som et drændomineret vandtab, mens det efterfølgende tab primært tilskrives fordampning. Der var en tendens til, at mest vand blev mistet ved rektangulær konfiguration frem for kubisk, hvilket er i overensstemmelse med, at overfladearealet her er størst (kubisk: 4 m^2/m^3; rektangulær: 6 m^2/m^3). Forskellen var dog ikke voldsom (Figur 20) og noget lavere end forventet, jf. den i Figur 4 beskrevne tøjsnorseffekt. Forklaringen på begrænset fordampning kan dels være brugen af geotekstil, der bremsede vandtabet, dels en forsøgslokalitet med (for) gode læforhold.

Til trods for at spagnum viste sig som det mest vandholdende materiale, og også det letteste rent vægtmæssigt, valgte vi at gå videre med et substrat baseret på nedknust tegl. Begrundelsen herfor var, dels at spagnum er en knap ressource, der indvindes fra sphagnum-moser i bl.a. Finland og Rusland, dels at spagnum er et organisk materiale, og derfor over tid vil falde i sammen i takt med nedbrydningen og efterlade skærmen kun delvist fyldt. Hvis organisk materiale i fremtiden skal kunne anvendes, skal det sikres, at der let kan efterfyldes med materiale. Dette vil også gælde, hvis der skal afprøves andre typer organisk materiale, f.eks. halm, tang eller træflis.

FIGUR 18: Foto af de to typer substrat Malmos benytter ved opbygning af grønne tage og plantebede på dæk. T.v.: “Sedumsubstrat” bestående af nedknust genbrugstegl iblandet en lille smule organisk materiale (kompost); benyttes ved ekstensive grønne tage (“sedumtage”). T.h.: “Taghavesubstrat”, ligeledes bestående af knust tegl, men iblandet en større mængde kompost. Benyttes ved opbygning af taghaver med større planter. I forsøget vist i Figur 19 indgik desuden spagnum.

FIGUR 19: Forsøg med tre substratmuligheder (spagnum, sedumsubstrat og taghavesubstrat), pakket i tekstil-omviklede regnvandskassetter (vist øverst), og placeret fire og fire (vist nederst) i enten bokskonfiguration (t.v.) eller en rektangulær konfiguration (t.h.). Tab af vand efter opvanding til frit vand på overfladen blev registreret over en uge ved brug af pallevægt.



FIGUR 20: Vægt af forskellige substrater placeret i enten boks (B) eller rektangulær (T for tower) konfiguration efter opvanding. Gennemsnit af fem forsøg. Soily = taghavesubstrat. Stony = sedumsubstrat.

Forsøg med bokse i form af specialbyggede gabioner

Ideen med en Grøn Klimaskærm baseret på stablede bokse (Figur 16) blev testet et skridt videre brug af gabioner. Gabioner er metaltrådskurve, typisk fyldt med grusmaterialer eller byggeaffald, der bruges til stabilisering af skrænter. Projektet købte fire gabioner, med målene 0,5 m x 0,5 m x 1 m og maskevidde 10 cm. Desuden blev der indkøbt fire forskellige typer grønne tagmåtter fra Nykilde, som blev klippet i passende stykker. Gabionerne blev vendt på hovedet og måttestykkerne bakset ind i gabionerne, så kun bundpladen og den ene gavl blev friholdt. Plantemåtten blev fastholdt med et tyndt plastnet med maskevidde 0,5 cm. Hver gabion blev opdelt på langs ved hjælp af en lodretstående 10 cm bred grodan-måtte (vandsugende mineraluld fra Rockwool), og fyldt med sedum-substrat i det ene rum og taghavesubstrat i det andet

rum. Efter lukning med bundplade blev gabionen placeret på en palle i et uopvarmet væksthus, hvor de blev vandet over de næste par måneder, og udviklingen fulgt. Forsøget er illustreret i Figur 21.

Selv om de fire gabioner tog sig godt ud umiddelbart efter tilplantning, opstod der over tid problemer med udskylning af substrat, og vegetation der mistrivedes, især på de lodrette sider (Se indsat lille foto i Figur 21, midt). Desuden kunne der ikke anvises en god løsning for stabling af gabioner til en relevant højde, f.eks. 3 m. Hertil ville et støtte-skelet være nødvendigt, og den økonomiske fordel ved simpel stabling af bokse ville da ikke være mulig.

FIGUR 21: Forsøg med bokse i form af begrønnede gabioner. Øverst, fra venstre: Tom gabion, 10 cm grodanplade, princip for pakning. Midt: De fire gabioner efter pakning. Alle er pakket med taghavesubstrat til venstre for mineraluldsvæggen og sedumsubstrat til højre. Mineralulden fungerer som vandfordeler og reservoir. Indsat billede viser en af gabionerne efter nogle måneders vækst. Nederst: Zoom på de fire vegetationstyper: yderst til højre ses ren sedum, de tre øvrige består af sedum iblandet græsser og stauder.

6.2.2.2 Forsøg med A-stillede skærme

Med inspiration fra en projektworkshop opførte Malmos på eget initiativ et bud på en A-skærm (Figur 22), forsynet med tagvand fra en af deres bygninger. Her blev forskellige stauder og græsser monteret enten som plug-planter direkte i substratet, eller i selvstændige potter ophængt på rionettet. Til fordeling af vand i substratet benyttedes en vandsugende geotekstil (vattex). Malmos bød i øvrigt ind med en række erfaringer fra etablering af planter på vandrette og lodrette hårde overflader, og gjorde opmærksom på de ekstreme vilkår, der ofte gælder. Udfordringer med frost-tø om foråret, hvor substratet kan være frosset samtidig med at indstrålingen sætter væksten i gang, og planten som konsekvens dør af tørst, blev fremhævet. Tilsvarende kan saltsprøjt fra vejenes vintervedligeholdelse skade planter på dæk ekstra hårdt, fordi hele planten står over jorden. Der kan også være udfordringer med sætning af substrat, hvilket også blev observeret for den A-stillede skærm (Figur 22, lille foto). Endelig kan der være udfordringer med brug af geotekstil, der både kan bruges af mus og fugle som redemateriale, og antændes af ukrudtsbrændere. Men der er også rigtig meget der kan lade sig gøre, hvis der vælges fornuftige materialer, planter og mulighed for vanding (se resumé af studietur med Malmos i Bilag 4 “Inspiration”).

FIGUR 22: A-stillet skærm opført som forsøg ved Malmos. Lille foto viser udfordringen med, at substratet sætter sig.

I erkendelse af den udbredte brug af rionet i byggebranchen, og de gode muligheder for at bukke store stykker rionet, blev der arbejdet videre i retning af en selv-støttende skærm, bestående af bukket rionet som vist i Figur 23. Denne ide blev taget forholdsvist langt og førte til en mock-up udført af Lemvig-Müller og testet i en vækstsæson (Figur 23). Ideerne knyttet hertil er uddybet i Bilag 5 “Rionet”).

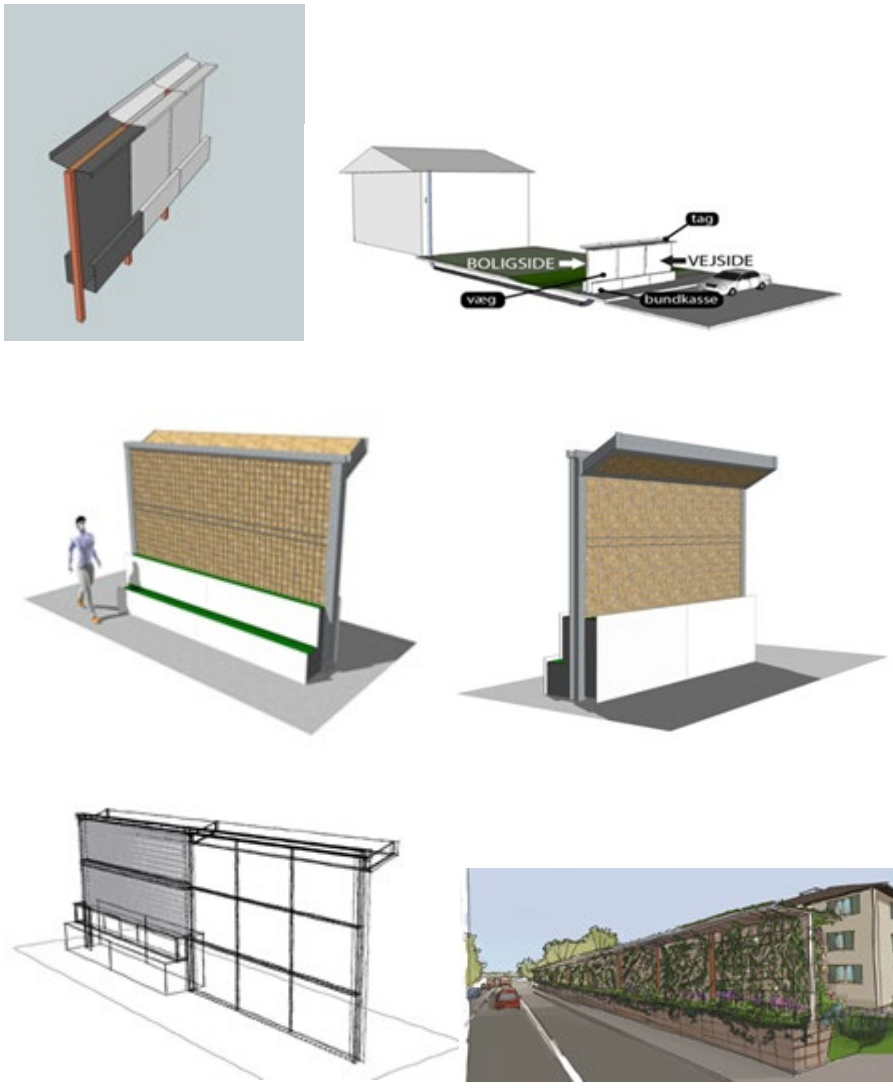
FIGUR 23: Rionet som selvbærende konstruktion, sammensat af to stykker bukket rionet, placeret 'ryg mod ryg', med plads til substrat i såvel en bundkasse for neden, som i et støj- og vandabsorberende mellemrum mellem de to net. Øverst ses første stregtegning af ide, foto fra besøg hos Lemvig-Müller med bukkemaskine, og de to bukkede net som leveret. Nederst ses samme mock-up, forfra og fra siden, efter tilplantning. Her er kokosmåtte benyttet til at holde substrat på plads.

Der blev som nævnt ikke arbejdet videre med hverken A-stillede skærme eller bukkede rionet. Det væsentligste argument imod var vanskeligheder med at få konstruktionen til at fungere i 3 meters højde. Begge elementer synes dog, ligesom gabion-boksene beskrevet ovenfor, at rumme et potentiale for videreudvikling til anvendelse i mindre skala, eksempelvis som dyrknings-elementer, med eller uden kobling til regnafstrømning.

6.2.2.3 Forsøg med stolpe-baseret konstruktion samt videre analyser

Efter udelukkelse af levende planter, stablede bokse, A-stillede skærme og bukkede rionet som udgangspunkt for konstruktion af Grøn Klimaskærm blev det besluttet at arbejde videre med en konstruktion baseret på stolper. Dermed kom princippet for designet tæt på en konventionel støjskærm, men med tilføjelse af grønt-tag element ud mod støjkilden, samt bundkasse for etablering af planter. Detaljering af et stolpe-baseret design forløb i mange loops,

med samtidige drøftelser om valg af materialer (afsnit 6.2.3), og forankring af stolper. Eksempler på design-overvejelser, der førte til første mock-up af et enkelt modul, er resumeret i Figur 24, med foto af mock-up i Figur 25.



FIGUR 24: Det endelige Grøn Klimaskærm-design kom til at bestå af et tag-element, et væg-element og en bundkasse. Skærmen har en vejside (yderside) og en boligside (inderside). Ved kombination af flere moduler kan hver enkelt ejendom udstyres med Grøn Klimaskærm, med adgang til fortov via sluser. Med beplantning kan skærmen sikres et imødekommende udseende.

FIGUR 25: Rionet-baseret mock-up placeret ved 3B-Folehavens vaskeri i 2015.

Adgang og tryghed

Dialogen med Københavns Kommune i forbindelse med ansøgning om byggetilladelse førte til, at forskellige aspekter omkring adgangsforhold og tryghed blev diskuteret. Adgangsmæssigt blev der udviklet en løsning, så alle eksisterende stiforbindelser fra 3B-ejendomme til Folehaven kunne fastholdes, uden at der opstod et støj-hul. Svaret blev en form for lydsluse, bestående af dobbeltskærme (Figur 26, se også Figur 46). For at øge trygheden omkring Grøn Klimaskærm, blev mulighed for belysning omkring adgangsforhold undersøgt, ligesom også mulighed for at kunne kigge igennem skærmen. Illustrationer fra disse drøftelser er gengivet i Figur 26. I sidste ende blev der kun opført en skærm ud for en enkelt ejendom. I stedet for en lydsluse, har skærmen fået en hestesko-facon, der ikke omfatter sti-adgangene til Folehaven. Ved brug af vinduer på udvalgte steder i skærmen er trygheden øget. Hverken dobbeltskærme som lydsluser eller særlig belysning er derfor udviklet yderligere.

FIGUR 26: Adgang gennem skærm via lydsluser og tryghed via gennemsigtige elementer og belysning. Øverst og midt: Åbninger i Grøn Klimaskærm, der giver en for beboerne tryg adgang til Folehaven, ved brug af glas/ gennemsigtige elementer, og som samtidig forhindrer, at der opstår et hul i støjværnet. Set fra Folehaven og indefra. Nederst ses et forslag til hvordan skærmen og særligt åbningerne i skærmen kan markeres med lys.

Efter afprøvning af mock-up (Figur 25) fortsatte udviklingen af dette spor, og en leverandør af stål- og rionetbaserede støjskærme blev kontaktet for tilpasning af deres produkt til Grøn Klimaskærm. Efter involvering af Pilebyg blev så meget som muligt af de bærende stålkonstruktioner imidlertid udskiftet med træ. Samtidig blev der arbejdet videre på en konkret tilpasning af

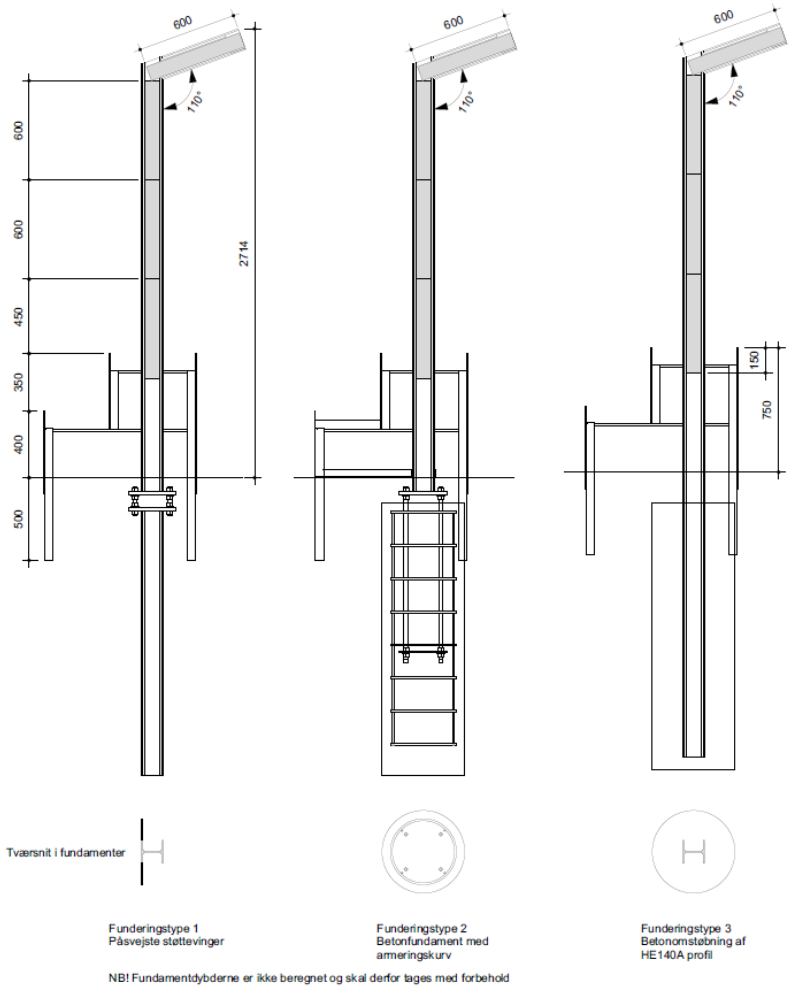
Folehaveskærmen. Dette resulterede i udviklingen af tre moduler, som vist i Figur 28. Alle tre moduler er forsynet med bundkasse. Basismodulet består derudover kun af væg-elementet i form af mineraluld imellem pile-elementer. Dette afsluttes foroven med trekantet dækbræt. Afstand mellem stolper er 1,54 m (C-C mål). Grønt-tagmodulet har dobbeltbredde (3,08 m) og er forberedt til montering af 3 m lang tag-kassette. Grønt-tagmodulet afsluttes med dækbræt. Glasmodulet er identisk med basismodulet, men væggen består af glas. Dette modul kan bruges som tilpasningsmodul, da bredden let kan justeres, idet glasset alligevel skal bestilles efter mål. Udover de her viste moduler, blev et modul uden bundkasse overvejet, dvs. et modul hvor pile-afskærmningen går til jorden. Efterfølgende blev der opbygget endnu en mock-up med de nu udvalgte materialer (Figur 29). Denne mock-up er meget tæt på den endelige konstruktion i Folehaven, som beskrevet i 6.3.

FIGUR 28: Ud fra ideen om industriel-fremstilling blev der udviklet tre moduler for opbygning af Grøn Klimaskærm. Fra venstre: Basis-modul (1,54 m bredt), modul beregnet til grønt tag (3,08 m bredt), glas-modul (1,54 m bredt).

FIGUR 29: Mock-up af grønt-tags modul (Figur 28) udført i træ. Uden bundkasse. Øverst t.v.: Mock-up under konstruktion. Øverst, t.h.: zoom på underside af tag-kassette, der er beklædt med pilestokke. Nederst: Den færdige mock-up placeret udendørs.

Forankring af stolper

Forskellige metoder til forankring af de bærende stolper blev overvejet. Disse er illustreret i Figur 30. I sidste ende valgte Aarsleff at nedramme præfabrikerede betonstolper, med efterfølgende montering af stolpebeslag i toppen.



FIGUR 30: Overvejelser omkring metoder til fundering af stolper. Fra venstre: Påsvejste stålvinger; Betonfundament med armeringskurv; Betonomstøbning af HE 140A stålprofil.

Vandføringssystem

Parallelt med udvikling af stolpebaserede moduler blev vandføringssystemet testet. Selve princippet er illustreret i Figur 31. Udviklingsmæssigt handlede det især om at identificere den nødvendige overhøjde på overgangsstykket på husmuren, så vandet kan presses helt over i skærmen til trods for løftehøjde og afstand. Derudover handlede det om at sikre en fornuftig fordeling af vandet i selve skærmen. Begge dele blev testet i laboratoriet hos TI. Se yderligere i Bilag 6 “Vandfordeling”.

FIGUR 31: Illustration af vandføringsprincippet i Folehaveskærmen. I ca. 4 m højde gribes tagvandet i et overgangsstykke monteret i tagnedløbet og føres via trykslange under sti og grønt areal og op i toppen af Grøn Klimaskærm, hvor det slippes i en vandretløbende, perforereret fordelerrende, der tillader vandet at pible ud på undersiden. Herfra opsuges det i mineralulden, hvorfra det fordamper. Vand der ikke kan tilbageholdes i mineralulden opsamles i første omgang i bundkassen, hvorfra det kan fordampe eller infiltrere. I tilfælde af ekstrem-nedbør (forventet T > 5 år) dirigeres overskydende vand til grønt areal, der da omdannes til overjordisk bassin vha. lav terrænvold.

6.2.3 Valg af materialer til bærende konstruktioner

Valg af materialer handler først og fremmest om at identificere materialer, der muliggør den ønskede skærmkonstruktion med tilpas styrke og levetid. Derudover handler det om pris, CO_2-aftryk, materialitet i forhold til æstetik, m.v. Her resumeres overvejelser omkring de forskellige materialer, der har været inde i billedet. Vegetation, vækstsubstrat og vand-magasin beskrives i andre afsnit.

6.2.3.1 Træ

I forlængelse af overvejelserne om at bruge levende planter som konstruktionsmateriale undersøgte vi muligheden for at anvende træ. Træ er et interessant materiale, da det har et lavt CO_2-aftryk og fremstår indbydende sammenlignet med stål, plast og beton. Styrkemæssigt kan træ konkurrere med andre materialer, f.eks. stål, men det kræver en betydeligt større dimension. Disse egenskaber blev bekræftet af professor Andreas Bergstedt fra Skovskolen, der dog samtidig frarådede brugen af træ til elementer beregnet til håndtering af regnafstrømning på grund af for stor risiko for råd.

Senere i projektforløbet blev vi opmærksomme på, at PileByg A/S leverer CE-mærkede støjskærme baseret på træ med en forventet levetid på mindst 37 år. Disse skærme opstilles bl.a. langs motorveje. Det betød, at træ igen blev overvejet og i sidste ende valgt som det primære materiale i kombination med stål-beslag, se yderligere i afsnit 6.3.

PileBygs skærme er baseret på robinie (Robinie pseudoacacie) som bærende stolper, mineraluld som støjabsorberende materiale, og pilestokke som beklædning af for- og bagside. Beklædningen har dels en æstetisk funktion, dels beskytter den mineralulden mod blæst og 'angreb' fra fugle og mus, der kan bruge ulden til redebygning. Robinie er en ekstrem hård træsort med stor modstandsdygtighed over for rådsvampe. I forhold til pilestokkenes levetid er en afgørende konstruktionsdetalje, at pilestokkene ikke må have permanent jordkontakt, for så længe stokkene kan tørre op efter regn, kan rådsvampe ikke etablere sig. Derudover er det en fordel, at stokkene har betydelig diameter, og at de dækkes af beplantning, så direkte solindstråling begrænses.

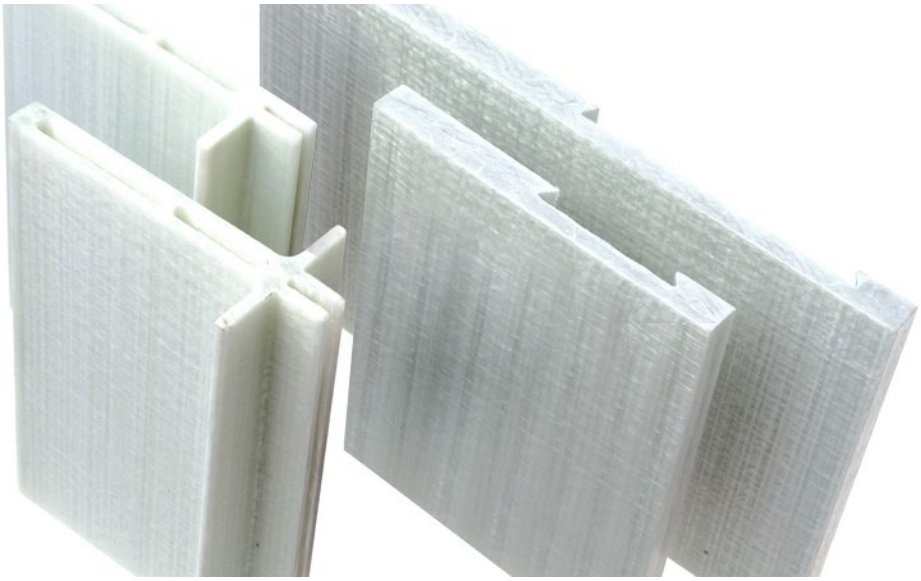
Som beskrevet ovenfor blev stål og rionet overvejet som de primære materialer langt hen i processen, inklusive i ansøgningen om byggetilladelse til Københavns Kommune. Et besøg på en byggeplads i Sydsverige, hvor en PileByg støjskærm var under opførelse, var afgørende for beslutningen om at konvertere hele konstruktionen til en så vidt muligt træ-baseret konstruktion (Figur 32 og 33).

FIGUR 32: Stål versus træ som konstruktionsmateriale. T.v.: Eksempel på en stål- og rionet baseret støjskærm. T.h.: PileByg støjskærm, baseret på træ, under opførelse.

FIGUR 33: T.v.: Forankring af stolper (støbning i armeringskurv) ved traditionel PileByg støjskærm. T.h.: Et ældre stræk af samme støjskærm som vist i Figur 32.

6.2.3.2 Glasfiber

Glasfiber blev overvejet i samarbejde med producenten Fiberline. Fordelene ved glasfiber er høj styrke i kombination med lav vægt sammenlignet med stål og beton. Produktet fremstilles i flere farver og med enten glat eller ru overflade. Fremstillingen er baseret på ekstrudering, og de resulterende elementer er derfor generelt aflange. Udfordringen med glasfiber-produkter er, at konstruktionen skal baseres på standardkomponenter (Figur 34), idet specialelementer er dyre at fremstille. Det ville lægge store bindinger på skærmens udformning.



FIGUR 34: Eksempler på glasfiber-elementer (fra Fiberline).

6.2.3.3 Beton, fiberbeton og granit

Ved en workshop med Betoncentret på Teknologisk Institut blev mulige betonløsninger diskuteret i forhold til Grøn Klimaskærm. Ønsket om en let konstruktion med mulighed for fordampning viste sig hurtigt vanskeligt at forene med beton.

Workshoppen førte dog til en ide om at skabe bundkassen (plantekassen nederst) ved brug af fiberbeton som plader (Figur 35). Der fulgte derfor et afklarende forløb med BB Fiberbeton. Dette firma kan levere tynde fiberbetonplade med stor styrke, der eksempelvis benyttes som bundplade i altaner. Der er også mulighed for at få en graffiti-afvisende plade. Det viste sig dog er der er en udfordring ved at bruge fiberbeton i fugtigt miljø, da pladerne kan suge vand, og derfor risikerer at sprække, ligesom materiale fra vækstsubstratet kan vandre igennem og sætte sig som belægninger på ydersiden. At undgå dette ville kræve en fugtspærre mellem bundkassens substrat og fiberbetonpladerne. Denne nødvendige ekstrakonstruktion gjorde, at prisen for bundkassen ville blive for høj, og BB fiberbetons produkter måtte derfor droppes.

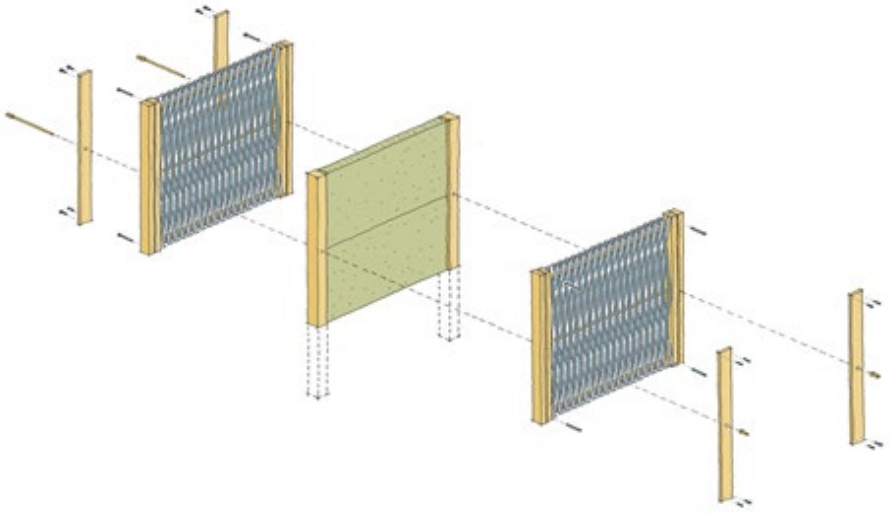
På et tidspunkt blev også granit overvejet som muligt materiale for opbygning af bundkassen. Granit har lang holdbarhed og er et smukt materiale og ville kunne støbes fast i jorden direkte uden kobling til stolperne i skærmen. Dog ligger CO_2-aftryk og pris er i den høje ende, ligesom der kan være noget praktisk ved at have et skærm-design, hvor alle elementer (tagkassette, væg og bundkasse) er båret af stolperne, og dermed uafhængig af lokale forhold.

FIGUR 35: Fiberbeton anvendt som facadebeklædning.

6.2.4 Valg af materiale til vandmagasin

Skærmen skal rumme et magasin til opbevaring af regnafstrømning indtil fordampning. I idefasen blev forskellige muligheder overvejet, bl.a. indbyggede kamre eller gennemløbende rør (afsnit 6.2.1). For at maksimere kontakten mellem magasin og fordampningsoverflade blev det besluttet at arbejde videre med et vand-absorberende materiale, monteret som plader mellem stolperne. Organiske materialer som spagnum, tang, halm, papir og træflis blev overvejet, men for at sikre lang levetid og fast form blev en vandsugende mineraluld valgt i form af grodan-plader fra Rockwool.

Grodan benyttes i væksthuse som dyrkningsmedie ved produktion af f.eks. tomater og agurker. Det er et letvægtsmateriale med stor porøsitet (>95 %). Fremstilling af mineraluld har et stort CO_2-aftryk, da stenmaterialer skal smeltes og smeltemassen blæses til fibre. Til gengæld er levetiden ekstrem lang, hvis ulden ikke udsættes for mekanisk ødelæggende kræfter, idet nedbrydningen da kun kan ske i form af forvitring. Om CO_2-aftrykket kan forsvares, vil derfor afhænge af skærmens levetid. Mineraluld har samtidig den fordel at det er effektivt i forhold til støj-absorption, og er et ofte benyttet materiale i støjskærme, bl.a. også PileBygs støjskærme (Figur 36).



FIGUR 36: Illustration af mineraluld placeret som fyld i støjskærme (fra PileByg). Hvis der benyttes vandsugende mineraluld kan skærmens dobbeltfunktion som støjskærm og LAR-element opfyldes.

6.2.5 Overvejelser omkring vegetation

De første ideskitser (6.2.2) viser tydeligt at vegetation helt fra start har været tænkt som en central del af Grøn Klimaskærm, og på et tidspunkt, blev det ligefrem overvejet om skærmen kunne bygges af levende materialer. Hensyn til støjfunktion, statik og industriel fremstilling har dog som allerede nævnt umuliggjort dette. Vegetation spiller fortsat en rolle for Grøn Klimaskærm i forhold til følgende funktioner:

1. Æstetik. Uanset hvilke materialer skærmen opbygges af - det være sig stål, fiberbeton eller træ - kan vegetation gøre udtrykket mere imødekommende. Selv ved valget af træ, og dermed pilestokke, som det dominerende udtryk, er vegetationen afgørende for variation i udtrykket og dynamik gennem året.
2. Optørring. Selv om vandhåndteringen (op til T=5 år) er baseret på fordampning fra skærmen og nedsivning under skærmen (se afsnit 6.3) bidrager vegetationen til optørring efter regn, og forebygger dannelse af højtstående sekundært grundvandsspejl. Transpiration fra vegetation vil aldrig kunne udgøre den primære hydrauliske mekanisme, idet vækstsæsonen fra ca. 1 april til 1.november ikke lapper fuldt over med perioden for regnafstrømning, der som bekendt kan være året rundt.
3. Biodiversitet. En Grøn Klimaskærm dækket af vegetation er et mere værdifuldt habitat end en nøgen skærm. Selv en simpel beplantning med efeu kan efter nogle år udgøre et økologisk set interessant habitat (Figur 37). Hvis man ovenikøbet vælger vegetation, der fremmer en ønsket flora og fauna, kan værdien maksimeres.
4. Køling. Med en vegetationsdækket Grøn Klimaskærm kan der skabes et svalt hjørne eller en kølig plads, der kan gøre hedebølger og høj varme mere udholdelig. Mekanismen er, udover skyggevirkning, at planter via deres transpiration omdanner mærkbar varme til vanddamp (sensibel varme omdannes til latent varme). Forudsætningen er, at vegetationens rødder har adgang til vand. Jo mere biomasse, desto køligere, alt andet lige (Figur 37).
5. Luftkvalitet. Med en vegetationsdækket skærm er der større chance for, at partikulær forurening fanges og fikseres. Det er også muligt, at visse forureninger på gasform kan optages i biomassen; virkningsgraden er dog generelt dårligt belyst i litteraturen.
6. Skærmens levetid. Med et tæt vegetationsdække beskyttes skærmens bærende konstruktioner for direkte solindstråling, regn og blæst, hvilket forlænger levetiden.

FIGUR 37: T.v.: Et kig ind i en ca. 30 år gammel støjskærm bevokset med efeu. Dybden er omkring 0,5 m og udgør et hvile- og skjulested for fugle m.v. Foto: PileByg. T.h.: Vegetation kan bidrage til lokal køling gennem transpiration.

6.2.5.1 Etablering af vegetation

Selv om der efterhånden findes mange eksempler på vertikale, vegetationsdækkede flader i byen, herunder støjskærme (se Bilag 4 “Inspiration”), hvor planterne har deres rødder i et vækstmedium indbygget i selve den vertikale flade, er det ikke løsninger, der umiddelbart kan overføres til Grøn Klimaskærm. For det første er der ingen af løsningerne, der samtidig kan håndtere store nedbørsmængder, eksempelvis en 5-årshændelse. Hvis systemet er koblet til tagvand, er det således kun for vanding af planterne, for når magasinet er fyldt op, drænes overskydende vand af. For det andet er systemerne ofte ret plejekrævende; dels er der behov for vanding, dels skal der påregnes betydelig udskiftning af planterne, da mange går til under de mere ekstreme forhold og udsatte positioner planter, der vokser direkte på en vertikal flade, er eksponeret til.

Disse betragtninger blev bekræftet ved en workshop med partnere, samt planteforskere fra KU og Sveriges Landbrugsuniversitet, Alnarp, m.fl. (Bilag 7 “Planteworkshop”). Her blev der til gengæld brain-stormet på egnede arter til såvel bundkasse, som grønt tag og grønt areal mellem skærm og bygning. Et par af de arter, der blev peget på, er Hedera helix ’Buttercup’ og Rosa helena ’Lykkefund, Figur 38. På baggrund af input fra workshops og efterfølgende snak med Malmos blev den endelige planteplan for Folehave-casen udarbejdet.

FIGUR 38: Foto af to slyngplanter, der er benyttet i Folehaveskærmen. T.v.: Slyngplanten Hedera helix ’Buttercup’. Selv på en gråvejrsdag lyser denne gulløvede variant af storbladet efeu op. Arten blev foreslået af KU’s campusgartner, Lars Birck, der også sørgede for at tage stiklinger, så flere hundrede nye planter kunne leveres til Grøn Klimaskærm Folehaven. T.h.: Rosa helena ’Lykkefund’, der er en robust og rigtblomstrende slyngrose, foreslået af docent Karin Larsson fra Sveriges Landbrugsuniversitet (Foto: Asperupgaard).

Efterfølgende har PhD-studerende Emilia Danuata Lausen gennemført forsøg i KU's vækst-huse med udvalgte stauder (Figur 39), der forventes at kunne trives under de barske forhold på en lodretstående mineraluldsvæg, og udsat dem for op til 6 ugers tørke med henblik på identifikation af arter, der kan klare sig uden vanding, og dermed være velegnet som del af vertikale LAR-elementer. Resulater herfra kan indbygges i fremtidige skærmdesign.

FIGUR 39: Foto af PhD-studerende Emilia Danuta Lausens væksthus-forsøg med udvælgelse af tørketolerante stauder, egnet til etablering i lodretstående mineraluld. Resultaterne afrap-porteres i hendes PhD-afhandling.

6.2.5.2 Design af beplantning i bundkasse

Med beslutningen om kun at etablere beplantning i et substrat i bundkassen (med kontakt til jorden nedenunder) er det oplagt at pege på slyngplanter som central vækstform. Slyngplanter er slanke vækster, der kan kravle højt op, og som også har dybtgående rødder, og dermed vil kunne forsyne sig selv med vand i det tilfælde, at bundkassen er udtørret. Slyngplanter har tendens til at blive bare i bunden, og det er derfor en god ide at indplante opretstående græs-ser, stauder og små buske imellem slyngplanterne. For samtidig at få noget grønt i bunden, og også gerne noget, der hænger ud over plantekassen, er det også relevant at udvælge bund-dækkende planter og planter med overhængende vækst. For dynamik og farver er løg og knolde også en god ide.

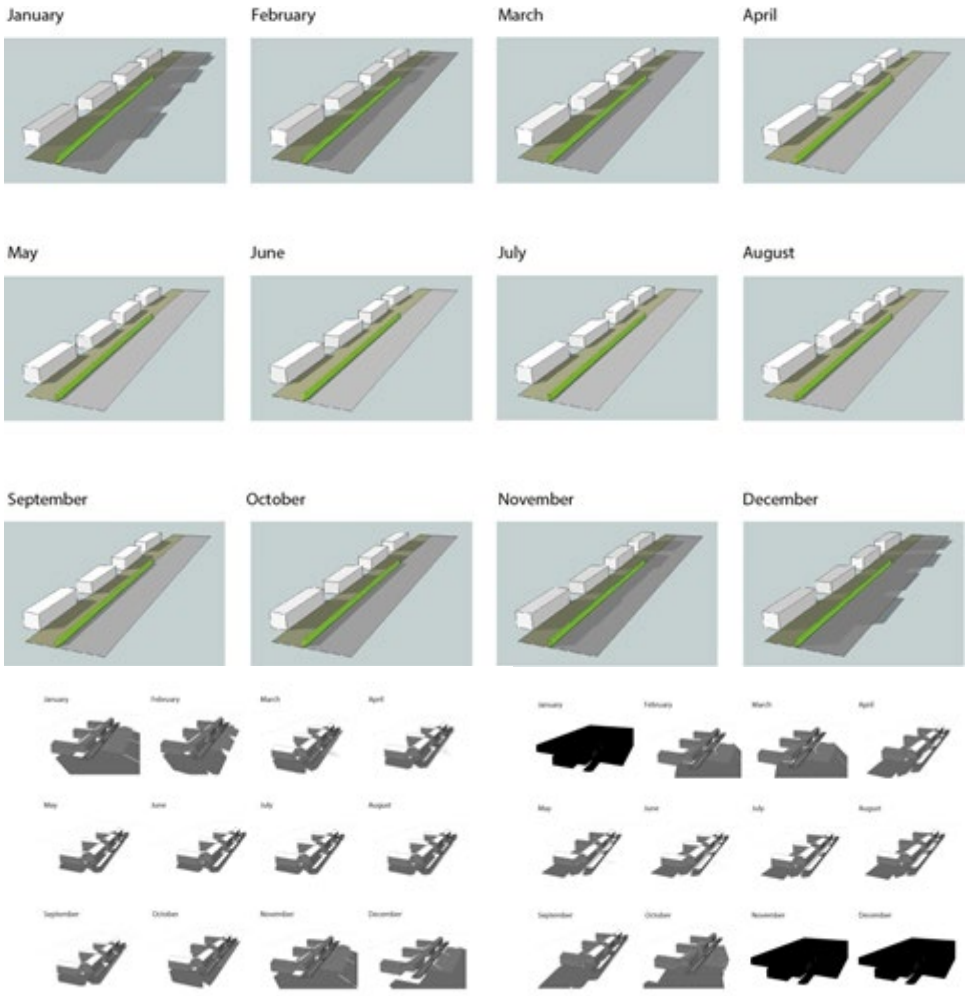
Yderside versus inderside

Grøn Klimaskærm har en yderside og en inderside. Ved møde med beboere fra 3B-Folehaven (Se afsnit 6.3) blev det understreget at Grøn Klimaskærms udseende ud mod Folehaven skal præsentere sig pænt, så man kan være stolt over det sted man bor. Det skal først og frem-mest se roligt ud, men der må også gerne være nogle smukke blomstrende planter ind imel-lem.

På indersiden er bundkassen opdelt i to terrasser. Derved kan der skabes en lidt bredere be-plantning og samtidig bevirker bundkassen at skærmen virker mindre høj. Den nedre terrasse kan desuden let omdannes til en bænk.

Vækstvilkår

Vækstvilkårene på yder- og indersiden af skærmen forventes at være ret forskellige, med generelt barskere vilkår på ydersiden, hvad angår vind og saltpåvirkning. På indersiden er der mere læ og mindre saltpåvirkning. På begge sider er planterne ekstra udsat for frost og tørke, fordi en stor del af rodmassen befinder sig i vækstsubstratet, og vækstpunkterne dermed ligger mere udsat, end hvis der var tale om jordfaste vækster. I forhold til solindstråling løber Grøn Klimaskærm i Folehaven stort set øst-vest. Dermed vender ydersiden mod nord, og planterne står i skygge, mens indersiden vender mod syd og vegetationen dermed skal kunne tåle direkte solindstråling og store temperatursving. Lysforholdene fremgår af skyggediagrammerne vist i Figur 40. Af driftshensyn bør der vælges robuste arter, der kan tåle hårdhændet tilbageklipning med års mellemrum.



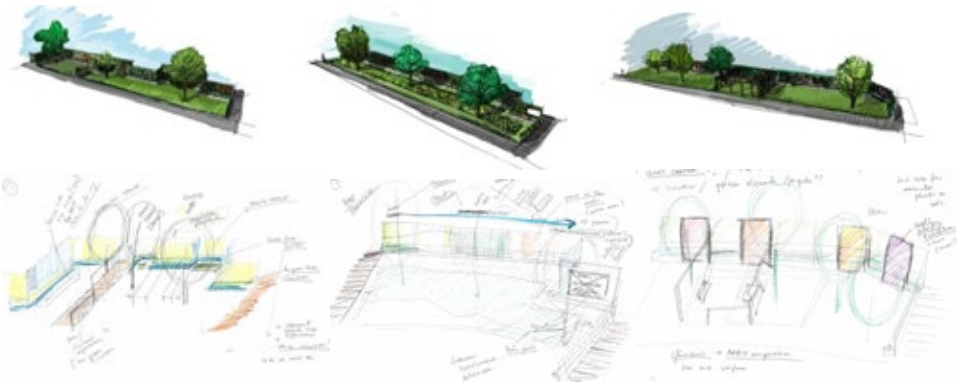
FIGUR 40: Skyggediagram for Grøn Klimaskærm Folehaven henover årets 12 måneder. Øverst (skærm markeret med grøn): midt på dagen (kl. 12), hvor der er sol på indersiden af skærmen april-september, og yderside maj august; nederst t.v.: kl. 15, nederst til højre kl. 17.

6.2.5.3 Principper for overordnet design

Et forslag til et design for en beplantning mod Folehaven, dvs. den side forbipasserende møder, er vist i Figur 41. Her er der lagt vægt på et roligt udtryk mod enderne, og et mere accentueret udtryk midt på, samt en tydelig markering af indgange. Det skal bemærkes, at dette design var tænkt for en forventet ca. 200 m lang skærm ud for tre boligblokke. I sidste ende blev skærmen ca. 80 m lang, svarende til regnafstrømning fra en enkelt ejendom og uden adgang direkte gennem skærmen.

