



## Geïntegreerd offshore aquacultuur windmolenpark ontwerp

Multi-aquacultuur in een offshore windmolenpark Samen met onderzoekslaboratorium en museum

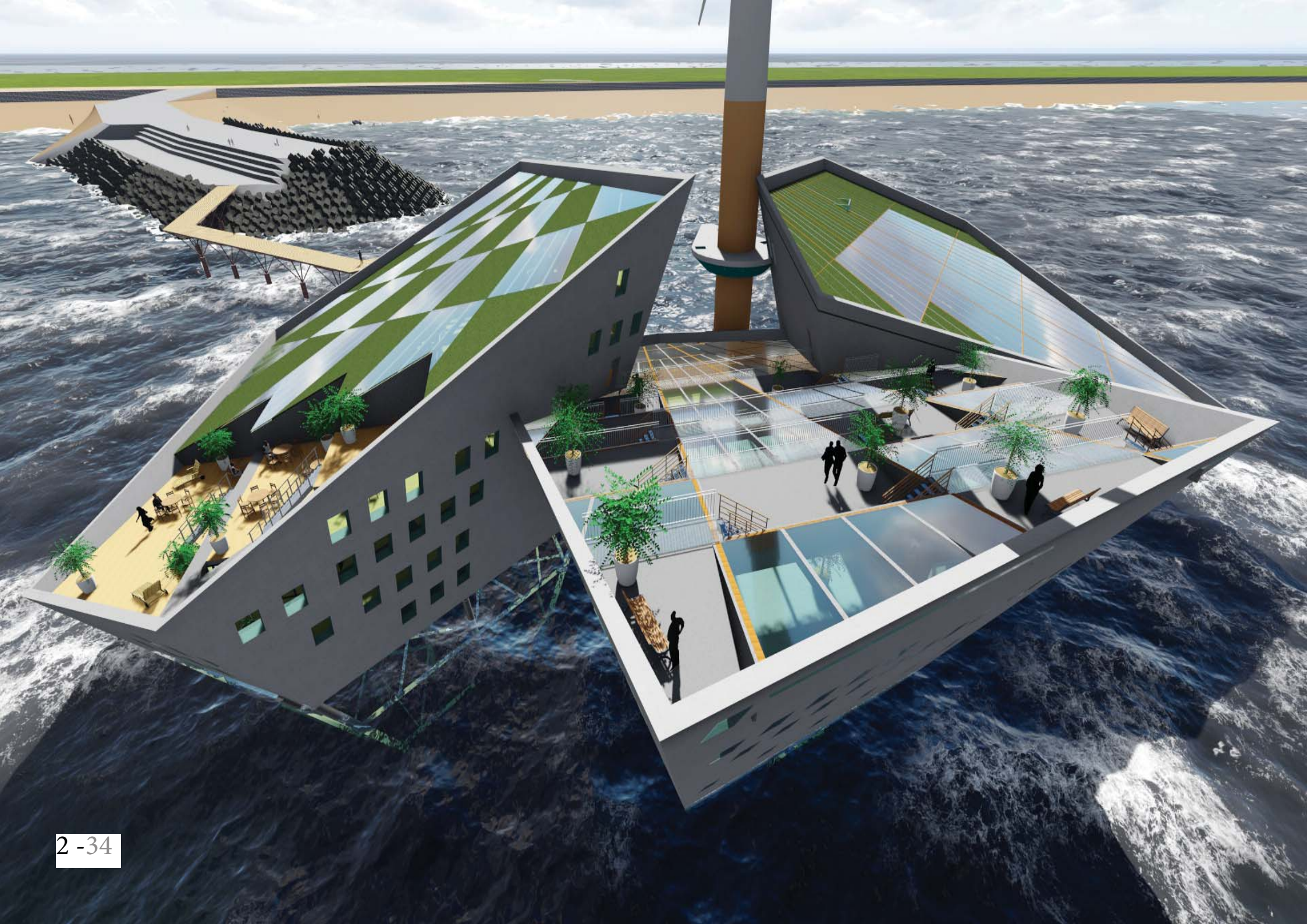
Documenten

P5- 06-07-2017  
1558528

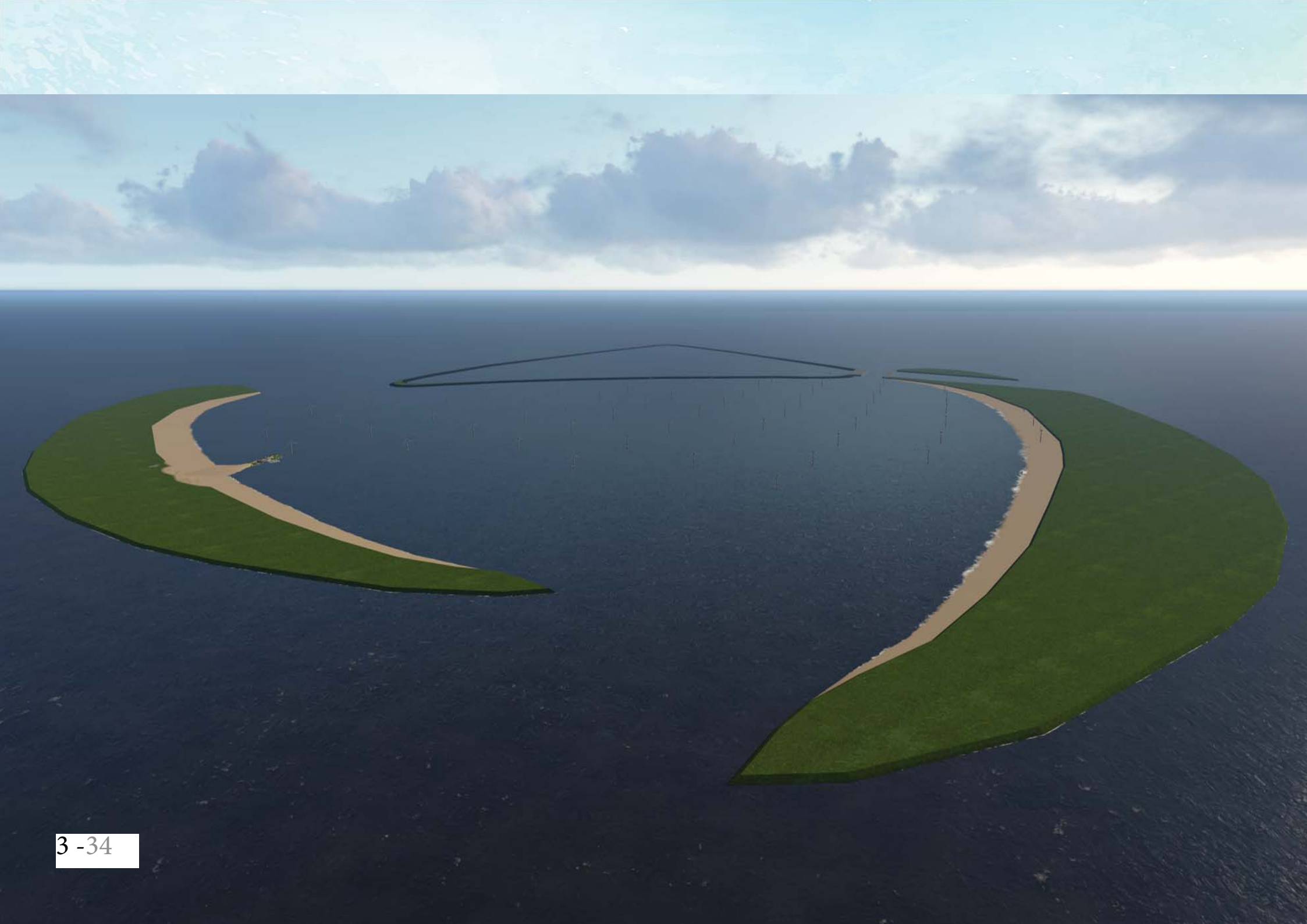
Robert Nottrot - Jan van de Voort - Dirk Dubbeling  
Jirka Berka

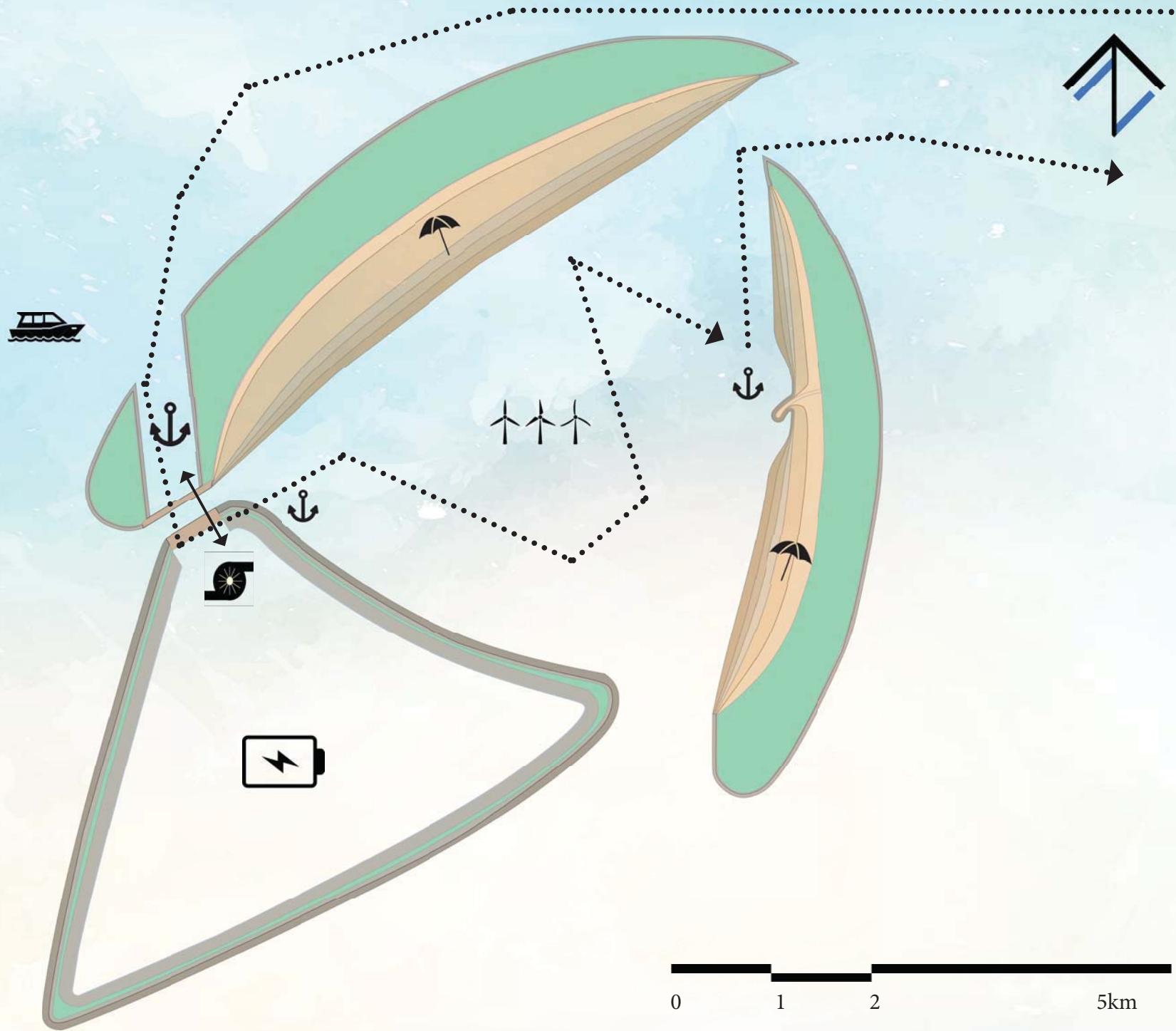
TU DELFT - FACULTY  
OF ARCHITECTURE AND  
THE BUILT ENVIRONMENT  
DELTA INTERVENTIONS













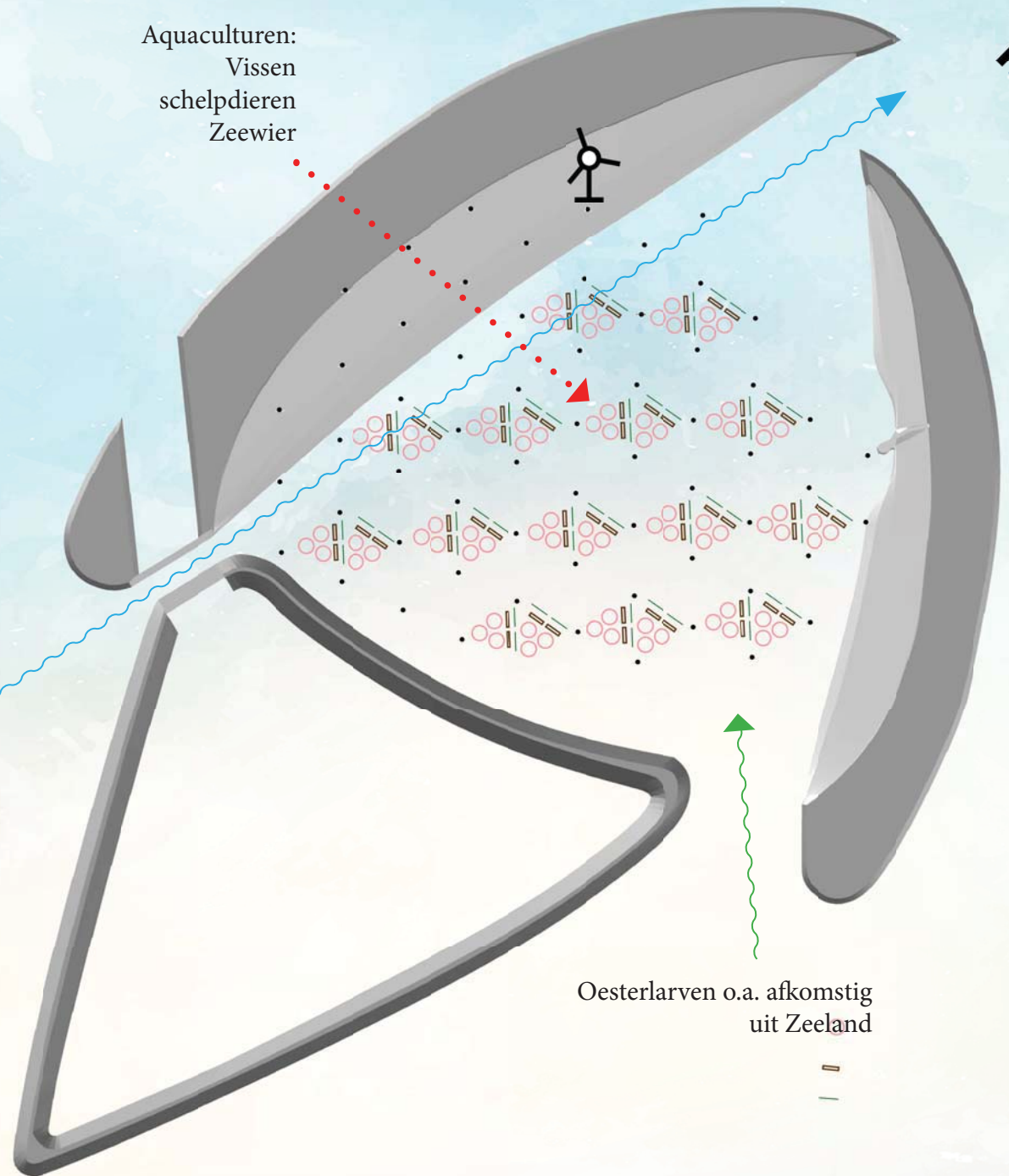
Aquaculturen:  
Vissen  
schelpdieren  
Zeewier



