



Notat

Analyse om varmepumper og multifunktionalitet

Resumé

Borgerrepræsentationen godkendte den 23. september 2021, i indstillingen om "*Mulighederne for at udfase træbaseret biomasse*", at forvaltningen i forbindelse med udarbejdelsen af en ny klimaplan for 2035 skal analysere mulige placeringer af varmepumper, geotermi og varmelagre for at reducere brugen af biomasse som primær energikilde i den københavnske energiforsyning.

I analysen af mulige placeringer og dermed i dialogerne mellem byplanlægger og HOFOR om placering af varmepumper, er der opstået et behov for at afdække forskellige arkitektoniske og multifunktionalitetsformål ved de forskellige varmepumpetyper. Da storskala varmepumper ikke er bredt udviklet i byerne, er der mange spørgsmål, som aldrig er blevet besvaret. Fx var der et behov for at afklare, om varmepumpernes bygninger kunne placeres under jorden, om man kunne bruge varmepumpebygninger til at klatre på, om man kunne have sportsarealer ovenpå damvarmelagre, osv.

Nedenfor præsenteres hovedkonklusionerne fra analysen, som findes i bilag 1.

Sagsfremstilling

Teknik- og Miljøforvaltningen har hyret ingeniørfirmaet NIRAS samt arkitekturfirmaet ARKIKON til at undersøge og beskrive, hvilke typer af varmeanlæg, der egner sig til hvilke multifunktionelle løsninger.

Tilgangen har været at tage udgangspunkt i seks 'arketyper' af energianlæg ud fra varmepumpetyper og multifunktionalitetsformål, som bruges til at undersøge forskellige type anlæg med forskellige arkitektoniske muligheder. Nogle arketyper er stedsspecifikke, mens andre er generiske. De stedsspecifikke placeringer skal forstås som hypotetiske placeringer, som til formålet gav mulighed for NIRAS og ARKIKON at arbejde med indpasning af tekniske anlæg i forskellige bymiljøer. Disse seks arketyper opsummeres i følgende tabel:

27-01-2023

Sagsnummer i F2
2023 - 1079

Dokumentnummer i F2
72137

Sagsnummer i eDoc
2023-0022349

Klima og Byudvikling
Njalsgade 13
2300 København S

EAN-nummer
5798009809452

	Grundvand	Luft-til-vand	Havvand	Varme-lagre
P-kælder	Arketype 3			
Havnefront			Arketype 4	Arketype 5
Nær byliv		Arketype 1 & 2		
Idrætsanlæg				Arketype 6

De vigtigste konklusioner for hver arketype gennemgås i de følgende afsnit.

Arketype 1: Luft-til-vand varmepumpe nær byliv – energioptagere på jord

Arketype 1 består af en 3-4 MW luft-til-vand varmepumpe, hvor energioptageren (luft-absorbereren) er placeret på jorden, og hvor kondensen fra energioptageren kan bruges i forbindelse med et vandbassin, hvor der vil være mulighed for at skøjte om vinteren grundet kold kondens. Varmepumpen kan placeres tæt på en idrætsfacilitet.

Arketype 2: Luft-til-vand varmepumpe nær byliv – energioptagere på tag

Arketype 2 består af en 3-4 MW luft-til-vand varmepumpe, hvor energioptagere er placeret på taget af en teknisk bygning. I arketype 2 er der arbejdet med en løsning, hvor det samlede anlæg kræver mindst muligt areal.

Arketypen medfører en række udfordringer (fx støjforurening, kondensat på taget, varmetab, m.m.), men kan være en mulig løsning i tætbygget område.

Arketyper 3: Grundvandsvarmepumpe i P-kælder

Arketype 3 består af en 3-4 MW grundvandsvarmepumpe, som indpasses i et p-hus.

Varmepumpens tekniske bygning kan indpasses i et p-hus, og det vurderes som en god mulighed for at integrere traditionelle ("billige") teknikbygninger i byen, da et P-hus ofte har karakter af et teknisk anlæg med praktisk formål. Løsningen er velegnet til mindre varmepumper (<5 - 10 MW). Etablering i kælderplan vil gøre indføring af udstyr i bygningen mere kompliceret, og vil kræve en ekstra indsats i forhold til kommunikation og koordinering mellem projekter/entrepriser for hhv. P-hus og varmepumpeanlæg.

Der er god mulighed for at bruge grundvandsboringer multifunktionelt, fx med leg, kunst, idrætsfaciliteter og formidling.

Arketype 4: Havvandsvarmepumper ved havnefront

Arketype 4 består af en 100 MW havvandsvarmepumpe hvor arkitekturen er inspireret af de mange klinter, som findes forskellige steder i Danmark. Den stor teknikbygning er multifunktionel, i det der er adgang til tagarealet, hvor der er placeret boldbaner og der er placeret en klatrevæg på den ene facade.

Arketype 5 og 6: Varmeakkumuleringsstanke ved hhv. havnefront og idrætsanlæg

Arketype 5 består af en stor enkeltstående 60.000 m³ varmeakkumuleringsstanke (VAK), som tænkes integreret i byen ved anden høj infrastruktur.

Arketype 6 består af en 60.000 m³ VAK designet med tre tanke i forskellige højde. Det gøres for at indpasse anlægget i et rekreativt miljø og gøre det visuelt attraktivt uden at det skal placeres ved anden høj infrastruktur. Derudover er der indtænkt træningsfaciliteter på toppen og klatrevæg på den ene facade.

Videre proces

Når Teknik- og Miljøudvalget er orienteret, vil forvaltningen fortsat arbejde på at identificere arealer til fremtidens energianlæg. Dette gøres ved at sætte i gang en ny analyse af mulige placeringer til varmepumper i byen, samt at se på hvordan varmepumper, geotermi og varmelagre skal indgå i hhv. Kommune Plan Strategi, Kommune Plan og i Klimaplan 2035.

Karsten Biering Nielsen
Vicedirektør



Indpasning af varmepumper og varmelagre i København

Tekniske krav og visualiseringer

Københavns Kommune - Teknik- og Miljøforvaltningen

Dato: 13. januar 2022

Indhold

1.	Indledning.....	1
2.	Varmepumpers tekniske krav og påvirkninger på omgivelserne.....	1
2.1	Beskrivelse af varmepumpe-teknologien.....	1
2.2	Fjernvarme.....	3
2.3	El.....	4
2.4	Varmekilde.....	4
2.4.1	Grundvand.....	5
2.4.2	Geotermi.....	5
2.4.3	Havvand.....	5
2.4.4	Luft.....	5
2.4.5	Jordvarme.....	6
2.5	Vandforsyning.....	6
2.6	Afløb.....	6
2.7	Støj.....	7
2.8	Sikkerhed.....	8
2.9	Trafik – anlæg og drift.....	8
3.	Arealbehov og investeringsomkostninger for varmepumpeanlæg.....	9
3.1	Arealbehov.....	9
3.2	Investeringsomkostninger.....	11
4.	Varmeakkumuleringstank.....	12
4.1	Nedgravede tanke af GroeneWarmte.....	13
4.2	Arealbehov.....	14
5.	Damvarmelager.....	15
5.1	Damvarmelagerets tekniske krav og påvirkninger på omgivelserne.....	16
5.1.1	Området.....	16
5.1.2	Låget.....	16
5.1.3	Sikkerhedsforanstaltninger.....	17
5.2	Rekreative formål.....	17
5.3	Arealbehov.....	17
6.	Arketyper.....	17
6.1	Arketype 1 – Luft-til-vand varmepumpe med energioptagere på jorden.....	19
6.1.1	Indpasning og multifunktionalitet.....	21
6.1.2	Sikkerhed.....	21

6.1.3	Økonomiske betragtninger	22
6.2	Arketype 2 – Varmepumpe med energioptagere på taget af teknikbygningen	23
6.2.1	Indpasning og multifunktionalitet.....	23
6.2.2	Sikkerhed.....	27
6.2.3	Økonomiske betragtninger	27
6.2.4	Nedgravet teknikbygning.....	27
6.3	Arketype 3 – Grundvands varmepumpeanlæg og multifunktionelle boring huser	28
6.3.1	Indpasning og multifunktionalitet.....	28
6.3.2	Sikkerhed.....	29
6.3.3	Økonomiske betragtninger	30
6.4	Arketype 4 – Havvandsvarmepumpeanlæg.....	30
6.4.1	Indpasning og multifunktionalitet.....	30
6.4.2	Sikkerhed.....	31
6.4.3	Økonomiske betragtninger	31
6.5	Arketype 5 og 6 – Varmeakkumuleringstanke	31
6.5.1	Indpasning og multifunktionalitet.....	32
6.5.2	Sikkerhed.....	33
6.5.3	Økonomiske betragtninger	33
7.	Opsummering	34
7.1	Generelt.....	34
7.2	Arketyper	34
Bilag 1: Arketyper	35	
Se særskilt dokument.....	35	

1. Indledning

NIRAS og Arkikon har assisteret Københavns Kommune i afdækning af muligheder for at indpasse varmepumper og varmelagre i byen.

Rapporten indeholder en teknisk beskrivelse af varmepumper, varmeakkumuleringstanke og damvarmelagre til brug i fjernvarmenet. Der er i den forbindelse også set på investeringsomkostninger og arealbehov ift. varmeydelsen.

Herudover har hovedopgaven været at udarbejde visualisering af seks arketyper som idéoplæg til hvordan varmepumper og varmelagre arkitektonisk kan integreres i forskellige bymiljøer og til hvordan multifunktionalitet kan indtænkes i forbindelse med anlæggene. Beskrivelse og visualiseringer af arketyperne er samlet af Arkikon og vedlagt som bilag til denne rapport.

2. Varmepumpers tekniske krav og påvirkninger på omgivelserne

I det følgende beskrives en række tekniske forhold for varmepumpeanlæg, der har indflydelse på valg af placering og på hvordan varmepumpeanlæg påvirker og stiller krav til deres omgivelser.

2.1 Beskrivelse af varmepumpe-teknologien

En varmepumpe udnytter energi ved lav temperatur til at producere varme ved en højere temperatur. For at gøre det skal der bruges elektrisk energi. Hvis der tages udgangspunkt i luft som varmekilde, så kan en varmepumpe ved afkøling af udeluft og brug af elektrisk energi lave en opvarmning af fjernvarmevand.

Selve varmepumpeteknologien medfører cirkulation af et arbejdsmedium (kølemiddel) i en lukket kreds og minder om den teknologi man benytter i køleanlæg. Typiske varmepumpeanlæg til fjernvarme kan opvarme vand til omkring 90°C og benytter CO₂ eller ammoniak som arbejdsmedium. Der findes også en lang række andre kølemidler til varmepumper f.eks. kulbrinter eller syntetiske kølemidler, som dog er mindre udbredt i fjernvarmeforsyning.

Trenden indenfor varmepumper til fjernvarme er at anlæggene benytter enten ammoniak eller CO₂, som har følgende fordele og ulemper:

- Ammoniak:
 - Velkendt og afprøvet teknologi
 - Generelt højere COP-værdi end CO₂
 - Generelt dyrere anlæg end CO₂
 - Giftigt og brændbart arbejdsmedium
 - Lavere tryk i anlægget sammenlignet med CO₂
 - Units er generelt bredere og kortere sammenlignet med CO₂-units for samme varmeeffekt, hvilket kan være en fordel eller ulempe afhængigt af det teknikrum der er tilgængeligt
 - Standardunits (rammeopbygning) kan levere op til omkring 1,5 MW. Større unit laves ofte som pladsopbyggede units. Se et eksempel på en varmepumpeunit med ammoniak i Figur 2.2
- CO₂:
 - Mindre velkendt og afprøvet end ammoniak

- Generelt lavere COP-værdi end ammoniak, men ved lave fjernvarmereturtemperaturer (under 35 °C) er forskellen ikke stor
- Generelt billigere anlæg end ammoniak
- Ikke giftig eller brændbart, men potentiel kvælningsfase ved udslip, da CO₂ er tungere end luft og dermed falder til jorden
- Højere tryk i anlægget end ammoniak
- Units er generelt smallere og længere sammenlignet med ammoniak-units for samme varmeeffekt, hvilket kan være en fordel eller ulempe afhængigt af det teknikrum der er tilgængeligt
- Med CO₂ kan der opnås højere fremløbstemperaturer end ammoniak
- Der findes CO₂-varmepumper baseret på centrifugalkompressorer, som kan leverer op til 50 MW varmeeffekt per unit. Se et eksempel på en varmepumpeunit med CO₂ i Figur 2.1



Figur 2.1 CO₂-varmepumpe fra producenten Fenagy A/S med et effektområde fra 300 til 2000 kW¹



Figur 2.2 Ammoniakvarmepumpe fra producenten Johnson Controls med et effektområde på 240 til 1200 kW²

Ydelsen af en varmepumpe er i høj grad bestemt af hvor stor forskel der er på temperaturen for varmekilden og det der skal opvarmes. F.eks. er det mere krævende for et varmepumpeanlæg at benytte udeluft på -12 °C som varmekilde, end det er, at benytte overskudsvarme ved 30 °C som varmekilde. Tilsvarende er det mindre krævende for varmepumpen (og øger dens effektivitet) hvis levering af varme kan ske ved lavere temperaturer end 90 °C. Varmepumpe-teknik er det ønskeligt med lavere temperaturer end 90 °C, og varmepumper er derfor særligt relevante til forsyning af lavtemperaturområder.

Temperaturforskellen mellem varmekilde og fjernvarmevand påvirker både varmeydelsen for et varmepumpeanlæg og dets effektfaktor som på engelsk kaldes Coefficient Of Performance (COP-værdien). COP-værdien angiver forholdet mellem elforbrug og fjernvarmeproduktion og er væsentlig for økonomien i at opstille et varmepumpeanlæg.

Tages der udgangspunkt i et konkret varmepumpeanlæg, vil COP-værdi falde når temperaturforskellen mellem varmekilde og fjernvarmetemperatur er høj. F.eks. vil et varmepumpeanlæg der benytter luft som varmekilde om vinteren producere varme ved en relativt lav COP-værdi, da der er relativt stor temperaturforskel mellem udeluft og fjernvarmevand. Om sommeren vil samme anlæg kunne præstere væsentlig højere COP-værdi. Et varmepumpeanlægs ydelse er dermed generelt dårligere om vinteren, hvor varmebehovet er størst. På trods af dette er varmepumpeanlæg en teknologi der finder stor udbredelse i bl.a. fjernvarmesystemer, da det er en effektiv måde at benytte el-energi til produktion af varme.

¹ Se yderligere informationer (herunder fysiske mål) for anlæg her: <https://www.fenagy.dk/en/products-heat-pumps>

² Se yderligere informationer (herunder fysiske mål) for anlæg her: https://www.johnsoncontrols.com/da_dk/buildings/heat-pumps

Når man forholder sig til varmeeffekt, pris og størrelse på et potentielt varmepumpeanlæg er det derfor nødvendigt at definere ved hvilke temperaturer på varmekilde og fjernvarmevand, som varmeeffekten er angivet ved.

2.2 Fjernvarme

Et varmepumpeanlæg der producerer varme til et fjernvarmenet har brug for at tilkoble på fjernvarmenettets fremløbsledning og returledning, så varmt vand kan sendes frem og retur mellem anlægget og varmekunderne.

I forhold til valg af placering for et varmepumpeanlæg er det væsentligt, at varmepumpeanlægget er placeret nær eksisterende fjernvarmeledninger med en diameter, der er tilpas stor i forhold til varmeproduktionen fra varmepumpeanlægget. Hvis ikke det er tilfældet kan det være nødvendigt at udskifte eller etablere nye fjernvarmeledninger i den ønskede størrelse for at tilkoble varmepumpen på fjernvarmenettet. Dette medfører yderligere omkostninger til et projekt og vil dermed bidrage til en dårligere business case og samfundsøkonomi for projektet.

I København er der to typer af fjernvarmenet:

- Transmissionsnet, som leverer varme fra kraftværkerne til distributionsnettene. Temperaturer på vandet i rørene er op til 120 °C
- Distributionsnet, som leverer varme fra transmissionsnettene til varmekunderne. Temperaturer på vandet i rørene er op til 90 °C

Konventionelle varmepumpeanlæg kan producere varme op til 85-90 °C, men der eksisterer også høj-temperaturvarmepumper, som kan producere 120 °C. Højtemperaturvarmepumper er dog ikke så velafprøvede som konventionelle varmepumpeanlæg, og de er typisk dyrere per MW varmeydelse. Generelt kan et varmepumpeanlæg levere den højeste ydelse, hvis fremløbs- og returtemperaturer i fjernvarmesystemet er lave. Det betyder, at varmepumpeanlæg er mere effektive, hvis de leverer varme til distributionsnettene, og varmepumper vil i særlig grad spille godt sammen med etablering af lavtemperatur fjernvarmesystemer.

Hvis varmepumpeanlæg placeres nær kraftværkerne, f.eks. havvandsvarmepumper, så kan det være nødvendigt at producere varme til transmissionsnettet. I det tilfælde skal der benyttes højtemperaturvarmepumper eller alternativt skal et konventionelt varmepumpeanlæg kombineres med et andet anlæg (f.eks. kraftværk eller elkedel), som kan booste temperaturen på fjernvarmevandet.

Generelt er der følgende fordele og ulemper ved tilslutning af varmepumper på hhv. transmissionsnettet og distributionsnettet:

- Transmissionsnettet: Der er mulighed for at afsætte stor varmeeffekt i transmissionsnettet, men pga. den høje temperatur giver det lavere COP-værdi, hvilket bidrager til en højere varmeproduktionspris. Derudover kræver det specielle varmepumper (højtemperatur-varmepumper) at levere stor effekt ved høje temperaturer, som ikke er så velafprøvede som konventionelle varmepumper. Alternativt skal konventionelle varmepumper kombineres med anden varmekilde (f.eks. affaldsvarme, biomassekraftvarme eller en elkedel), som kan booste fremløbstemperaturen. Tilføjelsen af en anden varmekilde vil bidrage til højere investeringsomkostninger. Hvis der leveres varme på transmissionsnettet, så produceres varmen ved en højere temperatur end der kræves på distributionsnettene. Dette bevirker, at det er mindre energi-effektivt for et varmepumpeanlæg at producere til transmissionsnettet sammenlignet med produktion til distributionsnettet.
- Distributionsnettet: På distributionsnettet kan der afsættes varme ved lavere temperaturer, hvilket giver højere COP-værdi, som bidrager til lavere varmeproduktionspris. De lavere temperaturer giver også den fordel, at

der kan benyttes velkendt varmepumpe-teknologi. På distributionsnettene kan der aftages mindre varmeeffekt end på transmissionsnettet.

2.3 El

Et varmepumpeanlæg har behov for el tilslutning til forsyning af kompressorer, pumper, ventilation, og lignende. Anlægget har typisk behov for el på 0,4 eller 10 kV-niveau, og tilkøbes typisk elnettet, hvor et højere spændingsniveau f.eks. 10 eller 50 kV er tilgængeligt. Dette betyder, at teknikfaciliteterne til et varmepumpeanlæg skal indeholde en eller flere transformerstationer, så udstyret får den rette spænding. I Københavns Kommune sker tilkobling til elnettet hos elnetselskabet Radius.

Transformerstationer placeres ofte i et separat hus uden for teknikbygningen, men kan også placeres indenfor teknikbygningen. Rum til transformerstationer skal have udgang til det fri og være velventilerede.

I forhold til placering af et varmepumpeanlæg er det vigtigt, at der er tilgængelig kapacitet i elnettet nær varmepumpeanlægget. Hvis ikke der er ledig elkapacitet eller hvis varmepumpeanlægget ligger langt fra eksisterende elinfrastruktur, så kan det være nødvendigt for elnetselskabet at opgradere elnettet for at forsyne varmepumpeanlægget med strøm.



Figur 2.3 Hus til transformerstation. Størrelsen på huset kan variere fra omkring 1,5 x 1,5 m til 3 x 3 m, men det afhænger af transformertype, spændingsniveauer og kapacitet³

2.4 Varmekilde

En varmepumpe har brug for en varmekilde for at kunne fungere. I forbindelse med nærværende rapport har følgende varmekilder været drøftet relevante (se nærmere beskrivelser i de følgende underafsnit):

- Grundvand
- Geotermi
- Havvand
- Luft
- Jordvarme

³ <https://www.holtab.com/product/secondary-substations/sheet-steel/secondary-substation-315-1250-kva/>

Derudover arbejdes der også med følgende varmekilder i hovedstadsområdet, som dog ikke er behandlet nærmere i denne rapport:

- Overskudsvarme f.eks. fra køling til industrivirksomheder og store procesanlæg i forbindelse med power-to-X og carbon capture
- Drikkevand
- Spildevand
- Røggasser fra kraftværker

2.4.1 Grundvand

Når grundvand bruges som varmekilde er det nødvendigt at varmepumpeanlægget placeres i nærheden af et brugbart grundvandsreservoir, og at der i det valgte område er plads til et antal spredte borer, som bruges til at føre grundvand til varmepumpeanlægget og retur. Grundvand kan især være egnet som varmekilde i områder hvor der ikke er drikkevandsinteresser. Grundvandsboringer er typisk 10-100 m afhængigt af hvor det er placeret i Danmark.

Hvis grundvand bruges udelukkende til varmepumpeanlæg vil der være en gradvis afkøling af reservoiret og dermed principielt grænser for hvor meget varmeenergi der kan hentes fra reservoiret. Derfor kombineres grundvandsvarmepumper ofte med køleanlæg, da køleanlæggene principielt kan tilføre overskudsvarme til grundvandsreservoiret, og dermed helt eller delvist "genoplade" reservoiret. Væsentligt for grundvandsvarmeanlæg er, at de projekteres til en langsigtet stabil tilstand, hvor der opnås en ligevægt med omgivelserne.

2.4.2 Geotermi

Geotermi er varme hentet fra boring i omkring 1000-3000 meters dybde, hvor det indvundne vand har en højere temperatur end grundvand. Ligesom for grundvand, skal der findes en placering, hvor det tekniske anlæg er nær relevante boresteder og hvor der er plads til at etablere borer. Afhængigt af hvor varmt vand der kan hentes, så kan geotermisk varme enten bruges direkte til at opvarme fjernvarmevand eller, hvis temperaturen ikke er høj nok, så kan varmen bruges i en varmepumpe. I hovedstadsområdet er det Innargi der arbejder med geotermi, og derfor er geotermi ikke en del af denne analyse.

2.4.3 Havvand

Hvis havvand benyttes som varmekilde er det nødvendigt at der etableres et havvandsindtag og havvandsudløb, så havvand kan føres til og fra varmepumpeanlægget. Havvandsindtag og havvandsudløb skal placeres i passende afstand fra hinanden, så det sikres af den afkølede havvandsstrøm ikke suges tilbage til varmepumpanlægget. Placeringen af havvandsvarmepumpeanlægget skal derfor tilgodeses afstand mellem indtag og udløb.

2.4.4 Luft

Når luft er varmekilden til varmepumpeanlægget, så er det nødvendigt at etablere energioptagere, der består af en ventilator, som blæser luften over en række rør med kølevæske/kølemiddel. Når luften blæses over rørene afkøles luften og kølevæske/kølemidlet opvarmes, hvilket giver varme-energi til varmepumpen.

Luft er som udgangspunkt tilgængeligt overalt, men selve energioptagerne optager et betydeligt areal og støjer som følge af ventilatorernes rotation. Støjen kan reduceres ved at installere flere energioptagere og sænke luftblæserhastigheden.



Figur 2.4 Energioptager til luft-vand varmepumpe⁴

2.4.5 Jordvarme

Jorden kan bruges som varmekilde, enten ved udlægning af jordslanger vandret under et passende areal (som for eksempel kan være en parkeringsplads eller et grønt område, eller ved etablering af borehuller ("lodret jordvarme"). I begge tilfælde cirkuleres en kølevæske (typisk vand iblandet glykol), som optager energi fra jorden, og afleverer den i varmepumpen. Borehuller til lodret jordvarme er omkring 200 m dybe.

Jordvarme er relativt pladskrævende, og derfor sjældent relevant for større varmepumper i bymæssig bebyggelse, men kan eventuelt være en mulighed nær åbne pladser og sikre forsyning på bygningsniveau.

Til sammenligning med geotermi hentes der ved jordvarme kun varme fra de øverste jordlag, hvorimod varmen i geotermi hentes fra dybere borer. Dermed er temperaturen fra geotermi også højere end ved jordvarme.

2.5 Vandforsyning

Teknikbygninger til varmepumpeanlæg kræver, at der er vandforsyning til følgende formål:

- Toiletfaciliteter til driftspersonale
- Eventuelt vandbehov til renseprocesser, hvilket kan være nødvendigt hvis varmekilden er på væskeform med mulighed for tilsmudsning af varmevekslere. Kan være relevant for havvand
- Eventuelt vandbehov til nødbrueranlæg, hvis varmepumpen benytter ammoniak som kølemiddel

2.6 Afløb

Teknikbygninger til varmepumpeanlæg kræver, at der er afløb til følgende formål:

- Afløb fra toiletfaciliteter
- Afløb fra ventiler på vandsystemer
- Eventuelt afløb fra renseproces (CIP-anlæg)
- I tilfælde af luft-varmepumper skal der håndteres kondensat fra energioptagere, som ofte nedsives.

Teknikbygningen skal typisk udføres således, at eventuelle udslip af kølemiddel ikke kan tilgå afløb, og heller ikke kan slippe ud af bygningen. I praksis etableres typisk en sump i gulvet eller det sikres, at åbninger er over gulvhøjde.

⁴ <https://www.kelvion.com/products/product/customized-dry-coolers/>

2.7 Støj

I forhold til integration af varmepumpeanlæg i byen er støj en væsentlig barriere, som skal tages i betragtning tidligt i planlægningsprocessen. Dermed kan det sikres at der etableres passende foranstaltninger for håndtering af støj – f.eks. ved at sikre passende afstand mellem støjklender og byrum eller ved etablering af støj dæmpende tiltag.

Fra varmepumpeanlæg er der følgende kilder til støj:

- Kompressorer
- Pumper
- Ventilationsanlæg i teknikbygning
- Energioptagere i tilfælde af luft-varmepumper

Den største støjkilde er kompressorerne, men da disse er placeret inde i en teknikbygning, er der gode muligheder for at støj dæmpe. Det samme gør sig gældende for pumper, som dog er en betydelig mindre støjkilde sammenlignet med en kompressor. Hvis kompressorer placeres højt i bygninger, f.eks. på etagedæk i stål, kan vibrationer og støj lettere forplante sig i selve bygningskonstruktionen, hvilket kan være et problem, hvis bygningen også bruges til boliger, kontorer eller lignende med krav til støj. En løsning kan være at etablere særligt stærke etagedæk med særlige støj- og svingningsdæmpende tiltag, men generelt er det en stor fordel, hvis varmepumper kan placeres på terrændæk.