FIGUR 41: Illustration af de tre udtryk skærmens udvendige design oprindelig tænktes opbygget ud fra. Øverst, fra venstre: Første og sidste stræk, bestående af få arter; Midt: Midterstræk bestående af flere arter med et større farvespil; yderst til højre: markante slyngplanter med prangende blomstring til markering af indgange. Nederst er det samlede udtryk vist, med fremhævning af midterstræk, og særligt indgangsparti.

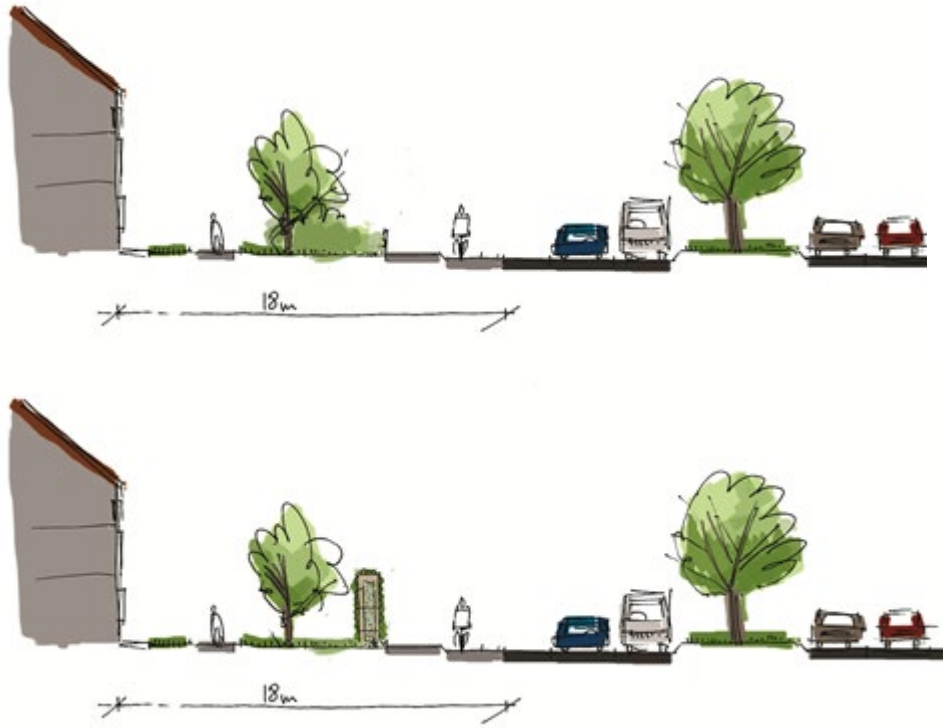
På indersiden er tilsvarende vist et forslag til design i Figur 42. Her er der udarbejdet forslag til tre forskellige have-temaer, nemlig 'Den Spiselige Have', 'Den Biodiverse Have' og 'Den Stille Have', ud for hver af de ejendomme, der på et tidspunkt blev overvejet omfattet af løsningen. Se detaljer i Bilag 8 "Vegetationskoncept".



FIGUR 42: Illustration af de tre temahaver, der på et tidspunkt blev overvejet for indersiden af skærmen. Fra venstre: Den Spiselige Have, Den Biodiverse Have, Den Stille Have.

6.2.6 Aktivering af byens rum

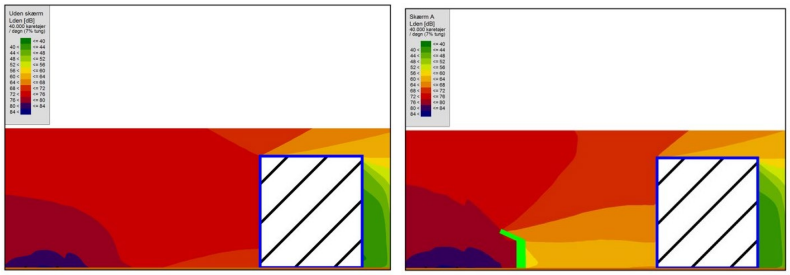
Ved etablering af en støjskærm, med et imødekommende ydre, kan områder, der før henlå som ubrugelige restarealer på grund af støj og utryghed, omdannes til rare opholdsrum. Hvilket areal, der kan komme i spil, er i Figur 43 illustreret i tilfældet ved Folehaven, hvor der er vist en før og efter situation.



FIGUR 43: Med etablering af en skærm kan buskadset foran ejendommene ryddes, og arealet aktiveres. Skærmen skaber en bagvæg i haverummet ud mod Folehaven – visuelt, støjmæssigt og fysisk. Trafikken er pludselig langt væk, det er muligt at føre en samtale, og det er trygt for også børn og kæledyr at opholde sig i området. Ved at vælge lav beplantning, opstammede buske og træer og undgå elementer, der spærrer for udsynet, kan hele det indvendige haverum overskues og dermed være trygt.

6.2.7 Simulering af støjreduktion

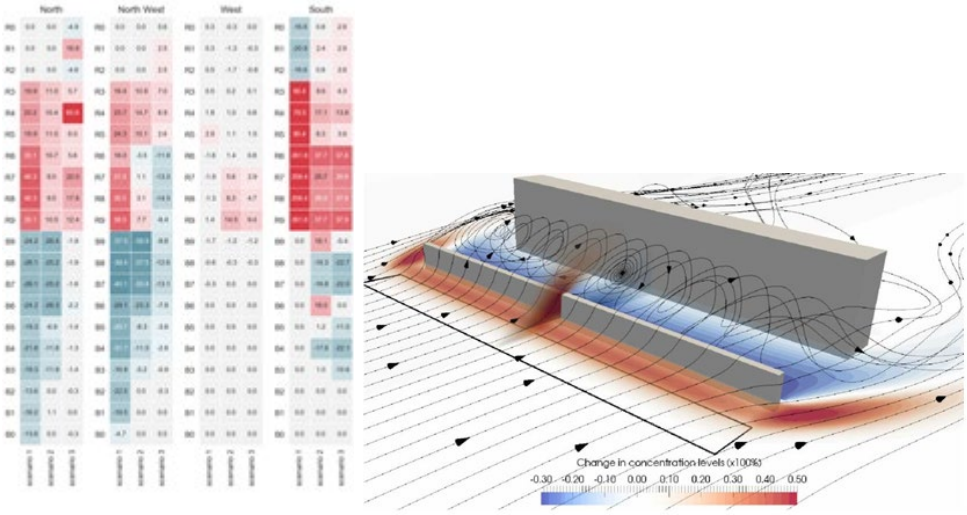
For at få en ide om i hvilken grad en Grøn Klimaskærm ville kunne dæmpe trafikstøjen i haverummet blev Delta hyret til at køre nogle simuleringer med en henholdsvis 3 og 4 m høj skærm (Se Bilag 9 "Støjsimulering"). Hovedresultatet er gengivet i Figur 43. Simuleringerne indikerer, at en 3 m høj skærm med knæk (tagkassette) for oven vil kunne reducere støjniveauet med maksimalt 20 dB fra et niveau omkring 76-80 dB ved fortovet til 56-60 dB på indersiden af skærmen. Dermed havner støjniveauet inden for Miljø- og Fødevareministeriets vejledende grænseværdi for vejtrafikstøj på højst 58 dB for rekreative områder i eller nær byområder (https://mst.dk/luft-stoej/stoej/stoejgraenser/graensevaerdier-vejtrafik/).



FIGUR 43: Resultat af støjsimuleringer, vist i tværsnit for gadeprofil med indadgående trafik (mørkeblåt, svarende til op til 84 dB), 3B-ejendom (skraveret firkant). T.v.: Uden støjskærm. T.h.: Med støjskærm (lys grøn, 3 m høj støjskærm og med tagkassette eller "knæk").

6.2.8 Simulering af luftkvalitet

På samme måde som for støj blev der lavet nogle simuleringer af Grøn Klimaskærms indvirkning på luftkvaliteten på indersiden af skærmen. Hertil blev benyttet CDF-simuleringer. Skærmens påvirkning på vindflow i gadeprofilet med og uden skærm blev sammenlignet, og ud fra en tænkt partikelkoncentration blev forholdene simuleret. Resultatet er vist i Figur 44.



FIGUR 44: Resultat af simuleringer af luftkvalitet, sammenlignet med situationen uden en skærm. T.v.: Relative ændringer i partikel-koncentration ved forskellige vindretninger (fra nord, nordvest, vest og nordvest), der vurderes at være mest kritisk ved Folehaven, som funktion af skærm placeret på linjen B9-R9. På ydersiden af skærmen akkumuleres forureningen (røde farver, over B9-R9-linjen), mens forureningen på indersiden af skærmen i de fleste situationer reduceres (blå farver, under B9-R9-linjen). T.h.: Simulering af luftbevægelser, hvis vinden kommer fra trafiksiden. Til trods for turbulens foran bygningen ser koncentrationerne ud til at være reducerede. Udarbejdet af Diederik de Neef. Ikke publicerede resultater.

6.3 Folehaveskærmen

MUDP-projektet grøn gentagelse har haft til formål at udvikle konceptet for en Grøn Klimaskærm, der kan udgøre en ny multifunktionel klimatilpasningsløsning. I dette afsnit beskrives Grøn Klimaskærm Folehaven, der udgør dokumentationen for, at det udviklede koncept kan lade sig gøre, og som også gør markedsføring af konceptet realistisk.

Først beskrives den fysiske udformning af Folehaveskærmen. Efterfølgende beskrives processen omkring samarbejdet med 3B-Folehaven, herunder beboerinvolvering. I afsnit 7 kigges der fremad.

6.3.1 Præsentation af Grøn Klimaskærm Folehaven

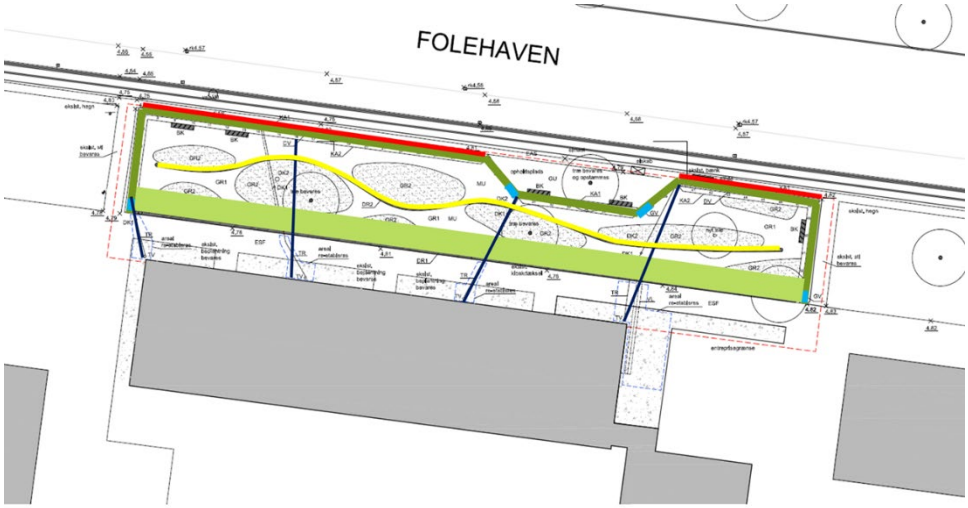
I det følgende gennemgås Folehaveskærmens placering, konstruktion og dimensionering, samt beplantning.

6.3.2 Placering af skærmen

Selv om skærmens teststræk jf. projektbeskrivelsen blot skulle have en længde på mindst 30-60 m, har der tidligt i projektfasen været et ønske om at skærmen skulle strække sig over tre blokke langs Folehaven, nemlig fra Kirsebærhaven til Retortvej med en samlet længde på ca. 200 m, og derved indramme et større sammenhængende grønt areal med adgang til Folehaven via lydsluser (Figur 45, se også Figur 26).

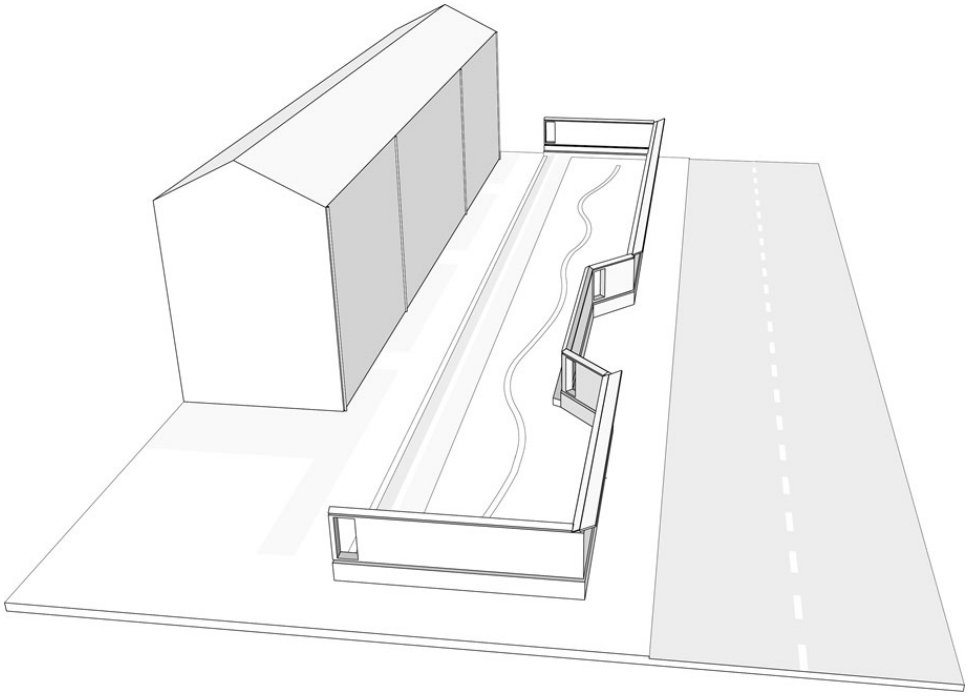
FIGUR 45: Øverst: Orthofoto af de tre 3B-ejendomme langs Folehaven ud for hvilke en ca. 200 m lang Grøn Klimaskærm har været overvejet. Grøn linje markerer skel. Nederst: Illustration af hvordan en sådan skærm kunne se ud, med adgang til Folehaven via lydsluser. I sidste ende blev skærmen kun opført ud for midter-ejendommen.

Efter dialog med Københavns Kommune, hvor der blev udtrykt bekymring om tryghed og barrierevirkning, blev det besluttet at etablere skærmen i en hesteskoform foran en enkelt boligblok (Folehaven 23 – 27). Denne situation er illustreret i Figur 46. I byggetilladelsen fra Københavns Kommune er det samtidig anført, at skærmen skal vurderes efter 5 år. På baggrund af denne vurdering skal Københavns Kommune og Boligforeningen 3B (nu KAB) i fællesskab beslutte om skærmen skal blive stående.



FIGUR 46: Plantegning over området, hvor Grøn Klimaskærm Folehaven er opført, med markering af primære elementer: Mørk grøn = 80 m lang hesteskoformet skærm med indhak (lille plads) ud mod Folehaven. Rød linje = stræk udstyret med grønt tag. Blå felter = vinduer. Bred grøn stribe = lav vold langs grønt areal. Gul slynget stribe = grus-infiltrationsrende. Se Bilag 10 "Situationsplan" for plantegning i fuld opløsning og uden markeringer.

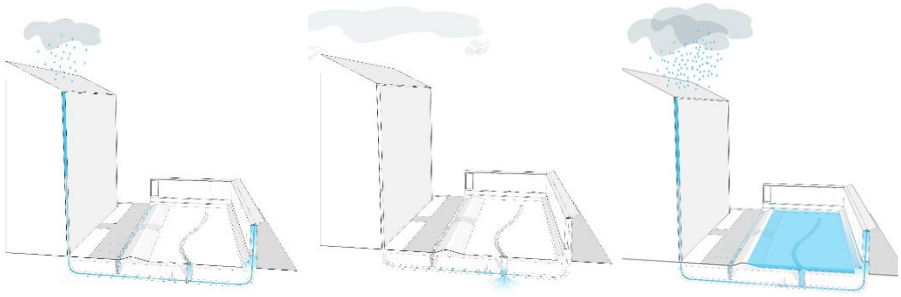
Placeringen af skærmen på 3B's grund langs matrikelgrænsen er visualiseret i 3D i Figur 47. Ved hjælp af glasmoduler i start og slut af skærm kan gående orientere sig om, hvad der er på den anden side af skærmen. Dette mindsker bekymringen for, at nogen kan gemme sig. Der er også etableret glasmoduler på de skrå stræk i indhakket ud mod Folehaven. Formålet er her at skabe en visuel kontakt mellem inder- og yderside, og dermed nedbryde den barriere-virkning, som en 3 m høj skærm ellers kan have. Samme formål har etableringen af den lille plads på ydersiden af indhakket. Her opsættes en bænk, og et eksisterende træ bevares. Det signalerer, at man er velkommen til at sætte sig ned og kigge ind på den anden side.



FIGUR 47: Visualisering af Folehaveskærmens samlede konfiguration. Fra ejendommens fire tagnedløb føres tagvand via trykledning underjordisk til toppen af den ca. 80 m lange og 3 m høje hesteskoformede skærm, hvorfra vandet fordamper og nedsiver. Ekstremnedbør dirigeres til grønt naboareal udstyret med lav vold langs gangsti, der udgør kant i nød-bassin. Slynget rende er 1 m dyb og grusfyldt og skal sikre hurtig tømning i tilfælde af aktivering af bassin. Mod Folehaven har skærmen et indhak, så der opstår en lille plads.

6.3.3 Dimensionering af regvandshåndtering

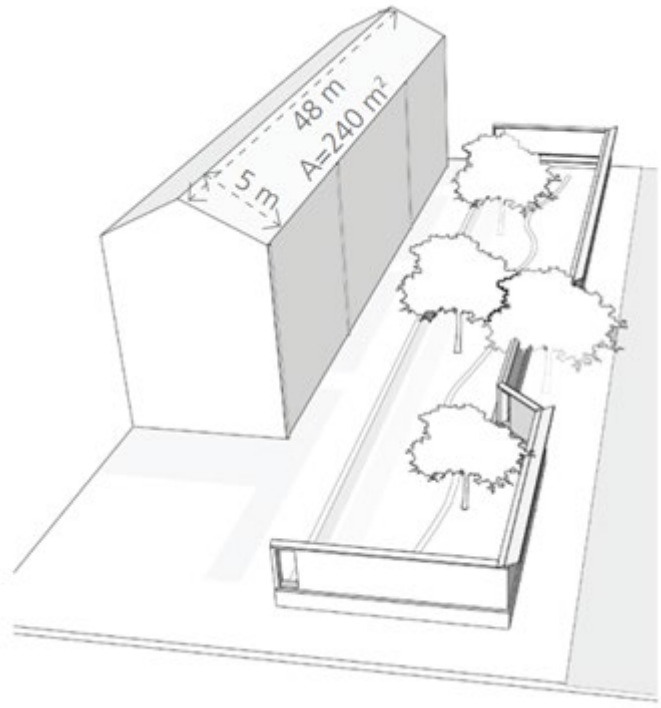
Grøn Klimaskærm Folehaven er dimensioneret til at håndtere "hverdagsregn" op til T = 5 år i selve skærmen, mens ekstremregn (T > 5 år) håndteres i overjordisk bassin. De to situationer er illustreret i Figur 48.



FIGUR 48: Håndtering af regnafstrømning. T.v.: Hverdagsregn (T op til 5 år) håndteres i skærm. Midt: I vinterperioden står drænventil åben. T.h.: Ekstremregn (5 < T < 100 år) håndteres i overløbsbassin, der tømmer via drænrende.

6.3.3.1 Hverdagsregn

Skærmen skal kunne håndtere tagvand fra naboejendomme til T = 5 år (ca. 40 mm) uden overløb og dermed udgøre et fuldgyldigt alternativ til offentlig kloak. Da det aktuelle tag er ca. 5 m dybt, afstrømmer der 200 L vand pr. løbende m tag ved en 5-års hændelse (Figur 49).



FIGUR 49: Regnafstrømning fra 240 m^2 tagareal skal håndteres i 72 m lang og 3 m høj fordampningsaktiv overflade.

Estimat af nødvendigt fordampningsareal
Skærmen skal kunne magasinere afstrømningsvolumenet og sikre, at vandet i løbet af 3 døgn er forsvundet igen, for at skærmen kan stå klar til næste store regn. Hvor meget vand skærmen kan fordampe, er, jævnfør afsnit 6.1.1.1 og Figur 4, svær at forudsige, da der er flere faktorer, der spiller ind. Herunder soleksponering, hyppigste vindretning og vegetationens transpiration. Fordampning sker fra mineralulden placeret bag pileelementerne. Regnes der med 5 mm pr. dag fra hver side af skærmen i sommerperioden, hvor de store nedbør plejer at komme, svarer det til 10 L vand pr. dag pr. m^2 skærm.

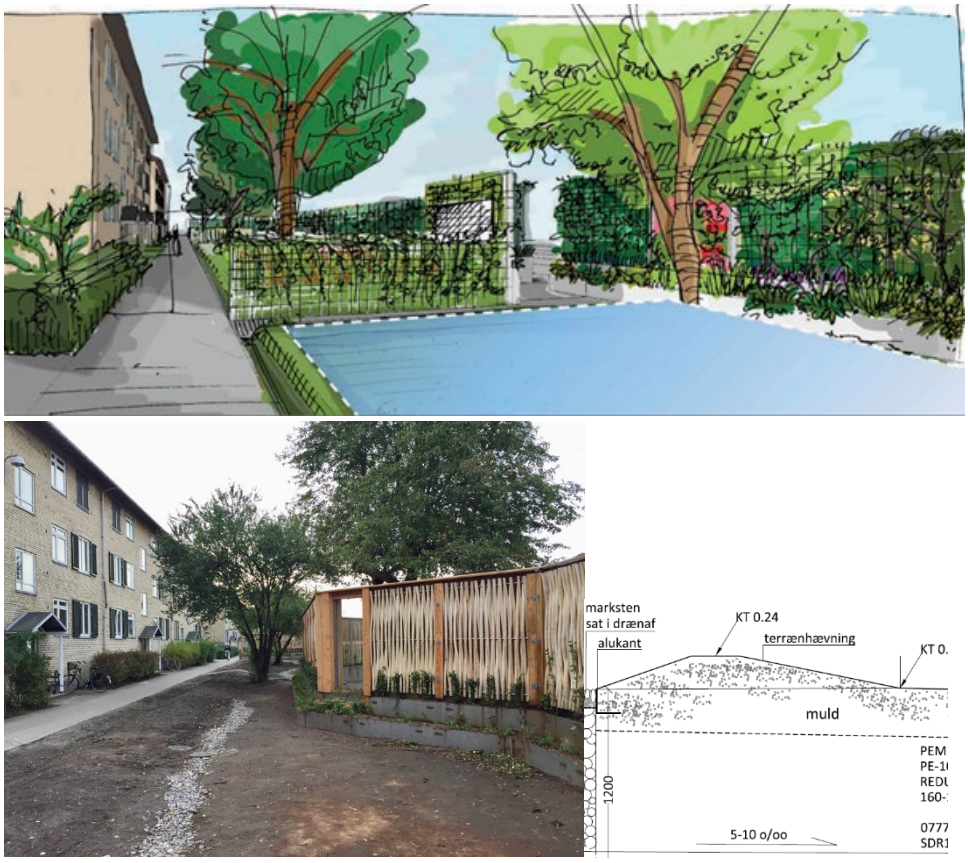
Ejendommen i Folehaven er 48 m lang, så det samlede afstrømningsvolumen ved en 5-års hændelse er 48 m * 200 L/m = 9.600 L. Ved en fordampningsrate på 10 L/m^2 i 3 døgn kræves der i Folehaven 320 m^2 skærm. Da skærmen indeholder nogle glas-partier er de fordampningsaktive stræk 72 m. Hvis vandet alene skulle forsvinde ved fordampning fra skærmen, ville en højde på (320 m^2 : 72 m) 4,4 m være nødvendig. Da der højst ønskes en 3 m høj skærm, er der i Folehaven indskudt en knap 1 m høj og 0,92 m bred bundkasse, der kan rumme overskydende vand og bidrage til fordampning, samt muliggøre infiltration (nedsivning) under bundkassen over længere tid. Baseret på disse overslagsberegninger svarer Folehaveskærmens fordampningskapacitet således snarere til en 20 mm nedbørshændelse, og den fulde 5-års-løsning afhænger derfor også af infiltration.

Estimat af nødvendigt magasin
Volumenmæssigt skal de 9.600 L kunne magasineres i den 72 m lang skærm, hvilket svarer til 133 L pr. løbende m skærm. Skærmens magasinvolumen bestemmes af de vandholdende egenskaber af den indbyggede mineraluld og substratet i bundkassen. Den anvendte mineraluld, er ved forsøg fundet at kunne tilbageholde 289 L pr. løbende m i den indbyggede højde (2 m). Det vil sige langt mere end de krævede 133 L. Bundkassen skal fungere som plantekasse og er derfor fyldt med et vækstsubstrat bestående af knust tegl iblandet kompost (Taghavesubstrat). Bundkassen har tætte sider, og sidepladerne er stukket 10-15 cm ned i jorden, men kassen er åben i bunden, så planterødderne kan forankres i jorden, og infiltration er mulig.

Vand i bundkassen kan således forsvinde ved fordampning fra overfladen, transpiration fra vegetationen, samt nedsivning i jorden under bundkassen. Bundkassen forventes at kunne rumme 70 L pr. løbende m. Det samlede magasinvolumen er således estimeret til (289 L + 70 L) = 359 L, eller ca. 2,5 gange mere end den forventede afstrømning ved en 5-årshændelse på ca. 40 mm.

6.3.3.2 Ekstremnedbør (overløb fra skærm)

I tilfælde af ekstremregn dirigeres overskydende vand fra overkanten af nedre terrasse i bundkassen ind mod det grønne areal mellem ejendom og skærm. Arealet er omkranset af en lav vold (ca. 0,3 m terrænhævning langs arealets periferi), hvilket giver et overjordisk bassin med kapacitet til håndtering af 100-års hændelsen (Figur 50). For at sikre mod stående vand efter ekstremhændelse, er der anlagt en 1 m dyb og 0,2 m bred grusfyldt infiltrationsrende langs arealets midterakse (”drænrende”).



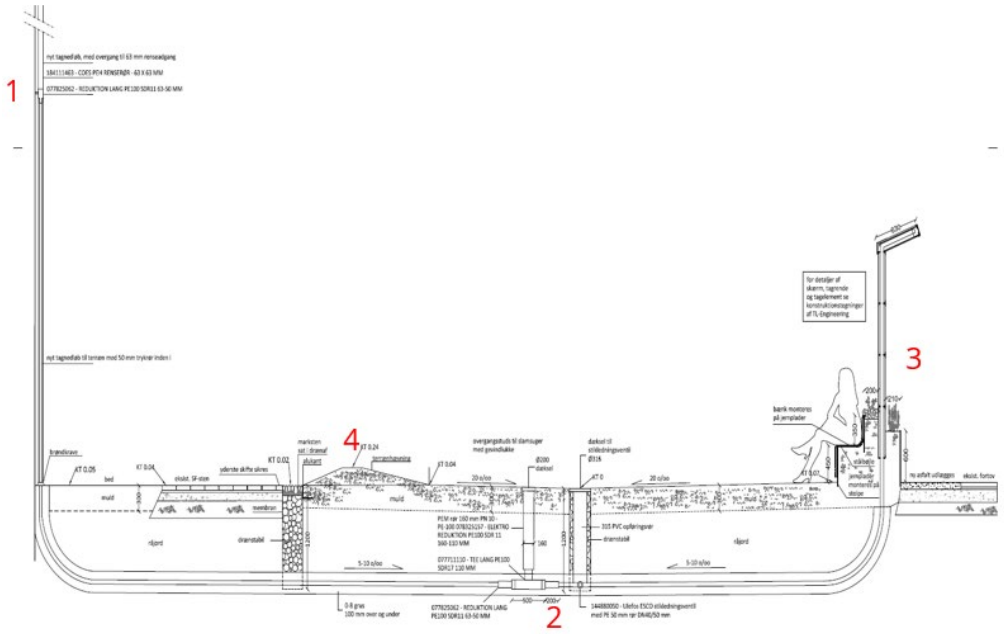
FIGUR 50: Håndtering af ekstremnedbør. Øverst: Alle hændelser op til 5-årsregnen forventes håndteret i det lodretstående element via fordampning og infiltration. Ved større hændelser dirigeres overskydende vand ud på grønt nabo-areal, hvor det stuver op mod bundkasse og en lav vold. Her kan håndteres op til T = 100 år. Nederst, t.v.: Foto efter anlæg. Den lave vold løber langs gangsti. Ved siden af ses grusfyldt rende. T.h.: Snit gennem vold.

6.3.3.3 Refleksion omkring dimensionering

I tilfældet Grøn Klimaskærm Folehaven forventes en 5-års sommer-hændelse at kunne håndteres via fordampning og nedsivning. I tilfælde hvor nedsivning ikke er mulig, vil fordampningen svare til håndtering af omkring en 2-årshændelse (T=2 år). Dette vurderes i mange tilfælde at være fuldt tilstrækkeligt, og man kan evt. også gå længere ned, f.eks. 1-års hændelsen, eller 0,5 års hændelsen (svarende til to årlige overløb), hvis der er mulighed for at udnytte overjordiske nødbassiner, som vist for Folehaven i Figur 65. Dermed kan investeringen optimeres, og varianter af Grøn Klimaskærm i mindre størrelse udvikles.

6.3.4 Skærmens konstruktion

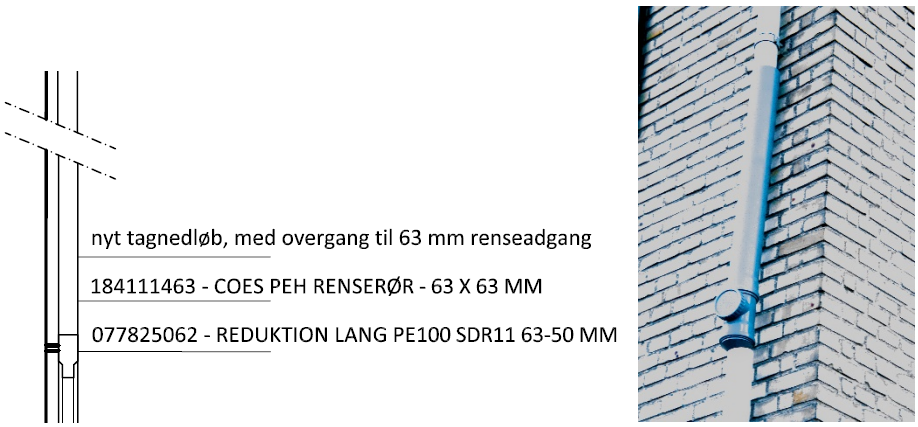
Den 80 m lange Folehaveskærm er hydraulisk forbundet med de fire tagnedløb fra ejendommen, på en sådan måde, at vandet løftes over i skærmen, og der samtidig sikres renseadgang og mulighed for afdræning af trykledning. Hvordan systemet er opbygget, fremgår af Figur 51, der viser tværsnittet ud for et af de fire tagnedløb. De øvrige tre er opbygget på samme måde.



FIGUR 51: Tværsnit af det opbyggede system ved Grøn Klimaskærm Folehaven. Væsentlige komponenter er markeret med tal. 1: Overgang fra tagnedløb til trykledning, med renseadgang; 2, t.v.: Renseadgang via tryksat brønd på trykledning; 2, t.h.: Brønd med drænventil på trykrør; 3: Klimaskærm med tag-kassette og bundkasse; 4: Vold, der udgør kant i overløbsbassin for ekstremnedbør. Se Bilag 11 “Tværsnit” for figur i større opløsning.

6.3.4.1 Hydraulisk system

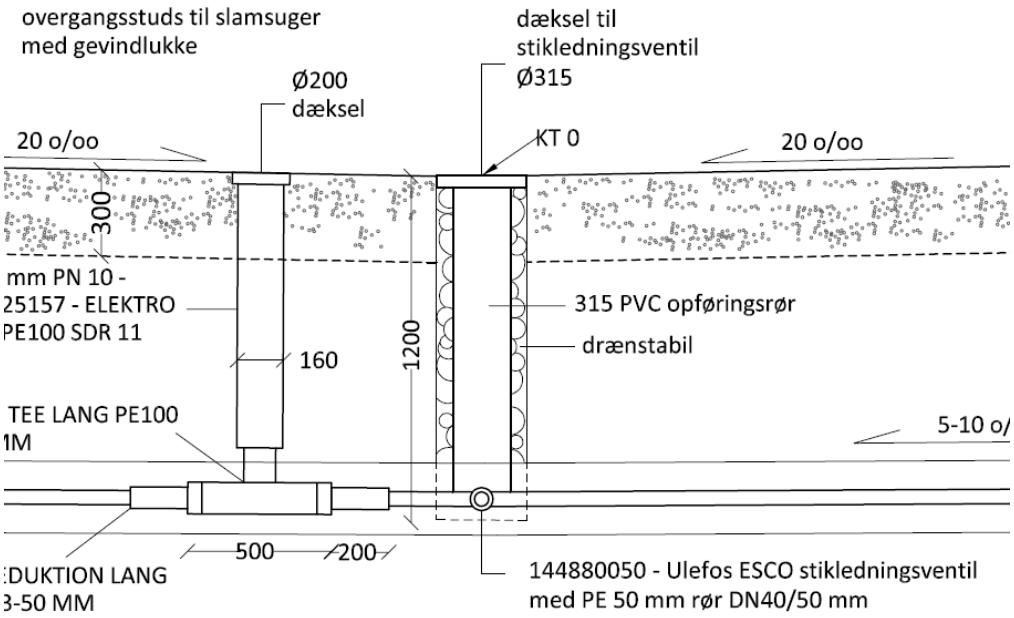
Overgang fra Ø75 tagnedløb til Ø50 trykledning ses i Figur 52, der også viser renseadgang. Det forventes, at der ved indsnævringen i overgangsstykket vil kunne samle sig blade, kviste og smuldr, som kan nedsætte vandtransporten og i værste tilfælde forårsage tilstopning. En blad-udspyr, som de kendes fra bl.a. Sverige, blev fravalgt, da der sammen med bladene mistes en del vand. Det skal derfor i forbindelse med dokumentation af skærmen overvåges, hvor ofte der er brug for at drifte og rense ved indsnævringen. Hvis det er problematisk, kan der lægges et bladfang i tagrenden i form af et ringnet.



FIGUR 52: Zoom på overgangsstykke i tagnedløb. En rist er placeret over indsnævringen, og en lem i røret giver renseadgang.

Partikulært materiale, der føres med tagvandet ind i trykledningen, må for de lettere partiklers vedkommende forventes at blive løftet helt op i skærmens fordelerrende, mens tungere partikler må forventes over tid at danne et sediment i bunden af trykledningen på det vandrette stykke. Partikler afsat i fordelerrenden vil kunne oprenses fra stiger ved afmontering af dækbræt over fordelerrende. For at kunne fjerne sediment aflejret i selve trykledningen, er der etableret en renseadgang, hvorigennem trykledningen kan spules med en rensegris i begge retninger fra brønden. Rensebrønden er vist i Figur 53.

Princippet med at lave en vandtransport baseret på forbundne kar betyder, at trykledningen altid vil efterlades vandfyldt til ca. 3 m højde. For at undgår frostsprængninger er der etableret en ventil på trykledningen, der muliggør afdræning. Ventilen er placeret i en drænbrønd (Figur 53), monteret i den grusfyldte, langsgående drænrende (Figur 51). Denne ventil kan åbnes i vinterhalvåret, så vandet i trykledningen efter nedbør kan afdrænes langsomt til drænrenden. Det er vigtigt, at ventilen kun tillader langsom afdræning for at sikre, at hovedparten af tagvandet havner i skærmen. Det bemærkes, at trykledningens vandrette stræk ligger i frostfri dybde, så det er kun de to lodretstående stræk, der skal drænes, svarende til et volumen på under 20 L. Trykledningen er dimensioneret til at håndtere 3,5 L/s. Dette burde være passende, idet de højeste regnintensiteter registreret i Danmark ligger på 3-4 mm/minut (i ganske få minutter), hvilket ved et tagareal på 60 m^2 per tagnedløb svarer til en maksimal afstrømningshastighed på 3-4 L/s(60 m^2 x 4 mm/minut divideret med 60 s/min).



FIGUR 53: Rense- og drænbrønde. T.v.: Brønd, der giver adgang til rensning af trykledning mod skærm og bygning. T.h.: Brønd med drænventil. Brønden er placeret i langsgående drænrende.

Trykledningen udmunder i en fordelerrende i toppen af skærmen. Fordelerrenden skal sikre at tagvandet fordeles ligeligt på skærmen, og derfor er hvert af de fire tagnedløb koblet på skærmen, så de netop forsyner ¼-del hver (fratrukket vindues-moduler). For at sikre, at vandet når ud til den fjerneste del af den tilhørende strækning, er fordelerrenden monteret i vater, og udløbshullerne placeret i en afstand over bunden (Figur 54). Yderligere information findes i Bilag 6 Vandfordeling.

FIGUR 54: Foto af fordelerrende under monitering. Fordelerrenden afskærmes med et dækbræt (som indikeret på Figur 28). Se også Bilag 6.

6.3.4.2 Bærende systemer

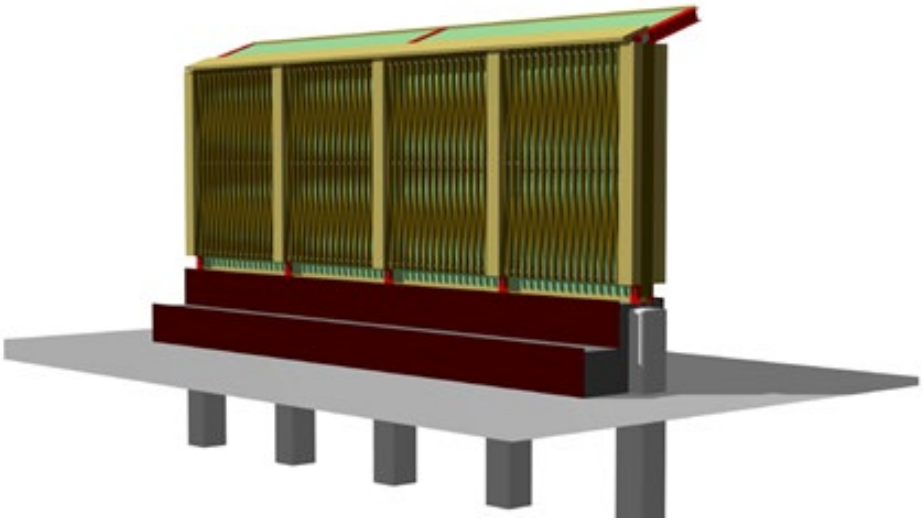
Grundstrukturen i Grøn Klimaskærm Folehaven er, som vist i Figur 55, og består af stolper, der bærer mineraluld, pilelementer, fordelerrende, tagkassette og bundkassens afskærmningsplader. Stolperne er forankret i jorden. I Figur 56 ses en teknisk tegning af konstruktionen i tværsnit. Den samlede højde er 3,2 m, inkl. det grønne tag. Bredden af bundkassen er 0,92 m, og højden af den nederste terrasse 0,4 m, svarende til god bænkhøjde.

Grøn Klimaskærm Folehaven er opbygget af følgende materialer:

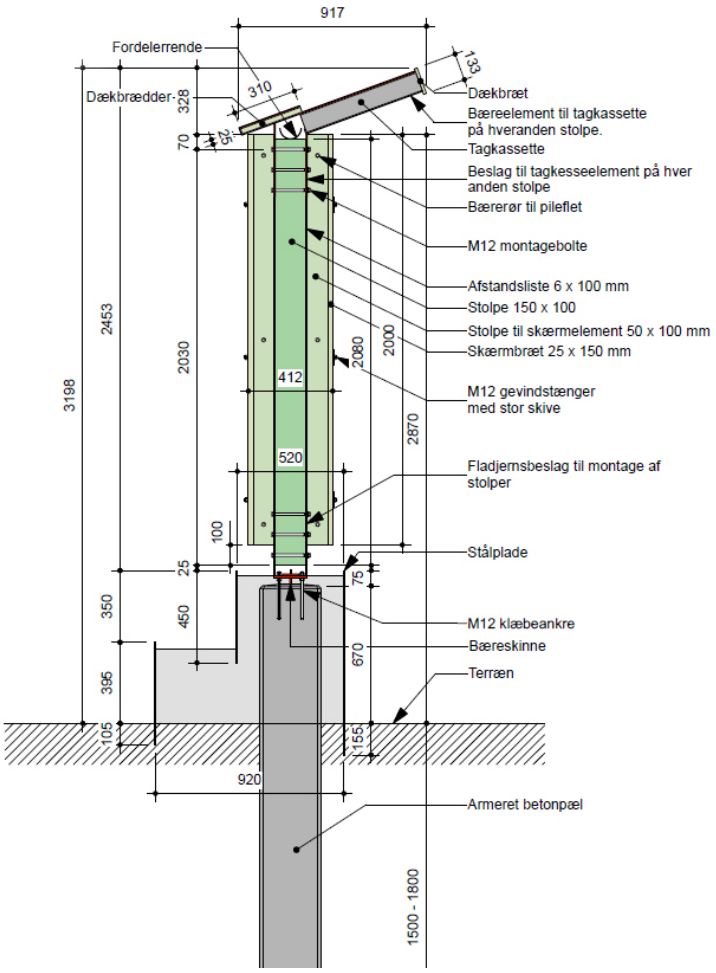
- Stolper af uægte akacie (Robinie pseudoakacie), funderet på betonpæle
- Dækbrædder over fordelerrende og omkring stolper, fremstillet af dansk lærketræ
- Væg opbygget af
    - Mineraluld
    - Pileelementer i form af pilestokke flettet over tre aluminiumstænger ("flet", brugt på indersiden), eller pilestokke skruet i træramme på stedet ("basis", brugt på ydersiden). Forskellige pilearter (Salix spp).
    - Sort plastnet på yderside, under pilestokke
- Tagkassette til grønt tag bestående af stålramme, rionet, mineraluld, vækstsubstrat og sedum spp.
- Bundkasse i form af 5 mm sortjerns plader
- Diverse beslag, alle udformet i varmforzinket stål.

Der er gennemført statisk analyse af skærmkonstruktionen.

Det skal også bemærkes, at fladevægten for vægdelen af den endelige skærm bliver over 20 kg/m^2, og at vægten primært udgøres af mineralulden. Støjværnsfunktionen bør derfor være i orden, jf. afsnit 6.2.7.