Oesterlarven



Stromingsrichting van de zee

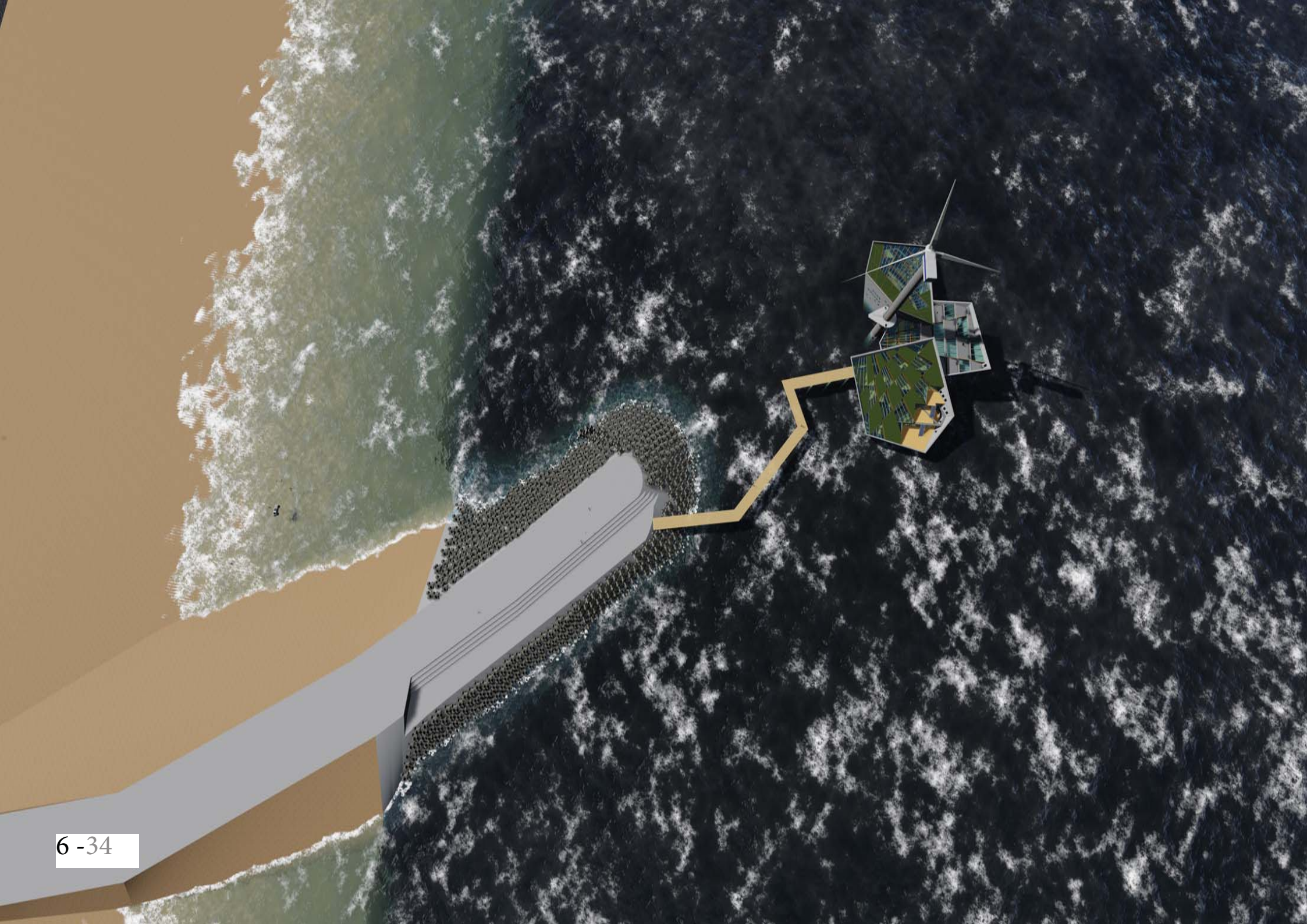


Oesterlarven o.a. afkomstig uit Zeeland

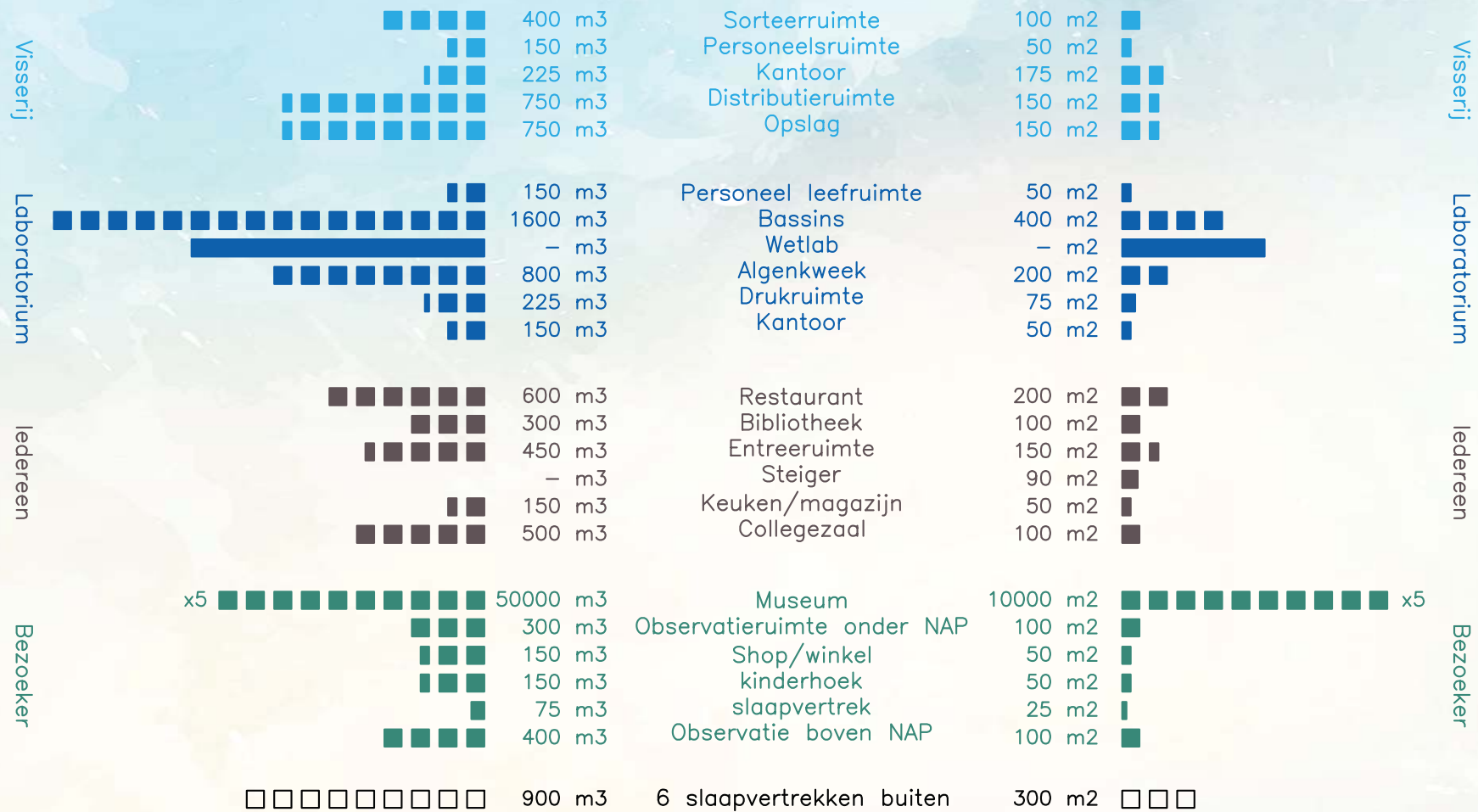
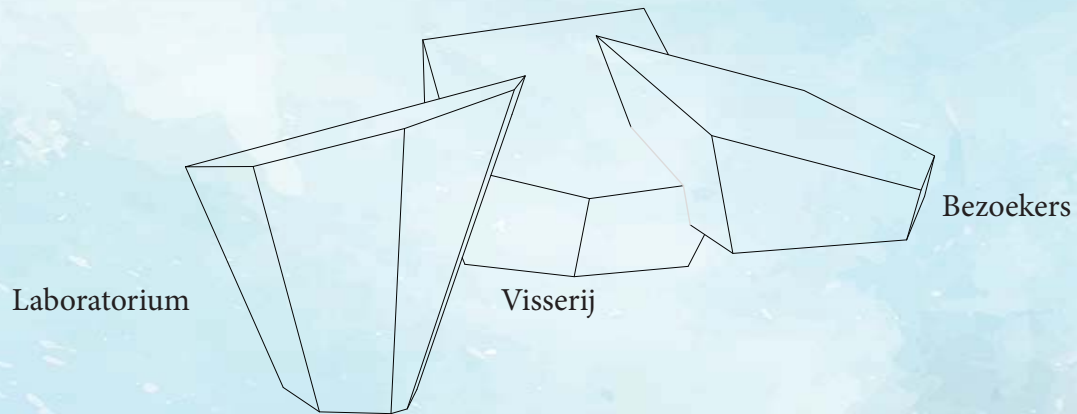


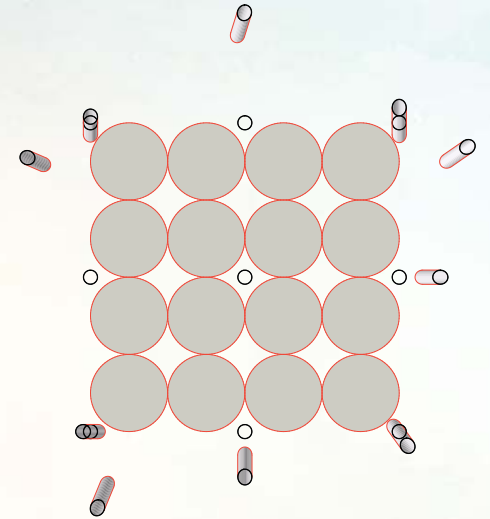
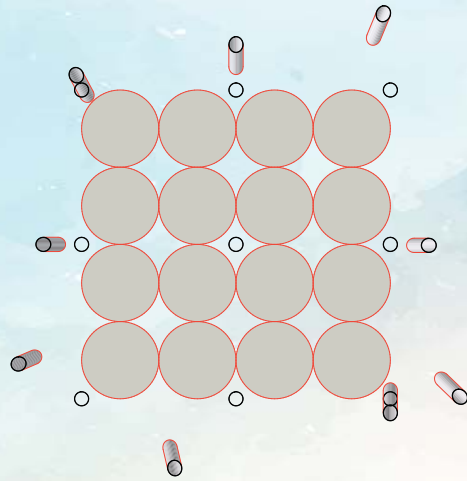
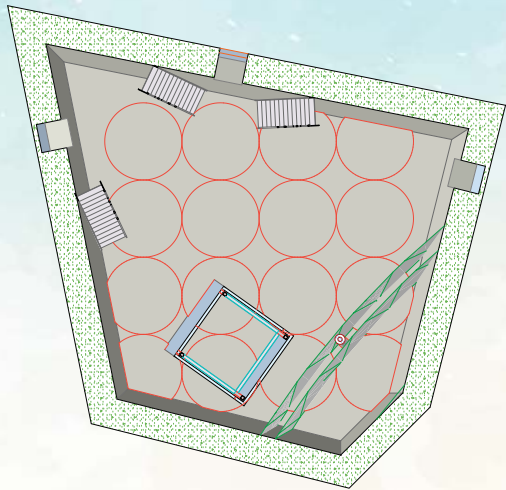
0 1 2 5km



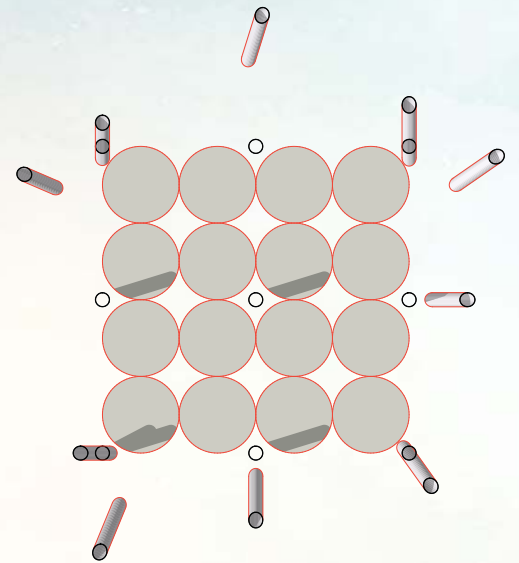
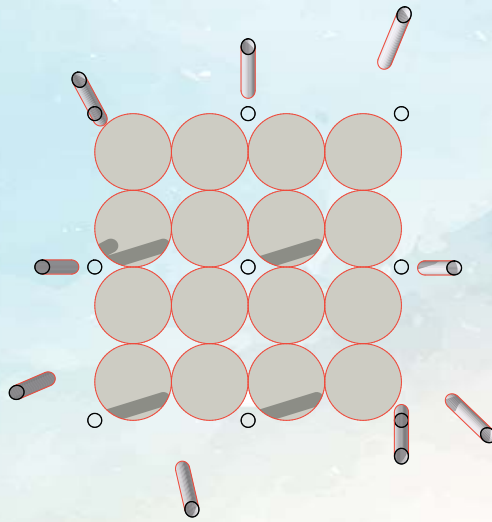
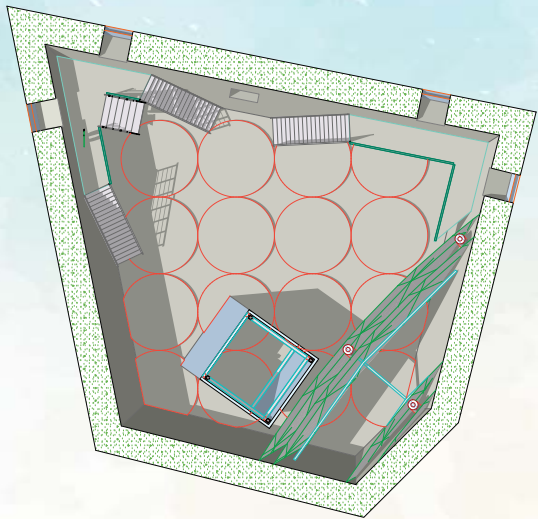


