

RAPORT | LOOVUURIMUSLIK TEADUSTÖÖ

# Tartu Kultuuripaviljon

Eskiis | 5.10.2022



**EKA**  
**PAKK**

**TA tellimislepingu nr:** 1-19/89  
**Uurimustöö teostaja:**  
Eesti Kunstiakadeemia  
Puitarhitektuuri Kompetentsikeskus PAKK  
**Tellija:** Tartu Linnavalitsus

**Uurimisrühm:**  
Sille Pihlak, PhD, arhitekt (EKA)  
Siim Tuksam, PhD, arhitekt (EKA)  
Eero Tuhkanen, PhD, insener (TalTech)  
Alar Just PhD, tuleohutus (TalTech)

**Projektijuht:**  
Anna Tommingas (EKA PAKK)  
[anna.tommingas@artun.ee](mailto:anna.tommingas@artun.ee)  
[www.pakk.artun.ee](http://www.pakk.artun.ee)

## Sisukord:

1. SISSEJUHATUS
2. TAUSTAUURINGUD
  - 2.1. Lagi
  - 2.2. Konstruktsioon
  - 2.3. Materjal
3. ARHITEKTUUR
  - 3.1. Kontseptsioon
  - 3.2. Materjal
  - 3.3. Geomeetria
  - 3.4. Energiatootmine
4. KONSTRUKTSIOON
  - 4.1. CLT
  - 4.2. Post
  - 4.3. Laemoodulid
5. JOONISED
6. VISUAALID

# 1

SISSEJUHATUS

## Sissejuhatus Kultuuripaviljon

Tartu Kultuuripaviljon on uurimus jäägitu materjalikasutuse, konstruktiivselt intelligentse ja energiatootva katusemooduli, ning taaskasutatava puitkonstruktsiooni loomiseks.

Projekti **lähtepunktiks** oli Tartu Linnavalitsuse vajadus luua Tartu Kultuuripealinna 2024 tähistamiseks ajutine sündmusruum Tartu keskparki. Paviljon loob u 400m<sup>2</sup> katusealuse pargis paiknevale sillutatud platsile, mis on kohandatav vastavalt ürituse suurusele ja vajadustele, pakkudes lisaks ka väikevorme istumiseks ja lava moodustamiseks.



*Pargivaade kultuuripaviljonile. Katusel on kolm aktsenti ehk energiat koguvad päiksepaneelid.*

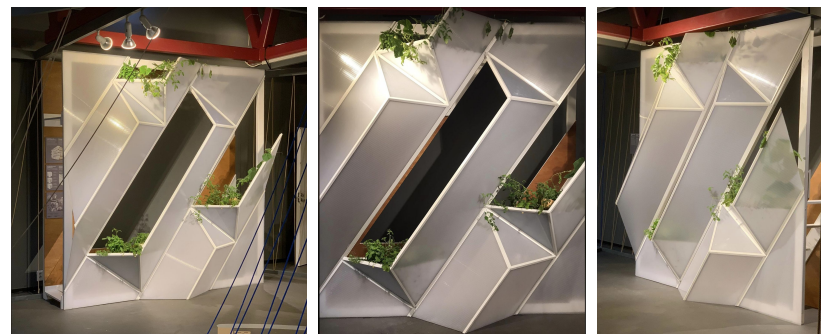
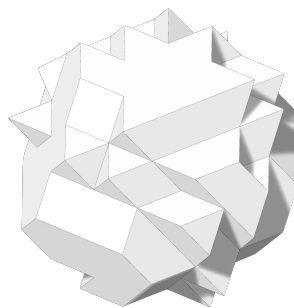
## Sissejuhatus Kultuuripaviljon

Kultuuripaviljon on edasiarendus varasematele EKA PAKK projektidele: sLender fassaad ja ELEMENTaarne bussipeatus.

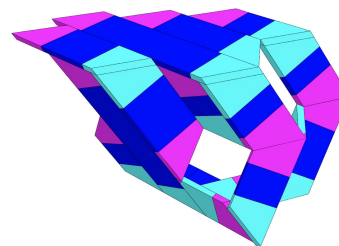
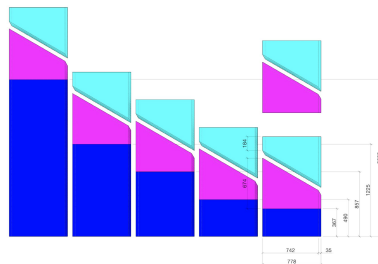
Kultuuripaviljon **uurib** volditud pinna kasutamist konstruktiivse kehandina (edasiarendus sLender fassaadist) ja pakub võimalusi selle rakendamiseks nii posti, lae kui katusepinnas.

Lahenduses rakendatakse modulaarseid ruumielemente (paigaldamiseks) ja elementaarseid materjalitükke ehk korduvaid elemente, saavutamaks jäägitu arhitektuuri (*zero-waste*) põhimõtteid. Lisaks väljendavad lae voldid katusepinna konstruktiivset loogikat, lisades objektile hariva ruumi idee.

Tartu Kultuuripaviljon on **edasiarendus** ELEMENTaarne bussipeatuse projektile (EAS+EKA+Arcwood), kus taaskasutati CLT tootja materjalijääke väikevormide loomiseks.



*sLender fassaad ehk Datsa Wrap. 1:1 skaalas mockup Tallinna Arhitektuuribiennaali peanäitusel "Söödav arhitektuur". Prototüüp valmis september 2022. EKA PAKK + PART*



*ELEMENTaarne ootepaviljon. Puidutööstuse tootmisjääkidest loodud bussipeatus. Teostus 2020, paikneb Paide keskväljakul. EKA PAKK+EAS+Arcwood.*

# 2

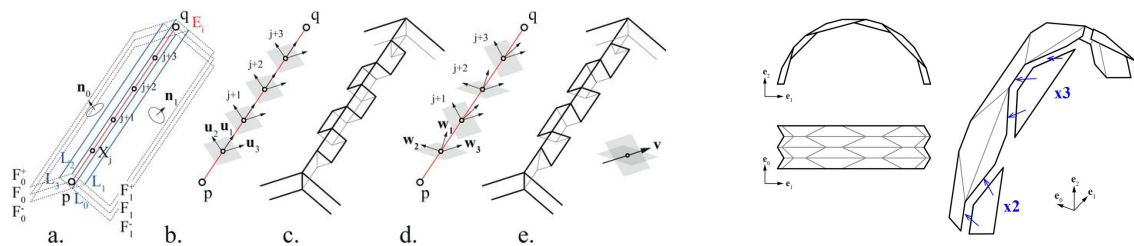
TAUSTAUURINGUD

## Taustauuring

### 2.1. Voldiklagi

Volditud lagi tagab parema akustilise kvaliteedi, tekitab jaotatud valguslahenduse ning võimaldab taristuelementide peitmist.

*Restoran Kaunas Tartus, restoransaal.  
Arhitekt Voldemar Herkel*



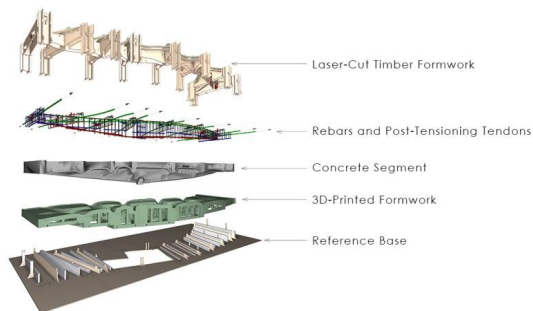
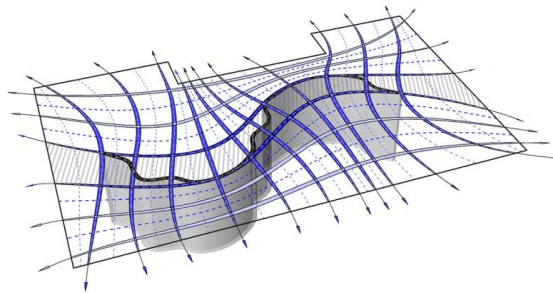
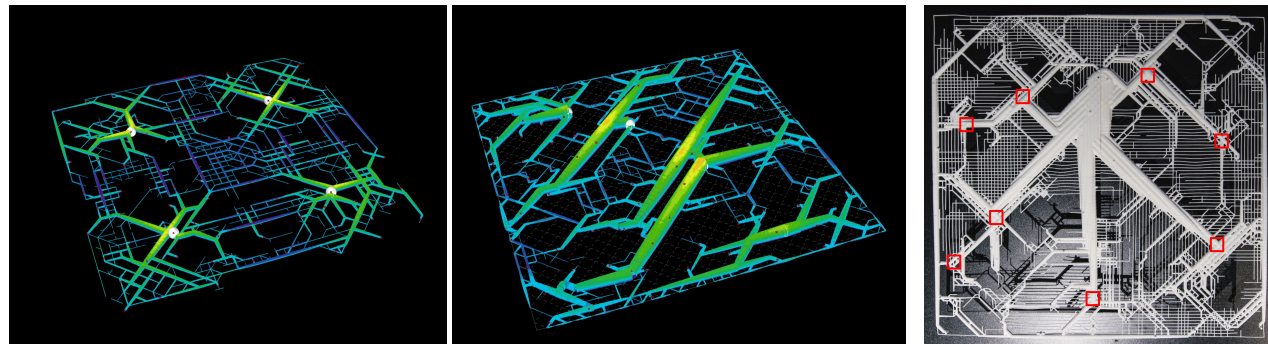
*Lukustav tapitud laepaneel.  
Prof. C. Robeller, Y. Weinand,  
University of Applied Sciences Augsburg  
[https://www.researchgate.net/publication/282420154\\_Interlocking\\_Folded\\_Plate\\_-\\_Integral\\_Mechanics\\_Attachment\\_for\\_Structural\\_Wood\\_Panels](https://www.researchgate.net/publication/282420154_Interlocking_Folded_Plate_-_Integral_Mechanics_Attachment_for_Structural_Wood_Panels)*



## Taustauuring

### 2.2. Konstruksiooni loetavus

*N-formations*  
 Bollinger+Grohmann research group. Viini  
 rakenduskunsti ülikooli konstruksiooni õppetooli  
 eksponaadid  
 TAB2015 peanäitusel "Keha ehitus"



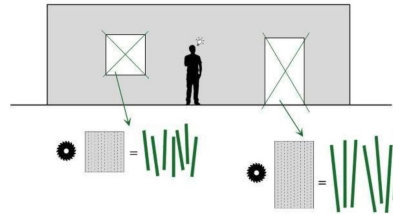
*The Smart Slab*  
 3D prinditud ribistikuga betoonlagi, mis väljendab  
 tasapinna sisejõudusid. Prof. Benjamin Dillenburger,  
 Chair of Digital Building Technologies, ETH Zurich





## 2.3. Taustauuring Puitelementide jätkamine

The TRE3 research project: a hybrid timber-frame wall system for emergency housing facilities  
<https://www.researchgate.net/publication/327019260>  
 60 The TRE3 research project: a hybrid timber-frame wall system for emergency housing facilities



Recycleshell  
<https://www.architektur.uni-kl.de/dtc/2019/09/05/recycleshell/>  
<https://www.researchgate.net/publication/337547440>  
 40 Das Puzzle aus der Holz-Software mikado Management 112019



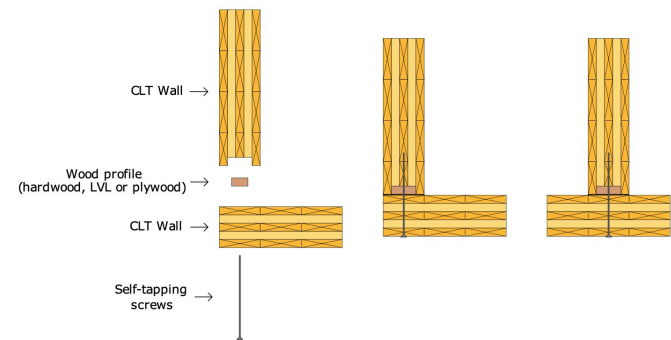
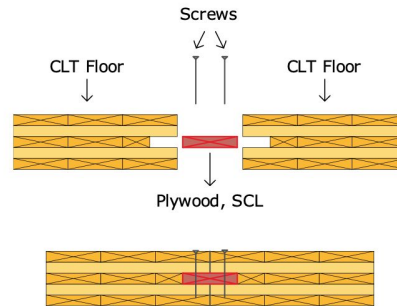
Kalasaba nurk  
<http://www.x-fix.at/x-fix-l-type/>



<https://www.architektur.uni-kl.de/tlab/forschungsprojekte/Potentiale-der-Verwendung-von-Brettsper Holz-Produktionsabfaellen>



Elementide jätkamine soone ja LVL (või vineer) profiiliga. ELEMENTaarne ootepaviljon. PAKK+Arcwood



# 3

ARHITEKTUUR

Arhitektuur

### 3.1. Kontseptsioon

Kultuuripaviljon on Tartu Keskpargi südamikus asuv katusealune, mis võimaldab erineva sisu ja suurusega kogunemisi.