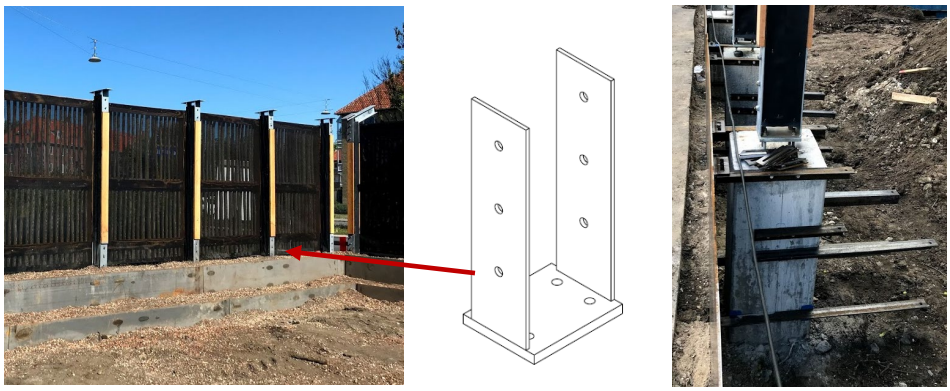


FIGUR 55: Illustration af grønt-tags-modul, med 1,5 m mellem stolper, en 3 m lang tagkassette, et ca. 2 m højt og 0,4 m bredt væg-element, samt en 1 m høj og 0,92 m bred bundkasse bestående af to terrasser på inderside, og en enkelt på yderside.



FIGUR 56: Tværsnit af Grøn Klimaskærm Folehaven, vist for grønt-tags-modul.

Grøn Klimaskærm Folehaven er opbygget af tre moduler, nemlig basismodul, grønt-tags modul og vinduesmodel (se Figur 28). Stolpeafstanden er 1,54 m, center til center, og alle stolper er funderet i jorden. Funderingen er sket ved nedramning af 2,5 m lange, 0,35 m x 0,35 m betonpæle. Betonpælene når til top af bundkasse, hvor et gaffelbeslag monteres, hvori den bærende træstolpe fæstnes (Figur 57). Derved kommer træstolpen til at være løftet over substrat i bundkasse, så kontakt til et fugtigt miljø undgås. Ved skærmens hjørner blev der udviklet specielle stolpebeslag, så samme funderingspæl kunne bære to træstolper.

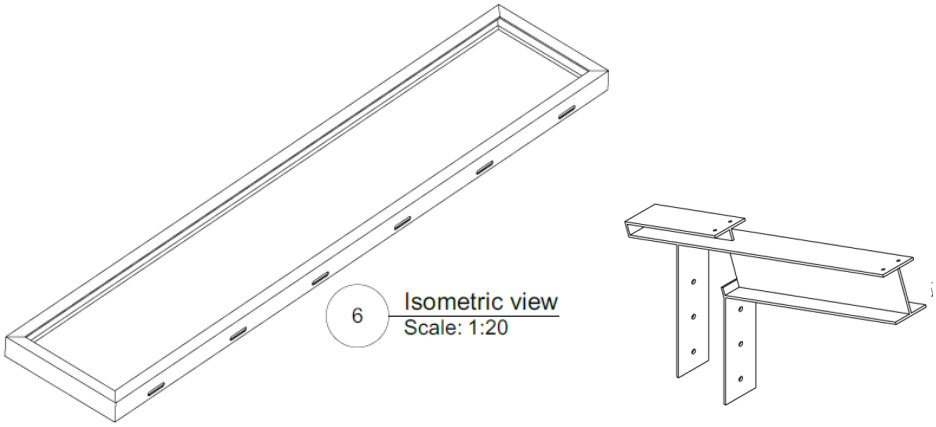


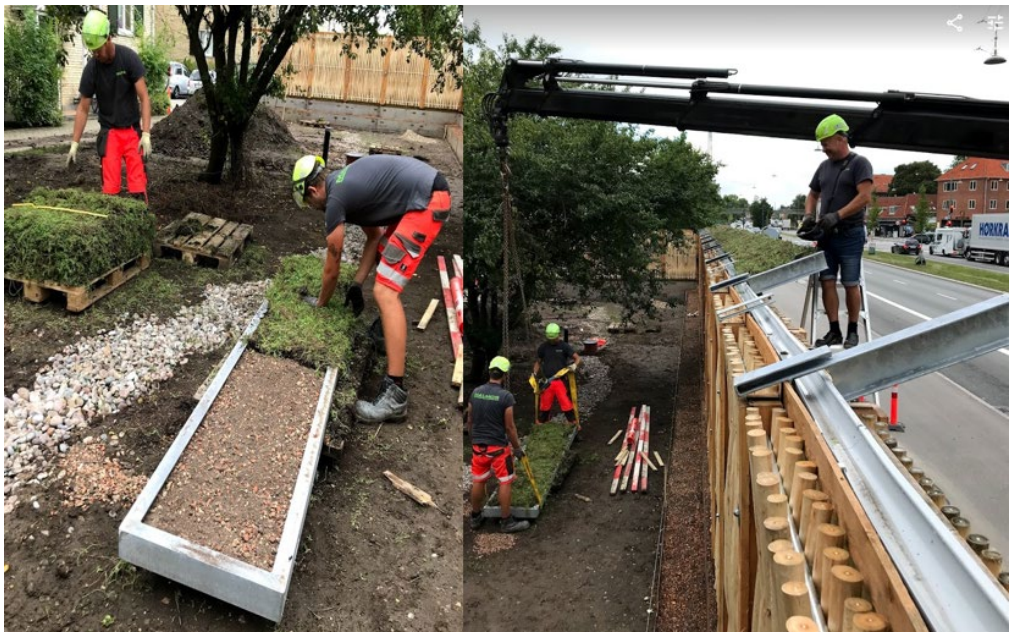
FIGUR 57: T.v.: Fundering af stolper i Folehaven. Midt: Teknisk tegning af gaffelbeslaget. T.h.: Afsluttet fundering, før der fyldes op med substrat. Stænger til montering af sortjernsplader i bundkasse ses også.

For at forhindre deformation af mineraluld, er der monteret en tynd, vandret skinne på gaffelbeslagene mellem stolperne. Mineralulden placeres oven på denne bæreskinne, se Figur 58.

FIGUR 58: T.v.: Teknisk tegning af bæreskinne, til støtte for mineraluldsplade. T.h.: Bæreskinne monteret på stolpe-gaffelbeslag. Bundkasse med sortstålsplader og taghavesubstrat under opbygning.

Til etablering et udhæng eller "knæk" øverst på skærmen i form af et grønt tag er der udviklet en tag-kassette samt tagkassette beslag, der kan monteres for oven på de aktuelle stolper. I Figur 59 er vist såvel tagkassette som beslag, samt et foto, der viser, hvordan tagkassetten kan glides ned i beslagene. Tagkassetten er specialbygget til Grøn Klimaskærm og har en længde der strækker sig over 2 basis-moduler, dvs. 3 m. Metalrammen er forsynet med drænhuller så overskydende nedbør kan søge ind i fordelerrenden.





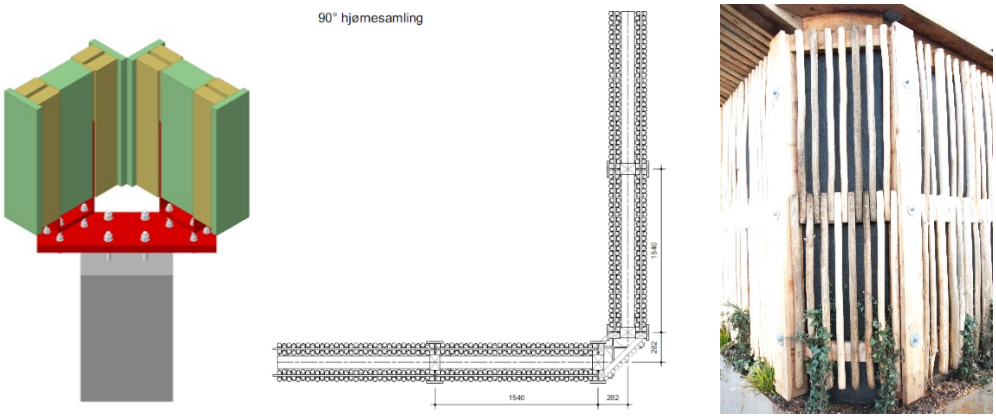
FIGUR 59: Øverst: Tekniske tegninger af tagkassette med drænhuller (t.v.) og tilhørende beslag (t.h.). Nederst: Tagkassetten er fyldt med sedumsubstrat, og på pladsen ilægges sedummåtte (t.v.), før kassetten med en kran løftes på plads i beslagene (t.h.).

Bundkassen er opbygget af sortstålplader monteret på bøjlebeslag, fastgjort i betonpælene. Dette er vist i Figur 60. Sortstålpladerne blev presset ca. 10 cm ned i jorden, og samlinger svejset sammen, så bundkassen blev vandtæt og opnår badekarsfunktion.

FIGUR 60: T.v.: Teknisk tegning af system for fastgørelse af bundkassens lodrette sider. T.h.: Foto af etableringen i Folehaven.

6.3.4.3 Hjørne-samlinger og terrænforhold

Basismodulerne vist i Figur 26 og uddybet i 6.3.4.1 er som udgangspunkt beregnet til placering på ret linje. I Folehaven-skærmen indgår to 90-graders hjørner og fire 45-graders hjørner. Til håndtering af de udfordringer hjørnerne giver i forhold til placering af bærende stolper og øget længde på bundkassens plader er der udarbejdet specialløsninger. Dermed sikres, at bundkassen kan være sammenhængende og udtrykket af pil være gennemgående. På 90-graders bøjningerne er der indsat et ekstra stykke pileflet på ydersiden, for at skærme stolperne, og ydersidens bundkasseelement er forlænget. Det blev overvejet også at lave en løsning, så det lille tagudhæng (tagkassetterne) kunne blive sammenhængende, men ombygning af tagkassetter til at "dreje om hjørner" blev vurderet at være for omkostningstungt. Nogle af hjørneløsningerne er gengivet i Figur 61.



FIGUR 62: Eksempel på hjørnesamlinger: T.h.: Stolpe-gaffelbeslag til montering af to stolper ved 90-graders hjørne. Midt: .: Skærm set ovenfra. T.h.: For at lukke hjørnet på ydersiden monteres pilestokke.

6.3.5 Beplantning Grøn Klimaskærm Folehaven

Den aktuelle beplantning ved Folehaveskærmen har primært hentet inspiration i konceptet for 'Den Biodiverse Have' (afsnit 6.2.5). Der er således overvejende valgt blomstrende arter, herunder arter, der tilgodeser de nævnte solitære bier (Bilag 12 "Enlige Bier"), ligesom det grønne areal er designet med blomsterøer mellem slåede græsstier. Der er derudover indplantet robuste arter i form af alm. storbladet efeu (Hedera helix 'Hector') og en rigtblomstrende slyngrose (Rosa Helena 'Lykkefund'), se Figur 38. Den samlede plan for skærmen ses i Bilag 13 "Planteplan", med tilhørende planteliste i Bilag 14 "Planteliste", mens designet af det grønne areal fremgår af Bilag 10 "Situationsplan". Karakteren af de udvalgte planter indikeres i Bilag 15 "Plantekatalog".

Selv om der ved beboermødet (afsnit 6.3.6) blev vist interesse for den 'Spiselige Have', foretrak man i sidste ende den 'Biodiverse Have', der også var populær blandt beboerne og havde opbakning fra driftsfolkene, da den kun kræver græsslåning og en årlig nedslåning af blomsterøerne.

For at sikre ordentlig etablering og overlevelse af planterne i tilfælde af tørke er der udrullet en drypvandingsslange lige under væg-elementet i klimaskærmen, dvs. langs midterlinjen i øverste terrasse i bundkassen. Vandingsslangen er nedgravet og koblet på en hane i kælderen under ejendommen. Det forventes, at drypvandingsslangen kun sjældent skal i brug, men af hensyn til driftsfolkene, blev det besluttet at inkludere denne sikkerhed. I forbindelse med monitering vil der blive sat en måler på, så vandforbruget til vanding kan registreres.

Vegetationen forventes med tiden at bidrage til et attraktivt opholdsrum på indersiden af Grøn Klimaskærm i Folehaven. I Figur 66 er det aktuelle areal vist både efter rydning af buskads, dvs. inden opførelse af skærmen, og efter, som området så ud umiddelbart efter etablering

FIGUR 66: T.v.: Grønt areal efter rydning af buskads og fjernelse af metal-hegn i skel, set fra vejside. Foto: Antje Backhaus. T.h.: Samme areal set indefra, efter etablering af skærm og grønt areal, men før fremspiring af udsåede frø.

6.3.6 Beboerinvolvering

Boligforeningen 3B er en beboerejet boligforening med tradition for at indrette sig bæredygtigt. Folehavens Vaskeri forsynes eksempelvis med opsamlet tagvand og kørte i en årrække med recirkulering af vaskevandet over et biologisk renseanlæg installeret i kælderen. Ideen om at håndtere tagvand lokalt og dermed bidrage til byens klimatilpasning blev modtaget med tilsvarende åbenhed, konstruktiv tilgang og tålmodighed hen igennem processen. I samarbejde med 3Bs bestyrelse, særligt Villy Sørensen og de ansvarlige driftsfolk, Peter Kare, Bjørk Trøst Bigum og Kim Kristiansen, samt Jesper Kaasbøl Henriksson, Vida Christeller og Rikard Nannested fra 3B's centrale administration (nu KAB) blev det besluttet, hvordan beboerne i 3B-Folehaven bedst kunne involveres. Involveringen handlede både om grundlæggende at sige ja-tak eller nej-tak til en Grøn Klimaskærm, men også om at give input på skærmens placering, udformning og anvendelse.

Samarbejdet forløb via en række møder, samt fire særlige begivenheder. Disse fire drejede sig om aktiviteter i forbindelse med Folehavefestivalen 2014, en workshop med beboerne i 3B-Folehaven senere i 2014, opsætning og diskussion af mock-up ved vaskeri, samt endelig præsentation af projektet ved 3B-Folehavens generalforsamling med afstemning om opførelse af skærm.

6.3.6.1 Folehavefestivalen 2014

Her var der forinden Festivalen blevet opsat en række mock-ups af skærmen i forskellige afstande fra bygningerne og højder. Se Figur 67.

FIGUR 67: For at starte en diskussion med beboere og besøgende ved Folehavefestivalen omkring skærmens placering (i skel, eller mellem fortov og cykelsti) som illustreret til venstre, blev der ved Aarsleffs hjælp opbygget nogle skærmmodeller, der kunne give indtryk af hvordan det kunne blive, ved de to placeringer i to højder (3 m eller 4 m).

For at få en diskussion om vigtigheden af støjreduktion var der også, med hjælp fra Delta, opsat en stand med støjsimuleringer. Her kunne besøgende få en ide om, i hvilken grad en Grøn Klimaskærm ville kunne dæmpe trafikstøjen, hvis ellers Deltas simuleringer holdt stik (Se Figur 43). Der var desuden medbragt en miniaturemodel af et mulig skærmdesign (Figur 9, midt). Endelig var der et spørgeskema, som besøgende kunne udfylde omkring bekymringer og ønsker i forhold til Grøn Klimaskærm. Se nærmere beskrivelse heraf i Bilag 16 "Folehavefestivalen". Folehavefestivalen var med til at skabe opmærksomhed omkring ideerne, og høste nogle førstehåndsindtryk fra kommende 'brugere'. En af de ting der kom frem her, var ønsket om en ikke alt for høj skærm, dvs. 3 m foretrækkes frem for 4 m. Tre meter er samtidig minimum i forhold til at opnå en mærkbar støjreduktion.

6.3.6.2 Workshop med 3B-Folehavens beboere

I efteråret 2014 arrangerede projektgruppen sammen med 3B-Folehavens bestyrelse en workshop for beboerne i Folehaven med efterfølgende spisning. Ca. 30 personer deltog. Formålet var at diskutere ønsker og bekymringer i større detalje. Under denne workshop blev det tydeligt at tryghed betyder meget, hvilket handler om oversigtsforhold og belysning, men også om at undgå at få en supercykelsti ind igennem forhaven. Sidstnævnte førte til en konklusion om, at ideen med en komfortzone på indersiden af skærmen, delt mellem cyklister og fodgængere på den ene side og lokale beboere på den anden, nok ville kræve en form for underopdeling af arealet i forskellige zoner. Det var også ved denne workshop, at det kom frem, at i hvertfald en enkelt beboer foretrak udsyn til trafikken og livet på Folehaven frem for udsigt til at skærm. Endelig var det ved denne workshop, at vigtigheden af en præsentabel skærm, som man kan være stolt af at bo ved siden af, kom frem.

6.3.6.3 Mock-up ved vaskeri

Som vist i Figur 25 blev der i 2015 opstillet en model af et Grøn Klimaskærm modul ved 3B-Folehavens vaskeri. Modellen udtrykte de forestillinger om design, der var på det tidspunkt. Mock-up'en blev placeret på en lille plæne ved siden af indgangen til vaskeriet. Her stod i forvejen et borde-bænke-sæt. Med denne placering ville mange mennesker passere den, og måske bemærke den. Der var også ophængt information om sammenhængen. Senere på året blev der holdt et møde ved mock-up'en, hvor beboere var inviteret til at kigge forbi og give deres mening til kende. Der dukkede kun få beboere op, i alt under 5, og heraf var to meget kritiske. Det handlede igen om, at en Grøn Klimaskærm vil tage udsigten fra de nederste lejligheder til trafikken på Folehaven.

6.3.6.4 Generalforsamling

I foråret 2016 blev den endelige udformning af skærmen præsenteret ved 3B-Folehavens Generalforsamling. Efter afklarende spørgsmål og en kort debat blev der stemt om, hvorvidt skærmen skulle opføres. Hele 149 stemte for, mens en enkelt undlod at stemme. Flere udtrykte, at en tilsvarende skærm var ønsket ikke blot langs med Folehaven, men også gerne langs de ejendomme, der ligger ud til Gl. Køgelandevej.

7. Grøn Klimaskærm fremover

7.1 Markedsføring, monitering og videreudvikling

Grøn Klimaskærm repræsenterer nytænkning inden for klimatilpasning. Med Folehaveskærmen er det dokumenteret i fuld skala, at ideen med at udnytte tagvands potentielle energi til at håndtere regnafstrømning via fordampning kan fungere. Folehaveskærmen indikerer desuden, at løsningen leverer en række ekstra services, hvoraf to kan opleves umiddelbart, nemlig støjreduktion og aktivering af byens rum. Der er dermed i dag allerede et grundlag for en markedsføring af løsningen. Samtidig er det klart, at der også er et dokumentationsbehov, samt en vifte af muligheder for tilpasning til andre kontekster.

7.1.1 Markedsføring

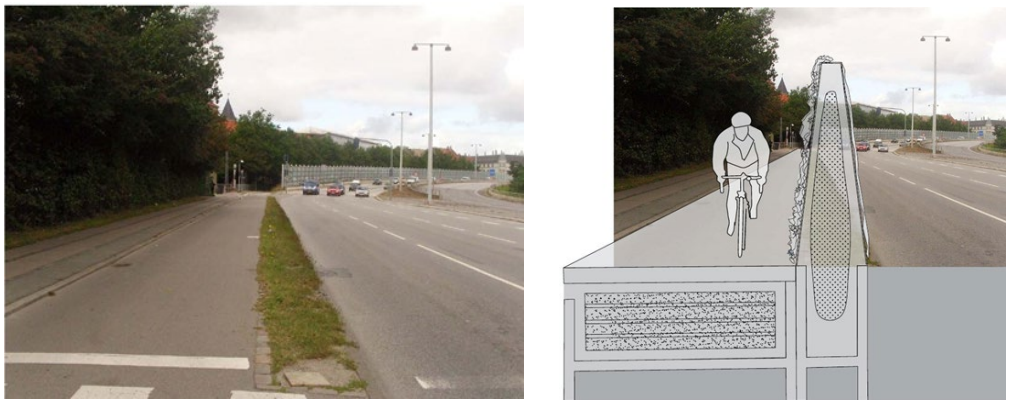
Med de tre udviklede modultyper kan Folehaveskærmen tilbydes markedet direkte. Der er allerede høstet en række erfaringer, som kan indbygges i fremtidige skærme. Prisen på Folehaveskærmen ligger på omkring 25.000 kr./løbende meter, hvilket er højt, også selv om der er tale om såvel en LAR-løsning som et støjværn. På baggrund af erfaringerne fra Folehaven kan såvel fremstillingen af skærmelementer som selve etableringen på pladsen effektiviseres, hvorved prisen kan reduceres markant (Boks 1). Desuden kan der spares ved at erstatte bundkasse med højere væg-elementer, og i stedet nøjes med vegetation etableret direkte i jorden. Også tagkassetten kan undværes, men naturligvis på bekostning af et støjværns-tab. Det vurderes at prisen i en optimeret og forenklet form kan komme ned på omkring 1/3 per løbende meter og stadig bevare funktion som LAR-element og støjværn.

Boks 1: Økonomiske forhold omkring Fole-haveskærmen

Skærmen i Folehaven blev opført af Aarsleff, Malmos og PileByg, under tilsyn fra bygherrerådgiver Niels Lützen. Materialerne til skærmen blev leveret af Aarsleff, AC-Stål, Malmos og PileByg. Selve etablering af skærmen kostede godt DKK 2 mio. Herudover var der udgifter forbundet med indretning af det grønne areal mellem bolig og skærm på DKK 0,6 mio. Selve skærmen inkl. ledningsføring kostede derfor ca. DKK 25.000,- per løbende meter. Denne høje pris skal ses i forhold til, at det var første gang en sådan skærm skulle opføres. Der er derfor en forventning om, at en ny skærm vil være væsentlig billigere. Følgende faktorer har påvirket prisen for Folehaveskærmen og vil kunne reduceres i fremtidige projekter:

- Projektet i Folehaven blev etableret med mange specialbyggede komponenter
- Arbejdet var præget af, at man endnu ikke havde opbygget erfaringer med etableringen
- Nogle af de valgte materialer kan erstattes med billigere materialer
- Etablering af bundkassen stod for over 1/3 af økonomien. Dette er en stor andel i forhold til bundkassens begrænsede hydrauliske funktion.

Det marked, man kan se for sig, kan for det første dreje sig om et marked svarende til situationen ved Folehaven; dvs. til opsætning langs veje, hvor der er behov for kombineret klimatilpasning og støjdæmpning. Skærmen vil da typisk håndtere tagvand fra boligejendomme og institutioner langs indfaldsveje og andre større veje. Den slags veje findes i alle større byer i Danmark og internationalt. Et eksempel er vist i Figur 68, hvor en skærm er tænkt placeret ved Bispeengbuen.



FIGUR 68: Bispeengbuen i København før og efter tænkt placering af støjskærmelementer, her vist med indbygning af vejvandskassette.

Omkring det forretningsmæssige aftaler de involverede partnere det videre forløb. Det er dog besluttet, at PileByg skal stå for markedsføring og direkte kundekontakt. Med ansvaret for markedsføring og kundekontakt til potentielle nye købere vil PileByg i løbet af 2020 oprette en hjemmeside med produktkatalog for klimaskærmen. Udover Danmark er PileByg veletableret i Norge, Sverige og Canada.

7.1.2 Monitering

Selv om Grøn Klimaskærm model Folehaven kan tilbydes markedet nu, er det vigtigt, at skærmens funktioner dokumenteres grundigt. Ved selvsyn kan man konstatere, at LAR-systemet fungerer, og man oplever umiddelbart en markant støjreduktion, men disse funktioner skal dokumenteres og følges over en årrække. Støjværnsmæssigt er skærmen CE-mærket.

Udover håndtering af tagvand, reduktion af trafikstøj og aktivering af byens rum forventes skærmen at levere services i forhold til bedre luftkvalitet, dæmpning af varmeøeffekt og understøttelse af biodiversitet. Monitering af alle funktioner er under planlægning, og foreløbig er der udarbejdet nedenstående tabel, Tabel 1, der bringer en oversigt.

TABEL 1: Oversigt over planlagt monitering af Grøn Klimaskærm Folehaven.

Service	Bagvedliggende mekanisme	Metode/Udstyr	Enhed
Håndtering af regnafstrømning (T=5 år)	Tagvand magasineres i skærm og fordampes	Regnmåler, flowmåler, fugtighedsprober	mm/t, L/s, fugtighedsprofiler, overløb
Støjværn	Skærmen absorberer trafikstøj	Støjmåler	dB
Forbedring af luftkvalitet	Skærmen blokerer for vindbåren transport af forurening og kan sandsynligvis akkumulere partikulært materiale	Fourier transform infrared (CO), sensorer (PM)	ppm og antal/cm^3
Skabe lokalt kølige forhold (UHI-buffer)	Skygge samt indbygning af mærkbar varme i vanddamp via fordampning	Termisk kamera, Termometer	°C
Understøtte biodiversitet	Forbedret habitatkvalitet gennem større areal og vegetation målrettet insekter	Indikatorarter; vurdering af florale ressourcer	artslister, indeks
Skabe attraktive byrum	Forbedret æstetik, nye opholdssteder	Registrering af brug af areal/interview	positive/negative opfattelser
Kontrol af ekstremnedbør (T=100 år)	Overløb fra skærm kan stuve op på grønt naboareal udformet som overjordisk bassin vha. vold, og forsvinde ved nedsivning via grusrende.	Registrering af brug af areal/interview	Regnstørrelse, der udløser overløb; antal dage til tør

7.1.3 Videreudvikling af Grøn Klimaskærm til andre kontekster

Grøn Klimaskærms primære service er håndtering af tagvand, men skærmen kan samtidig levere andre services. I Folehaveskærmen er håndtering af tagvand kombineret med støjreduktion og etablering af et attraktivt opholdsrum, hvor der også er gode vilkår for naturen. I andre situationer kan det være relevant at skrue op for andre services. Der kan derfor tænkes en række andre situationer, hvor Grøn Klimaskærm kan håndtere tagvand, samtidig med at andre formål også opfyldes. Dette kan på sigt føre til udvikling af flere modultyper. En forudsætning er i alle tilfælde, at der skal være tagflader med behov for afkobling i nærheden.

Oplagte design-muligheder er oplistet i Tabel 2. Disse ideer er opstået løbende gennem projektet og vil blive vurderet nærmere ved workshop med interesserede. Parallelt med udviklingen af konceptet til disse nye muligheder skal Folehaveskærmen optimeres.

TABEL 2: Foreløbig liste over udviklingsmuligheder for Grøn Klimaskærm.

Design som	Typisk højde (m)	Kommentar
Støjskærm	3-4	Folehaveskærmen kan udvikles til yderligere kontekster, f.eks. gader med behov for hyppig adgang gennem skærm. Her skal der sandsynligvis tænkes i arkader med grønne stolper, glas og grøn overligger
Skelmarkør	1,8	Alternativ til hæk eller plankeværk. Placeret i skel mellem ejendomme
Læskærm	1,2	Afskærmning af opholdsarealer, f.eks. ved caféer, terrasser, legepladser
Del af indgangsparti	0,6-1,4	Ved bolig eller virksomhedsdomicil, evt. som en slags vindfang
Rumdeler	0,6-1,2	Opdeling af større arealer i mindre rum, for at guide folk, eller skabe tryghed. F.eks. på store P-arealer, der deles mellem flere virksomheder/butikker baggårde
Møbel, skur, stativ	Fleksibel	Skærmen kan omdannes til siddemøbel, cykel-, redskabs- eller brændeskur, lege-/klatrestativ
Vandtank	F.eks. 0,2 m x 1,5 m x 2 m = 0,6 m^3	På udvalgte steder kan der indbygges tanke i stedet for mineraluld. Først fyldes tank, derefter overløb til mineraluld. Smart udnyttelse af potentiel energi. Der kan også tænkes i decideret vandtårnsmodul
Dyrkningselement	Op til ca. 1,5	Det er oplagt at udvikle et skærmmodul beregnet til dyrkning af grøntsager. Der kan tænkes i en slags terrasser. Evt. med indbygget tank
Støjabsorbering	Op til ca. 3 meter	Kan bruges som rekreativt element i større baggårde med mulighed for støjabsorbering og rumdeler.

8. Konklusion

Grøn Gentagelse har udviklet et nyt koncept for håndtering af regnafstrømning fra tagflader og efterfølgende demonstreret konceptet i fuld skala over et 80 m lang stræk ved ejendom langs Folehaven, København. Konceptet er baseret på en smal, fritstående vertikal struktur, der betegnes "Grøn Klimaskærm". Løsningen tillader magasinering, fordampning og infiltration i et estimeret omfang, der modsvarer serviceniveau ved offentlig kloak (T = 5 år, ca. 40 mm nedbør) og tilbyder samtidig kontrolleret håndtering i overjordisk retentionsbassin af ekstreme nedbørsmængder (T = 100 år, ca. 80 mm nedbør). Det er dermed lykkedes at realisere en fordampningsbaseret LAR-løsning. Grøn Klimaskærm repræsenterer således en ny mulighed i klimatilpasningen. Med et arealmæssigt lille fodaftryk forventes Grøn Klimaskærm at kunne indpasses i mange af byens rum. Løsningen er multifunktionel og kan tilpasses en række andre behov og ønsker. I Folehaveskærmen er der tale om en 3 m høj konstruktion, der samtidig fungerer som støjværn mod den stærkt trafikerede Folehaven, og skærmen har samtidig muliggjort aktivering af rummet mellem ejendom og vej, idet skærmen fungerer som tryg bagvæg. Via udvalgt beplantning, konstruktionsmaterialer domineret af træ, indbygning af bænke og glaspartier, har skærmen fået et imødekommende udtryk. Samtidig forventes luftkvaliteten på skærmens inderside at være bedre end på ydersiden, ligesom de mange planter på skærm og grønt naboareal forventes at kunne understøtte biodiversitet og modvirke varmeøeffekt. I urbane kontekster kan det grundlæggende koncept tilpasses øvrige formål.

Med designet af Folehaveskærmen og dertil hørende valg af materialer, test af delaspekter, og specialudviklede beslag, samlinger og vandfordelingssystemer har projektet bevist, at konceptet fungerer. I de kommende år skal der gennemføres en monitering for fastslå størrelsen af de forventede services. Samtidig skal skærmdesignet i Folehaven optimeres og også tilpasses andre kontekster. Ved modifikation af designet kan skærmmodulet tilpasses opsætning i baggårde, private haver, P-arealer, butiksområder, cafeer, m.v., ligesom der kan indbygges vandtank, dyrknings-, lege- og siddemuligheder.

Grøn Klimaskærm forventes at have positive miljøeffekter takket være et lille CO_2-aftryk med minimalt jordarbejde og jordflytning sammenlignet med andre løsninger til håndtering af regnafstrømning, samt takket være brugen af træ frem for stål, plast eller beton. Samtidig leverer skærmen øvrige biologiske, miljømæssige og kulturelle services.

Den udviklede løsning forventes at kunne markedsføres umiddelbart i en version svarende til den, der er opført i Folehaven, hvor håndtering af regnafstrømning går hånd i hånd med støjreduktion. Projektpartnerne har interesse heri. I den forbindelse vi det være PileByg der vil være ansvarlig for kundekontakt og markedsføring.

9. Referencer

Jensen, M.B., K. Cederkvist, P.E.R. Bjerager, og P.E. Holm. 2010. Dual porosity filtration for treatment of stormwater runoff: First proof of concept from Copenhagen pilot plant. Water Science and Technology, 64(7): 1547-1557.

Johansson og Kalstrup A/S, 2011. Bilag 2. Tøndermarsken, ydre koge, arealanalyse, Johansson & Kalstrup A/S. Bilag til "Redegørelse om Muligheder for yderligere fredning og bedre beskyttelse af Tøndermarskens unikke naturværdier", Miljø- og Planlægningsudvalget 2010-11 MPU alm. del Bilag 667 Offentligt, udgivet af Miljøministeriet.

Miljøstyrelsen, 2003. Etablering af pileanlæg - Baggrundsrapport. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. 27, 2003.

10. Bilag

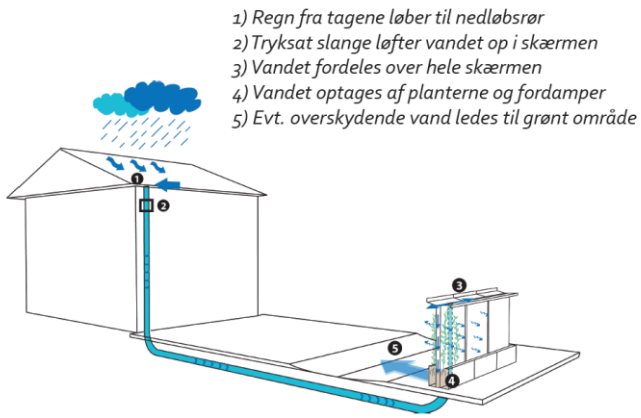
Bilag 1: Resume til KK
Bilag 2: KK afslag cykelsti
Bilag 3: Vejvandskoncept
Bilag 4: Inspiration
Bilag 5: Rionet
Bilag 6: Hydrauliske test
Bilag 7: Planteworkshop
Bilag 8: Vegetationskoncept 2016
Bilag 9: Støjsimulering
Bilag 10: Situationsplan
Bilag 10a: Statisk Analyse
Bilag 11: Tværsnit
Bilag 12: Enlige Bier
Bilag 13: Afsætningsplan 2019
Bilag 13: Planteplan
Bilag 14: Planteliste
Bilag 15: Plantekatalog 2019
Bilag 16: Folehavefestival

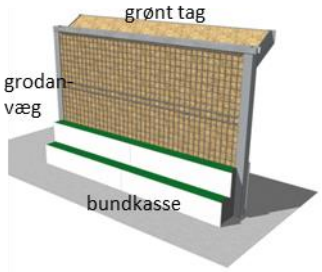
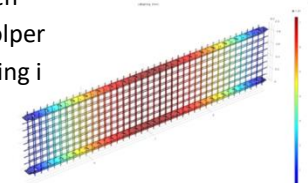
Bilag 1: Notat forelagt Københavns Kommune i december 2012

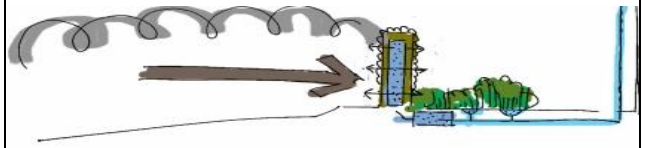
Formålet med notatet var at give Københavns Kommune en introduktion til de samlede ideer bag Grøn Klimaskærm

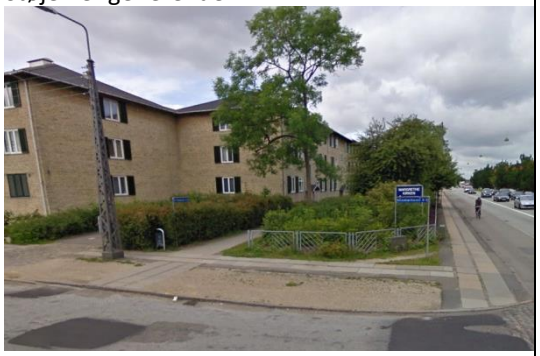
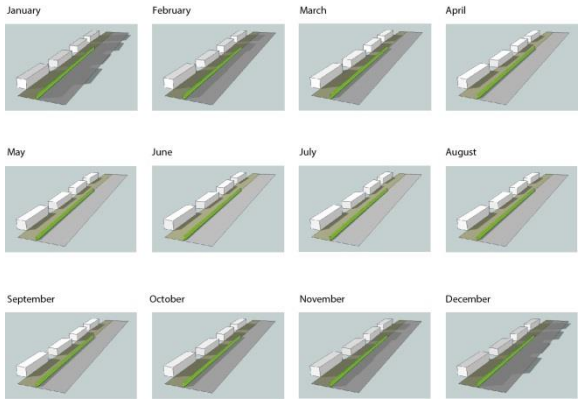
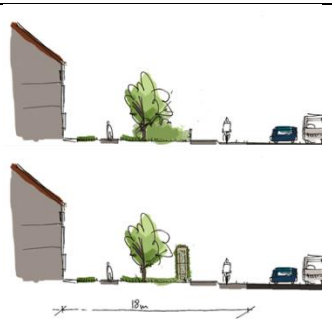
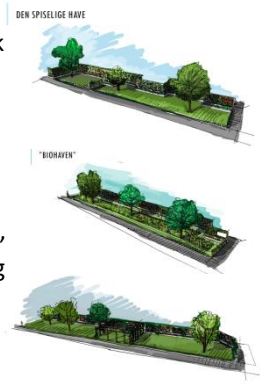
Ideen bag Grøn Klimaskærm

Lokal Afledning af Regnvand (LAR) rummer et stort potentiale for at skabe merværdi i byen gennem etablering af blå og grønne overflader. De fleste LAR-anlæg er imidlertid baseret på en eller anden form for lavning eller hulrum i jorden, og det begrænser deres anvendelse til steder med god plads som villabyer og boligblokke. Det er ikke let at finde plads til f.eks. regnbede i en tæt by, hvor samme areal typisk skal kunne understøtte mange forskellige funktioner. Heller ikke de underjordiske anlæg er populære, dels kræver de meget jordarbejde, dels er jorden typisk fyldt med ledninger, der skal arbejdes uden om. Ideen bag Grøn Klimaskærm er at udnytte regnens potentielle energi til at afkoble byens tagflader, der som bekendt udgør mindst halvdelen af byens befæstede arealer, samt at udnytte en vertikal flade til fordampning. Hermed vil den grønne klimaskærm bidrage markant til at nedsætte regnafstrømningen.

Primært formål: Skærmen skal håndtere tagafstrømning og dermed bidrage til mål om 30% afkobling		
Problemstilling	**Krav og ønsker til løsning**	**Forslag til løsning**
1. Skærmen skal kunne håndtere tagvand fra naboejendomme til T=5 år (ca. 40 mm) uden overløb, og dermed udgøre et fuldgyldigt alternativ til offentlig kloak. Samtidig skal der sikres vand til plantevækst. **Folehaven, 3B:** Pr. bygning findes fire nedløbsrør, der hver leder vand fra 60 m^2 tagflade til den offentlige fælleskloak, der udmunder ved Renseanlæg Damhusåen.	• Transport af vand fra tag til skærm uden brug af pumper • Fordeling af vand i top af skærm over fulde 12 m skærm pr. nedløbsrør, så hele arealet udnyttes • Tilstrækkeligt retentionsvolumen op til T=5 år, så samme kapacitet som kloak • Gendanne retentionsvolumen på max 72 t, så skærmen er klar til næste regn • Vandforsyning af skærmens vegetationen, så den fremstår frodig og kan klare sig med så lidt ekstra vanding som muligt. • Frost af regnvandet må ikke skade væg og transportelementer.	 Trykledning i tagnedløbsrør løfter ved gravitation tagvand til fordelerrende i top af skærm. Trykslange dræner langsomt af efter regn til en grusrende under jorden og er dermed frostsikker. Fordelerrenden justeres til vandret pr. 12 m og forsyner så jævnt hele skærmsektionen via små huller (6 mm). Fra fordelerrenden opsuges regnvandet i en grodanvæg og løber ved gravitation til vækstsubstrat i bundkasse med samlet retentionsvolumen på ca. 200 L pr. løbende m. Utilstrækkelig vinterfordampning kompenseres ved nedsivning under bundkasse. Planter forsynes med vand fra vækstsubstrat og jord under bundkasse.

2. Skærmen skal kunne indpasses i tæt og trafikeret by på en acceptabel og gerne berigende måde. Folehaven ud for 3B rummer i dag en 3 m høj støjmur i mursten med farve forskellig fra bygning. På modsatte side findes en 1 m høj havemur i gule På Folehaven findes også en 3 m høj støjskærm af mineraluld, rionet og vedbend.	• Fleksibilitet i forhold til stedets terræn, kurver og pladsforhold • 3Bs arkitekter ønsker et roligt udtryk, der matcher 3B-ejendommenes geometri. Variation skal opnås gennem vegetationsudtrykket og aktivitetsmuligheder. Gode og holdbare materialer. • Vegetationen skal trives året rundt.	 Med et smalt grundmodul på 4 m i længden og 3 m højt og en bredde på 80 cm, kan terrænspring og kurver optages. Ved pladsmangel kan bundkasse fjernes. Geometri matcher 3B ejendomme. Bundkasse afdækkes med granit. Stolper, rionet og grodan vil være synligt de første par år. Robuste, rodfaste slyngplanter sikrer en rolig præsentation af 3B og bidrager til et grønt gaderum. Udtrykket accentueres mod midten via variation i løv og blomstring. Løg og knolde giver dynamik over året.
3. Skærmen skal kunne holde til vind- og snelast og almindeligt hærværk. Den skal have en levetid, der er sammenlignelig med LAR-elementer og støjskærme. Anlægs- og driftsøkonomien skal være rimelig og sammenlignelig med lignende elementer.	• Vind- og vægtlast som kategori for tættere bebyggelse (DS/EN 1991-1-4:2005) • Levetid mindst 10 år (krav fra 3B) og gerne 20 år • Støjskærme koster omkring 10.000,- pr. lbm. • Render: 500-8000 kr/lbm; vejbede & grøfter: 300 – 700 kr/m2 afkoblet areal (HOFOR)	Kun konstruktioner i stål kan sikre den nødvendige statik. HE140-A-profilstolper og 10 mm dobbelt rionet med aftivning i top og bund giver tilfredsstillende styrke, også til at bære tag-element.  Med galvanisering af rionet kan levetid på mindst 10 år garanteres, også i saltholdigt miljø. Tilbud er under indhentning. Der afkobles ca. 3 m^2 tag pr. lbm skærm. Modulopbyning sikrer billig fremstilling og effektivitet i anlæg. Drift af fordelerrende minimeres ved afdækning. Der vælges planter med minimal drift.

Øvrige formål: At skabe merværdi af klimatilpasningen		
Problemstilling	**Krav og ønsker til løsning**	**Forslag til løsning**
4. Ekstremregn (T>5 år) udgør et stigende problem, og har målsat serviceniveau i København på maks. 10 cm vand på terræn hvert 100 år. Med klimaskærmen løftes vandet over jorden, og vand fra ekstremhændelser kan derfor håndteres i overjordiske detentionsbassiner, tilpasset de lokale plads- og funktionsforhold.	• Primær funktion som rekreativt grønt areal skal bevares hvis grønt areal mellem 3B-bygninger og Folehaven skal udnyttes til detention af ekstremvolumener	Med en 30 cm hævet kant på græsarealerne kan der integreres et i praksis usynligt oversvømmelses-areal, med kapacitet til 100 års hændelsen.
5. Støjdæmpning. Støjniveauet er højt i Folehavn. Der er 45.000 biler i døgnet i dag. Med byudviklingen omkring Ny Ellebjerg og Grønttorvet forventes mere støj. Gaderummet, det grønne areal og 3B boligerne er udsatte. Boligerne har fået støj-skodder for vinduerne, men i det grønne areal og på fortovet kan man ikke tale normalt sammen.	• Med støjabsorberende materialer kan refleksion af støjen undgås, og reelt reduceres i gaderummet • Med mindst 20 kg materiale indbygget pr. m^2 vil skærmen levere samme støjreduktion som øvrige støjskærme • Med et knæk på skærmen yderst, ud mod støjkilden kan mængden af støj, der kommer over skærmen reduceres forholdsvis mere end ved at øge højden	 Skærmen forventes at blokere for både støj og luftforurening og dermed skabe et støjsvagt og renere rum på indersiden. Ved at benytte grodan i vægelementet opnås støjabsorption frem for refleksion. De foreslåede dimensioner sikrer mere end 20 kg/m^2 materiale også i tør situation. Med det lille grønne tag mod vejen opnås ekstra støjdæmpning. Støjpassage ved åbninger i skærmen forhindres ved dobbeltskærm i lydsluse. Skærmen forventes primært at reducere forureningstransporten til det grønne areal ved at blokere for den konvektive transport med vind. Vegetationen vil med årene sammen med grodanen kunne tilbageholde noget af forureningen.
6. Forbedre luftkvalitet på skærmens inderside. Luftkvaliteten i København er god sammenlignet med mange andre storbyer, men der er stadig problemer med at overholde EU's grænseværdier. Det er især indholdet af ultrafine partikler der er bekymrende. Ultrafine partikler kan hverken ses eller lugtes.	• Ved opsætning af barrierer kan vindmønstrene i et gaderum i nogen grad styres. Dog skal man være opmærksom på turbulensforhold. • Vegetation kan i nogen grad fjerne forurening fra luften. Effekten er dog dårligt dokumenteret.	