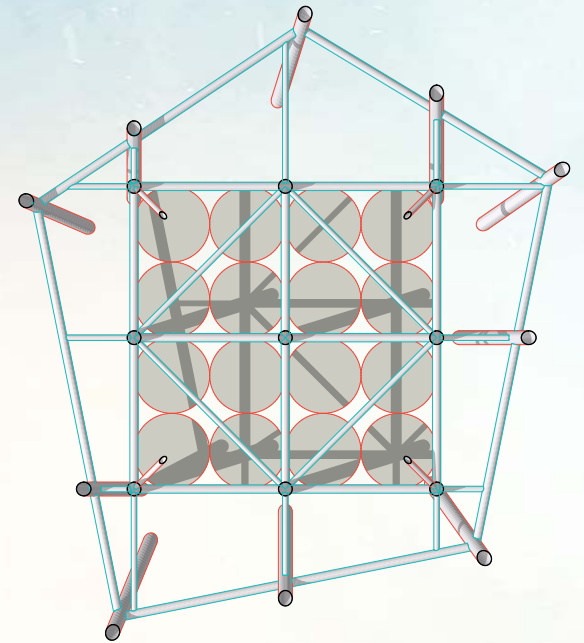
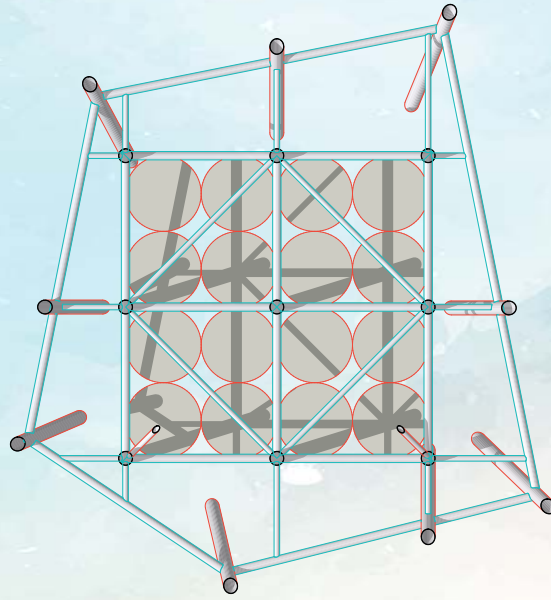
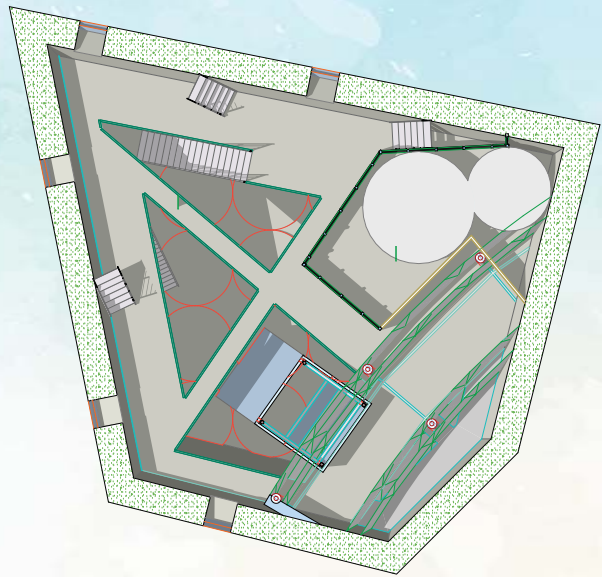




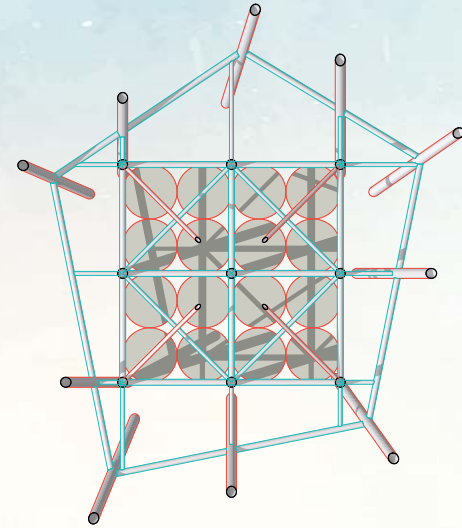
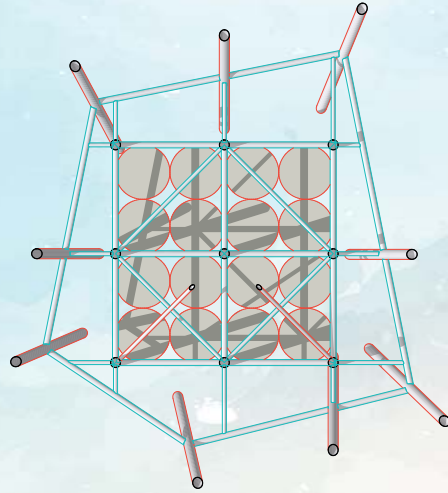
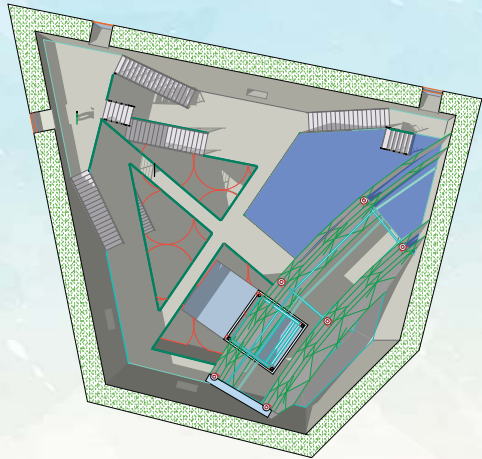


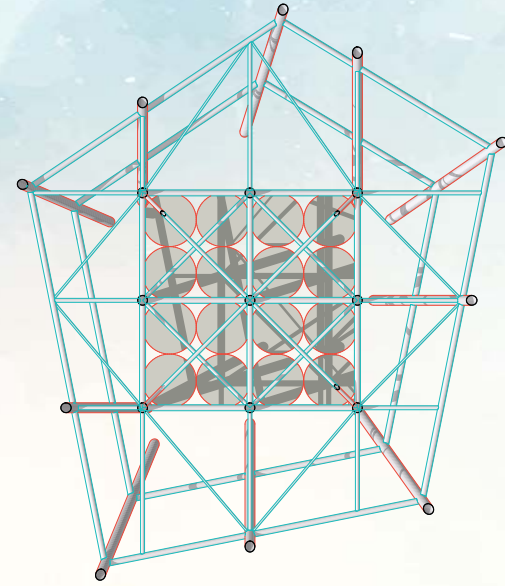
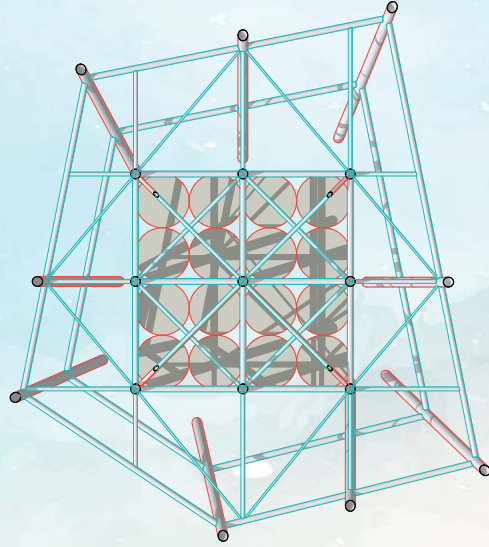
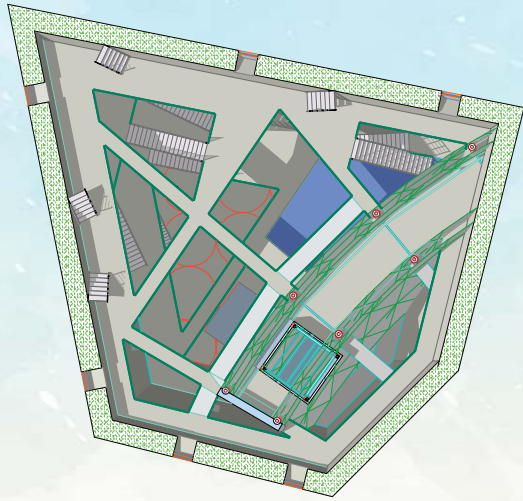




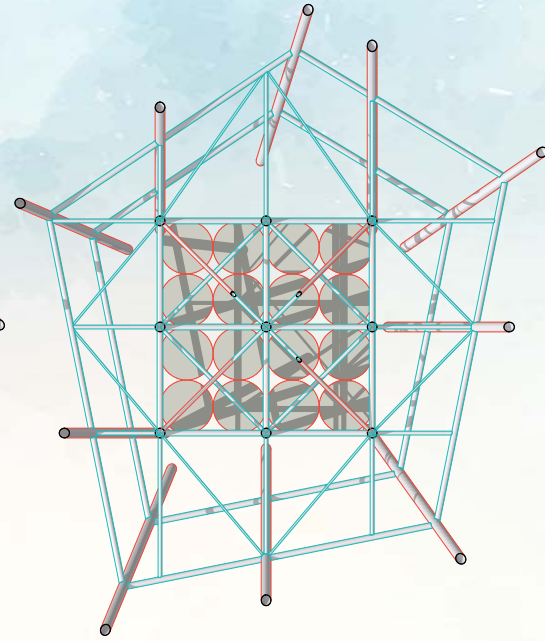
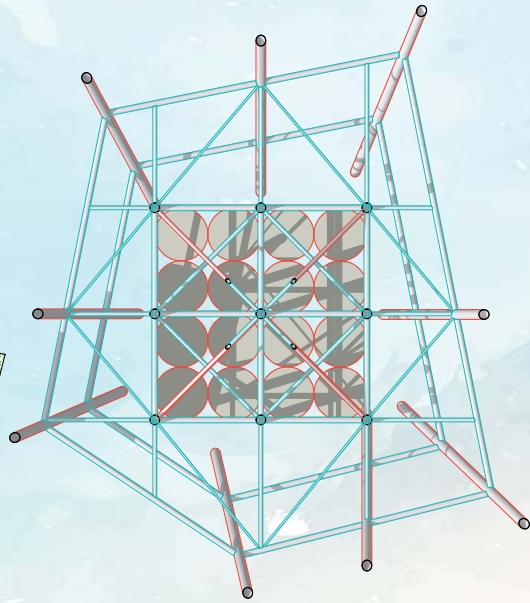
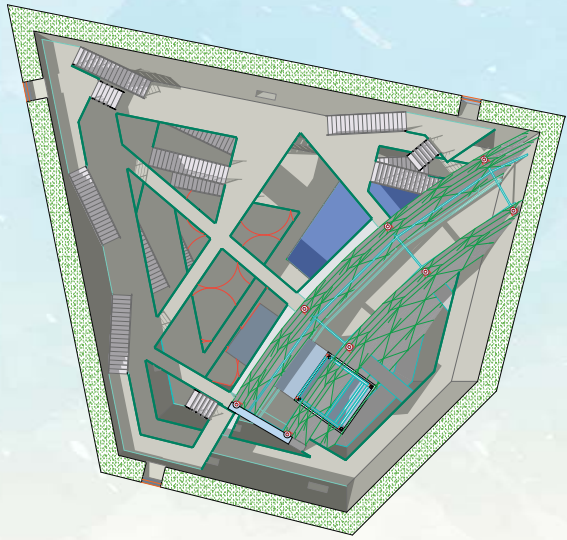


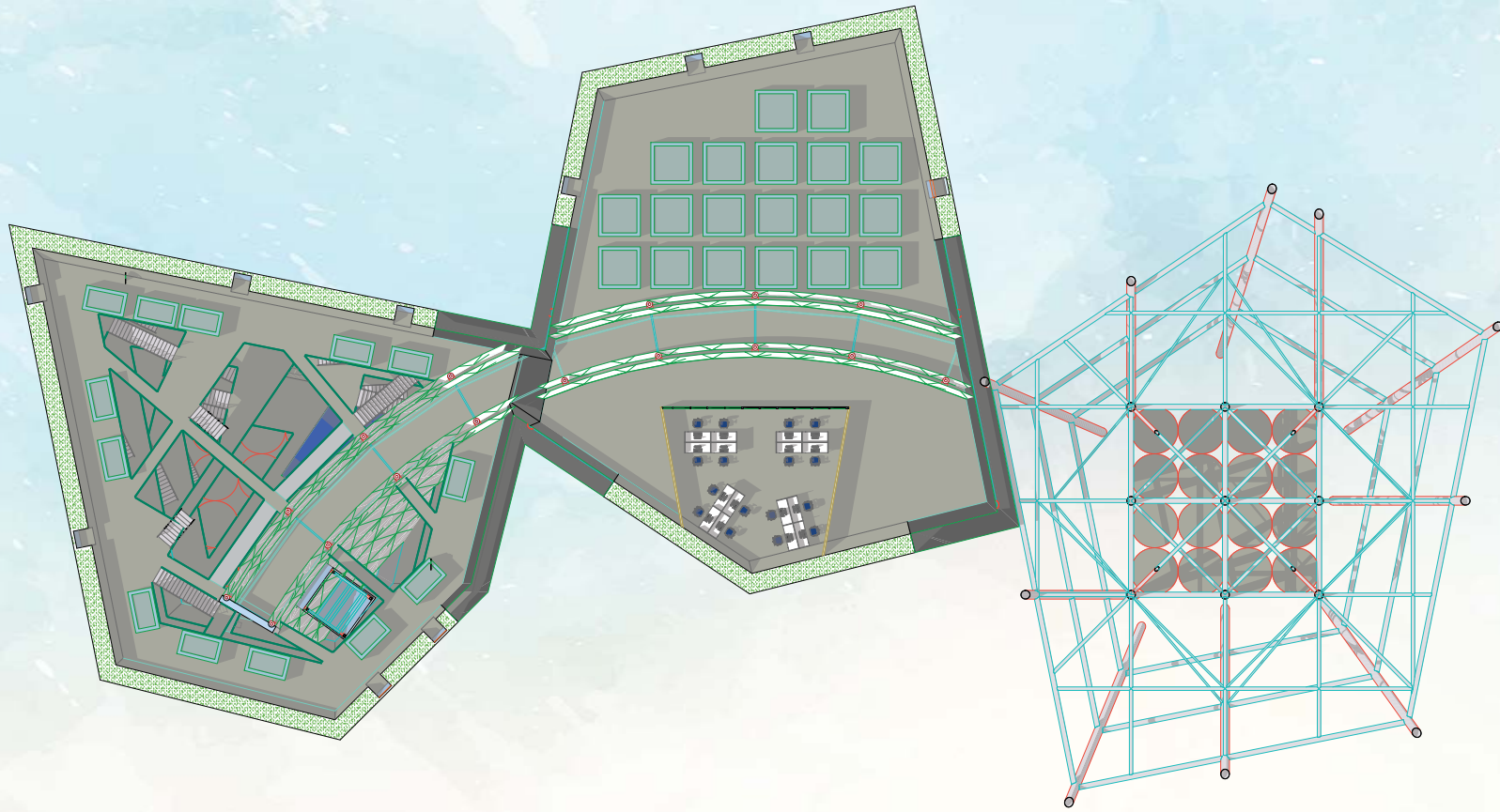


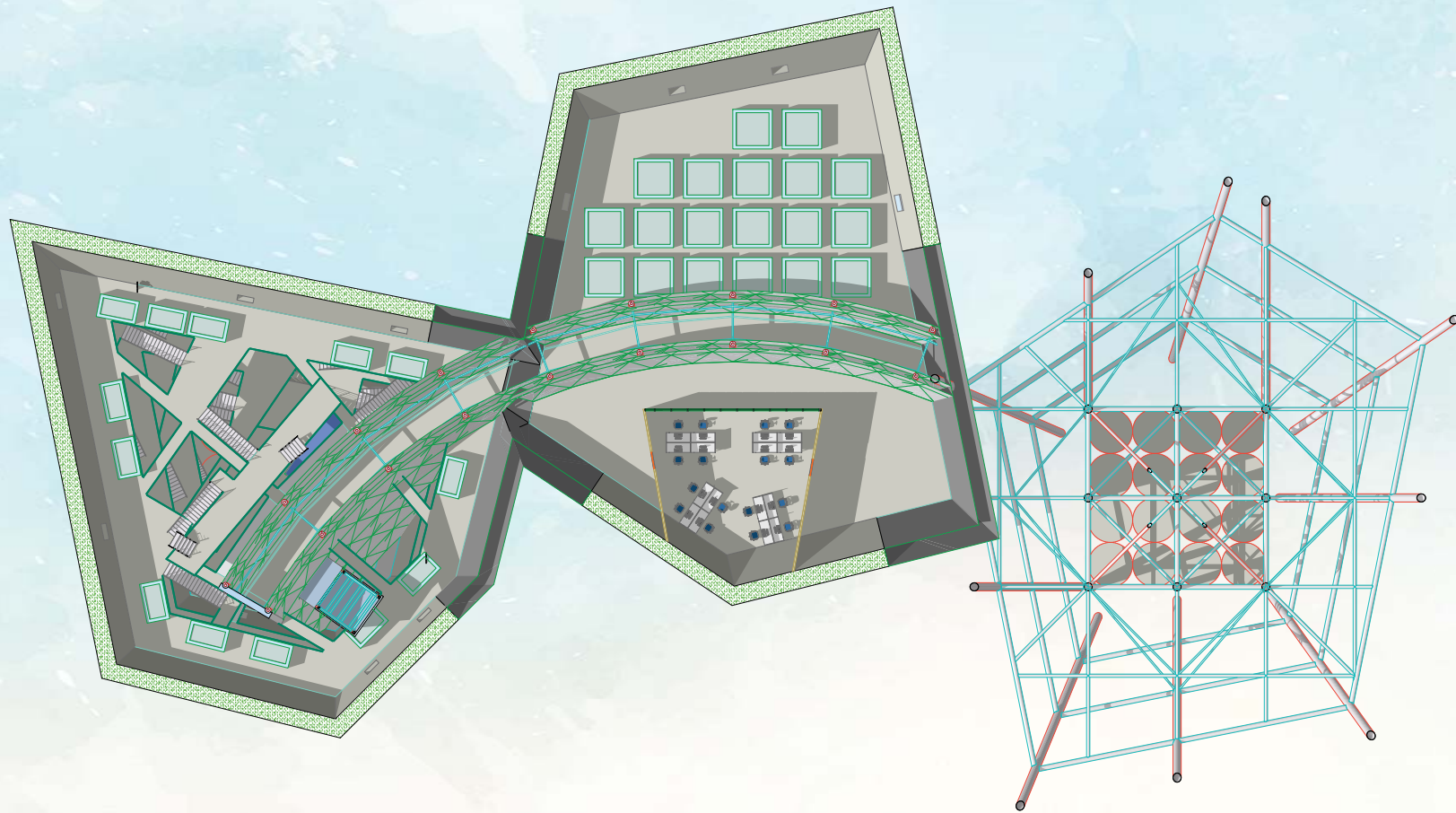




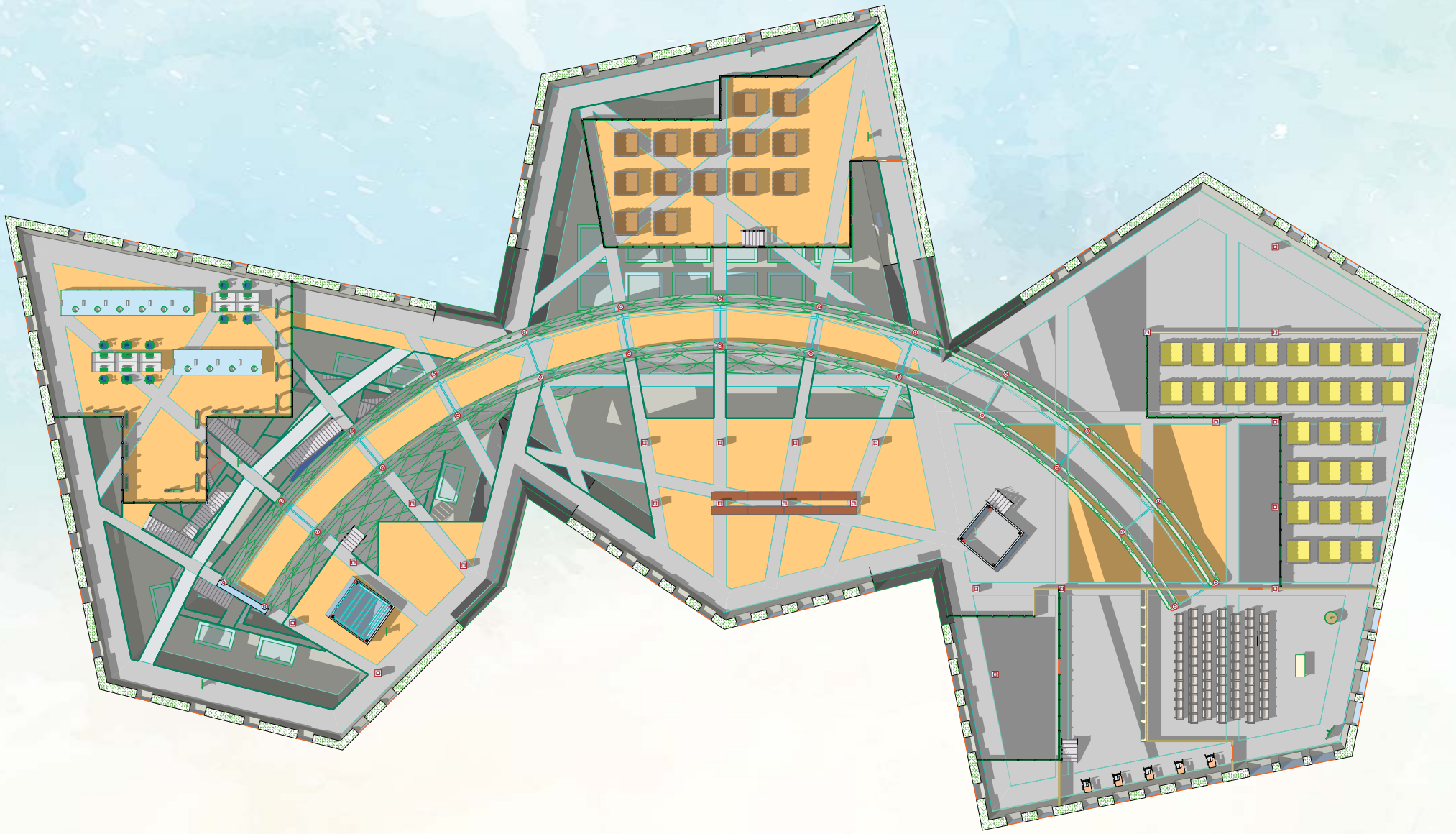


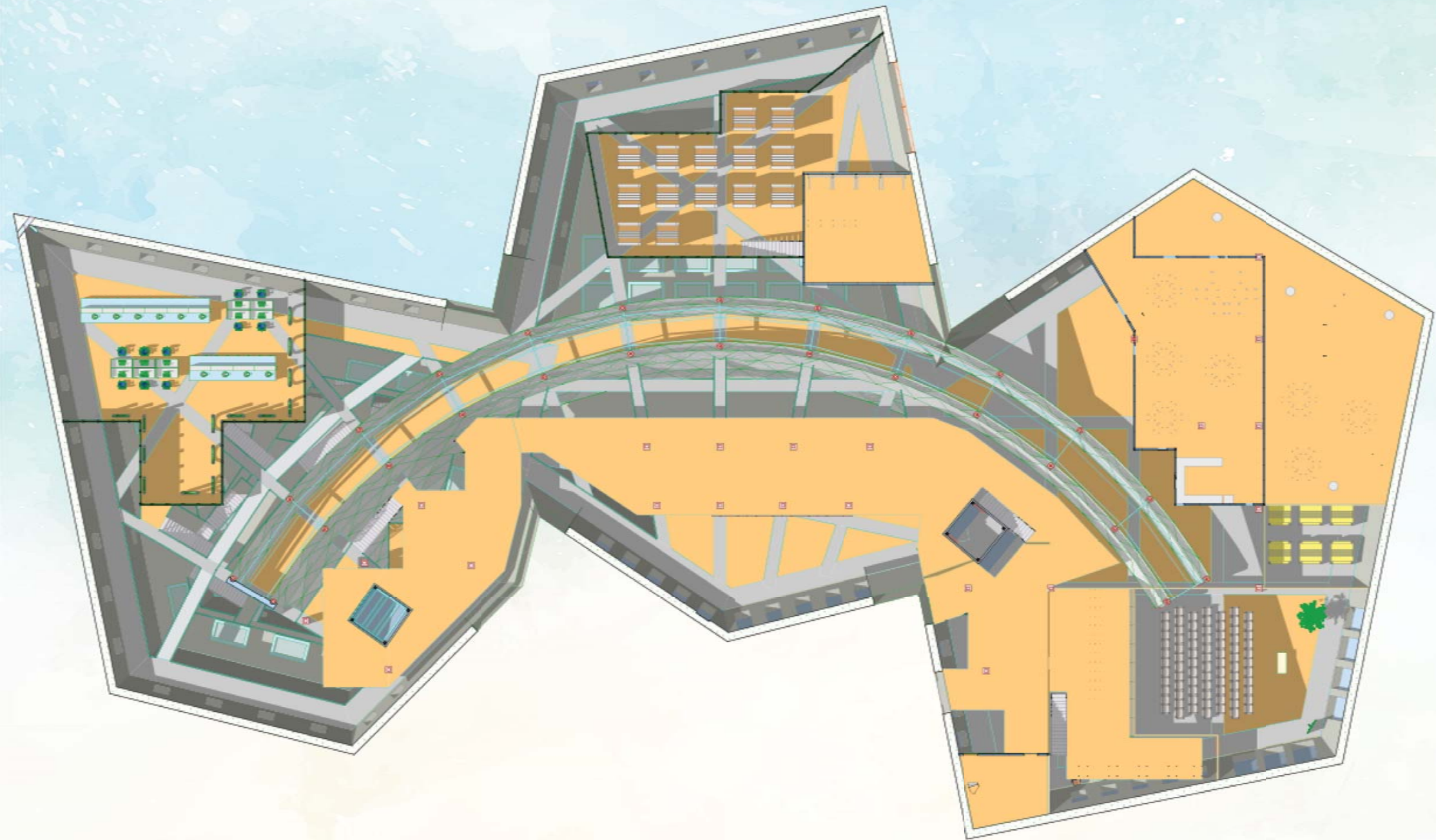




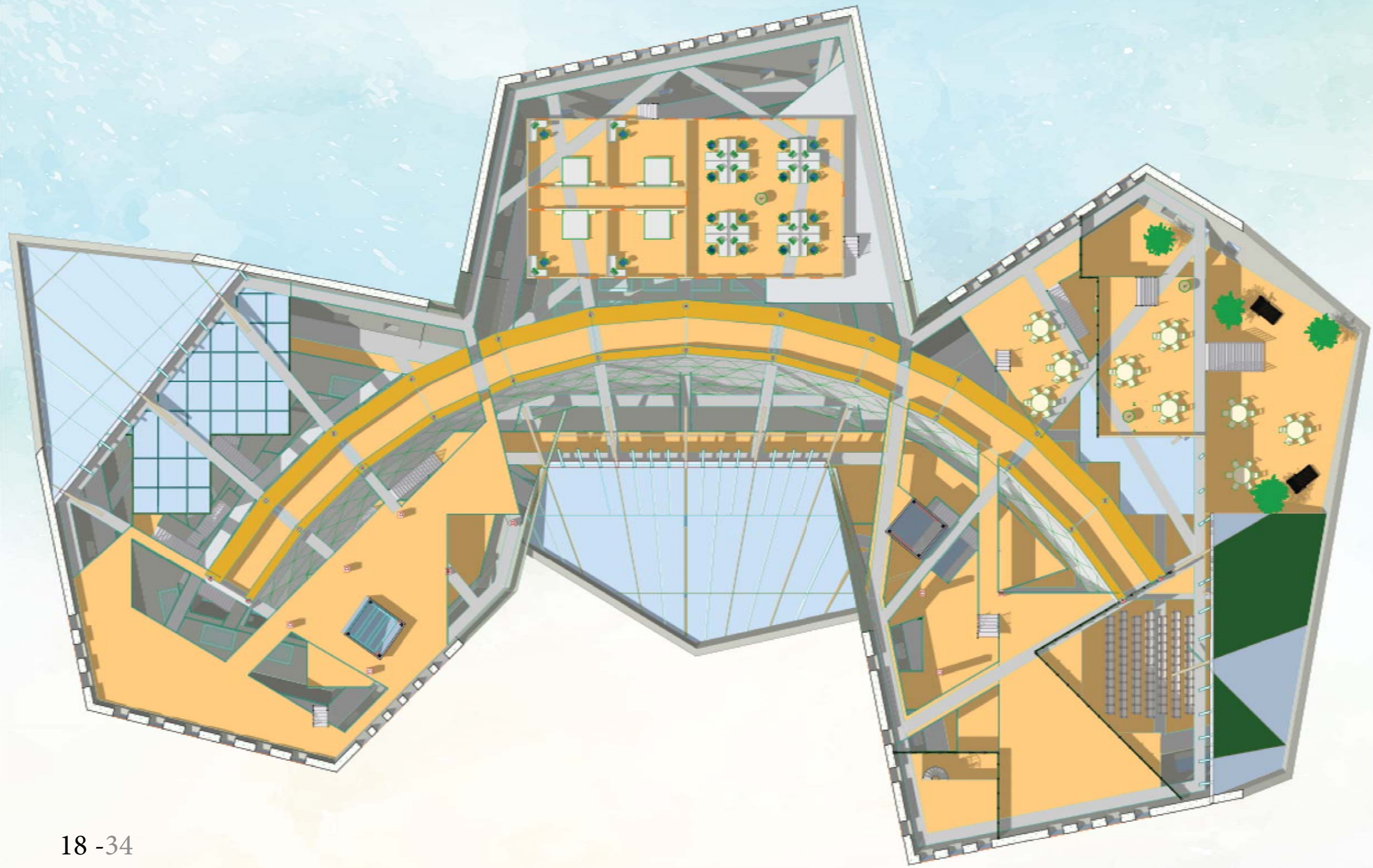




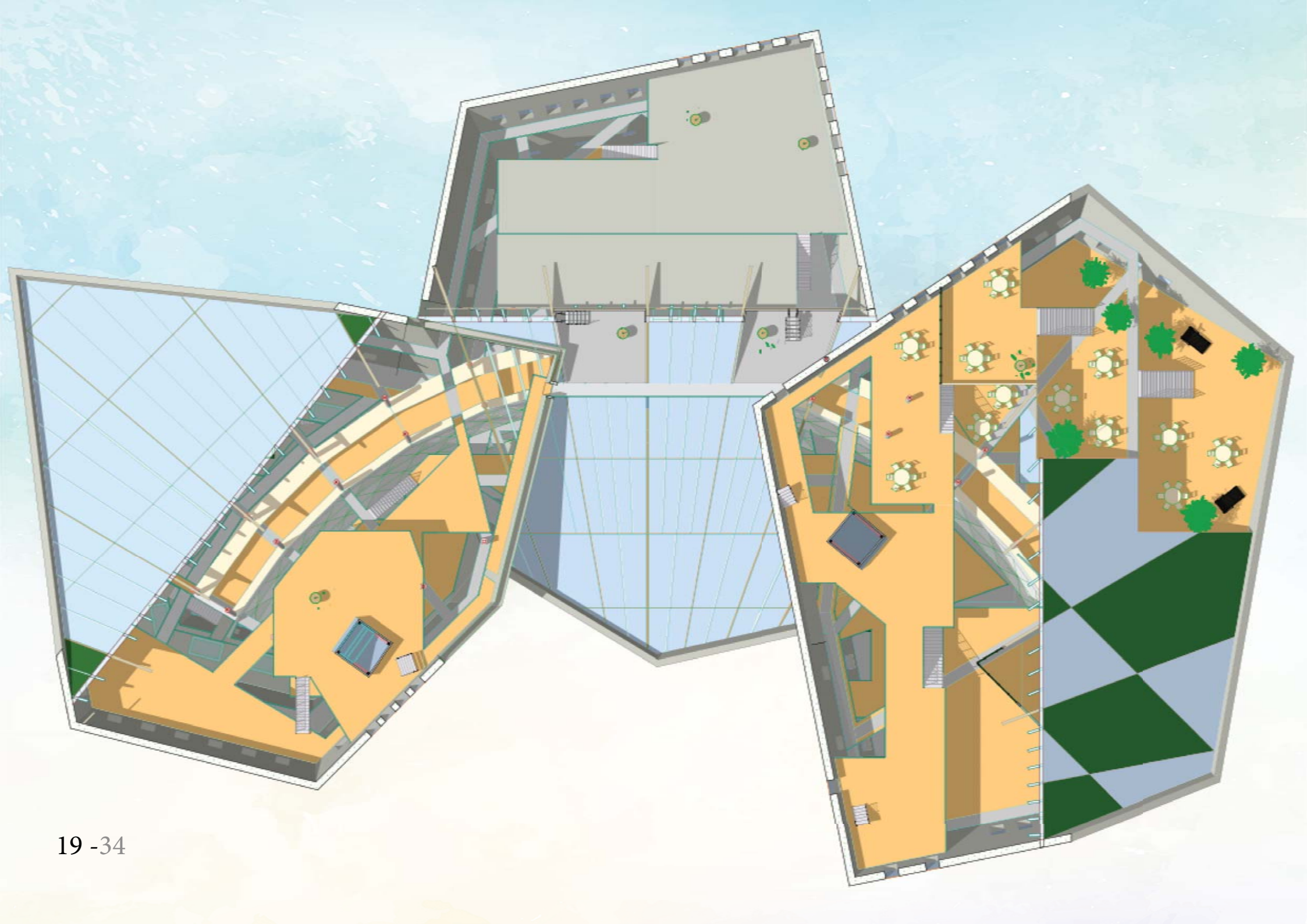


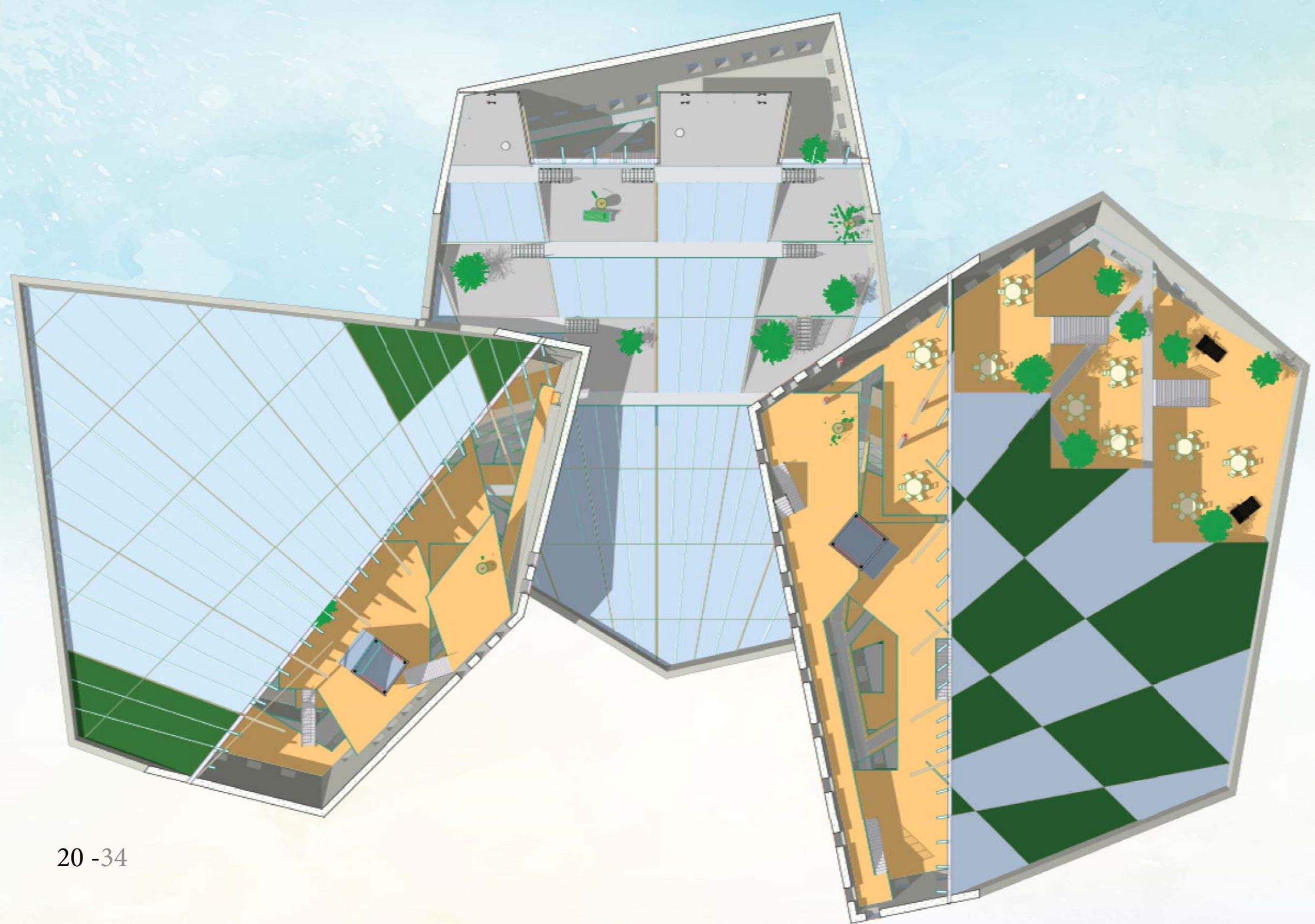




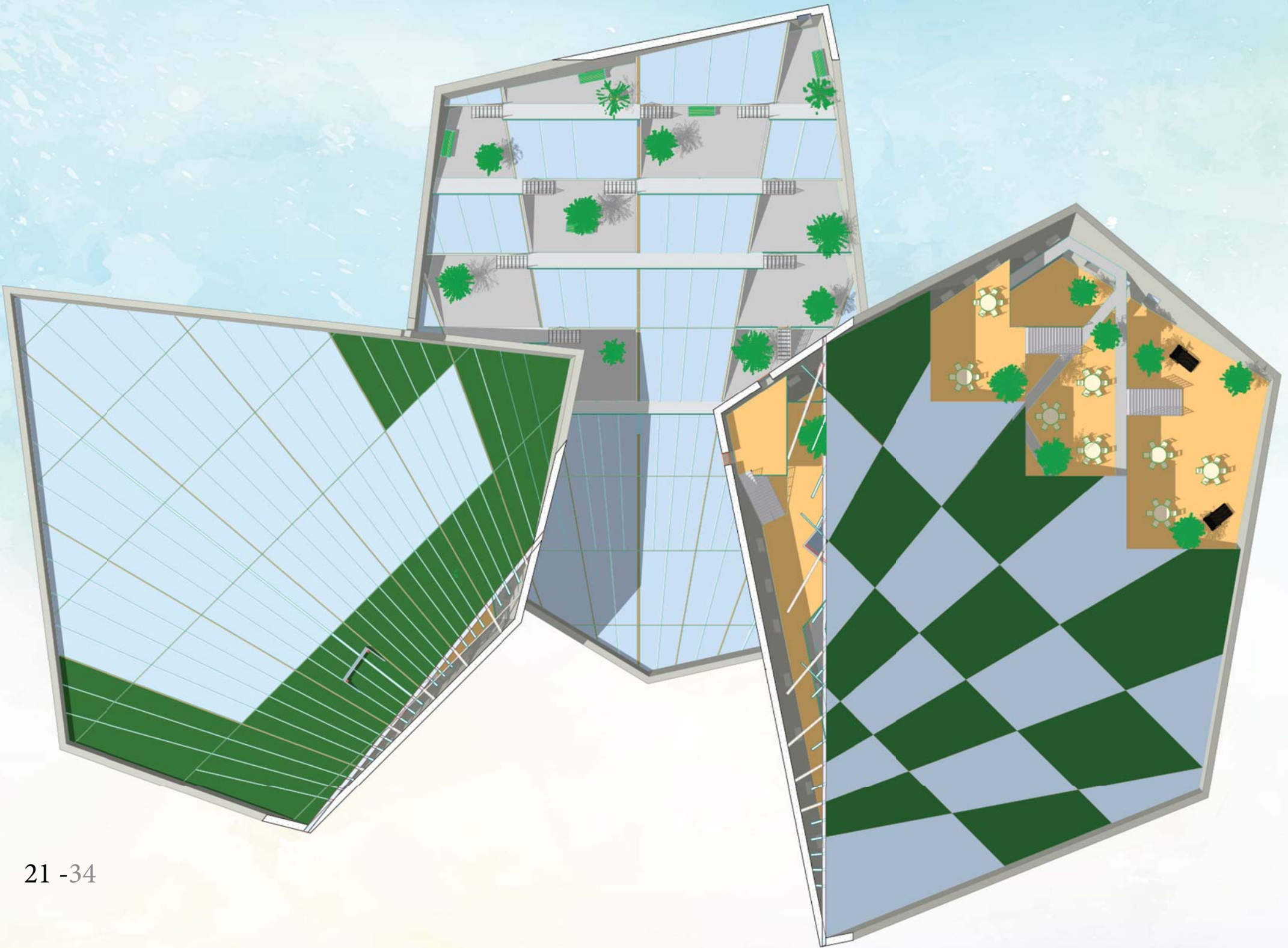


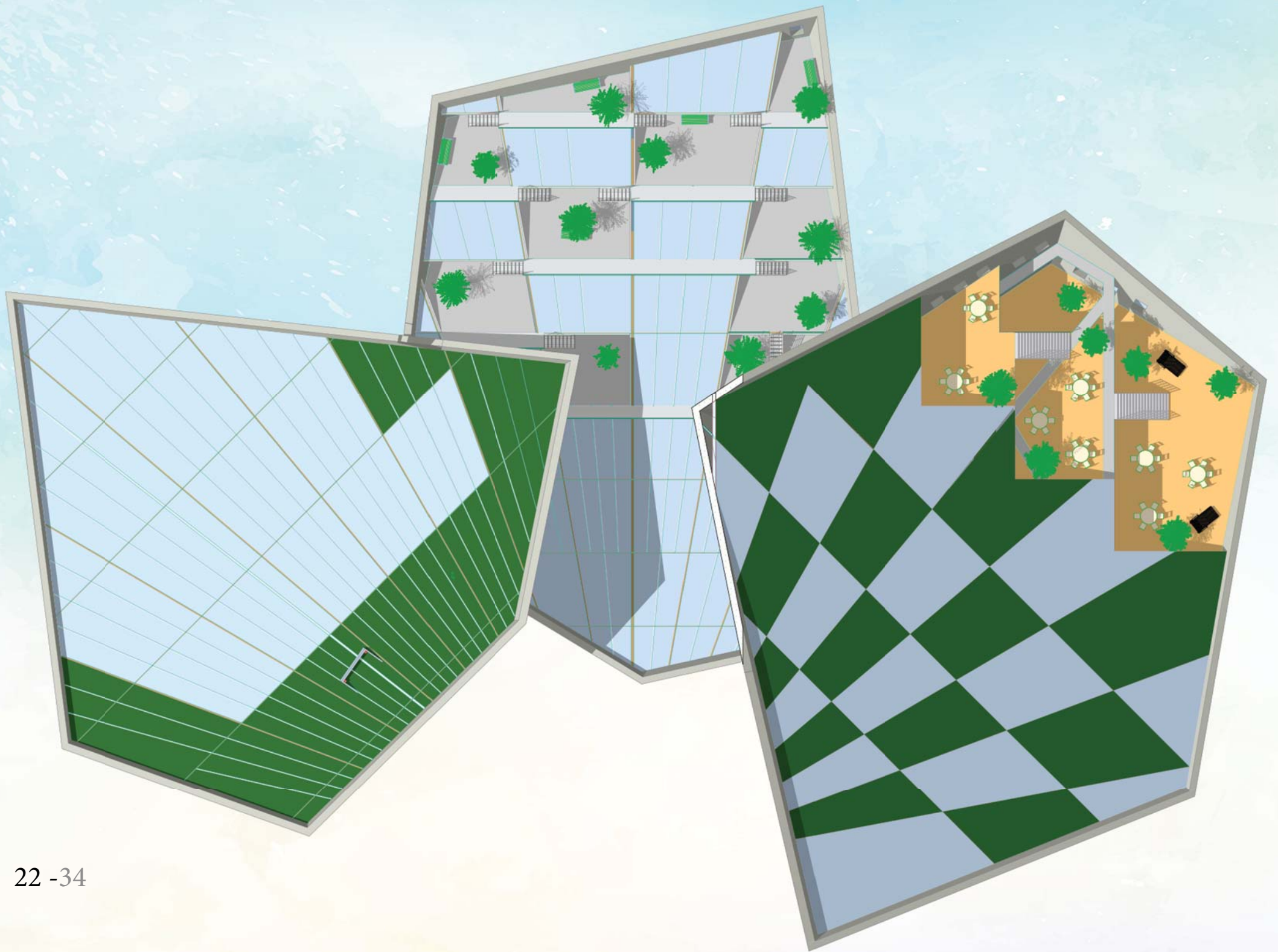




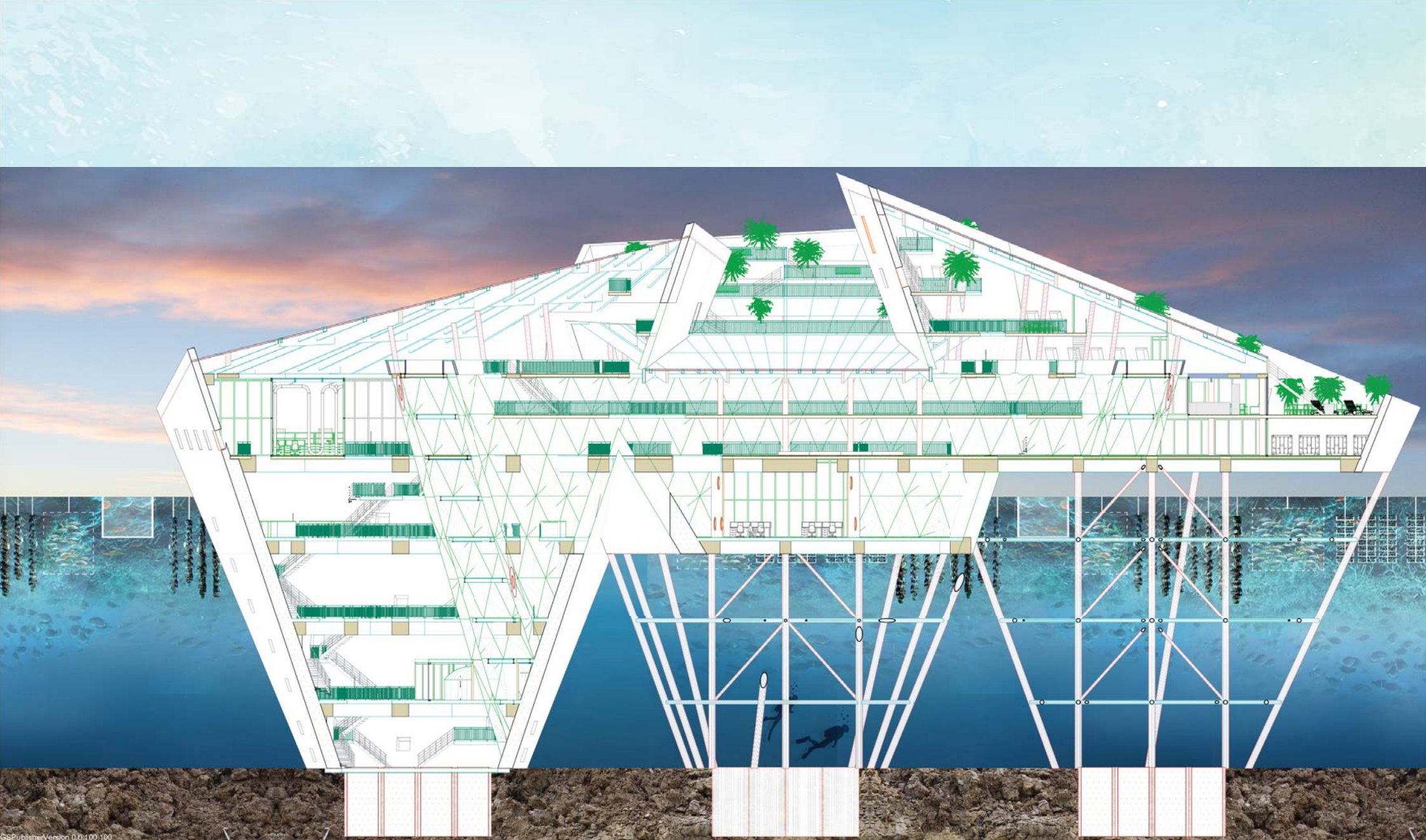








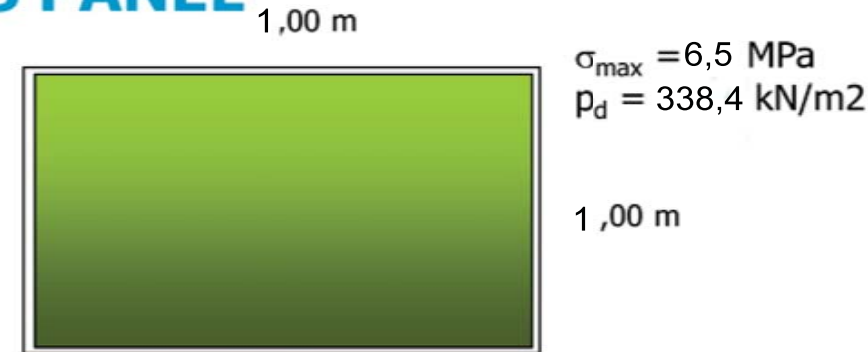




GSPlatformVersion 0.0.100.100

# CASE 1: FOUR-SIDE SUPPORTED GLAS PANEL

ipv een diepte van 20m heb ik 23m genomen ivm golfhoogte en de druk heb ik vermenigvuldigd met factor 1.5. zo kom ik op 338,4 kN/m<sup>2</sup>



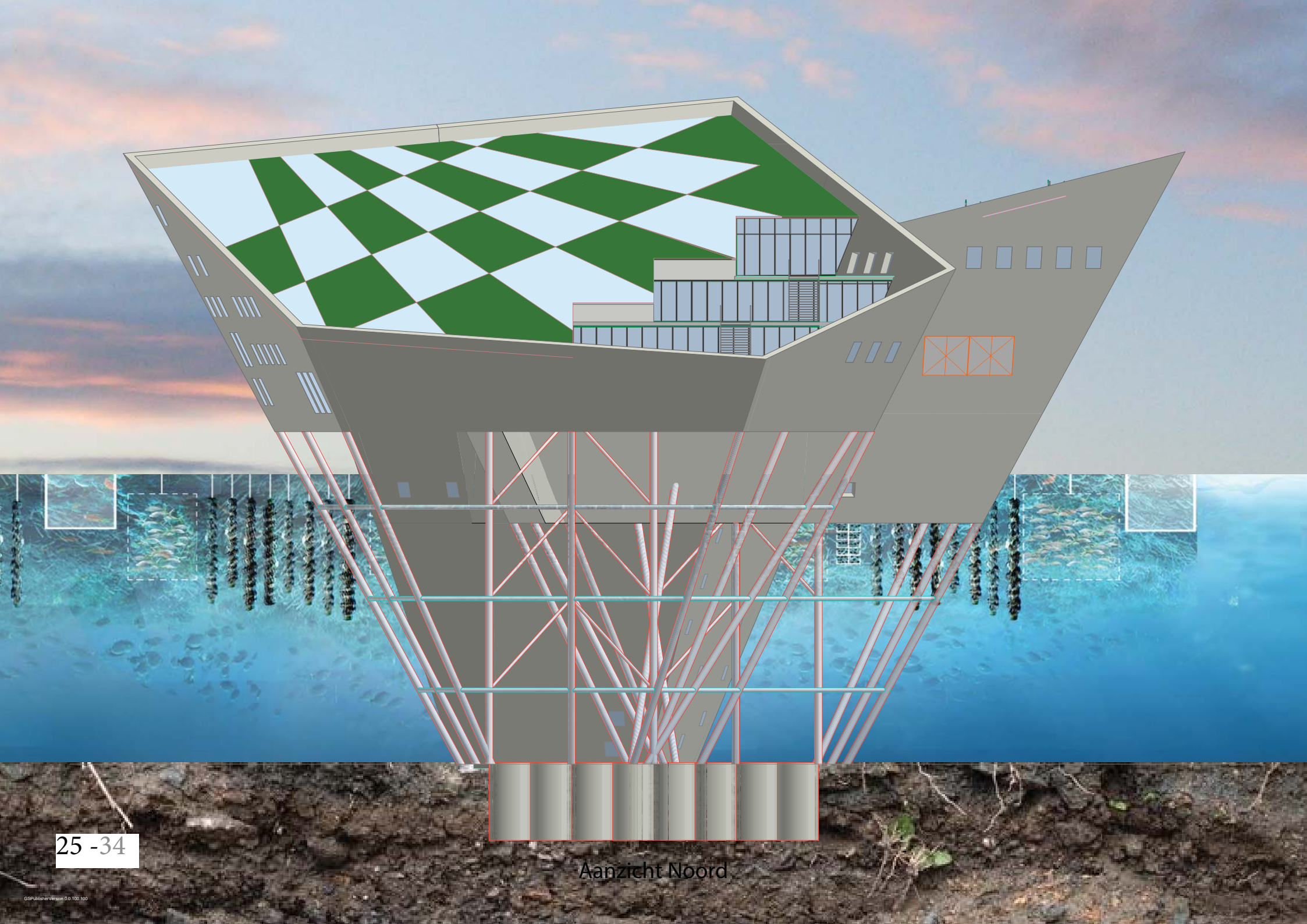
- $b / a = 1 \text{ m} / 1 \text{ m} = 1$
- table:  $\beta = 0,287$   $\alpha = 0,046$
- $6,5 \text{ MPa} = 0,287 \times 338,4 \text{ MPa} \times 1^2 / t^2$
- $t > 0,122 \text{ m} = 122 \text{ mm}$
- $\delta = 0,046 \times 0,3384 \text{ MPa} \times 1,00^4 / (0,122^3 \times 3300 \text{ MPa}) = 0,003 \text{ m}$    
↘ Acryl

$$\sigma_{mt;rep} = \frac{\beta \times p_{rep} \times a^2}{t_u^2}$$

$$u_{max} = \frac{\alpha \times p_{ser;d} \times a^4}{t_{pane;ser}^3 \times E_g}$$

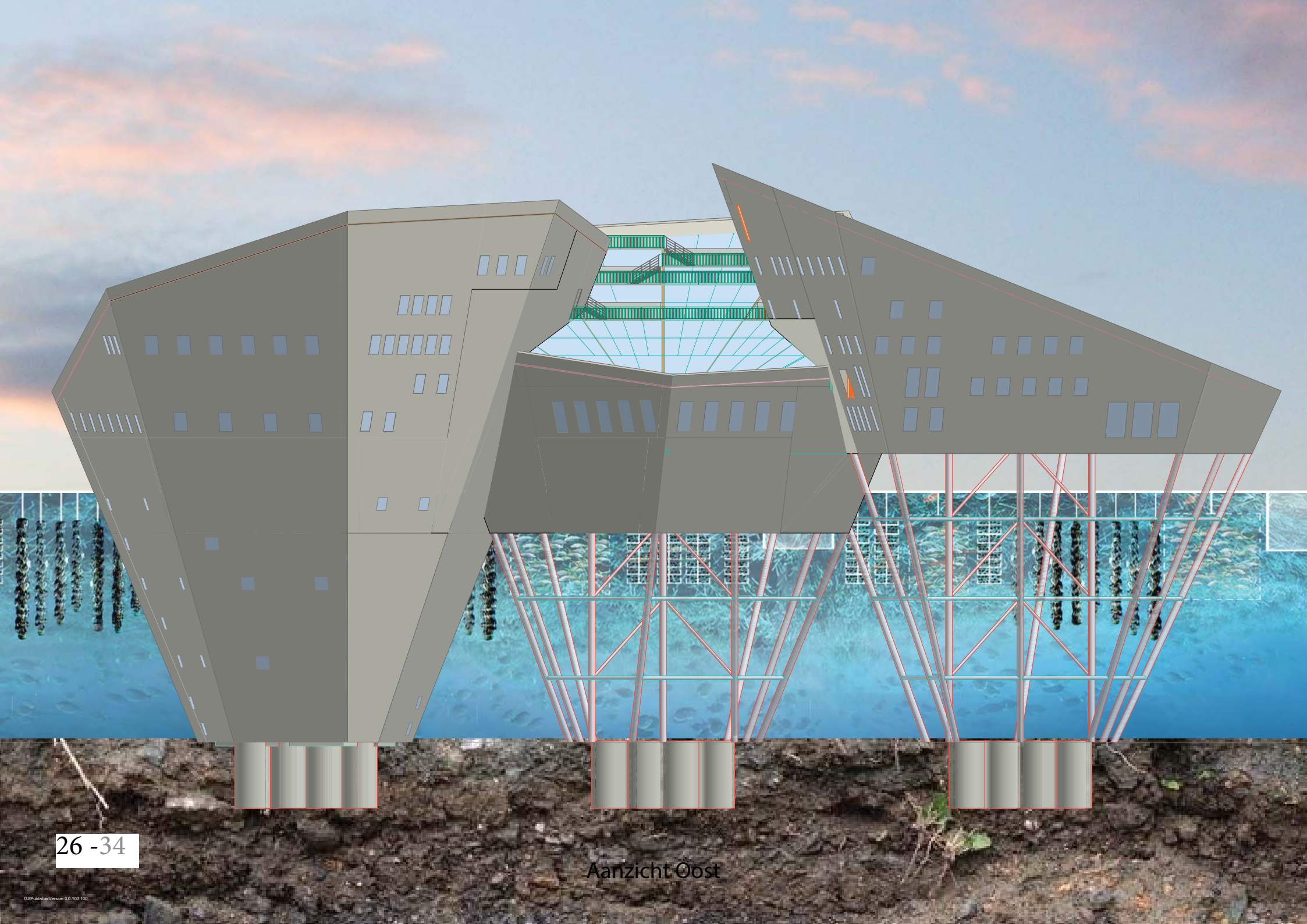
b/a	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	$\infty$
$\beta$	0.287	0.376	0.487	0.610	0.712	0.741	0.748	0.750
$\alpha$	0.046	0.067	0.090	0.117	0.140	0.146	0.147	0.148