Ventilationsanlæg til en teknikbygning er en kilde til støj, som i mindre grad kan dæmpes, da ventilationskanalerne er åbne til det fri, så luft kan komme ind og ud af bygningen. Varmepumpeanlæggene kan dog designes til at afgive mindre varme til rummet, hvilket kan medføre mindre behov for luftudskifte og dermed mindre støj fra blæsere i ventilationsanlægget. Ligeledes kan ventilationssystemer udføres med støj dæmpning.

Støj fra energioptagere kan i mindre grad dæmpes, da disse skal stå i det fri og gennemstrømmes af luft. Der er dog en række kompromisser, som kan overvejes i forhold til at nedbringe støjen fra energioptagere:

- **Støjafskærmning med vægge eller bygninger:** Afskærmning af energioptagere vil give mindre støj, men vil også medføre ringere luftcirkulation og dermed lavere varmeeffekt. For at imødegå den lavere varmeeffekt kan der etableres flere energioptagere. Støjafskærmning kan derfor være et kompromis med enten støj vs. varmeeffekt eller støj vs. arealbehov
- **Mindre belastning af ventilatorer:** Mindre belastning af ventilatorer medfører mindre luftflow og i sidste ende lavere varmeeffekt fra varmepumpen. For at imødegå den lavere varmeoverførselseffekt kan der etableres flere energioptagere. Mindre belastning af ventilatorer kan derfor ligeledes være et kompromis med enten støj vs. varmeeffekt eller støj vs. arealbehov
- **Valg af støjsvage ventilatorer:** Der er mulighed for at vælge mere eller mindre støjsvage ventilatorer og tilvælge støj dæmpende funktioner f.eks. flowgrids
- **Afsides placering af energioptagere:** Der er begrænsede muligheder for at placere energioptagere langt fra varmepumpeanlægget. I sidste ende vil afstanden mellem energioptagere og varmepumpe være et spørgsmål om, hvor lange rør det er teknisk og økonomisk muligt at lave. Lange rør medfører højere etableringsomkostninger og større elforbrug til pumper eller kompressorer som skal sørge for cirkulationen i rørene. Derfor placeres energioptagere fortrinsvist umiddelbart udenfor teknikbygningen. Det er normalt med afstande mellem 10-50 m fra teknikbygning til energioptagere, og afstande over 50 m bør undgås, hvis muligt

2.8 Sikkerhed

Varmepumpeanlæg til fjernvarmeproduktion benytter typisk enten ammoniak eller CO₂ som arbejdsmedium. Arbejdsmediet cirkuleres i et lukket system, men der skal tages højde for sikkerheden ved oplag af arbejdsmedium i forhold til mængder og tryk i anlæggene. Et varmpumpeanlæg skal derfor af drifts- og personsikkerhedsårsager ikke været frit tilgængelig for offentligheden.

For varmpumpeanlæg med ammoniak som kølemiddel skal der udføres mulighed for sikker ammoniakafkast fra sikkerhedsventiler i tilfælde af eventuelt udslip, og der skal etableres ventilation af teknikrum. Da ammoniak er giftigt skal der tages særlige forholdsregler, i forhold til mulige uheld, og hvis den samlede ammoniakmængde i anlægget er større end 5 ton vil virksomheden, der ejer anlægget være omfattet af Risikobekendtgørelsen. Ammoniak anlæg kan laves op til 10 MW uden at blive omfattet af risikobekendtgørelsen. For varmpumpeanlæg med CO₂ skal der også etableres afkast for sikkerhedsventiler og ventilation af teknikrum. CO₂ er ikke giftigt, men kan udgøre kvælningfare, hvis det lækkes i store mængder. Derudover er tryk i CO₂-varmpumper højere end i ammoniaksystemer.

Det skal sikres at der ikke er offentlig adgang til f.eks. afkast fra sikkerhedsventiler, da der i tilfælde af at sikkerhedsventilerne aktiveres vil komme arbejdsmedium ud af afkastene.

2.9 Trafik – anlæg og drift

Følgende er generelle beskrivelser baseret på dialog med HOFOR omkring driftsmæssige ønsker til varmpumpeanlæg, men er dermed ikke en udtømmende liste af HOFOR's krav til anlæg. Ved planlægning af konkrete projekter er det derfor påkrævet, at HOFOR inddrages og tager stilling til forhold omkring det konkrete projekt.

I anlægsfasen vil der være behov for at tilgå byggepladsen for håndværkere, og der skal være plads til mandskabsfaciliteter og materialeoplag. Typisk vil større lastbiler og løftegrej også komme på pladsen for levering af store anlægs-komponenter f.eks. varmpumpeunit, transformerstation, energioptagere, mm.

I driftsfasen vil det være nødvendigt med vejadgang til teknikbygningen og et par P-pladser i nærheden til service- og driftspersonalet. Større anlæg skal helst have en parkeringsplads på grunden. Adgangsvejene til bygningen skal muliggøre at der kan køres ind og ud med kompressorer og elmotorer på palleløftere, i tilfælde af behov for udskiftning af disse dele. Trafik omkring teknikbygningen som følge af service- og driftsopgaver vil forventeligt være ca. en gang om ugen, men det skal sikres at driftspersonale har mulighed for adgang hele døgnet alle dage.

Området omkring teknikbygninger og udstyr skal bl.a. facilitere følgende:

- Mulighed for etablering af nødvendige sikkerhedsforanstaltninger f.eks. afblæsning fra sikkerhedsventiler og flugtveje
- Anlæg der indpasses i andre funktioner skal have minimum 2 frie facader til adgangs- og flugtveje
- Passende afstand til naboer i forhold til støj
- Mulighed for at etablere ledninger i jord og tilkobling til øvrig infrastruktur f.eks. fjernvarmeledninger og elkabler.

3. Arealbehov og investeringsomkostninger for varmepumpeanlæg

Varmepumpeanlæg kræver generelt mere plads og større investering med stigende fjernvarmeeffekt. Der er ikke en entydig sammenhæng mellem disse parametre, da alle varmepumpeprojekter er forskellige med forskellige forudsætninger, men i det følgende er lavet et forsøg på at estimere arealbehov og investeringsomkostninger, som funktion af fjernvarmeproduktionskapaciteten for varmepumpeanlæg. Estimaterne er baseret på tidligere projekter.

3.1 Arealbehov

Estimatet for arealbehov er opgjort for selve varmepumpebygningen, som antages at huse følgende komponenter:

- Varmepumpeunits
- Pumper
- Diverse rørføringer
- Transformerstation
- Eltavle evt. både høj- og lavspændingsrum
- Styretavle evt. i selvstændigt kontrolrum
- Toiletfaciliteter

I nogle tilfælde kan en buffertank (varmelager) også være relevant at have ifm. varmepumpeanlægget.

Figur 3.1 viser den estimerede sammenhæng mellem arealbehov for teknikbygning og varmeeffekt for varmepumpeanlægget. Det angivne spænd på $\pm 30\%$ er inkluderet for at illustrere at sammenhængen ikke er entydig og der kan være betydelige variationer mellem forskellige projekter.

Arealestimatet er baseret på NIRAS' kendskab til realiserede varmepumpeprojekter i Danmark. Konkret er der benyttet data fra 10 varmepumpeprojekter i intervallet 1-10 MW, hvilket er repræsentativt for størstedelen af de realiserede projekter i Danmark indtil slut-2022. Derudover indgår der forventet arealbehov for MANs 50 MW varmepumpeunit inkl. hjælpeudstyr jf. listen ovenfor.

Det ses at i takt med at varmepumpens kapacitet vokser, falder arealbehovet per MW. Det skyldes at varmepumpeanlæg indeholder en række komponenter, som kan fungere under flere forskellige anlægskapaciteter uden at variere væsentligt i størrelsen. Dette forhold viser også, at det pladsmæssigt bedre kan svare sig at investere i store anlæg, da de fylder mindre per MW. F.eks. kunne et anlæg på 50 MW være dimensioneret baseret på én stor varmepumpeunit på 50 MW eller 5 mindre units på 10 MW per stk., hvilket vil give følgende størrelser for teknikbygningen jf. Figur 3.1:

1 x 50 MW anlæg:

$$1 \times 50 \text{ MW} \times 25 \text{ m}^2/\text{MW} = 1.250 \text{ m}^2$$

5 x 10 MW anlæg:

$$5 \times 10 \text{ MW} \times 50 \text{ m}^2/\text{MW} = 2.500 \text{ m}^2$$

Figur 3.2 viser den estimerede sammenhæng mellem arealbehov for energioptagere (til udeluft) og varmeeffekt. Arealbehovet dækker kun selve området, hvor energioptagere placeres og dermed ikke friareal rundt om energioptagere, som er nødvendigt for at sikre god luftudskiftning og for at sikre overholdelse af eventuelle støjkrav.

Den samlede størrelse på et varmepumpeanlæg kan estimeres afhængigt af varmekilden baseret på følgende:

Luft/vand-varmepumpe:

Samlet areal = areal for teknikbygning (Figur 3.1) + areal for energioptagere (Figur 3.2)

Typisk placeres energioptagere nær teknikbygning i omkring 2-10 m afstand. Det er muligt med større afstande, men fra et teknisk og økonomisk perspektiv er det uhensigtsmæssigt, da det kræver længere rør, som medfører højere anlægskostninger og større elforbrug til pumper/kompressorer.

Havandsvarmepumpe:

Samlet areal = areal for teknikbygning (Figur 3.1) + areal for havvandskammer (underjordisk)

Arealbehovet til havvandskammeret vil være afhængigt af det konkrete projekt. HOFOR har oplyst et indledende overslag på 20 m²/MW, som kan give en størrelsesorden på arealet til indledende vurdering.

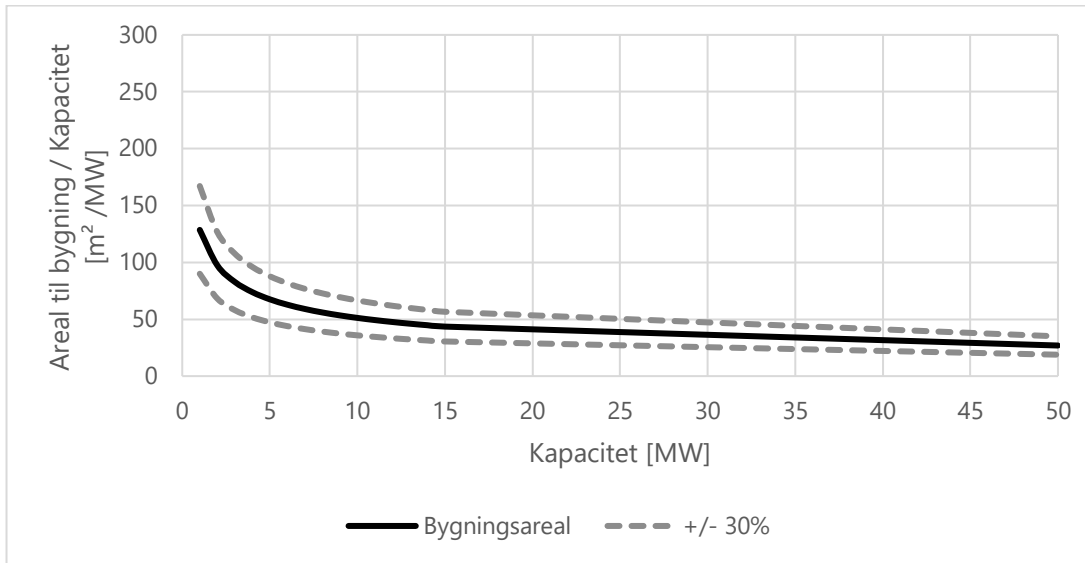
Grundvandsvarmepumpe:

Samlet areal = areal for teknikbygning (Figur 3.1) + arealer for pumpehuse

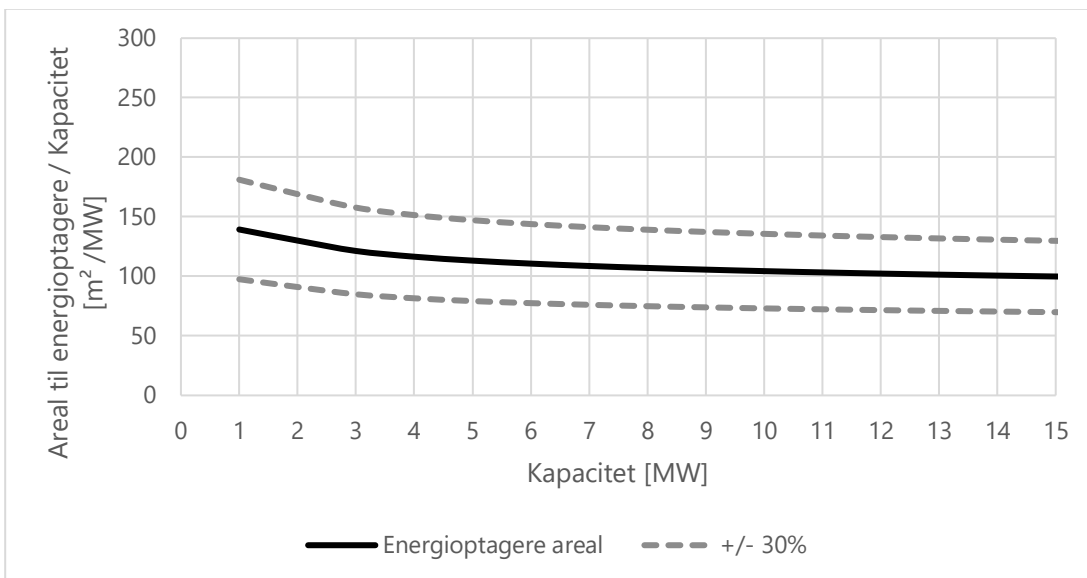
HOFOR har bidraget med følgende indledende overslag på pladskrav for pumpehuse:

- Boringer f.eks. 0,5 MW/boring
- Pumpehus f.eks. 1 x 2 m per boring
- Overslag på afstande mellem boringer: 100-200 m

Det skal bemærkes, at de arealer der er estimeret ovenfor er baseret på minimumskrav i forhold til størrelser på det tekniske udstyr og afstandskrav omkring udstyr. Der kan være særlige forhold omkring projekter, som gør, at der er behov for mere plads. F.eks. kan der være behov for at reservere ekstra areal omkring energioptagerne for at imødegå støjkrav, og i forbindelse med store varmepumpeanlæg, f.eks. havvandsvarmepumper, vil det være hensigtsmæssigt at reservere et areal omkring teknikbygningen, for at sikre gode adgangsforhold for store lastbiler og lignende.



Figur 3.1: Forhold mellem varmepumpens kapacitet og arealbehov til bygningen baseret på tidligere projekter. For kapaciteter over 50 MW kan antages samme m^2/MW som ved 50 MW



Figur 3.2: Forhold mellem varmepumpens kapacitet og arealbehov til energioptagere baseret på tidligere projekter. For kapaciteter over 15 MW kan antages samme m^2/MW som ved 15 MW

3.2 Investeringsomkostninger

Figur 3.3 viser den estimerede sammenhæng mellem investeringsomkostninger og varmeeffekt for varmepumpeanlægget. Investeringsomkostningerne dækker varmepumpeanlægget herunder varmepumpeunits, transformere, teknikbygning, pumper og rørarbejde inden i bygningen.

Investeringsomkostningerne er estimeret baseret på seks konkrete udbud af varmepumpeprojekter med varmeeffekt på 1-10 MW. Derudover indgår der anslåede investeringsomkostninger for MANs 50 MW varmepumpeunit inkl. hjælpeudstyr jf. beskrivelsen ovenfor. For hvert af de syv projekter er omkostningerne fordelt på underkategorierne varmepumpeunits, transformere, el arbejde, teknikbygning, pumper og rørarbejde inden i bygningen. Underkategorierne

er efterfølgende skaleret i effektintervallet 1-100 MW og til sidst summeret til at given det samlede estimat for investeringsomkostningen.

Investeringsomkostninger for den del af anlægget der er relateret til varmekilden, dvs. at omkostninger til energioptagere, hawandskammer, grundvandsboringer og -pumper er ikke medtaget. Etablering af fjernvarmerør fra teknikbygningen til det øvrige fjernvarmenet er heller ikke medtaget. Det angivne spænd på $\pm 30\%$ er inkluderet for at illustrere at sammenhængen ikke er entydig og der kan være betydelige variationer mellem forskellige projekter.

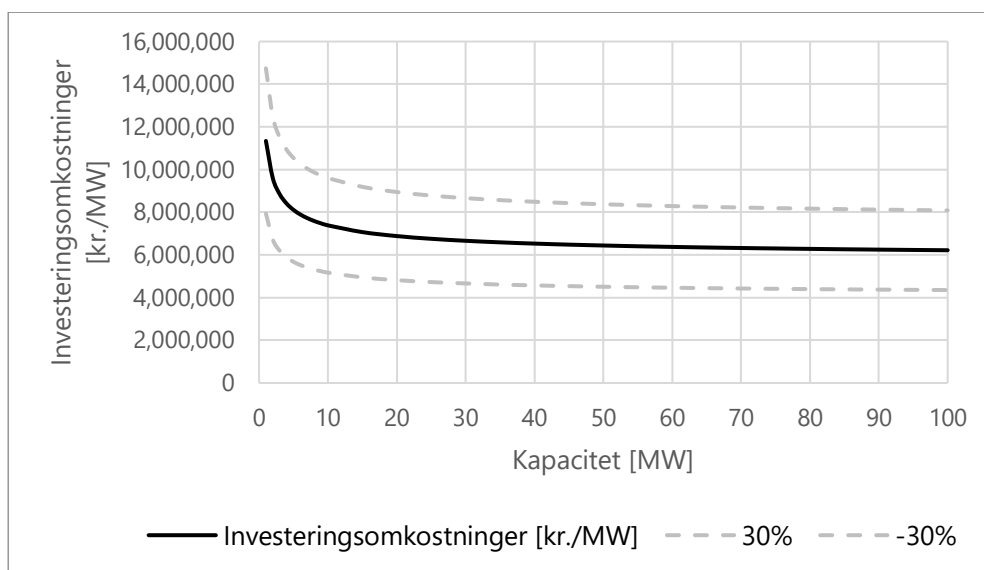
Det ses at i takt med at varmepumpens kapacitet vokser, falder investeringsomkostningerne per MW. Det skyldes at varmepumpeanlæg indeholder en række komponenter, som kan fungere under flere forskellige anlægskapaciteter uden at variere væsentligt i størrelsen. Dette forhold viser også, at det investeringsmæssigt bedre kan svare sig at investere i store anlæg, da de fylder mindre per MW. F.eks. kunne et anlæg på 50 MW være dimensioneret baseret på én stor varmepumpeunit på 50 MW eller 5 mindre units på 10 MW per stk., hvilket vil give følgende investeringsomkostninger for teknikbygningen jf. Figur 3.3:

1 x 50 MW anlæg:

$$1 \times 50 \text{ MW} \times 6,5 \text{ mio. kr./MW} = 325.000.000 \text{ kr.}$$

5 x 10 MW anlæg:

$$5 \times 10 \text{ MW} \times 7,5 \text{ mio. kr./MW} = 375.000.000 \text{ kr.}$$



Figur 3.3: Estimeret sammenhæng mellem varmepumpekapacitet og investeringsomkostninger baseret på tidligere projekter (0-10 MW) og estimater for store projekter (>10 MW)

4. Varmeakkumuleringstank

En varmeakkumuleringstank (VAK) er et varmelager bestående af en stor isoleret ståltank, der fyldes med opvarmet vand til senere brug i et fjernvarmenet. Teknologien er meget udbredt og er den gængse løsning i de danske fjernvarmenet.

Tanken har væsentlige fordele for varmelasten og balancering mellem varmebehov og -produktion. Fjernvarmeselskaber kan opnå besparelser ved at fylde lageret i perioder med lav varmeefterspørgsel eller med lave produktionsomkostninger, for så at benytte varmen i de dyrere spidslastperioder.

Varmeakkumuleringstanken kan benyttes og fyldes uafhængig af anlægstypen eller produktionsteknologien der er benyttet til at opvarme fjernvarmevandet.

Tanken kan være hydraulisk koblet med fjernvarmenettet eller være hydraulisk afkoblet. Når en tank er hydraulisk koblet betyder det, at det vand som er i fjernvarmenettet også kan/vil strømme gennem tanken. Dermed påvirker trykforhold i tanken trykket i nettet og omvendt. Dermed er det muligt at benytte tanken som trykhold i et fjernvarmesystem, så trykket i tanken fra vandsøjlels statiske tryk er definerende for trykket i hele nettet. Når tanken er hydraulisk koblet med fjernvarmenettet er det derfor nødvendigt at højden på vandspejlet i tanken passer til trykkravene i nettet.

Det er muligt at etablere en varmeakkumuleringstank der er hydraulisk afkoblet fjernvarmenettet. Det opnås ved at vandet i tanken cirkuleres i et separat system, som ikke er forbundet til fjernvarmenettet. I stedet overføres varmen til og fra tanken igennem en varmeveksler. Da varmeveksleren kræver en temperaturforskel for at fungere giver dette et temperatortab, som gør driften mindre effektiv. Til gengæld er det muligt at vælge en højde uafhængigt af trykforholdene i fjernvarmenettet.

Varmeakkumuleringstanke kan være meget store med højde op til 50 m og diameter på til 65 m, hvilket kan gøre det udfordrende at indpasse tanke i bymiljøer.

Varmeakkumuleringstanke placeres ofte i forbindelse med centrale varmeproduktionsanlæg og temperaturerne i tanken defineres af produktionsanlæggenes fremløbstemperatur og fjernvarmenettets returtemperatur. Varmeakkumuleringstanke kan principielt tilkobles i både distributionsnet og transmissionsnet. Maksimumtemperaturer i transmissionsnettet er over 100 °C hvilket kræver at tanken har et overtryk. Tanke designet op til 500 mbar overtryk kan holdes indenfor DS/EN 14015 og giver mulighed for temperaturer omkring 105-110 °C.

I afsnit 6.5 er der yderligere beskrevet drifts- og sikkerhedsmæssige betragtninger ved varmeakkumuleringstanke, som behandles i arketype 5 og 6.

4.1 Nedgravede tanke af GroeneWarmte

Det hollandske selskab GroeneWarmte tilbyder løsninger med nedgravede VAK'er, se tegning af deres løsning i Figur 4.1. Fordelen ved at nedgrave VAK'en er at det er pladsbesparende og at jorden omkring har en isolerende effekt.

Der kan etableres jord og belægning oven over VAK'en, som kan opnå styrke nok til at holde eksempelvis en parkeringsplads. Hermed opnås et teknisk anlæg med begrænset gene for borgere eller erhvervsdrivende der kæmper om de samme kvadratmeter i byen. Der kan dog ikke bygges på overfladen, og heller ikke laves fodboldbane, da der er brug for adgang til i forbindelse med drift og vedligehold. Derudover kan der være forskelle i levetid for tanken og det der etableres ovenpå.

Der følger også ulemper ved nedgravning. Trykforskellen mellem tappepunktet i tanken og fjernvarmenettet betyder, at GroeneWarmte vil opføre tanken i en separat lukket kreds der udveksler varme med fjernvarmenettet vha. en varmeveksler. Hermed undgås trykudfordringerne, men i stedet indføres et ekstra varmetab med ekstra driftsomkostninger til følge.

Den anden ulempe ved nedgravning er øgede etableringsomkostningerne, som skal tages med i investeringsovervejelserne. I skrivende stund er det ikke muligt at få et prisoverslag fra GroeneWarmte.



Figur 4.1: Nedgravet varmeakkumuleringstank fra GroeneWärnte

4.2 Arealbehov

Arealbehovet til en varmeakkumuleringstank møntrer sig stort set på tankens eget rumfang, her menes at hjælpeudstyr, såsom ventilhætter, rørledninger og elledninger mm. graves ned eller fastgøres på tankens facade eller tag.

Varmeakkumuleringstanke findes i mange små- og mellemstore fjernvarmeforsyninger på størrelser mellem 1.000 og 5.000 m³ vand, hvilket svarer til ca. 50 MWh til 288 MWh varmelagerkapacitet ved 55 graders temperaturforskel. I de større danske byer er det relevant med større tanke, f.eks. planlægger Aalborg Forsyning fire tanke på 50.000 m³ per styk⁵.

En tank på 1.000 m³ vil typisk have en højde på 18-20m og et fodaftryk på ca. 70m² inklusiv rør og hjælpeudstyr.

En tank på 5.000 m³ vil typisk have en højde på 30-35m og et fodaftryk på ca. 90m² inklusiv rør og hjælpeudstyr.

Se et eksempel på en VAK i Figur 4.2.

⁵ <https://www.tv2nord.dk/aalborg/nye-gigantiske-varmebeholdere-skal-sikre-billig-fjernvarme>



Figur 4.2: Eksempel på VAK, Kilde :SDFE Skråfoto af VAK'en på DTU kraftvarmeværk

5. Damvarmelager

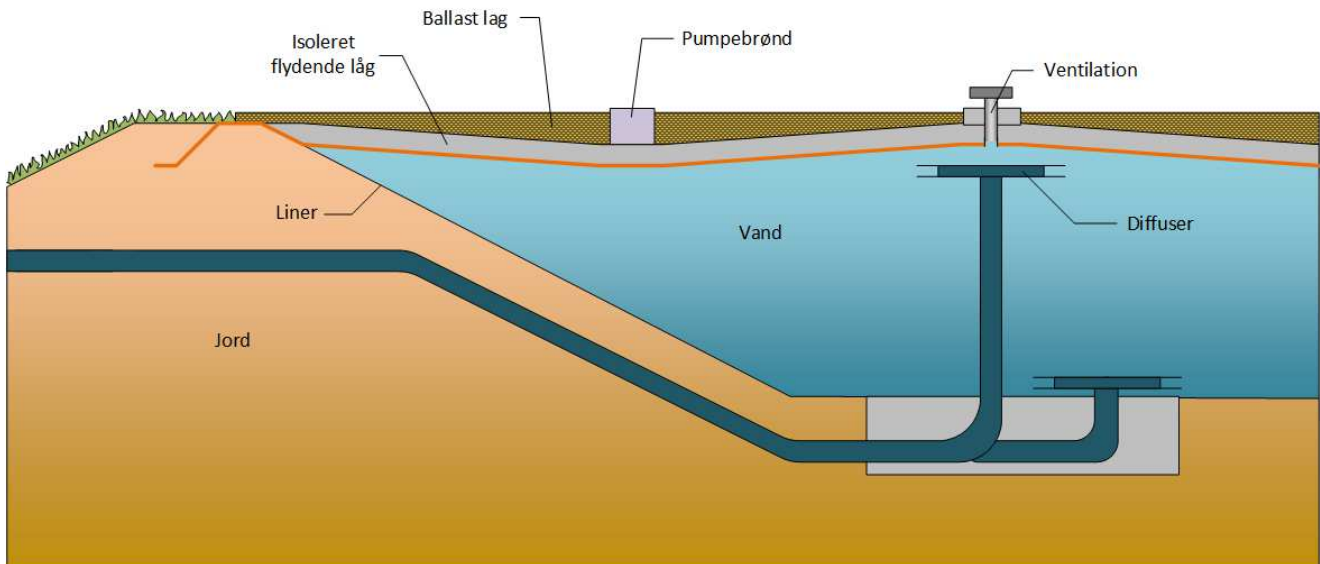
Et damvarmelager er et meget stort bassin til lagring af termisk energi. Damvarmelageret kan benyttes til opbevaring af varme fra alle fjernvarmeproduktionsanlæg, uafhængigt af energikilden, herunder: Varmepumper, kraftværker, forbrændingsanlæg osv. Kort sagt kan det indgå i et moderne fjernvarmesystem.

Fordelen ved at benytte et damlager, kontra fx en varmeakkumuleringstank i stål, er at anlægsomkostningerne pr. MWh ved større anlæg (>50.000 m³) er lavere end ståltankens. Den store lagringskapacitet til rådighed i lageret kan benyttes til varmelastoptimering, lagring af overskudsproduktion fra vedvarende energi, og forøgelse af tilgængelig produktionskapacitet i perioder. Hastigheden hvorved den termiske energi i lageret kan fyldes på og tømmes af, kontra hvor mange gange større lagerkapacitet er, bevirker at damlagre oftest bruges som sæsonlagere af varme. Dvs. at varmen lagres fra en årstid til en anden, typisk fra sommer til benyttelse om vinteren i tilfælde, hvor der er billig varme til rådighed om sommeren, for eksempel fra solfangeranlæg. I det københavnske fjernvarmenet kan det dog være relevant med flere årlige op/afladningscyklusser, som f.eks. er formålet med damvarmelageret der etableres i Høje Taastrup⁶.

I modsætning til de fleste varmeakkumuleringstanke, er damvarmelagre ikke tryksatte. Se skitse af opbygning i Figur 5.1. Damvarmelageret er typisk en stor pyramidestub-formet grav foret med en vandtæt liner. I bunden af lageret er der ene eller flere indføringer af installationer til op- og afladning af tilkobling til fjernvarmenettet. Grundet termisk

⁶ Damvarmelageret i Høje Taastrup planlægges at skulle op- og aflades 25-30 gange årligt, hvor man lagrer varme når den er billig at producere.
Link: https://www.veks.dk/om-veks/fjernvarme-i-hovedstadsomraadet/andre-anlaeg/damvarmelager?sc_device=%7B79AAA06F-A7F0-4EB7-B175-850951B5AC9E%7D

stratificering vil det varmeste vand være øverst i lageret, og det kolde nederst, som i en stål lager tank. Øverst på lageret er et flydende, isolerende låg placeret. Låget mindsker varmetabet fra lageret og fungerer som beskyttelse mod nedbør og skidt. På låget er ventilationshætter mod luftlommer og til fugtventilering placeret, samt pumpebrønde til at komme af med ophobet nedbør. Lineren svejses så bund, sider og låg sættes sammen, og fastgøres i kanaler gravet omkring lageret, der til sidst fyldes med jord som kontravægt.



Figur 5.1: Tværsnit af damvarmelager⁷

5.1 Damvarmelagerets tekniske krav og påvirkninger på omgivelserne

5.1.1 Området

Der skal tages højde for jordbundsforholdene hvor damvarmelageret placeres. Jorden under lageret skal kunne holde til trykket fra et fyldt lager uden deformation eller anden form for jordbevægelser.

Samtidig bør grundvand ikke forekomme tæt på lageret, da det vil afkøle lageret. Opvarmning af grundvandet vil både medføre et stort varmetab fra lageret, og kunne medføre bakterievækst/forurening af grundvandet. Det er derfor afgørende for placering af et damvarmelager at kunne sikre de rette grundvandsforhold.

5.1.2 Låget

Låget på de danske damvarmelagre har været under udvikling siden de første demonstrationsprojekter så dagens lys. Lågets funktion er at være isolerende for at mindske varmetabet fra lageret til omgivelserne, og samtidig undgå at nedbør blandes med lagerets indhold. Låget lægges som en dug på overfladen af vandet i lageret og forankres i jordvolden rundt om. Der graves en grøft hvor kanten af dugen placeres, hvorefter jord påfyldes som ekstra fastgørelse.

Låget består typisk af en nedre liner, forstærkning, isolering, forstærkning og en øvre liner. For at undgå ophobning af damp under låget, er det nødvendigt at lågets liner er diffusionsåben, så dampen kan trænge igennem. Når dampen nedkøles undervejs gennem isoleringsmaterialet og på undersiden af den øvre liner, fortættes det og bliver til vand

⁷ Kilde: <https://www.aalborgcsp.dk/forretningsomraader/lagring-af-termisk-energi/damvarmelager>

der opfugter isoleringsmaterialet, der dermed mister isoleringsevne. Derfor er det nødvendigt at ventilere mellem linere og i isoleringsmaterialet. Ventilationen gennemføres ved ventilationshætter i ballastfri områder af låget. Ventilationshætterne stikker op over den vandrette flade.

Det er nødvendigt at sektionsopele låget for bedre at kunne håndtere og bortlede nedbør. Hver sektion har egen pumpebrønd og drænvandssystem. Pumpebrønden placeres i midten af sektionen, der konstrueres med kuvertfald, for at lede vandet dertil. Placering af tunge elementer på låget medfører lokal nedsynkning(lunker) og dermed vandpytter, der ligeledes påvirker fald mod pumpebrønde og drænvandssystemets funktionalitet. Sektionsopdelingen giver samtidig mulighed for nemmere at identificere og udbedre eventuelle materialefejl og utætheder.

5.1.3 Sikkerhedsforanstaltninger

Tekniske installationer i tætbefolkede områder kræver typisk en form for indhegning som sikkerhedsafskærmning, samt for at undgå hærværk o.l.. Lageret indeholder vand på op til 90 grader, hvilket er livsfarligt for mennesker eller dyr der gennemtrænger låget.

5.2 Rekreative formål

Et relevant spørgsmål til indpasning af damvarmelagre i København, er om man kan integrere et damvarmelager i byen i kombination med rekreative tiltag såsom fodboldbaner.

Set på baggrund af nødvendige sikkerhedsforanstaltninger, kravene til at låget skal være diffusionsåbent og indeholde ventilationshætter og pumpebrønde, vil det stort set være umuligt at opretholde den tekniske formåen af anlægget, samtidig med for eksempel en fodboldbane på lågets overside.

En løsning til problemet er kan være at placere hele fodboldbanen på en platform der svæver over låget på damlageret. Denne løsning vil i så fald være meget bekostelig og samtidig vanskeliggøre almindeligt vedligehold af damlageret.

5.3 Arealbehov

Damlagere har et stort arealbehov, der i flere projekter er den begrænsende faktor for størrelsen eller kapaciteten. Baseret på ovenstående virker det umiddelbart udfordrende, at finde et passende areal i Københavns Kommune, som kan benyttes til damvarmelager.

6. Arketyper

I projektet udvælges seks forskellige arketyper, som udgør udgangspunktet for konkrete anlægsdesign og visualiseringer. Arketyperne er defineret ved en placering i byen, typen af teknisk anlæg og anlægskapacitet. Anlægsdesignet er udført overordnet og fokuseret på at definere størrelsesforhold så som arealbehov og højde, som danner udgangspunktet for visualiseringen. Tabel 6.1 viser en bruttoliste som udgør udgangspunkt for udvælgelsen af arketyperne.

Tabel 6.1: Bruttoliste over placeringer af mulige tekniske anlæg, hvor kapacitet angiver varmeeffekt som kan aftages i det nærliggende fjernvarmenet. Tabellen stemmer fra HOFORs indledende screening af mulige varmepumper potentielle.

Placering	Anlægstype	Kapacitet	Områdetype
Jernbanebyen	Varmepumpe, grundvand	3,7 MW	Jernbaneterræn , Parkeringshus
Ydre Nordhavn	Varmepumpe, luft	3-5 MW	Havneområde
Bystævneparken	Varmepumpe, grundvand	4 - 5 MW	Bymiljø
Fælledby	Varmepumpe, grundvand	-	Bymiljø, parkeringshus
Bådehavns-gadekvar- ret	Varmepumpe, luft	10 MW	Havneområde, blandet bolig og erhverv
Folehaven	Geotermi / Varmepumpe, luft	10 – 20 MW	Bymiljø
Rovsingsgade	Geotermi	30 MW	Erhvervsområde
Kraftværkshalvøen	Geotermi - Havvand	50 – 100 MW	Havneområde, erhvervsom- råde
Lynetteholmen	Geotermi - Havvand	50 – 100 MW	Havneområde
Ydre Nordhavn	Havvand	50 – 100 MW	Havneområde
Benzinøen	Geotermi - Havvand	50 – 100 MW	Havneområde, erhvervsområde
Kløvermarken	Varmeakkumuleringstank eller damvarmelager	-	Bymiljø

Udvælgelsen af arketyperne er sket på baggrund af et ønske om at dække et bredt udsnit af aktuelle placeringer og anlægstyper, som er indtænkt i en konkret placering, men udgangspunktet er også at visualiseringerne kan bruges generelt og give nyttig information om størrelsesforhold mm. ved andre placeringer.

Følgende arketyper er blevet udvalgt til visualisering:

- **Arketype 1:** Luft/vand-varmepumpe placeret ved en hypotetisk placering i Bådehavns-gade. Arketypen omfatter et anlægsdesign, hvor teknikbygning og energioptagere placeres på jorden.
- **Arketype 2:** Luft/vand-varmepumpe placeret ved en hypotetisk placering i Bådehavns-gade. Arketypen omfatter et anlægsdesign, hvor energioptagere placeres ovenpå teknikbygning og anden erhvervsbygning.
- **Arketype 3:** Grundvandsvarmepumpe ved en hypotetisk placering i Jernbanebyen , hvori varmepumpen tænkes indpasset i grundplan af f.eks. et P-hus.
- **Arketype 4:** Havvandsvarmepumpe ved ydre havneområde. Arketypen er vigtig, da havvandsvarmepumper kan opnå en meget stor kapacitet.
- **Arketype 5:** Varmeakkumuleringstank ved havneområde.
- **Arketype 6:** Varmeakkumuleringstank ved bynære idrætsanlæg.

6.1 Arketype 1 – Luft-til-vand varmepumpe med energioptagere på jorden

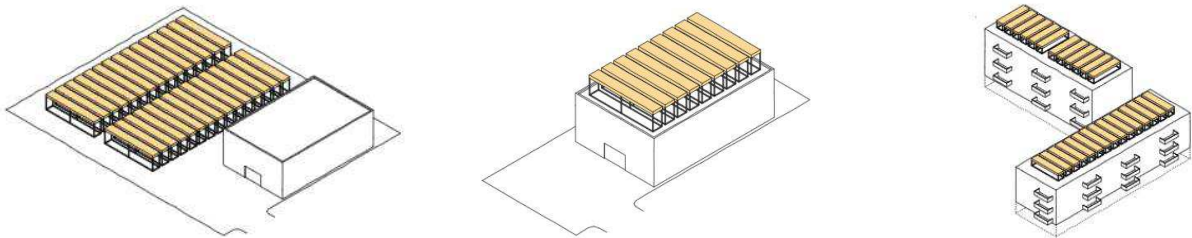
For at kunne integrere varmepumpeanlæg i bymiljøet, tager analysen udgangspunkt i byudviklingsområdet Bådehavns-gade. Det giver mulighed for at arbejde konkret med indpasning af anlægget i et kommende boligområde, hvor der skal arbejdes med støjafskærmning og multifunktionalitet.

Bådehavns-gade er et område ved Sydhavnen, hvor der i øjeblikket er en lystbådehavn, erhvervsbyggerier og en midlertidig genbrugsstation. By og Havn er sammen med COBE i gang med et byudviklingsprojekt, hvor der arbejdes på at etablere boliger i området. Det understreges, at placeringen for anlægget er hypotetisk.

I det indledende arbejde med arketyper er der set på følgende forskellige placeringer af energioptagere:

- Energiopptagere placeret på jorden umiddelbart ud for teknikbygningen (behandles i arketype 1)
- Energiopptagere placeret på taget af teknikbygningen (behandles i arketype 2)
- Energiopptagere placeret på taget af etagebyggeri

Se de tre konceptuelle muligheder visualiseret i Figur 6.1.



Figur 6.1: Tre koncepter for placering af energioptagere udarbejdet af Arkikon

Den første mulighed, hvor energioptagere er placeret på jorden, er den gængse måde at designe luft/vand varmepumpeanlæg. Denne mulighed kræver det største areal.

Den anden mulighed, hvor energioptagere er placeret på taget af teknikbygningen, er realiseret enkelte steder f.eks. hos Hundested Varmeværk. Det skal bemærkes, at arealkravet for energioptagerne er større end arealkravet for det øvrige varmepumpeanlæg, og derfor er det nødvendigt med et større tagfladeareal end selve teknikbygningen. Det kunne f.eks. være i forlængelse af nærliggende erhvervsbygninger.

Der er følgende tekniske udfordringer ved placering af energioptagere på tag:

- Energiopptagerne producerer store mængder kold luft, som vil give kuldenedfald omkring bygningen. Det kræver særlig god isolering af bygningen – særligt på tagfladen.
- Energiopptagerne producerer kondens, som er lettere at håndtere hvis energioptagere står på jorden.
- Energiopptagere er tunge og placeringen på taget kræver en særlig stærk eller forstærket konstruktion.
- Støjudbredelsen er større med en højere placering.

Den tredje mulighed, hvor energioptagere er placeret ovenpå etagebyggeri, vurderes ikke at være relevant, da placering af energioptagere på tag ovenpå højt boligbyggeri vil være særligt problematisk i forhold til ovenstående punkter. Samtidig vil der være stor afstand og dermed tryktab mellem energioptagere på taget og det øvrige varmepumpeanlæg, som placeres på terræn eller i kælderen, hvilket er yderligere en ulempe ved den konfiguration.

En alternativ udformning af mulighed tre er at placere varmepumpeanlægget ekskl. energioptagere i en bygning der også bruges til andre formål. Energioptagere kunne i denne version placeres på terræn. Ved placering af varmepumpeanlæg i byggeri, som også benyttes til andre formål kan give følgende udfordringer i forhold til anlæg i dedikeret teknikbygning:

- Støjen fra varmepumpeunits er omkring 110 dB(A) og der skal derfor indarbejdes særlige foranstaltninger i forhold til at overholde støjkrav i omkringliggende rum
- Hvis varmepumpeanlæggene placeres på etagedæk (og dermed ikke på terrændæk), så kræver det særlige tiltag for at sikre tilpas styrke i etagedækket og sikre at svingninger fra varmepumpeunits ikke forplanter sig i bygningskonstruktionen
- Etablering fjernvarmeledninger, elkabler og andre tilslutninger til bygningen
- Sikkerhed omkring afkast fra sikkerhedsventiler og ventilationsindtag og -afkast

På baggrund af ovenstående er det valgt at arketype 1 skal omhandle indpasning af varmepumpeanlæg, hvor energioptagerne er placeret på terræn umiddelbart ud for teknikbygningen.



Figur 6.2: Billede af arketype 1 udarbejdet af Arkikon

6.1.1 Indpasning og multifunktionalitet

Det tekniske anlæg i arketyper er et luft-til-vand varmepumpeanlæg på 3-4 MW, som normalt kræver omkring 200-300 m² til teknikbygning og omkring 480 m² til energioptagere. For arketyper er arbejdet med multifunktionalitet og derfor er det samlede areal omkring 2.000 m².

Indpasning med genbrugsstationen ved siden af teknikbygningen opnås ved at teknikbygningen designes med cirkulært grundplan. Det cirkulære grundplan gør det mere udfordrende at indpasse det tekniske udstyr, og derfor er bygningens areal omkring 400 m², hvilket er større end angivet ovenfor for en klassisk firkantet teknikbygning til samme formål.

I indpasningen af varmepumpen i det bynære miljø kan der også arbejdes med formidling af hvad varmepumper og fjernvarme er og hvordan teknologierne bidrager til løsning af udfordringer i samfundet. Det kan f.eks. være igennem informationsmateriale på teknikbygningens facade. Derudover kan der også etableres solceller på tagarealet, hvilket kan medvirke til at bygningen fremstår, som et teknisk anlæg til bæredygtig varmeproduktion.

I arbejdet med arketype 1 er det særligt udfordrende at integrere energioptagerne i omgivelserne, da de er omkring 2 x 12 meter per stk. og genererer støj og kondens, og derfor er der arbejdet med en "vifteformet" opstilling af energioptagerne, som passer med den runde form på teknikbygningen. Med en vifteformet opstilling af energioptagere er det nødvendigt at undersøge nærmere, om luftcirkulationsforholdene omkring energioptagerne giver mulighed for god ydelse.

Støjforhold omkring energioptagerne for arketype 1 er visualiseret i Figur 6.3. Der er forskellige muligheder for at håndtere støj fra energioptagere; se nærmere beskrivelse i afsnit 2.7.

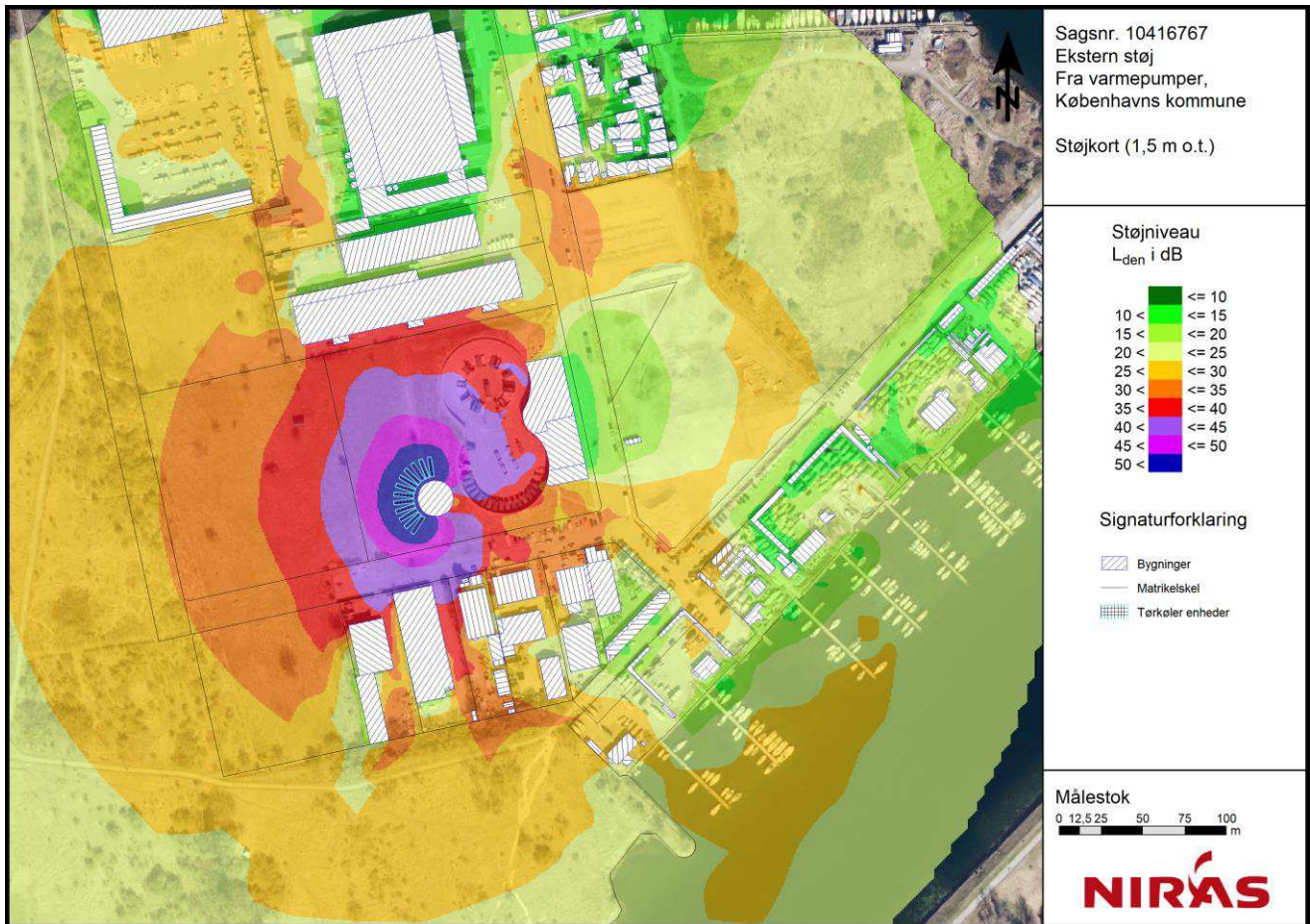
Typisk håndteres kondens fra energioptagere ved at kondensatet nedsives i terrænet under energioptagerne. I arketype 1 er arbejdet med multifunktionalitet idet kondensatet fra energioptagerne indgår rekreativt i omgivelserne. Det skal undersøges nærmere om kondensatmængder fra det konkrete anlæg passer til de afsatte bassiner. Eventuelt kan overskydende vand ledes videre til nedsivning.

Visualiseringer og yderligere beskrivelser af arketype 1 er vist i bilag 1. Se også et billede fra bilag 1 i Figur 6.2.

6.1.2 Sikkerhed

Følgende skal tages i betragtning i forhold til sikkerheden omkring anlægget (se også afsnit 2.8):

- Det skal sikres at der ikke er offentlig adgang til energioptagere eller teknikbygning både af hensyn til driftssikkerhed og personsikkerhed. Personsikkerhed skal tages i betragtning, da energioptagerne indeholder roterende udstyr, hvor fingre kan komme i klemme, og da der er sikkerhedsventiler, som kan risikere at blive aktiveret og dermed afblæse den væske eller gas (CO₂, ammoniak, frostvæske eller andet afhængigt af design) der er i energioptagerne. Driftssikkerhed skal tages i betragtning i forhold til sikring mod hærværk, uheld og lignende.
- Fra teknikbygningen er der sikkerhedsventiler og ventilationssystemer, der har afblæsning/afkast til det fri. Det skal sikres at personer ikke kan komme nær disse installationer, da det vil være farligt, hvis der afblæses kølemiddel ved højt tryk eller ventileres store ammoniakmængder f.eks. i tilfælde af ammoniaklækage.



Figur 6.3: Støjdbredelse fra anlæg i arketype 1

6.1.3 Økonomiske betragtninger

Varmepumpeanlæg på 3-4 MW som det der er behandlet i arketype 1 placeres typisk i en rektangulær teknikbygning, da det er økonomisk fordelagtigt i forhold til praktisk indretning af rummet. Omkring bygningen etableres ofte flise- eller asfaltbelægning på plant terræn i niveau med grundplan på teknikbygningen. Arketype 1 omfatter følgende afvigelser fra traditionelt design:

- Teknikbygningen er konstrueret med cirkulær grundplan
- På grund af den cirkulære grundplan er der inkluderet omkring 30 % ekstra bygningsareal sammenlignet med traditionelle teknikbygninger af hensyn til indpasning af det tekniske udstyr
- Energioptagerne er opstillede i vifteform omkring den runde bygning
- Området omkring anlægget er integreret med boldbaner, skateboardbaner, forhøjning med beplantning

Ovenstående elementer medfører en meromkostning sammenlignet med en traditionel teknikbygning til lignende varmepumpeanlæg. Det vil være nødvendigt med videre arbejde i forhold til at estimere meromkostningerne og finde en løsning på hvem der dækker meromkostningerne. Prisen for en almindelig teknikbygning til et varmepumpeanlæg kan udgøre omkring 10-20 %⁸ af den samlede investering, og er dermed generelt en afgørende parameter for fjernvarmeforsyningselskaber i forhold til at få positiv økonomi i et varmepumpeprojekt.

⁸ https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_el_and_dh.pdf

6.2 Arketype 2 – Varmepumpe med energioptagere på taget af teknikbygningen

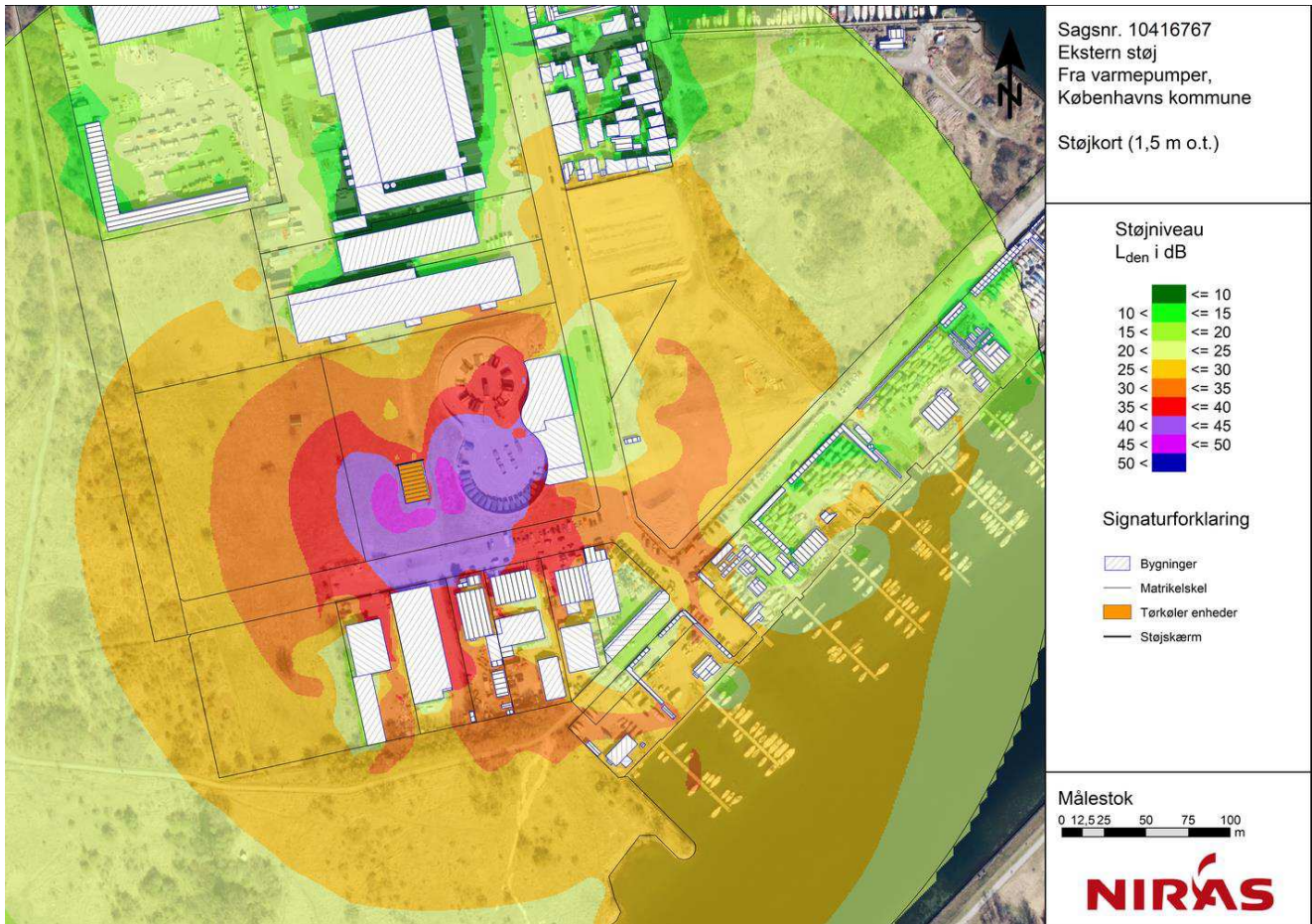
Arketype 2 omhandler et varmepumpeanlæg, hvor energioptagerne er placeret på taget af en teknikbygning. Ligesom arketype 1 omhandler denne arketype en placering af et luft-vand varmepumpeanlæg i et bymiljø med boliger, men i stedet for at placere anlægget på terrænet udenfor bygningen, så placeres energioptagerne på taget af teknikbygningen. Se også beskrivelsen i afsnit 6.1.

6.2.1 Indpasning og multifunktionalitet

Tilsvarende arketype 1 består det tekniske anlæg i arketype 2 af et luft-til-vand varmepumpeanlæg på 3-4 MW, som kræver omkring 200-300 m² til teknikbygning og omkring 500 m² til energioptagere. Teknikbygningen er dimensioneret ud fra at energioptagerne kan placeres på taget og er derfor omkring 500 m². Teknikbygningen inkl. energioptagere har en samlet højde på 12 m.

I arketype 2 er der arbejdet med en løsning, hvor det samlede anlæg kræver mindst muligt areal, hvilket opnås ved at placere energioptagerne på taget af bygningen. Samtidig er der arbejdet med en ydre konstruktion med lameller med henblik på at støjskærme energioptagere og skærme for indkig til energioptagerne. Arketype 2 udgør dermed et bud på hvordan en traditionel ("billig") teknikbygning til et luft-til-vand varmepumpeanlæg indpasses i et by-miljø. Der vil dog være meromkostninger ved at arketype 2 sammenlignet med traditionelle teknikbygninger, hvilket er behandlet i afsnit 6.2.3.

Et eksempel på en støjberegning for arketype 2 er vist i Figur 6.4. I beregningen er det antaget at der er lukkede lameller på den nordlige facade, som giver en tæt støjskærm. På de resterende sider er lamellerne åbne, hvilket medfører at der ikke er støjdæmpning retning vestlig, østlig og sydlig retning, men sikrer god luftudskiftning. Løsningen illustrer muligheden for at støjdæmpe i udvalgte retninger, hvilket er kan være relevant afhængigt af teknikbygningens placering.



Figur 6.4: Støjudbredelse fra anlæg i arketype 2

I indpasningen af varmepumpen i det bynære miljø kan der også arbejdes med formidling af hvad varmepumper og fjernvarme er og hvordan teknologierne bidrager til løsning af udfordringer i samfundet. Det kan f.eks. være igennem informationsmateriale på teknikbygningens facade.

Visualiseringer og yderligere beskrivelser af arketype 2 er vist i bilag 1. Se også et billede fra bilag 1 i Figur 6.4



Figur 6.5: Billede af arketype 2 udarbejdet af Arkikon

NIRAS har i forbindelse med arbejdet med arketype 2 være på besøg hos Hundested Varmeværk, som har etableret energioptagere til et varmepumpeanlæg på 6 MW på taget af varmekædet. Anlægget er stort set færdigbygget, men driftstest er planlagt december 2022 og det var derfor ikke muligt at indhente driftserfaringer fra anlægget.

Hundested Varmeværk har etableret energioptagerne på taget pga. pladsudfordringer på værket. Den eksisterende bygning, som huser varmepumpeanlæg og øvrige varmeproduktionsanlæg, var ikke stærk nok til at bære udstyret på taget som vejer omkring 200 tons. Derfor har man bygget en stålkonstruktion omkring bygningen, som hviler på støtten der løber langs bygningens eksisterende facade. Energiopptagerne på taget inklusive den bærende stålkonstruktion kan ses på Figur 6.5.



Figur 6.6: Energioptagerne på taget inklusive den bærende stålkonstruktion hos Hundested Varmeværk. Kilde: Google Streetview

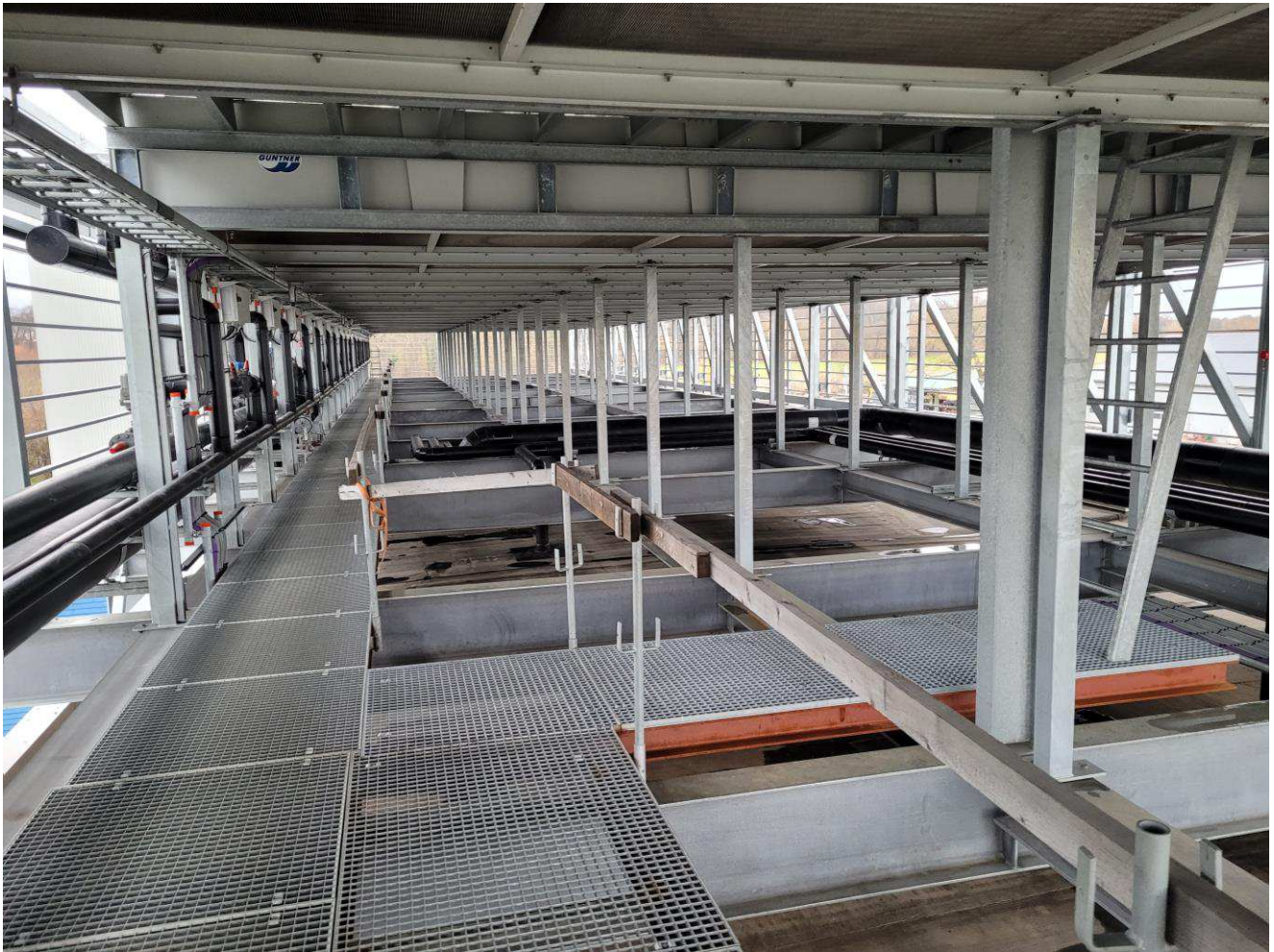
Ved placering af energioptagere på taget er det også nødvendigt at medregne dannelsen af kondensat. Energioptagerne danner kondensat, som vil dryppe ned på den underliggende konstruktion. Ved placering af energioptagere på tag, vil bygningen derfor i perioder blive udsat for en form for konstant regnvejr. Det er derfor vigtigt at vandafledning fungerer optimalt. Hundested Varmeværks varmepumpe på 6 MW danner op til omkring 7 m³ kondensat i timen, som drypper ned på taget, hvor fra det bliver opsamlet i en tank og genbrugt som spædevand på varmeværket. Overskydende vand afledes til regnvandsledning. Generelt kan det forventes, at energioptagere danner kondensatmængder op til omkring 1-1,5 m³/h per MW-varmeeffekt ved konditioner hvor luften har høj fugtighed (temperaturer omkring 15 °C og luftfugtighed op til 100 %).

Energioptagere danner store mængder kulde. Oftest vil energioptagerne trække luften ind fra bunden og blæse den afkølede luft ud i toppen, hvorved kuldepåvirkningen på den nedenstående konstruktion mindskes. Kuldepåvirkningen udgås dog ikke helt, hvorfor det bør overvejes at ekstraisolere bygningen hvor på energioptagerne er placeret.

Figur 6.6 viser området mellem energioptagerne og taget hos Hundested Varmeværk.

Det anbefales, at følgende udfordringer omkring energioptagere på tag undersøges nærmere f.eks. ved interview med Hundested Varmeværk efter idriftsættelse af deres anlæg:

- Støjudbredelse fra energioptagere
- Håndtering af kondensat på taget
- Kuldenedfald fra energioptagere omkring bygningen
- Påvirkning af varmetab fra bygningen som følge af køling fra energioptagerne



Figur 6.7: Området mellem energioptagerne og taget hos Hundested Varmeværk.

6.2.2 Sikkerhed

Forholdene omkring sikkerhed er ækvivalente med arketype 1, som beskrevet i afsnit 6.2.2. Da energioptagere er placeret på taget i arketype 2 vil det være naturligt at der ikke er personadgang til udstyr som sikkerhedsventiler. Dermed vil det forventeligt være lettere at opnå et sikkert design med arketype 2 sammenlignet med arketype 1.

6.2.3 Økonomiske betragtninger

Arketype 2 er et eksempel på hvordan en billig teknikbygning kan indpasses i bymiljø. Sammenlignet med arketype 1 vil arketype 2 udgøre en billigere løsning, men der vil være følgende meromkostninger for arketype 2 sammenlignet med traditionel teknikbygning med energioptagere placeret på terræn:

- Forstærkning af tagkonstruktion
- Håndtering af kondens og afrimning på tagfladen
- Ekstra isolering i forhold til at sikre mod varmetab fra bygningen
- Afskærmning med lameller

6.2.4 Nedgravet teknikbygning

I forbindelse med udformningen af arketype 2 har mulighederne for at nedgrave teknikbygningen også været drøftet. På den måde kunne selve teknikbygningen placeres under terrænen med energioptagerne over teknikbygningen. Dette er en ukonventionel løsning, hvor der vil være følgende tekniske og økonomiske udfordringer:

- Nedgravning af en teknikbygning kræver flytning af en stor mængde (som ofte forurenede) jord, hvilket er dyrt, og kræver at der kan findes et passende sted at bortskaffe jorden
- På lokationer med lille afstand til skel eller omkringliggende bygninger/bygværker skal der etableres spuns
- Det er generelt udfordrende at lave en tæt kælderkonstruktion uden indtrængning af vand/fugt, og derfor vil det kræve ekstra foranstaltninger at sikre et tørt miljø i teknikbygningen
- For nedgravede bygninger under højeste grundvandsstand vil der skulle etableres en opdriftssikring f.eks. i form af jordankre
- Der skal etableres passende adgangsveje til bygningen, så store varmepumpeenheder kan komme ind og ud af bygningen, f.eks. et eller flere adgangsdekler, hvor større komponenter kan kranes lodret ned. Det vil være udfordrende hvis tagfladen dækkes med energioptagere eller indgår i et bymiljø. Alternativt kan laves en nedgravet rampe, men dette vil optage en del plads omkring teknikbygningen
- Hvis der placeres energioptagere over den nedgravede teknikbygning, så skal det sikres, at der er tilpas styrke i teknikbygningens tagkonstruktion til at bære energioptagerne
- Det er ikke muligt at placere transformere uden adgang til det fri, og derfor kan denne komponent ikke placeres i nedgravet teknikbygning
- Ventilation og afkast fra sikkerhedsventiler kræver adgang til det fri, og skal dermed etableres igennem teknikbygningens tag og føres op gennem terræn

På baggrund af ovenstående udfordringer vurderes det, at placering af teknikbygning under terræn kun er relevant, hvis det gøres i forbindelse med andet byggeri, hvor der alligevel skal etableres kælder. Et eksempel kan være i et P-hus, som behandlet i arketype 3, se afsnit 6.3.

Omkostningerne forbundet med at nedgrave en teknikbygning, som ikke laves i forbindelse med andet byggeri, vurderes at være så store, at det vil gøre et sådant varmepumpeprojekt økonomisk uattraktivt.

6.3 Arketype 3 – Grundvands varmepumpeanlæg og multifunktionelle boring huser

Arketype 3 omhandler et varmepumpeanlæg som tager udgangspunkt i byudviklingsområdet i Jernbanebyen. Arketypen benytter grundvand som varmekilde, som hentes ved en række boringer og tilhørende pumpebrønde. Pumpene i pumpebrønde fører grundvandet forbi en varmepumpe udnytter varmen fra grundvandet. Pumpebrønde er fordelt udover et større areal og varmepumpeanlægget er placeret i grundplan i et P-hus.

6.3.1 Indpasning og multifunktionalitet

Arketype 3 er baseret på tekniske oplysninger fra HOFOR og omfatter indpasning af 20 pumpebrønde og et varmepumpeanlæg på 3,7 MW. Pumpebrønde er 1 x 2 m og det samlede areal afsat til varmepumpeanlægget er 2.100 m². Arealet er større end estimerne for minimumarealer i afsnit 3.1, hvilket kan skyldes, at HOFOR planlægger, at teknikbygningen også skal rumme udstyr til fjernkøl og eventuelt andre formål.

For selve varmepumpebygningen er indpasningen i et P-hus en god mulighed for at integrere traditionelle ("billige") teknikbygninger i byen, da et P-hus ofte har karakter af et teknisk anlæg med praktisk formål. Det er teknisk muligt at etablere teknikbygningen i et P-hus enten i grundplan eller kælderplan. Etablering i kælderplan vil gøre indføring af udstyr i bygningen mere kompliceret, hvis der ikke er niveaufri adgang fra det fri.

Teknikbygningen i arketype 3 er lavet med en glasfacade, så det er muligt for forbipasserende at kigge ind på det tekniske anlæg. Dette gør det muligt at benytte anlægget i forbindelse med formidling af hvad varmepumpeteknologi er f.eks. suppleret med informationsmateriale på bygningens facade.

Hvis varmepumpeanlæggene placeres på etagedæk (og dermed ikke på terrændæk), så kræver det særlige tiltag for at sikre tilpas styrke i etagedækket og sikre at svingninger fra varmepumpeunits ikke forplanter sig i bygningskonstruktionen.

Både teknikbygningen og pumpebrøndene skal være tilgængelige for driftspersonale. I pumpebrøndene er der etableret luger på 1 x 2 meter, som gør det muligt at servicere udstyr. Omfanget af driftstrafik til pumperne vil være få gange årligt, og der skal være plads (gerne op til 2 m) uden for pumpebrønden, så en pumpe kan løftes ud af pumpehuset og over på en palleløfter. Se også generelle beskrivelser omkring driftsforhold i afsnit 2.9.

Indpasningen af varmepumpeanlægget skal sikre nødvendig støjdemping af teknikbygningen i forhold til lokale krav, da kompressorer i varmepumpeanlægget genererer en del støj, se nærmere beskrivelse i afsnit 2.7. Der vil også være støj fra pumper i pumpebrønde, men disse er væsentlig mindre støjkluder, som forventeligt vil kunne støjdempes fornuftigt af selve pumpehuset.

HOFOR arbejder også med nedgravede pumpebrønde, hvilket er en løsning, der gør det muligt at skjule det tekniske anlæg fra bymiljøet. De nedgravede pumpebrønde kræver at der etableres adgang til pumpebrønden i terræn.

Visualiseringer og yderligere beskrivelser af arketype 1 er vist i bilag 1. Se også et billede fra bilag 1 i Figur 6.7.



Figur 6.8: Billede af arketype 3 (pumpebrønde i bymiljø) udarbejdet af Arkikon – se bilag 1 for større udgave af billedet

6.3.2 Sikkerhed

Følgende skal tages i betragtning i forhold til sikkerheden omkring teknikbygningen (se også afsnit 2.8):

- Det skal sikres at der ikke er offentlig adgang til teknikbygningen både af hensyn til driftssikkerhed og personsikkerhed. Personsikkerhed skal tages i betragtning, da der er sikkerhedsventiler, som kan risikere at blive aktiveret og dermed afblæse gas – f.eks. ammoniak eller CO₂. Driftssikkerhed skal tages i betragtning i forhold til sikring mod hærværk, uheld og lignende.
- Fra teknikbygningen er der sikkerhedsventiler og ventilationssystemer, der har afblæsning/afkast til det fri. Det skal sikres at personer ikke kan komme nær disse installationer, da det vil være farligt, hvis der afblæses kølemiddel ved højt tryk eller ventileres store ammoniakmængder f.eks. i tilfælde af ammoniaklækage.

I forhold til sikkerheden omkring pumpebrøndene er det ligeledes vigtigt at sikre mod hærværk. Personsikkerhed i forhold til ophold ovenpå pumpebrøndene bør også undersøges nærmere – f.eks. er det relevant at undersøge og overveje trykforholdene for vandet fra boringerne og indholdsstoffer i vandet.

6.3.3 Økonomiske betragtninger

Hvorvidt placeringen af en teknikbygning i et P-hus vil medføre meromkostninger sammenlignet med etablering af en separat teknikbygning afhænger af om der er særlige krav til udformningen af P-huset. Hvis der ikke er særlige krav til P-huset (arkitektoniske eller tekniske), og hvis teknikbygning og P-hus etableres på samme tidspunkt, så vurderes det, at teknikbygningens placering i P-huset ikke vil medføre betydelige meromkostninger. Dog vil placeringen i P-huset kræve ekstra indsats i forhold til kommunikation og koordinering mellem projekter/entrepriser for hhv. P-hus og varmempumpeanlæg.

Udformningen af pumpebrønde som illustreret i arketyperen må forventes at medføre meromkostninger, som er betydelige sammenlignet med etablering af et simpelt teknisk pumpehus.

6.4 Arketype 4 – Havvandsvarmepumpeanlæg

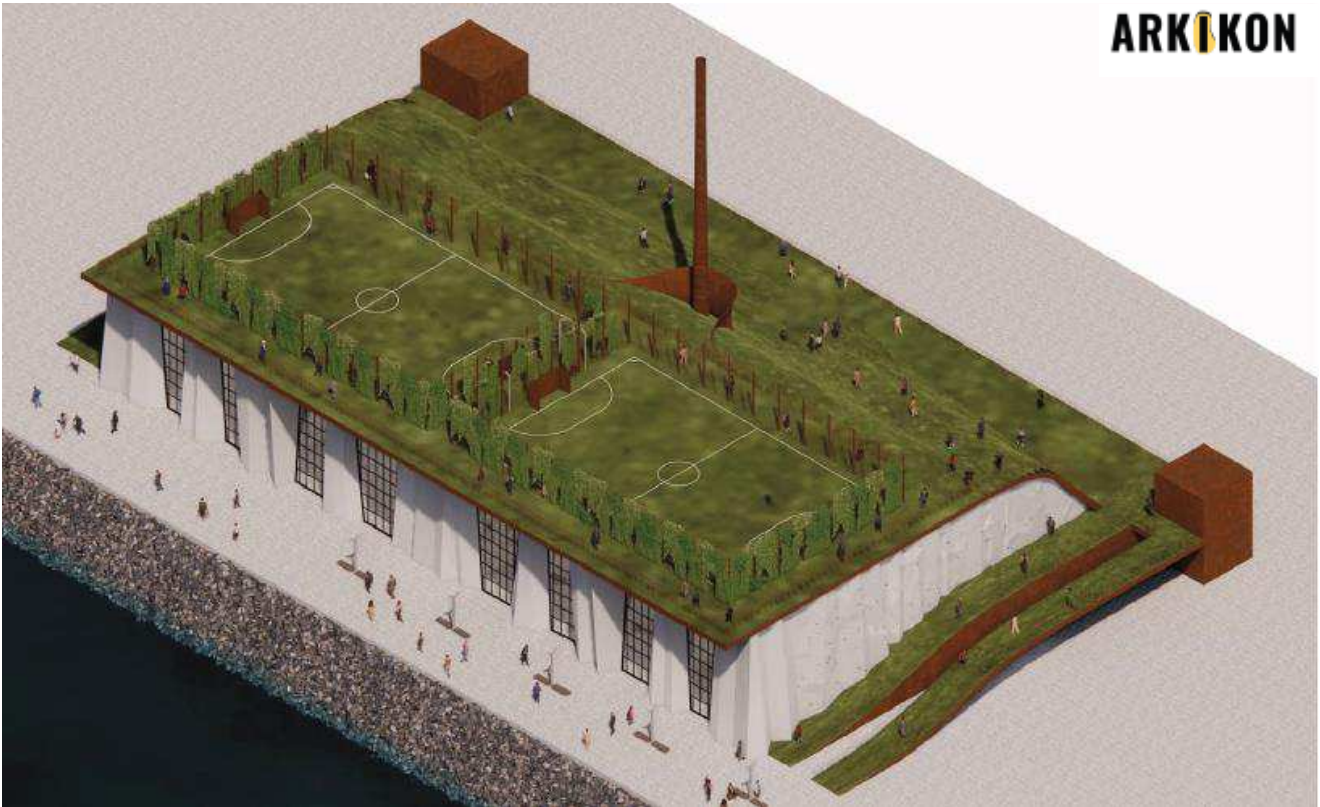
Arketype 4 dækker et stort havvandsvarmepumpeanlæg omkring 100-200 MW. Arealbehov til teknikbygningen er anslået til omkring 6.000 m² og arealbehov til udeområde er anslået til 4.000 m². Teknikbygningen er dimensioneret i forhold til store varmepumper fra MAN, som er op til 8 meter høje.

6.4.1 Indpasning og multifunktionalitet

Teknikbygningen til varmepumpeanlægget er en stor teknikbygning, som er indpasset i havnemiljøet ved et arkitektonisk design, som er inspireret af mange klinte, som findes forskellige steder i Danmark. Derudover er bygningen multifunktionel idet der er adgang til tagarealet, hvor der er placeret boldbaner, og der er placeret en klatrevæg på den ene facade. De store glaselementer i facaden mod havnefronten medvirker at forbipasserende kan kigge ind på det tekniske anlæg i bygningen, som dermed fungerer som formidlingsinitiativ. Det vurderes, at det er muligt at etablere indkig i facaden sikkerhedsmæssigt forsvarligt.

Varmepumpeanlægget benytter CO₂ som arbejdsmedium, som er ved højt tryk i anlægget. Teknikbygningen skal derfor facilitere ventilationsanlæg til ventilering af maskinrum og afblæsningskanal for sikkerhedsventiler. Sikkerhedsventiler og tilhørende afkast aktiveres, hvis trykket i anlægget stiger over en fastlagt tærskelværdi, men benyttes ikke i forbindelse med almindelig drift. Skorstenen på arketype 4 er tænkt benyttet til afkast fra sikkerhedsventiler. Et sådant afkast vil også kunne placeres på siden af bygningen i et område der ikke er offentligt tilgængeligt.

Visualiseringer og yderligere beskrivelser af arketype 4 er vist i bilag 1. Se også et billede fra bilag 1 i Figur 6.8.



Figur 6.9: Billede af arketype 4 udarbejdet af Arkikon

6.4.2 Sikkerhed

I forhold til personadgang på tagarealet og klatring på den ene facade bør der arbejdes videre med følgende i forhold til sikkerhed:

- Sikring mod fald og hærværk
- Certificering og godkendelser i forhold til personadgang
- Placering af driftsansvar (sikkerhed og vedligehold) for boldbaner og klatrevægge
- Afkast fra sikkerhedsventiler og ventilationskanaler skal afskærms fra personadgang

6.4.3 Økonomiske betragtninger

I arketype 4 er der inkluderet følgende elementer, som forventes at give en meromkostning i forhold til traditionelle teknikbygninger:

- Etablering af glaspartier i facaden som gør det muligt at kigge ind på anlægget
- Facadedesign inkl. klatrevæg
- Sedumtag indrettet med boldbaner
- Afkast fra ventilationsanlæg i en skorsten

6.5 Arketype 5 og 6 – Varmeakkumuleringstanke

Arketype 5 og 6 omhandler begge varmeakkumuleringstanke som er integreret i to forskellige bymiljøer. Som beskrevet i afsnit 4 kan varmeakkumuleringstanke have meget forskellig størrelse afhængigt, hvilket fjernvarmenet de integreres i.

6.5.1 Indpasning og multifunktionalitet

Arketype 5 omhandler en stor enkeltstående varmeakkumuleringstank, som f.eks. kan være et vartegn i indsejlingen til København. Tanken er ca. 60.000 m³ med en diameter omkring 36 m og højde på 60 m baseret på ydre mål. Da det er et højt anlæg, tænkes det placeret ved anden høj infrastruktur, og derfor er tanken visualiseret ved en containerterminal.

Det vil være oplagt at placere en sådan tank i nærheden af et varmeproduktionsanlæg, som kan benytte tanken til varmelager. Fra et energimæssigt perspektiv er det hensigtsmæssigt, hvis tanken er hydraulisk koblet med fjernvarmenettet, dvs. at fjernvarmevandet i nettet også kan strømme igennem tanken. Dermed skal tanken have en bestemt størrelse for at sikre nødvendigt holdetryk i fjernvarmenettet og sikre at tanken holdes nær atmosfærisk tryk. Disse forhold er ikke undersøgt nærmere. Hvis højden på en hydraulisk koblet tank ikke er ønskelig i forhold til det arkitektoniske udtryk, er det principielt muligt at lave en tank der er hydraulisk afkoblet med nettet. I en sådan løsning veksles der varme mellem tank og net igennem en varmeveksler, hvilket giver mindre effektiv drift, men muliggør fleksibelt valg af højde på tanken.

I arketype 6 er varmeakkumuleringen designet med tre tanke i forskellige højder. Det gøres for at indpasse anlægget i rekreativt miljø og gøre det visuelt attraktivt. Derudover er der indtænkt træningsfaciliteter på toppen og klatrevæg på den ene facade.

Ulempen fra et teknisk perspektiv er at det giver de tre forskellige højder en driftsmæssig udfordring, da tanke i den størrelse bør udføres som atmosfæriske (tryklose) tanke. Det er sandsynligt at der kan findes en teknisk løsning der kan imødekomme de forskellige væskehøjder. F.eks. kunne der tænkes i en løsning, hvor den ene tank er trykstyrende og designet i forhold til holdetrykket i fjernvarmenettet. De øvrige tanke kunne kobles på, som om de var forbrugere i fjernvarmenettet. Udover styrings- og trykmæssige udfordringer vil opdelingen på tre tanke medføre betydelig større investeringsomkostninger og større varmetab, da den samlede ydre overflade bliver større. Fra et teknisk perspektiv vil det dermed være fordelagtigt at videreføre arketype 6 i en udgave, hvor der opføres én varmeakkumuleringstank som integreres arkitektonisk med to cylindriske bygninger. Derudover kræver personadgang på tankene særlig fokus på sikkerhed og tankkonstruktion, se afsnit 6.5.2.

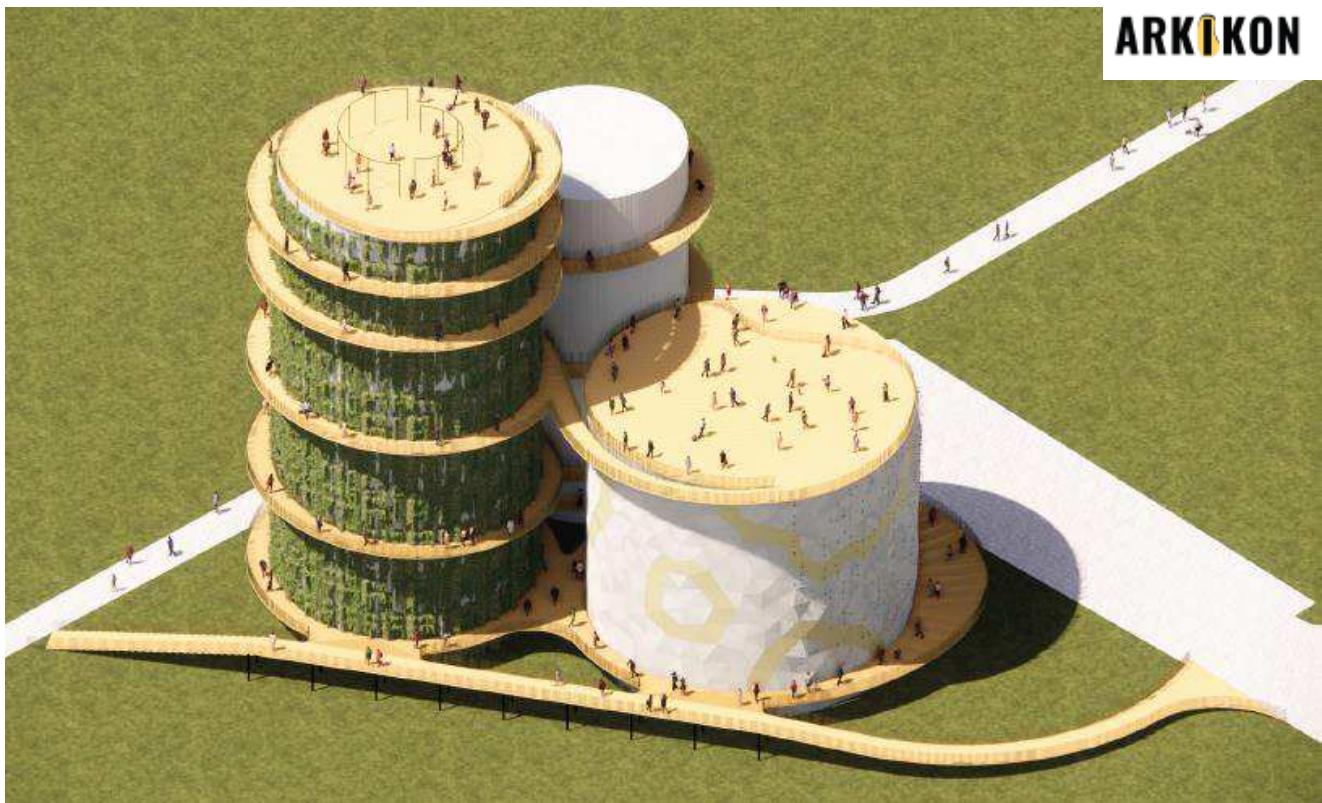
Udover selve tankene, som er vist i arketype 5 og 6 er der også typisk følgende udstyr tilknyttet en varmeakkumuleringstank:

- Pumper og ventiler som skal indplaceres i teknikbygning nær tanken
- Rør der fører vand ind og ud af tanken inkl. fjederbæringer der holder rørene på plads ved termiske udvidelser
- Nitrogenanlæg som benyttes som "luftpude" over vandet i tanken til balancering af vandets volumenændringer som følger af temperaturændringer
- Tanke designet op til 500 mbar overtryk kan holdes indenfor DS/EN 14015⁹, og kræver kugleformet top og giver mulighed for temperaturer op til omkring 105-110 °C

Derudover kræves der omkring 4 meter friplads omkring selve varmeakkumuleringstanken i forbindelse med etablering.

⁹ DS/EN 14015 Specifikation for konstruktion og fremstilling af vertikale, cylindriske, fladbundede, svejste ståltanke over jorden bygget på stedet til opbevaring af flydende væsker ved omgivende temperatur og derover

Visualiseringer og yderligere beskrivelser af arketype 5 og 6 er vist i bilag 1. Se også et billede fra bilag 1 i Figur 6.9.



Figur 6.10: Billede af arketype 6 udarbejdet af Arkikon

6.5.2 Sikkerhed

Hvis der arbejdes videre med personadgang på tankene, er der en række sikkerhedsmæssige (drift og personsikkerhed) aspekter der bør undersøges nærmere, f.eks. følgende:

- Sikring mod fald og hærværk
- Statikberegninger for tanken skal medtage eventuel belastning fra fastmonteret udstyr, som f.eks. trapper
- Placering af driftsansvar (sikkerhed og vedligehold) for klatrevægge
- Certificering og godkendelser i forhold til personadgang
- Overtryksventiler og vakuumventiler skal afskærmes fra personadgang, da de kan sende varm vand/luft ud

6.5.3 Økonomiske betragtninger

Arketype 5 er som udgangspunkt ikke dyrere end traditionelle varmeakkumuleringsstanke af samme størrelse, men hvis der etableres udsmykning på tanken, klatrevægge og andre funktioner vil det medføre meromkostninger.

Udførelse af arketype 6 vil medføre betydelige meromkostninger sammenlignet med en enkelt varmeakkumuleringsstank af samme volumen pga. følgende fordyrende elementer:

- Udførelse i tre mindre tanke i stedet for én stor medfører højere omkostninger, da der skal bruges mere stål for samme samlet volumen
- Teknisk integration af tre tanke i forskellige højder er udfordrende og vil medføre meromkostninger

- Udsmykning af tanke og etablering af trapper og tagarealer til personadgang vil medføre meromkostninger og kan betyde at grundkonstruktionen for tanken skal være ekstra stærk
- Godkendelser og certificeringer i forhold til personadgang kan medføre meromkostninger

7. Opsummering

7.1 Generelt

Denne rapport omfatter generelle tekniske beskrivelser af varmepumper og varmelagre, herunder estimater for sammenhæng mellem investeringsomkostninger, arealbehov og kapacitet.

7.2 Arketyper

Derudover præsenterer rapporten det tekniske arbejde med seks arketyper, som illustrerer ideoplæg til indpasning af større fjernvarmeanlæg i by-miljøer. Arketyperne inkluderer hver især enten arkitektoniske træk eller multifunktionalitets formål, som ikke normalt indarbejdes i tekniske anlæg som varmepumper og varmelagre. Eksempler på det er følgende:

- Arketype 1: Valg af cirkulær grundplan for varmepumpebygning
- Arketype 2: Placering af energioptagere på tag
- Arketype 3: Multifunktionalitet for pumpehuse
- Arketype 4: Aktiviteter på taget af en stor varmepumpebygning
- Arketype 5: Udsmykning af store varmeakkumuleringsstanke
- Arketype 6: Valg af tre varmeakkumuleringsstanke frem for én

Ovenstående valg er ikke optimale fra et fjernvarmeteknisk og -økonomisk synspunkt, men er illustreret med henblik på at supportere en proces omkring indpasning af fjernvarmeanlæg i bymiljøer, hvor det kan være nødvendigt at indgå kompromisser for at få fjernvarmetekniske, økonomiske og byplanmæssige ønsker og krav til at mødes.

Arketyperne skal derfor ikke ses som projektoplæg der er klar til implementering, men i stedet ideoplæg, som kan give inspiration til videre samarbejde mellem forsyning, kommune og øvrige interessenter. Særligt vil der i forbindelse med personophold på anlæg være behov for at arbejde videre med sikkerhedsforhold, certificering, godkendelser og lignende.

Bilag 1: Arketyper

Se særskilt dokument.

Bilag 2

INDPASNING AF VARME-
PUMPER OG VARMELAGRE I KØBENHAVN

Københavns Kommune undersøger mulighederne for at placere varmepumper, geotermi og varmelagre i nære bymiljøer. I en indledende screening har Teknik- og Miljøforvaltningen sammen med HOFOR udvalgt 13 mulige placeringer til nærmere undersøgelse. Disse placeringer ligger hovedsageligt i områder med udsigt til byfornyelse.

I den forbindelse har Arkikon sammen med NIRAS udarbejdet seks hypotetiske forslag til de forskellige placeringer baseret på udvalgte varmekilder: luft-til-vand, grundvand, havvand og VAK. Det har været vigtigt, at få forslagene integreret i bymiljøet med en supplerende funktion, der er tilpasset den specifikke placering. En supplerende funktion, der kan benyttes af beboere eller besøgende i bymiljøet.

Alle forslagene er hypotetiske. Nogle arketyper har benyttet specifikke placeringer, for at Arkikon kunne arbejde med bymiljø og byplanlægning. Men de skal forstås som helt hypotetiske placeringer.

Forord	2
De seks arketyper	3
Arketype 1	4
Arketype 2	12
Arketype 3	17
Arketype 4	22
Arketype 5	28
Arketype 6	32

6 arketyper tildeling	Varmepumpe Grundvand	Varmepumpe Luft	Varmepumpe Havvand	VAK
P-kælder	Arketype 3			
Havnefront			Arketype 4	Arketype 5
Nær byliv		Arketype 1 & 2		
Idrætsan- læg				Arketype 6

I dialog med Københavns Kommune og NIRAS er følgende placeringer og varmekilder udvalgt som de seks arketyper til bearbejdelse i by-integrering.

Nogle arketyper er stedsspecifikke, mens andre er generiske. De stedsspecifikke placeringer skal forstås som hypotetiske placeringer, som giver mulighed for ARKIKON at arbejde med indpasning af teknisk-anlæg i forskellige bymiljøer.

Arketype 1

Luft-til-vand varmepumpe
Energioptagere ved siden af



Situationsplan over Sydhavn



Varmekilde: Luft-til-vand
Kapacitet: 3-4 MW
Størrelse: ca. 2000 m² (inkl. udeareal)

ARKETYPE 1 tager udgangspunkt i byudviklingsområdet Bådehavns-gade. Stedet er valgt som en hypotetisk placering for at ARKIKON kan arbejde med byplanlægning og integration af større anlæg. Placering og arketyper er valgt pga. støjgener fra genbrugsstation og varmepumpe-anlægget.

Sydhavnens kystlinje har ligesom de øvrige dele af Københavns Havn forandret sig og gennemgår en udvikling, der gradvist vokser længere ud i vandet. Oprindeligt var arealet, hvor Sydhavnstippen ligger i dag, et vandareal ud for Kongens Enghaves historiske kyst.

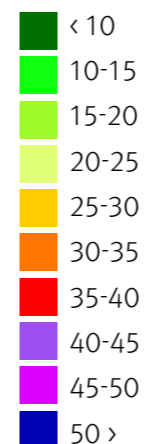
Sydhavnstippen opstår i perioden fra 1945 frem til 1970'erne ved "aftipning" af byggeaffald, jord mv. fra anlægsarbejder i København. Fra midten af 1970'erne udlejes arealer til erhverv og småindustri samt båd-klubber.

I 2018 åbnede genbrugsstationen på Bådehavns-gade, som understøtter genbrug og bæredygtighed. By og Havn udvikler sammen med COBE en masterplan for området.

Da masterplanen ikke foreligger, har vi taget udgangspunkt i den eksisterende ledige grund bagved genbrugsstationen, som case for vores arketype.



Kontrast og samhør mellem naturen og byggeriet



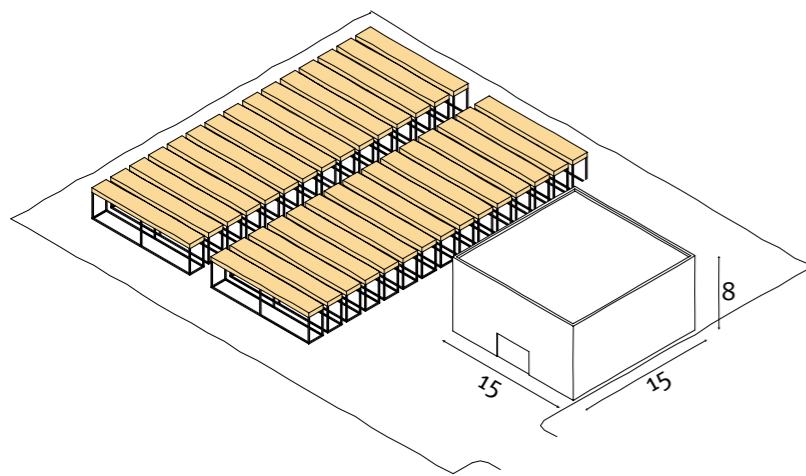
Luft-til-vand varmepumper henter varme ud af luften på samme måde som et køleskab. Modsat et køleskab, hvor målet er at køle et begrænset rum, og hvor varmen er et affaldsprodukt, er det varmen man ønsker fra varmepumpen. For at akkumulere mest muligt varme kræves der tilgang til store mængder luft og helst varm luft. Dette løses ved at sørge for en god udskiftning af luften – både i mindre skala rundt om energioptageren ved hjælp af en blæser og i større skala ved at sørge for en god udskiftning i området. En dårlig luftskiftning medfører, at området rundt om energioptageren bliver koldere og dermed mindre attraktiv til ophold, ligesom effekten af varmepumpen bliver dårligere og blæserne på energioptagerene arbejder hårdere og larmer mere.

Udover et bedre luft-flow rundt om anlægget kan støjen reduceres ved dimensionering og design af anlægget samt ved at have støjskærme rundt om anlægget.

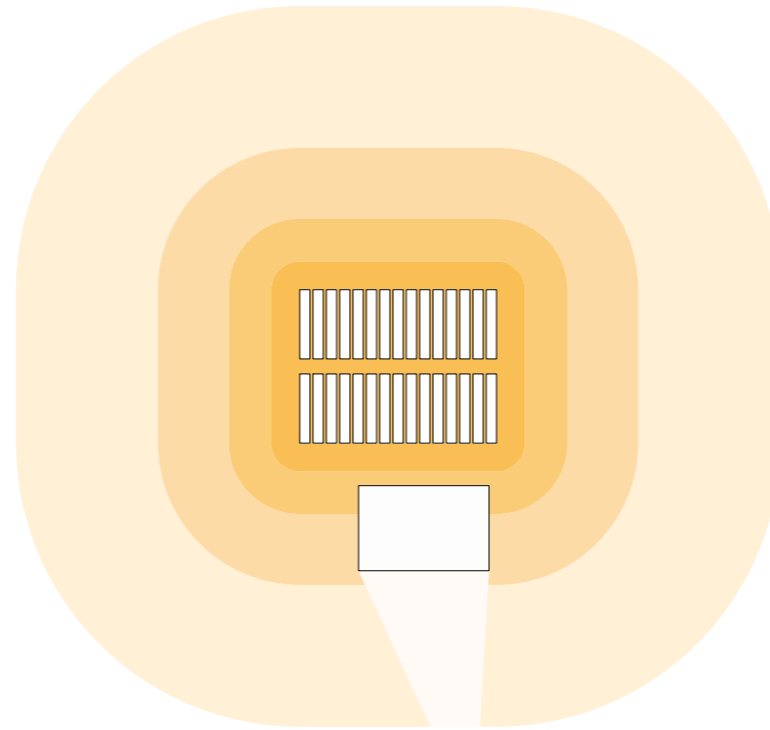
Støjgrænse for varmepumper i henhold til Energistyrelsen

Døgnperiode	Tæt lav boligområde	Etageboliger, Blandet bolig og erhverv, det åbne land.
Hverdage kl. 7-18 Lørdage kl. 7-14	45 dB	50-55 dB
Hverdage kl. 18-22 Lørdage kl. 14-22 Søndage kl.7-22	40 dB	45 dB
Alle dage kl. 22-7	35 dB	40 dB

Støjkort for området uden støjskærme lagt over grunden



Princip for energioptagere og varmepumpebygning



Generisk støjmodellering fra energioptagere

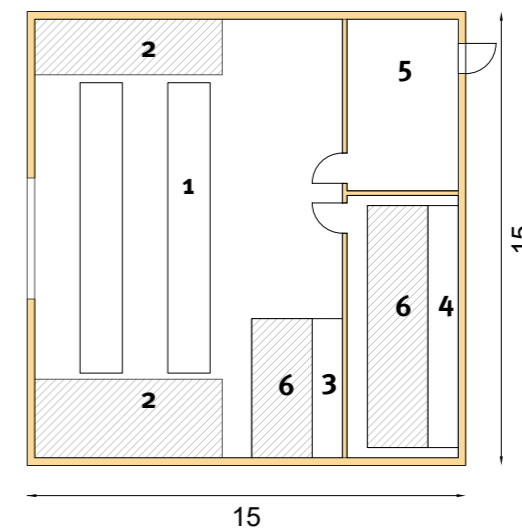
Ved placering af energioptagere på grunden kræves et stort areal både i henhold til størrelsen på energioptagere og støjen til omkringliggende byggerier. Energioptagerne placeres i højden for bedre udnyttelse af luften både oven- og nedefra.

Ved luftindtagning vil der ske en betydelig temperaturændring, hvor den varme luft afkøles og afgiver kondens. Der er derfor behov for vandafledning og muligvis afrimning i visse perioder.

Til energibehov på 3-4 MW kræves en bygning på omtrent 15x15m med en højde på 8m.

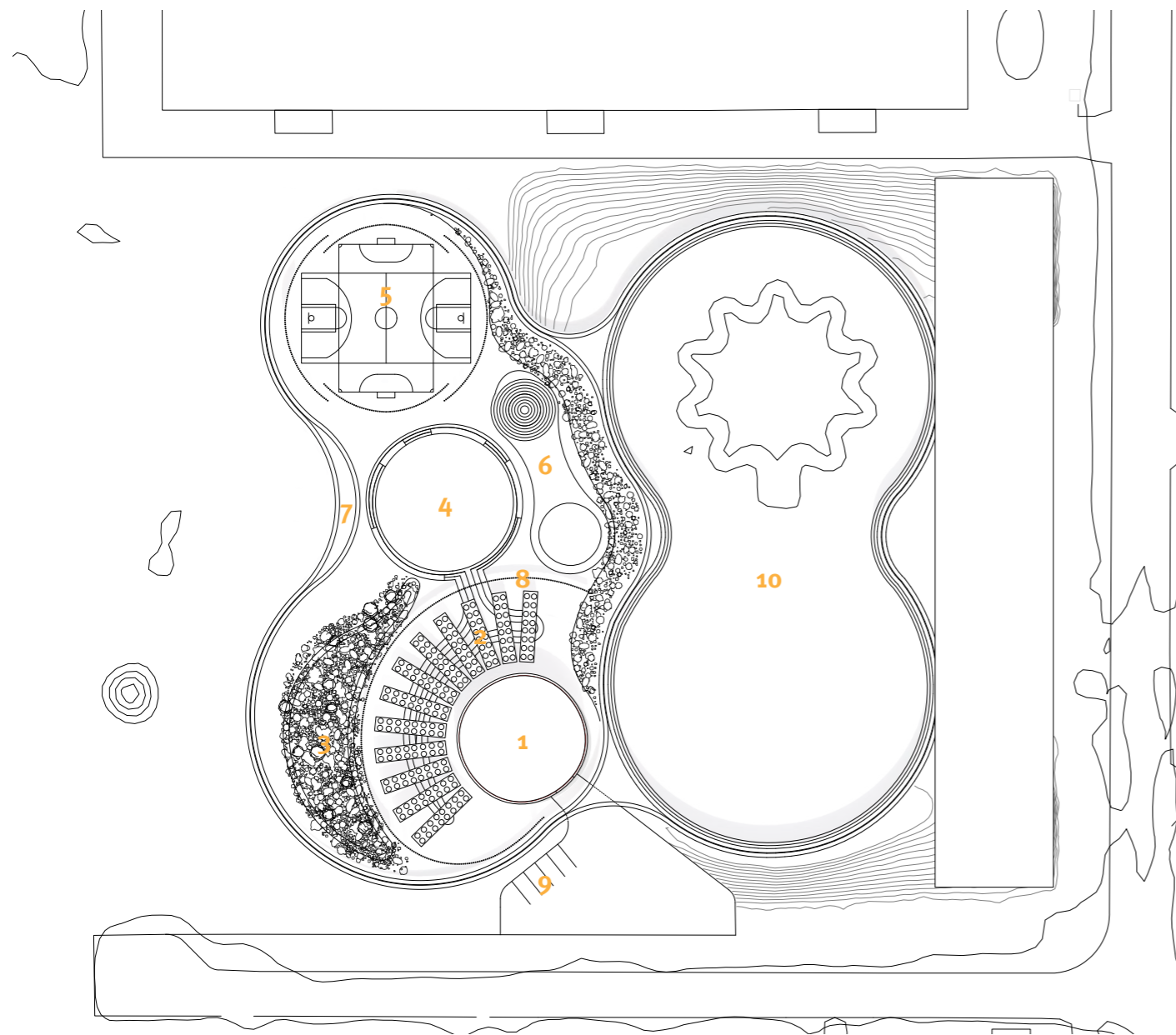


Energioptagere henter varme ud af luften



Teknikbygning med behov for 3-4 MW

- 1 Varmepumpe units
- 2 Område til rør / pumper
- 3 Styretavle
- 4 Eltavle
- 5 Traforum
- 6 Respektafstand



Plan

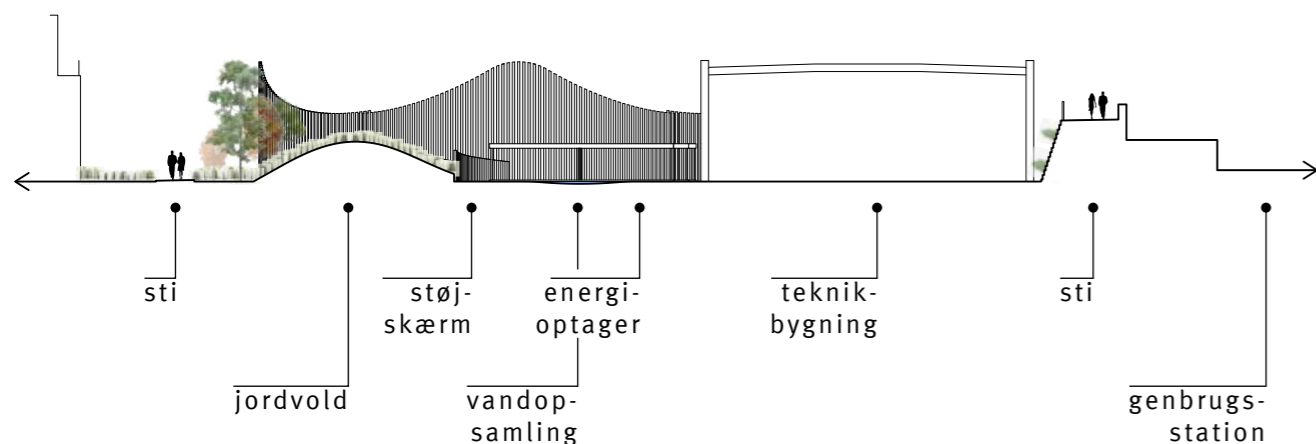
- 1 Teknikbygning
- 2 Energioptagere
- 3 Vold (beplantning)
- 4 Vand
- 5 Boldbaner
- 6 Skateboard-bane
- 7 Løberute / sti
- 8 Støjskærm
- 9 Parkering
- 10 Genbrugsstation

Den hypotetiske arketype 1 bygger videre på idéen fra formen på genbrugsstationen. Tanken er at integrere teknikbygningen og energioptagere således, at de er til mindst gene for den omkringliggende bebyggelse.

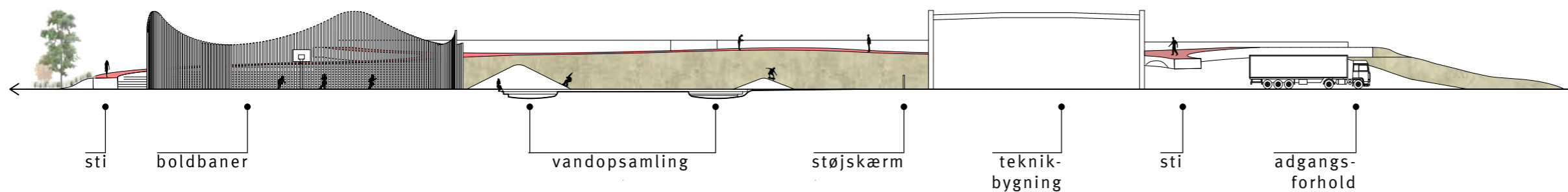
Ved at placere aktiviteter med høj aktivitet, som boldbaner og skateboard-bane, maskeres lyden fra energioptagerne. En forhøjning med træer og beplantning er med til både at skjule indsigt og dæmpe lyden fra energioptagerne, ligesom det generelt fungerer som en støjskærm rundt omkring anlægget.



Referencer for energioptagere



Tværsnit gennem energioptagere og teknikbygning



Snit gennem parken og forløbet

Idéen har været at skabe en varmepumpebygning, der ligger i synergi med omgivelserne. Ved at åbne op skabes en synlighed mellem byen og bygningen. Der kan tænkes i at arbejde med form og materialer, der er varmere og mere indbydende.

Ved at skabe en forhøjning og beplantning reduceres ikke kun støjen, men der inviteres også til ophold.

Energioptagerne afgiver en del mængde vand. Ved at etablere et bassin, hvor vandet samles, inviteres der til ophold, og sammen med kulden fra anlægget kan bassinet også anvendes til skøjtebane i vinterperioden. Boldbaner eller skateboard-bane som højaktivitet er en god sammensætning til støjen fra energioptager.

Inspirationsbilleder



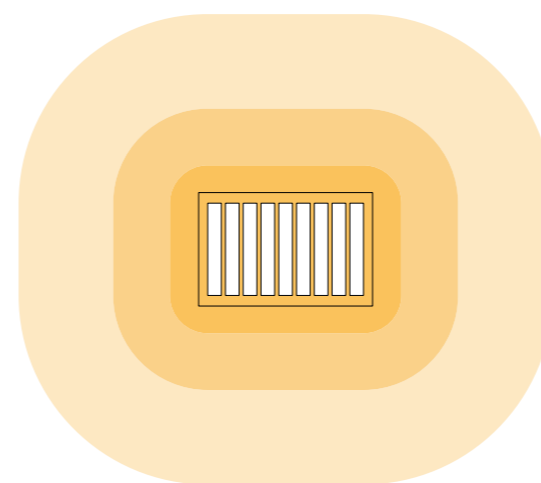
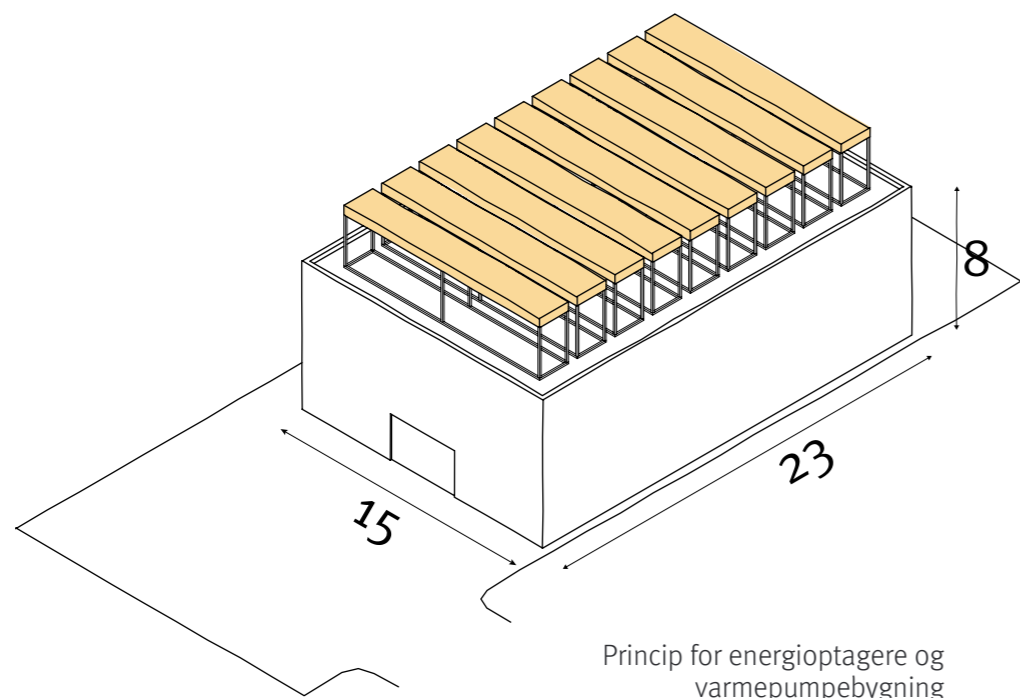




Arketype 2

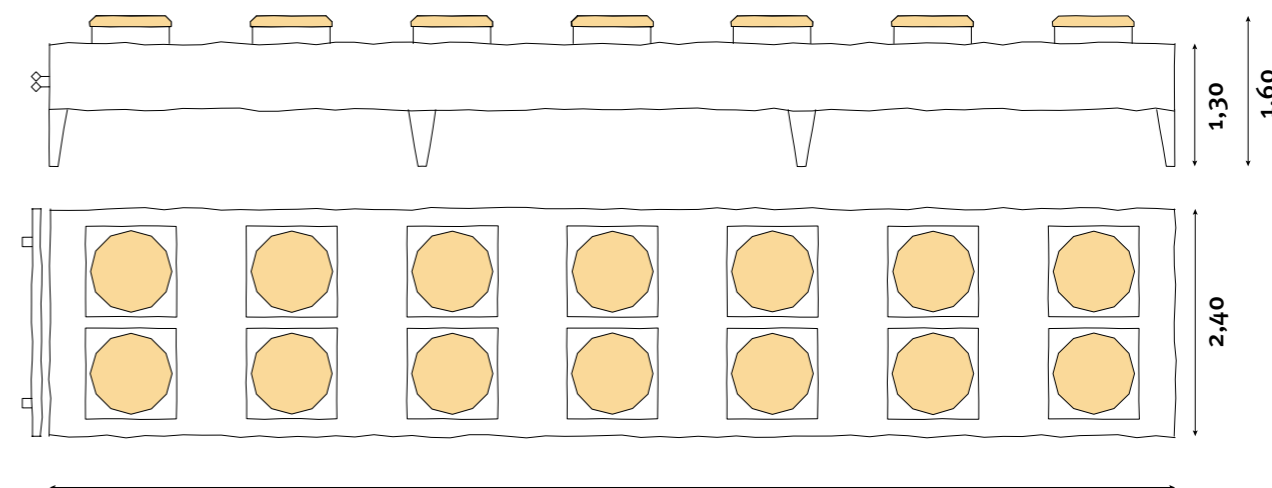
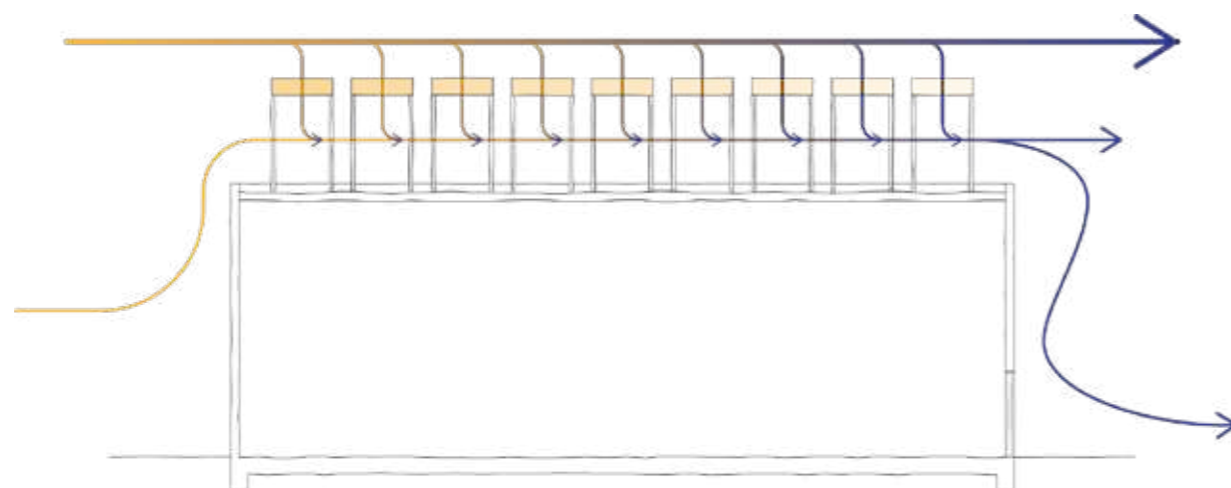
Luft-til-vand varmepumpe
Energioptagere oven på



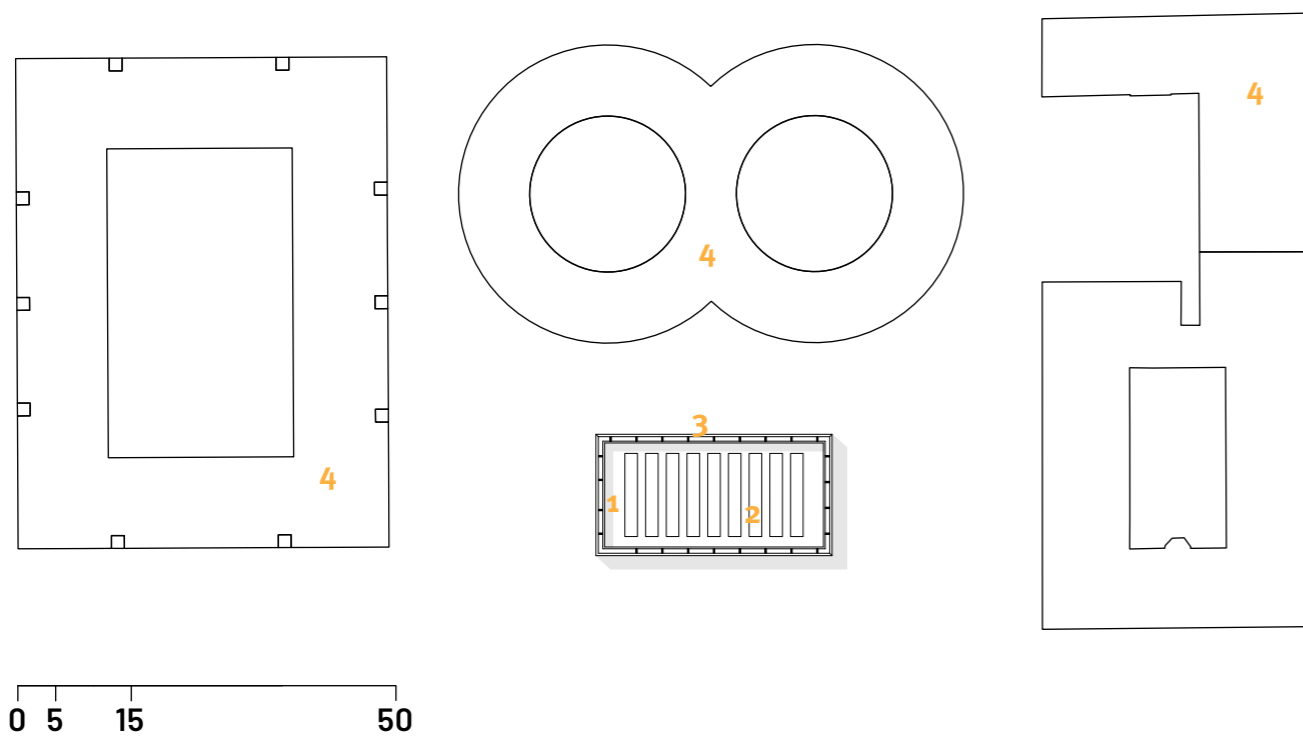


ARKETYPE 2 er tiltænkt som en prototype-bygning, der kan placeres i forskellige bymiljøer. Idéen er at placere energioptagerne på taget for at minimere fodaftrykket af bygningen samt forbedre luft-flowet rundt om energioptagerne. Facaden kan opbygges af stållameller i varierende vinkel, der regulerer luft-flow og støj.

Energiptagere kommer i forskellige udformninger og med forskellige specifikationer og dimensioner. Derfor er der valgt et referencedesign, der ligger tæt op ad flere leverandører på markedet.



Dimension på energioptager

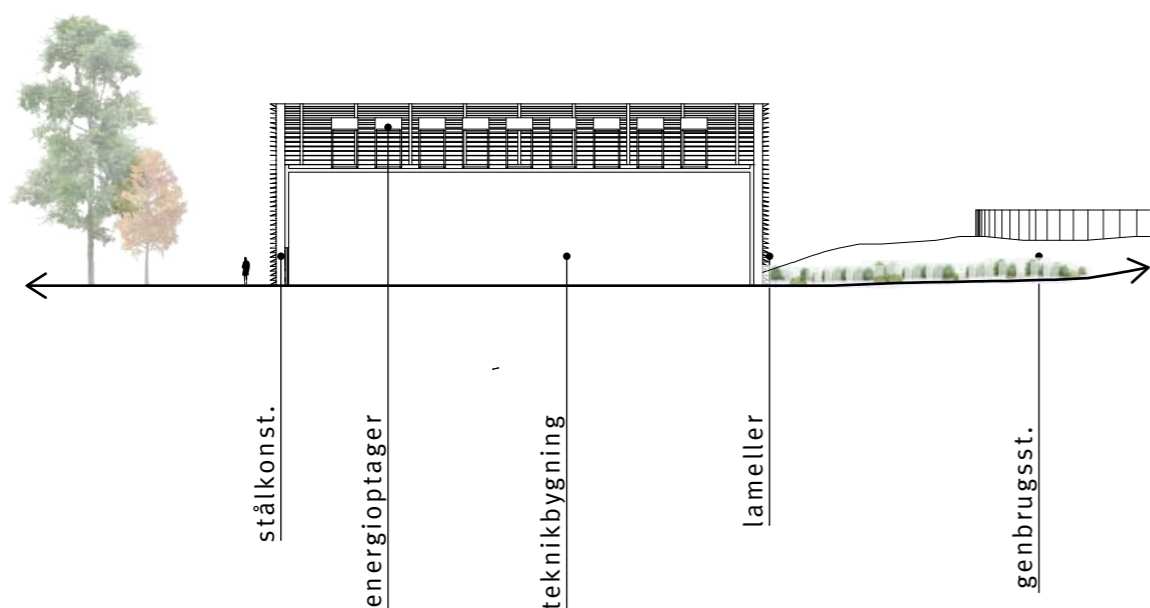


Arketype 2 med hypotisk placering for at sammenligne str. med almindelig boligbyggeri

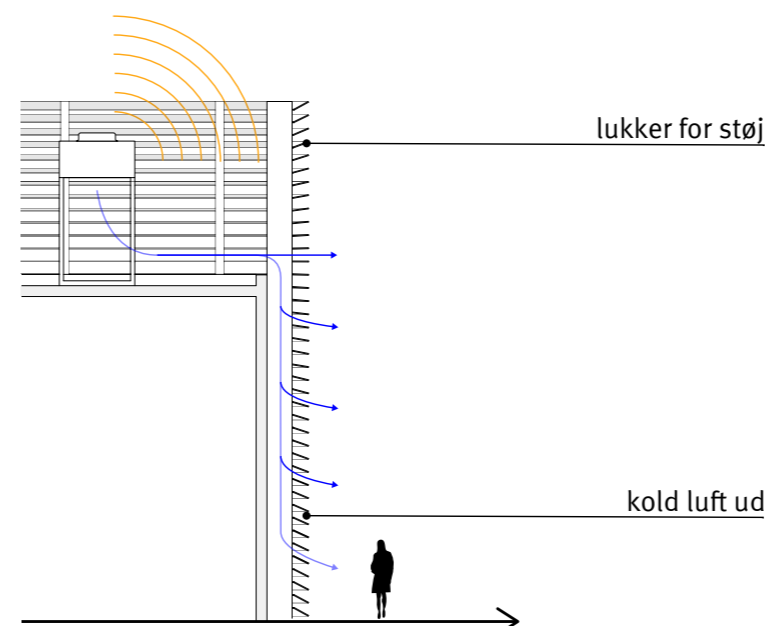
- 1 Teknikbygning
- 2 Energioptagere
- 3 Støjskærm
- 4 Almen boligbyggeri

Referencer med energioptagere på taget og udvendig konstruktion i stålbeklædning





Snit gennem teknikbygning



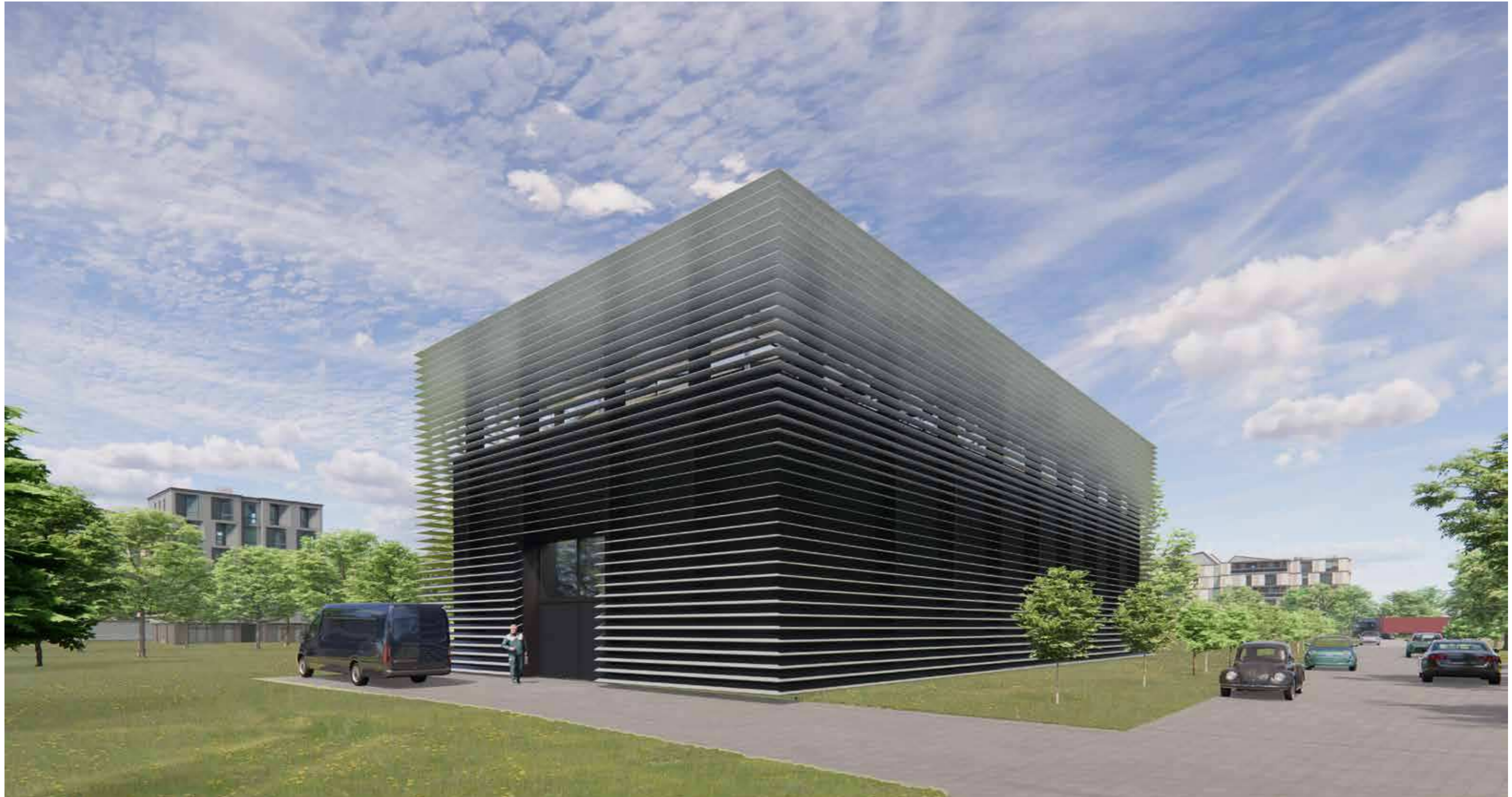
Lufttilstrømning ved bygningen

Arketype 2 er tænkt til at fungere i industriområder og i byområder, hvor støjgrænser tillader det.

Da klimaet rundt om en luftvarmepumpe kan være ugæstmildt på grund af det kolde træk og den høje luftfugtighed, er der ikke lagt op til ophold rundt bygningen.



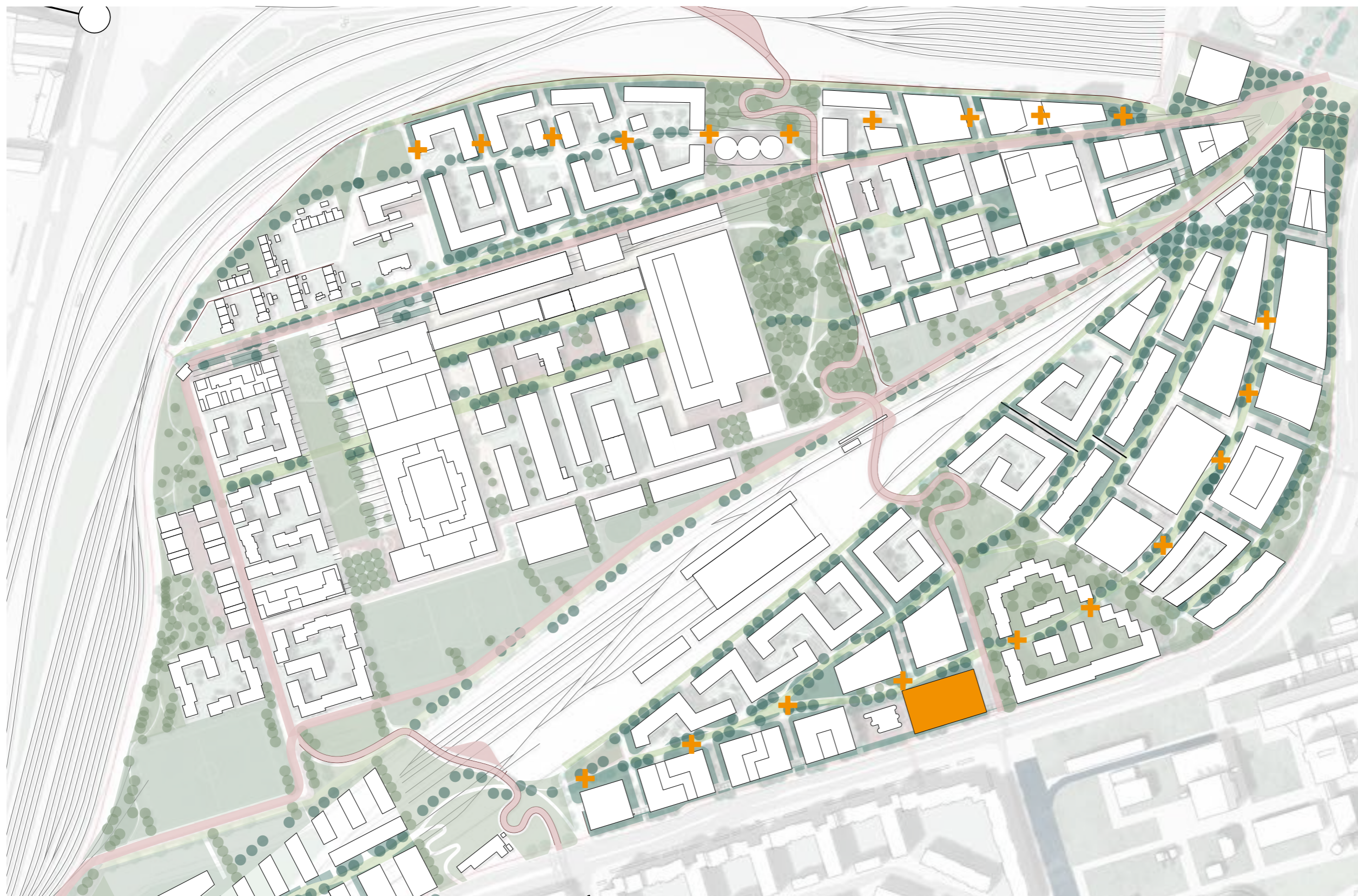
Inspirationsbilleder



Arketype 3

Grundvand varmepumpe





Varmekilde: Grundvand
Kapacitet: 3,7 MW
Størrelse: ca. 2100 m²

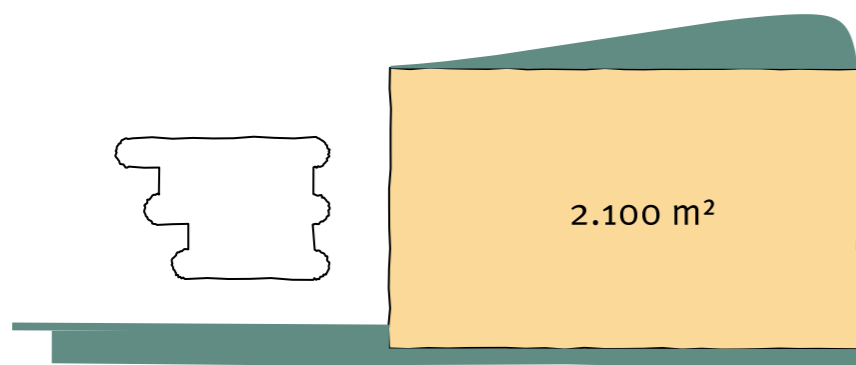
ARKETYPE 3 tager udgangspunkt i byudviklingsområdet Godsbaneterrænet. Der er tale om et anlæg på muligvis 3,7 MW grundvand varmepumpe. Anlægget kan i så tilfælde ligge sammen med parkeringshus. Kortet skal forstås som en hypotetisk illustration af grundvand varmepumpe med borer.

Godsbaneterrænet omfatter et areal på ca. 555.000 m², der ligger isoleret mellem Vesterbro og havnen. Området afgrænses og formes af to bueslagsformede træk. De gamle værkstedsbygninger og godsbanehaller ligger centralt og danner sin egen bymidte, der er forbundet med jernbanespor til og fra. Desuden kendetegner naturen området både ved en formel beplantning og en mere vildtvoksende beplantning mellem sporene.

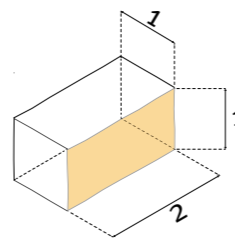
Området er udpeget som et værdifuldt samlingssted i København med bygninger af særlig kvalitet og med et bevaringsværdigt helhedspræg. By og Havn har sammen med COBE udarbejdet en masterplan for området med stor fokus på områdets værdier og identitet samt grønne frirum og bæredygtighed.

Det er tiltænkt, at varmepumpeanlægget med grundvand skal forsyne området. Teknikbygningen etableres i forbindelse med et parkeringshus. De 20 pumpehuse vil ligge i to bånd og integreres i masterplanen.

Illustration udearbejdet af COBE, med placering af borer og teknikbygning



Kommende parkeringsshus på godsbaneterrænet med HOFOR's eksisterende anlæg

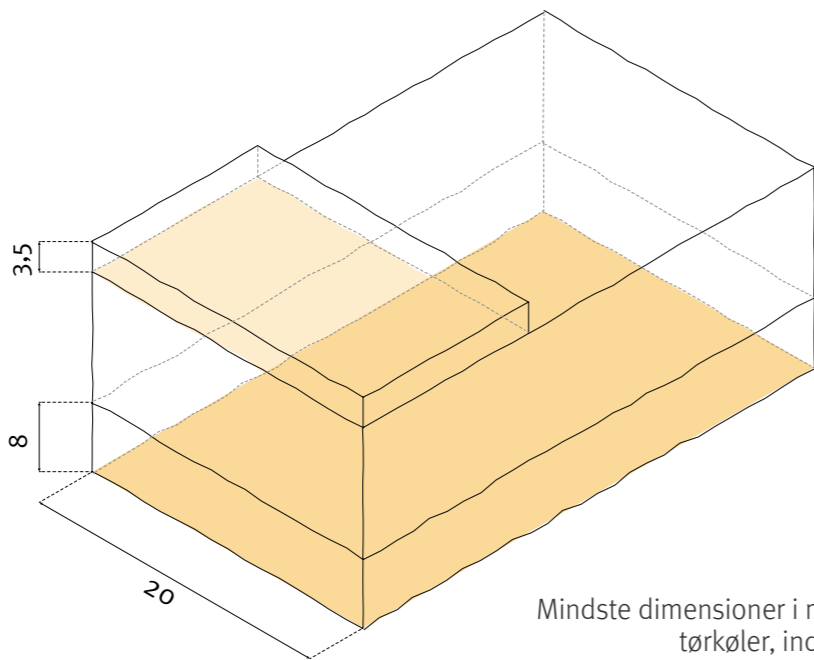


Mindste dimensioner på pumpehuse boringer

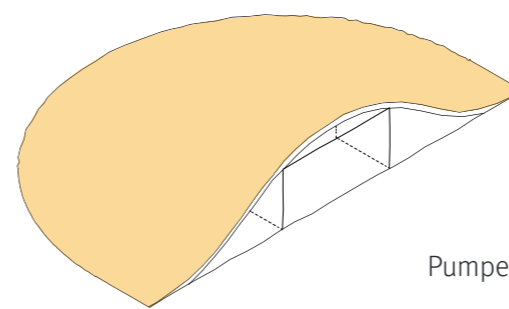
Der tænkes en teknik bygning på ca. 2.100 m² plus tørkøler på 800 m². Kommende parkeringsshus er med et grundareal på ca. 2.000 m², hvilket vil passe perfekt til teknikbygningen.

Pumpehusene er placeret for hver 75-100m, hvor sydlige boringer er varme-boringer, og de nordlige er kolde-boringer.

Tanken er at tage udgangspunkt i en identisk form, der er let genkendelig og står som et element i bymiljøet. Hvert pumpehus/form er integreret med sin funktion, der appellerer til leg, træning, kunst mm.



Mindste dimensioner i m. på teknikbygningen og tørkøler, indbygget i parkeringshuset

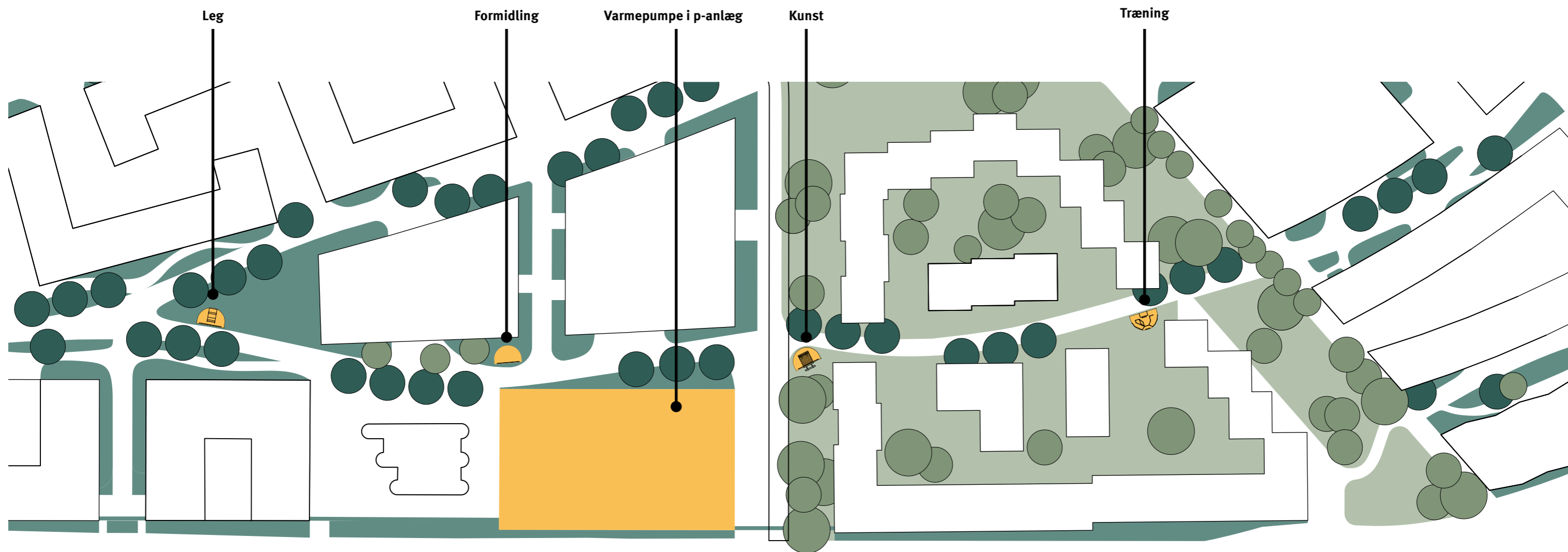


Pumpehuse som element i bybilledet



Pumpehusene ligger som elementer i bymiljøet med hver sin funktion. Ved at etablere teknikbygning i stueetagen er der mulighed for formidling af anlægsprocessen til borgerne. Teknikbygningen kan sammen med pumpehusene blive en del af et større eksperimentarium for børn og voksne.

Referencer på ny fortolkning af pumpehuse som element i byen



Plan med pumpehusene



Leg



Kunst



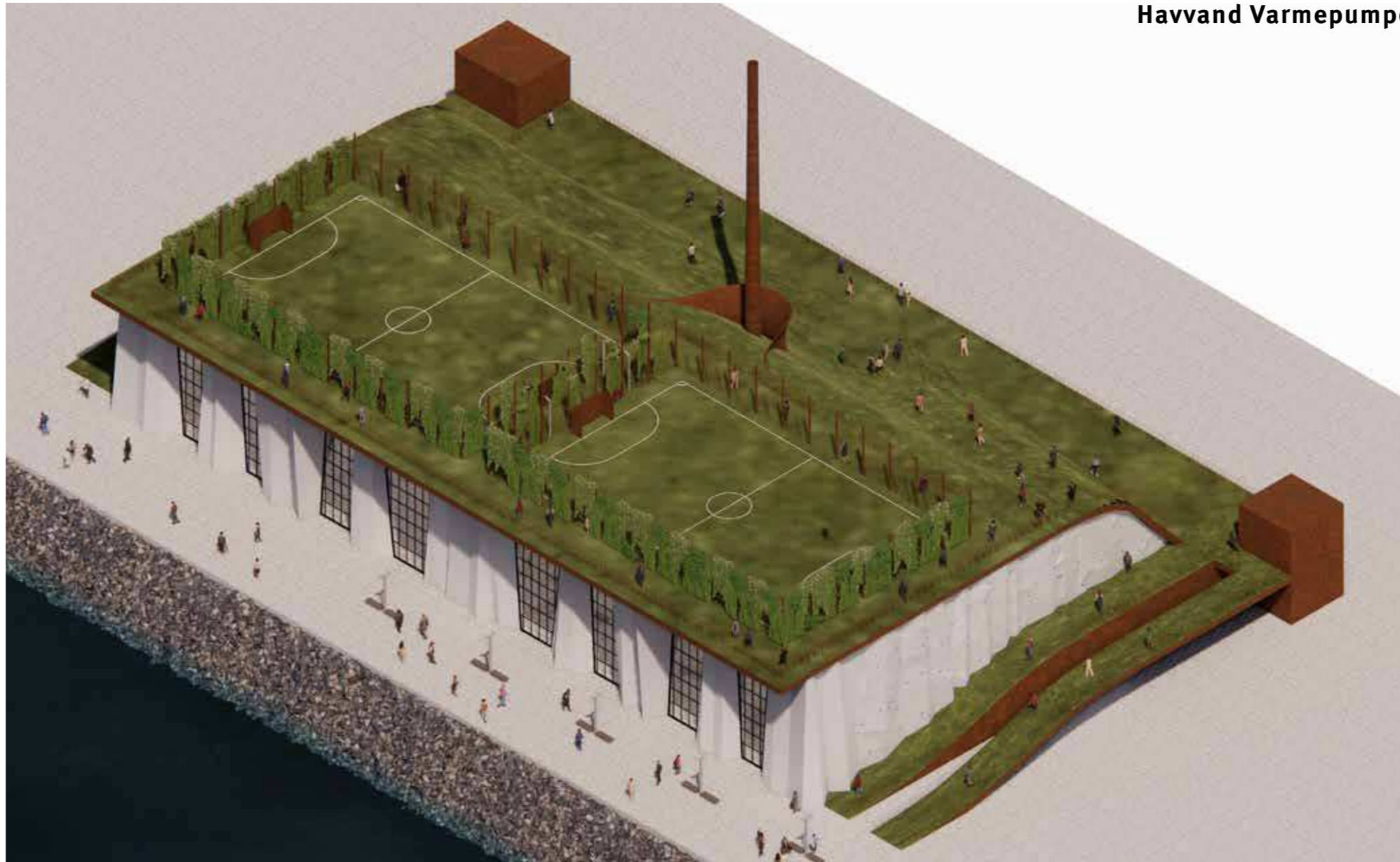
Træning



Formidling

Arketype 4

Havvand Varmepumpe





Situationsplan over Ydre Nordhavn

Varmekilde: Havvandsvarmepumpe
Kapacitet: 100-200 MW
Størrelse: 6.000 m² (bygning)
4.000 m² (udearealer)

For at illustrere hvordan en havvandsvarmepumpe kan integreres i bymiljø, kigges der på en hypotetisk placering i Ydre Nordhavn. Dette skal illustrere hvordan en havvandsvarmepumpe kan integreres i hav- og bymiljøer.

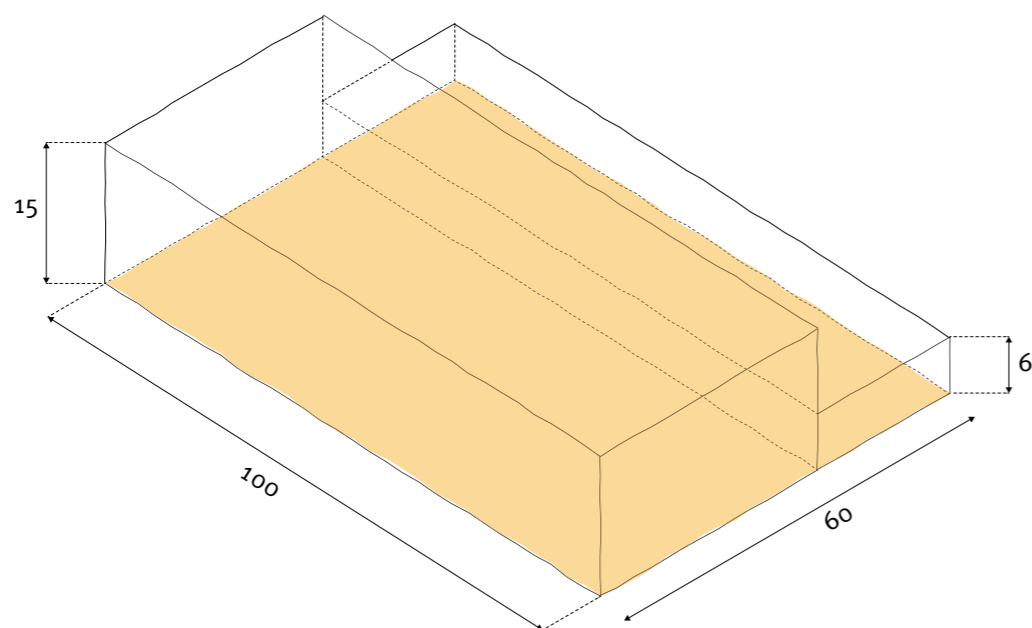
Nordhavns historie går tilbage til slutningen af 1800-tallet, hvor den første inddæmning blev foretaget, og industrihavnen blev etableret. Den tunge industri er med tiden blevet mindre, imens området er blevet større og større i takt med inddæmning af overskudsjord.

I 2009 blev strukturplanen for Nordhavn vedtaget ved et konkurrenceprojekt. Forslaget byggede på idéen om at omdanne de industrielle havneområder til fremtidens bæredygtige by. Mange af de gamle industribygninger i indre Nordhavn står tilbage og har fået et nyt liv, der er med til at skabe en identitet sammen med den nye bebyggelse.

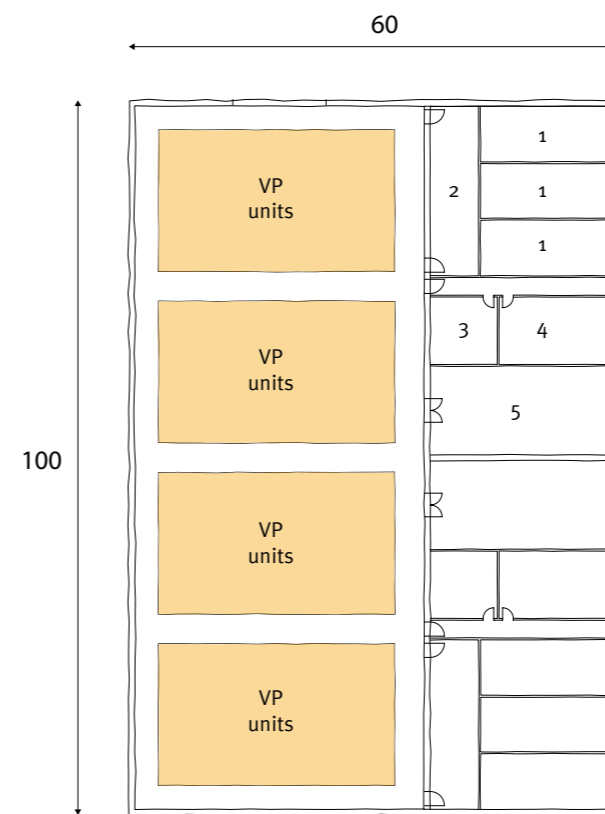
I 2014 blev den første krydstogtterminal indviet. Sidenhen er der kommet to til og den fjerde er under planlægning. Det er tiltænkt, at containerhavnen vil blive flyttet til ydre Nordhavn.

Ydre Nordhavn under bebyggelse og fremtidig containerhavn





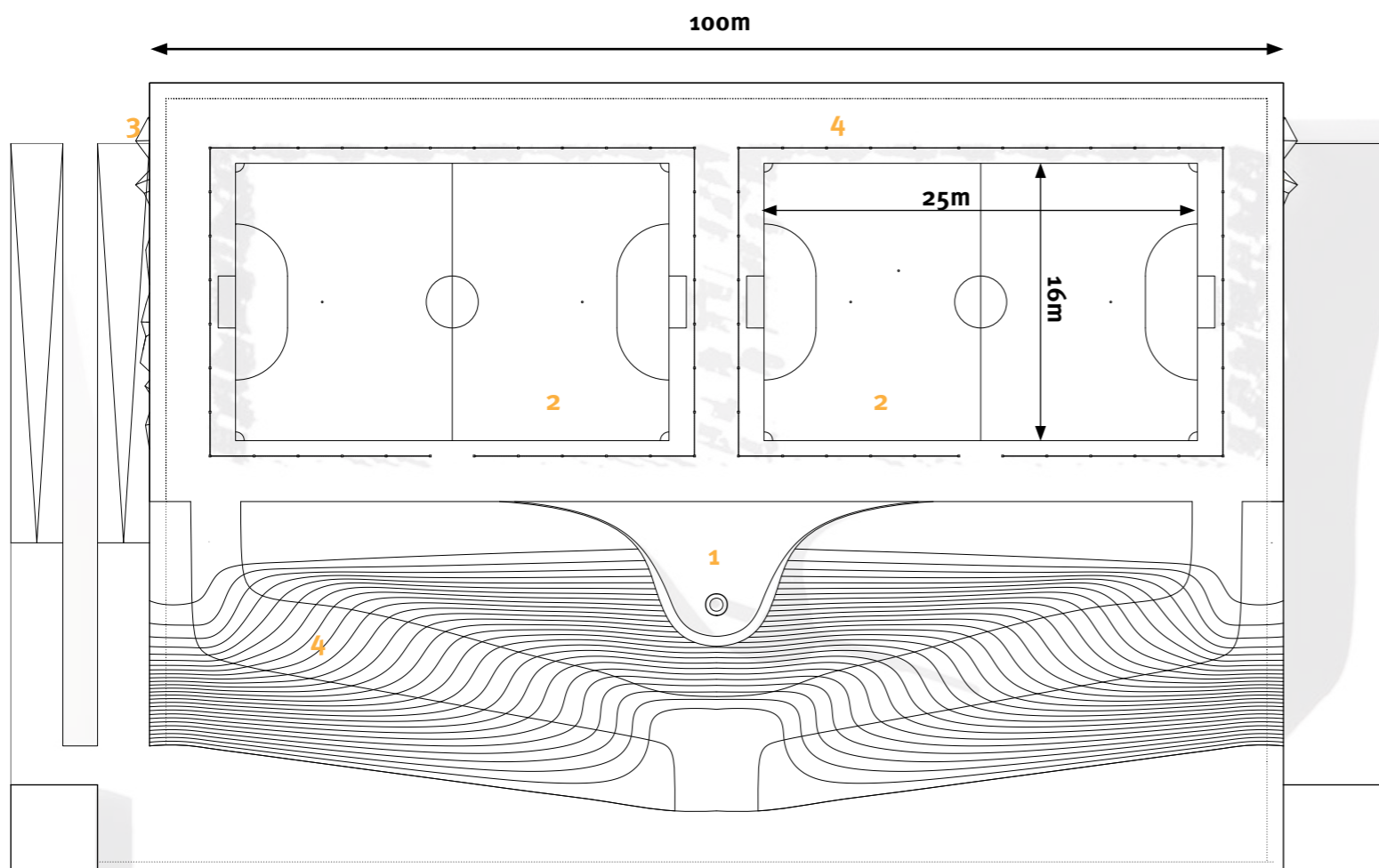
Størrelsesforhold for teknikbygning med behov for 100-200 MW



Funktionsforhold for bygningen

- 1 traforum
- 2 eltavlerum
- 3 personale
- 4 disponible rum
- 5 værksted

Med behov for 100-200 MW kræves en teknikbygning af en vis mængde. Arketypen er baseret på en bygning på 6000 m² og et udvendigt areal på 4000 m². Dette vil samlet opfylde behovet.



Situationsplan

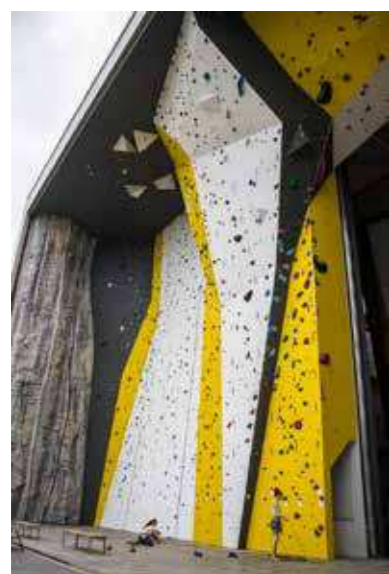
Varmepumpeanlæg på 6000 m² med str. 100x60m. Boldbanerne er 7-mands.

- 1 skorsten
- 2 boldbaner
- 3 klatrevæg
- 4 stiforløb

En bygning på 6000 m² har et stort grundareal. Det er oplagt i et bymiljø at gøre brug af tagfladen.

Vi har taget udgangspunkt i en bygning, hvor formen følger funktionen. Tagfladen er sedumtag, der er indrettet med boldbaner og plads til ophold. Bygningsfacaden er indrettet med klatrevæg, og imellem disse vinduer er der indkig til teknikken.

Fra havet vil den høje hvide facade i kombination med det grønne skabe associationer til de mange klinter, der findes over hele Danmark, men som ellers ikke kan ses i Københavnsområdet.



Referencer for hvordan evt. facaden og taget kan udformes, med klatring, grønt tag eller boldbaner



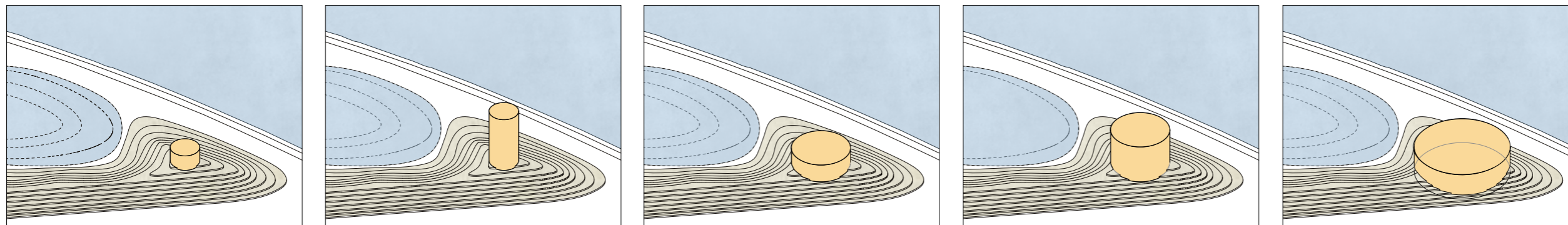




Arketype 5

Varmeakkumuleringsstank (VAK)





Diameter
20

Højde
20

Volume
6283 m³

Diameter
20

Højde
50

Volume
15708 m³

Diameter
40

Højde
20

Volume
25.132 m³

Diameter
40

Højde
35

Volume
43.982 m³

Diameter
65

Højde
20

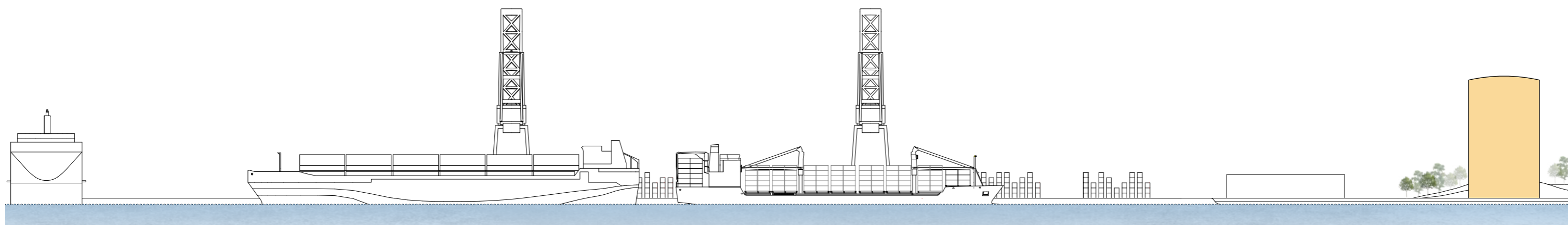
Volume
66.366 m³

ARKETYPE 5 tager udgangspunkt i en større VAK i et bymiljø med høje infrastruktur, derfor kigges på placering ved containerhavn. En VAK på ca. 60.000 m³ – svarende til 36m i diameter og med en højde på 60m – vil passe ind i containerhavns kontekst med kranerne og skibene.

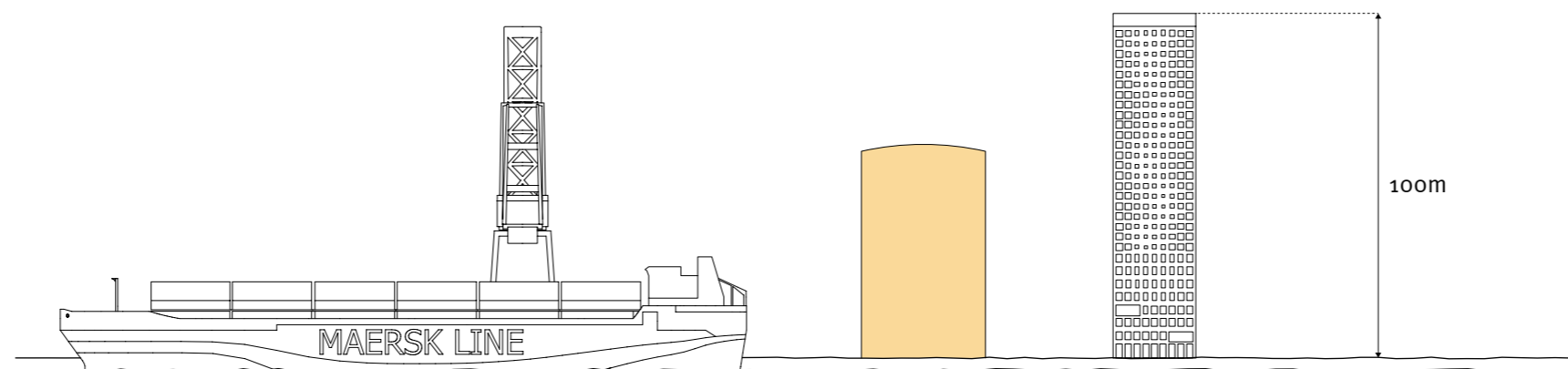
Der skal etableres en støjvold rundt om containerhavnen. Dette område kunne bruges til at integrere en eller flere VAK, så arealet udnyttes samtidig med, at støjskærmen forbedres.

En VAK med denne placering i kystlinjen vil med få greb kunne lede tankerne hen mod et fyrtårn og stå som et vartegn i indsejlingen til København.

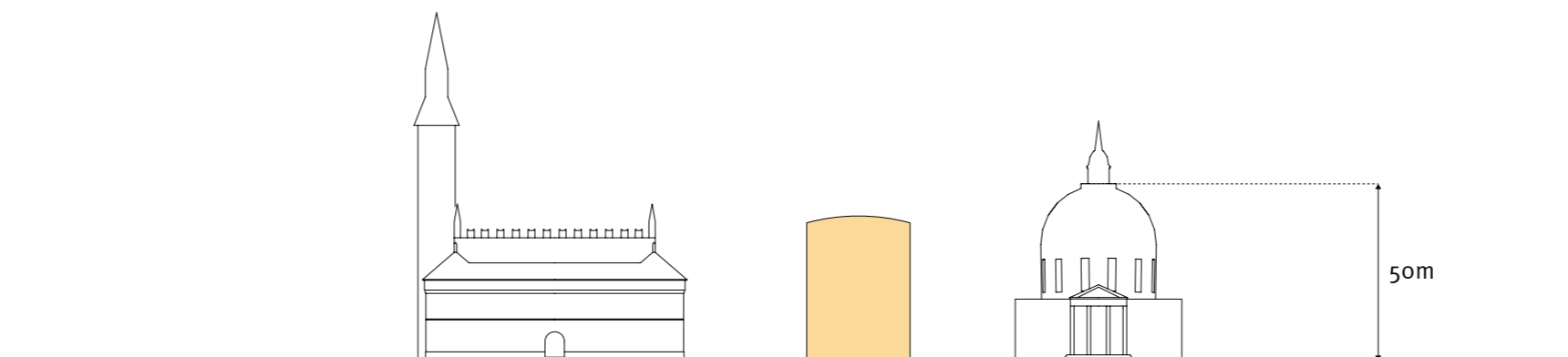
Volumenstudierne er foretaget på sitet med VAK'en ind i støjvolden.



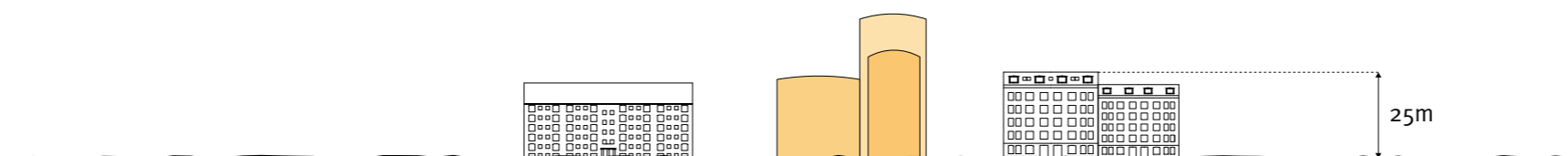
Snit med fremtidigt Ydre Nordhavn og VAK på 60.000 m³



VAK på 60.000 m³

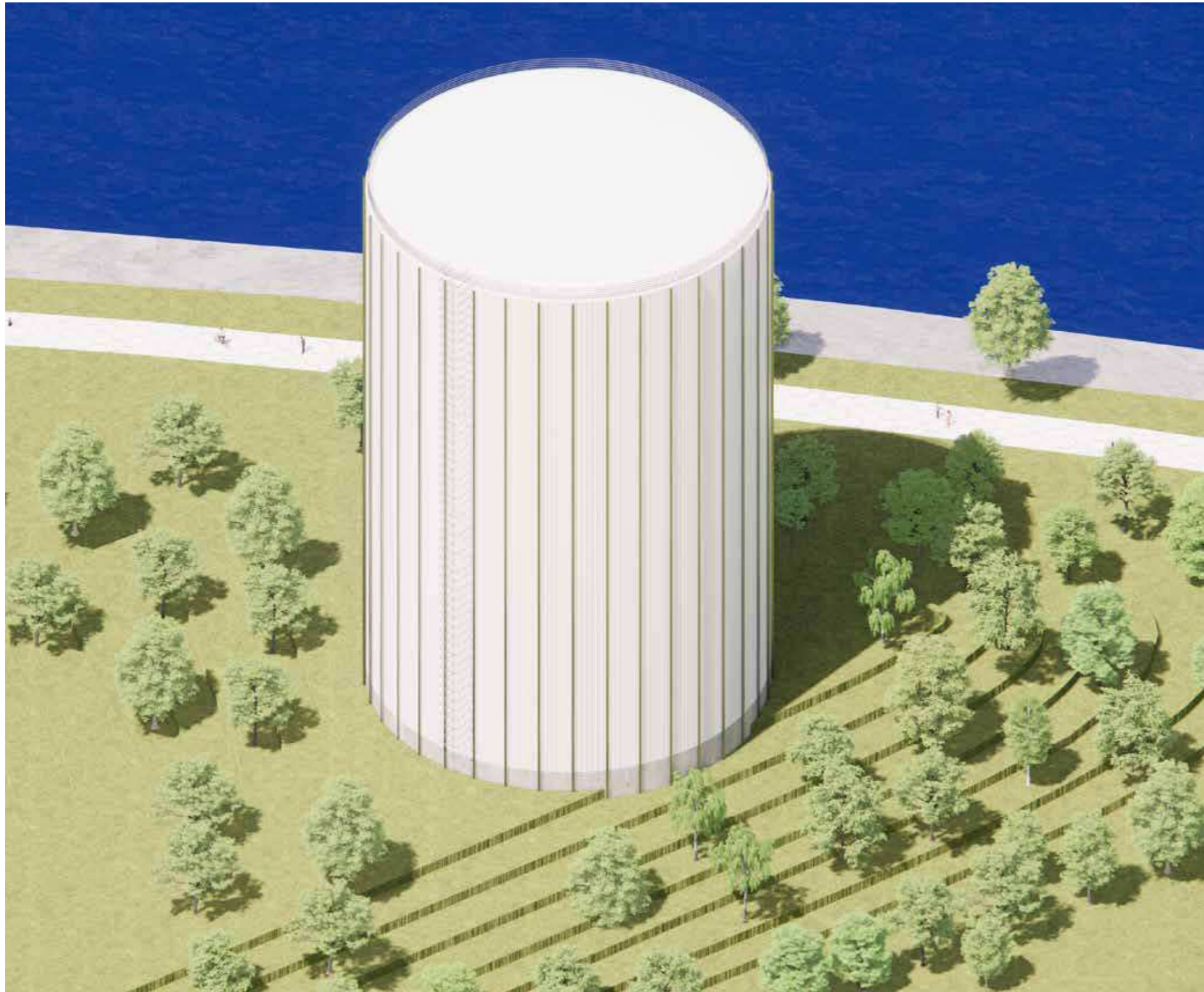


VAK på 30.000 m³



VAK samlet på 30.000 m³

Tre størrelser på VAK placeret i tre forskellige kontekst, for at få indtryk i skala. I storskala er konteksten i nærheden af 100m i højde, og derimod i lilleskala er højden nærmere 25m. Alt efter kontekst kan der arbejdes med forskellige størrelser på VAK.

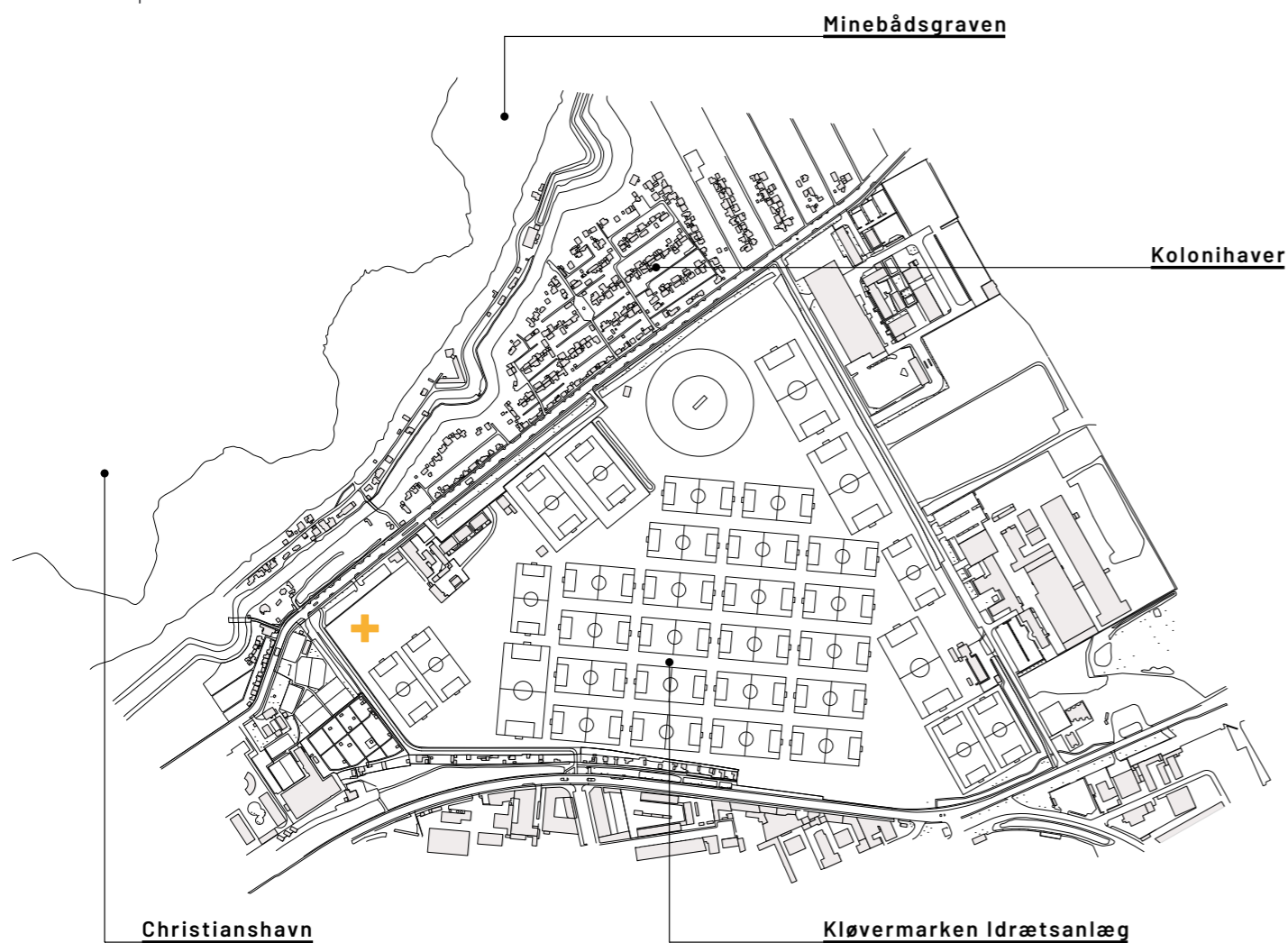


Arketype 6

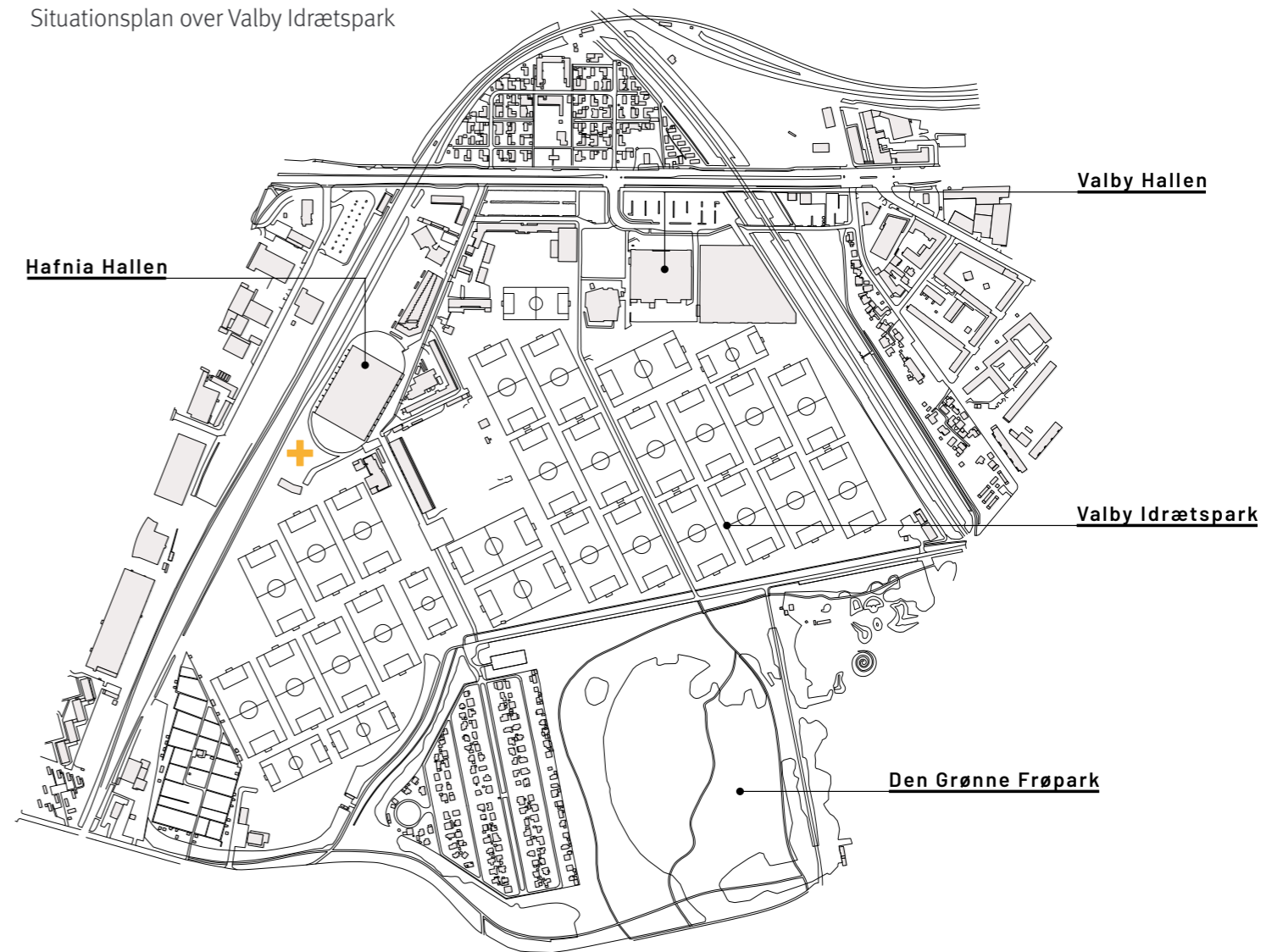
Varmeakkumuleringsstank (VAK)



Situationsplan over Kløvermarken

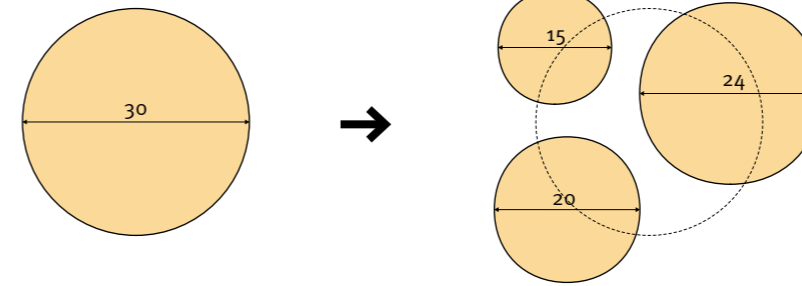
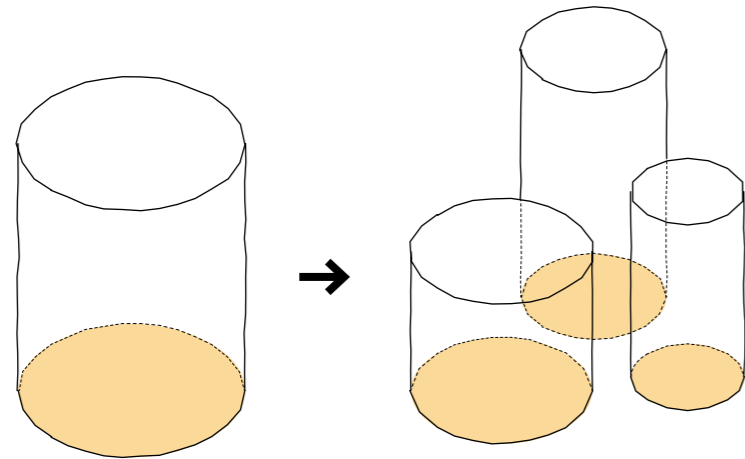


Situationsplan over Valby Idrætspark



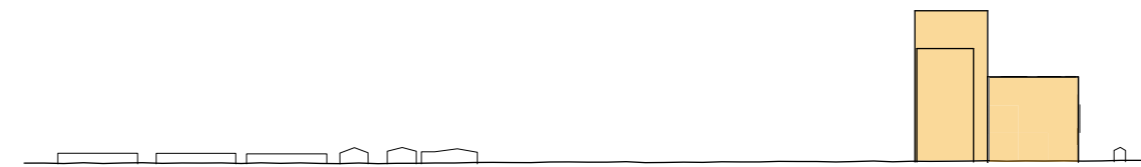
ARKETYPE 6 tager udgangspunkt i integration af VAK'er i et rekreative miljø. VAK'er er pladskrævende og fører til skygge mm. hvilket er svært at integrere ved siden af boliger. Vi har udvalgt disse to hypotetiske placeringer for at se nærmere på, hvordan et hypotetisk forslag for VAK i en idrætsanlæg kan se ud. Det har været sigende at VAK'erne blev en forlængelse af anlæggenes funktion som idræt.

1+2: Kløvermarken ud mod København centrum og Øresund
3: Valby Idrætspark



Vi har taget udgangspunkt i tre mindre VAK'er for at nedskalere volumen, så de passer til kontekstens varierende forhold. Det er inddragende at opleve flere og mindre volumener end ét ud fra en forbigåendes synspunkt.

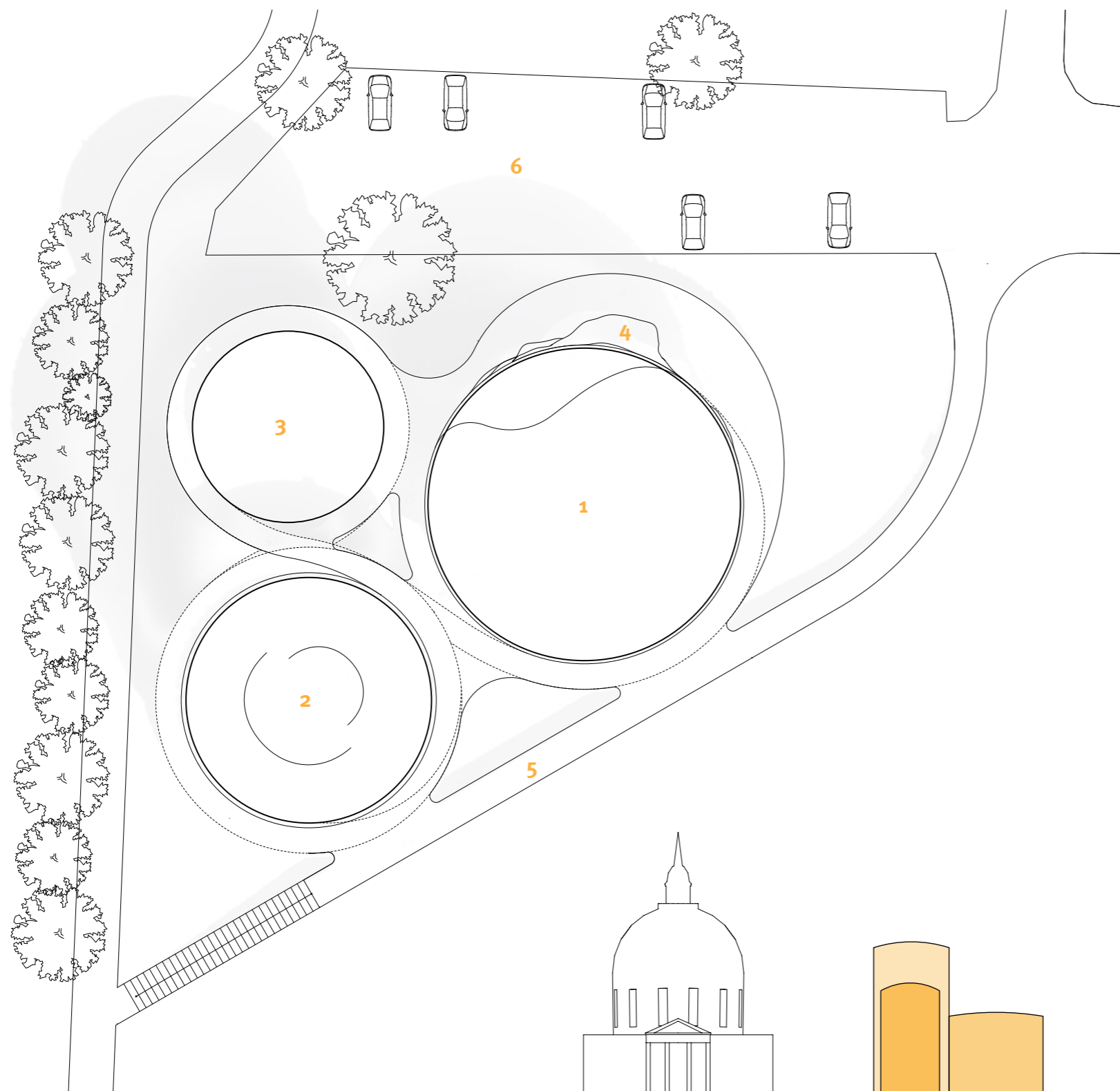
Akkumuleringstankene vil være eksponeret i konteksten, og derfor er det nødvendigt at arbejde med skala og funktion, hvor VAK'erne kan blive et inviterende element i bybilledet.



Snit med VAK'en placeret ved siden af klubhusene



Referencer af siloer med supplerende funktion



Plan

- 1 10.175 m³
- 2 11.650 m³
- 3 5.300 m³
- 4 klatrevæg
- 5 gangforløb
- 6 parkering

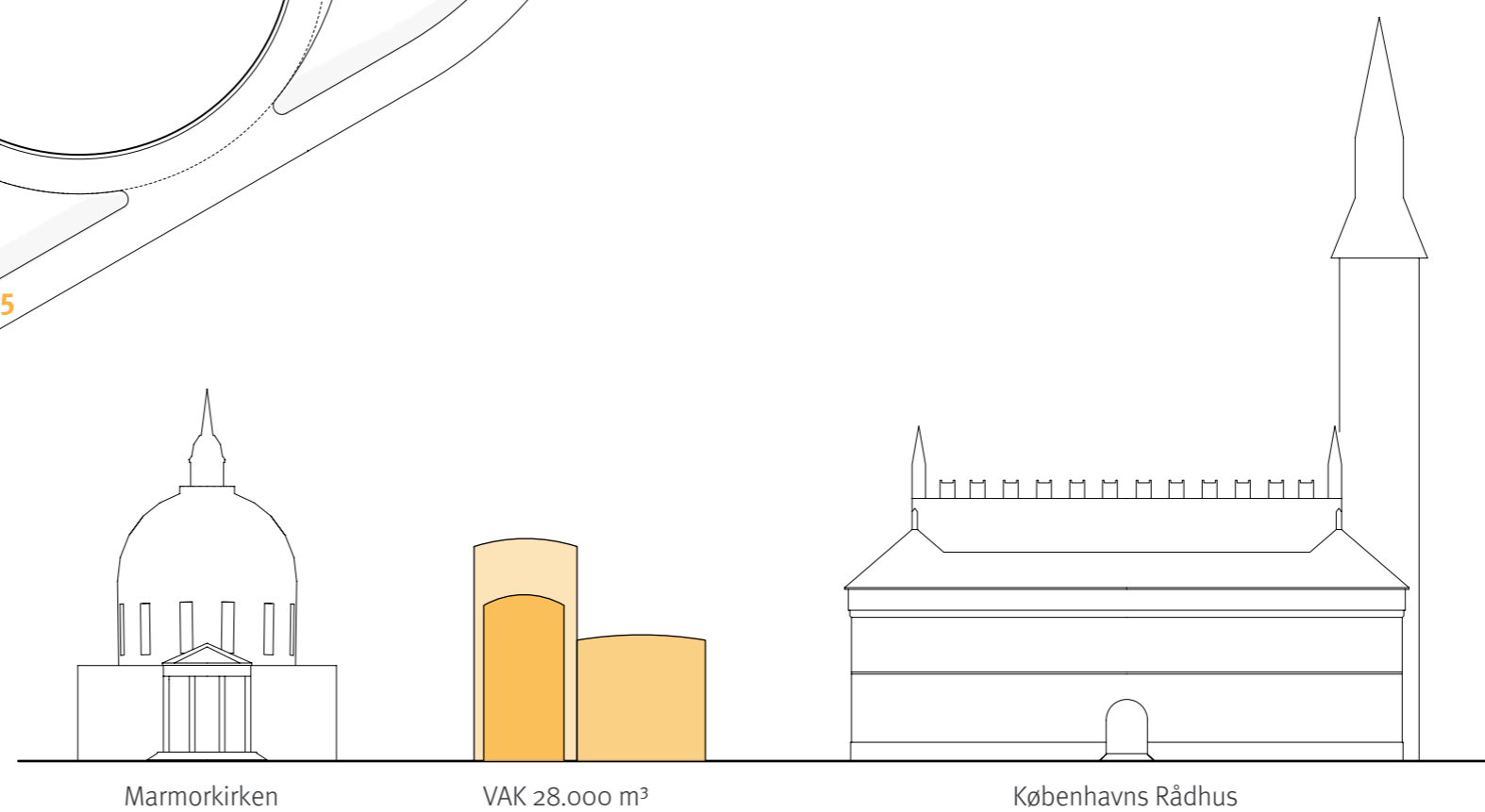
De tre VAK'er har forskellige udtryk og karakterer, der vil appellere til Københavns mangfoldighed.

Hver VAK iagttages på hver sin vis med afvigende funktion. VAK 1 er indrettet med en klatrevæg, der vil passe naturligt ind på idrætsanlæggene som sportsaktivitet. VAK 2 er beplantet på facaden, hvilket vil passe naturligt til områdernes frydende natur.

De tre VAK'er er forbundet via snoede gangforløb, hvorfra anlægget, funktionerne og byen kan iagttages.

Sikkerhed

Det bør undersøges nærmere hvorvidt det sikkerhedsmæssigt er muligt med personadgang på VAK, og hvilke tekniske foranstaltninger det i givet fald vil kræve.



VAK'er placeret i bybilledet