7. Skabe plads til aktiviteter i det grønne. I dag er det grønne areal mellem bygninger og Folehaven et tæt buskads, der forhindrer ophold. Stien langs bygningerne opleves som utryg fordi man ikke kan overskue arealet. Det er heller ikke muligt at se ind fra Folehaven. Støjen er generende. 	• Beboerne i 3B skal kunne udnytte rummet mellem bygning og skærm som et 'demokratisk' grønt opholdsareal, der inviterer til forskellige former for aktiviteter • Af hensyn til trygheden skal der være gode oversigtsforhold over hele arealet • Eksisterende træer skal bevares • I valget af planter skal der tages hensyn til lys-skyggeforhold 	 Skærmen kan erstatte buskadset som afskærmning mod Folehaven og samtidig skabe plads til aktivitet. Snit før og efter etablering af skærm. Ved at skabe tre ensartede haverum ud for hver sin blok signaleres at arealet er for alle. Variation opnås ved at indrette arealet over forskellige temaer: - Den spiselige have med vin, kiwi, frugtbuske, rabarber og krydderurter - Den biodiverse have, med hjemmehørende 
8. Understøtte biodiversitet. Betydningen af byen som habitat og muligheden for gennem design og drift at kompensere for tab, fragmentering og forstyrrelser af levesteder er stigende.	• Kan skærmen udgøre en habitat for hjemmehørende arter, f.eks. insekter, der kan styrke også højere trofiske niveauer • Der findes ca. 200 arter af enlige bier i Danmark. De trives ikke særlige godt, selv om deres krav til levested ofte er enkelt af timødekomme.	Skærmen indrettes til fuld livscykles for tre arter af enlige bier: bladskærerbi, maskebi og murbi
8. Lokal køling Hedebølger og varmeøeffekt forventes at optræde hyppigere med klimaændringer. Gennem fordampning vil ophold nær skærmen opleves køligere end ophold på en ikke grøn plads.	• Planter og fordampningsarealer skal indtænkes i designet af klimaskærmen • Det skal sikres at der er vand til rådighed	Væggen designes med planter på for og bagside samt fordampningsflade i grodan.

Bilag 2: Afslag til placering fra Københavns Kommune

KØBENHAVNS KOMMUNE
Teknik- og Miljøforvaltningen
Center for Nye Anlægsprojekter

NOTAT

06-11-2014

Sagsnr.
2014-0204255

Dokumentnr.
2014-0204255-19

Sagsbehandler
Marianne Boline Larsen

Begrundelse for afslag på forespørgsel om placering af støjvæg på Københavns Kommunes areal i Folehaven

Afslaget er givet som svar på et forslag om at placere en klimavenlig støjvæg på Københavns Kommunes grund, et areal der er udlagt til cykelsti og fortov langs Folehaven.

Afslaget er givet på baggrund af følgende komplicerede forhold:

Administration
Administrativt kræver en placering af støjvæggen på Københavns Kommunes areal en partnerskabsaftale /driftsoverenskomst i forhold til drift og vedligehold af støjvæggen, en partnerskabsaftale /driftsoverenskomst i forhold til drift og vedligehold af cykel- og gangsti, der placeres på privat grund (3Bs) og en aftale om tilgængelighed, drift og vedligehold af de tilstødende arealer. Derudover skal der ske en sikring af cykelsti og fortov, hvis man flytter dem ind på 3Bs grundareal og i princippet privatiserer det.

Økonomi
Afholdelse af driftsomkostninger ved anlæg af ny cykelsti er ikke afklaret.

Udsat boligområde
Der er udarbejdet en helhedsplan for Folehaven i forbindelse med projektet "udsat by- og boligområde". I denne er et stiforløb foreslået, der skal løbe ned gennem Kirsebærhaven og åbne området op. En ny sti anlagt bag støjvæggen formodes at modarbejde og mindske argumentet for de foreslåede løsninger i helhedsplanen.

Trafik

Fodgængere
Fodgængere på Folehaven vil få en omvej, hvis de skal ind og gå langs bebyggelsen på 3Bs areal. Dette kan få dem til at vælge enten at blive på vejen eller gå på cykelstien (hvis denne fastholdes "ude"). Erfaringer viser, at folk ikke vælger trafiksikre løsninger, hvis de samtidig giver en fornemmelse af utryghed – det at skulle forlade den trafikerede vej for at komme ind i et område, hvor man ikke kan se, hvad der sker, kan få folk til at vælge det fra.

Cyklister
Cykelstien skal trafiksikres i overgangene ved start og slutning af støjvæggen. Der skal tænkes en helhedsløsning ind i forhold til de

Trafikplan

Islands Brygge 37
Postboks 339
2300 København S

Telefon
3366 5672

E-mail
ZJ7V@tmf.kk.dk

EAN nummer
5798009493149

omkringliggende områder og Københavns Kommunes allerede eksisterende sti-og cykelruteplaner.

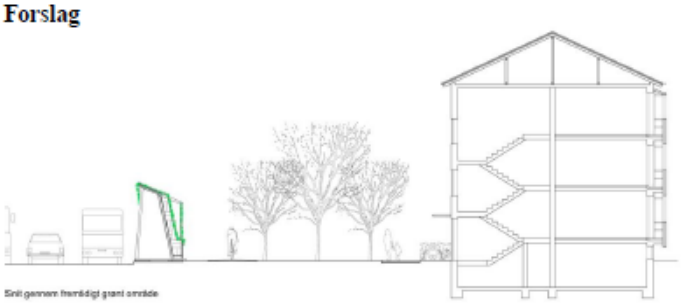
Social tryghed
Opsættes en lukket støjvæg langs Folehaven på 160 meter og placeres cykelsti og gangsti bagved adskilt fra kørebanerne vil arealet mellem husene og væggen skulle sikres i meget høj grad mht. social tryghed.

Ulykkessikring
Adskiller støjvæggen cykelsti og gangsti fra kørebanen vil der i tilfælde af ulykker på kørebanen opstå problemer med at få redningskøretøjer og personer placeret sikkert. Dette vil muligvis kunne løses i midterrabatten, men det skal undersøges yderligere.

Skybrudsikring
Det er endnu uklart om Folehaven vil blive udpeget som signaturprojekt, eller om den kommer på en prioriteringsliste i forhold til skybrudsikring. I alle tilfælde vil arbejdet skulle koordineres med opsætningen af støjvæggen og indsatserne igangsættes senere end tidspunktet for hvornår støjvæggen ønskes opsat.

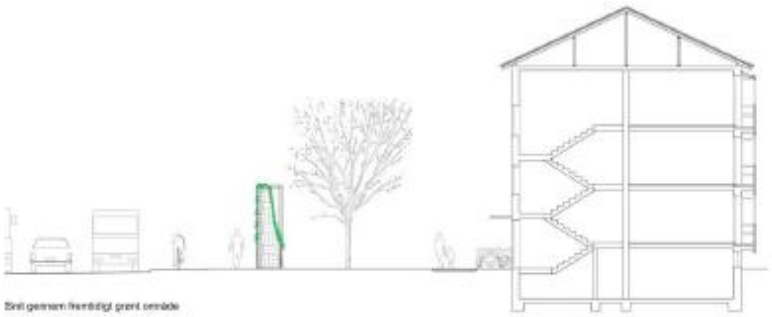
Genopretningsplan
Der er umiddelbart ikke noget, der hverken taler for eller i mod en placering af støjvæggen på Københavns Kommunes areal i forhold til genopretningsplanen.

Forslag



Snit gennem fremtidigt grønt område

Anbefaling



Snit gennem fremtidigt grønt område

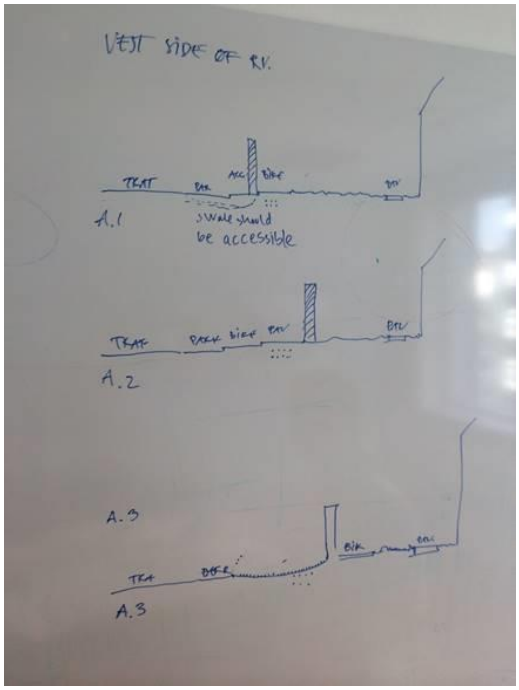
Notat - Koncept for vejvand

Transport, opmagasinering, rensning og anvendelse fra regnvand omkring den grønne klimaskærm

Transport / styring af vandstrømme

Vandet kan opsamles i trug langs kantsten på vejen eller mellem vej og cykelsti. Hvis der er er en busbane skal det undersøges om truget kan indbygges på den. Trugets dimensioner kan bestemmes ved hjælp af regneark fra SVK. Det er også muligt at etablere en dybere kantsten til opsamling af vandet.

Til transport af vand fra trug eller kantsten anbefales en åben rende eller alternativt rør tæt under jordoverfladen (Figur 1). Rør kan udføres som tør ledning dvs. med et jorddække på 25-30 cm. I de fleste tilfælde vil det være mest oplagt at lede vandet til et magasin (se næste punkt). Det vil ofte være hensigtsmæssigt, hvis der i forbindelse med transporten designes/udformes et droslet afløb/overløb til vej eller kloak, så man kan håndtere skybrud. Åbne render dimensioneres efter anvisninger fra producenter og rør efter DS 432 (mindre rør). I nogle tilfælde vil det være nødvendigt at pumpe en del af vandet, hvilket er et fordyrende element, som helst skal undgås selvom der findes pumper som er drevet af solceller mv.



Figur 1: Foto af whiteboard-skitser drøftet ved workshop om kobling af vejvand til skærmløsning. Øverst: Vejvand opfanges i parkerings-stribe, der omlægges med permeabel belægning, med filterjord. Cykelsti på inderside af skærm.
Midt: Vejvand opfanges i rensekassette placeret under fortov, placeret på yderside af skærm.
Nederst: Parkering udføres som fladt trug, hvor renseelement placeres inderst, evt. under skærm.

Magasinering

Hvis man ønsker at vandet skal kunne benyttes til forsyningsformål f.eks. til vanding af væg/skærm, wc-skyl og tøjvask, vanding af grønne områder, bilvask mv. er det nødvendigt at indbygge et magasin, der kan udjævne de store udsving der er i hvor meget regn der falder hen over et år. Jo større magasin jo mere af årsnedbøren kan benyttes. En god tommelfingeregel er, at magasinet skal kunne håndtere alle regn under 10 mm, hvilket medfører at godt 95 % af årsnedbøren håndteres. Magasiner kan udføres med plastkassetter, tanke, placeret under grøn skærm, eller under fortove og cykelstier, hvis der ikke er problemer med ledninger i jorden. Det anbefales at opsamle vandet så tæt på overfladen som muligt for at bevare mest mulig gravitationskraft til senere transport.

Rensning

Vejvand er typisk forurenet. Der er flere forskellige teknologier der kan benyttes til rensning af vejvand. De mest veldokumenterede er filterjord, hvor vandet siver gennem 30-40 cm filterjord samt DPF-anlæg (dobbeltporøs filtrering), hvor vandet løber horisontalt gennem et filter, der har en samlet længde på 50-60 meter. Der findes også andre produkter til rensning af vejvand, se fx:
http://vandibyer.dk/projekter/afsluttede-innovationsprojekter/ip10-regn-med-kvalitet-bedre-styr-paa-afstroemningens-kvalitet-er-en-forudsaetning-for-baeredygtig-og-innovativ-klimatilpasning/
Når renseløsninger skal integreres kan det være nødvendigt at pumpe vandet til/fra renseløsningen.
I den skitserede løsning med en vejvandsrensekassette indbygget langs eller under Grøn Klimaskærm er der taget udgangspunkt i princippet bag dobbeltporøs filtrering. Multiple strømningslag vil sikre rensning for suspenderet stof. Den videre udvikling af en sådan kassette kræver fokus på indløbsforhold (specialdesignet kantsten) og renseadgang for fjernelse af akkumuleret sediment.

Valg af evt. pumpe

Ønskes vand opmagasineret under jorden til senere vanding af den grønne klimaskærm vil det kræve pumpning. Da vanding af skærmen ikke kræver et stort flow (omkring 0,1 l/s) bør det overvejes om man kan koble en lavenergipumpe på, der kan løfte vandet op til 5 meter. Da vanding af skærmen ikke behøver at foregå konstant kan en pumpe kobles på solceller og dermed opnå en løsning, der er uafhængig af stømtilslutning

Anvendelse (nedsivning, forsyningsformål, transport væk fra området)

Klimatilpasning giver mest merværdi, hvis hovedparten af vandet kan benyttes til forsyningsformål. Derfor anbefales det at undersøge potentialet for denne mulighed som det første. Alternativt kan det undersøges hvor meget vand der kan nedsives, hvis det er noget som grundvandsforholdene giver mulighed for.

Projekterings- og dimensioneringsdetaljer

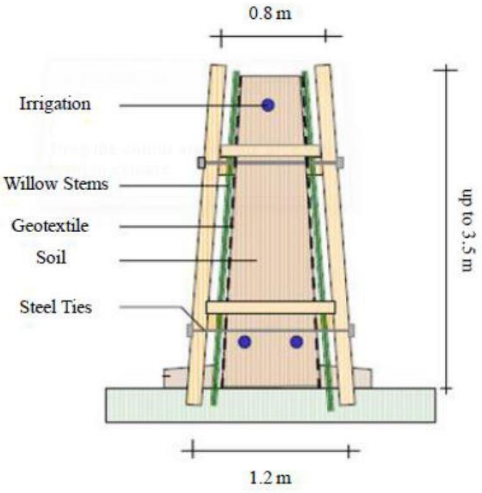
- Det skal altid gennemtænkes nøje hvordan hvert enkelt element vil reagere ved skybrud, både dimensionsgivende og ikke dimensionsgivende regn.
- Få godt styr på alle arealer, der indgår i projektet. Det gælder både arealer fra veje, cykelstier, fortove, tage og grønne områder hvorfra der forventes overfladeafstrømning
- Hvilken klimafaktor skal man regne med i forhold til regnintensitet. Spørg Kommune/Forsyningsselskab
- Undersøg tidligt hvor der er ledninger i jord hos www.ler.dk
- Hvis der skal ske nedsivning skal jordbund- og grundvandsforhold undersøges.

Inspiration – fra nettet og studietur

Alle projektpartnere har i gennem forløbet indsamlet eksempler på skærm-konstruktioner og planter etableret på hårde overflader. Det drejer sig om materiale fra internettet, eksempler man tilfældigt er kommet forbi, samt en studietur til Malmos' projekter i Københavnsområdet, samt nogle øvrige projekter fra København. I nærværende bilag er en del af dette materiale gengivet.

Diverse skærme fra internettet og tilfældigt observeret

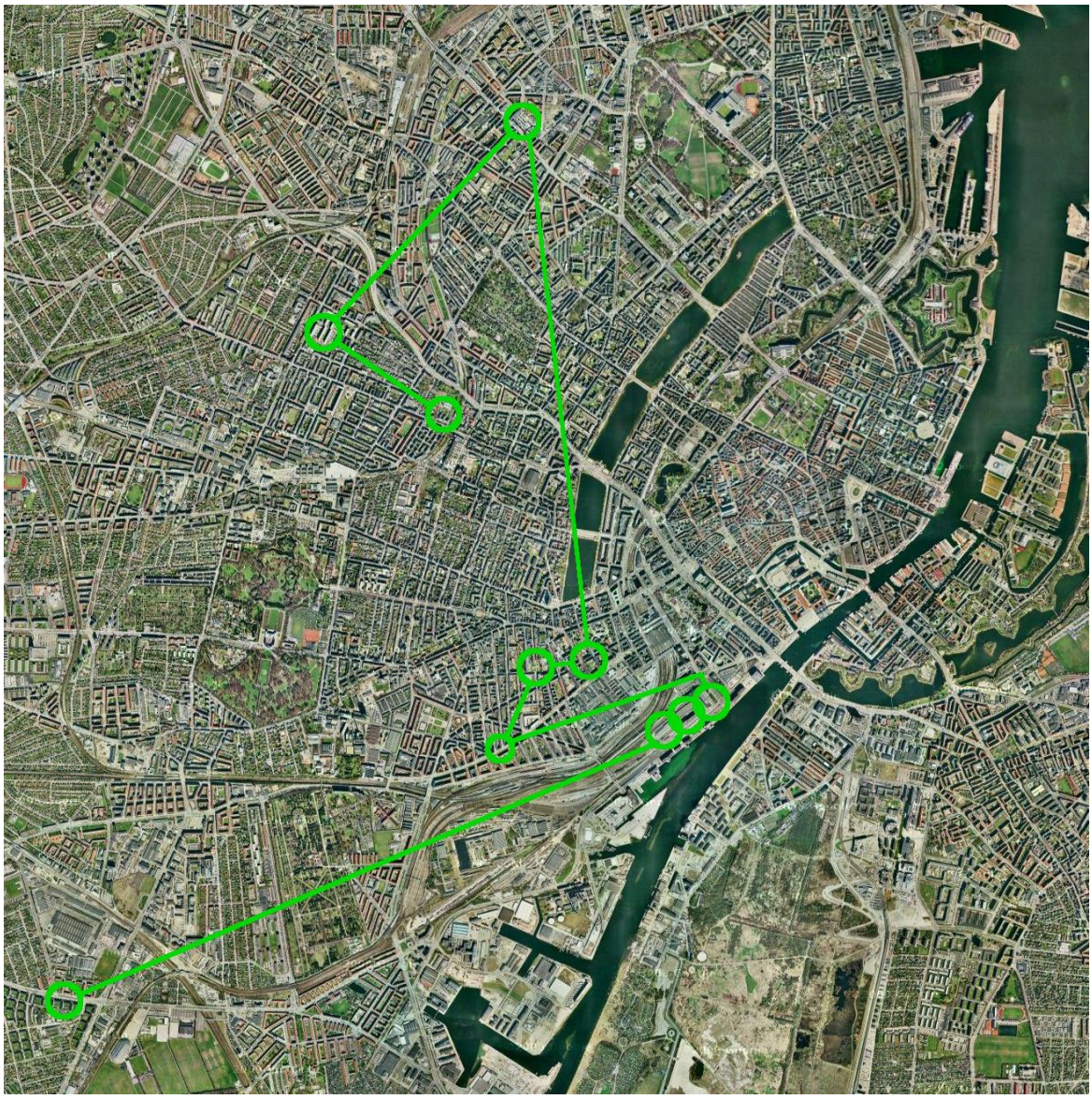
worldgreenroof.org 2010


0.8 m
Irrigation
Willow Stems
Geotextile
Soil
Steel Ties
up to 3.5 m
1.2 m

Støjskærm ved Ringvejen i Århus

Betonskærm med huller til plug-planter

Studietur i København 16.1, 2014



AKB “Stjernen” Holger Danskes Vej 106A-108.

Hermodsgade 4-6

SEB Bank

Rigsarkivet

Tivoli Hotel og Kongrescenter

Istedgade 29

Otto Krabbes Plads

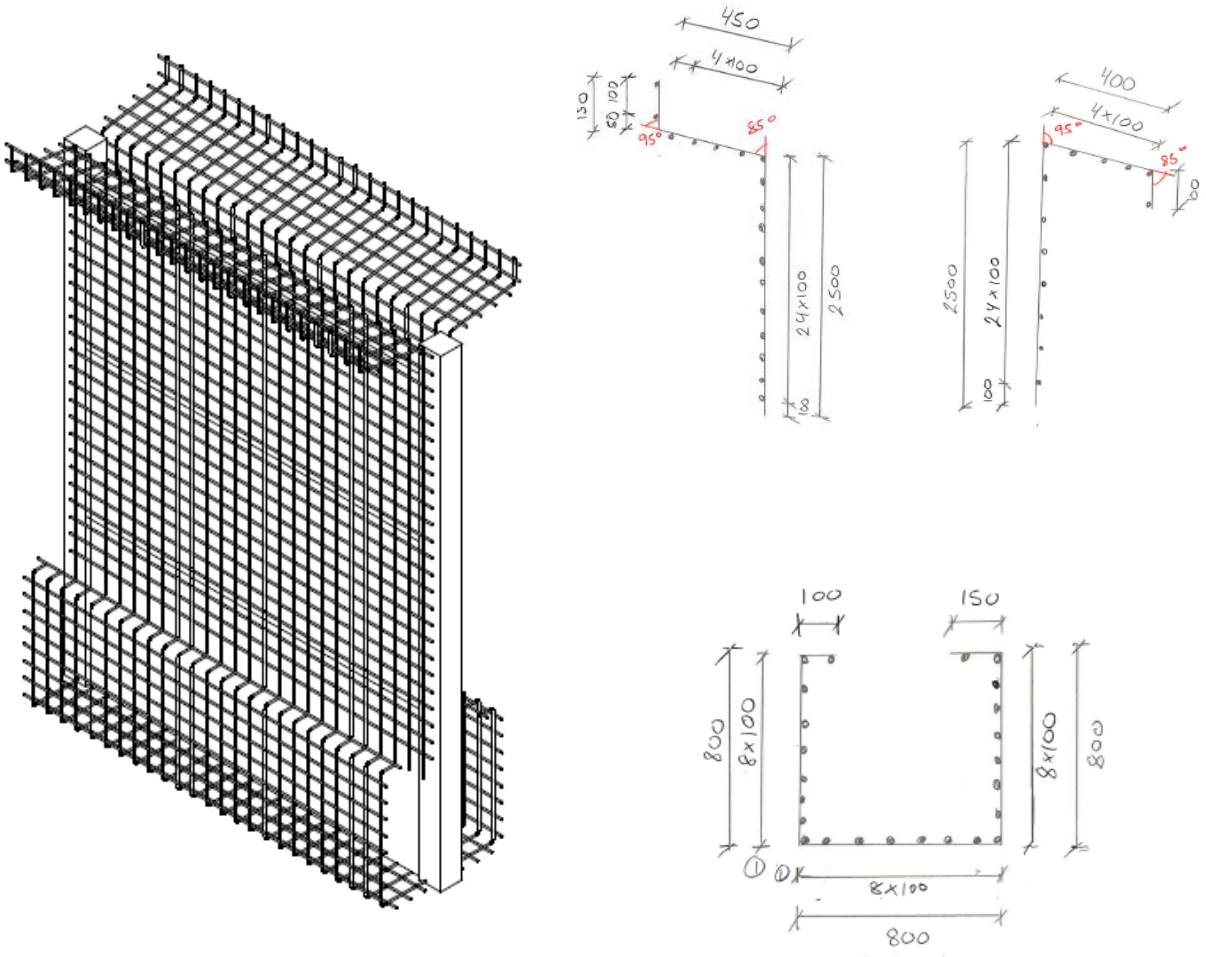
Info om Grøn Skærm prototype produceret af Lemvig-Müller i Køge

Notat 17.6.2015. Udarbejdet af Marina og Kristoffer.

Lemvig-Müller importerer stålprodukter for videresalg. De kan også klippe, bukke og svejse stænger efter kundens ønsker. De kan ikke bukke net, og de kan ikke galvanisere.

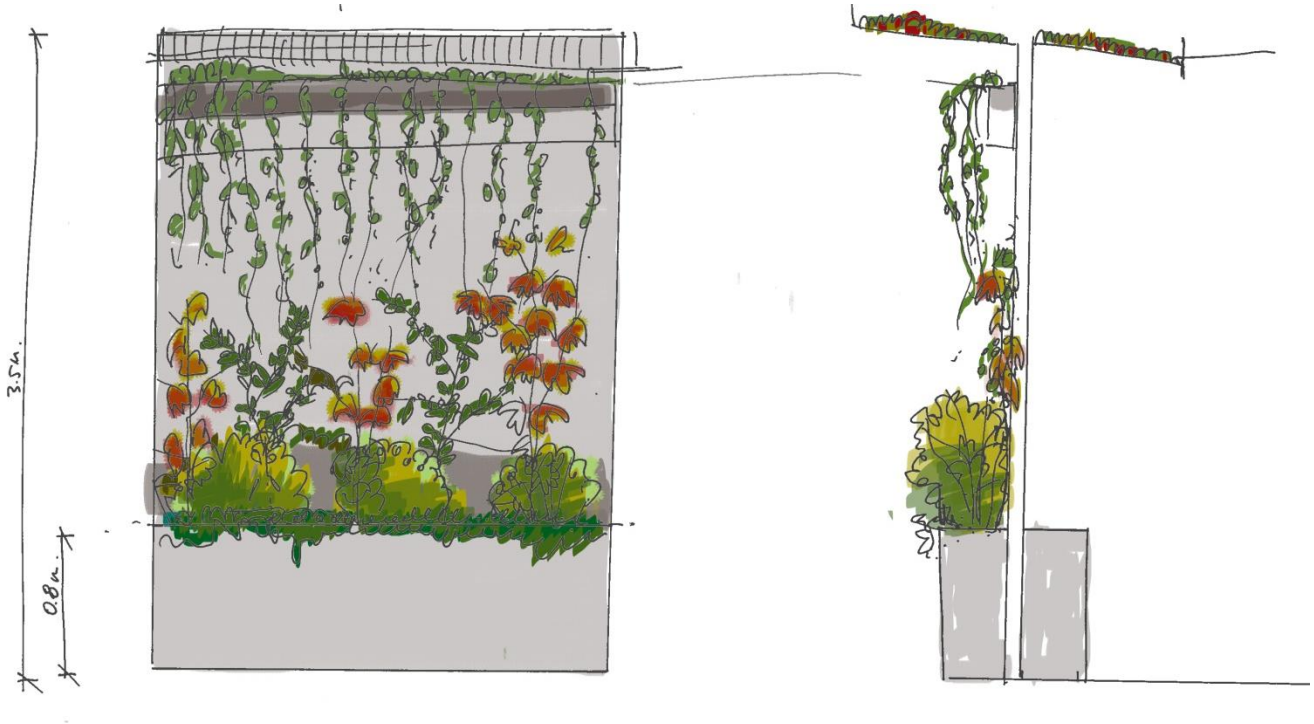
Nuværende forslag:

Med mindre vi sender ændringer inden fredag morgen vil Lemvig-Müller levere et enkelt modul som vist i Figur 1.



Figur 1. *Til venstre: Statiker Tims illustration. Skærmmodulet er 2,35 m langt og ca. 3,5 m højt. Det består af en løs bundkasse, der hviler på jorden, og en væg med tag, der hænger på stolper. Til højre: Lemvig-Müllers arbejdstegninger af bundkasse og væg med tag, som de har sendt til godkendelse. Her er kun vist tværsnit – de har også sendt snit af de 2,35 m lange sider. LM vil fremstille bundkassen af 10 mm tråde, der bukkes og som samles med 10 mm tråde der svejses på i længderetningen. Maskevidde 10 cm x 10 cm. LM vil fremstille de to lodrette vægge af 10 mm rio-net med samme maskevidde, og så påsvejse "tagene" efterfølgende. Tagene fremstilles ligesom bundkassen af 10 mm tråde der bukkes og sammensvejses.*

Som vist i figur 2 tænkes bundkassen beplantet med bunddække, småbuske og slyngplanter. I væggen lægges grodan (rockwool-lignende) for at vise den påtænkte støjdæmpning. Væggen forventes at blive dækket af slyngplanter delvist i år, og fuldt i løbet af næste vækstsæson. På taget lægges grønt tag. Der er foreslået planter der kan etableres hurtigt. Nogle af de samme planter forventes at kunne benyttes i den fulde skærm, men her er det relevant at teste flere arter.



Figur 2. Emilkas håndskitser af beplantning, dels i tværsnit, dels i længderetningen. Der skelnes mellem ”vejsiden” af skærmen og den ”bløde side” af skærmen. For at få en hurtig vækst allerede i år foreslås en blanding af en-årige og flerårige klatreplanter. Til vejsiden kunne foreslås forskellige vikker (enårige) og vedbend (flerårig) til at dække væggen og singrøn (vinca) som bunddække. Til den bløde side kunne foreslås rådhusvin og klematis (begge hurtigtvoksende flerårige) som klatreplanter og som bunddække alunrod og sinca.

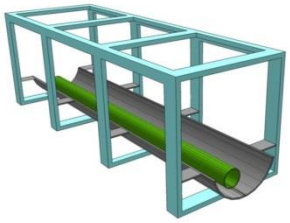
Det foreslåede design er resultatet af en iterativ proces, hvor forskellige ideer og hensyn har styret udviklingen. Vi ønsker på den ene side en smuk skærm, der kan levere alle de ønskede services (vand, støj, luftkvalitet, biodiversitet), og på den anden side, et produkt der er økonomisk overkommeligt, enkelt at etablere og renovere, muligt at indpasse langs vejen, muligt at vedligeholde osv. De vigtigste skridt i denne proces er opridset i nedenstående ”Historik” afsnit. Det skal understreges at den nu foreslåede prototype også er et loop i en sådan proces, der ikke er tænkt til ende endnu. Under mødet med Lemvig-Müller i fredags blev mange ting således ændret.

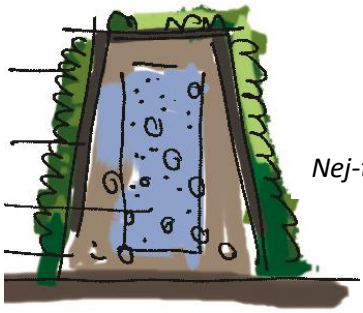
Historik bag foreslået skærm design til Lemvig-Müller prototype

Det foreslåede design er resultatet af en iterativ proces, hvor forskellige ideer og hensyn har styret udviklingen siden projektets start i 2013. Vi ønsker på den ene side en smuk skærm, der kan levere alle de ønskede services (vand, støj, luftkvalitet, biodiversitet), og på den anden side, et produkt der er økonomisk overkommeligt, enkelt at etablere og renovere, muligt at indpasse langs vejen, muligt at vedligeholde osv. De vigtigste skridt i denne proces er opridset i nedenstående "Historik" afsnit. Det skal understreges at den nu foreslåede prototype også er et loop i en sådan proces, der ikke er tænkt til ende endnu. Under mødet med Lemvig-Müller i fredags blev mange ting således ændret.

1) **Modul frem for opbygning på stedet.** Beplantede støjskærme opbygget på stedet som det kendes fra Århus blev fravalgt tidligt i processen, fordi vi har ambition om industriel fremstilling ("grøn gentagelse kilometer efter kilometer"). Modul, hvor hovedparten kan fremstilles andet sted foretrækkes.

Ja-tak





Nej-tak

2) **Test af gabioner med vegetation.** Som modul blev afprøvet almindelige gabioner, som de kendes fra skræntstabilisering. Tråd-gabioner blev fyldt med substrat og beklædt med plantemåtter. Nydeligt resultat, der i sig selv kan blive et fint produkt. Statisk set kan 6 gabioner stablet oven på hinanden til 3 m højde og støttet at et skelet af stolper og tværgående stænger fungere. Dermed har vi en løsning klar.

Grøn gabion – også godt produkt som stand-alone

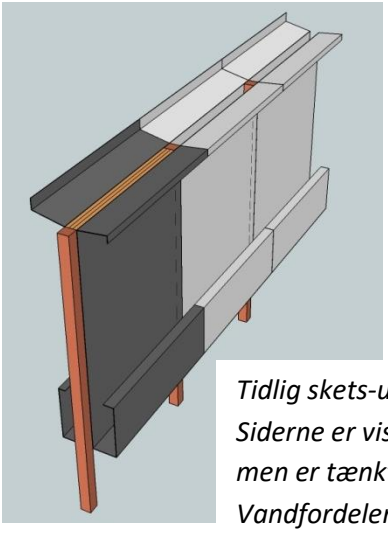
Med støtte fra et metal-skelet kan gabionerne stables til 3 m højde. Dermed har vi én mulig løsning

3) **Forbedring af moduldesign.** Gabion-ideen har nogle mangler og ulemper, som måske kan forbedres. Det drejer sig om
   a. Pris. Gabioner er dyre. Bare i indkøb er de dyre, knap 1000 kr. pr. stk
   b. Langsomme at etablere. Skal pakkes og stables enkeltvis
   c. Plantetrivsel. Gabioner understøtter ikke plantevæksten optimalt på de vertikale flader. De bedste erfaringer med planter på dæk/op ad vægge er planter, der står i store kummer.

d. 'Firkantet' udseende. Der er ikke så mange design-variant-muligheder. Desuden vanskeligt at lave støj-tag (top-del der hælder mod vejen).
e. Overflade-løsning. På grund af de mange rør, der typisk ligger under veje, vil det generelt være en fordel med en så overjordisk forankring som mulig. I stedet for stolper der går ned i jorden vil det være en fordel med fødder der går vandret ud. Det er også en fordel med en så smal skrærm som muligt da der er kamp om pladsen langs vejene. Dette kan måske indbygges mere fleksibelt end med standard gabioner.

4) **Rio-net ide.** Ved mødet hos Aarsleff faldt snakken på rio-net (armeringsnet, der bruges i tusindvis i byggeriet og som derfor kan indkøbes ret billigt). Efterfølgende blev det vurderet om en skærm kunne fremstilles af 2 stk. standard rio-net (5 m høje, 2,35 m brede, fås i mange godstykkelser og maskevidder, med og uden galvanisering), der bukkes og samles omkring stolper, som en sandwich. Dette kunne være en billig fremstillingsmetode og give et mere fleksibelt design. Rio-net ser også godt ud sammen med planter. Statiker Tim har regnet på det og giver input på styrkekrav. For at undersøge om en rio-netbaseret skærm kan fremstilles blev der afholdt møde med Lemvig-Müller i Køge.

Første whiteboard skitse



Tidlig skets-up tegning. Siderne er vist massive, men er tænkt som net. Vandfordeler i toppen.

Rio-net og slyng-planter ser godt ud sammen

5) **Input fra mødet med Lemvig-Müller.** LM kan ikke bukke rio-net men kun enkelt-stænger, som de så bagefter kan svejse sammen. Måske findes der et firma på Fyn, der kan bukke rionet. Det er vi ved at undersøge. LM galvaniserer heller ikke. Hvis elementerne skal galvaniseres (varm-forzinkes), hvilket med stor sandsynlighed er nødvendigt for at skærmen ikke skal ruste væk, i hvert fald på vejsiden, vil det nok være en fordel med mindre elementer, der lettere kan sænkes ned i galvaniseringskarret. Transportmæssigt er det også en fordel hvis elemenerne kan stables. To dele i form af en bundkasse og en væg med tag kunne derfor være fordelagtig. Den oprindelige ide med to bukkede rionet blev derfor opgivet under mødet, og designet i stedet 'oversat' til løsningen vist i figur 1.

Forslag til modificering af Lemvig-Müller prototype

Med en fremstilling baseret på svejsning frem for bukning åbner der sig igen nye muligheder.

Vi har allerede følgende ændringer til arbejdstegningerne fra Lemvig-Müller

1) Alle vandret-løbende stænger/tråde skal ligge på ydersiden, sådan at planterne kan kravle under dem.
2) Væg-elementet mod vejsiden bør med tag være mere end 2,65 m højt (2500 mm + 150 mm), for at det kan stikke lidt ned i bundkassen, og lave godt overlap med vækstsubstratet, sådan at selv om substratet falder lidt sammen opstår der ikke en spalte under grodanen hvor støjen kan slippe igennem. Bundkasserne er 0,8 m høje. Vi ønsker en samlet højde af skærmen på 3,5 m, så væg-elementet med tag skal måle 2,7 m + 0,1 m overlap med muld, dvs. 2,8 m i alt. Vægdelen (uden tag skal derfor være 2650 mm i stedet for 2500.

Vi overvejer derudover følgende:

3) Nu hvor vi ikke er bundet af en maks. længde af rionet på 5 m kan vi vælge målene mere frit. Tag-delen bør strække sig 0,5 m ud mod vejsiden. Mod den bløde side bør den have sammen bredde som bundkassen.
4) Bundkassen kan have et asymmetrisk tværsnit. Mod vejsiden skal man kunne køre tæt på, og der behøver ikke være plads til så mange planter. Så her kan der være en lodret side, og måsk blot 20 cm til midten af væg-elementet. Mod den bløde side skal der være plads til lidt flere planter. For at holde bunddelen smal kan siden tilde lidt udad, så f.eks. 30 cm i bunden og 40 cm foroven.
5) I prototypen, der skal fremvises ved Folehavens beboerhus er der behov for afslutning af bundkassen i gavlene. Dette kan eftermonteres (træplade, net), men vi kunne også bede LM om at svejse nogle afsluttende stænger på tværs
6) Maskevidden i rionettet kan optimeres.
    a. Bundkassen: Her skal vi have fyldt substrat i. Dette vil falde ud igennem 10 x 10 cm masker. Vi havde tænkt at lægge et kyllingenet indenfor, men måske kan vi vælge en mindre maskevidde i bundkassens sider. Til gengæld er der ikke behov for net i bundkassens bund.
    b. Væg-delen. 10 x 10 cm maskevidde er fint til slyngplanter, men i virkeligheden er 15 x 15 cm tilstrækkeligt af hensyn til planterne.
    c. Tagdelen. Her skal der lægges grønt tag oven på. Måske er det også smart her med mindre masker.

Notater om hydrauliske tests

Vandret vandfordelerrende

Baggrund og formål

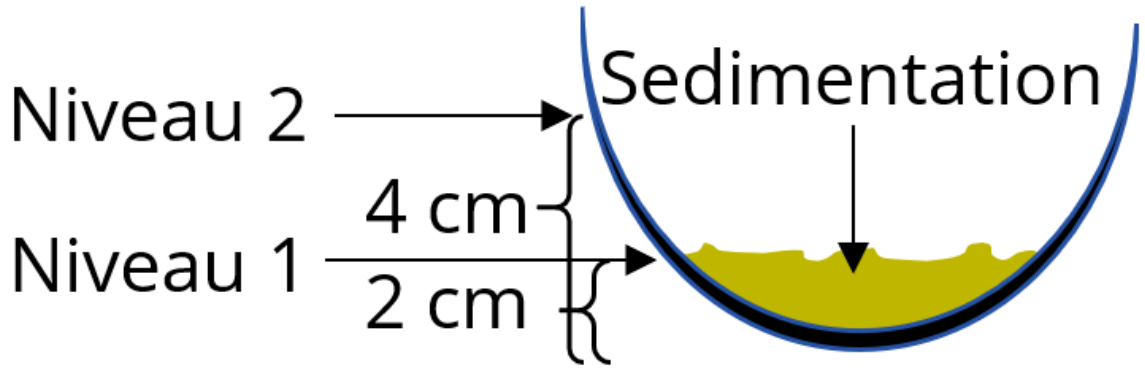
For at kunne sikre en ensartet vandfordeling af tagvandet langs den grønne klimaskærm er det nødvendigt lave en lavpraktisk vanfordeling.

Udfordringen er at vandet kun bliver ført op i skærmen et sted fra hvert tagnedløb. For teststrækket betyder det at der er fire tagnedløb, der skal fordeles over godt 80 meter. Det vil sige at der ønskes en ensartet vandfordeling. Det blev sat som krav at vandfordelingen skulle kunne sikre en ligelig vandfordeling både ved normal regn og kraftig regn. Målet var derfor at kunne fordele vandet i intervallet 10 l/s/ha (svarende til en let regn) op til 160 l/s/ha (svarende til en kraftig regn).

Det blev ud fra historisk data fra København estimeret at hvis fordelerrenden kunne håndtere dette interval vil 95 % af den årlige nedbør kunne håndteres ensartet.

Gennem et udviklingsforløb hvor drænslanger og trykslanger blev testet endte den endelige udformning med at være en tagrende der placeres vandret med et opførringsrør fra tagnedløbet i bunden af tagrenden.

Den endelige valg blev en tagrende med ø6 mm huller i to niveauer hhv. 2 cm over bunden (niveau 1) og 4 cm over bunden (niveau 2). Se figur 1. der blev ved testene fundet en optimal diameter på hullerne på 6 mm, da denne hulstørrelse ikke forventes at klogge så meget til som mindre huller.

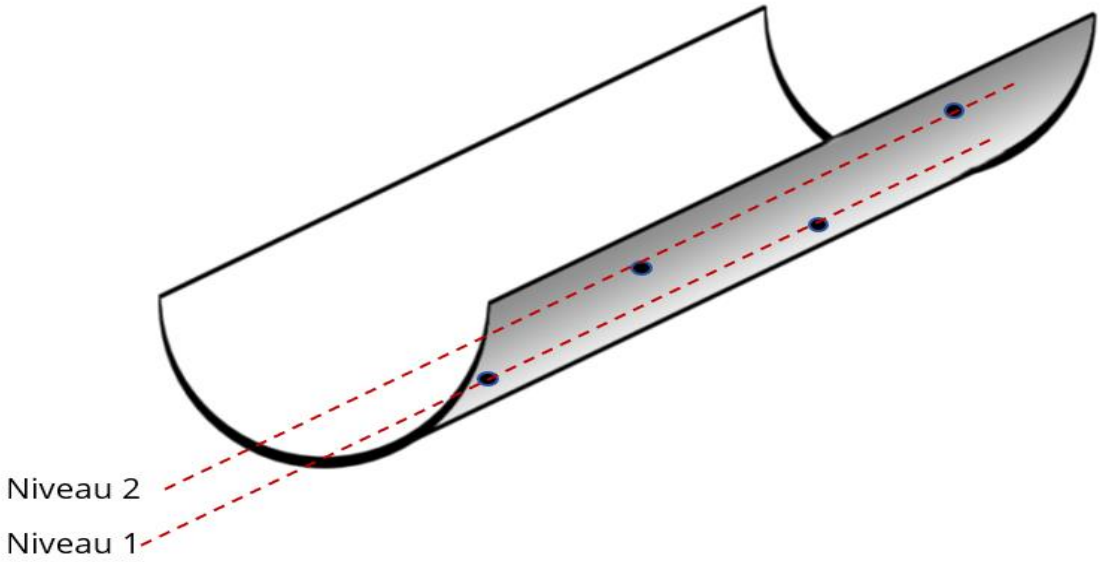


Figur 1: To Niveauer af huller i tagrenden der sikre ren ensartet vandfordeling. Nederste hul (niveau 1) er placeret 2 cm fra bunden for at partikler fra tagvandet ikke stopper hullerne til.