25 -34

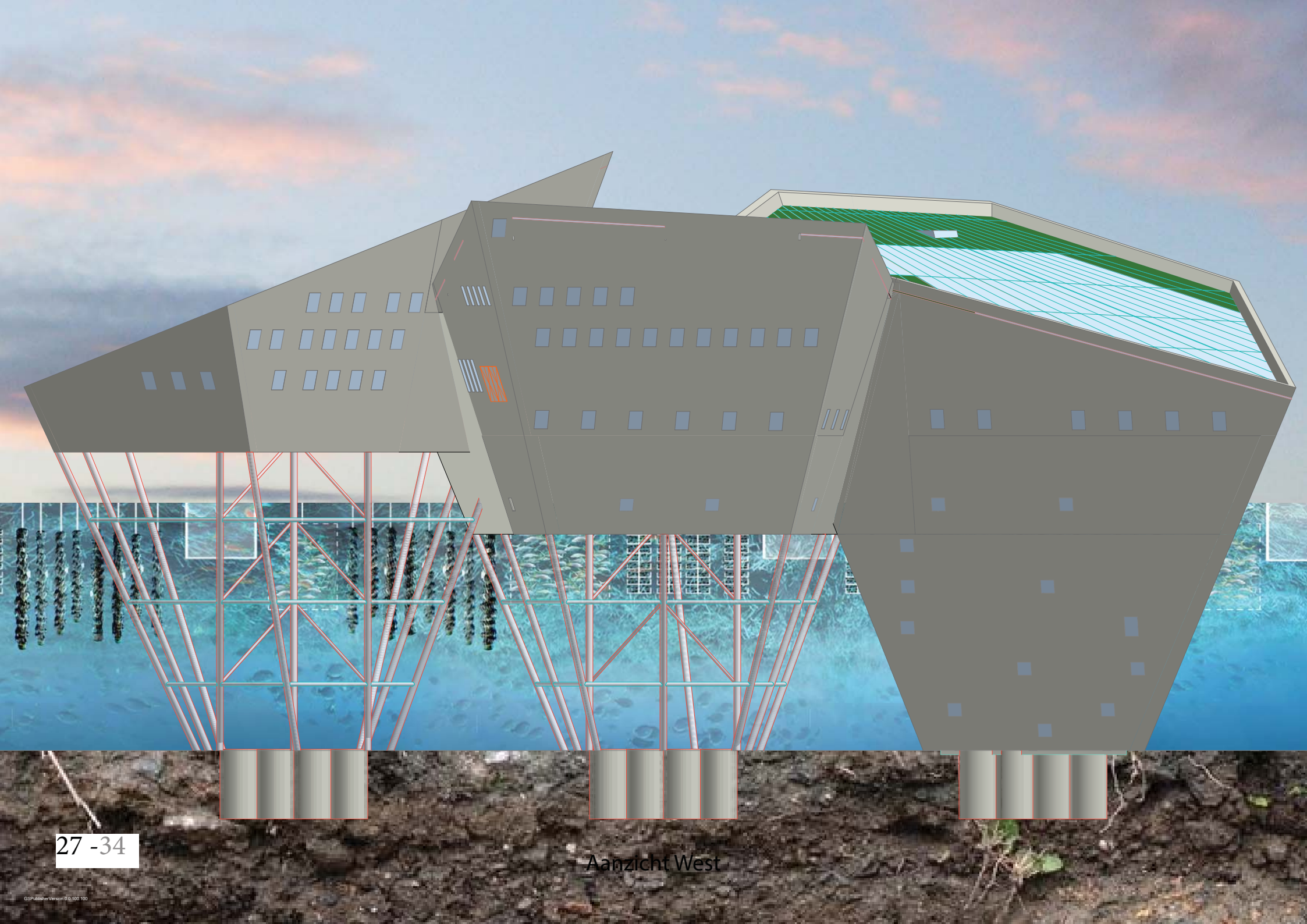
Aanzicht Noord



26 -34

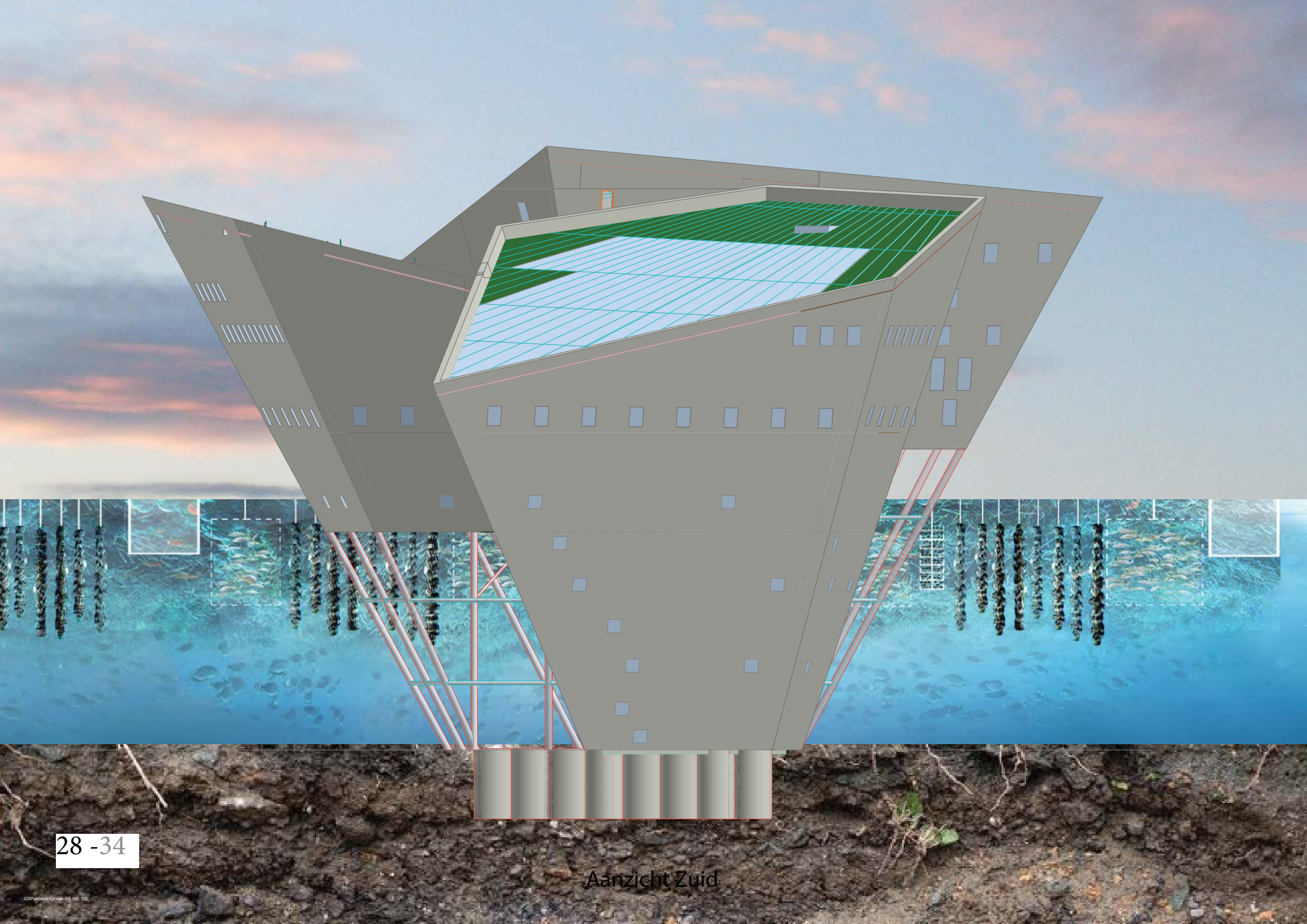
Aanzicht Oost





27 -34

Aanzicht West



28 -34

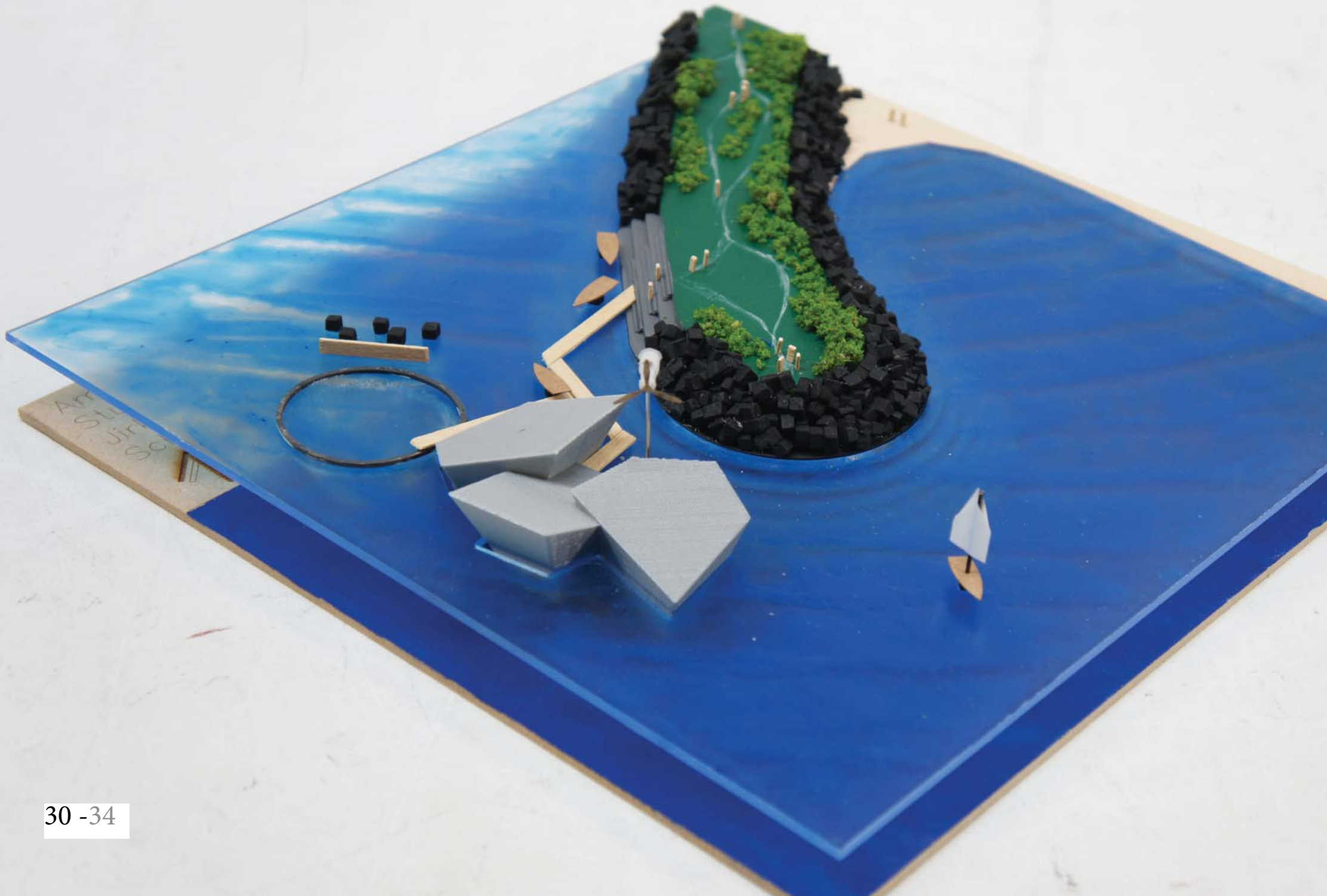
Aanzicht Zuid



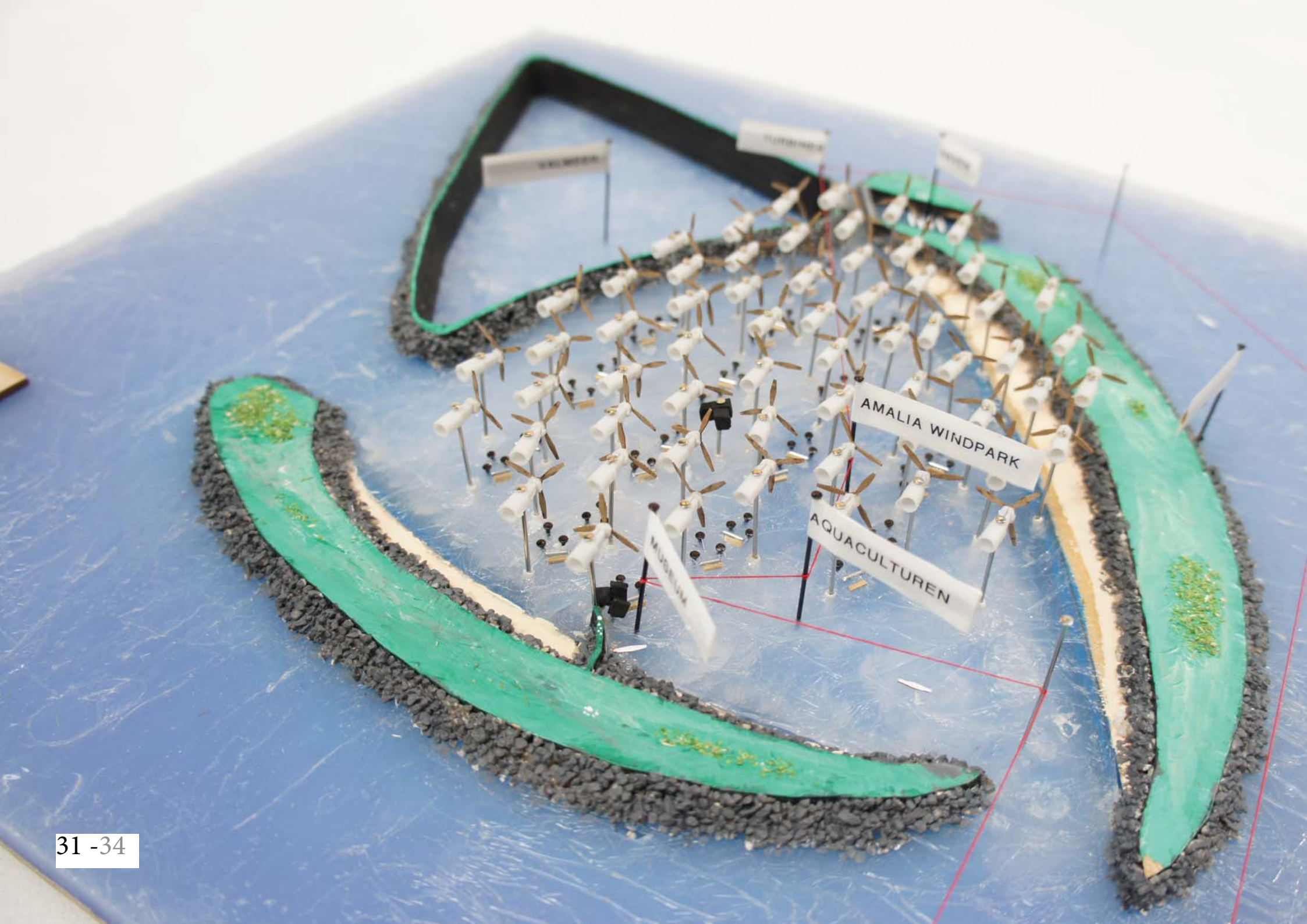


29 -34

Ontwerp Amalia  
Jullienmodel  
na Berke  
schaal: 1:100  
0 1 2 5m











32 -34





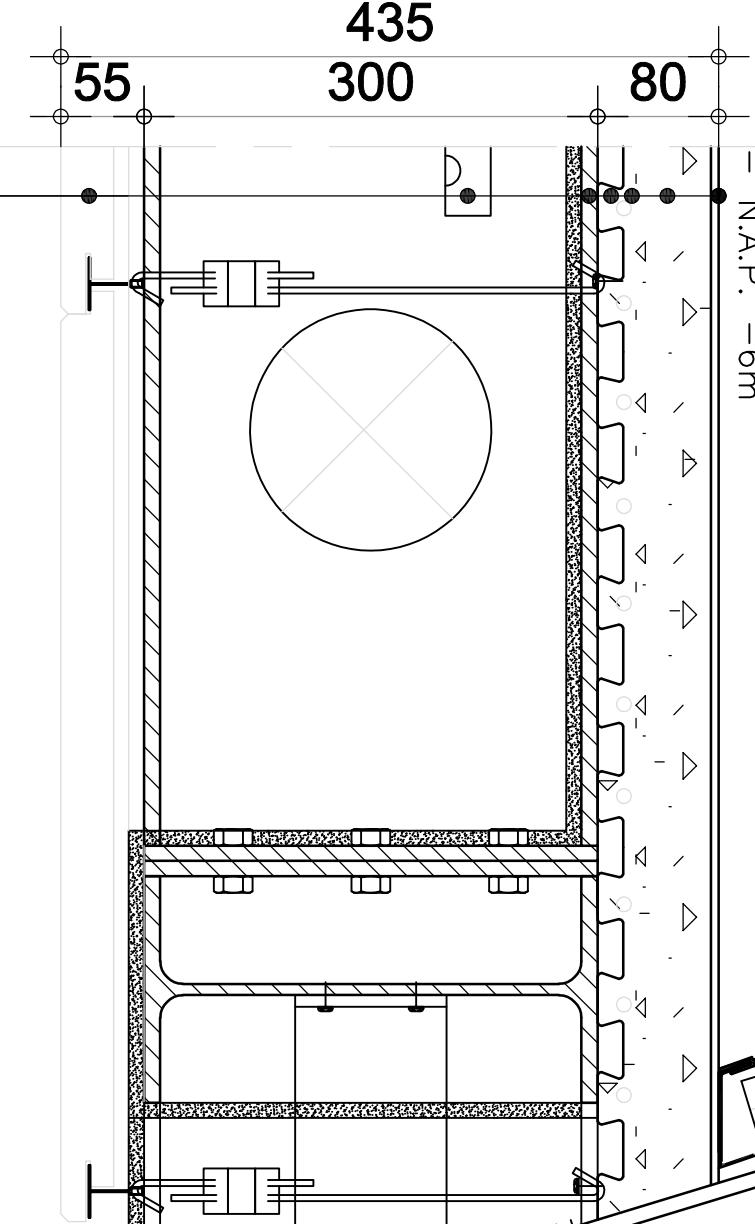






- Al klikprofiel
- Polycarbonaat, translucent 40mm
- LED verlichting
- Stalen kolom, diameter 324, 10mm
- Al klikprofiel t.b.v. polycarbonaat
- Polycarbonaat, translucent 40mm

— N.A.P. —6m



Bevestigingsarm

- Gietvloer 5mm
- Betonvloer 80mm
- Lage temperatuur vloerverwarming
- zwaluwstartvloer
- IPE 300 h.o.h. 6m.
- LED verlichting
- Zwevend plafond, metaal, gaas

DETAIL V2.

## Berekening valmeer

Uitgaande van een overcapaciteit in de nacht gedurende 8 uur, dan is dit wekelijks  $7 \cdot 8 = 56$  uur. Wanneer ongeveer één keer per week het valmeer gevuld wordt dan is er 56 uur de tijd om het valmeer weer leeg te pompen. A.d.h.v. van een maximum van 56 uur wordt de grote van het meer bepaald;

20 turbines van het type Francis zullen als pomp en turbine fungeren

Per turbine is het vermogen 20 MW

Het turbinedebiet is ongeveer 100 m<sup>3</sup>/s

Bereik pomphoogte/valhoogte = 28/14 meter

Pompdebiet is ongeveer 80m<sup>3</sup>/s

Waterniveau moet tenminste 4 meter boven de turbine staan

De efficiëntie is 0,9-0,95%

20 turbines samen leveren een vermogen van 440 MW

Er stroomt dan ongeveer  $2,0 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup> water per seconde door de turbines

Het pompvermogen samen is  $20 \times 80 \text{ m}^3/\text{s} = 1600 \text{ m}^3/\text{s}$

Er is 56 uur de tijd om het meer leeg te pompen

$56 \text{ uur} \times 3600 \text{ seconde} = 20,16 \cdot 10^4 \text{ s}$

In deze 56 uur kunnen de pompen;

$(20,16 \cdot 10^4 \text{ s}) \cdot 1600 \text{ m}^3 = 32,256 \cdot 10^7 \text{ m}^3$  uit het meer pompen

---

- De diepte van het valmeer is 30m –NAP
  - De turbines bevinden zich ook op een diepte van 30m –NAP
  - Het water in het valmeer mag niet lager komen dan 4 meter boven de turbine, dus niet verder dan 26m –NAP
  - De minimale valhoogte waarbij de turbine energie levert is 14m
    - o Dit geeft een maximaal waterverzet in het valmeer van  $30\text{m} - 14\text{m} - 4\text{m} = 12\text{m}$
- 

Het vermogen (P) dat door het energieatol kan worden geleverd voor een bepaald waterhoogteverschil ( $\Delta h$ ) kan worden bepaald met de volgende formule:

$$P = \rho * g * \eta * \Delta h * Q$$

Hierbij is

P= vermogen (J/s of Watt)

$\rho$  = dichtheid zeewater (+/- 1 ton/m<sup>3</sup>)



$g = \text{zwaartekrachtversnelling } (9,81 \text{ m/s}^2)$

$\eta = \text{turbine-efficiëntie voor de radiale Francis-turbine}(90\%)$

$\Delta h = \text{waterhoogteverschil (m)}$

$Q = \text{debiet door de turbines (m}^3/\text{s)}$

$$P = (1,024 \cdot 10^3) * 9,81 * 0,90 * (30\text{m}-4\text{m}) * 2000 = \mathbf{470\text{MW}}$$
 (maximaal, wanneer  $\Delta h$  het grootst is)

$$P = (1,024 \cdot 10^3) * 9,81 * 0,90 * (30\text{m}-4\text{m}-12\text{m}) * 2000 = \mathbf{253\text{MW}}$$
 (maximaal, wanneer  $\Delta h$  het kleinst is)

$$P = (1,024 \cdot 10^3) * 9,81 * 0,90 * (30\text{m}-4\text{m}-6\text{m}) * 2000 = \mathbf{362\text{MW}}$$
 (maximaal, bij een gemiddelde  $\Delta h$ )

---

Om de energie te berekenen die de 60 windmolens van het PAWP leveren in de eerder aangegeven 56 uur, gebruiken we de volgende formule;

$$t = \frac{E}{P}; \frac{E}{60 \cdot 2,0 \cdot 10^6} = 56 \cdot 3600\text{s}; E = (60 \cdot 2,0 \cdot 10^6) * (2,016 \cdot 10^5 \text{ s}) = 2,4192 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

---

Hoeveel water kan met de energie uit de windmolens opgepompt worden uit het valmeer? De volgende formule bepaalt dit;

$$E = m \cdot g \cdot h$$

$$g = 9,81$$

$$h = \frac{H^2_0 - H^2_1}{2} = \frac{-26,0 - -14,0}{2} = 20,0 \text{ m}$$

$$E = 2,4192 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Invullen geeft;  $2,4192 \cdot 10^{13} \text{ J} = m \cdot 9,81 \cdot 20$ ;

$$\frac{E}{g \cdot h} = \frac{2,4192 \cdot 10^{13} \text{ J}}{9,81 \cdot 20\text{m}} = m = 1,233 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

Dichtheid van zeewater  $\rho = 1,024 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Om het volume te berekenen;  $m = \rho \cdot V$ ;  $1,233 \cdot 10^{11} \text{ kg} = 1,024 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot V$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1,233 \cdot 10^{11} \text{ kg}}{1,024 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3} = 1,204 \cdot 10^8 \text{ m}^3$$

---

Om de oppervlakte van het meer te berekenen kan de volgende formule gebruikt worden;

(de helling van de dijk 1:3 wordt hierin niet meegenomen)

$$V = \text{hoogteverschil} * A$$

$$A = \frac{V}{\Delta h} = \frac{1,204 \cdot 10^8 \text{ m}^3}{12\text{m}} = 1,0034 \cdot 10^7 \text{ m}^2 = \frac{1,0034 \cdot 10^7 \text{ m}^2}{10^6 \text{ m}^2} = 10,034 \text{ km}^2$$

---

De 20 generatoren hebben samen een vermogen van 362 MW. Per seconde stroomt er dan  $2,00 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  water door de turbines.

Het volume van het meer bedraagt;  $1,204 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ ;

$$\frac{1,204 \cdot 10^8 \text{ m}^3}{2,00 \cdot 10^3 \text{ m}^3} = 60,2 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\frac{60,2 \cdot 10^3 \text{ s}}{3600 \text{ sec.}} = 16,72 \text{ uur}$$

Binnen 17 uur is waterniveau in het valmeer tot de maximale -16 meter NAP gestegen

---

$$E = P \cdot T; E = (362 \cdot 10^6 \text{ W}) \cdot (60,2 \cdot 10^3 \text{ s}) = 2,17924 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Omrekenen naar wattuur geeft;

$$\frac{2,17924 \cdot 10^{13} \text{ J}}{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}} = 6,053 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 6,05 \text{ GWh}$$


---

Wanneer nog 20 windmolens van 3MW toegevoegd worden aan het project wordt de pomptijd verkleind

$$t = \frac{E}{P}; \frac{2,4192 \cdot 10^{13} \text{ J}}{60 \cdot 2,0 \cdot 10^6 + 20 \cdot 3,0 \cdot 10^6} = 1,344 \cdot 10^5 \text{ s} = \frac{1,344 \cdot 10^5 \text{ s}}{3600} = 37 \text{ uur}$$


---

Wanneer nog 10 turbines bijgeplaatst worden dan neemt de tijd om het meer vol te laten lopen af;

$$P = (1,024 \cdot 10^3) \cdot 9,81 \cdot 0,90 \cdot (30\text{m} - 4\text{m} - 6\text{m}) \cdot 3000 = 542\text{MW} \text{ (maximaal, bij een gemiddelde } \Delta h)$$

De 30 generatoren hebben samen een vermogen van **542MW** Per seconde stroomt er dan  $3,00 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  water door de turbines.

Het volume van het meer bedraagt;  $1,204 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ ;

$$\frac{1,204 \cdot 10^8 \text{ m}^3}{3,00 \cdot 10^3 \text{ m}^3} = 40,1 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\frac{40,1 \cdot 10^3 \text{ s}}{3600 \text{ sec.}} = 11,15 \text{ uur}$$

In iets meer dan 11 uur is waterniveau in het valmeer tot de maximale -16 meter NAP gestegen

---

Conclusie;

De mogelijkheid bestaat dus om meerdere windmolens te plaatsen, hierdoor wordt het valmeer sneller leeg gepompt. In dit project wordt uitgegaan van een cyclus van een week, per nacht wordt 8 uur gepompt dit maakt per week 56 uur. Eén maal per week stroomt het meer vol, het meer levert bijna 17 uur lang ruim 360MW.