Avalikus ruumis paiknev varjualune asub ristumisteede keskel, aga võimaldab samas sujuvat läbikäiku. Paviljon koosneb 3x3 ja 3x6m moodulitest, võimaldades hilisemat ümberpaigutust ja taaskasutust hoopis teises vormis. Hoone ehitusel kasutatakse liimpuidu tööstuse tootmisjääke ning lõuna poole suunatud katusepinnad võimaldavad koguda päikeseenergiat.



*Vaade Vanemuise poolt tulles.*

## 3.2. Materjal 3.2. Tootmisjäägid

Kultuuripaviljoni loomiseks kasutatakse ristkihtliimpuidu tootmisjääke, mis tihti moodustavad kuni 10% kogu tööstuses rakendatavast materjalist.



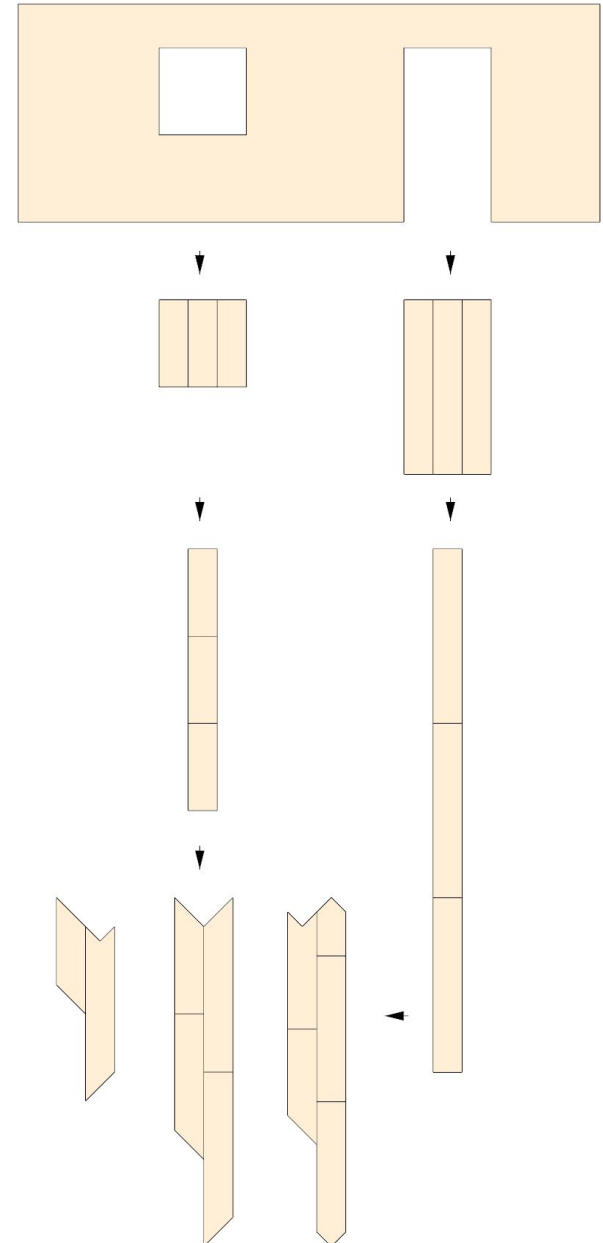
*CLT jäägid liimpuidutööstuses, neist enamik aknad ja ukсед*

*CLT paneel.  
Väljalõigatud aknad ja ukсед*

*400mm laiusteks ribadeks  
lõigatud jäägid*

*Ribade sõrmjätkamine  
standartseteks  
liimpuitpalkideks*

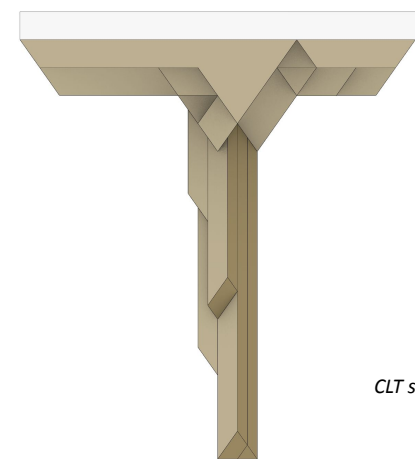
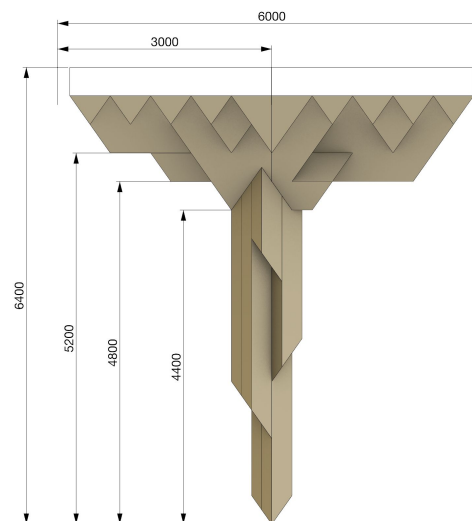
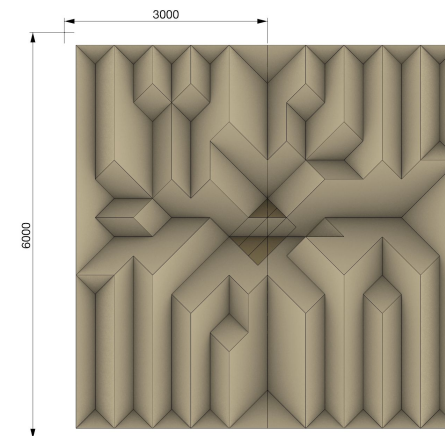
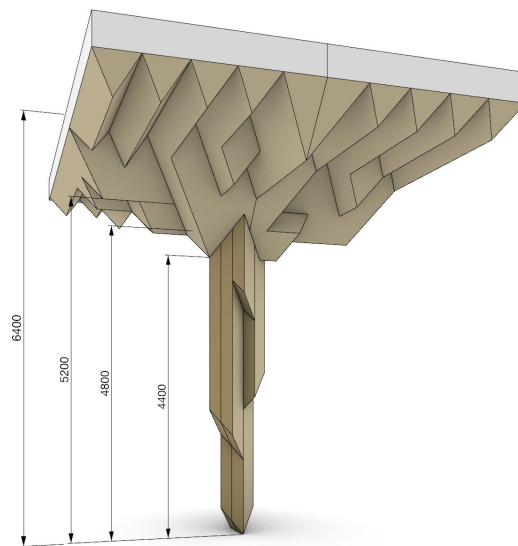
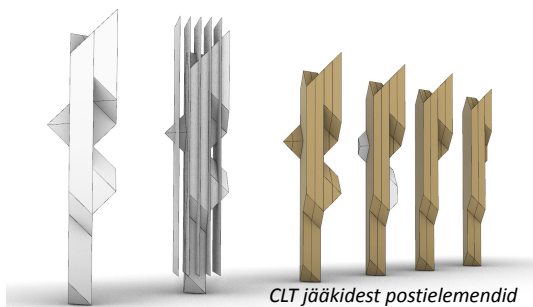
*Ribade järkamine ja  
ühendamine posti  
elementideks*



## 3.2. Postid

Materjal

Luues CLT plaadijääkidest uued romb ja rööptahulised liimpuitpalgid, saame rakendada tootmisjääke uut moodi. Liimpuit akende ja uste väljalõigetest toodetud tahukad sõrmjätkatakse

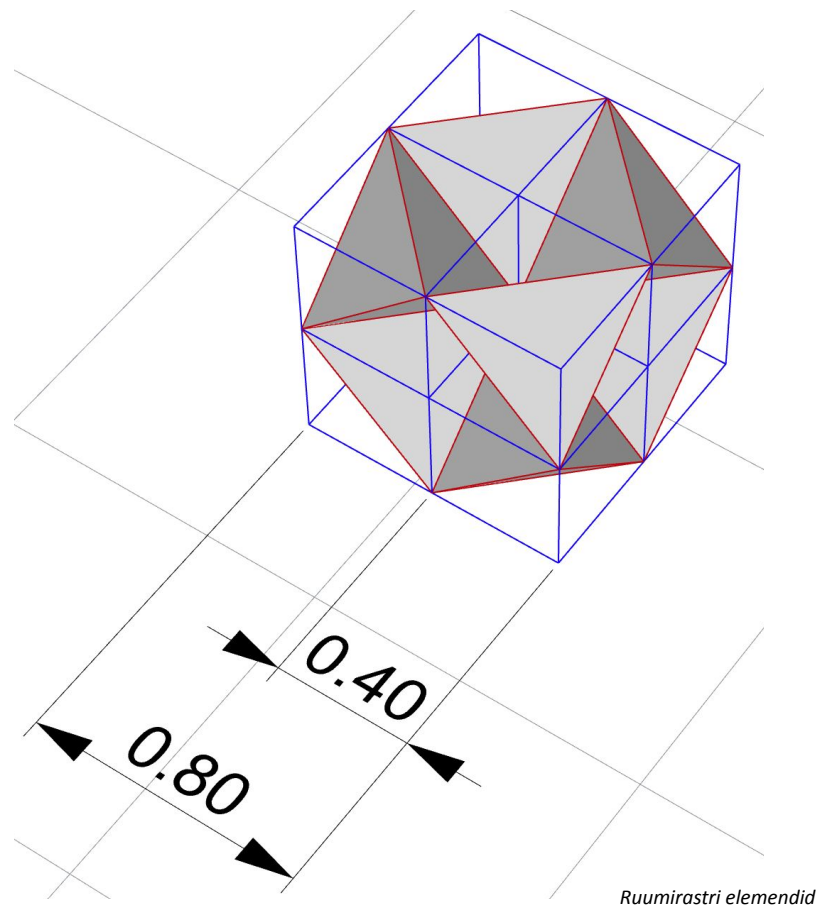


*CLT seened*

## Geomeetria

### 3.3. Ruumiraster

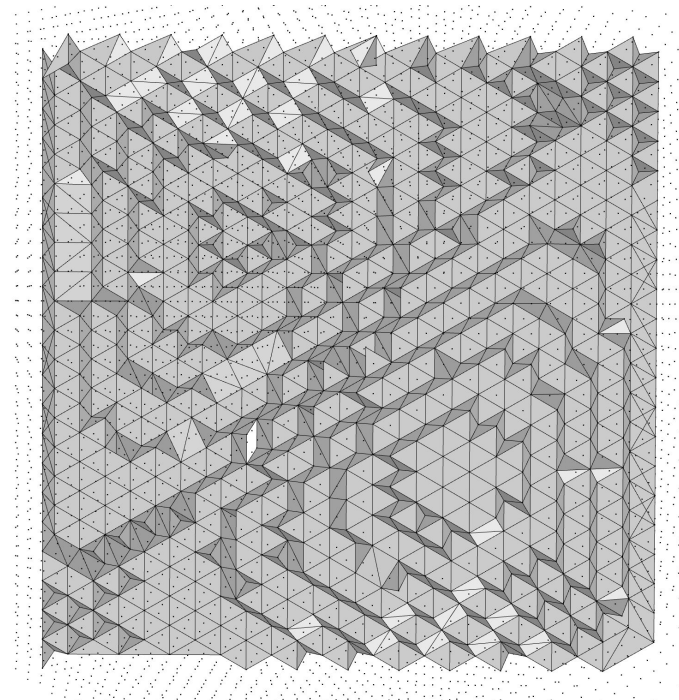
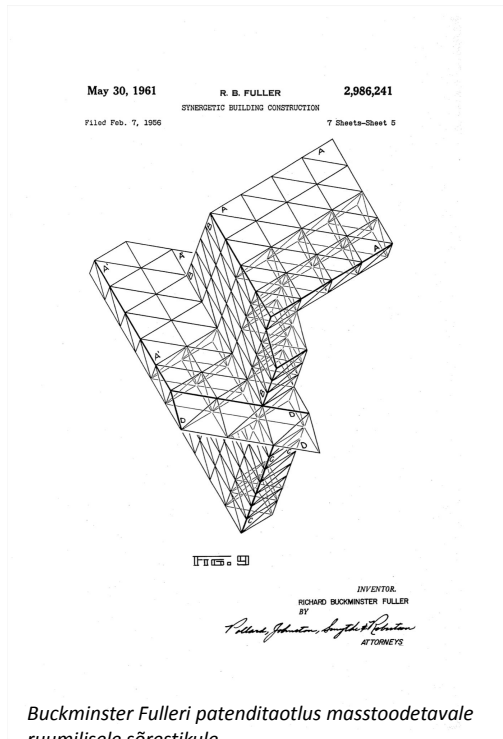
Pavilion struktuur on kavandatud ruumirastri abil. Automatiseerimise aluseks on standardiseerimine. Kui ekraanil tekkivad kujutised piksli toonist ja erksusest, siis ruumis määrab vormi rastri rakku valikuliselt täitev geomeetria. Paviljoni geomeetria loomiseks on valitud tetraeeder-oktaeeder raster jaotusega 40 cm.



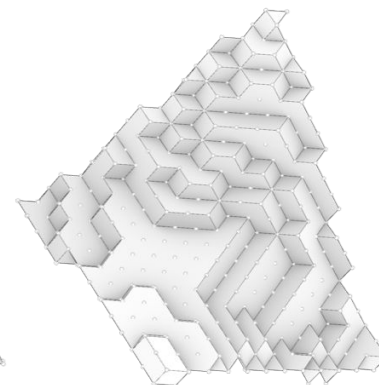
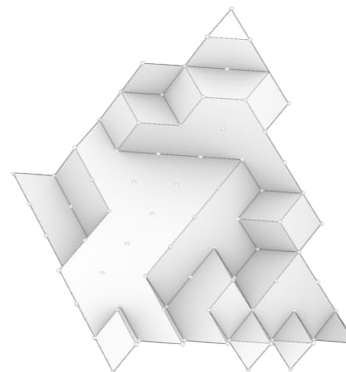
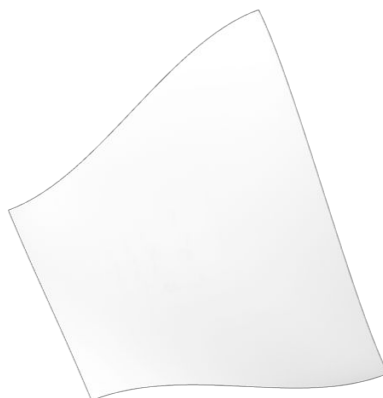
### 3.3. Geomeetria Ruumiraster

Ruumiraster võimaldab paviljoni vormil rageerida erikorrapärasele sisejõududele ja ruumilisele kontekstile ilma, et tekkiks vajadus ebastandardseteks elementideks. Geomeetria on jagatav lineaarseteks elementideks, mida saab plaatmaterjalist jäägivabalt lõigata.

Antud juhul on soov kasutada CLT tootmisjääke, mille minimaalsel mehhaanilisel ümbertöötlemisel tekitame paviljoni standardsed ehituselemendid.



*Ruumirastris lookleva pinna moduleerimisest tekkivad mustrid*

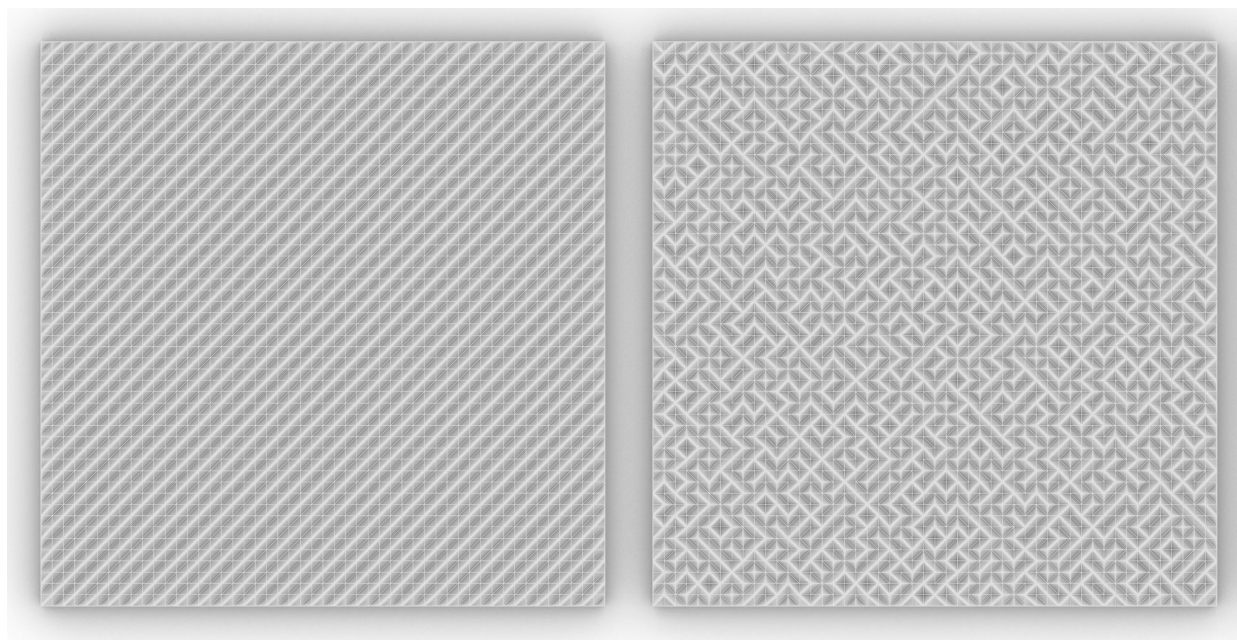


*Lookleva pinna moduleerimine erinevates resolutsioonides*

Geomeetria

### 3.3. Volditud lagi

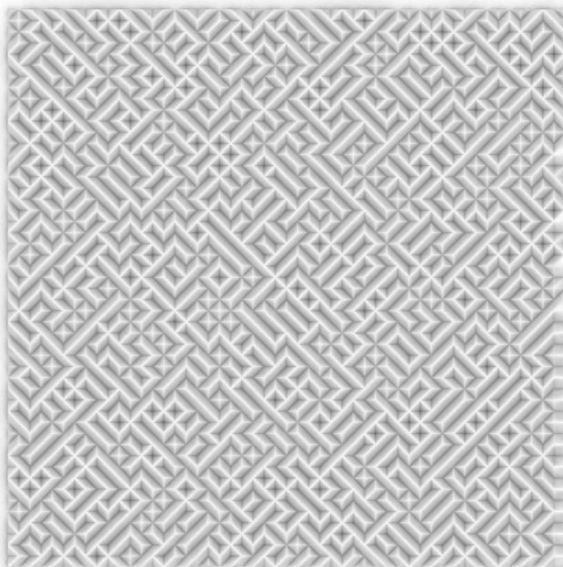
Pavilion laekonstruktsioon toimib volditud pinnana. Kuna sisejõudude suunad sõltuvad toeskeemist, on vaja voldida erinevaes suundades. Kavandil on visandatud ühe suunaga voldid ja juhuslikult segatud voldid visuaalse efekti hindamiseks.



*korrapäerane ja juhuslik rastrirakkude suunalisus*

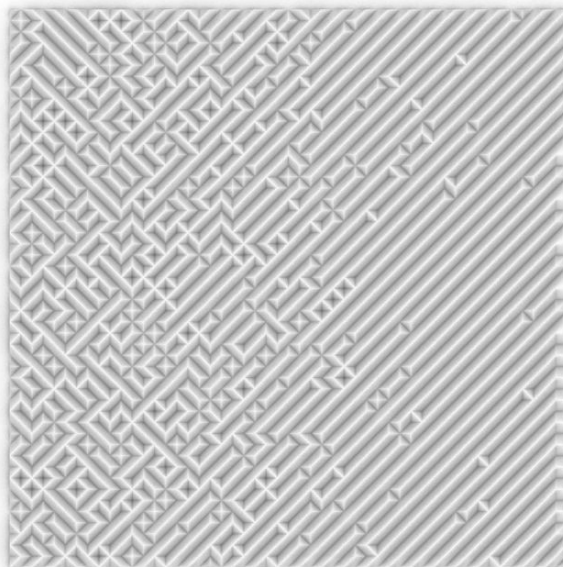


### 3.3. Volditud lagi



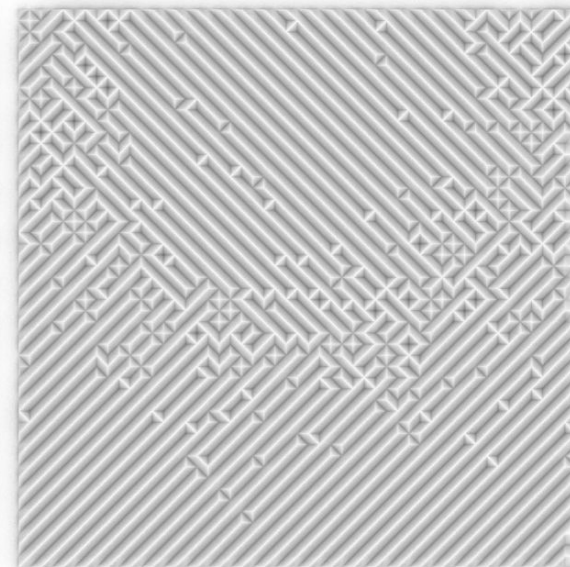
*juhuslik paigutus*

Juhuliku paigutuse asemel otsime aga lahendust kus voltimisel on sisejõududest tulenev loogika. Selleks on vaja luua parameetiline mudel, mis võimaldaks volte organiseerida vastavalt sisendväärtustele.



*lineaarne, x-koordinaadi väärtusest sõltuv sorteerimine juhuslikust joondatuks*

Kuna võimalikke suundi on 2 aga sisejõudude muutus aga jätkuv, võimaldab sujuvat üleminekut luua tõenäosuslik sorteerimine. Ekstreemumites on elemendid joondatud üht või teist pidi.



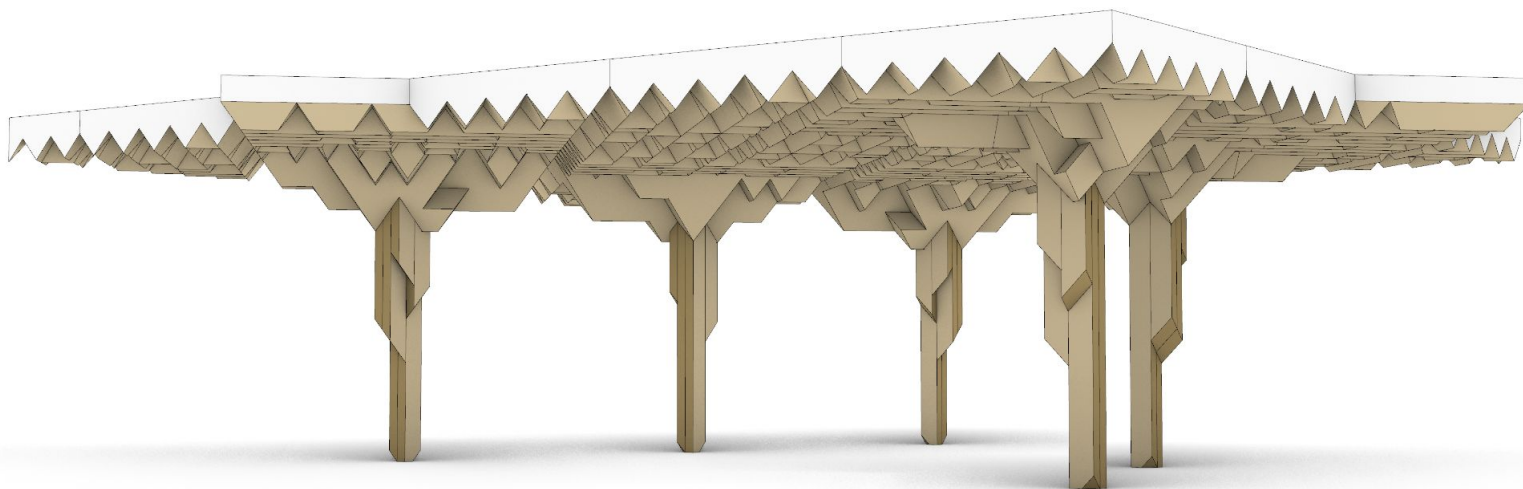
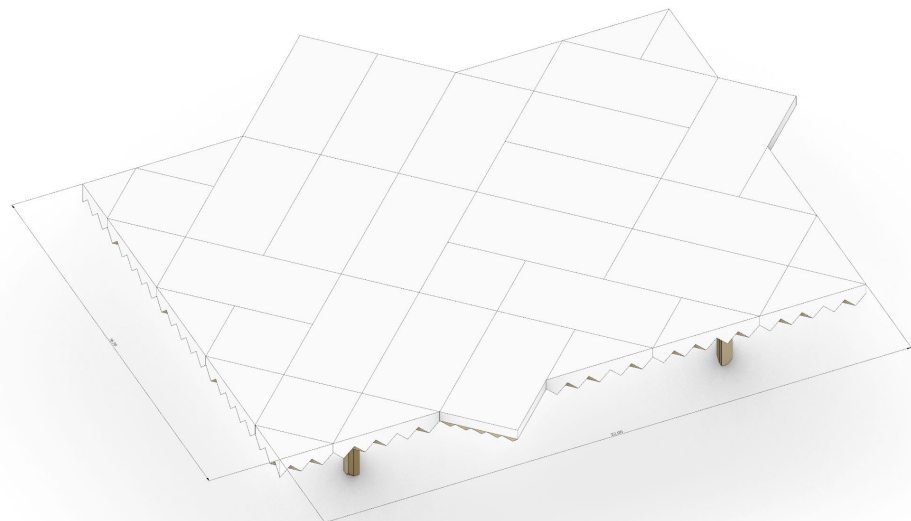
*radiaalne, referentspunkti kaugusest sõltuv sorteerimine juhuslikust joondatuks*

Ekstreemumite vahel muutub elementide suund vastavalt skaalaväärtusele. Keskel on elemendid paigutatud suvaliselt – mõlemat pidi olemise tulemus on 50%.

Geomeetria

### 3.3. Moodulid

Keskpargi 16 x 22 meetrit versioon  
toetub viiele seenemoodulile.

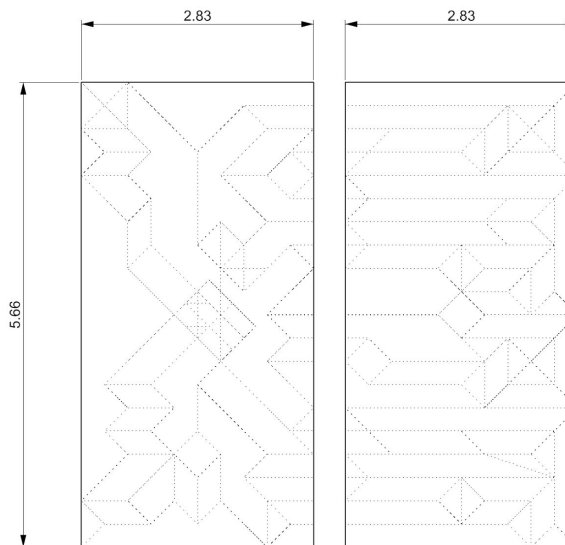
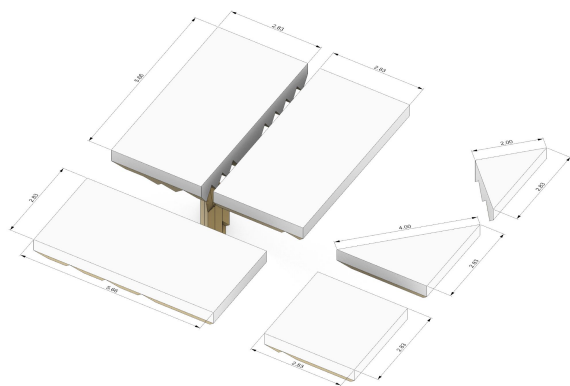


## Geomeetria

### 3.3. Moodulid

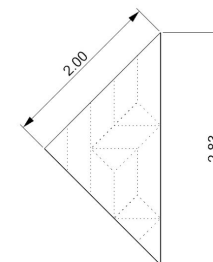
Keskpargi kultuuripaviljon koosneb järgnevatest moodulitest:

- Seen (post+posti laiendus) 5 tk
- Suur (laemoodul suur) 8 tk
- Väike (laemoodul väike) 3 tk
- Sisenurk (sisenurgamoodul) 13 tk
- Välisnurk (välisnurgamoodul) 2 tk

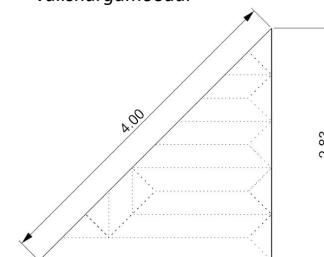


*post*

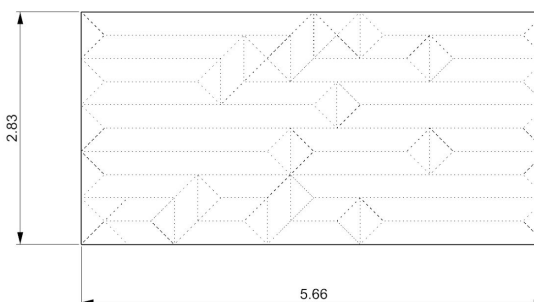
*posti laiendus*



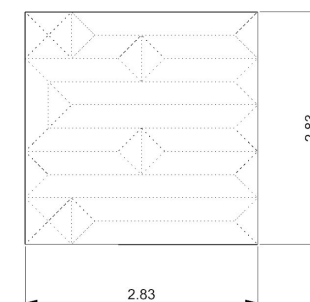
*välisnurgamoodul*



*sisenurgamoodul*



*laemoodul suur*



*laemoodul väike*

## Geomeetria

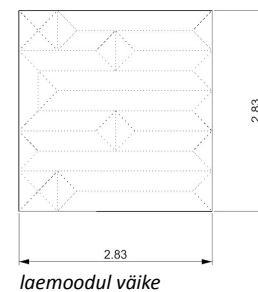
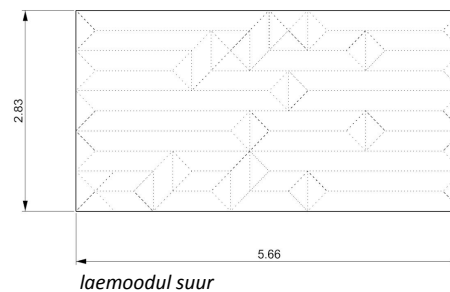
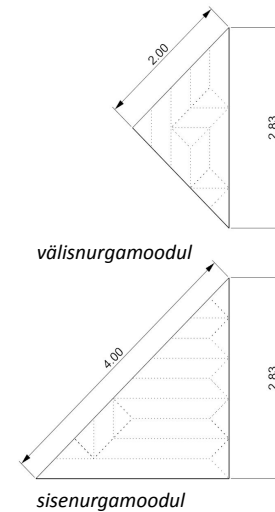
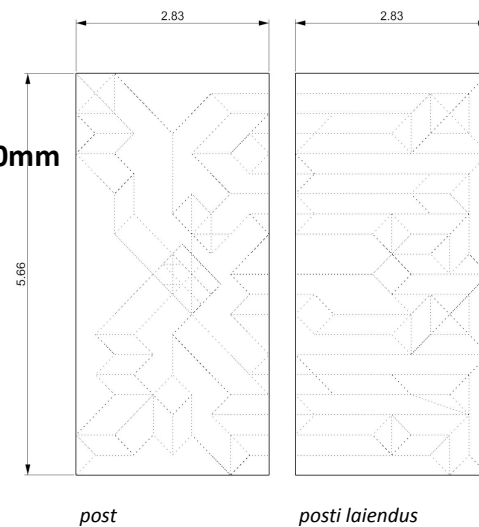
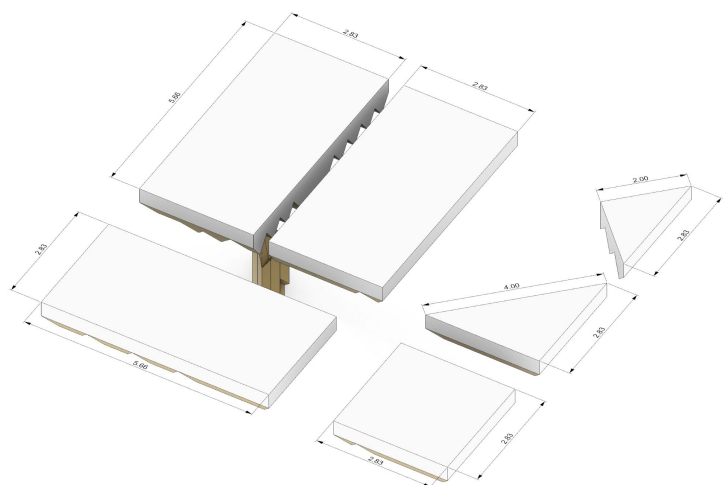
### 3.3. Moodulid

Keskparki kultuuripaviljon koosneb järgnevatest moodulitest:

	Arv	Katus 30mm	Külg 60mm	Lagi 30/60mm
Seen (post+posti laiendus)	5 tk	32 m <sup>2</sup>	16 m <sup>2</sup>	56 m <sup>2</sup>
Suur (laemoodul suur)	8 tk	16 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>	28 m <sup>2</sup>
Väike (laemoodul väike)	3 tk	8 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>	14 m <sup>2</sup>
Sisenurk (sisenurgamoodul)	13 tk	4 m <sup>2</sup>	4,7 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>
Välisnurk (välisnurgamoodul)	2 tk	2 m <sup>2</sup>	3,5 m <sup>2</sup>	3,5 m <sup>2</sup>
<b>PINDALA KOKKU</b>		<b>376 m<sup>2</sup></b>	<b>224 m<sup>2</sup></b>	<b>654 m<sup>2</sup></b>
<b>MAHT KOKKU</b>		<b>11,3 m<sup>3</sup></b>	<b>13,5 m<sup>3</sup></b>	<b>29,5 m<sup>3</sup></b>

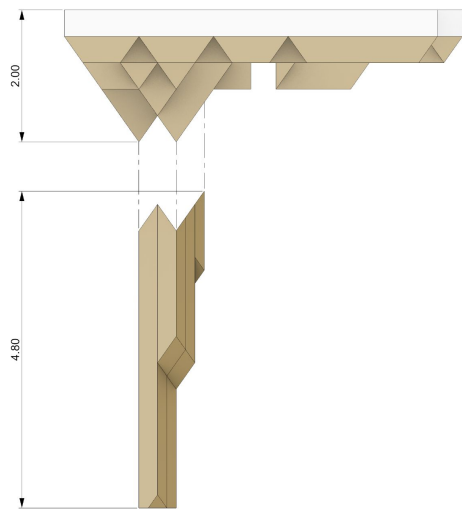
Postid massiivsed 5 tk 1,44 m<sup>3</sup> kokku **7,2 m<sup>3</sup>**

**PUIDU MAHT KOKKU 61,5 m<sup>3</sup>**

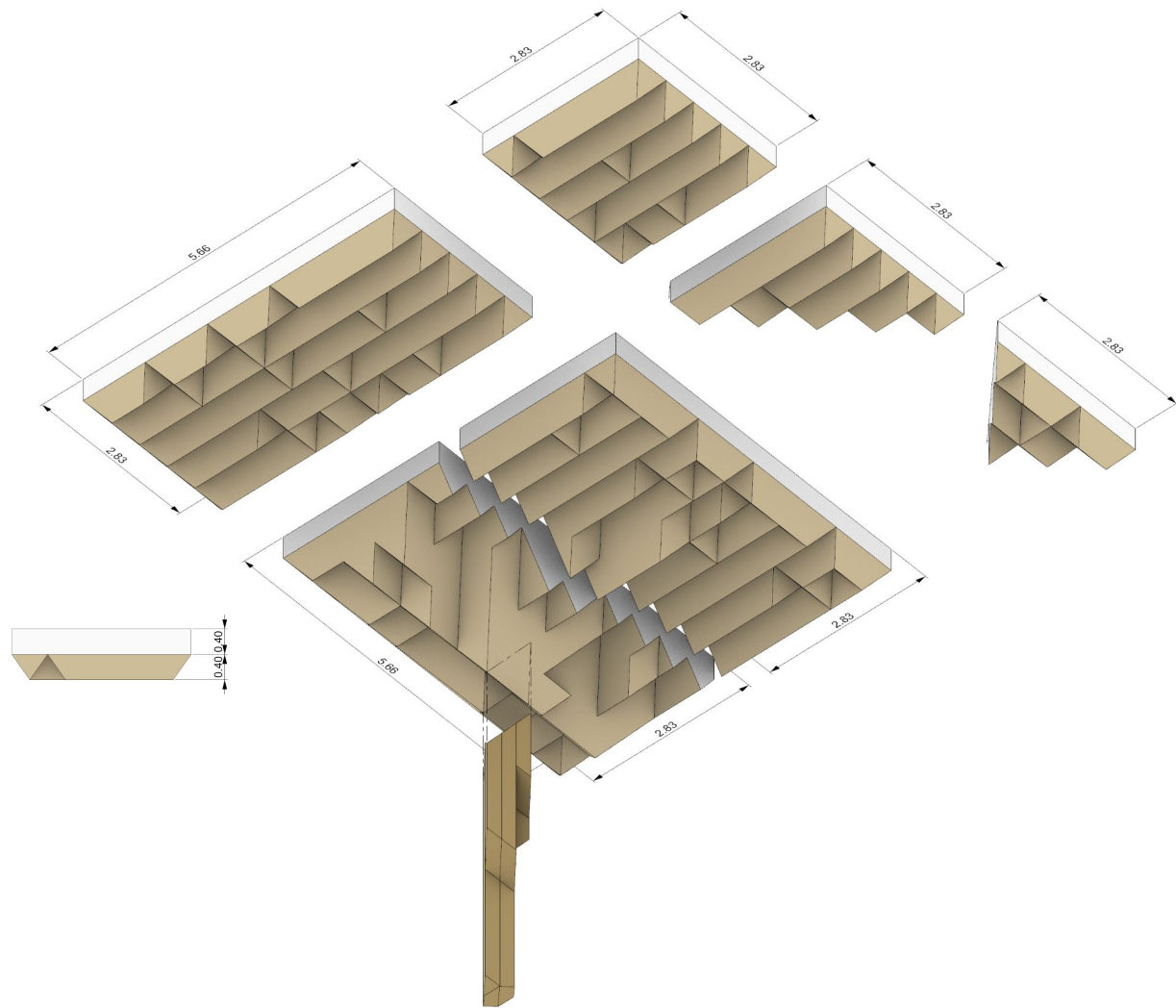


Geometria

3.3. Moodulid



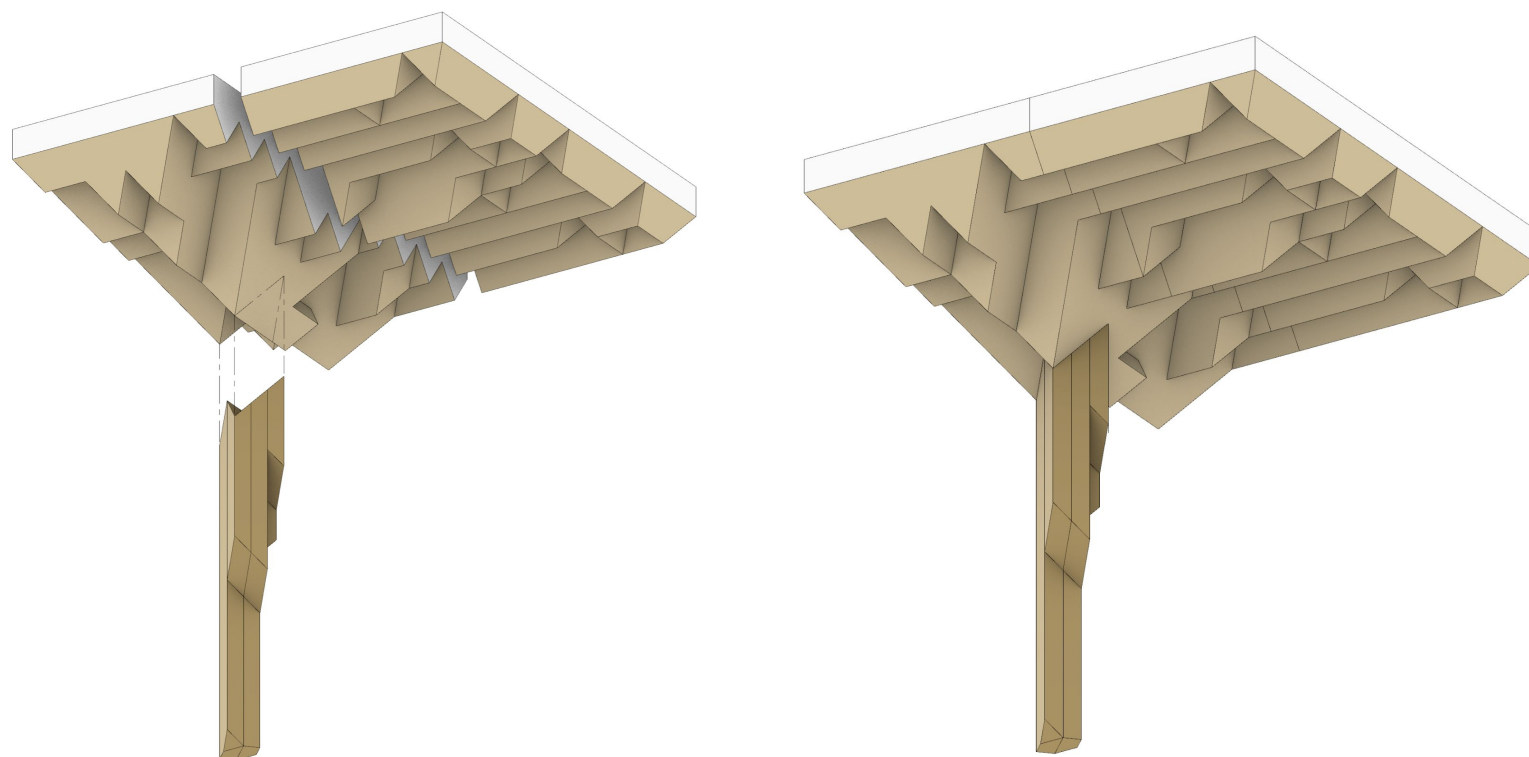
Moodulite eestvaade



Moodulite vaade alt

Geomeetria

### 3.3. Moodulid

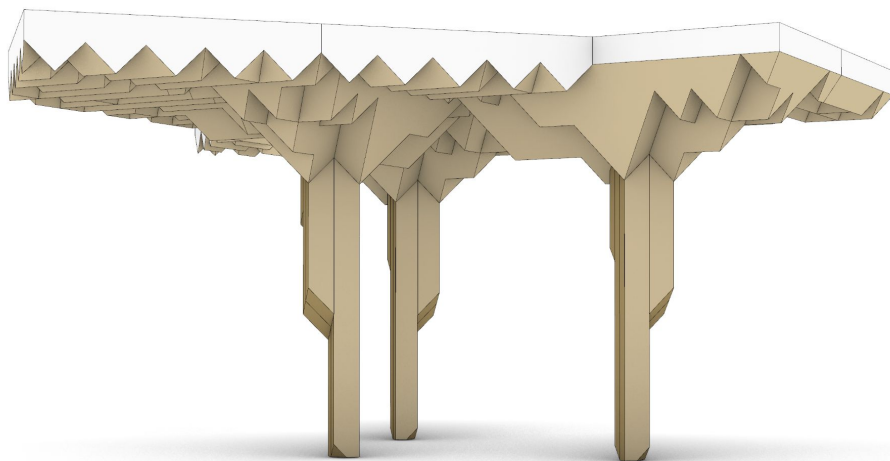


*Seenemoodul koosneb kolmest osast: post ja kaks laeelementi*

Geomeetria

### 3.3. Kombinatorika

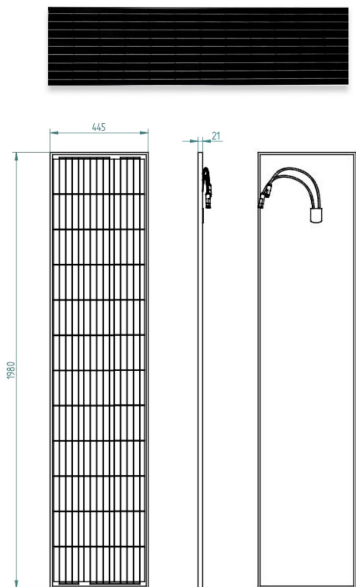
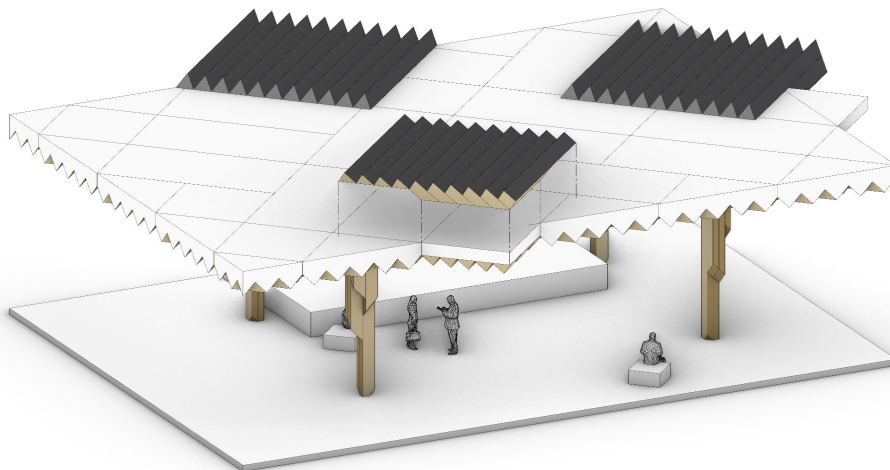
Variatsioon vähemate moodulitega  
ehk kolme seenemooduliga



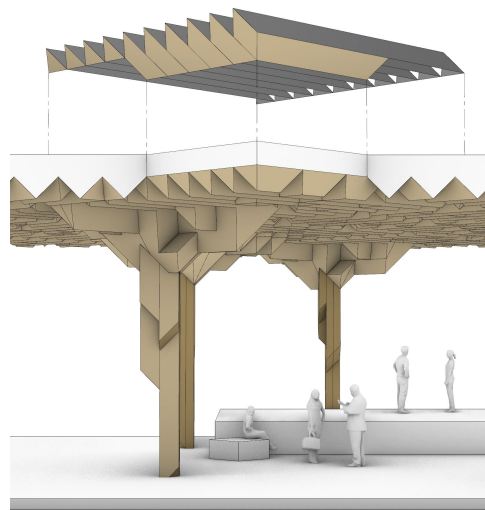
*Minimaalselt 3 Seenemoodulit on vaja konstruktiivse  
terviku loomiseks*

### Energiatootmine 3.4. Päikesepaneelid

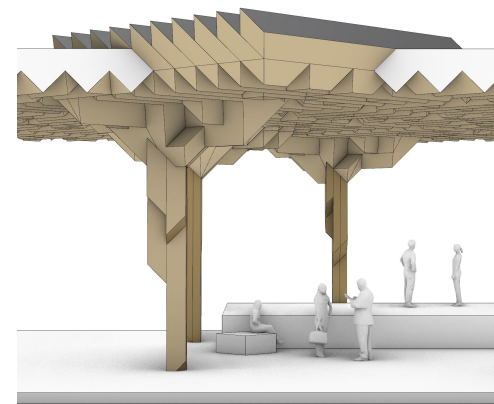
Aktsentpaneelidel asuvad 3x36m<sup>2</sup> päikesepaneele, teavitades paviljoni enda energiatootmisest ning võimaldades avalikke laadimispunkte.



Näidispaneel. Solarstone valtskatuste ja seinakatte moodulid. Mõõdud 1980mmx445mm, sügavus 21mm.



Päikesepaneelide lisamine moodulitele



Integreeritud päikesepaneelid



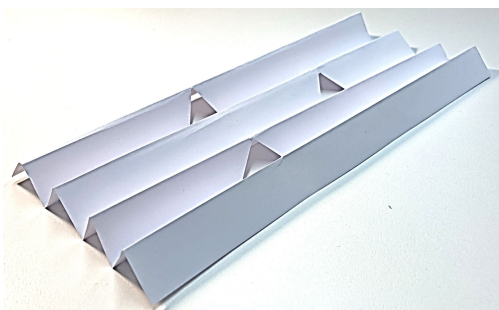
# 4

## KONSTRUKTSIOON

## Konstruksioon

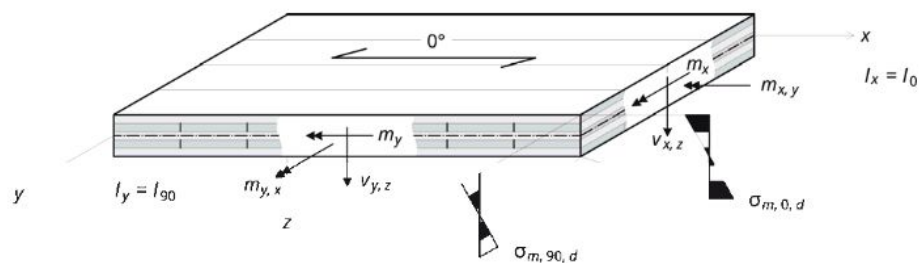
### 4.1. CLT

CLT kui ortotroopiline plaat võimaldab koostada konstruktsioone, mis töötavad koormusele plaadi tasapinnas: seinakonsoolid, punkttoetusega seinad või talad, jäikusseinad ning voldik-konstruktsioonid.

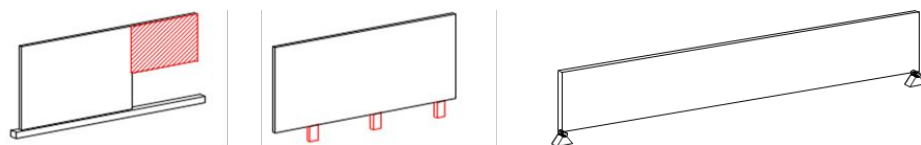


$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & \text{sym.} & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & \text{sym.} & \text{sym.} & D_{38} \\ & & & D_{44} & D_{45} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix}$$

CLT plaadi jäikusmaatriks



CLT kui ortotroopiline plaat | Novak et al (2014)

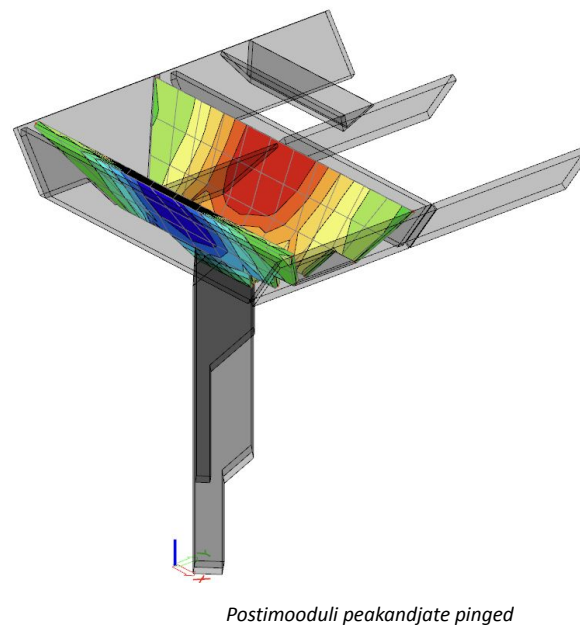
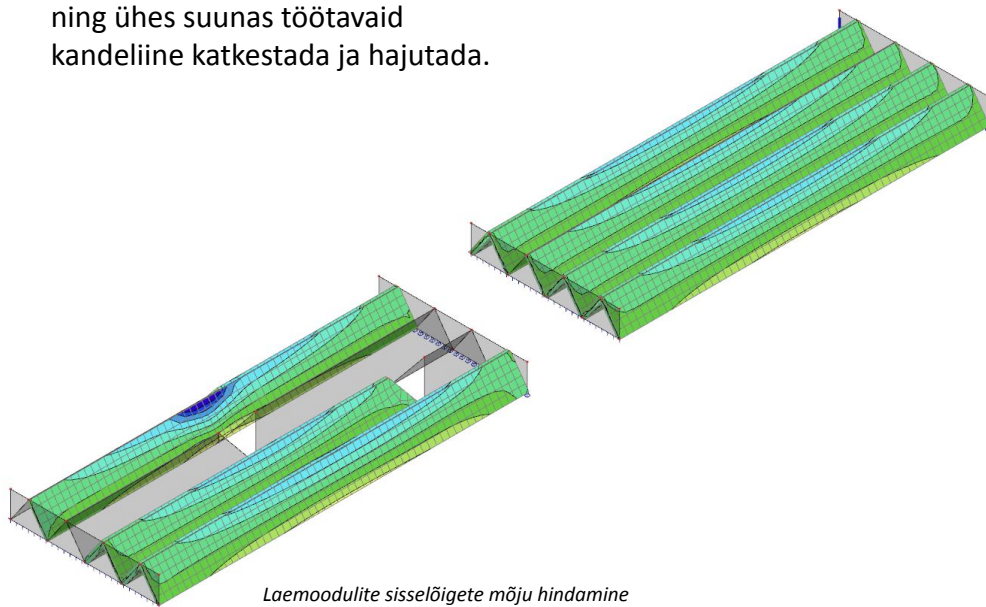


CLT plaadi kasutusvõimalused tasapinnas koormamisel | Schickhofer (2015)

## Konstruksioon

### 4.1. CLT

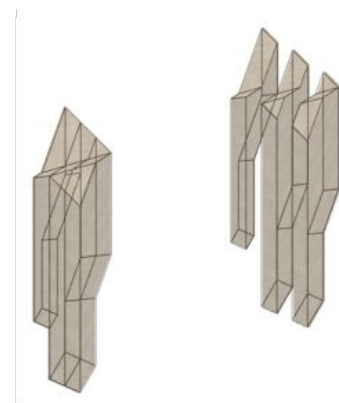
Arvutustes võetakse ototroopsust ehk plaadi eri suundade erinevaid jäikuseid arvesse viisil, mis ruumilistes kandekonstruktsioonides lubavavad koormamist eri suundades ning ühes suunas töötavaid kandeliine katkestada ja hajutada.



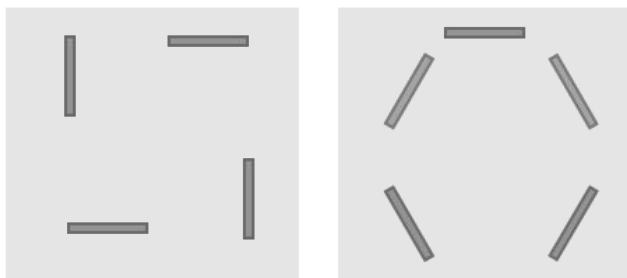
## Konstruksioon

### 4.2. Postid

Postid koostatakse mitmest osast liimpuidust ja/või ristkihtliimpuidust. Posti tüvi on alt ülesse astmeliselt laienev ning ülemises osas moodustub alus laemooduli paigaldamiseks. Postide ülesanne lisaks katusemoodulite toetamisele on jäigastada kogu paviljoni horisontaalsuunas.

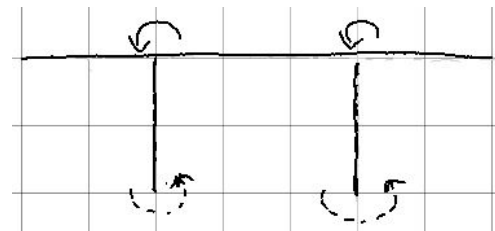


*Liimpuidust ja/või CLT plaatidest koostatud post*



*Paviljoni jäigastamise võimalikud strateegiad: ristküliku pikem külg näitab posti töösuunda*

*Momendi kandmine laemooduli jäigastavale osale*

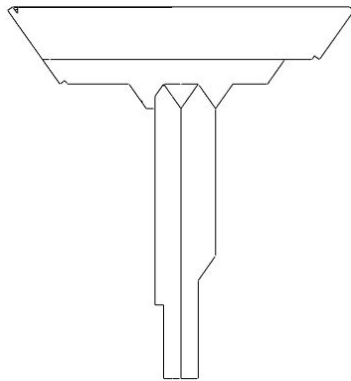


*Momendi kandmine vundamenti jäiga aluse olemasolul*

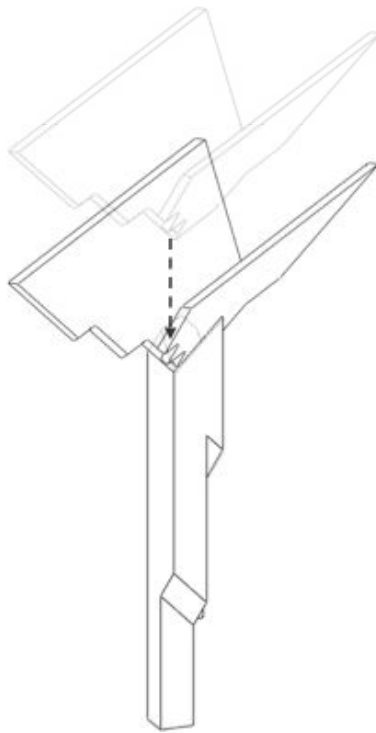
## Konstruksioon

### 4.2. Postid

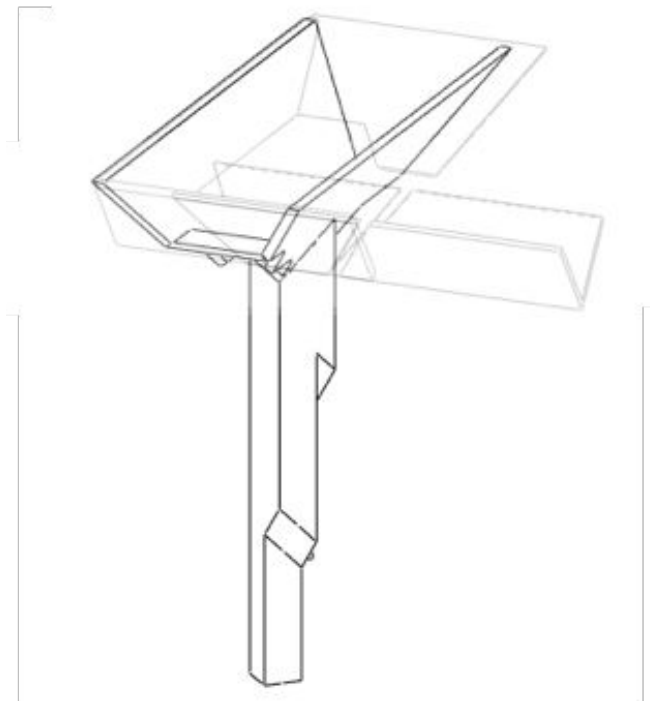
Postide kinnitus vundamenti ning laemoodulisse on jäik: vundamenti kinnituseks kasutatakse liimitud keermestatud vardaid või terasest keskelemendiga naagelliidet ning momenti üle kandev ühendus laemooduliga tagatakse laia kontaktpinna ning terasest kinnituselementidega.



*CLT plaatidest postimoodul „seen“*



*Postimooduli CLT plaatidest  
peakandeliin*

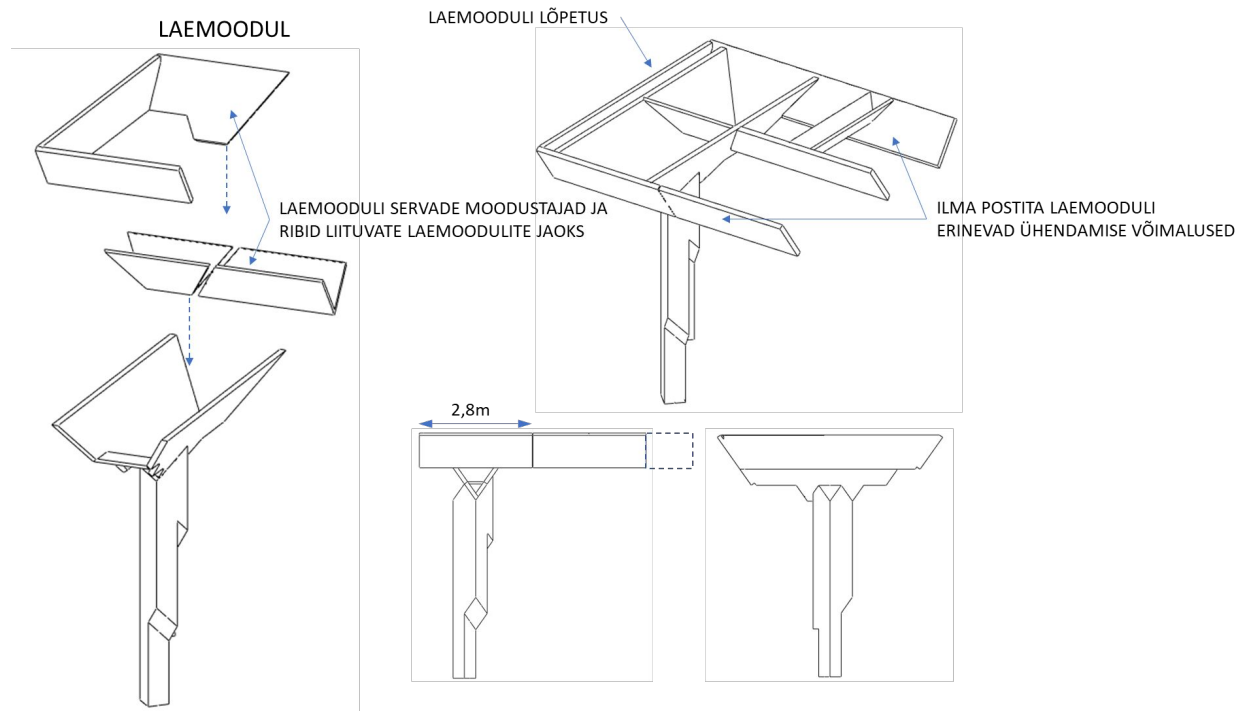


*CLT plaatidest postimooduli „seene“  
moodustamise põhimõtteline  
skeem*

## Konstruksioon

### 4.3. Laemoodulid

Posti kohal olev laemoodul on maksimaalse kõrgusega posti kohal, väheneb astmeliselt kõikides suundades ümber posti, moodustades tinglikult kukeseene kuju. Moodul koosneb veritkaalsetest ja kalde all olevatest omavahel ristuvatest CLT plaatidest, mis seotuna tekitab ruumilise voldikkonstruksiooni. Sellises struktuuris kasutatakse ära CLT plaadi ühte tugevamat omadust ehk jäikust ja tugevust koormamisel tasapinnas.

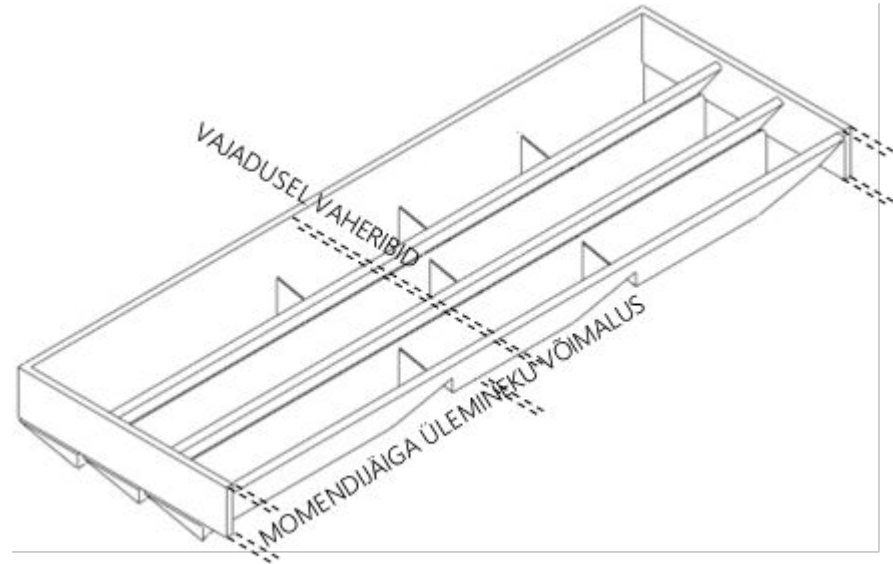


Laemooduli koostediagramm

## Konstruksioon

### 4.3. Laemoodulid

Postide vahelised laemoodulid töötavad samuti voldikkonstruktsioonina võimaldades ühes suunas töötavaid kandeliine katkestada ja hajutada. CLT plaatide omavahelised ühendused on liimühendused, metallist mehaaniliste kinnituselementidega liited või puidust tappühendused.

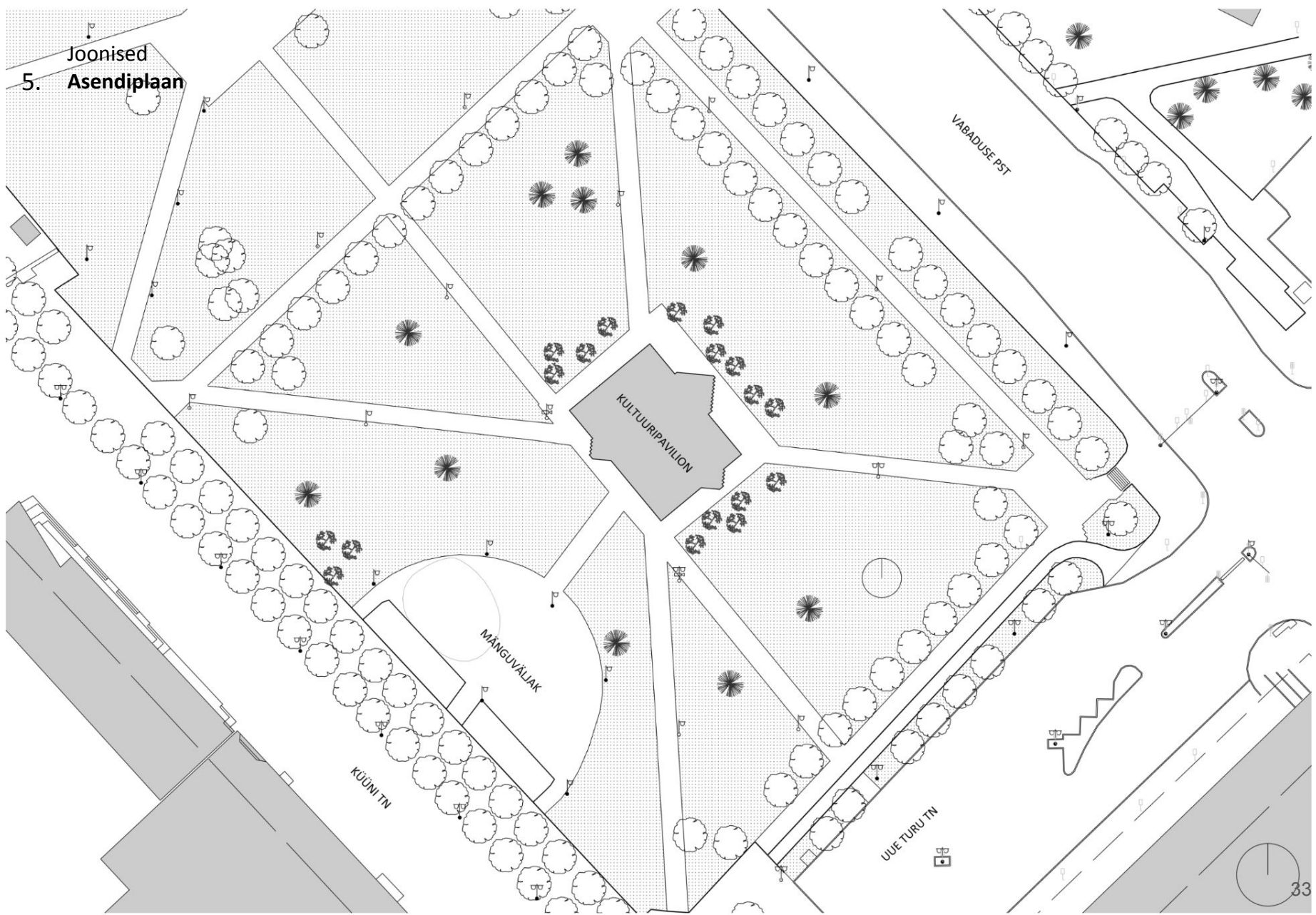


*CLT plaatidest vahelaemooduli moodustamise põhimõtteline skeem*

5

JONISED





5. Joonised  
Asendiplaan

KULTUURIPAVILION

MANGUVÄJAK

VABADUSE PST

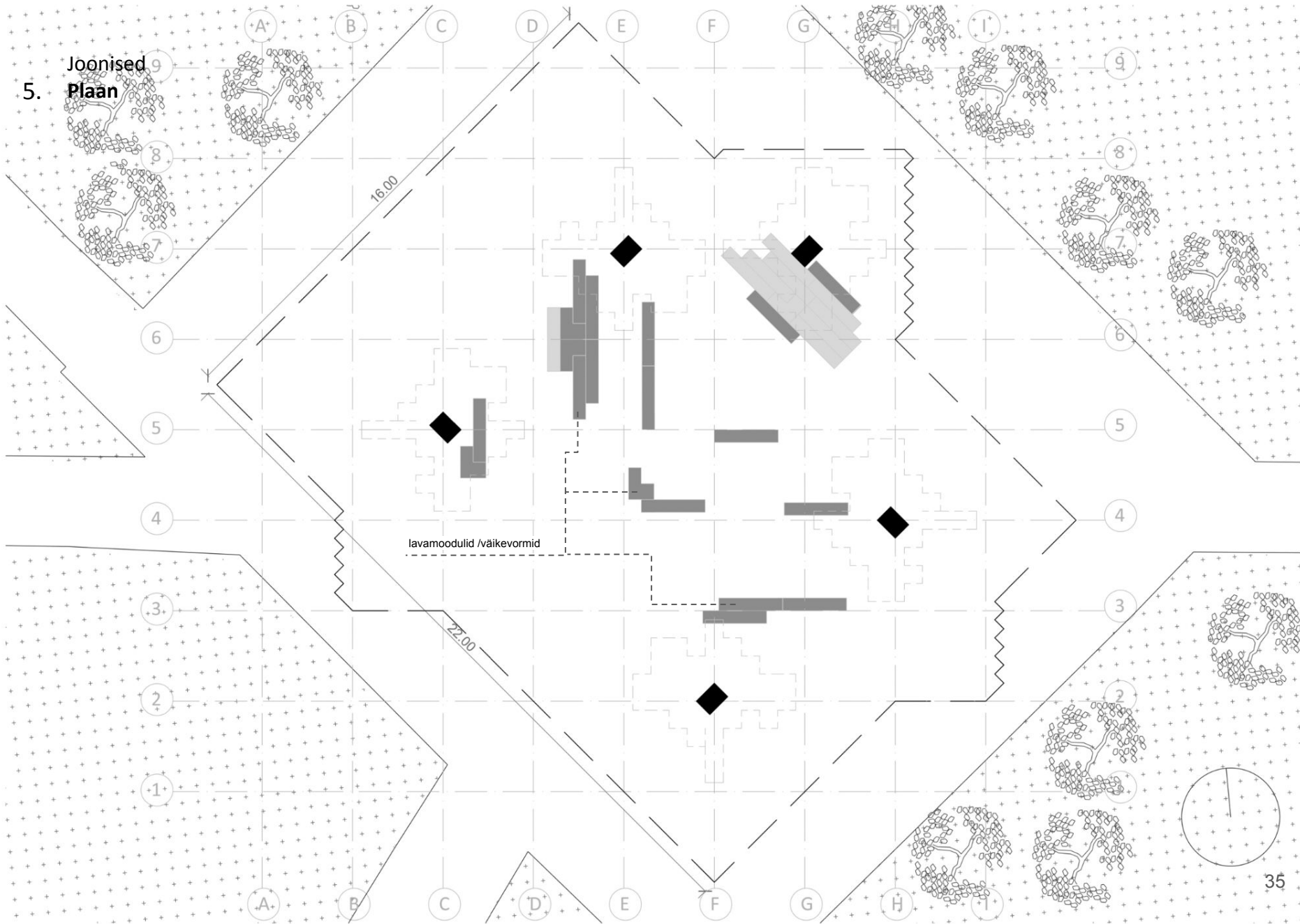
UUE TURU TN

KÜÜNI TN

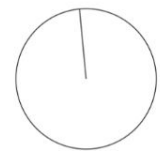
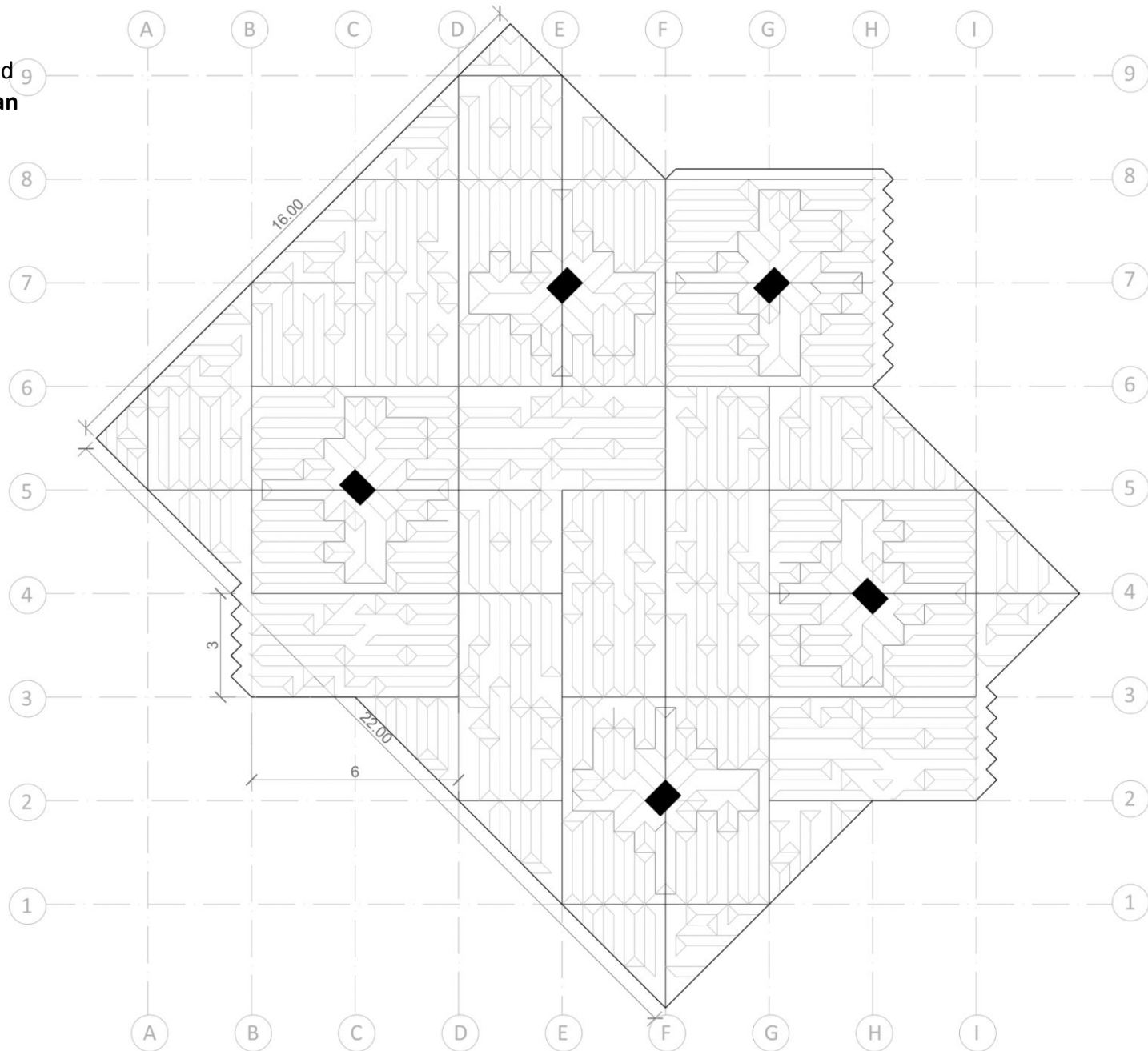
Joonised  
5. Asendiplaan



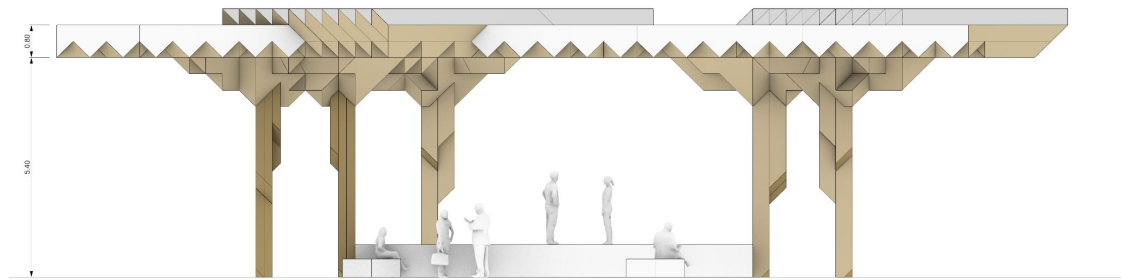
5. Joonised  
Plaan



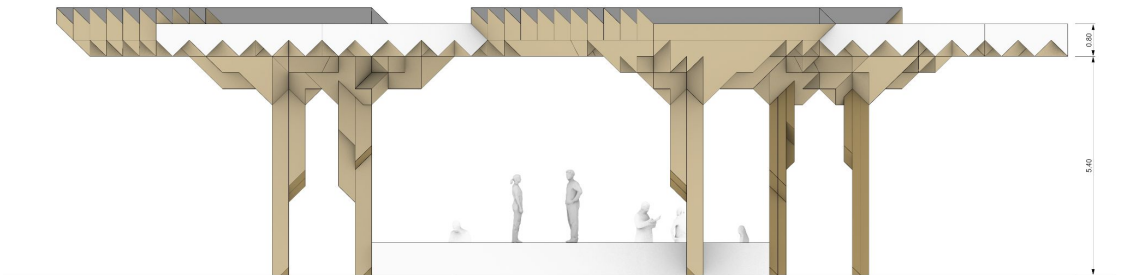
5. Joonised  
Laeplaan



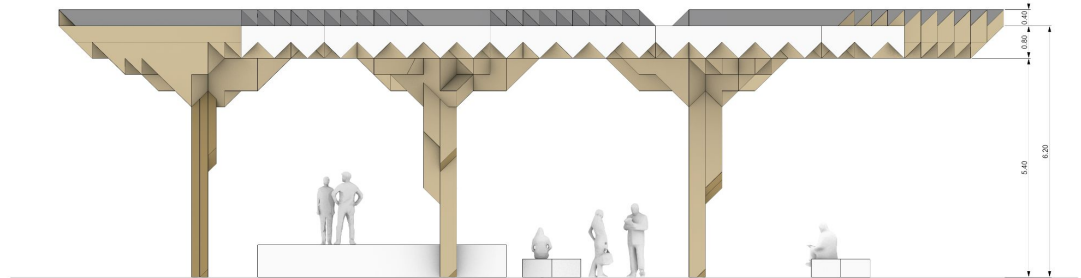
5. Joonised  
Vaated



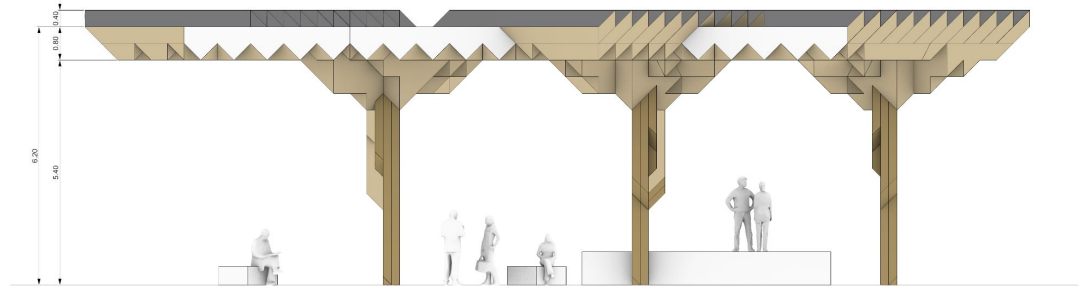
*vaade Küüni tn poolt, edelast*



*vaade Emajõe poolt, kirdest*



*vaade Poe tn poolt, loodest*



*vaade Kaubamaja poolt, kagust*

# 6

VISUAALID



*vaade Küüni tn poolt, edelast*



*vaade lõunast, Kaarsilla suunas*





*vaade läänest, turuhoone suunas*



*linnulemmuvaade Kaubahalli kohalt*



*õine vaade lõunast*

PUITARHITEKTUURI KOMPETENSIKESKUS

**PAKK**

**EKA**

**TAL  
TECH**