Med den valgte hulstørrelse blev det beregnet at hullerne i de to niveauer skulle sættes med 0,5 meters mellemrum for at tagrenden kunne sikre ensartet vandfordeling mellem 10 l/s/ og 160 l/s/ha.

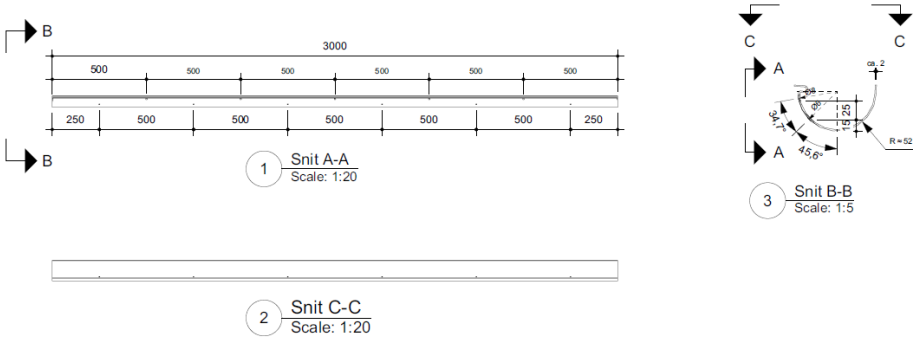
Baggrunden for at løfte de nederste huller 2 cm fra bundne af tagrenden var at man herved kan sikre at evt. større partikler der transporteres med tagvandet kan sedimentere i bunden uden at tilstoppe hullerne.

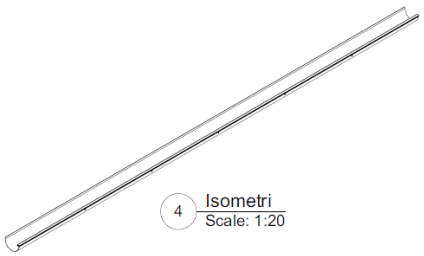
På figur 2 ses tagrenden fra siden, med de to niveauer af huller



Figur 2: De to niveauer for udsivning langs tagrenden vist på langs. På hvert niveau er der 0,5 meter mellem hullerne.

Nedenfor er den endelige beskrivelse af tagrendes udformning vist:





Generel note
1. Plasttagrende

Rev.	Rettelse	Dato	Tegnet	Kontrol	Godk.

Grøn skærm
Principskitse af plasttagrende med huller til vandfordeling

Proj.	Tegnet	Kontrol	Godk.	Dato
TL	TL	TL	TL	2019-05-15

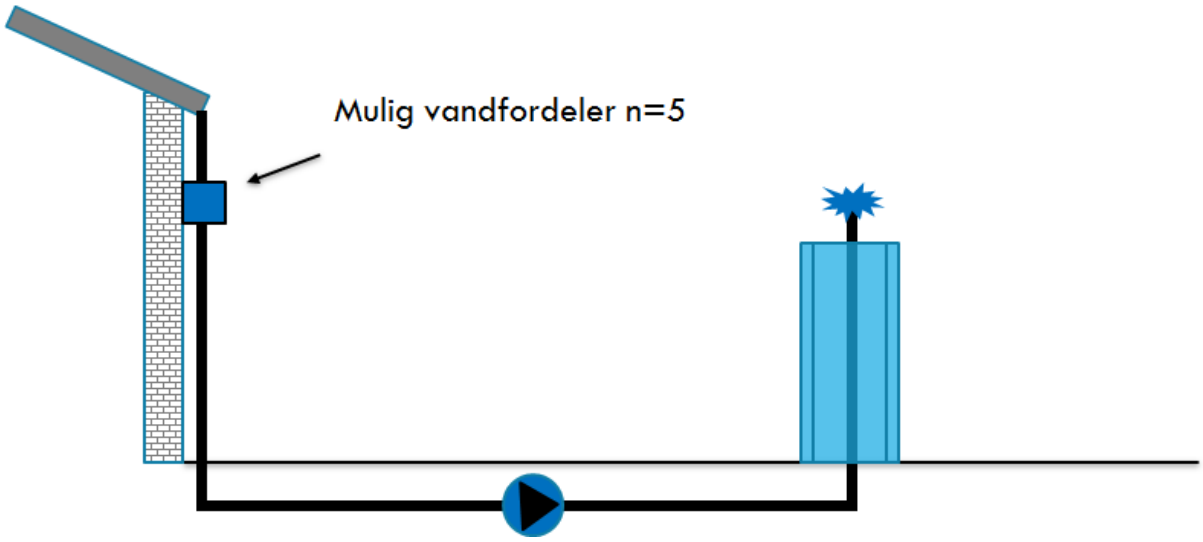
	TL-Engineering Parkvej 5 2830 Virum	Tegn. nr. 301	Rev. -

Test af trykhøjde for maxflow

Baggrund og formål

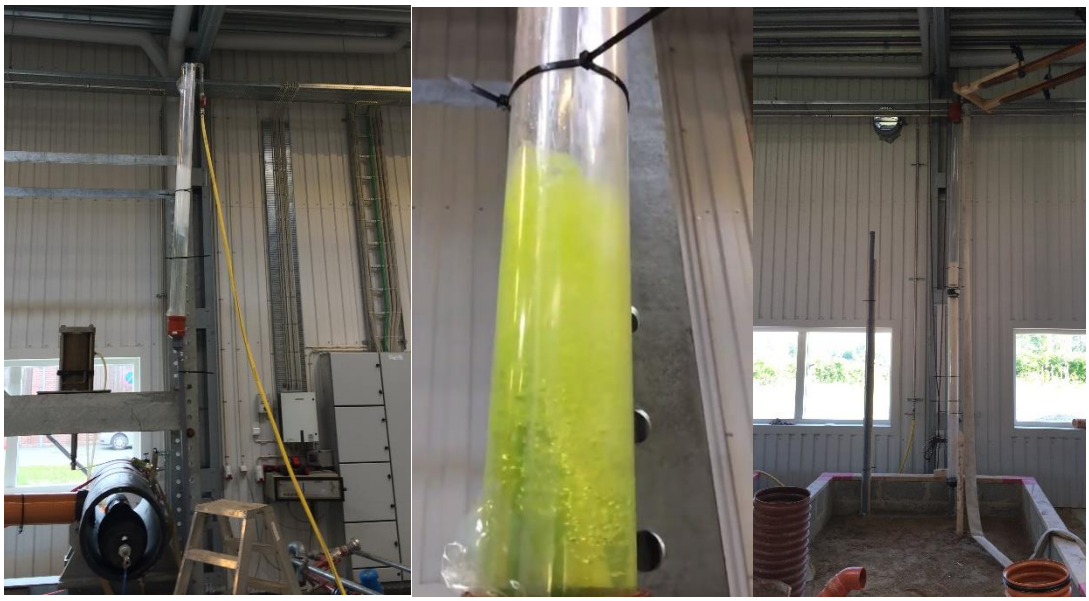
Ved at vælge ikke at bruge pumper til transport af vand fra tagfladen til toppen af væggen, skal det testes hvordan et design skal udformes, så kan skal kunne løbe ved gravitation med et ønsket flow

Det maksimale flow i et gravitationsdrevet rør er afhængig af trykhøjdeforskellen mellem indløb og udløb se figur 1. Yderligere er bøjninger og længde af rør med til at skabe modstand, der også har en betydning for trykhøjdeforskellen mellem ind og udløb.



Figur 1: Illustration af forbundet trykrør, hvor trykhøjden mellem vandfordeler og udløb på væggen afgør den maksimale vandtransport.

For at sikre at de indledende trykhøjdeforskelsberegninger holdt, blev der opsat 1:1 opstillinger af tykrøret i Teknologisk Instituts klimatilpasningshal, se figur 2.



Figur 2: Forsøgsopstillinger til test af trykhøjdeforskel ved maksimalt flow på 3 l/s. Der blev valgt gennemsigtige rør i stedet for tagnedløb for visuelt at kunne se hvor stor trykhøjdeforskellen var for at opnå et flow på 3 l/s

Krav til opstilling

- Ønsket flow 3 l/s/m3 (500 l/s/ha). Dette er svarende til en gentagelsesperiode på T=100 om 100 år for en 5 minutters hændelse ved et tagareal på 60 m2 per tagnedløb
- Trykrørs dimension ø50. Selve overgangen går fra et ø90 tagnedløb til et ø50
- To 90 graders bøjninger
- 10 meter vandret ledning

Resultat

Ved afprøvning af forskellige forsøgsopstillinger viste det sig at det er overgangen fra ø90 til ø50 samt de to 90 graders bøjninger, der har den klart største indflydelse på trykhøjden. Forsøgsopstillingen til de endelige tests for bestemmelse af trykhøjde blev derfor lavet med en vandret trukledning på kun 2 meter.

Resultatet blev at der kræves en trykhøjde på 1,2 meter for at drive 3 l/s i et ø50 rør. Det viste sig dog at trykhøjden var påvirket af ændringer i flow og derfor ”svulpede” 20 – 30 cm inden et fast flow var etableret. Vi har derfor valgt at lægge den varriation oven i den målte trykhøjde ved et konstant flow. Den endelige trykhøjdeforskel er derfor sat til 1,5 meter vandsøjle.

Bilag: Opsummering om vegetation på baggrund af møder og workshops, 2015

Baggrund: Dette appendiks er udarbejdet i 2015 og er baseret på dels interne arbejdsmøder i projektgruppen (Malmos, KU), dels møder og workshops med eksterne partnere, hvortil en stor tak skal rettes. Det drejer sig om følgende personer: Tobias Emilsson, Ann-Mari Fransson og Karin Svensson, alle Sveriges Landbrugsuniversitet, Alnarp, samt Marian Ørgaard, Lars Birch (could not be present at workshop, but his comments are added afterwards), Thomas Høvsgaard Vejsnæs alle KU, samt Karsten Due fra 3B. Desuden har biologistuderende Emilie Nielsen i regi af sit speciale udarbejdet forslag til plantelister for vegetation der kan understøtte solitære bier (særskilt appendiks). Appendikset samler op på overvejelser over valg af planter ud fra diverse kriterier, samt overvejelser omkring substrat, vanding og gødskning.

Vegetation on the green screen in Folehaven

In spring 2016 approximately 200 m of a 3 m high green screen will be established along Folehaven next to the pavement in front of three 3B-buildings. Based on a workshop December 17 2015 with Marian Ørgaard, Karin Svensson, Tobias Emilsson, Thomas Høvsgaard Vejsnæs, Emilie Nielsen, Karsten Due, Per Malmos, Maria Burup, Kristoffer Ulbak, Emilka Zemlak and Marina Bergen Jensen, and later meetings with UC-campus gardener Lars Birch, plants for the green roof and the bottom planting box have been suggested. In addition some specific experiments have been outlined, including experiments with vegetation growing directly in the grodan wall. We also talked about choice of substrate for the planting box. Finally we discussed if an emergency irrigation system should be included and if/how to add nutrients.

For the species suggested we should check that they are not black-listed or on the observation list announced by Naturstyrelsen. We should also be careful with introducing rare species.

1) Species for the green roof

The green roof will be established on a 10-12 cm thick green roof substrate (crushed bricks with a little compost), either as mats (1.5-2 cm thick on top of green roof substrate) or plug plants received from Denmark, Holland or Sweden. It will be established as a normal sedum roof with 7-10 different sedum species (the mat from Nykilde has 10). This is referred to as the Basic Sedum Roof. The Basic Sedum Roof will be established on the entire roof area, also where the specific experiments are conducted. In this way the sedum can take over in case the experimental species fail. [Species: *Sedum album, Sedum acre, Sedum floriferum, Sedum hybridum, Sedum kamtschaticum, Sedum reflexum, Sedum spurium, Sedum sexangulare, Sedum stoloniferum, Sedum takesimense*]

2) Species for the planting box

The planting box is 80 cm wide and 1.2 m high on the road side and 0.8 m high on the building side. The planting bed on the road side is 20 cm wide. On the building side the 0.8 m high box is subdivided into two terraces, with the upper forming a 20 cm wide planting bed and the lower forming a 25 cm wide planting bed (the remaining 15 cm is below the grodan). The substrate for the box is likely to be similar to substrate

for intensive roof gardens (crushed bricks mixed with some compost). The box is placed directly on the ground with no membrane between, allowing roots to grow into the ground. The vegetation in the planting box is supposed to cover the grodan wall, and to form a ground cover that may hang over the sides of the box. It is therefore relevant with both climbers and shrubbery/ground cover.

2a) Species for the planting box facing the road

At the workshop it became clear that there are no such thing as species we can be 100 % sure will thrive on the roadside of the screen. It is therefore decided to make a mixture of the most promising plants.

Climbers: If the climbers are evergreen they are likely to be damaged by the salt. It may therefore not be possible to ensure green appearance during wintertime. Climbers with autumn colors are good. The planting bed is facing north. The planting density for climbers is in the order of 0.5 m.

- Clematis vitalba (https://da.wikipedia.org/wiki/Almindelig_Skovranke). Not killable. It has naturalized in Denmark. It is not black-listed in DK (http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/invasive-arter/invasive-arter-i-danmark/sortlisten/). It has white flowers in clusters. It can grow very impressively but can be cut back with a 'cutter'. It may spread by seed, so it could appear/take over the entire screen. Could we place it on the most exposed sites?
- Clematis tangutica (http://www.gartneriet.dk/leksikon/plante/4/). Also very robust. Yellow flowers.
- Parthenossus tricuspidata (https://da.wikipedia.org/wiki/R%C3%A5dhus-Vin). Autumn colors. Robust.
- Celastrus scandens (https://en.wikipedia.org/wiki/Celastrus_scandens). Autumn colors. Yellow berries. Robust.
- Lonicera caprifolium (https://da.wikipedia.org/wiki/%C3%86gte_Kaprifolie). Get naked in the bottom. May hang over the roof (which may look good).
- Hydrangea petiolaris (https://da.wikipedia.org/wiki/Klatre-Hortensia). Slow growing but will eventually make it to the top.
- Lars: Hedera helix 'buttercup' – nice cultivar with yellow glow
- Lars: Akebia quinata could be considered – rather salt tolerant
- Other?

Ground cover:

- Grasses. There may be some carex species that can manage shadow, drought and salt. Also Luzula sylvatica (https://da.wikipedia.org/wiki/Stor_Frytle). Others/ prairie grasses?
- Geranium macrorrhizum (https://en.wikipedia.org/wiki/Geranium_macrorrhizum)
- Other geraniums?
- Bulbs?
- Other?

Ground cover that will also hang over the sides:

- Cymbalaria moralis (https://da.wikipedia.org/wiki/Vedbend-Torskemund)
- Fragaria vesca (https://da.wikipedia.org/wiki/Skov-Jordb%C3%A6r)
- Vinca minor (https://en.wikipedia.org/wiki/Euonymus_fortunei), may need wetter conditions
- Euonymus fortunei (https://en.wikipedia.org/wiki/Euonymus_fortunei) , may need wetter conditions. Lars: E. fortunei minima is a slow growing species that is very hardy

- Other?

2b) Species for the planting box facing the buildings/garden

For the garden-side of the screen almost any plant will be able to thrive. For the bigger species with deep running roots drought is not an issue after establishment. For the smaller species with no deep-running roots drought resistance is important as the substrate may become very dry at the top.
We are going to make three gardens. Perhaps we could have a different theme for each of them?
Suggestions:

- Rose garden
- The edible garden (snapseurter m.v.)
- The butterfly garden
- Other?

Climbers:

- Rosa helenae hybrid (http://www.haveabc.dk/16/honningrose---rosa-helenae). Lots of flowers. Very tall.
- Rosa multiflora (http://www.skovplanter.dk/planter/rose---mangeblomstret-rose-(rosa-multiflora).aspx) White flowers. Green stems.
- Lars: Rosa splendens. Pinkish flowers. Beautiful foliage. Hardy.
- Actinidia chinensis (http://www.haveabc.dk/22/kiwiplanten---actinidia-chinensis)
- Akebia quinata (https://da.wikipedia.org/wiki/Femfingret_Akebia)
- Jasminum officinalis (https://en.wikipedia.org/wiki/Jasminum_officinale)
- Jasminum nudiflorum (https://da.wikipedia.org/wiki/Vinter-Jasmin)
- Other?

Ground cover/shrubbery

- Ficus carica (http://denstoredanske.dk/Natur_og_milj%C3%B8/Botanik/Rosales_(rosenordenen)/figen) (especially hardy: http://www.dr.dk/nyheder/regionale/sjaelland/figentrae-fra-roesnaes-breder-sig-over-hele-landet)
- Potentilla species (https://da.wikipedia.org/wiki/Potentil). Drought tolerant. Many native species.
- Helianthemum (https://en.wikipedia.org/wiki/Helianthemum). Big flowers, Semi-shrub. Would go well with Geranium sanguineum (http://www.havenyt.dk/artikler/prydhaven/blomster/stauder/1137.html). Also recommended by Lars.
- Other?

3) Specific experiments

1) Test of different species added as plug plants/bulbs to the Basic Sedum Roof:
    a. Armeria maritima (http://www.haveabc.dk/16/engelskgr%C3%A6s---armeria-maritima)
    b. Leucanthemum vulgare (https://da.wikipedia.org/wiki/Hvid_Okse%C3%B8je)
    c. Thymus (http://www.havenyt.dk/artikler/koekkenhaven/krydderurter/to_og_fleraarige/137.html)
    d. Dianthus deltoides (https://da.wikipedia.org/wiki/Bakke-Nellike)
    e. Bulbs like crocus, scilla, chionodoxa, muscari – see below
    f. Others? See Chicago Botanical Garden List

Question: Which species survive/thrive?

2) Test of different genera added as plug-plants to the Basic Sedum Roof (select local species that are not too high and drought tolerant):
    a. Allium (http://www.haveabc.dk/16/prydl%C3%B8g---allium)
    b. Saxifraga (http://www.haveabc.dk/16/stenbr%C3%A6k---saxifraga)
    c. Hieracium (https://da.wikipedia.org/wiki/H%C3%B8geurt)
    d. Other?

    Question: Which species survive/thrive?

3) Test of seeding-in establishment method on the green roof. In the Basic Sedum Roof a dry meadow seed mixture is applied. The seed mix can be obtained from Pratensis, Nykilde, DLF-Trifolium.
    Question: Which species survive/thrive?

4) Test of bulbs on the grodan-wall, i.e. bulbs planted in the grodan. Bulbs may thrive well in the grodan as they pass through their life cycle in a few months in the spring. They may give a 'wauw-effect'. Interesting bulbs to test may include:
    a. Scilla (https://da.wikipedia.org/wiki/Skilla)
    b. Chionodoxa (https://en.wikipedia.org/wiki/Chionodoxa)
    c. Muscari (https://en.wikipedia.org/wiki/Muscari) Lars: Tend to spread/invasive
    d. Other?

    Question: Which species survive/thrive? How fast are they losing their starch-content/weight? How should they be established? How can they be replanted in a smart way?

5) Test of species for solitarian bees, both planted in the grodan wall and in the planting box:
    Wall:
    Fragaria vesca, Saxifraga granulate, Veronica arvensis, Geranium sanguineum, Sedum acre, Sedum telephium, Veronica officinalis, Lotus corniculatus, Hyperium montanum, Linaria vulgaris, Thymus serphyllum, Silene uniflora

    Planting box:
    Silene doicia, Veronica arvensis, Myostis arvensis, Myostis ramosissima, Achillea millefolium, Origanum vulgare, Knautia arvensis, Campanula persicifolia, Leucantheum vulgare, Allium oleraceum, Agrimonia eupatoria, Ascbiosa columbaria

    Questions: Which species survive/thrive?

6) Test of other species on the grodan wall?
    - Polypodium vulgare (https://da.wikipedia.org/wiki/Almindelig_Engelsk%C3%B8d) . Can perhaps be established by blending leaves with mature spores and mix with yoghurt and apply to the grodan wall
    - Mosses? The same yoghurt approach could be an option
    - Other species? Native species?

7) Test of other establishment methods than plug-plants on the grodan wall? E.g. pockets with substrate mounted on the wall. Can we improve the plant available water?

8) Test of ways to improve the water holding capacity of the green roof, the wall and the planting box:
    a. Mixing in of water holding materials in the green roof substrate
    b. Placing of water holding materials in the center of the grodan wall (membrane like), maybe replacing the central grodan-slab
    c. Mixing in of water holding materials in the substrate of the planting box
    d. Placing of membrane/physical containers for retaining part of the water

   Question: Do plants survive/thrive better in test plots with improved water holding capacity compared to test plots with normal substrate?

4) Choice of substrate for the planting box

This question has previously been discussed among project partners and the substrate used by Malmos for intensive green roofs (roof gardens) have been suggested due to price, good experiences and good life-cycle (all recycled materials in the form of crushed tile and compost). At the workshop it was discussed if adding lime (aiming for an alkaline pH) would be an advantage. The species suggested for the solitarian bees are found on alkaline soil, and alkaline soil may prevent 'weed'.

5) Emergency irrigation system

An emergency irrigation system would be an advantage in terms of avoiding mass die out of the plants (except sedum) in case of a long drought. It could probably be installed quite cheaply. It would be a requirement that stormwater was harvested in a tank, to avoid using tap water for irrigation which is an unwanted practice in 3B-Folehaven. The system would need to be automatically turned on as there will be no resources for having a person to look after it. This would require some kind of control system. The drawbacks of an irrigation system are the additional costs of installing control system and also the dependency of an irrigation system for setting up a green screen other places. From that perspective it would be smarter with a passive watering system based on water retained directly in the screen. See experiment #7 suggested above. Man-controlled Irrigation in the establishment period must be foreseen in all cases.

The need for irrigation depends much on the choice of substrate. If felt is used we may need to add water every five minutes, if pumice is used maybe once every hour, if a substrate is used maybe once a day, if grodan is used maybe twice a week (Tobias – you made a good list here….). Pumice holds 50-60 % water on a volume base, and crushed tile holds 29 %. Filt is cheap and has capillary forces of 10-15 cm.

It could be interesting to make a green-house experiment where we test two slabs of grodan planted with some of the suggested grodan-wall species to see how long a drought period they can survive (after establishment).

6) Nutrients

Regarding nutrients it was suggested to use long-term coated nutrients for the green roof and for the plants established directly in the wall. For the planting box nutrients will be released from the compost and

N,P,K can easily be added manually on an annual basis. It should also be noted that the plants suggested for testing on the green roof and on the grodan wall do not need a lot of nutrients, and the nutrients in the stormwater runoff from the roofs may be sufficient. A higher planting density could be considered to obtain a fast cover despite low nutrients. Perhaps 50 plug plants per m^2.

Skærmens beplantning udefra – overvejelser august 2016

For at opnå et roligt, men stadig fascinerende udtryk af den ca. 200 m lange skærm, når den passeres på Folehaven, foreslås det, at skærmens tre dele (ud for hver 3B-ejendom) tilplantes forskelligt. Det første og sidste stræk gives en nedtonet udseende, mens midterskærmen gøres lidt mere markant, men stadig ensartet. Dermed opnås et dynamisk, men stadig roligt og symmetrisk udtryk. Passager i skærmen markeres med markante slyngplanter. Disse principper er illustreret i Figur 14. De tilhørende plantelister er vist i tabel 1.

På ydersiden kan skærmen vedligeholdes med en motor-hækklipper. Slyngplanter skæres tilbage til underkanten af det grønne tag. Vegetation i bundkassen, der hænger ud over kanten, skæres tilbage til kanten af bundkassen. Dette skal gøres én gang årligt, når skærmen er vokset til. I etableringsfasen, der forventes at vare 1-2 år, skal planterne sikres vand og gødning, og ukrudt skal fjernes. Drift og vedligehold af skærmen forventes varetaget af 3B.

Figur 14: Illustration af de tre udtryk, der forventes. Yderst til venstre ses det nedtonede udtryk for start og slut strækket (design 1). I midten ses det lidt mere markante/lysende midterstræk (Design 2). Til højre illustreres princippet om at markere passager i skærmen med markante slyngplanter (Design 3).

Tabel 1: Plantekasse mod Folehaven

	Design 1 (start og slut)	Design 2 (midt)	Design 3 (indgange)
Slyngplanter (climbers)	*1.Hedera helix* *2.Parthenocissus tricuspidata*	*1. Hedera helix 'buttercup'* *2. Celastrus scandens*	*1a. Akebia quinata;* *2a Clematis tangutica* *1b Hedera helix 'buttercup',* *2b Wisteria sinensis*
Bunddække (ground covers)	*1. Geranium macrorrhizum,* *2. Vinca minor*	*1.Luzula sylvatica,* *2. Euonymus fortunei 'minima'*	
Løg og knolde (bulbs))	1. Scillia bifolia 2. Muscari armeniacum	1. *Fosteriana tulip 'Purissima´*	1. *Fosteriana tulip 'Golden Appeldoorn´* 2. *Fosteriana tulip 'Red Appeldoorn´*

Skærmens beplantning indefra

Hvert haverum indrettes efter følgende temaer (se de tre illustrationer i Figur 5):

- ”Den spiselige have” (Haverummet længst mod vest). Alle planter er spiselige. Bær, frugter, snapseurter, krydderurter, m.v. I den udstrækning beboerne ønsker det, kan skærmens bundkasse og vægelement anvendes som dyrkningskasse til f.eks. tomater, bønner og ærter. Plænen slås som græsplæne. Der plantes et par frugttræer. En del af skærmen bygges som arbejdsbord og bænk med plads til opbevaring af redskaber. Der arbejdes med fire forskellige sammensætninger af planter, der gentages et antal gange.
- ”Bio-haven” (Haverummet i midten). Frodighed, masser af blomster og duft, sommerfugle, fugle, dekorative grene og blade, stor variation. Plænen slås tæt langs kanten af haverummet, så der dannes en sti, mens resten tilsås blot med engplanter, der får lov at vokse til fuld højde og kun skal slås én gang årligt. Skærmen indrettes med bord og bænke til ’skovtur’.
- ”Den stille have” (Haverummet længst mod øst). Det udnyttes at skærmen skærmer for støjen. Skærmen beplantes med rolige grønne planter og store flader med ensartede blomster m.v. Skærmen forsynes med flere små siddepladser. Der etableres en græsplæne, men også et eller flere felter med grus eller belægning, så det er let at placere en havestol m.v. Der plantes evt. nogle mindre træer a la en lund.

Tabel 2: Plantekasser mod 3B grønt areal – Den Spiselige have

	Design 1 (snaps)	Design 2 (pizza)	Design 3 (kød)
Slyngplanter (climbers)	1. *Akebia quinata* 2. *Vitis vinifera*	1. *Rubus fruticosus x Rubus ideaus* 2. *Vitis vinifera* 3. *Actinidia arguta*	1. *Rubus plicatus* 2. *Actinidia arguta*
Bunddække - perennials	*1.Centranthus ruber* *2. Phlomis russeliana* *3. Stachys bysanthina,* *4. Nepeta x fassenii etc.*		
Bunddække – edible	1. *Juniperus horizontalis ???* 2. *Hypericum perforatum* 3. *Galium odoratum* 4. *Artemisia martima*	1. *Origanum vulgare ’Tumbles Variety’* 2. *Thymus vulgaris* 3. *Rosimarinus officinalis* 4. *Salvia officinalis*	1. *Lavandula augustifolia* 2. *Origanum majorana* 3. *Lauris nobilis* *4. Mentha piperita* *5. Juniperus horizontalis*
Løg og knolde (bulbs)	1. *Scillia bifolia* 2. *Muscari armeniacum* 3. *Scillia bifolia ’Rosea’* 4. *Puschkinia scilloides*		
	Design 4		
Slyngplanter (climbers)	1. *Vitis vinifera* 2. *Actinidia arguta*		
Bunddække (ground covers)	Mix of biodiverse plants from DESIGN 3 – BIO-HAVEN		

Løg og knolde (bulbs)	
Grønt areal	Fruit trees (Cydonea oblonga, Prunus domesticus – italiensk sveske, Prunus armeniaca 'harcot')

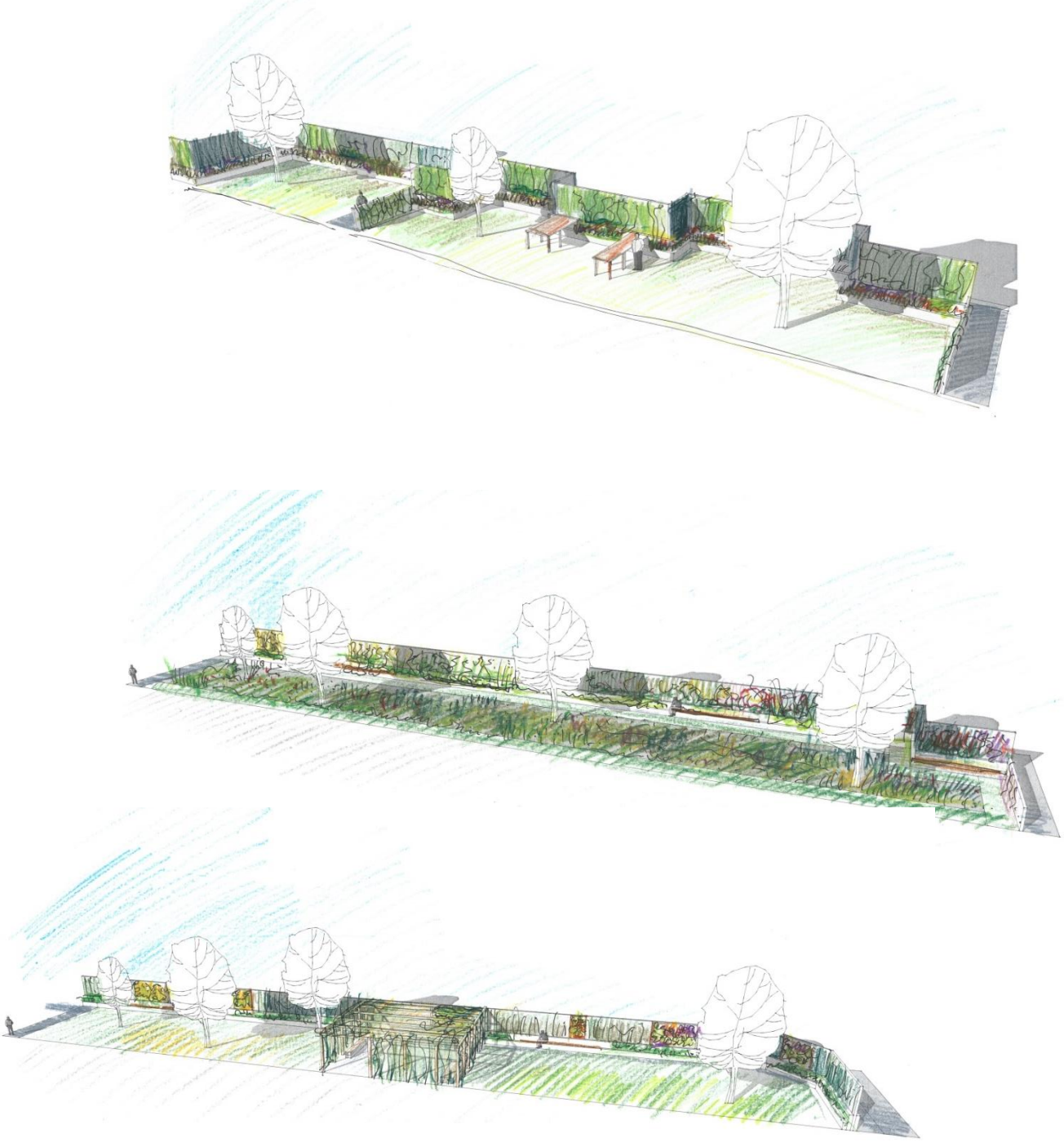
Tabel 3: Plantekasser mod 3B grønt areal – Bio-haven

	Design 1		Design 2	Design 3
Slyngplanter (climbers)	1. *Lonicera periclymenum L.* 2. *Humulus lupulus 'Aureus'*			
Bunddække (ground covers)	Shrubs	Grasses		Perennials
Løg og knolde (bulbs)	http://www.danmarksflora.dk/0302.php?planteid=202 1. *Vaccinium myrtillus* 2. *Vaccinium vitis-idea* 3. *Rosa rugosa*	4. *Briza medica* 5. *Helictotrichon pratensis* 6. Helictotrichon sempervirens 7. *Luzula campestris* 8. *Festuca ovina* 9. *Cynosurus cristatus* 10. *Anthoxanthum odoratum* 11. *Festuca rubra*		1. *Dianthus deltoides* 2. *Knautia arvensis* 3. *Galium verum* 4. *Hylotelephium telephium* 5. *Saxifraga granulata* 6. *Hypericum perforatum* 7. *Anthyllis vulneraria* *Armeria maritima* *Campanula persicifolia* *Saxifraga granulata* *Sedum telephium* *Primula veris*
Løg og knolde (bulbs)				
Grønt areal	Meadow-like – perhaps Mona's forbs – From Pratensis mixes			

Tabel 4: Plantekasser mod 3B grønt areal – Den Stille Have

	Design 1	Design 2 (WALL PLANTS)	Design 3
Slyngplanter (climbers)	*1.Hedera helix* *2.Parthenocissus tricuspidata*		
Bunddække (ground covers)	*1.Luzula sylvatica,* *2. Euonymus fortunei 'minima'* *3. Geranium macrorrhizum,* *4. Armeria maritima*		

	5. Hypericum perforatum		
Løg og knolde (bulbs)			
Grønt areal	Small trees with flat crown (caragena arborescens, virburnum plicatum, crataegus laevigata, syrenga vulgaris…)		

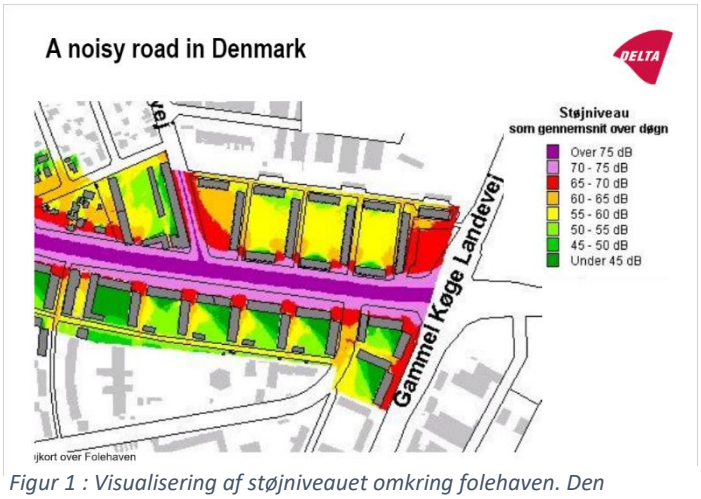


Omdannelse af 3Bs grønne areal fra afskærmende buskads til funktionelt opholdsrum, inddelt i tre haver med hver sit tema. Øverst den spiselige have, i midten bio-haven, og nederst den stille have.

Baggrund og formål

I forbindelse med afklaring af den grønne klimaskærms udformning blev der indledningsvist i projektet i 2014 gennemført en række simuleringer for at afklare, hvilken effekt skærmen kan få på støjdæmpning i Folehaven. Delta blev i den forbindelse kontaktet for at hjælpe med at lave en række støjsimuleringer. I forbindelse med Deltas arbejde blev der lavet en Auralisation for borgerne omkring Folehaven, så de kunne få et lydtest af ,hvilken effekt en klimaskærm kunne få på støjdæmpningen. Lydtesten blev afholdt i forbindelse med Folehavefestivallen september 2014. Se bilag XX for mere beskrivelse af Folehavefestivallen.

Af figur 1 fremgår støjniveauet omkring Folehaven uden en klimaskærm. Her ses lydniveauet at ligge på over 7 dB på vejarealet og mellem 70 og 75 dB langs bygningerne



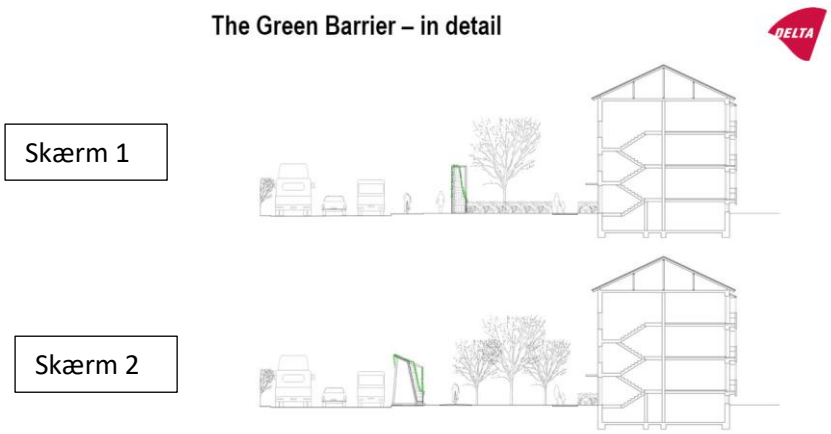
Figur 1 : Visualisering af støjniveauet omkring folehaven. Den nuværende støj er uden en klimaskærm mellem 70 og 75 dB

Formålet med simuleringerne var:

1. at afklare den forventede støjreduktion på indersiden af væggen
2. at afklare den forventede støjreduktion for bygningens etager
3. at afklare den forventede støjreduktion mellem skærm og bygning i gadeplan
4. at afklare udformningens betydning på støjreduktionen

Metode

Der blev taget udgangspunkt i den nuværende støj omkring Folehaven, som vist på figur 1. Selve simuleringerne blev lavet ud fra to scenarier for vægudformning. En væg uden udhæng og en væg med udhæng på 90 cm. Se de to scenarier på figur 2 for begge skærmtyper.



Figur 2: To scenarier til simulering med og uden vægudhæng.

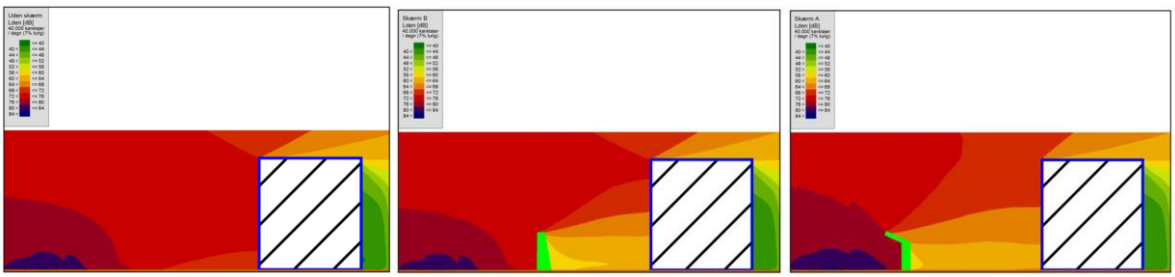
Resultat

Nedenstående viser resultaterne for simuleringer i forskellige punkter. Resultaterne viser at der primært kan forventes en støjreduktion i gadeplan. Umiddelbart på indersiden af skærmen vil der i gadeplan være en reduktion på op til 20 dB. Derudover viser simuleringerne at en skærm med udhæng mod trafikken vil give den bedste støjreduktion. Tabel 1 nedenfor fremgår den beregnede støj.

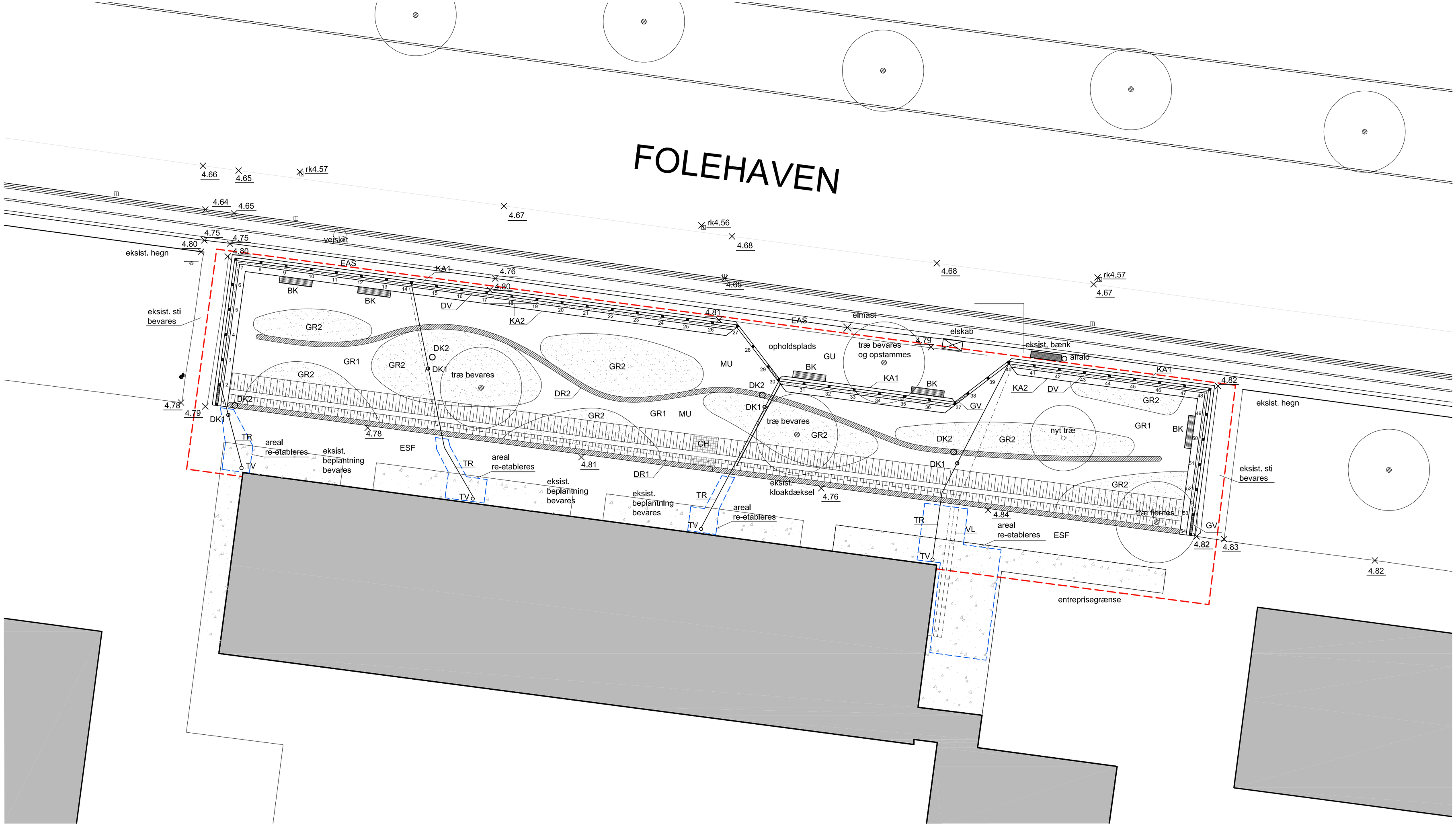
Tabel 1: Beregnet støj i dB uden skærm, med skærm 1 og med skærm 2.

Noise Level, L_{den}				
	Footpath behind wall	Ground floor	1st floor	2nd floor
No wall	75 dB	70 dB	71 dB	71 dB
Barrier A	60 dB	62 dB	64 dB	67 dB
Barrier B	55 dB	61 dB	65 dB	68 dB

Nedenfor er et 2D snit af støjen fra vej til bygningerne vist.



Figur 3: Støj billede i 2D fra vej til bygning. Første figur viser støjbillede uden skærm. Andet bilede støjbillede med skærm 1. Tredje billede støjbillede med skærm 2.



Belægninger

ESF	Eksist. SF-sten
EAS	Eksist. asfalt
GU	Slotsgrus
CH	Chaussésten som overgang
KA1	Kant af sortjern mod vej H= 600 mm
KA2	Kant af sortjern mod have H= 650 mm
MU	Eksist. muld forbliver, men kultiveres og renses før såning/ beplantning
GR1	Plænegræs
GR2	Engblanding

Inventar

BK	Bænk monteret på klimavæg
GV	Glasvæg

Afvanding

TV	Tagvand
DK1	Rensebrønd til trykrør
DK2	Brønd til stikledningsventil
DR1	Drænrende langs sti, befæstet med marksten
DR2	Drænrende i haver, befæstet med marksten
TR	Trykrør i frostfri dybde mellem tagvand og klimavæg
VL	Vandledning i frostfri dybde mellem bygning og klimavæg
DV	Drypvandingsslange langs plantekasse i klimavæg

NOTE: Nedløbsrør er ikke indmålt af landinspektør.
NOTE: 54 stolpefundamenter + 49 standard vægmoduler
Glasvægge 1050 mm. C-C
NOTE: GR1 udgør 224 m2 & GR2 udgør 188 m2

Bygherre: Boligforeningen 3B

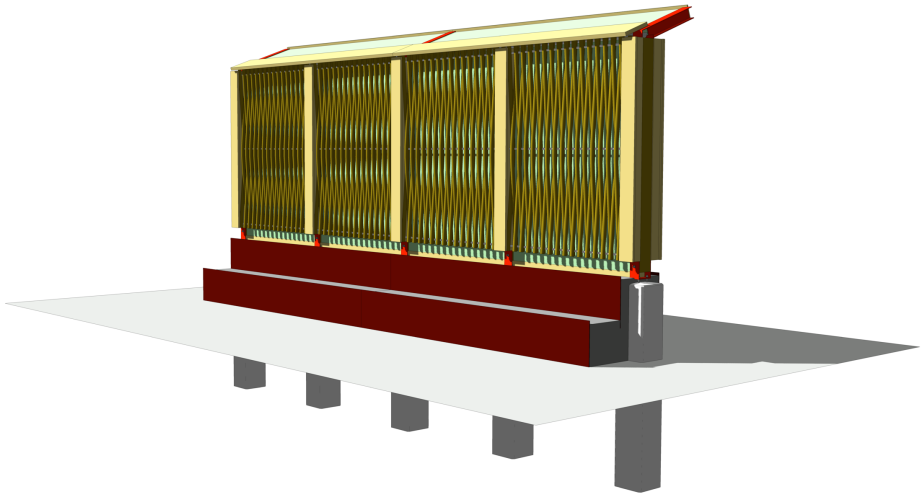
Emne: Situationsplan **Tegn.nr.** (30) 150
Mål: 1:150
Format: A3
Dato: 21.06.2018 Tegnet af: RF
Rev.dato: Kvalitets sikret: NL

FORELØBIG TEGNING

- **University of Copenhagen,** Faculty of Science, Landscape Architecture and Planning, Rolighedsvej 23, 1958 Frederiksberg.
- **Teknologisk Institut,** Gregersensvej, 2630 Taastrup.
- **Aarsleff A/S,** Lokesvej 1, 8230 Åbyhøj.
- **Malmos A/S,** Gl. Marbjergvej 11, 4000 Roskilde.
- **Niels Lützen Landskabsarkitekt ApS,** Esromgade15, opg.1.,3 sal, 2200 Kbh N, tlf. 33 11 66 73, e-mail: nl@nl-landskab.dk

Grøn Klimaskærm

Beregningsdokumentation



TL-Engineering

August 2018

Indholdsfortegnelse

1. Generelt ... 3
2. Opbygning af Grøn Klimaskærm ... 3
3. Referencer ... 6
   3.1. Standarder ... 6
   3.2. Fundering ... 6
4. Materialer ... 6
5. Friktionskoefficienter ... 6
6. Tilspændingsmomenter ... 6
7. Belastninger ... 6
   7.1. Vindlast ... 6
      7.1.1. Formfaktorer ... 7
   7.2. Egenvægt ... 7
   7.3. Snelast ... 7
8. Udbøjning ... 8
9. Støjskærm monteret i terrænkategori III ... 8
   9.1. Dimensionering ... 8
   9.2. Spændingseftervisning ... 8
      9.2.1. Forspænding ... 9
      9.2.2. Ydre kræfter ... 12
   9.3. Udbøjning ... 17
10. Fundering ... 18
11. Jordtryk og funderingsdybde ... 18
12. Beregning af det maksimale bøjningsmoment i funderingspæle ... 21
   12.1. Kontrolberegning af præfabrikeret betonpæl ... 22
13. Konklusion ... 24

Bilag 1. Skærm: 3,2 m, basisvind: 24 m/s, Terrænkategori III, c_{dir}^2=1,0 ... 25

Bilag 2. Præfabrikeret betonpæl til nedramning ... 26

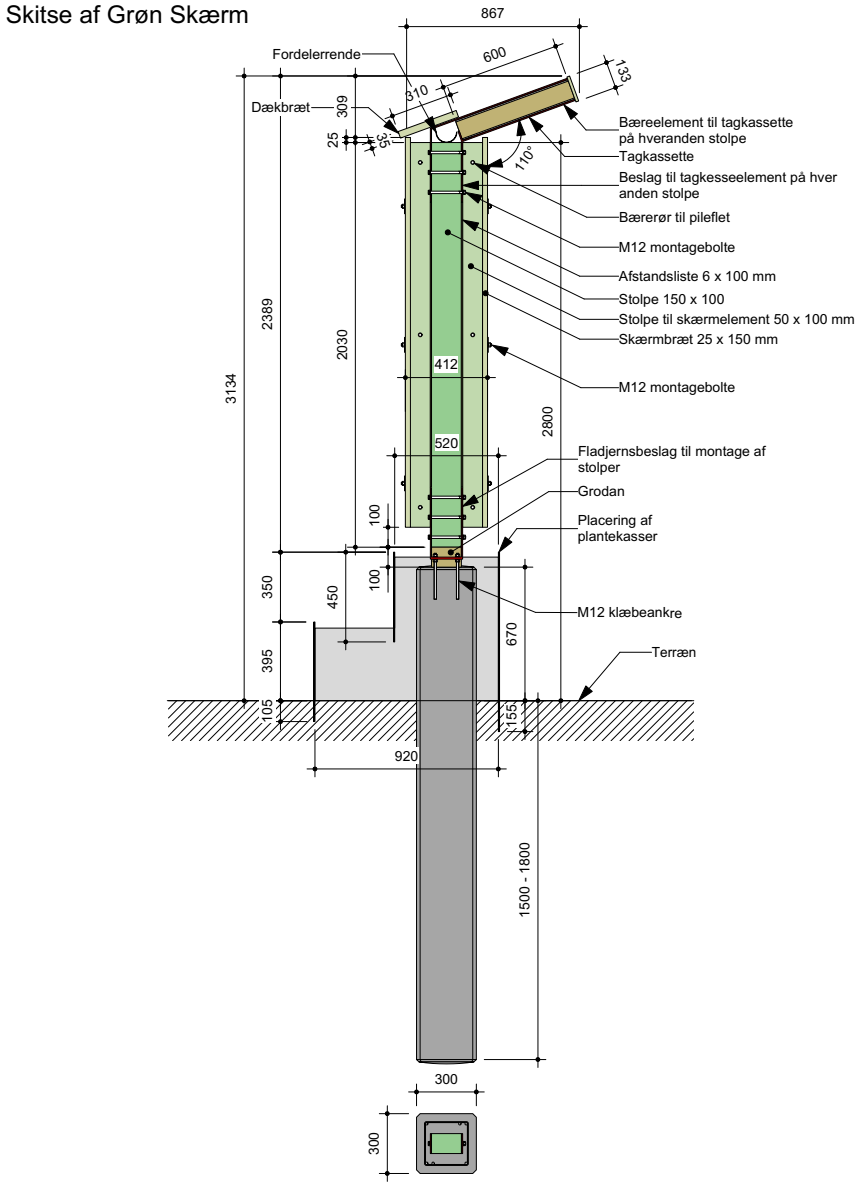
Revision no.	Noter:	Udarbejdet af:	Kontrolleret:	Godkendt:	Dato:
-	1. udgave	TL	TL	TL	2018-08-08

1. Generelt

Grøn Klimaskærm er karakteriseret ved at kunne fungere som en to-i-en løsning ved at kunne bortskaffe overfladevand (regnafstrømning) ved nedsivning til plantekasser og fordampning, samtidig med at den fungerer som en støjskærm.

2. Opbygning af Grøn Klimaskærm

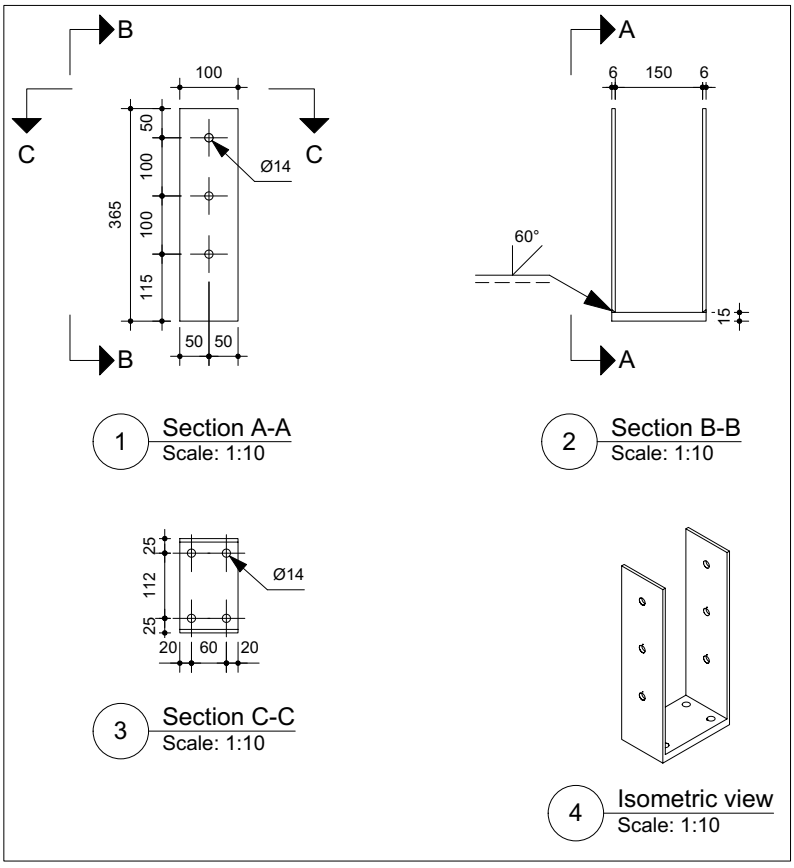
Den statiske opbygning af Grøn Klimaskærm er vist i Figur 1.



Figur 1. Opbygning af Grønne Klimaskærm.

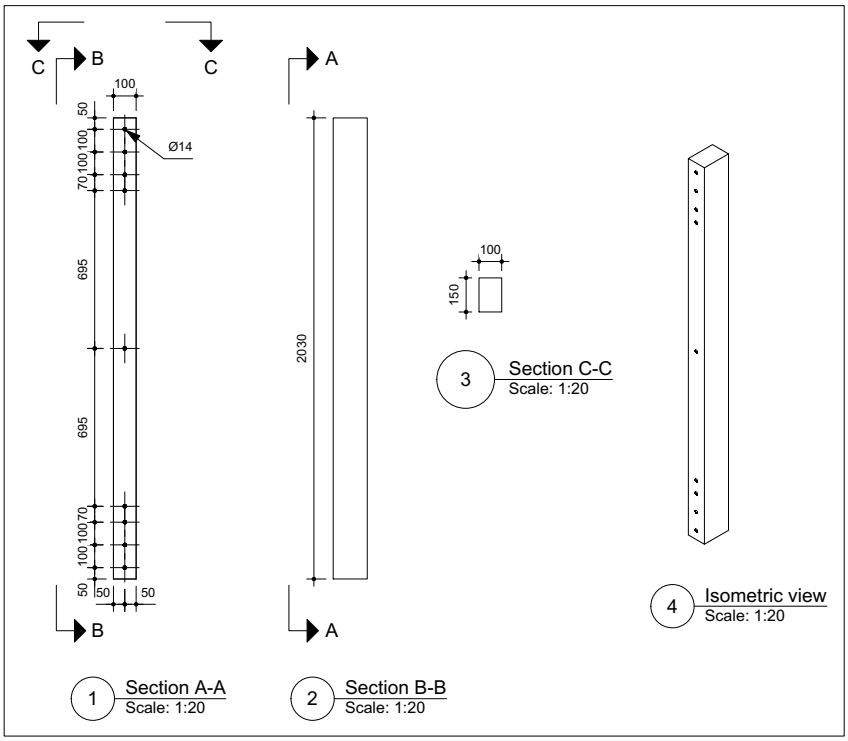
Den grønne skærm er funderet vha. nedbankede præfabrikerede betonpæle (se Bilag 1). Efter nedbankning af betonpælene monteres der 4 stk. M12 ISO 8.8 klæbeankre i toppen.

På klæbeankrene monteres et gaffelbeslag udformet som vist i Figur 2. Gaffelbeslaget fremstilles af stål S355.



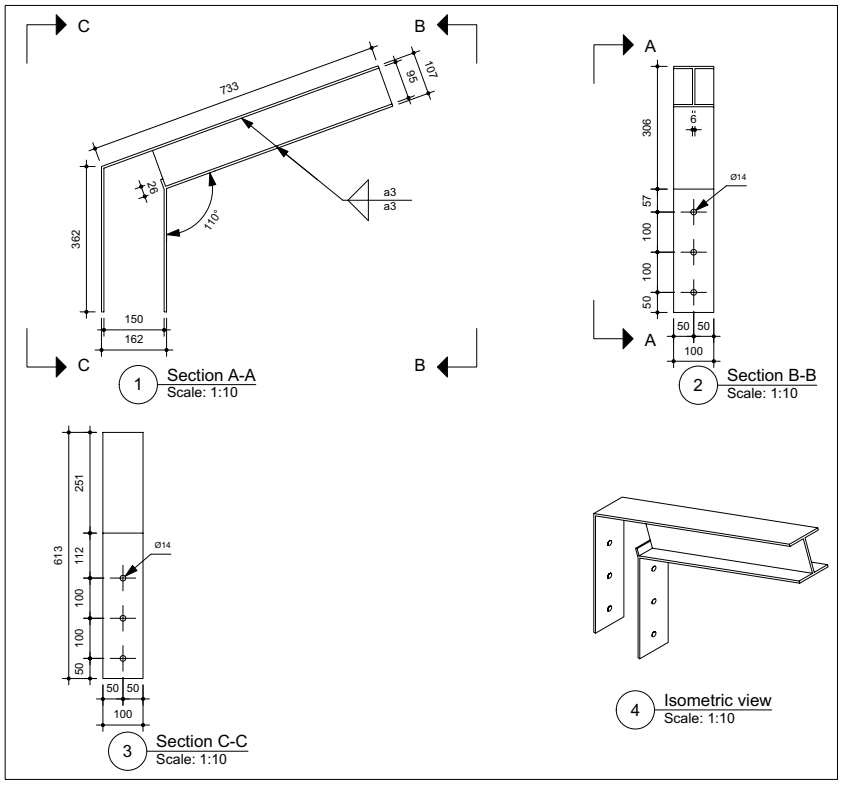
Figur 2. Gaffelbeslag til montering af træsøjle på betonfundament.

Gaffelbeslaget danner fundament for en bærende træstolpe i klasse C24 vist i Figur 3.



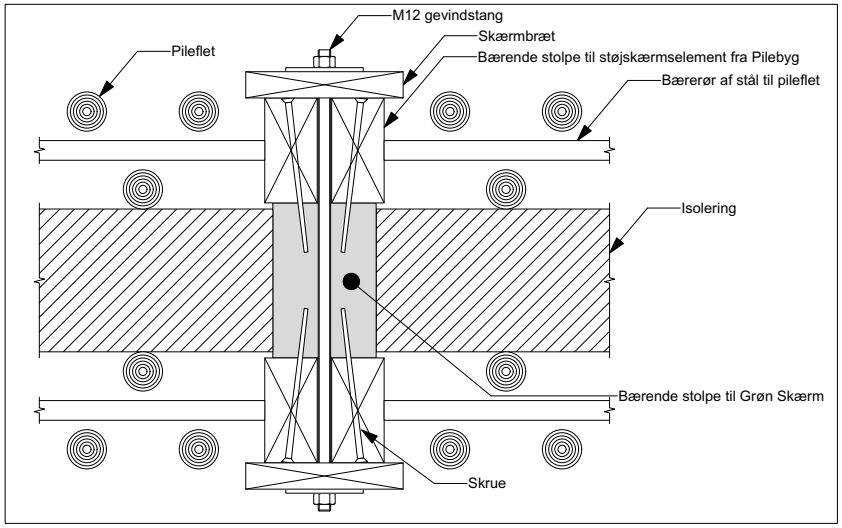
Figur 3. Træsøjle af akacie- eller asketræ.

I toppen af hver anden træstolpe monteres et gaffelbeslag til montage at tagelementer. Gaffelbeslaget er vist i Figur 4. Gaffelbeslaget fremstilles af stål S355.



Figur 4. Gaffelbeslag til montage af tagkassetter.

Uden på træstolpen monteres støjmoduler af pileflet, som vist i Figur 5.



Figur 5. Tværsnit i Grøn Skærm der viser, hvordan pilefletelementerne monteres på de bærende træstolper.

Støjskærme skal opfylde kravene til mekanisk ydeevne og stabilitet, som angivet i DS/EN 1794-1.

I det følgende er bæreevnen belyst, hvad angår vindbelastning, snelast og egenvægt.

3. Referencer

3.1. Standarder

Følgende standarder er anvendt i forbindelse med kontrolberegningen:

- DS/EN 1991-1-4:2005. Eurocode 1: Last på bygværker – Del 1-4: Generelle laster: Vindlast
- DS/EN 1993-1-1 + AC-2007. Eurocode 3: Stålkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner
- DS/EN 1993-1-1 DK NA:2011
- DS/EN 1995-1-1 + AC:2007 Eurocode 5: Trækonstruktioner - Del 1-1: Generelt - Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner
- DS/EN 1995-1-1/A1-2008 Eurocode 5: Trækonstruktioner – Del 1-1: Generelt - Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner
- DS/EN 1995-1-1/A2-2014 Eurocode 5: Trækonstruktioner – Del 1-1: Generelt - Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner
- DS/EN 1995-1-1 DK NA:2011 Nationalt anneks til Eurocode 5: Trækonstruktioner – Del 1-1: Generelt - Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner

3.2. Fundering

- Bulletin No. 12 fra Geoteknisk Institut

4. Materialer

- Stål: S355
- Gevindstænger og møtrikker: ISO 8.8, FZV
- Træ: C24

5. Friktionskoefficienter

Der er regnet med følgende friktioner:

- Stål – stål: 0,3
- Stål – træ: 0,3

6. Tilspændingsmomenter

Der er regnet med følgende tilspændingsmomenter:

- Gevindstænger (fundament): 95 Nm svarende til en middelklemkraft på 30 kN
- Gevindstænger (øvrige): 70 Nm svarende til en middelklemkraft på 22 kN

Der er ikke regnet med smøremiddel mellem gevindstænger, skiver og møtrikker.

7. Belastninger

7.1. Vindlast

Vindlasten er beregnet ud fra DS/EN 1991-1-4 efter følgende formel:

$$q_p(z) = \left[1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)}\right] \times \frac{1}{2} \times \rho \times \left[0{,}19 \times \left(\frac{z_0}{0{,}05}\right)^{0{,}07} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \times v_{b,0}\right]^2$$

hvor ρ = 1,25 kg/m^3.

Formlen for q_p gælder for 50 års vindlast.

For terrænkategori III ”Område med bymæssig bebyggelse” er z_0 = 0,3 $v_{b,0}$ = 24 m/s.

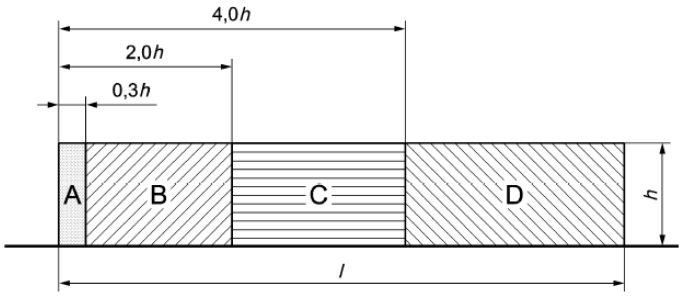
z er den aktuelle højde over terræn. I terrænkategori III skal der altid regnes med en mindstehøjde over terræn z_{min} = 5,00 m. Da højden af den grønne klimaskærm er ca. 3,20 m høj, skal z_{min} derfor benyttes ved beregningen af den karakteristiske vindlast.

Indsat i formlen giver det:

$$q_p(5{,}00) = \left[1 + \frac{7}{\ln(5{,}00 / 0{,}3)}\right] \times \frac{1}{2} \times 1{,}25 \times \left[0{,}19 \times \left(\frac{0{,}3}{0{,}05}\right)^{0{,}07} \times \ln\left(\frac{5{,}00}{0{,}3}\right) \times 24\right]^2 = 461 \text{ N/m}^2$$

7.1.1. Formfaktorer

I DS/EN 1991-1-4 er angivet formfaktorer for de enkelte afsnit af en skærmvæg. Skærmvæggen er opdelt i afsnit som vist i Figur 6.



Figur 6. Zoner med forskellige formfaktorer for skærmvægge med samme højde. Formfaktorerne for de enkelte zoner er vist i Figur 6.

	C_{index} for vertical barriers
Barrier zone	
	For α < 5°
A	3,4
B	2,8
C	1,7
D	1,2

Figur 7. Formfaktorer (C_{index}) for de forskellige zoner af skærmvæggen.

7.2. Egenvægt

- Støjskærmelementer: ≈ 50 kg pr. element.
- Tagkassetter: ≈ 42 kg pr. kassette.

Øvrige egenvægte udregnes af beregningsprogrammet ud fra massefylde og volumen af de indgåede konstruktionsdele.

7.3. Snelast

Der regnes ikke med snelast på konstruktionen, men der er regnet med, at vandindholdet af tagkassetterne kan fryse til vand og ophobes til et volumen svarende til tagkassetternes ydre begrænsning, dvs. et volumen på L × B × H = 3,00 × 0,60 × 0,12 = 0,216 m^3 = 216 kg.

8. Udbøjning

Den vandrette elastiske deformation d_{hmax} i mm for lodretstående støjskærme skal ifølge DS/EN 1794-1 opfylde følgende krav:

$$d_{hmax} = \frac{L_S}{100} \text{ for } H_{nrd} \leq 3 \text{ m}$$
$$d_{hmax} = 30 \text{ mm for } 3 \text{ m} \leq H_{nrd} \leq 4{,}5 \text{ m}$$
$$d_{hmax} = \frac{L_S}{150} \text{ for } H_{nrd} > 4{,}5 \text{ m}$$

hvor L_S er den største afstand mellem søjlerne i mm og H_{nrd} er den totale højde af støjskærmen i m.

9. Støjskærm monteret i terrænkategori III

Ved anvendelse af den karakteristiske vindlast på 461 N/m^2, som beregnet i afsnit 7.1 er der udført en beregning af vindlasten i de enkelte zoner af støjskærmen og de tilhørende dimensionerende kræfter på de bærende søjler.

Støjskærmen regnes til konsekvensklasse CC1, dvs. at partialkoefficienten på vindlasten herved kan reduceres til 1,5 x 0,9 = 1,35.

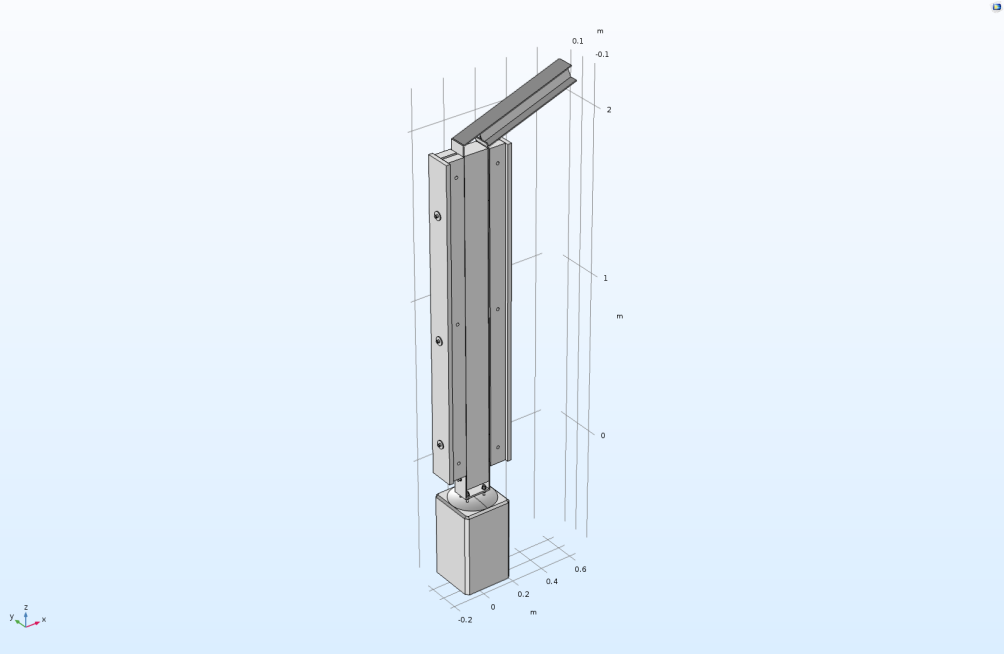
Resultatet af beregningen er vist i Bilag 1.

9.1. Dimensionering

Dimensioneringen af selve den grønne skærm er foretaget vha. finite element programmet Comsol version 5.3a. Først er der lavet en 3D model i CAD programmet Vectorworks 2018 og efterfølgende eksporteret som en Parasolid fil til Comsol.

9.2. Spændingseftervisning

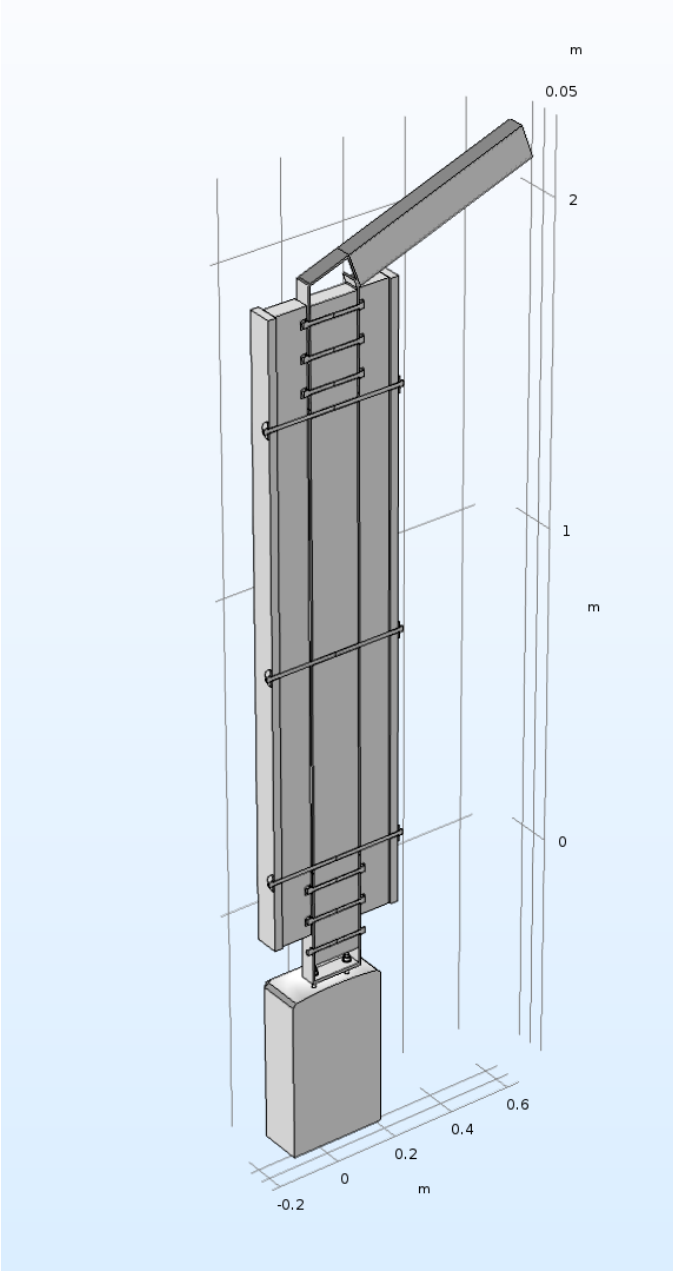
Beregningsmodellen er vist i Figur 8.



Figur 8. Beregningsmodel importeret fra en 3D model.

Da der er symmetri om x-z planet, er beregningsmodellen skåret igennem for at mindske beregningstiden. En fordel ved dette er også, at man direkte kan se spændingerne i tværsnittet med det samme.

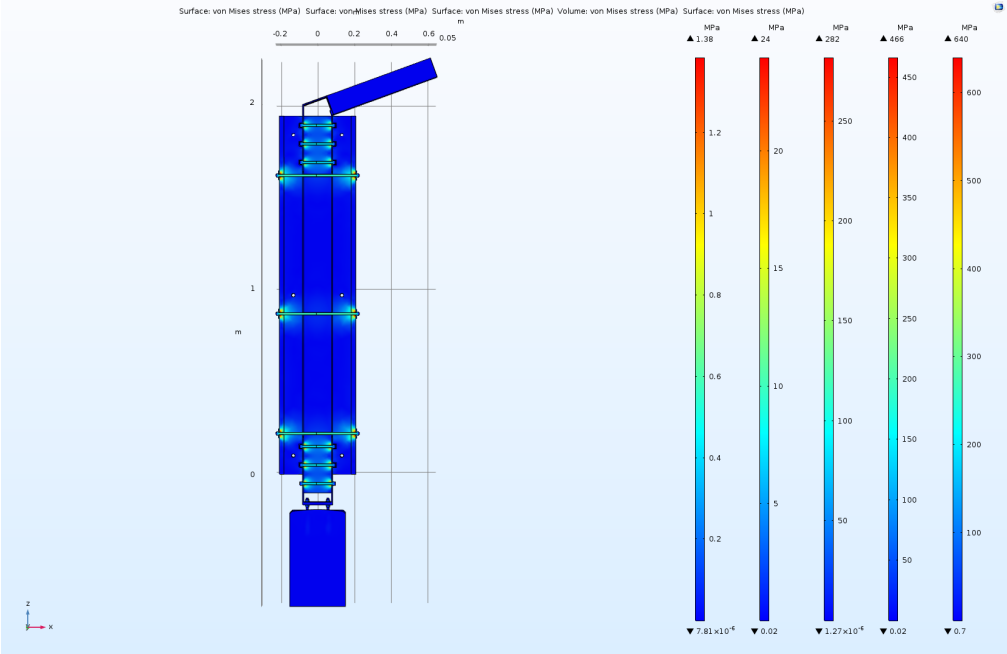
Den gennemskårne beregningsmodel ses i Figur 9.



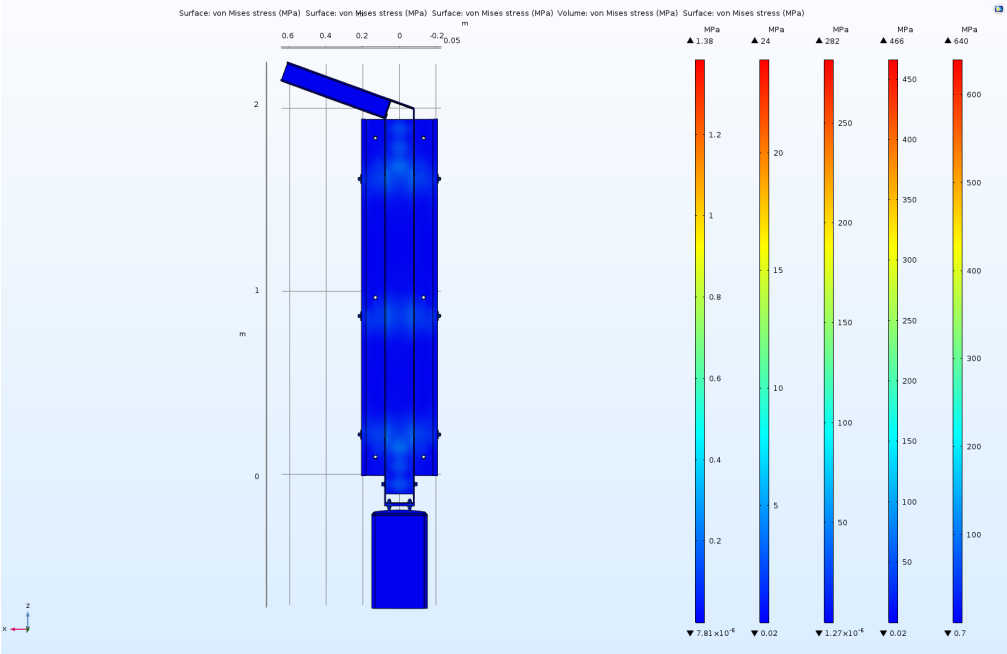
Figur 9. Gennemskåret beregningsmodel i x-z planet, Nu ses også de gennemgående gevindstænger i træsøjlens ender til fastgørelse af den midterste træstolpe til beslagene. Disse var før skjult af støjskærmspanelerne.

9.2.1. Forspænding

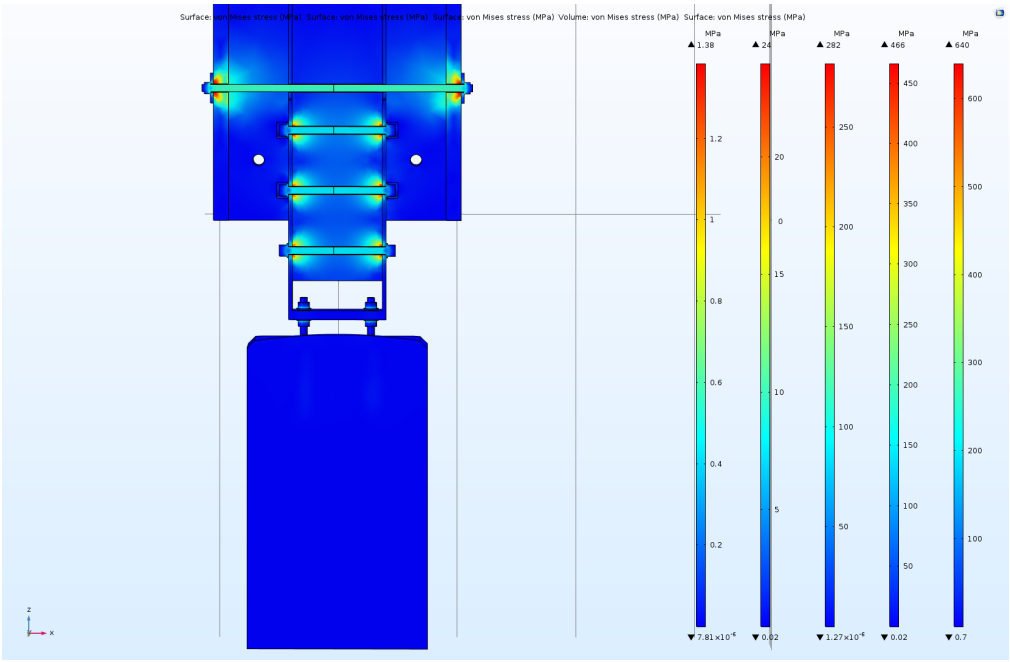
I første omgang forspændes gevindstængerne i finite element modellen til de i afsnit 5 angivne tilspændingskræfter. Beregningsresultatet er vist i Figur 10 til Figur 14.



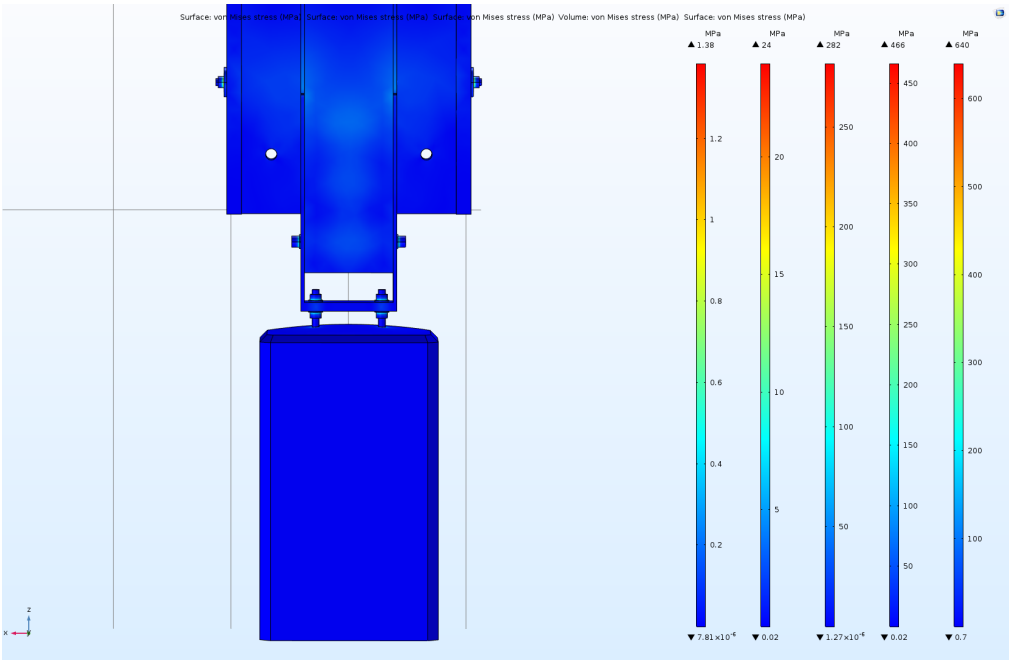
Figur 10. Spændingsbillede i den gennemskårede konstruktion efter udført forspænding. Skalaerne læst fra venstre mod højre er følgende: Betonfundament, træ, stålbeslag, gevindstænger skærmelementer, gevindstænger fundament.



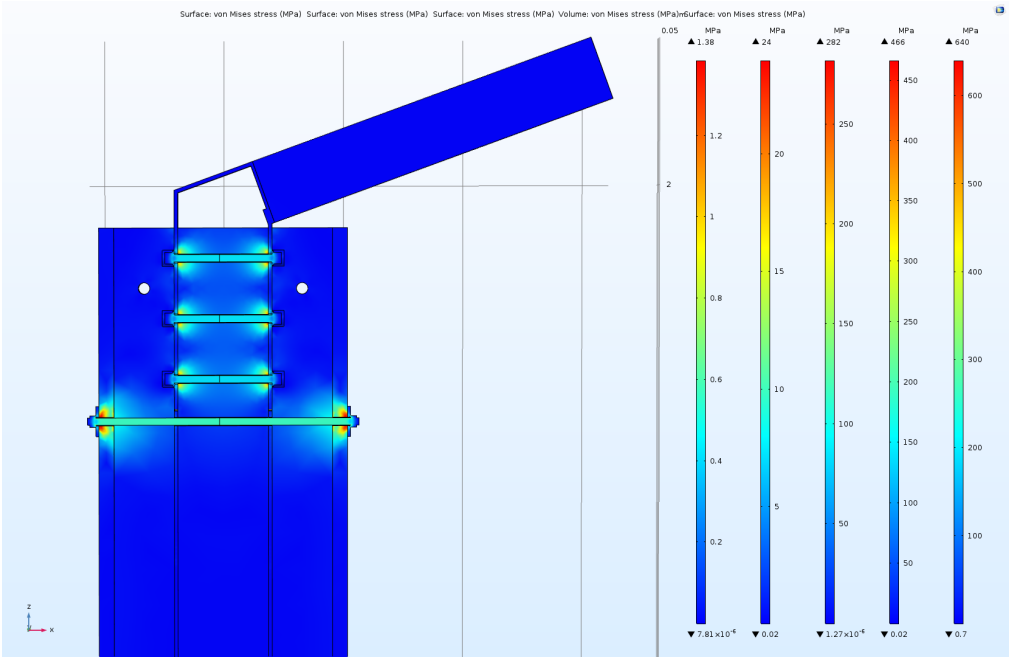
Figur 11. Samme som Figur 10 set fra ydersiden.



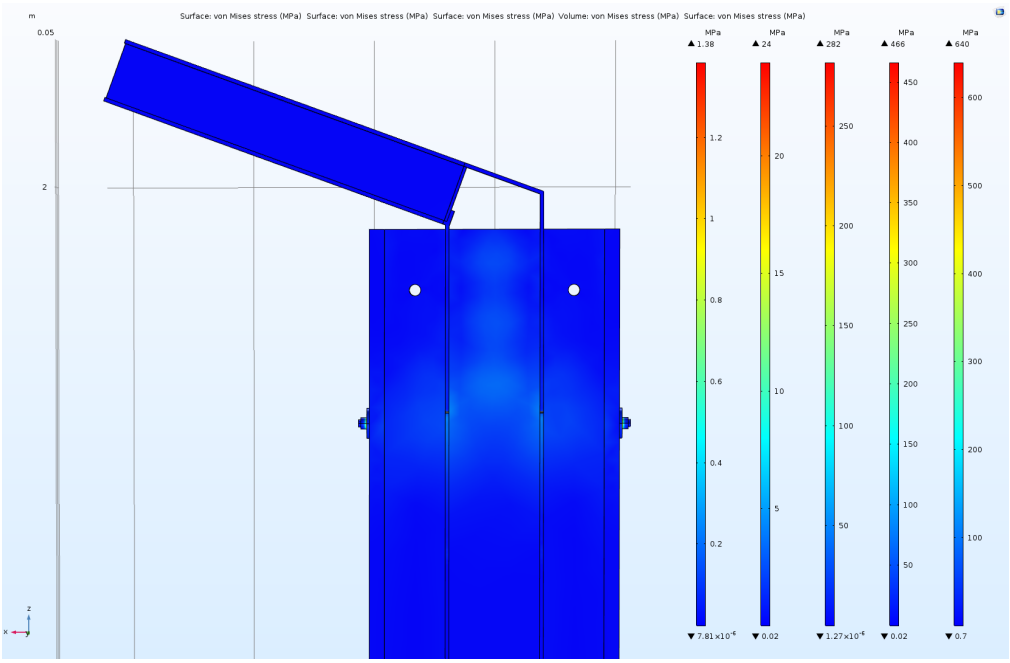
Figur 12. Samme som Figur 11, men zoomet ind ved fundamentet.



Figur 13. Samme som Figur 12 set fra ydersiden.



Figur 14. Samme som Figur 10, men zoomet ind ved top af træsøjle.

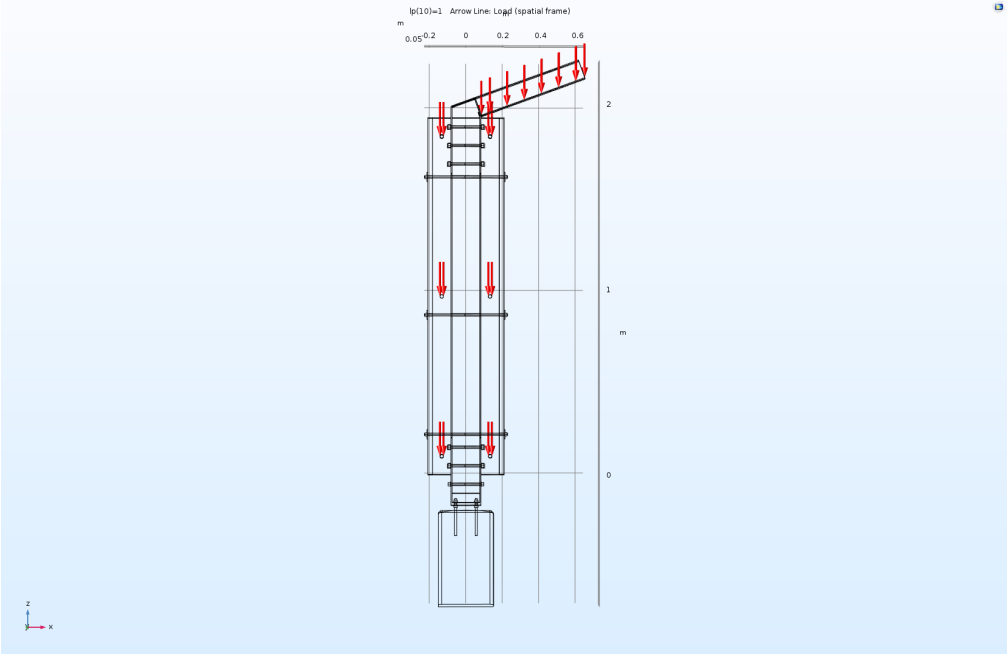


Figur 15. Samme som Figur 14 set fra ydersiden.

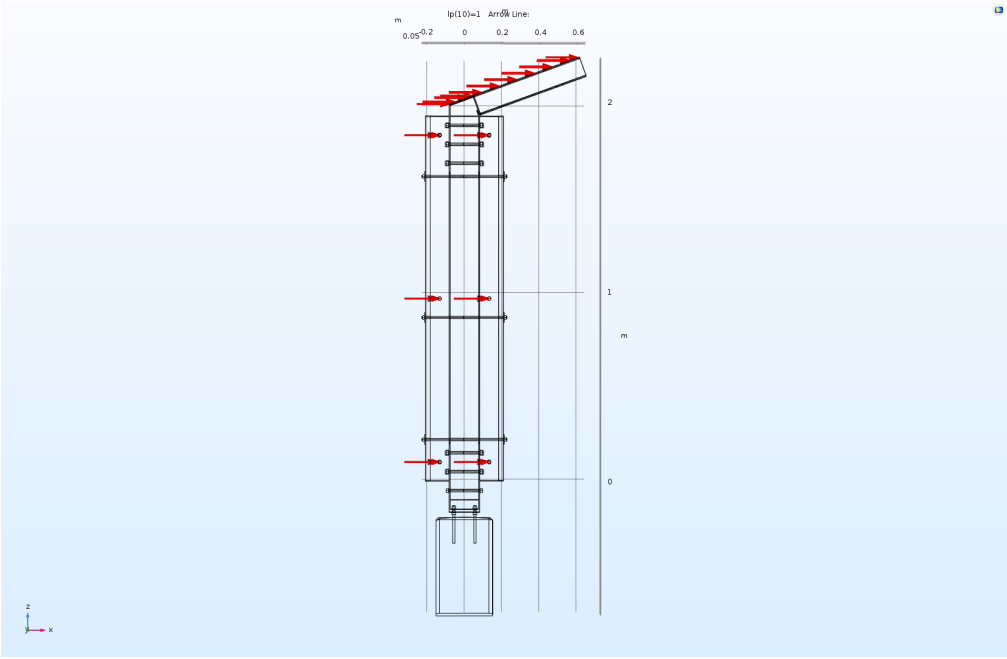
Som det ses af Figur 12 og Figur 14, optræder de store spændinger i materialerne fra forspændingen kun, hvor der er kontakttryk fra forspændingen af gevindstængerne. Dette vil altid forekomme og er uden betydning for bæreevnen.

9.2.2. Ydre kræfter

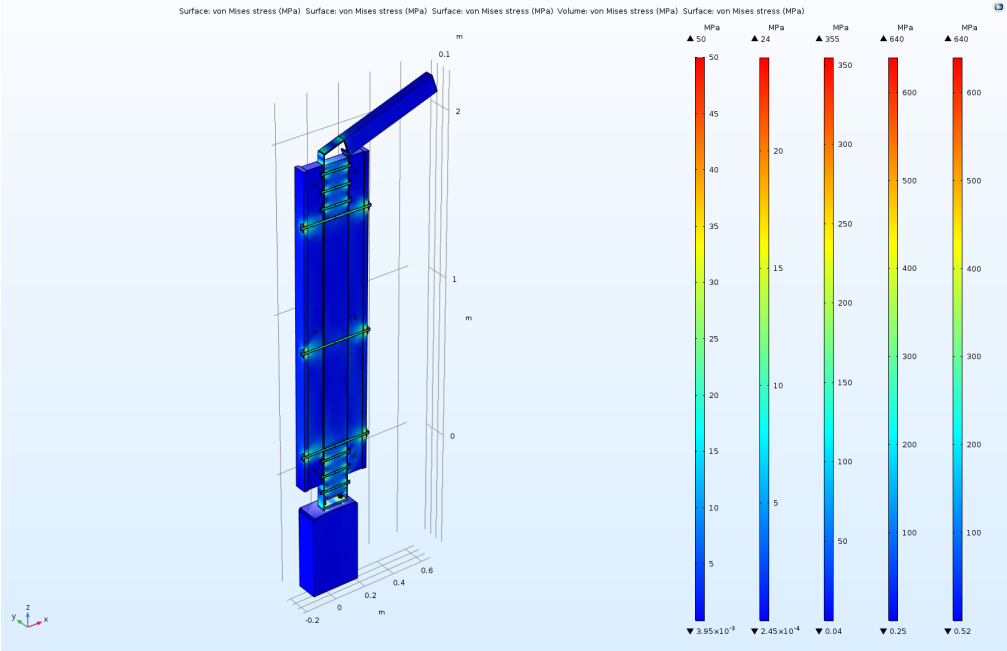
Efter påføring af de ydre kræfter, se Figur 16, samt den tidligere påførte forspænding af gevindstænger er der foretaget en spændingsanalyse, hvor resultatet er gengivet i Figur 18 til Figur 25.



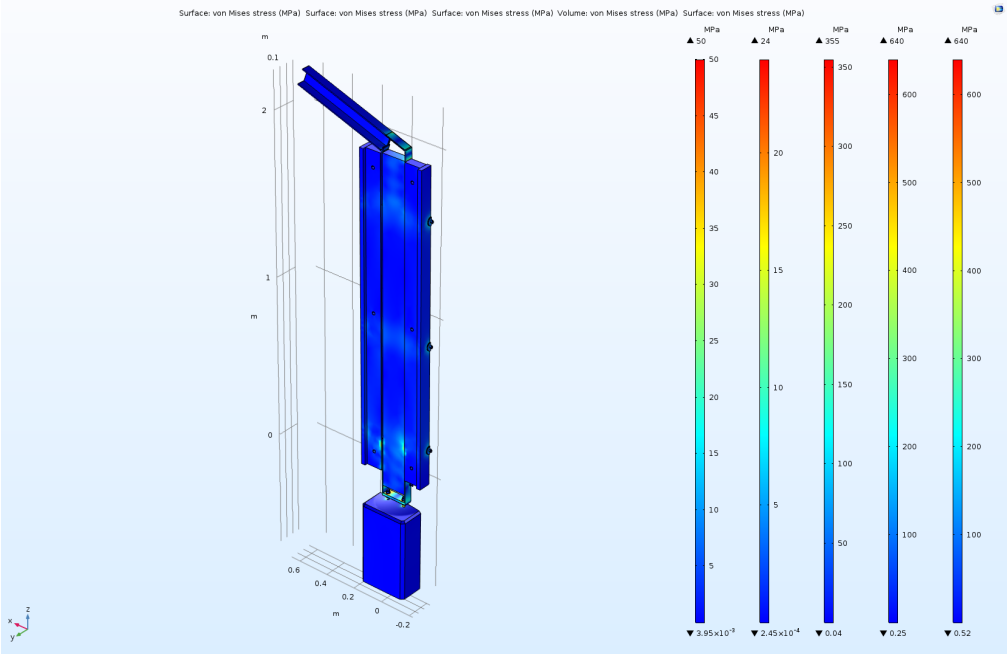
Figur 16. Angrebspunkter for de lodrette laster (egenvægt mv.).



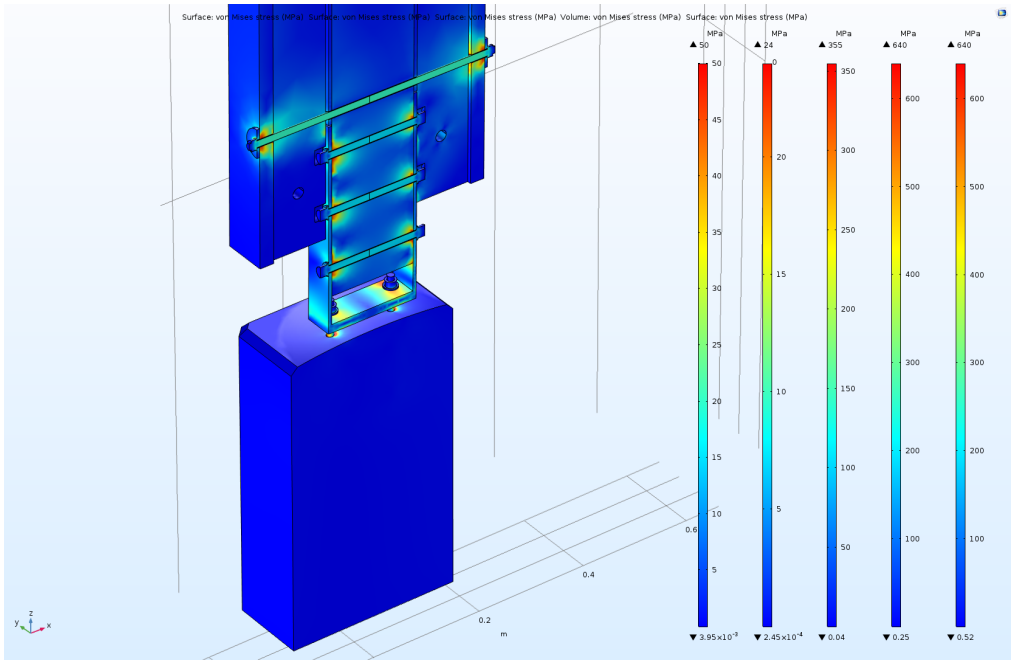
Figur 17. Angrebspunkter for de vandrette laster (vindlast).



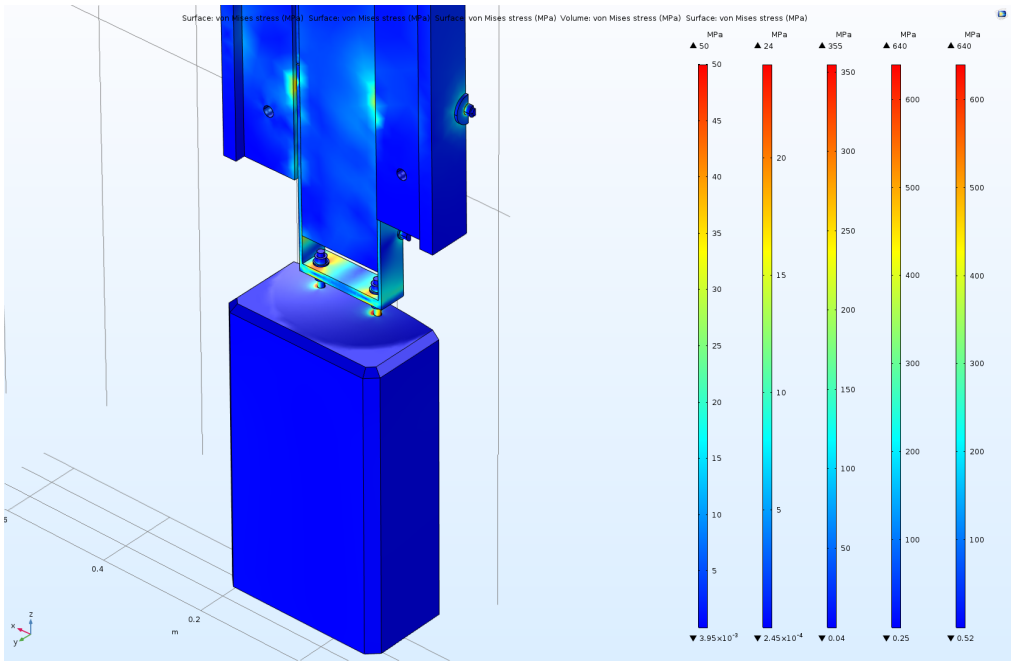
Figur 18. Spændingsbillede i konstruktionen efter udført forspænding og påføring af ydre laster. Skalaerne læst fra venstre mod højre er følgende: Betonfundament, træ, stålbeslag, gevindstænger skærmelementer, gevindstænger fundament.



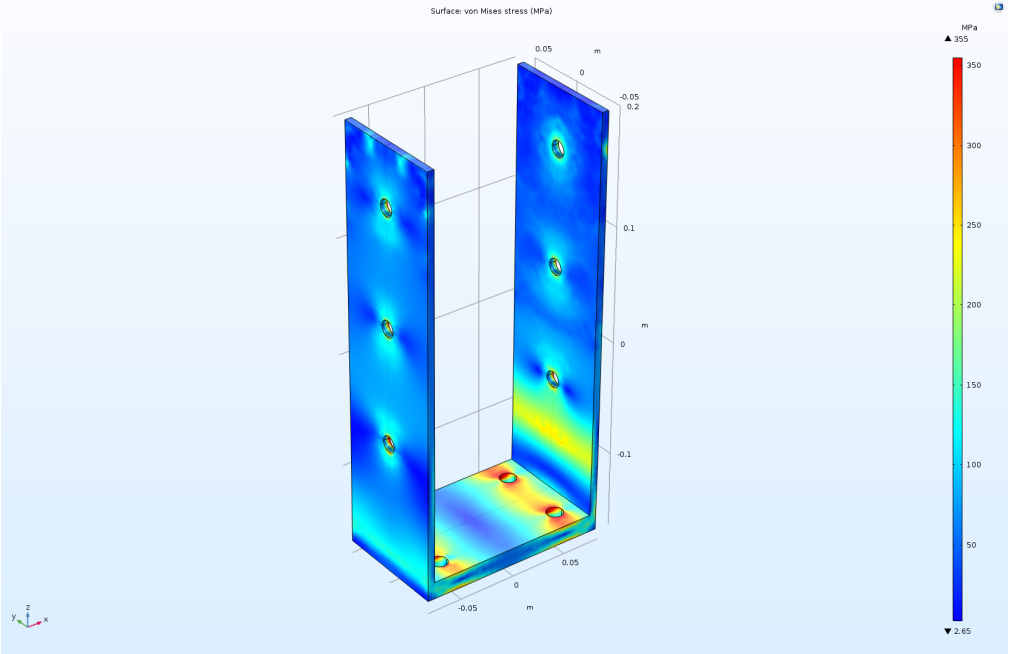
Figur 19. Samme som Figur 18 set fra ydersiden.



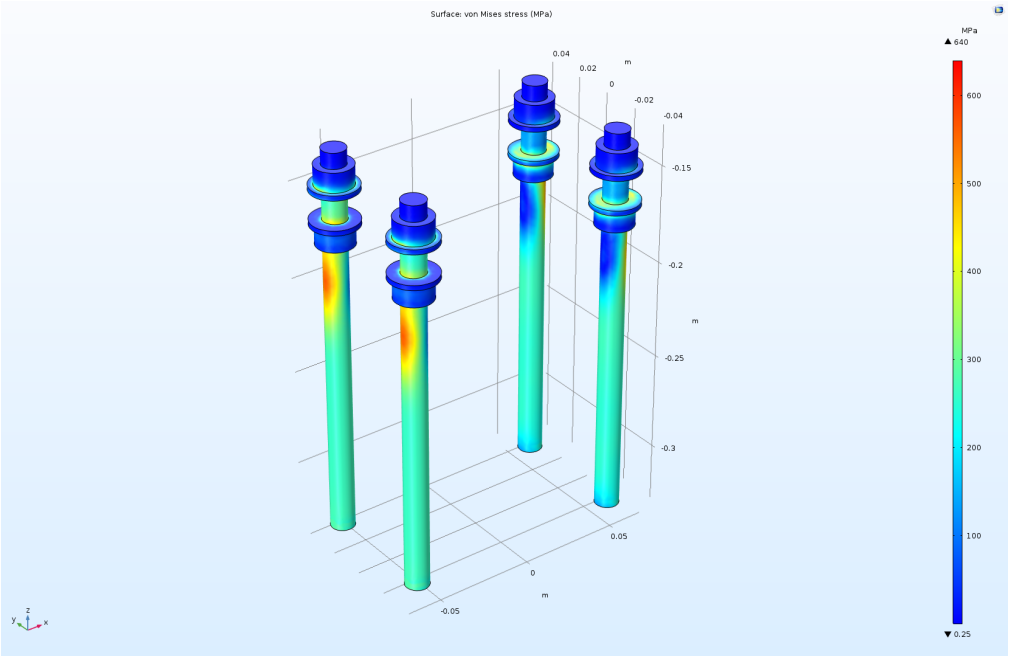
Figur 20. Samme som Figur 18, men zoomet ind ved fundamentet.



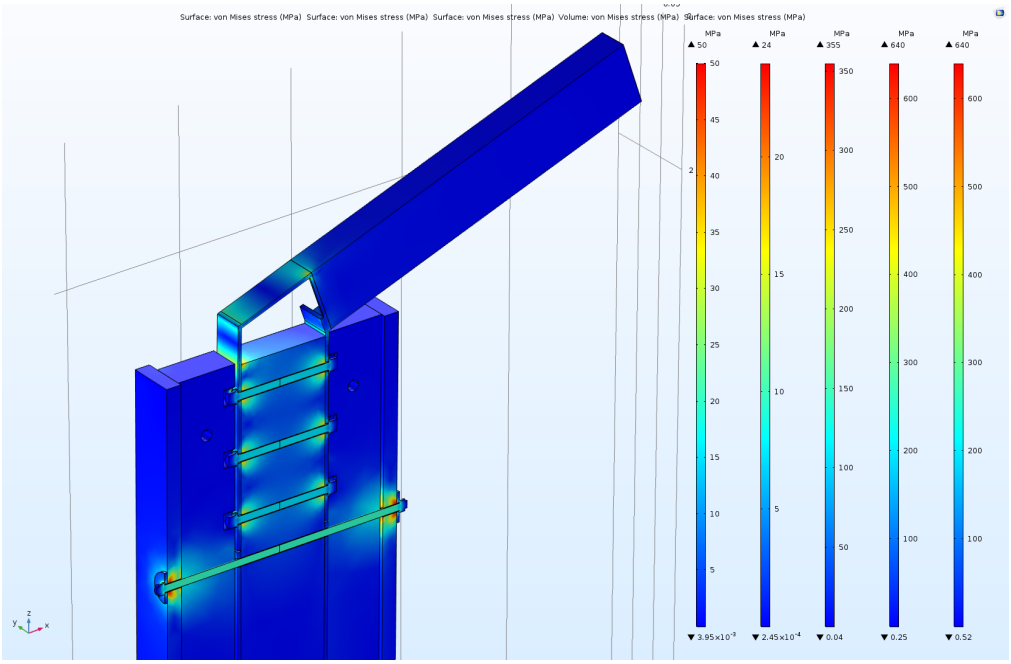
Figur 21. Samme som Figur 20 set fra ydersiden.



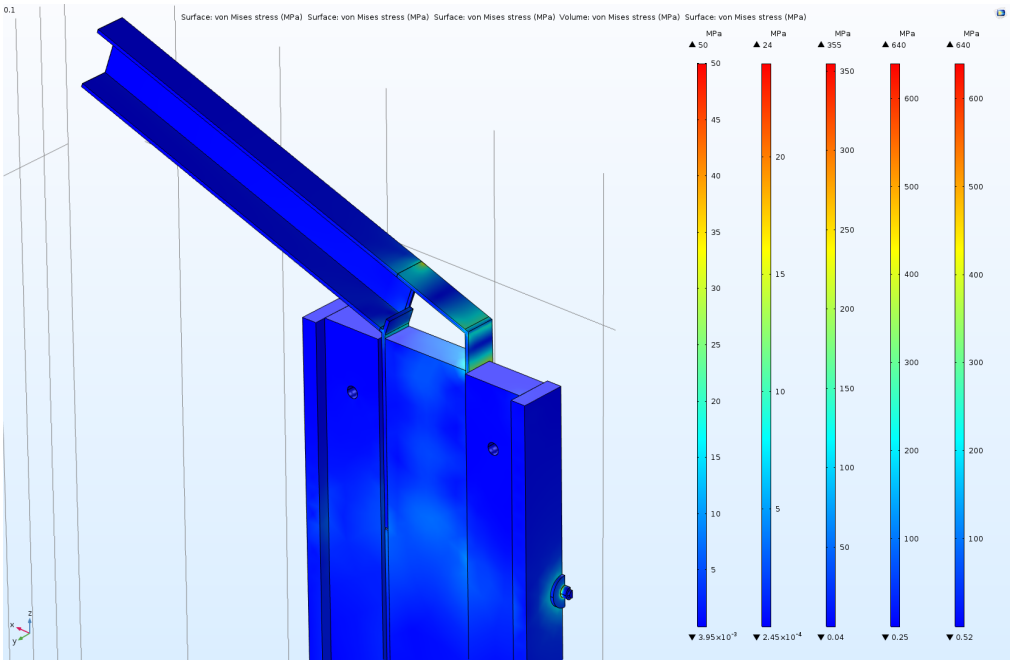
Figur 22. Nærbillede af gaffelbeslag.



Figur 23. Nærbillede af gevindstænger ved fundament.



Figur 24. Samme som Figur 18, men zoomet ind ved top af træsøjle.

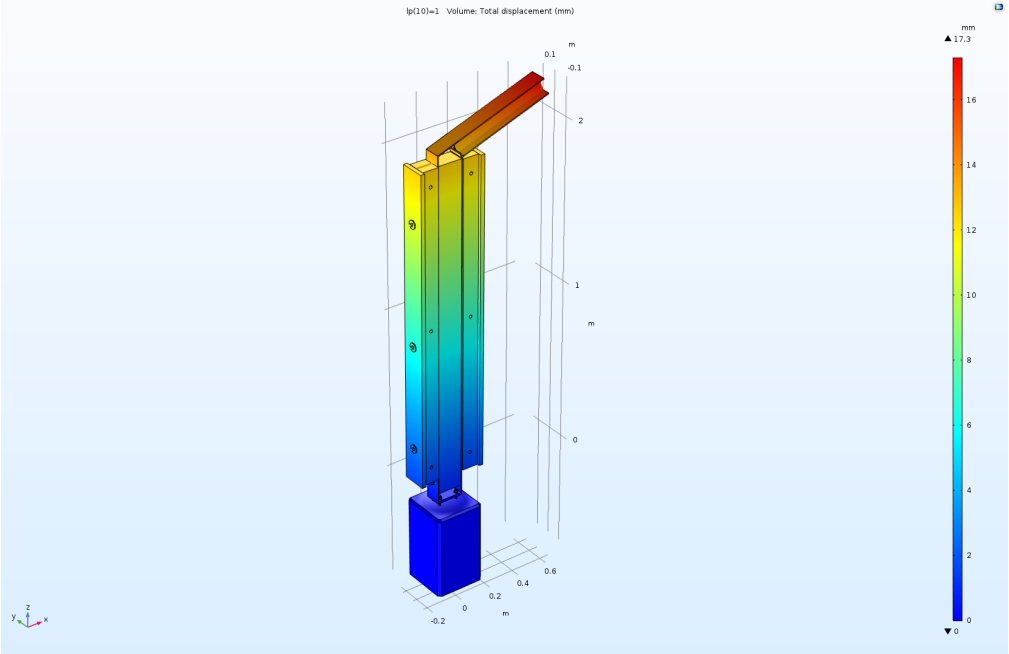


Figur 25. Samme som Figur 24 set fra ydersiden.

Som det ses af finite element beregningen, ligger spændingerne inden for de tilladelige.

9.3. Udbøjning

Den beregnede udbøjningen af den bærende konstruktion er vist i Figur 26. Den totale udbøjning for Grøn Skærm er 17 mm, hvilket opfylder kravene i DS/EN 1794-1.



Figur 26. Beregnet udbøjning af den bærende konstruktion er 17 mm ved konstruktionstoppen.

10. Fundering

Baseret på de beregnede forskydningskræfter og bøjningsmomenter ved terræn (se Bilag 1) er der foretaget en beregning af den nødvendige funderingsdybde af de enkelte funderingspæle.

De dimensionsgivende bøjningsmomenter og forskydningskræfter fra vindlast ved terræn skal multipliceres med 1,11 (1,5/1,35), da de skal regnes til konsekvensklasse CC2.

11. Jordtryk og funderingsdybde

Ifølge Bulletin No. 12 kan jordtrykket beregnes til de værdier, der er vist i Tabel 1.

I beregningen er der anvendt en sandholdig jord med en plan friktionsvinkel på 30˚, hvilket er en jordtype, der ligger i den lave ende mht. bæreevne.

Bredde (m)	0,030	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Dybde (m)	0,200	0,400	0,600	0,800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000
D/B	6,67	1,33	2,00	2,67	3,33	4,00	4,67	5,33	6,00	6,67
Kp	6,90	4,57	5,01	5,39	5,72	6,01	6,27	6,51	6,71	6,90
γ'*D*B*Kq (kN/m)	0,75	9,88	16,23	23,28	30,89	38,97	47,42	56,21	65,26	74,56

γ' (kN/m^3)	18,00							
φ'_{pl}	30,00	d_c	1,80	K_c^∞	39,17	K_o	0,57
γ_{φ}	1,20	N_c	21,77	K_q^∞	10,67	K_q^0	3,46
φ'_d	25,69					α_q	0,14
c	0,00					K_q	6,90

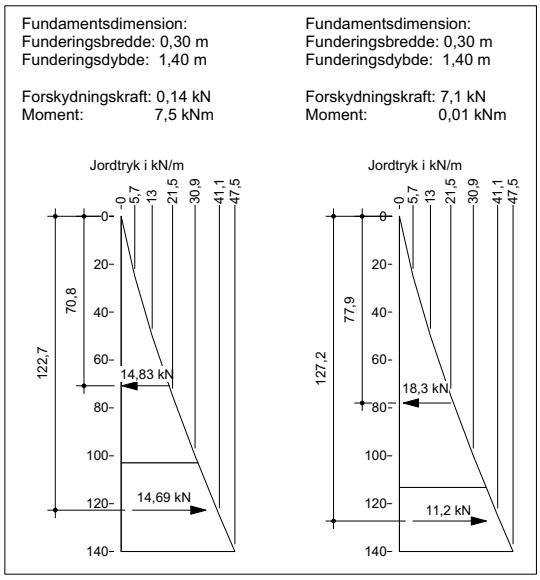
Tabel 1. Beregnet jodtryk iht. Bulletin No. 12.

Ud fra de beregnede værdier i Tabel 1 er der optegnet de i Figur 27 til Figur 31 viste diagrammer for følgende funderingsdybder: 1,40 m, 1,50 m, 1,60 m, 1,70 m og 1,80 m til bestemmelse af en høj og en lav værdi af hhv. forskydningskraft og tilhørende stabiliserende moment.

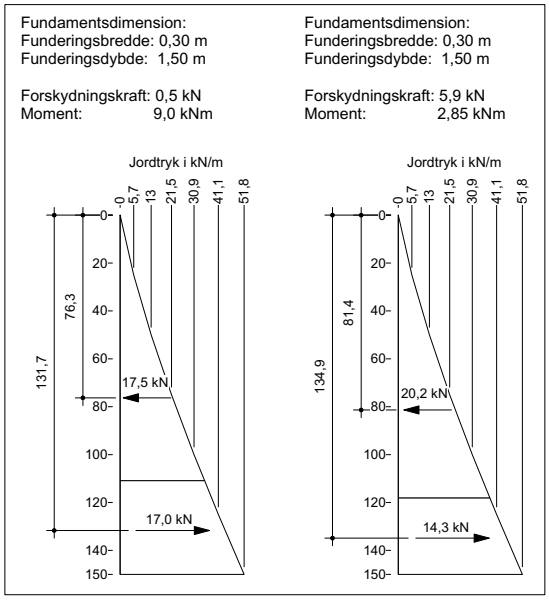
De beregnede værdier er samlet i Figur 32 i form af et jordtryksdiagram med forskydnings- og momentpåvirkning som indgangsparametre.

I jordtryksdiagrammet er markeret, hvor de enkelte søjler vist i Bilag 1 er indplaceret til bestemmelse af funderingsdybden.

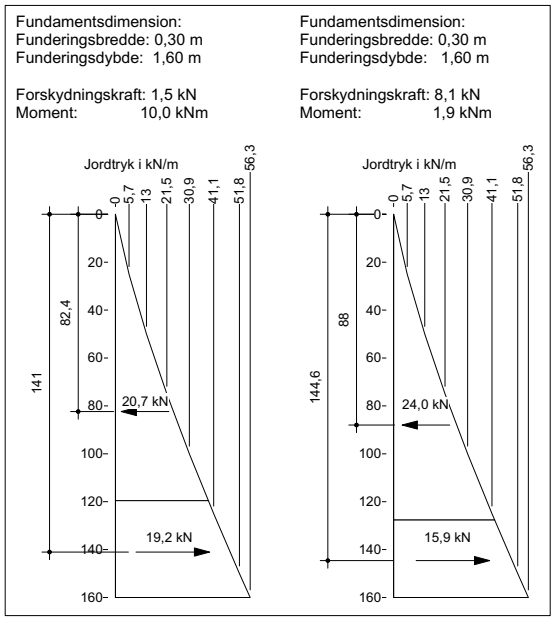
Ved beregningen af funderingsdybden er der set bort fra den stabiliserende effekt fra plantekasserne. Ligeledes er vindlasten på plantekasserne ikke medregnet ved bestemmelse af forskydningskraften og momentet ved terræn. Dette fremgår også af de beregnede værdier i Bilag 1.



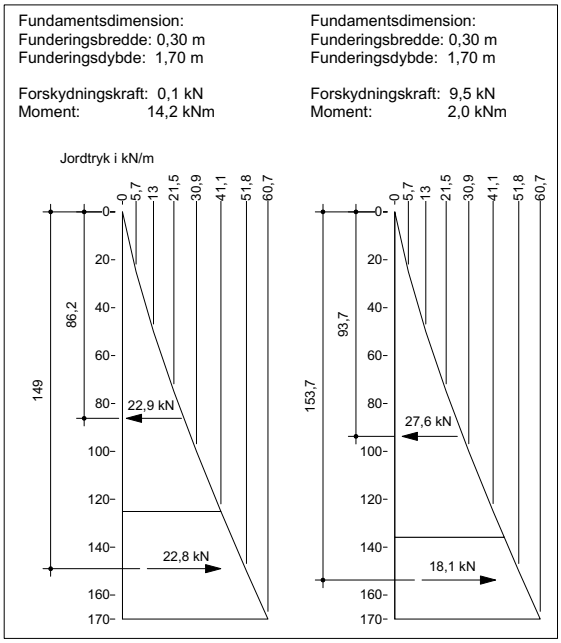
Figur 27. Beregnet bæreevnekapacitet for en funderingsdybde på 1,40 m.



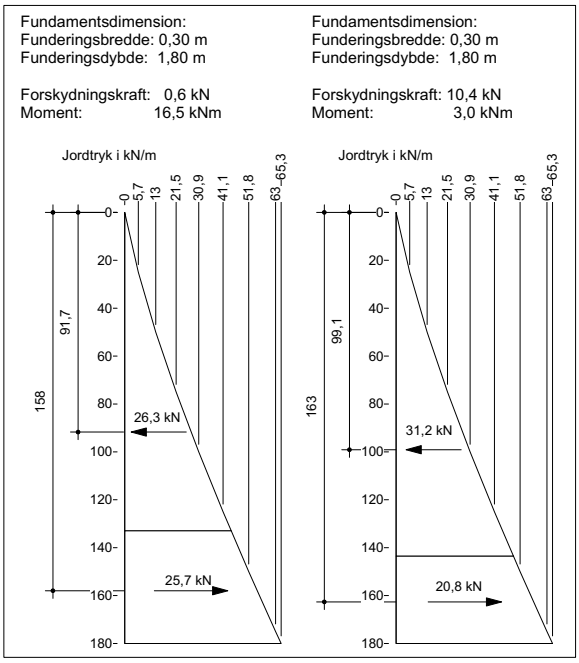
Figur 28. Beregnet bæreevnekapacitet for en funderingsdybde på 1,50 m.



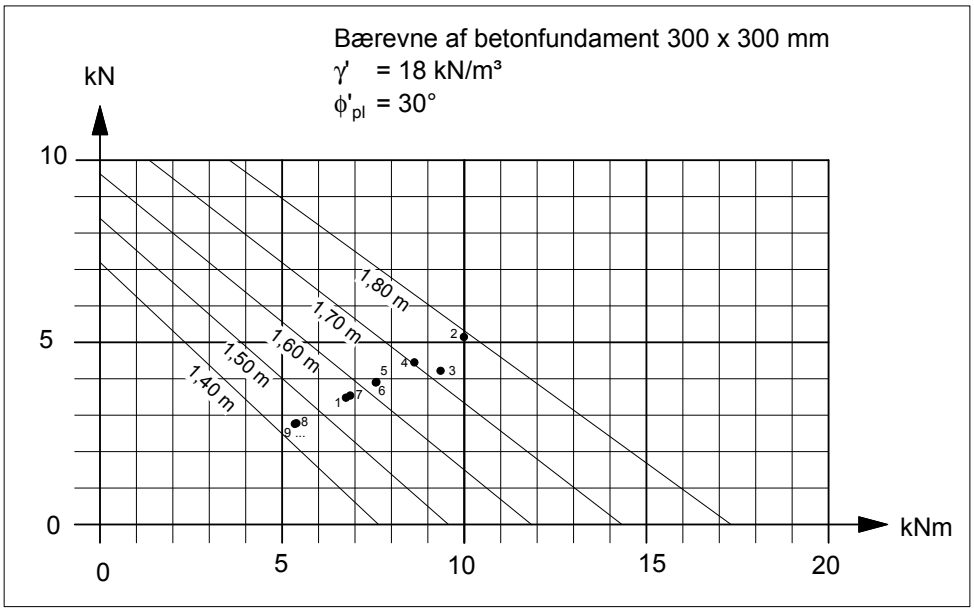
Figur 29. Beregnet bæreevnekapacitet for en funderingsdybde på 1,60 m.



Figur 30. Beregnet bæreevnekapacitet for en funderingsdybde på 1,70 m.



Figur 31. Beregnet bæreevnekapacitet for en funderingsdybde på 1,80 m.

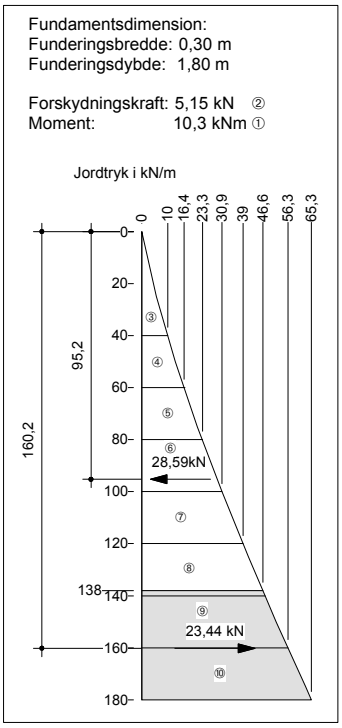


Figur 32. Jordtryksdiagram med indtegnede punkter for bestemmelse af funderingsdybden af de enkelte søjler. I jordtryksdiagrammet er vist indplaceringen af de beregnede værdier for forskydning og moment ved terræn, der bestemmer funderingsdybden for de enkelte søjler i Bilag 1. De anførte numre svarer til søjlenumrene i Bilag 1.

12. Beregning af det maksimale bøjningsmoment i funderingspæle

Da armeringen i samtlige funderingspæle er ens, er der kun regnet på den hårdest belastede funderingspæl, hvilket er pæl nr. 2.

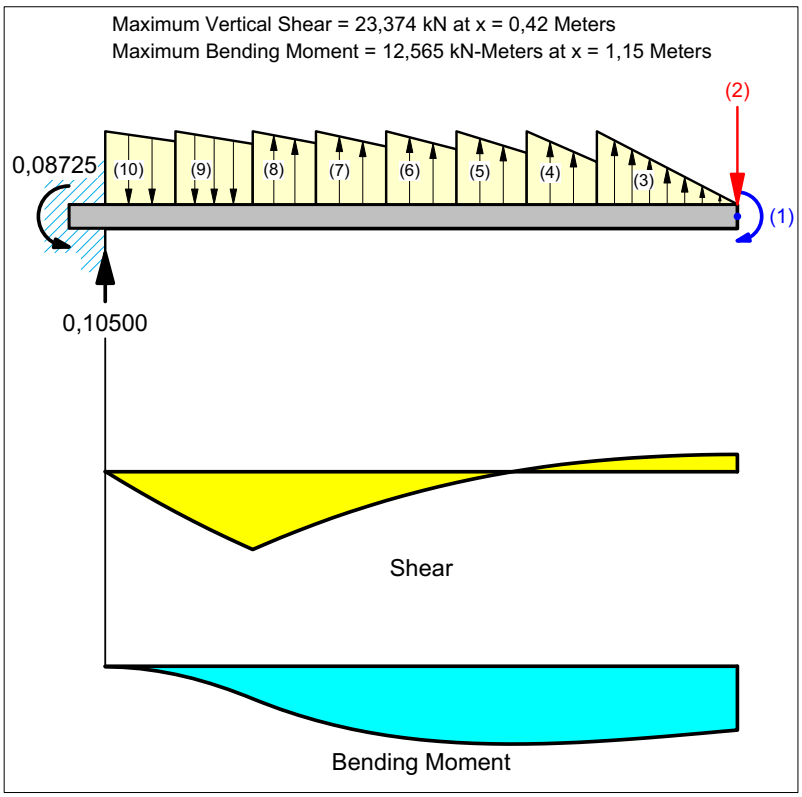
Den mere præcise jordtryksfordeling på pæl nr. 2 er beregnet og vist i Figur 33.



Figur 33. Beregnet ligevægt mellem det stabiliserende jordtryk og vindlast for søjle nr. 2.

12.1. Kontrolberegning af præfabrikeret betonpæl

Det beregnede jordtryk er anvendt til at beregne den maksimale momentpåvirkning af betonpæl nr. 2, som vist i Figur 34.



Figur 34. Beregning af maksimum moment og forskydningskraft i betonpæl nr. 2. Numrene svarer til de tilsvarende angivelser i Figur 33.

Da funderingsberegningen er baseret på CC2 med en partialkoefficient på 1,5 på vindlast, skal de beregnede værdier for maksimum moment og forskydningskraft multipliceres med 1,35/1,5 = 0,9 for at svare til CC1 som er gældende for betonpælen.

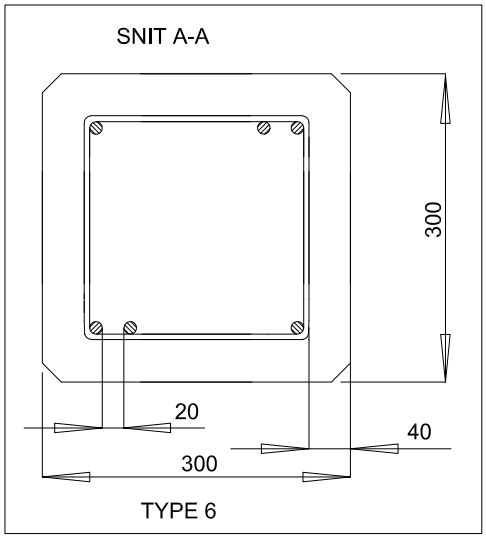
Herved bliver det dimensionsgivende moment for betonpælen 12,6 x 0,9 = 11,3 kNm og den dimensionsgivende forskydningskraft bliver 23,4 x 0,9 = 21,1 kN.

At forskydningskraft og moment ved indspænding ikke bliver 0, skyldes afrundingsfejl undervejs i beregningerne, men det er uden betydning for bestemmelse af det beregnede dimensionerende moment og den dimensionerende forskydningskraft i betonpælen.

Det er valgt at anvende en præfabrikeret betonpæl Type 6 til nedramning, se Bilag 2. Tværsnittet af betonpælen er vist i Figur 35.

Den anvendte armering er opgivet Ø12 med f_{yk} = 500 MPa og bøjlearmeringen er Ø5 med f_{yk} = 400 MPa.

Den anvendte betonkvalitet er angivet til C50/60. I kontrolberegningen er anvendt C50 som styrkeparameter.



Figur 35. Tværsnit af betonpæl vist i Bilag 1.

f_{cd} = 50/1,45 = 34,5 MPa
f_{yd} = 500/1,2 = 417 MPa
d = 300 - 50 - 5 - 6 = 239 mm

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{11{,}3 \times 10^6}{300 \times 239^2 \times 34{,}5} = 0{,}019$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0{,}019} = 0{,}019$$

$$A_s = \omega \frac{b \times d \times f_{cd}}{f_{yd}} = 0{,}019 \times \frac{300 \times 239 \times 34{,}5}{417} = 113 \text{ mm}^2$$

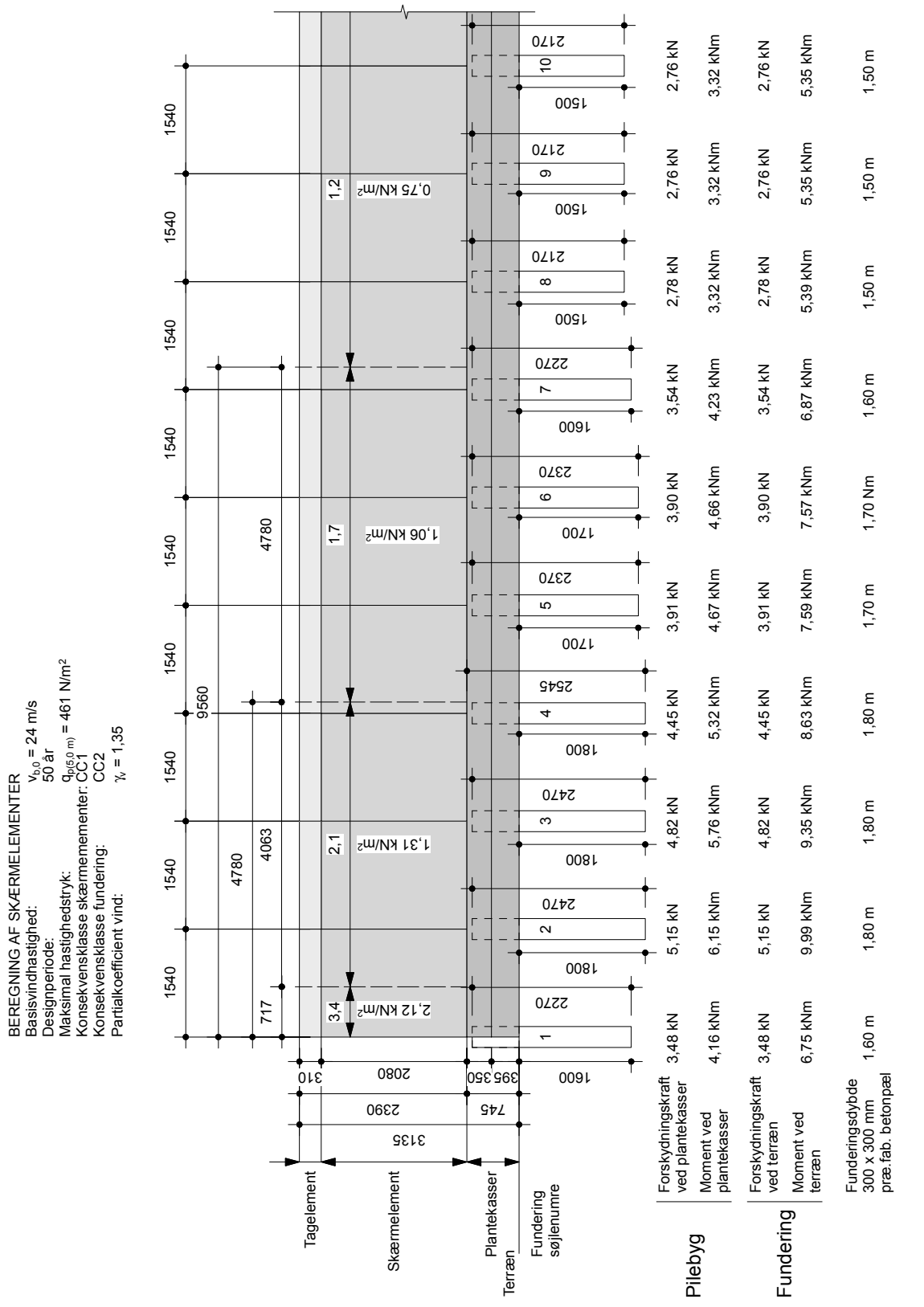
2 stk. Ø12 har A_s = 226 mm^2

Den valgte betonpæl Type 6 har tilstrækkeligt med bæreevne.

13. Konklusion

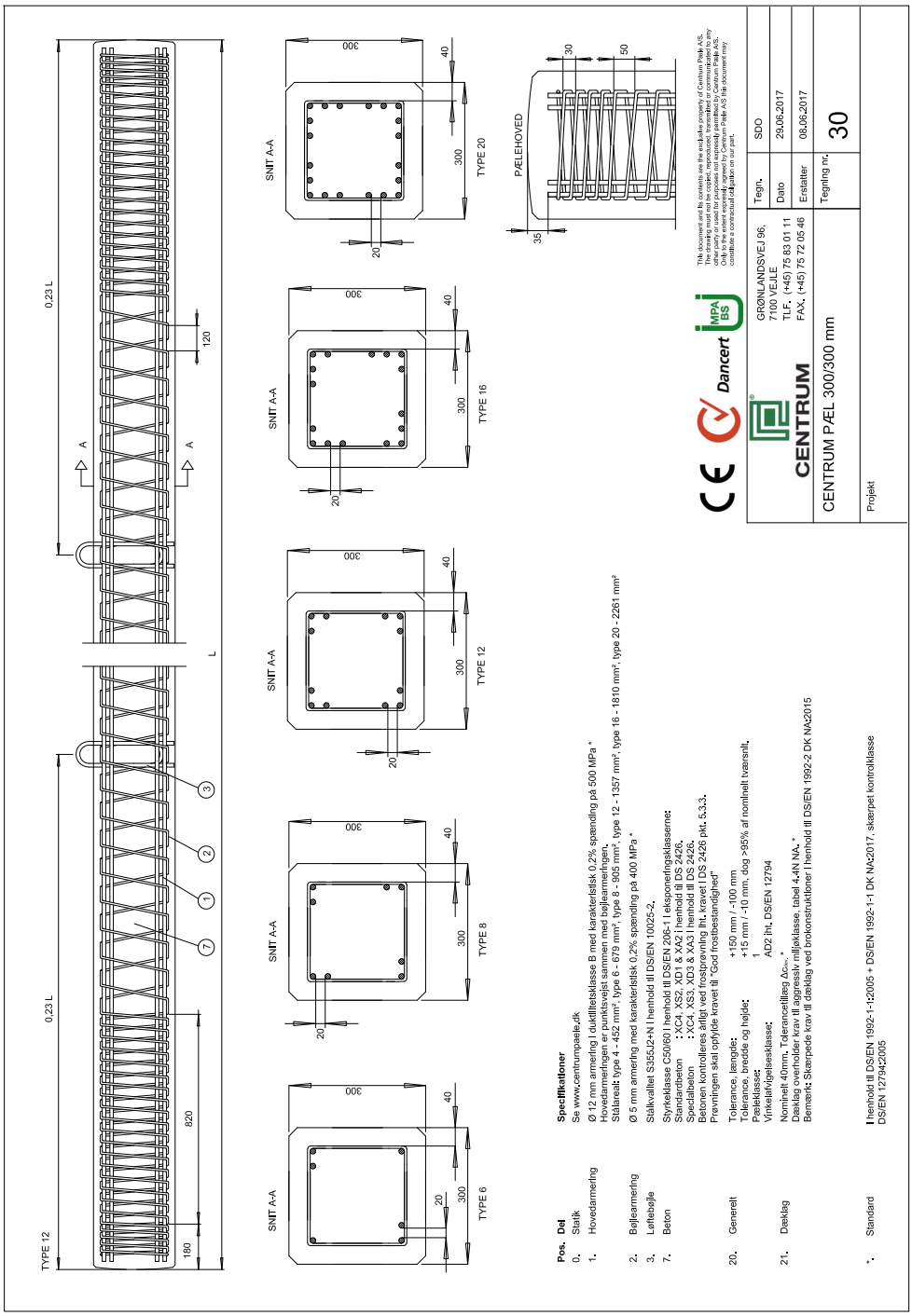
Ud fra de udførte beregninger kan det konkluderes, at bæreevnen af Grøn skærm er tilstrækkelig til at kunne modstå vindlast, hvis opstillet i terrænkategori III med en basisvind $v_{b,0}$ = 24 m/s, snelast og egenvægt under forudsætning af, at jordens bæreevne på opstillingsstedet har en plan friktionsvinkel på mindst 30°, hvilket er opfyldt på næsten alle opstillingssteder i Danmark.

Skærm: 3,2 m, basisvind: 24 m/s, Terrænkategori III, c_{dir}^2=1,0 **Bilag 1**



Præfabrikeret betonpæl til nedramning

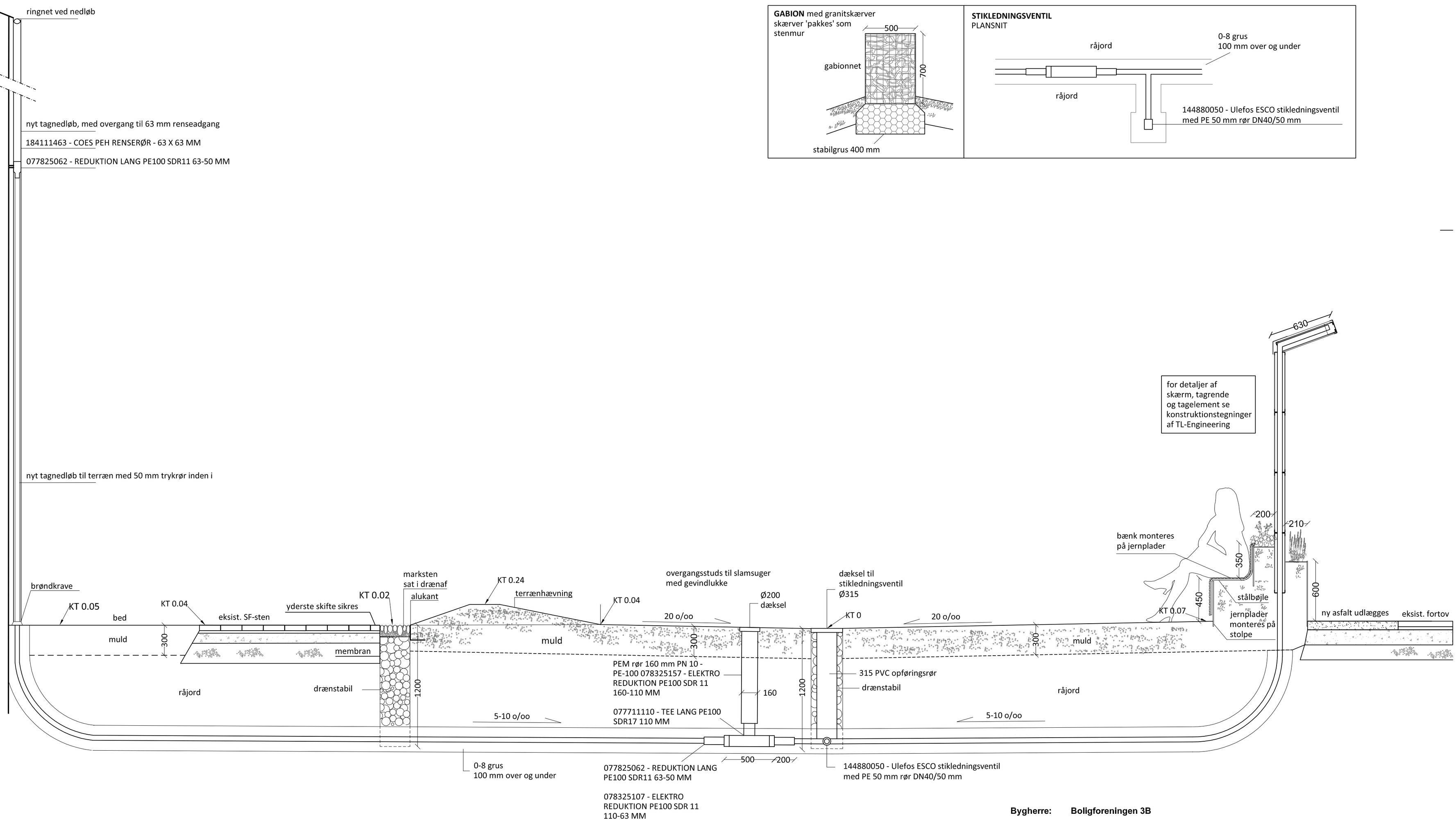
Bilag 2



GABION med granitskærver
skærver 'pakkes' som
stenmur

STIKLEDNINGSVENTIL
PLANSNIT

for detaljer af
skærm, tagrende
og tagelement se
konstruktionstegninger
af TL-Engineering



Bygherre: **Boligforeningen 3B**

Emne:	SNIT	**Tegn.nr.**	(30) 25
Mål:	1:25		
Format:	A2		
Dato:	16.06.2017	Tegnet af:	RF
Rev.dato:		Kvalitets sikret:	NL

- **University of Copenhagen,** Faculty of Science, Landscape Architecture and Planning, Rolighedsvej 23, 1958 Frederiksberg.
- **Teknologisk Institut,** Gregersensvej, 2630 Taastrup.
- **Aarsleff A/S,** Lokesvej 15, 8230 Åbyhøj.
- **Malmos A/S,** Gl. Marbjergvej 11, 4000 Roskilde.
- **Niels Lützen Landskabsarkitekter ApS,** Esromgade15, opg.1.,3 sal, 2200 Kbh N, tlf. 33 11 66 73, e-mail: nl@nl-landskab.dk

BIodiversitet

For skærmen som helhed er der en ambition om at understøtte biodiversitet. Her er det valgt at fokusere på at optimere vilkårene for flyvende insekter, fordi et godt insektliv også er forudsætningen for et godt fugleliv. Insekterne er også gode bestøvere for mange blomster, buske og træer. Et godt insektliv kræver først og fremmest et godt fødegrundlag, og her handler det først og fremmest om blomster (pollen og nektar), der er føde for insekterne. Plantefamilier, der understøtter insekter bredt, er kurvblomsterne (asteracae), de ærteblomstrede (fabacae) og de korsblomstrede (brassicacae).

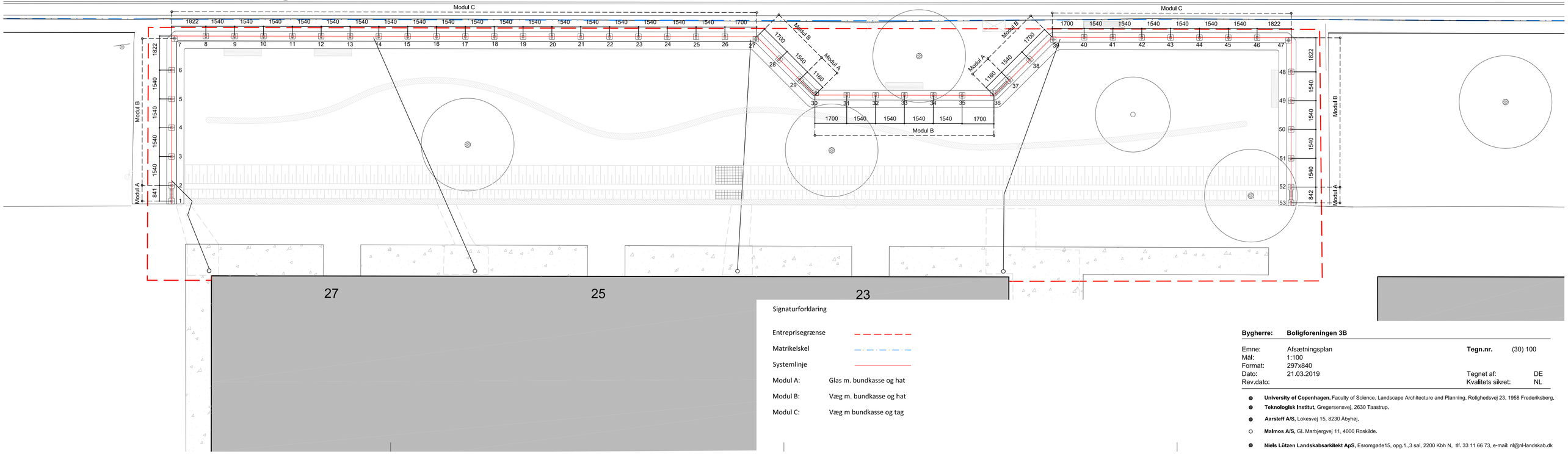
Hvis en fuld livscyklus skal sikres, er man nødt til at kigge på de enkelte arters særlige krav til redemateriale, skjulesteder og føde for larver og nymfer, der kan være meget specifikke. I projektet er gruppen af enlige bier udvalgt som målgruppe, og her indenfor de specifikke arter maskebier (Hylaeus), bladskærerbier (Megachile) og murbier (Colletes).

Bier er en vigtig fødekilde for fugle og er derudover vigtige for bestøvning af træer, buske og blomster. I Danmark udnyttes hovedparten af landet til landbrug, og der er generelt mangel på gode levesteder med en varieret flora, der har en lang blomstringssæson. Manglen på levesteder viser sig ved en tilbagegang i bestandene. Ved at skabe plads til bierne i byen og gøre opmærksom på biernes behov for levesteder, kan byerne være med til at forbedre situationen både direkte og indirekte.

Fælles for de tre arter af enlige bier er, at de er hulboende og bygger rede af indsamlet materiale. Bierne bygger reder mange forskellige steder som i huller i træ, sneglehuse og plantestængler. De enlige bier lever ikke i kolonier, men har enlig levevis, hvor de bygger yngleceller. For at forbedre Folehavens habitategenskaber tilplantes såvel Grøn Klimaskærm som det tilstødende grønne areal med gode insektplanter.

De enlige bier foretrækker forskelligartet redemateriale. Maskebien bygger rede i dødt træ, jord og i brombærstængler. Bladskærebier bruger eksempelvis blade fra roser og syren. Bien bruger sine kraftige kæber til at skære blade ud i små stykker som den forer reden med. For murbierne skal der være mudder eller finkornet jord tilstede, for det skal de bruge til at bygge celler med. I alle tilfælde fyldes ynglecellerne med nektar og pollen, som larverne lever af.

De enlige bier er aktive på forskellige tidspunkter af året, fra tidlig forår til april-juni, og derfor spiller en lang blomstringssæson en vigtig rolle.



Signaturforklaring

Entreprisegrænse

Matrikelskel

Systemlinje

Modul A: Glas m. bundkasse og hat

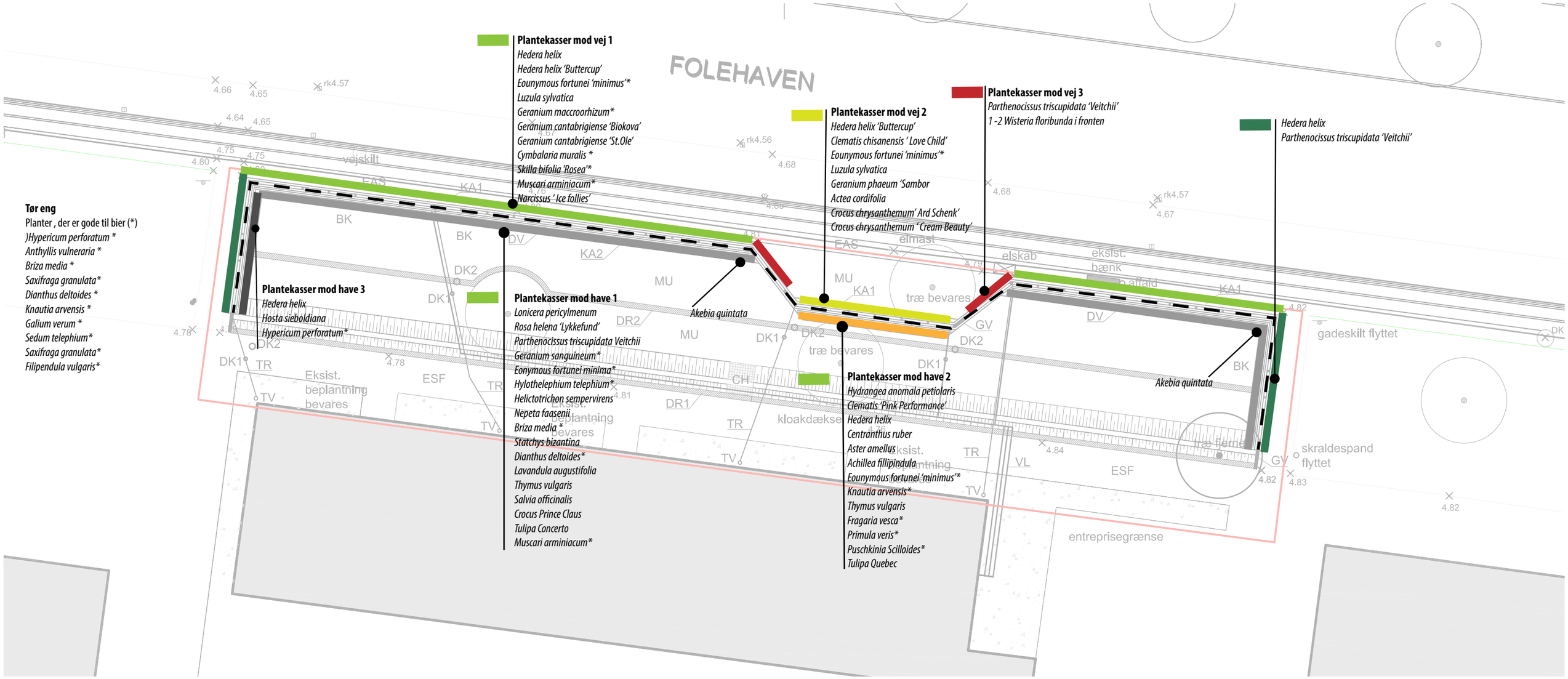
Modul B: Væg m. bundkasse og hat

Modul C: Væg m bundkasse og tag

Bygherre: **Boligforeningen 3B**

Emne:	Afsætningsplan	**Tegn.nr.**	(30) 100
Mål:	1:100		
Format:	297x840		
Dato:	21.03.2019	Tegnet af:	DE
Rev.dato:		Kvalitets sikret:	NL

- **University of Copenhagen,** Faculty of Science, Landscape Architecture and Planning, Rolighedsvej 23, 1958 Frederiksberg.
- **Teknologisk Institut,** Gregersensvej, 2630 Taastrup,
- **Aarsleff A/S,** Lokesvej 15, 8230 Åbyhøj.
- **Malmos A/S,** Gl. Marbjergvej 11, 4000 Roskilde.
- **Niels Lützen Landskabsarkitekt ApS,** Esromgade15, opg.1.,3 sal, 2200 Kbh N, tlf. 33 11 66 73, e-mail: nl@nl-landskab.dk


FOLEHAVEN
Plantekasser mod vej 1
Hedera helix
Hedera helix 'Buttercup'
Eounymous fortunei 'minimus'*
Luzula sylvatica
Geranium maccroorhizum*
Geranium cantabrigiense 'Biokova'
Geranium cantabrigiense 'St.Ole'
Cymbalaria muralis *
Skilla bifolia 'Rosea'*
Muscari arminiacum*
Narcissus ' Ice follies'
Plantekasser mod vej 2
Hedera helix 'Buttercup'
Clematis chisanensis ' Love Child'
Eounymous fortunei 'minimus'*
Luzula sylvatica
Geranium phaeum 'Sambor
Actea cordifolia
Crocus chrysanthemum' Ard Schenk'
Crocus chrysanthemum ' Cream Beauty'
Plantekasser mod vej 3
Parthenocissus triscupidata 'Veitchii'
1 -2 Wisteria floribunda i fronten
Hedera helix
Parthenocissus triscupidata 'Veitchii'
Tør eng
Planter , der er gode til bier (*)
)Hypericum perforatum *
Anthyllis vulneraria *
Briza media *
Saxifraga granulata*
Dianthus deltoides *
Knautia arvensis *
Galium verum *
Sedum telephium*
Saxifraga granulata*
Filipendula vulgaris*
Plantekasser mod have 3
Hedera helix
Hosta sieboldiana
Hypericum perforatum*
Plantekasser mod have 1
Lonicera pericylmenum
Rosa helena 'Lykkefund'
Parthenocissus triscupidata Veitchii
Geranium sanguineum*
Eonymous fortunei minima*
Hylothelephium telephium*
Helictotrichon sempervirens
Nepeta faasenii
Briza media *
Statchys bizantina
Dianthus deltoides*
Lavandula augustifolia
Thymus vulgaris
Salvia officinalis
Crocus Prince Claus
Tulipa Concerto
Muscari arminiacum*
Akebia quintata
Plantekasser mod have 2
Hydrangea anomala petiolaris
Clematis 'Pink Performance'
Hedera helix
Centranthus ruber
Aster amellus
Achillea fillipindula
Eounymous fortunei 'minimus'*
Knautia arvensis*
Thymus vulgaris
Fragaria vesca*
Primula veris*
Puschkinia Scilloides*
Tulipa Quebec
Akebia quintata
vejskilt
EAS
KA1
BK
DV
KA2
DK2
DK1
MU
DR2
DR1
CH
TR
TV
ESF
Eksist. beplantning bevares
kloakdækse
elmast
elskab
eksist. bænk
træ bevares
GV
VL
gadeskilt flyttet
skraldespand flyttet
entreprisegrænse
4.66
4.65
4.64
4.75
4.80
4.78
4.81
4.68
4.67
4.79
4.82
4.83
4.84
rk4.57
rk4.56

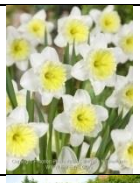
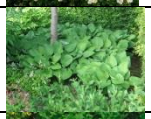
PLANTER PR. LØBENDE METER

			YDERSIDE Plantebed ca. 15 cm bredt, 44 moduler, 79.6 m i alt										**INDERSIDE** Øvre terrasse med ca. 15 cm plantebed, nedre terrasse med ca. 30 cm										
			A (glas), 4 mod.		***B (fløjene), 10 mod.***		***C (mod Foleh.), 20 mod.***		***B (skrå)*** [6]***, 4 mod.***		***B (indhak)*** [6] ***6 mod.***		***A (glas), 4 mod.***		***B (fløjene), 10 mod.***		***C (de lange stræk), 20 mod.***		***C (i hjørner), 2 steder***		***B (skrå og indhak)*** [7]***, 10 mod.***		
	Stolpe-strækning, jf. tegning (30) 100		*1-2; 29-30; 36-37; 52-53*		*2-7; 47-52*		*7-27; 39-47*		*27-29;37-39*		*30-36*		*1-2; 29-30; 36-37; 52-53*		*2-7; 47-52*		*7-27; 39-47*		*27;47*		*27-29;30-36; 37-39*		
	Længde (m)		2*841+2*1160	**4,0**	8*1540 + 2*1822	**16,0**	26*1540+177+1822	**43,6**	2*1700+2*1540	**6,5**	2*1700+4*1540	**9,6**	2*841+2*1160	**4,0**	8*1540 + 2*1822	**16,0**	26*1540+177+1822	**43,6**			4*1700+6*1540	**16,0**	
Form	**Latinsk navn**	**Dansk navn**	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt	planter /lbm	i alt		i alt	planter /lbm	i alt	***PLANTER I ALT***
Slyng/Klatre	Parthenocissus tricupidata 'Veitchii'[1]	Rådhusvin			1	*16*			1	*6*							1	*44*					*66*
Slyng/Klatre	Wisteria floribunda[1]	Blåregn							1	*6*													*6*
Slyng/Klatre	Lonicera periclymenum[1]	Alm. gedeblad															1	*44*					*44*
Slyng/Klatre	Rosa helena 'Lykkefund'[2]	Slyngrose															1	*44*					*44*
Slyng/Klatre	Hedera helix 'Hesma'	Småbl. efeu			2	*32*	1	*44*							3	*48*					2	*32*	*155*
Slyng/Klatre	Hedera helix 'Buttercup'[3]	Efeu					2	*87*			2	*19*											*106*
Slyng/Klatre	Hydrangea anomala subsp. Petiolaris[2]	Klatrehortensie																			1	*16*	*16*
Slyng/Klatre	Clematis chiisanensis 'Love Child'[1]	Klematis									1	*10*											*10*
Slyng/Klatre	Clematis 'Pink performance'[1]	Klematis																			1	*16*	*16*
Slyng/Klatre	Akebia quinata[4]	Femfingret akeb.																		*2*			*2*
Busk	Euonymus fortunei 'Minimus'*	Kryb. benved					2	*87*	2	*13*	2	*19*					2	*87*			2	*32*	*238*
Staude	Sedum (lave, som i tag)	Stenurt	15	60									15	*60*									
Staude	Sedum (høje, som i tag)	Stenurt											15	*60*									
Staude	Hosta sieboldiana HVILKEN SORT? Glauca?	Funkia													3	*48*							*48*
Staude	Hypericum perforatum*	Prikbl. perikon													3	*48*							*48*
Staude	Geranium macrorrhizum*	Storkenæb					2	*87*															*87*
Staude	Geranium cantabrigiense 'Biokovo'	Storkenæb					2	*87*															*87*
Staude	Geranium cantabrigiense 'St. Ola'	Storkenæb					2	*87*															*87*
Staude	Geranium phaeum 'Sambor'	Storkenæb							4	*26*	4	*38*											*64*
Staude	Geranium sanguineum*	Blodrød st.n.															2	*87*					*87*
Staude	Centranthus ruber	Rød sporebaldrian																			2	*32*	*32*
Staude	Aster amellus	Asters																			2	*32*	*32*
Staude	Knautia arvensis*	Blåhat																			2	*32*	*32*
Staude	Achillea filipendula	Pragtrøllike																			2	*32*	*32*
Staude	Primula veris*	Hulkravet kodriver																			2	*32*	*32*
Staude	Fragaria vesca*	Skovjordbær																			2	*32*	*32*
Staude	Cymbalaria muralis*	Vedb.-torskem.					7	*305*		*0*													*305*
Staude	Actaea cardifolia	Sølvlys							2	*13*	2	*19*											*32*
Staude	Hylothelephium telephium*	Sankthansurt															2	*87*					*87*
Staude	Nepeta faassenii	Alm. blåkant															2	*87*					*87*
Staude	Stachys byzantina	Lammeøre															2	*87*					*87*
Staude	Dianthus deltoides*	Bakkenellike															2	*87*					*87*
Staude	Lavendula angustifolia	Ægte lavendel															2	*87*					*87*
Staude	Thymus vulgaris	Havetimian															2	*87*			2	*32*	*119*
Staude	Salvia officinalis	Lægesalvie															2	*87*					*87*
Græs	Luzula sylvatica	Skovfrytle					2	*87*	2	*13*	2	*19*											*119*
Græs	Briza media*	Hjertegræs															2	*87*					*87*
Græs	Helectotrichon sempervirens*	Alpeenghavre															2	*87*					*87*
Løg/knolde[5]	Skilla bifolia 'Rosea'*	Tobladet skilla					20	*871*															*871*
Løg/knolde[5]	Muscari arminiacum*	Perlehyacinth					20	*871*									20	*871*					*1742*
Løg/knolde[5]	Narcissus 'Ice Follies'	Havenarcis					20	*871*															*871*
Løg/knolde[5]	Crocus chrysanthemum 'Ard Schenk'	Krokus							20	*130*	20	*191*											*321*
Løg/knolde[5]	Crocus chrysanthemum 'Cream Beauty'	Krokus							20	*130*	20	*191*											*321*
Løg/knolde[5]	Crocus chrysanthemum 'Prince Claus'	Krokus															20	*871*					*871*
Løg/knolde[5]	Tulipa 'Concerto'	Tulipan															20	*871*					*871*
Løg/knolde[5]	Tulipa 'Quebec'	Tulipan																			20	*321*	*321*
Løg/knolde[5]	Pushkinia scilloides*	Porcelænshyacinth																			20	*321*	*321*

* Gode for bier

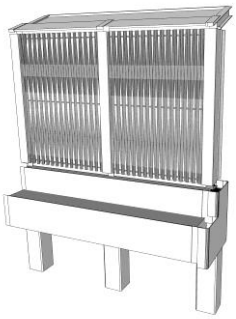
1) Skal plantes før montering af væg, da plantebeddet er smalt og potten stor
2) Kan plantes i den nedre terrasse
3) Står på KU, Rolighedsvej 23
4) Skal sættes i hjørnerne ved stolpe 27 og 47
5) Løg og knolde må lægges til efteråret
6) De skrå strækninger har samme beplantning som det lige stræk i indhakket, bortset fra slyngplanterne.
7) Beplantningen fra de lige stræk gentages på det skrå.

Sedum (lave, som i tag)	Stenurt		https://i.pinimg.com/originals/45/a8/f5/45a8f5e4ff7ea3b1d24d5c3975cf309e.jpg
Sedum (høje arter)	Stenurt		https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSTfSHpYbloAUFRouW2OFcB9F1LtLwL2mEkIAf5_v9kbkNYiD0t
Parthenocissus tricupidata 'Veitchii'[1)]	Rådhusvin		https://www.fotoagent.dk/single_picture/11613/138/mega/54-47x.jpg
Hedera helix 'Hesma'	Småbladet vedbend/efeu		https://www.jespersplanteskole.dk/media/catalog/product/cache/1/image/1200x1200/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/h/e/hederahelix_hesma__1.jpg
Hedera helix 'Buttercup'[2)]	Vedbend/efeu		http://www.burncoose.co.uk/site/img/products/large/Hedera_Buttercup.jpg
Euonymus fortunei 'Minimus'	Krybende benved		https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Euonymus_fortunei_Minimus_kz1.jpg
Luzula sylvatica	Skovfrytle		https://www.google.com/search?rls=com.microsoft%3Ada-DK%3AIE-Address&tbm=isch&sa=1&ei=I0qzXP_IAYqqa_Hrg5AB&q=skovfrytle&oq=skovfrytle&gs_l=img.3..0l2.13404.17768..18022...6.0..1.303.3555.0j6j9j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0i10i24j0i5i30j0i24.T7boax8oR3E#imgrc=h41MXddGfIljzM:&spf=1555254606023
Geranium macrorrhizum			https://bluestoneperennials.global.ssl.fastly.net/img/GEMA/650/GEMA_0_Geranium_Macrorrhizum.1490719209.jpg
Geranium cantabrigiense 'Biokovo'			https://www.gardenia.net/rendition.slider_detail/uploads/plant/1499088955-004aa5e25b0fce3d2/botanikfoto-472182-L.jpg
Geranium cantabrigiense 'St. Olé'			http://www.vanberkumnursery.com/wp-content/uploads/2016/04/Geranium-cantabrigiense-Biokovo-15.jpg
Cymbalaria muralis*	Vedbend-torskemund		https://www.whiteflowerfarm.com/mas_assets/cache/image/e/2/1/3617.Jpg
Skilla bifolia 'Rosea'*	Tobladet skilla		https://img.plantis.info/wp-content/uploads/2016/03/Scilla-bifolia-Rosea.jpg
Muscari arminiacum*	Perlehyacinth		https://ak9.picdn.net/shutterstock/videos/4590629/thumb/1.jpg

Narcissus 'Ice Follies'	Havenarcis		https://www.bulbi.nl/media/catalog/product/cache/image/890x650/e9c3970ab036de70892d86c6d221abfe/n/a/narcissus-ice-follies-fa3_44.jpg
Wisteria floribunda	Blåregn		https://c8.alamy.com/comp/EBRMG3/japanese-wisteria-wisteria-floribunda-wisteria-brachybotrys-in-a-garden-EBRMG3.jpg
Clematix chiisanensis 'Love Child'	Klematis		https://garden.org/pics/2018-06-19/kniphofia/84aa72.jpg
Geranium phaeum 'Sambor'	Storkenæb		https://www.picclickimg.com/d/l400/pict/162906899627_/Geranium-phaeum-Samobor-in-a-9cm-pot.jpg
Actaea cardifolia	Sølvlys		
Crocus chrysanthemum 'Ard Schenk'	Krokus		https://s3.eu-west-2.amazonaws.com/jparkers/265/1006116.jpg
Crocus chrysanthemum 'Cream Beauty'	Krokus		https://s3.eu-west-2.amazonaws.com/jparkers/265/1002603.jpg
Lonicera periclymenum	Alm. gedeblad		http://www.biopix.dk/photos/lonicera-periclymenum-00019.jpg
Rosa helena 'Lykkefund'	Slyngrose		https://www.jespersplanteskole.dk/media/catalog/product/cache/1/image/1200x1200/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/o/rosa_helena_lykkefund_2__1_1_kopier.jpg
Hosta sieboldiana 'Glauca'	Funkia		https://www.fotoagent.dk/single_picture/11613/138/mega/46-273.jpg
Hypericum perforatum*	Prikbladet perikon		https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61KD-i0CREL.jpg
Geranium sanguineum*	Blodrød storkenæb		https://farmyardnurseries.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/geranium-sanguineum.jpg
Hylothelephium telephium	Sankthansurt		http://www.jerseyyards.org/wp/wp-content/uploads/2015/07/hylotelephium-telephium-sw-420x330.jpg

Helectotrichon sempervirens*	Alpeenghavre		https://www.villagenurseries.com/wp-content/uploads/2015/08/Helictotrichon.jpg
Nepeta faassenii	Almindelig blåkant		http://www.florashop.dk/images/1515170797-1515170798-skilt-p.jpg
Briza media*	Hjertegræs		http://www.perennials.com/watermark.php?path=perennials/8-060-100.jpg&watermark=images/watermark_heritage.png&xpos=.88&ypos=.95
Stachys byzantina	Lammeøre		https://www.plantrescue.co.nz/images/378739/pid1237274/stachys_byzantina.jpg
Dianthus deltoides	Bakkenellike		https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c7/0_Dianthus_deltoides_alpinus_-_Yvoire.JPG/1200px-0_Dianthus_deltoides_alpinus_-_Yvoire.JPG
Lavendula angustifolia	Ægte lavendel		https://cdn.plantetorvet.dk/cache/medium/product/p1217_22087-lavandula-angustifolia-hidcote-blue-e959.jpeg
Thymus vulgaris	Havetimian		https://cdn2.bigcommerce.com/server400/ch4skik/products/379/images/1133/thyme_common__79032.1366793176.1280.1280.jpg?c=2
Salvia officinalis	Lægesalvie		https://www.jardindupicvert.com/19265-large_default/sauge-officinale.jpg
Crocus chrysanthemum 'Prince Claus'	Krokus		https://s3.eu-west-2.amazonaws.com/jparkers/265/1002594.jpg
Tulipa 'Concerto'	Tulipan		https://cdn.shopify.com/s/files/1/1308/3047/products/tulip-concerto-15_1024x1024.jpg?v=1491855897
Hydrangea anomala subsp. petiolaris	Klatrehortensie		https://img.crocdn.co.uk/images/products2/pl/20/00/02/48/pl2000024819_card2_lg.jpg
Akebia quinata	Femfingret akeb.		https://adiso.dk/wp-content/uploads/2016/06/Akebia.jpg

Centranthus ruber	Rød sporebaldrian		https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c7/GardenValerian.jpg/220px-GardenValerian.jpg
Aster amellus	Asters		http://commons.hortipedia.com/images/4/4f/Aster_amellus_flowers_photo_file_PDB_150KB.jpg
Knautia arvensis*	Blåhat		http://www.wildflowersuk.com/productpics/131-2.jpg
Achillea filipendula	Pragtrøllike		https://img.crocdn.co.uk/images/products2/pl/20/00/01/56/pl2000015672_card2.jpg
Primula veris*	Hulkravet kodriver		https://www.barnhaven.com/image/cache/cache/1-1000/119/main/17cf-a62e-1120_primula_veris-0-1-0-1-0-8-1-1000x750.jpg
Fragaria vesca*	Skovjordbær		https://www.thompson-morgan.com/product_images/100/zoom/z-STRA-4909-A_h.jpg
Tulipa 'Quebec'	Tulipan		https://order.eurobulb.nl/2047-large_default/tulipa-quebec-6106.jpg
Pushkinia scilloides*	Porcelænshyacinth		https://www.whiteflowerfarm.com/mas_assets/cache/image/4/7/8/b/18315.Jpg

A-modul (glas)	B-modul (pileflet)	C-modul (pileflet + tagkassette)
		
Der er fire glasmoduler i alt. Disse modtager ikke vand (bortset fra nedbør).	Der er 20 B-moduler i alt. De udgør fløjene og indhak.	Der er 20 C-moduler. De står langs fortovet ved Folehaven.
Beplantes med sedum. Lave arter	Fløjene er neutrale både på yder-	På ydersiden er de forholdsvis

øverst. Kan kravle ind under glas-skærm. Højere arter i nedre kassette.	og inderside. Indhakket ”eksploderer” i farver, på både yder- og inderside.	neutrale. På indersiden mere brogede.

Borgerinddragelse i Folehaven

Det har fra starten af projektet været erkendt, at beboere og folk i nærområdet af Folehaven, hvor teststrækket af den grønne klimaskærm blev etableret, skulle involveres i projektet. Dette overordnet for at beboere kunne tage ejerskab til skærmen og området omkring, men lige så vigtigt for at vi kunne få input til placering, udformning og brug af arealerne mm.

Der har derfor været en række boreinddragende aktiviteter, der i det følgende vil blive beskrevet kronologisk

Første aktivitet skete i forbindelse med Folehavefestivallen 2014. Her var der forinden Festivallen blevet opsat en række mock-ups af skærmen i forskellige afstande fra bygningerne og højder. Se figur x.

FIGUR X: OPSTILLING AF SKÆRMHØJDER I FORSKELLIGE AFSTANDE FRA BYGNINGERNE I 3B

Under Folehavefestivallen var der sat stande op med støjsimmuleringer fra lavet af Delta, så beboere kunne høre, hvordan en skærm vil have en støjdæmpende effekt. Derudover var der bygget en miniature af Folehaven, hvor det var muligt at flytte på væg og cykeltrafik ud fra egne ønsker. Ydermere var der et spørgeark, som beboere og folk i området kunne udfylde om ønsker bekymringer mm. til væggen. Se bilag xx for nærmere beskrivelse af Folehavefestivallen

I efteråret 2014 arrangerede projektgruppen sammen med 3B en workshop for deres beboere i Folehaven. Formålet med den workshop var at diskutere udseende af skærm og det omkringliggende område.

I foråret 2015 opførte vi en Mock-up ud fra den viden, vi havde opnået fra de første tests, se figur x. Mock-upen stod sommeren over med en postkasse, så beboere kunne kommentere på udtryk og fremtoning. Derudover blev der afholdt en afsluttende evaluering ved mock-uppen for projektets parter og beboerne i 3B.

Figur x:

Beboermøde

I foråret 2016 blev den endelige udformning af skærmen præsenteret på generalforsamling. Her blev stemning om beboerne kunne sige ja til etablering af skærmen. Her stemte 149 beboere for og en undlod at stemme.

Præsentationen af skærmen i foråret 2016 var et stræk på 210 meter over tre blokke. Dette blev ændret til de nu etablerede 80 meter over en blok. Dette var også før rionet på for og bagside blev udskiftet med pil fra PileByg.

Grøn Gentagelse

I projektet Grøn Gentagelse er der udviklet et koncept for en såkaldt Grøn Klimaskærm, beregnet til opsætning langs større veje, og som, udover at håndtere regnafstrømning fra nabotagflader til et serviceniveau tilsvarende den offentlige kloak, har potentiale til at levere de ovenfor nævnte services. Dette koncept er i regi af Folehave-projektet videreudviklet og detailprojekteret til en konkret, modulbaseret løsning.

Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk