

EELUURIMUS

MUSTERSÜSTEEM & RUUMI MOODUL

II VAHERAPORT

II VAHERAPORT

|

EELUURIMUS

UURIMISPROJEKT 1+X

MUSTERSÜSTEEM & RUUMIMOODUL

II VAHERAPORT

**Moodulsüsteemi 1+X arendus, tehnomooduli
väljatöötamine ja põhu kui materjali kasutamise
uurimine**

KOOSTAJAD: VALERII KRINBERG, TRIINU AMBOJA, ROOSMARI KUKK

JUUNI-AUGUST 2023

SISUKORD			
SISSEJUHATUS	6		
1. SÜSTEEM	8		
1.1. Moodulaarsete süsteemide areng	10		
1.1.1. Modulaarsuse eelised	11		
1.1.2. Modulaarsuse nõrkused & väljakutsed	11		
1.2. Modulaarse süsteemi lähtepunktid	13		
1.2.1. Volumetric modular construction	14		
1.2.2. Non-Volumetric modular construction	20		
1.2.3. Mixed modular construction. Volumetric and Non-volumetric	27		
2. MATERJALID	31		
2.1. Ökoloogilised ehitusmaterjalid	31		
2.2. Puit	31		
2.2.1. Puit(raamide) eluring	34		
2.3. Põhk	36		
2.3.1. Materjaliomadused	36		
2.3.2. Põhust ehitamine	41		
2.3.2.1. Nebraska stiil	42		
2.3.2.2. Puitkonstruktsioonist põhumaja	45		
		2.3.2.3. Põhust moodulmajad	48
		2.3.3. Põhust maja vundament	52
		2.3.4. Põhust maja katus	52
		2.3.5. Viimistlus	52
		2.3.6. Põhu(seina) eluring	53
		3. KONSTRUKTSIOONID	56
		3.1. Paneelitootjate kaardistus	56
		3.1.1. Durra Panel	56
		3.1.2. EcoCocon	59
		3.1.3. Ekopanely	62
		3.1.4. ModCell	63
		3.1.5. Modulina	65
		3.1.6. Rainbow Ecosystem	68
		3.1.7. StrawSIPS	71
		3.2. Elementide vahelised liitumised	74
		3.2.1. Tappliitumised	74
		3.2.1.1. SI-MODULAR	75
		3.2.1.2. Strawshape	77
		3.2.1.3. U-Build	78
		3.2.2. Kruviliitumised	79

3.2.3. Vaheelemendiga liitumised	80	KOKKUVÕTE	100
3.2.3.1. Durra Biscuit	81	KASUTATUD KIRJANDUS	102
4. TOOTMINE	82		
4.1. Alaline ehk tsentraalne	82		
4.2. Liikuv ehk lokaliseeritud	83		
5. TRANSPORT	85		
5.1. Transpordi viisid	85		
5.1.1. Maanteetransport	85		
5.1.2. Meretransport	87		
5.1.3. Raudteetransport	88		
5.1.4. Lennutransport	88		
5.2. Transpordivahenditest tulenevad mõõdud ja piirangud	89		
5.2.1. Maanteetranspordist tulenevad mõõdud	89		
5.2.2. Meretranspordist tulenevad levinumad konteinerite mõõdud	92		
5.2.3. Raudtee transpordist tulenevad mõõdud	93		
6. EHITUS	94		
6.1. Kokku ja lahtikäidavuse olulisus	94		
6.2. Ehituse kestus ja viis	98		

SISSEJUHATUS

Käesolev dokument on arendusprojekti “Moodulsüsteemi 1+X arendus, tehnomooduli väljatöötamine ja põhu kui materjali kasutamise uurimine” II vaheraport, mis käsitleb modulaarset ehitust ja põhu kasutust ehituses. Raport valmis 2023. aasta juunist augustini ning kuulub arendustöö eeluurimise faasi. Uurimus on jaotatud kuueks osaks ning käsitleb teemasid nagu süsteem, ökoloogilised ehitusmaterjalid, konstruktsioonid, tootmine, transport ja ehitus.

Hooned moodustavad olulise osa kogu maailma energiakasutusest. Väiksema keskkonnamõjuga energiatõhusa hoone kavandamine on jätkusuutliku ühiskonna poole liikumisel võtmetegur. Modulaarsete süsteemide kasutamiseks tulevikus tuleb arvestada nende panust väiksema süsiniku heitkoguse, kiire ehitamisevajaduse ja ühiskonnamuutuvate vajadustega kohanemise osas. Aja jooksul peavad kasutatavad materjalid ja komponendid säilitama oma positiivse mõju keskkonnale ning võimaldama paindlikkust seoses tulevaste ruumiliste ja funktsionaalsete

vajadustega.¹ Modulaarne hoonesüsteem on ehituslahendus, kus hoonekomponendid valmistatakse tehases standardsetena ja seejärel transporditakse ehitusplatsile, kus need omavahel kokku pannakse. See lähenemine võimaldab kiiremat ehitamist, suuremat paindlikkust ja tõhusamat ressursikasutust.

Ökoloogilised materjalid on looduslikud, mis vähendab nende tootmise ja kasutamise ökoloogilist jalajälge. Mõned ökoloogilised materjalid on biolagunevad või taaskasutatavad, mis tähendab, et need lagunevad looduses kiiremini või neid saab ringlusse võtta pärast nende kasutusaja lõppu. See aitab vähendada jäätmete hulka ja sõltuvust uutest ressurssidest. Paljud ökoloogilised ehitusmaterjalid kuuluvad ka taastuvate allikate hulka, nagu puit, savi ja põhk. Põhk omab ehituseks sobivaid füüsikalisi omadusi nagu hea soojusisolatsiooni võime, mis aitab vähendada energiakulu hoone kütmisel ja jahutamisel. Seega ehitamine ökoloogilistest materjalidest võimaldab vähendada keskkonnamõju, edendada säästvat arengut ja luua tervislikumaid elukeskkondi.

¹ P. Rizzotti, A. Vercoutère, F. Baudry, M. Levy, T. Gaspard, A. M. Richon, O. Angeli, J. Edelmann, A. Mignon, Light and low carbon construction. Paris: Pavillon de l'Arsenal, 2022, lk 321.

1. SÜSTEEM

Arhitektuuri modulaarsus hõlmab sama mooduli kasutamist mitmes konfiguratsioonis, võimaldades seega palju erinevaid kujundusi. Modulaarse arhitektuuri ilu seisneb selles, et saab asendada või lisada, mis tahes moodulit ilma ülejäänud süsteemi mõjutamata.²

Antud arendustöös keskendume puidupõhistele modulaarsetele süsteemidele, kuna puit on kõige suurema jätkusuutlikkuse potentsiaaliga. Samuti on puidul eeliseid võrreldes teiste materjalidega (metall, betoon, telliskivi): ökoloogilised omadused, madala emissioon, kiire ehitus, lihtne valmistamine, paindlikkus. Puidu kui materjali väike kaal võimaldab transportida suuri ühikuid.³

Modulaarne ehitusplatsiväline (*Off-site*) ehitamine hõlmab ehitusprojekti projekteerimise, valmistamise ja ehitamise etappide integreerimist. Selle lähenemisviisi põhiväide on tootmiseks ja kokkupanekuks mõeldud disain (DfMA). Kontseptsioon, mis põhineb tootmisprotsessi terviklikul mõistmisel, rõhutades

disaini, mis hõlbustab toote valmistamist, tarnimist ja paigaldamist. Rakendades seda ideed modulaarsetele hoonetele, ei projekteeri projekteerimeeskonnad mitte ainult hoone erinevaid elemente, vaid kavandavad ka protsessi, kuidas neid elemente valmistatakse, objektile teisaldatakse ja monteeritakse.⁴

2 W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, Basel: Birkhäuser, 2019, lk 9–19.

3 W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, lk 26–31.

4 Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential, <https://essential.construction/academy/tutorials/modular-construction-2/> (vaadatud 10. VIII 2023).

1.1. Moodulaarsete süsteemide areng

Esimene ruumimoodul oli 1896. aastal betoonkonstruktsioonide industrialiseerimise kõrvalsaadus. Seejärel kavandati 1930. aastal kokkupandavad puitkarkassi komponendid. Modulaarsete süsteemide kiire areng leidis aset 1960–1970 aastatel tänu sellele, et Nõukogude Liidus ja üldiselt ida-euroopas oli vajadus arendada ja suurendada elamufondi.⁵ Alates 1972. aastast viidi ellu palju projekte nii ajutiseks kui ka alaliseks kasutamiseks. Ehitusprojektid ulatusid koolimajadest kuni haigla korruste lisamiseni. Standardmõõtudega 3x3, 3x6, 3x9 ja 3x12 meetrit moodulid on tänapäeval siiani kasutusel ning nelinurkne moodul koosneb liimpuidust karkasskonstruktsioonist. Puitmoodulid arenesid drastiliselt 20. sajandi lõpus, kus lahendused olid ühekorruselised just ehituslike piirangute ja puuduvate tehnoloogiate tõttu. 21. sajandi algusest on see jätkuvalt populaarne ehitusviis, mida siiani arendatakse ja millest tuntakse huvi.⁶

5 J.-L. Cohen, Building a new New World. Amerikanizm in Soviet Russia, Connecticut: Yale University Press, 2020.

6 W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, lk 9–35.

1.1.1. Modulaarsuse eelised

1. Võimalus tekitada paindlikkust disainis
2. Kulude vähendamine – süsteemi kohandatavus, mida saab piirata ja vajadusel jätkata
3. Jätkusuutlikkus ja neutraalne keskkonna mõju
4. See pakub disaini koostalitlusvõime⁷
5. Võimalik on lihtne remont
6. Turvaline ehitusplatsi ruum⁸
7. Iga seotud ehitusega isik ei pea olema kogu valdkonna asjatundja heade oskustega
8. Ilmastiku mõju minimeerimine ehitusprotsessides.⁹

1.1.2. Modulaarsuse nõrkused & väljakutsed

Eeltootmist seostatakse sageli tarbijale suuremate valikuvõimaluste loomisega ja paindlikumate ehitusmeetoditega. Tegelikult on paljud hiljuti toodetud kokkupandavad hoonesüsteemid täpselt

7 Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential.

8 W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, lk 9–19.

9 T. Schneider, J. Till, Flexible Housing. Amsterdam: Elsevier, 2007, lk 175–176.

vastupidised paindlikele või kohandatavatele süsteemidele. Selle juures on kaks põhjust. Esiteks kipub enamikus kokkupandavates süsteemides kasutatav paneelipõhine lähenemine konstruktsiooni kihte omavahel siduma, ühendades püsivalt väliskihi, konstruktsiooni, isolatsiooni ja sisekihi. See kehtib eriti viimase aja edusammude kohta struktuurselt isoleeritud paneelide (SIP) vallas, kus kõik ehituskihid on sõna otseses mõttes omavahel ühendatud. Teine põhjus seisneb selles, et projekteerimise etapis pakutav lõputu valik tähendab, et väga konkreetset ruumilised ja esteetilised otsused on algusest peale paigas.¹⁰

Kokkuvõtvalt on järgmised puudused:

1. Piiratud disainivalik
2. Heakskiitmise protsess (bürokraatia) võib olla keeruline
3. Transpordikulud
4. Raske finantseerimise protsess
5. Ühiskond ei ole veel harjunud taolise ehitusviisiga.¹¹

¹⁰ T. Schneider, J. Till, Flexible Housing. Amsterdam: Elsevier, 2007, lk 176.
¹¹ Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential.

1.2. Modulaarse süsteemi lähtepunktid

Tänapäeval hooned moodustavad olulise osa maailma kogu energiakasutusest. Energiatõhusamate ja vähese keskkonnamõjuga hoonete kavandamine on säästvale ühiskonnale üleminekul võtmetegur.¹²

Üldjuhul valmistatakse väljaspool objekti kokkupandavaid moodulehitus elemente, kas mitte-mahuliste komponentidena (*non-volumetric components*) või mahuühikutena (*volumetric units*).¹³

Mahuline moodulkonstruktsioon (*volumetric modular construction*) kujutab endast suletud kolmemõõtmeliste ruumide ettevalmistamist väljaspool ehitusplatsi, mis seejärel ühendatakse kohapeal, et moodustada üks hoone. Näiteks kasutatakse sellist ehitusviisi sageli mitmeosaliste elamuprojektide jaoks, nagu hotellid, ühiselamud ja kortermajad. Iga moodul võib olenevalt selle suurusest, koosneda ühest või mitmest moodulist.

Mittelahuline moodulkonstruktsioon (*non-volumetric modular construction*) hõlmab

¹² J. Kanters Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art. – MDPI, <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/11/150> (vaadatud 4. VII 2023).

¹³ D. Wallance, The Future of Modular Architecture. Oxfordshire: Routledge, 2021.

ehituselementide eelvalmistamist väljaspool ehitusplatsi, mis seejärel ühendatakse kohapeal.¹⁴

Puuduvad universaalselt kehtivad reeglid selle kohta, millal ja millist süsteemi rakendada. Otsus sõltub suuresti konkreetse projekti põhitingimustest. Seinte, põranda ja lae ehitussüsteemi valikul olulised kriteeriumid on: staatika ehk elementide ja sellest lähtuvalt avade suurused, vorminõuded pinnale ehk välistarindeid ilmastikust kaitsev kiht, ehitusfüüsikaga seotud nõuded, tuleohutus, elementide suurused, eriti lae kõrgus, tootjate kompetentsus ja omavaheline tihe koostöö.¹⁵

1.2.1. Volumetric modular construction

Ruumimoodulid on reeglina risttahukad, ristkülikukujuliste põhiplaani ja kuue tahuga, millest kaks on ühesuurused (pilt 1 ja 2). Konstruktsiooniliselt eristatakse pikisuunalisi seinu, põikseinu, lage või katust ja põrandat. Loomulikult saab risttahuka kuue külje üksikuid pindu olenevalt konstruktsioonist eemaldada, võimaldades ulatuslikke ruumilisi seoseid, mitme mooduli kombinatsioone ühe ruumi moodustamiseks

või suuri aknapindu. Kuid pärast rohkem kui ühe külgsinna väljajätmist muutub risttahukas staatiliselt ebastabiilseks. Vähemalt transpordi eesmärgil tuleb moodul igal juhul ajutiselt tugevdada ja ajutiselt sulgeda, et vältida ilmastikumõjusid sisekonstruktsioonile.¹⁶



Pildid 1 ja 2. Ruumimooduli näide.

¹⁴ Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential.

¹⁵ W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, lk 9–35.

Kuigi ruumimooduli põhine ehitusviis võib pakkuda uuenduslikku ja kvaliteetset lähenemist mõnele majaehitusega seotud lühiajalisele probleemile, on nende pikaajaline kohanemisvõime küsitav. Selleks, et need ruumimoodulid hõlmaksid, mistahes kohandatavust kasutuses või tehnoloogias, tuleb paindlikkus projekteerimise ajal sisse planeerida ja see tuleb sisse ehitada üksuse põhistruktuuri. Kuid ka siis piirab paindlikkust kokkupandava mooduli laius, mille omakorda määravad transpordipiirangud (tavaliselt 3,2–3,8 meetrit).¹⁷

Erinevalt traditsioonilisest kohapealsest ehitusest, mille puhul hoone valmib üldjuhul väljast sissepoole, ehitatakse kokkupandavad ruumimoodulid tavaliselt seest väljapoole. Sellistel puhkudel valmib esmalt mooduli karbikarkass, seejärel lisatakse siseviimistlus, paigaldatakse MEP komponendid ja isolatsioon ning lõpuks paigaldatakse välisümbris ja vooder.

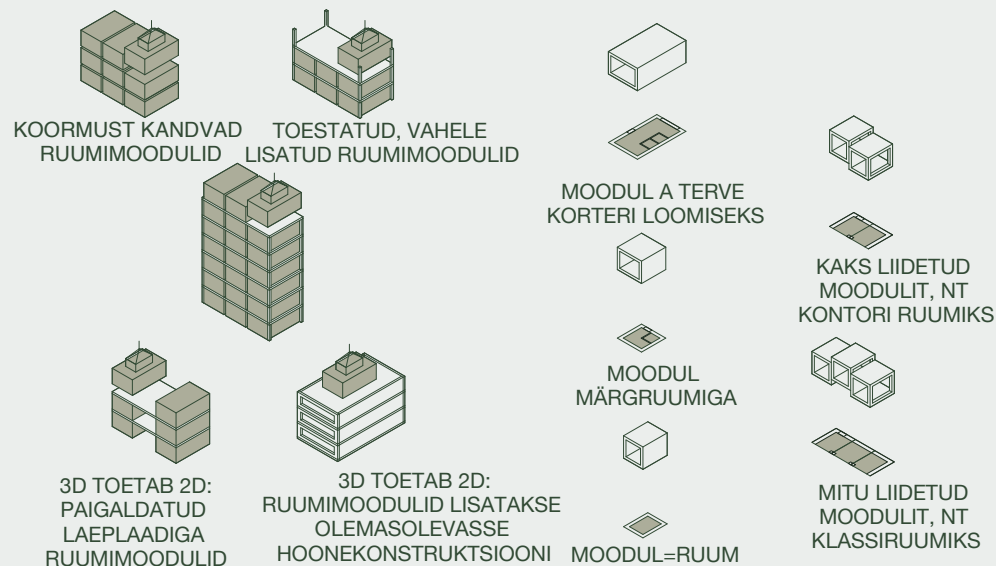
Tootmise etapid:

1. Üldine materjali kokkupanek.
2. Põranda raamimine ja terrass. Välis- ja siseseinte raamimine. "Kast" on paigaldatud šassii.
3. Katuse raamimine/kinnitus. "Kasti" külge kinnitatud lagi. Sisemiste vaheseinte ja torustiku paigaldus.
4. Kipsplaat (seinad). Elekter (seinad).
5. Kipsplaat (lagi). Isolatsioon. Elekter.
6. Välimine vineerkate. Avade puhastus. Üldine sisepuhastus.
7. Välimine plastümbris. Siseviimistlustööd. Värvimine, trimmimine.
8. Torustiku ja elektriga seotud tööde lõpetamine. Põrandakatte paigaldus.
9. Akende ja voodri paigaldus. Ilmastikukindel moodul.¹⁸

¹⁷ T. Schneider, J. Till, Flexible Housing. Amsterdam: Elsevier, 2007, lk 176.

¹⁸

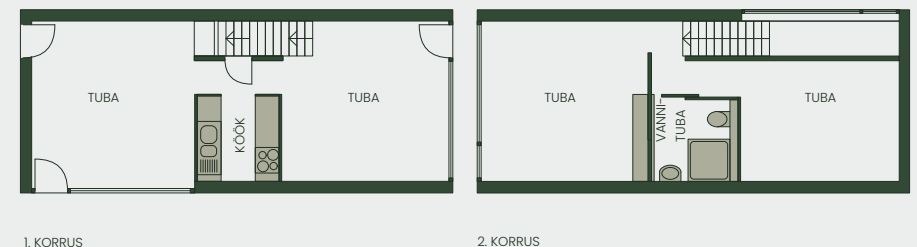
Ruumi moodulit võib kujundada 5 erineva lähenemisega (joonis 1). Võib luua koormust ülekandvad ruumi moodulid, kus moodulid paigutatakse teineteise peale. Teiseks lähenemiseks on isekandvad ruumi moodulid, kus moodulid on integreeritud kandvasse süsteemi. On olemas ruumi moodulid monteeritud laeplaatidega ja moodulid, mis lisatakse tasapinnalisele hoone konstruktsioonile. Viimaseks on moodulite kombinatsioon eelnevatest lähenemistest.¹⁹



Joonis 1. Ruumimoodulite erinevad monteerimistüübid.

19 W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, lk 16–18.

WeberHaus Option (joonis 2) on välja töötatud Šveitsi arhitektide “Bauart AG” väikese maja ideest. See põhineb lihtsal ruumimoodulil, mida saab kasutada, kas eraldi või ühe, kahe ning kolme ruumimooduli kombineerimise põhimõttega, et luua suurem üksus. Võimalik ostja saab esialgu elada ühes väikeses majas ja vajadusel seda pikendada. Iga mooduli suurus on 10,11 x 4,13 meetrit. Juurdepääs majja on lühikese külje kaudu otse esituppa, millel on avatud ühendus maja keskel asuva köögi ruumiga. Köögile järgneb tuba, kust pääseb esimesele korrusele. Ülemine korrus on identne esimese korruse plaaniga. Kogu mooduli ulatuses kasutatakse ainult ühte tüüpi suuri maast laeni aknaid. Lisada saab terveid mahte või ruudukujulisi ühekorruseliseid moduleid.²⁰



Joonis 2. Šveitsi arhitektide “Bauart AG” väikese maja idee.

20 T. Schneider, J. Till, Flexible Housing. Amsterdam: Elsevier, 2007, lk 118.

Antud süsteemi plussid ja miinused:

+ Vähem materjale ehitamiseks.	- Vajab suhteliselt suurt tehast ruumi tootmiseks.
+ Kiiremini ehitatav ehitusplatsil, kuigi transportimine on vahel aeglasem ja keerulisem.	- Pole väga paindlik. On vähem võimalust ruumi ümber korraldada vastavalt kontekstile.
+ Pärast ehitamist saab lihtsamalt mooduleid, kas juurde lisada või ära võtta.	- Transport võib olla väga kallis või võimatu moodulite suuruste ja teedevõrgustiku piirangute tõttu. ²¹
+ Turvalisem ehitusplats.	
+ Vähem energiat ehitamiseks.	
+ Moodulite liitmine vundamendiga on tunduvalt lihtsam.	

1.2.2. Non-Volumetric modular construction

Kuna elemendipõhise ehitusviisi puhul on võimalik ümber mõtestada ehituse valdkonda majanduslikus, sotsiaalses, poliitilises ja arhitektuurses kontekstis ning võtta kasutusse uusi ehitustehnoloogiasid, on oluline selles peatükis käsitleda *Design for Deconstruction/Disassembly (DfD)* meetodit.

DfD on meetod, kus projekteerimismeeskond

projekteerib hoone, mis hõlbustab mitte ainult kohandamist ja renoveerimist, vaid ka ehitusmaterjalide ja komponentide taaskasutamist. Keskkonnakasut: energia säilimine, süsinikdioksiidi heitkoguste ja saaste vähendamine.²² Densley Tingley hinnangul saavutab DfD kehas sisalduva süsiniku säästmist lausa 49%.²³ Puidu osas märkis Tingley, et konstruktsiooni puitu ei taaskasutata alati konstruktsiooni puiduna, vaid seda kasutatakse ka muudel eesmärkidel.²⁴ Tänapäeval ei ole dekonstrueerimiseks mõeldud disain väga populaarne. *DfD*'i ja ringplaneerimise peamiseks probleemiks võib olla ehitusprojektide olemus, kuna hoonetel on tavaliselt ehituse käigus algus ja lõpp.²⁵

Modulaarne ja *DfD*'i ehitusviisid võivad nõuda ka põhjalikku muutust arhitektide ettekujutuses hoonetest; (1) hooneideitohikskäsitledastaatilisest, vaid dünaamilisest ja avatud ehitistena; (2) hoonete ja süsteemide ümberkujundamise võimet tuleb suurendada, võttes

22 O.O. Akinade, L.O. Oyedele, S.O. Ajayi, M. Bilal, H.A. Alaka, H.A. Owolabi, S.A. Bello, B.E. Jaiyeoba, K.O. Kadiri, Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. – Waste Management 2017, Volume 60.

23 D. Tingley, Design for Deconstruction: An Appraisal. Sheffield: University of Sheffield, 2012.

24 D. Tingley, Design for Deconstruction: An Appraisal.

25 B. Sanchez, C. Haas, Capital project planning for a circular economy. Oxfordshire: Routledge, 2018.

21 Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential.

arvesse hoone ja hoonesüsteemide kogu elutsükli; (3) peab käsitlema ehitusmaterjale kui pikaajalisi väärtuslikke varasid kogu nende elutsükli jooksul, kasutades ümberkonfigureerimise, taaskasutamise ja taastootmise võimalusi hoone, süsteemi ja materjali tasandil; (4) tuleks käsitleda jäätmeid ja lammutamist projekteerimisveana; (5) peaks lahutama fikseeritud funktsiooni.²⁶

Üheks elementidest koosneva hoone näiteks võib tuua Loblolly House'. Hoone ja süsteemi loojad tegid ettepaneku lihtsustada, liita ja ühendada materjalid ja keskkonnasüsteemid – konstruktsioonid, aknad, uksed ja viimistlused – integreeritud sõlmedeks, mida võib pidada uueks arhitektuuri elementideks.²⁷

Selles uues ehitusviisis ei ole ehitamine enam lineaarne, maapealne protsess, vaid integreeritud ja samaaegne jõupingutus. Valmistamine ja kokkupanek asendavad ehitust, suurendades tootlikkust ja kvaliteeti, vähendades keskkonnavalajälge.²⁸ Maja autorid

rõhutavad järgmisi aspekte, mida peab meeles pidama:

– **Simulatsioon, mitte esindatus.** Joonised peavad esindama arhitektuuri, kuid ei simuleeri seda.²⁹

– **Elemendid, mitte osad** (joonis 3). Autorid teevad ettepaneku luua vähem erinevaid elemente. Kõik elemendid toodetakse esmalt eraldi osadena, ning hiljem pannakse kokku ehituslikus järjekorras.³⁰



Joonis 3. Idee elemendilisest ehitusest.

– **Kokkupanek, mitte ehitus.** Loblolly House on kokku pandud, mitte ehitatud. See eristus esineb mitmel

26 E. Durmisevic, K. Yeang, Designing for Disassembly (DfD). – Architectural Design 2009, 79(6), lk 134–137.

27 S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture. Princeton: Princeton Architectural Press, 2008, lk 24.

28 S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture, lk 25.

29 S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture, lk 40–41.

30 S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture, lk 54–55.

tasandil. Kokkupanek on kiire; ehitus võtab palju kauem aega. Kokkupanekut saab teostada algeliste oskuste ja vaid mõne lihtsa tööriistaga. Võib hakata ette kujutama uut turgu, mis põhineb lammutamise asemel materjali taaskasutamisel.³¹

- **Digitaalse tööriista** abil saab arhitektist pigem osade kokku panija kui nullist projekti looja. Saab valmistada mitu elementi korraga ja need kohapeal kokku panna. Ei pea enam ootama eelneva elemendi saabumist, et jätkata vastastikku sõltuvate süsteemide loomist.³²

- **Plokid ja moodulid** (pilt 3-5). *Loblolly House*'i autorite kontseptsioonis on lahti selgitatud "mooduli" ja "ploki" terminid. Moodul hõlmab laienemisvõimalust. Modulaarne arhitektuur tuleneb korduvate moodulite korraldamisest. Igal moodulil peab olema sisekonstruktsioon, mis koos teiste moodulitega moodustab hoone terviku. Plokk on vajaduspõhine strateegiline modulaarsuse tööriist ehk hoone organ, mis sisaldab mehaanilisi struktuure ja elektrilisi seadmeid.

31 S. Kieran, J. Timberlake, *Loblolly House Elements of a New Architecture*, lk 80–81.

32 S. Kieran, J. Timberlake, *Loblolly House Elements of a New Architecture*, lk 100–101.

Kuna plokid on arhitektuurse terviku kõige suuremad ja raskemad elemendid, on parem neid kasutada säästlikult.³³



6.3 Mehaanilise ploki sisemus



6.4 Mehaanilised ja elektrilised seadmed



6.5 Kokkupandud vannitoa- ja mehaaniline plokk tõstetakse ehitusplatsil

Pildid 3-5. Ploki mooduli süsteemil põhinev hoone.

33 S. Kieran, J. Timberlake, *Loblolly House Elements of a New Architecture*, lk 103–104.

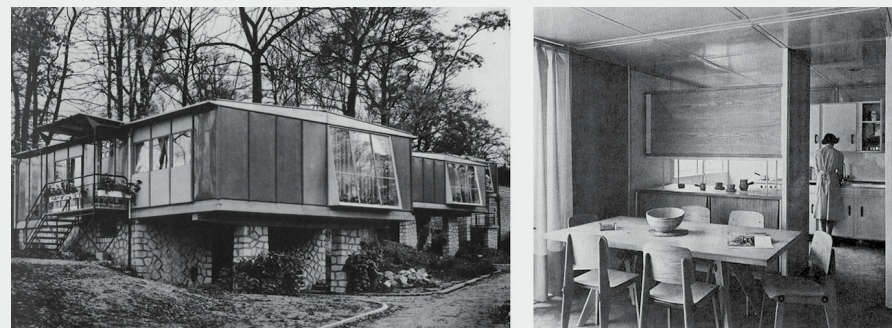
- Demonteerimine, mitte lammutamine. Arhitektid peaksid arhitektuuri kujutama samamoodi, nagu tootjad autosid ehk kasutatud osi kogumina, mis jäävad taastamiseks ja taaskasutamiseks hoiule. Kui tekiks elemendipõhine tööstus, siis paraneksid arhitektuuri kulud, energia ja pikaajaline keskkonnajalajalg märkimisväärselt.

Antud süsteemi plussid ja miinused:

+ Sobib väikeste majade ehitamiseks.	- Peab palju elemente omavahel kokku liitma, mille tõttu muutub ehitamine ebaturvaliseks, keeruliseks ja aeglaseks.
+ Transportimine ei ole keeruline.	- On kallim variant kui <i>volumetric</i> ehitusviis. ³⁴
+ Võimaldab huvitavamaid vorme ehitada. On ruumi mitmekesise disaini jaoks.	
+ Paneelidest koosnev maja on konstruktsiooni poolt tugevam ja kindlam.	
+ Paneelidest koosneva maja ehitamine on tõenäoliselt kiirem.	

1.2.3. Mixed modular construction. Volumetric and Non-volumetric

Kõige paremad kokkupandavuse meetodid näitavad paidnlikkuse potentsiaali ning lihtsuse ja lahtivõtmise põhimõtteid. Esimeseks nõ *mixed modular* ehitiseks võib pidada Jean Prouvé kokkupandavate majade prototüüpe, mis valmistati alates 1944. aastast. Paljud prototüübid põhinesid süsteemidel, mida Prouvé oli kasutanud Teise maailmasõja sõdurite ajutiste onnide kujundamisel. Kõik need majad projekteeriti vastavalt tema ütlusele kasutada võimalikult vähe osi; enim lahendatud versioonide puhul, näiteks “*Standard*” house Meudonis (pilt 6-7).



Pilt 6-7. “Standard” house Meudonis.

34 Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential.

Sisemist paindlikkust, kasutades ka ühe meetrist moodulit, suurendati veelgi, lisades paneelide ühenduspunktid, et neid hõlpsasti ümber paigutada. Hoolimata nende majade leidlikkusest jäid need ühekordseteks katseteks, mis ei täitnud kunagi masstootmise ambitsiooni, Aafrikasse veeti vaid käputäis hooneid ja Meudonis ehitati vaid mõned.³⁵

Teiseks näiteks on **Cellophane House**³⁶ (pilt 8). Hoone on ehitatud USAs ja selle ehituskomponendid kaardistatakse diagrammides, mis põhinevad ehituselemente ühendavatel materjalidel, kihtide põhimõtetel ja liitekohtadel.³⁷ Mooduleid kujundatakse nii, et paljastada modulaarsuse mustrid. Täiendavalt mõeldakse selle disaini paindlikkuse ja vahetatavuse aspekti peale, lähtudes ehitusmaterjalide korduskasutamise stsenaariumidest, nagu kogu hoone taaskasutamine või ümberpaigutamine, komponentide korduvkasutus või ümberpaigutamine ja materjali taaskasutamine uute komponentide valmistamiseks.³⁸

35 P. Sulzer, J. Prouvé, Complete Works: Vol.3: 1944–1954. Basel: Birkhauser, 2005.

36 S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture.

37 P. Crowther, Designing for disassembly to extend service life and increase sustainability. Ottawa: Institute for Research in Construction, 1999.

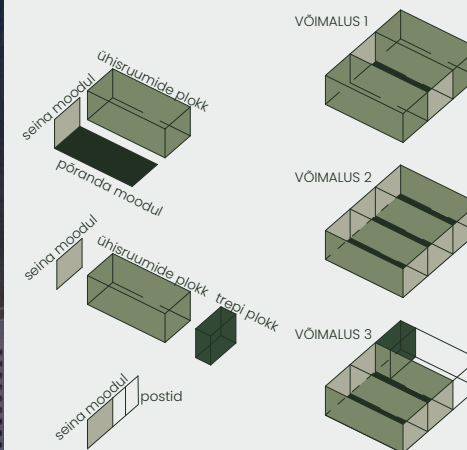
38 P. Crowther, Designing for disassembly to extend service life and increase sustainability.

Cellophane House koosneb osaliselt nii ruumimoodulitest kui ka elementidest, mis on valmistatud väljaspool objekti ja kokku pandud kohapeal. Väidetavalt lihtsustab hoonete ehitussüsteem jaotamis-, monteerimis- ja lahtivõtmisprotsesse.³⁹

Cellophane House'is kasutatavad modulaarsed komponendid (joonis 4) viitavad keerukale süsteemile ja toimivad nagu konteiner, mille sees on mitu omavahel eraldatud elementi. Seega hoone seinad, šahtid ja põrandad on paigutatud moodulitesse.



Pilt 8. *Cellophane House*.



Joonis 4. *Cellophane House*'i modulaarsed komponentide loogika.

39 K. F. Arisya, R. Suryantini, Modularity in Design for Disassembly (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture. – IOP Science, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/738/1/012024/meta> (vaadatud 4. VII 2023).

2. MATERJALID

Arhitektuuris luuakse tihti esialgu disain ja seejärel mõeldakse, millest ja kuidas ehitada. Sellisel juhul ei kasuta me materjalide potentsiaale ära. Materjalidel on aga kindlad omadused, mis saaksid olla arhitektuurse disaini lähtepunktid.

2.1. Ökoloogilised ehitusmaterjalid

Aina enam mõeldakse hoone loomisel selle jalajäljele, seega aina enam koguvad populaarsust ökoloogilised ehitusmaterjalid. Looduslike materjalide hulka kuuluvad näiteks bambus, puit, ökoloogilised tellised, kanepibetoon ja põhk (pilt 9).

2.2. Puit

Puit on üks peamisi ehitusmaterjale, millest räägime kui mõtleme CO₂ jalajäljele. Puit on taastuv loodusvara, aga kasvab kaua. Seega peame seda targalt kasutama ja mitte unustama ka teisi materjale.⁴⁰

⁴⁰ C. Ferrer, C. Martinez-Canavate, T. Hilderbrand, Touch Wood. Zürich: Lars Müller Publishers, 2023, lk 8.

Wood House, Smiljan Radic

Colico järv, Tšiili | 2015

Antud hoone asub paraleelselt Andide mäestiku jalamil asuva Colico järvega, mis on ehitatud kõrgetele vaiadele. Maja on osaliselt ehitatud maa sisse ja ääristatud kahelt poolt väliskoridoriga. Kasutatud on 140 mm puitprusse, mis ei ole seina konstruktsiooni peidetud vaid loetavad fassaadilt (pilt 10).⁴¹



Pilt 10. Wood House.

41 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, San Francisco: ORO Editions, 2022, lk 54-57.

Zilvar House, ASGK Design

Lodin, Tšehhi | 2013

Antud hoone asub Tšehhi elamurajooni ääres. Maja on seotud riskülikukujuliseks vormiks, kattes väliterrassid. Hoonel on neli iseloomulikku omadust. Väljatulev katus on loodud, et lisada kasutatavat pinda ja siduda hoone maastikuga. Hoone seintes on kasutatud puitkiudplaati ja mineraalvilla, mille paksust rõhutab õhutatava puidu vihmavee katte ruumilisus. Hoone nii seest kui väljast kaetud puitlaudisega. See on ehitatud betoonpostidel, et tõsta see niiske pinna kohalt kõrgemale, et kaitsta puitu (pilt 11).⁴²



Pilt 11. Zilvar House.

42 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections.

2.2.1. Puit(raamide) eluring

Puit on materjal, mis saab uue ringina olla aluseks uue puu kasvamisel või uuesti ehitusmaterjalina kasutatav (joonis 5).

TAIME KASVAMINE

Puud kasvavad aastakümneid ning on olulised puidu süsiniku mõju seisukohalt.



PUUDE RAIUMINE

Puud raiutakse kui need on kasvanud piisavalt suureks. Mida pikem on kasvamistsüklil, seda parem süsiniku mõju seisukohalt.

PUIDU KASVAMINE

Tagasi konstruktsiooniks

TOOTMINE

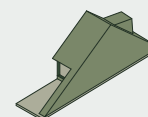
Puitmaterjali saab töödelda saagides ja freesides liimide abiga.

KONSTRUKTSIOON

Põhku saab kombineerida puitkarkassiga kokkupandavaks paneeliks paremini kui seda teha tehastes. See väldib mõningaid niiskuseprobleeme, mis kaasnevad põhuga kohapeal ehitamisega.

KASUTAMINE

Hoone eluea puhul tuleb puitu kaitsta niiskuse eest. Kui puitu õigesti hooldada säilivad puitmajad sadu aastaid.



PUIT EHTUSES

TAIME ISTUTAMINE

Peamiselt kasutatakse okaspuid nagu kuusk, mänd ja seeder. Okaspuud kasvavad kiiremini kui lehtpuud ning on levinumad.



MULTŠ

Lammutusjäägi saab multšiks jahvatada, mida saab kasutada uute taimede kasvupinnase loomiseks.



LAMMUTUS

Põhku saab kombineerida kui korralikult lammutada, siis saab neid uuesti kasutada (kui need ei ole keemiliselt töödeldud)

Samuti saab puidu eluea lõpetada sellest soojust või energiat tootes.

Joonis 5 Puidu eluring.

2.3. Põhk

Põhust ehitades saame paljude probleemide vastu, nagu näiteks süsiniku jalajälg, mitte säästlike materjalide kasutamine ja halb õhukvaliteet.⁴³ Põhk on põllumajanduse jääkprodukt, mille põhilisteks koostisosadeks on tselluloos, ligniin, räni ning vahale sarnane vett tõrjuv kiht.⁴⁴ Põhku leiab erinevates paikades kohaliku materjalina, seega ei pea seda kaugelt transportima. Põhk on looduslik materjal, mille kasvamiseks on vaja päikest ja sooja. Seega igal pool ja kogu aeg ei ole seda saada.

2.3.1. Materjaliomadused

Jätkusuutlikkus

Vili on igal aastal uuesti kasvav tooraine. Põhu kasutamine vähendab keskkonda rohkem kahjustavate materjalide kasutamist. Põhupakid on tavaliselt põllumajanduslik kõrvalsaadus, mis läheks raisku, seega saab seda kasutada näiteks ehituses.⁴⁵ Samas on siiski põhk vajalik ka mulla kvaliteedi parandamiseks ja kõik

põllumehed selle väitega alati ei nõustu, et põhku on laialdaselt üle. Põhust ehitades me ei võta põhku ära, vaid hoiame seda nõ hoiul ehitises ja maja lammutamise järel saame uuesti ringlusesse panna, mis samaaegselt salvestab süsinikku hoone eluea jooksul.⁴⁶

Energiatõhusus

Suure osa kasvuhoonegaasidest toodab kogu maailmas ehitustööstus ja sellega seotud transport. Põhust ehitades saaksime kasutada süsiniku salvestavaid kohalikke materjalikke.⁴⁷ Samuti nõuab õlgede koristamine väga vähe energiat ja tänu kergemale kaalule on pallide transportimine odavam kui puidu, betooni või terase puhul.⁴⁸

Konstruktiivsus

Põhk on struktuurselt iseseisvana piisavalt tugev põrandateks, seinte ja lume koormuste talumiseks. Põhk on tugev kui see on kokku surutud, kuid siiski ehitatakse tavaliselt põhumaju puitkonstruktsiooni abiga.⁴⁹ Vt. peatükk 2.3.2.2.

43 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales. Basel: Birkhäuser, 2020, lk 8.

44 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 46–49.

45 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/> (vaadatud 16. VII 2023).

46 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 14.

47 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 14.

48 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

49 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 16.

Soojuspidadavus

Põhu seinad hoiavad hästi sooja ja ei jää sugugi alla teistele soojustusmaterjalidele.⁵⁰ Materjalil on loomulik "trombi" efekt, mis võimaldab salvestada sooja või jahedat ning anda seda välja, et hoida hoone temperatuuri.⁵¹

Põhupakke saab soojustuses kasutada ilma nendega midagi tehes. Sellisel juhul on 450mm paksuse põhuseina U-väärtus ligikaudu $0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$.⁵²

Põhu soojustust saab parandada põhku kokku surudes. Seda saab teha erinevatel viisidel: käsitsi, rõhu ja kuumaga või põhku seinte vahele puhudes. Näiteks Ecococoni 400mm põhupaneelide U-väärtus 30mm savikorhvi ja 60mm puitkiudplaadiga on $0.123 \text{ W/m}^2\text{K}$.⁵³

Tuleohutus

Kuna põhupallid on tihedalt pakitud, ei põle nad nii kergesti kui teatud muud materjalid. Tiheda pakkimise tõttu väheneb õhuvool, mis on tulekahju säilitamiseks

väga oluline.⁵⁴ Põhust seinad on raske põlema panna, sest nad sisaldavad vähe hapniku, eriti kui neid on krohvitud.⁵⁵ Põhk sisaldab ränioksiidi, mis on looduslik tulekindlustaja.

Ecococon on teinud põlemiskatseid nii savikrohviga kui ilma. Nende põhk on kokku surutud kuni 110 kg/m^3 tiheduseni. Savikrohviga seinad vastupidavus oli 120 minutit, paljal kokku surutud põhul 30 minutit.⁵⁶

Tervislikkus

Tavaliselt sisaldavad põhupallid vähem toksiine kui paljud teised tavapärase ehitusmaterjalid. Seega muudab see nende ehituses kasutamise tervislikuks alternatiiviks.⁵⁷

Atraktiivne esteetika

Põhumajade puhul on võimalik luua erinevaid esteetilisi elemente. Sügavad aknad ja nišid on tavalised inimeste lemmikud, mis pakuvad sageli piisavalt sügavust, et toimida istme või suure riiulina. Lisaks

50 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 14, 15.

51 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

52 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 14.

53 A Wall System Designed by Nature. – EcoCocon, <https://ecococon.eu/assets/downloads/ec-brochure-eng.pdf> (vaadatud 9. VI 2023).

54 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

55 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 15.

56 A Wall System Designed by Nature. – EcoCocon, <https://ecococon.eu/assets/downloads/ec-brochure-eng.pdf> (vaadatud 9. VI 2023).

57 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

annab põhuseinte veidi ebatasane olemus seintele viimistletud, kuid maalähedase ilme, mida paljud inimesed hindavad.⁵⁸

Biolagunev

Kuigi põhumaja võib õige ehituse ja hoolduse korral kesta üle 100 aasta, saab põhu vajaduse korral maa sisse tagasi suunata. Natuke kündes saab õlgi lisada pinnasesse ja see laguneb kiiresti, kahjustamata keskkonda. Samuti kui seda künda põllule on see mulla omaduste parandamiseks kasulik. Võrdluseks, klaasvill (*fiberglass*), mis tavaline traditsiooniline kodune soojustusmaterjal – võib olla raske nõuetekohaselt kõrvaldada ja see ei ole biolagunev.⁵⁹

Miinused

Nagu igal materjalil, on ka põhul miinuseid. Kuna põhuehitus ei ole hetkel väga populaarne ei pruugi kõik insenerid osata nendega seoses arvutusi teha. Samuti peab põhupallide kvaliteet olema hea, mida on aga raske mõõta. Planeerides ja ehitades ei tohi ära unustada kahjureid. Seinte paksused on tihti väga suured, seega

ehituslune pind ja kasutatav pind erinevad suuresti. Põhupalle kaetakse tavaliselt krohviga, krohv ei ole aga ilmastiku suhtes kõige vastupidavam. Samuti on põhupallid suured ja rasked, millega tuleb ehitamisel arvestada. Väga oluline on põhu kuivana hoidmine. Niiskus võib põhjustada pallide lagunemist, hallitust ja isegi kokkuvarisemist, tekitades potentsiaalselt ohtliku olukorra.⁶⁰

2.3.2. Põhust ehitamine

Põhust on ehitatud juba paar sajandit. Paalimismasinade abil saab põhu vormida kujule, kuidas seda ehituses on vaja kasutatada.⁶¹ Põhu paki suurus oleneb paalimisseadmest, aga tavaliselt on Eestis enamlevinud väikepõhupakkide mõõtmed (650-900)x(450-500)x(350-400) mm.⁶² Põhust saab ehitada erineval viisil: Nebraska stiilis, puitraamil või eel valmistatud paneelidest.

58 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

59 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

60 Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/>.

61 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 140.

62 A. Jürgenson, R. Allikmäe, Põhupakkidest soojustusega puitkarkasshoonete ehitamise tehnoloogia ja eksploatatsioon. Magistritöö, 2017, Tartu: https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/3430/A_J%C3%BCrgenson_R_Allikam%C3%A4e_MA2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

2.3.2.1. Nebraska stiil

Esimesed põhumajad on ehitatud 1800. aastatel Ameerika Ühendriikides, samal ajal kui esimesed põhupakkide masinad leiutati. Nebraska elanikud kasvasid vilja piirkonnas, kus ei olnud teisi ehitusmaterjale nagu kivi või puit, millest maju ehitada. Seega ehtasid nad ajutisi maju põllu jääkmaterjalist – põhust. Nende ehituses oli üheks elemendiks põhupakk, mis oli konstruktiivne. Aja jooksul avastati, et need majad hoiavad sooja talvel, külma suvel ning on samuti helikindlad. Sellist ehitusviisi nimetatakse Nebraska asukohast välja kujunemise järgi Nebraska stiiliks. See stiil õitses kuni 1940. aastateni, mil paljud antud stiili ehitajad hukkusid. 1980ndatel taaselustasid antud stiili Judy Knox ja Matts Myhrman. Põhuehitus hakkas levima ja loodi ka teisi viise põhust ehitamiseks.⁶³

Gartist HmbH House, Atelier Werner Schmidt

Zurich, Šveits | 2016

Gartist HmbH pavilion on hea näide põhupakkide kasutamisest. Antud hoone puhul on kasutatud ära põhupallide termilisi, struktuurilisi, mahulisi, materiaalseid ja ökoloogilisi omadusi. Põhupakid on kandev konstruktsioon seintes ja katuses, mida täiendavad puidust tasapinnad akende ja katuse jaoks. Välisviimistlusena on kasutatud lubikrohvi ja siseviimistluses savikrohvi, mis tugevdavad konstruktsiooni ja kaitsevad vee, tule ja kahjurite eest. Põhusein hoiab sooja ja neelab liigset niiskust. Paviljoni seinad on tehtud 750x1200x2500 suurustest põhupakkidest, mis igaüks kaaluvad 300kg. Katuse tükid on asetatud nihkega umbes 300mm. Maja pandi kraanaga kokku umbes nädalaga (pilt 12).⁶⁴



Pilt 12. Gartist HmbH House.

63 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 12.

64 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 144–147.

Tammsistu Agro kontor

Lõuna-Eesti I 2013

Antud hoone on ehitatud mahetootmis ettevõtte kontoriks. Hoone on ehitatud firma oma põldudel korjatud ja kokku pressitud põhust. Järgitud on Nebraska ehitamise stiili, kus põhk on konstruktiivne materjal. Sarikad on võetud lagunenud majalt ja katusekiviesimese vabariigi aegselt majalt. Seinakatte materjal on savist, mis segatud linaõli ja lehma virtsaga. Lisaks korralikud aknad ja uksed. Ehitamine käis kiirelt, esmalt pressiti põhk pakkideks, mis krundil tõsteti kokku viie tunniga. Seejärel kaeti seinad krohviga. Maja on uurinud ka maaülikooli tudengid, et leida sooja ja külma õhu kohtumispunkt, niiskust seintes aga ei ole leitud. Kuna maja on ehitatud suurtest põhupallidest, siis brutopindala on 80 m² ja netopindala vaid 48 m² (pilt 13).⁶⁵



Pilt 13. Tammistu Agro kontor.

2.3.2.2. Puitkonstruktsioonist põhumaja

Teine viis põhuga ehitamiseks on põhupakkidega puitkonstruktsiooni täitmine. Sellisel juhul toimivad põhupakid isolatsioonina.⁶⁶ Selline ehitamise viis arenes välja USA-s umbes 1970. aastatel, aga on ka mõned varasemad näited. Tihti tehakse seda valikut, sest ei usaldata põhku või kuna insenerid ja arhitektid on tuttavad rohkem puit konstruktsioonidega. Puitkonstruktsiooni puhul on võimalik postid panna eraldi seisvana põhu seinast, sisse- või väljapoole maja või osaliselt või täielikult põhupakkide sisse.⁶⁷

65 R. Mets, Põhumajja passib hästi ka firma peakontor. – Tartu Postimees 21. III 2013, <https://tartu.postimees.ee/1177368/pohumajja-passib-hasti-ka-firma-peakontor> (vaadatud 28. VII 2023).

Mauritzberg Test House, Sverre Fehn

Norrköping, Rootsi | 1991

Antud maja on osa suuremast kompleksist, kuhu pidi kuuluma 250 puhkeüksust. Iga üksus pidi olema piiritletud kahe paksu põhuseinaga, mis võimaldab maju tihedalt paigutada säilitades privaatsuse. Külgmised välisseinad on ehitatud puitkarkassiga, ning täidetud savi-põhuplokkidega, mille mõõtmed on 200 x 280 x 530. Plokid on 10% savi ja 90% põhk. Plokid pressiti puidust vormidesse, et vesi välja suruda. Seejärel kuivatati õhu käes, laoti üksteise peale ja kaeti krohviga (pilt 14).⁶⁸



Pilt 14. Mauritzberg Test House.

68 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections.

Media Perra House, Santos Bolivar

Guadalupe, Mehhiko | 2017

See maja on ehitatud samuti puitkarkassi ja põhu soojustusega. Antud hoone põhusein on aga õhem, kuna asub soojemas kliimas. Maja koosneb 100 x 200mm suurusest raamist, mille samm on 600mm. Põhust välissein on kaetud põhu ja savi seguga nii, et puitraam ulatub sellest välja (pilt 15).⁶⁹



Pilt 15. Media Perra House.

69 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections.

2.3.2.3. Põhust moodulmajad

Põhust saab ka ehitada eeltöödeldud paneelidest. Paneelid luuakse, ehitades struktuurne puitkarkass, mis täidetakse põhuga.⁷⁰ Viimistluse paneelidele saab luua nii tehases kui ka kohapeal.⁷¹ Ettevalmistamine on põhumaja ehituse seisukohalt hea, sest mida vähem ehitada kohapeal, seda väiksem on risk, et põhk saab kahjustada.⁷² Küll aga tuleb ettevalmistamisel mõelda trantspordile, elementide tõstmisele, ühendamisele ja viimistlusele. Samuti kaob eelvalmistatud moodulite kasutamisega põhu materjali eripära kasutamise võimalus.

Põhust moodulitest suvila, Richard Sirén

Soome I 2016

Antud suvila puhul oli perele oluline, et see oleks looduslikest materjalidest ja talvel vähese vaevaga köetav. Eelarvet silmaspidades leiti lahenduseks Leedu firma EcoCocon paneelid, siseviimistlusena kasutati Eesti saviuku krohvi. Umbes 600 mm seinakonstruktsioon on lisaks soojustusele ka hea niiskuse reguleerija ja heliisolaator. Paneel töötab ka täielikult kandva konstruktsioonina. Ecococon on välja töötanud Passive Institute'i poolt heakskiidetud seinakonstruktsiooni, mille väliskihil on 60 mm kiudplaat, mis püüab niiskust väljastpoolt ja takistab selle sisenemist seinakonstruktsiooni. Antud maja saab talvel soojaks kamina 20 minutilise kütmisega. Ülemise korruse puhul on kasutatud ökovilla põhu raskuse tõttu. Seinakonstruktsiooni on jälgitud niiskusemõõtjatega, mis on näidanud, et seinad on igal aastaajal täiesti kuivad (pilt 16–17).⁷³

70 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 143.

71 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 143.

72 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 55.

73 R. Sirén, Racin olkielementtimökki. – Luomura <https://www.luomura.com/talotarinoita/racin-olkielementtimokki/> (vaadatud 4. VII 2023).



Pildid 16–17. Põhust moodulitest suvila.

Old Holloway, Juraj Mikurcik

Herefordshire, Inglismaa | 2017

Old Holloway on omanike poolt ise ehitatud passiivmaja. Hoone on madala energiakuluga, seal on vaid väike 4 kW puupliit ja vannitoa käterätisoojendaja, aga see on hästi isoleeritud. Samuti ei kuumene antud hoone üle, selles on ka oma roll soojupidavatel akendel. Antud hoone puhul on samuti kasutatud ECOCOCON-i paneele, mis paigaldati 3 päevaga. Seestpoolt on seinad viimistletud savikrohviga ja väljast puitlaudisega (pilt 18).⁷⁴



Pilt 18. Old Holloway.

74 L. Alter, Old Holloway Passive House Is All About Comfort and Luxury. – Treehugger, <https://www.treehugger.com/old-holloway-passive-house-all-about-comfort-and-luxury-4855053> (vaadatud 9. VI 2023).

2.3.3. Põhust maja vundament

Põhust hoonete puhul on oluline hea isekuivav vundament. Vundamendi tegemisel on aga oluline antud asukoha maapind.⁷⁵

2.3.4. Põhust maja katus

Põhu kasutamisel on ka tähtis osa katusel, mis peab ulatuma üle seina ehk pika räästaga, et kaitsta seinu vihma eest.⁷⁶ Üleulatus võiks olla ligi 450mm.⁷⁷ Lisaks hoone lõplikule katusele oleks põhuehituse puhul vajalik ajutine katus, et kaitsta ehitusprotsessi jooksul põhku.⁷⁸

2.3.5. Viimistlus

Põhuseina puhul on oluline kasutada õigeid viimistlusmaterjale, et vältida põhu mädanemist ja et põhk saaks aja jooksul liikuda. Väga oluline on, et tegu oleks hingava materjaliga, näiteks looduslikud lubi-, kips- ja savikrohvid.⁷⁹ Savi- ja lubikrohv kuivavad küll aeglasemalt, aga on looduslikud ja väiksema süsiniku jalajäljega.⁸⁰ Krohvkate on põhuseinte oluline komponent,

75 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk.58.

76 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 91.

77 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 99.

78 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 101.

79 G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales, lk 156.

80 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 142.

muutes seina vastupidavamaks tulekahjude, niiskuse ja kahjurite eest.⁸¹ Samuti saab põhuseina viimistleda puidu või mõne muu materjaliga, näiteks on IAAC õppeprogrammis loodud põhust ehitamise projektis hoopis põhust ja vahast fassaadikattermaterjal.⁸²

2.3.6. Põhu(seina) eluring

Põhku on võimalik ehitusse tagasi suunata või kasutada seda uue taime kasvamiseks (joonis 6).

81 P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, lk 142.

82 STRAWSHAPE. – IAAC Blog, www.iaacblog.com/programs/strawshape/?fbclid=IwAR05gnca9yC8Kclj2xsEZqEK6vkS2emN_rnKPA0JAnUT8bL0Cw-DrqYO1uU (vaadatud 18. VI 2023).

KASVAMINE

Kõigi teraviljade kasvu-
tsükkel on alla aasta, oluliselt
lühem kui ühelgi teisel
ehituses kasutataval taimel.
Veelgi olulisem on see, et
põhk on jääkprodukt.



TAIM

Põhu mõju on otseselt
seotud asukoha
majandustavade ja nende
mõjudega.



MULTŠ

Lammutusjäägi saab
multšiks jahvatada, mida
saab kasutada uute taimede
kasvupinnase loomiseks.



Samuti saab põhu eluea
lõpetada sellest soojust või
energiat tootes.



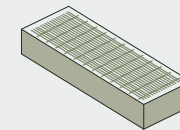
PAKK

Põhk on laojääk pärast seemnete
eemaldamist koristusseadmetega.
Mehaanilised heinapressid suruvad ja
rihmavad põhku ristkülikukujulisteks või
ringikujulisteks üksusteks, et neid oleks
lihtsam jaotada ja kasutada.



PAKKIMINE

Põhupakkide suurus sõltub pressi tüübist. Suurus
võib ulatuda väiksemast risttahukast, mis kaalub
umbes 22 kg kuni suurte ümarpallideni, mis võivad
kaaluda üle tonni. Suuremaid palle saab kokku
suruda palju suurema tihedusega, mis on kasulik
kandekonstruktsioonina kasutamiseks.



VALMISTAMINE

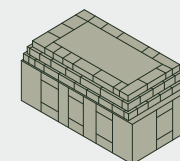
Põhku saab kombineerida puitkarkassiga
kokkupandavaks paneeliks paremini kui
seda teha tehastes. See väldib mõningaid
niiskuspõhkeprobleeme, mis kaasnevad põhuga
kohapeal ehitamisega.

KROHVIMINE

Savi ja lupja kasutatakse sageli
krohvina, mis kantakse otse
põhupallide mõlema külje
karedale pinnale.

EHITUS

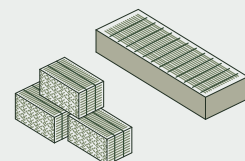
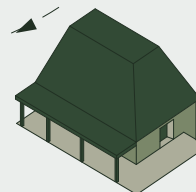
Põhku saab kasutada kandekon-
struktsioonina, konstruktsioonikarkassi
täidisena või eeltöödeldud sõlmedes.
Põhupaki suurus ja tüüp mõjutavad oluliselt
hoone geomeetriat.



PÕHK EHTUSES

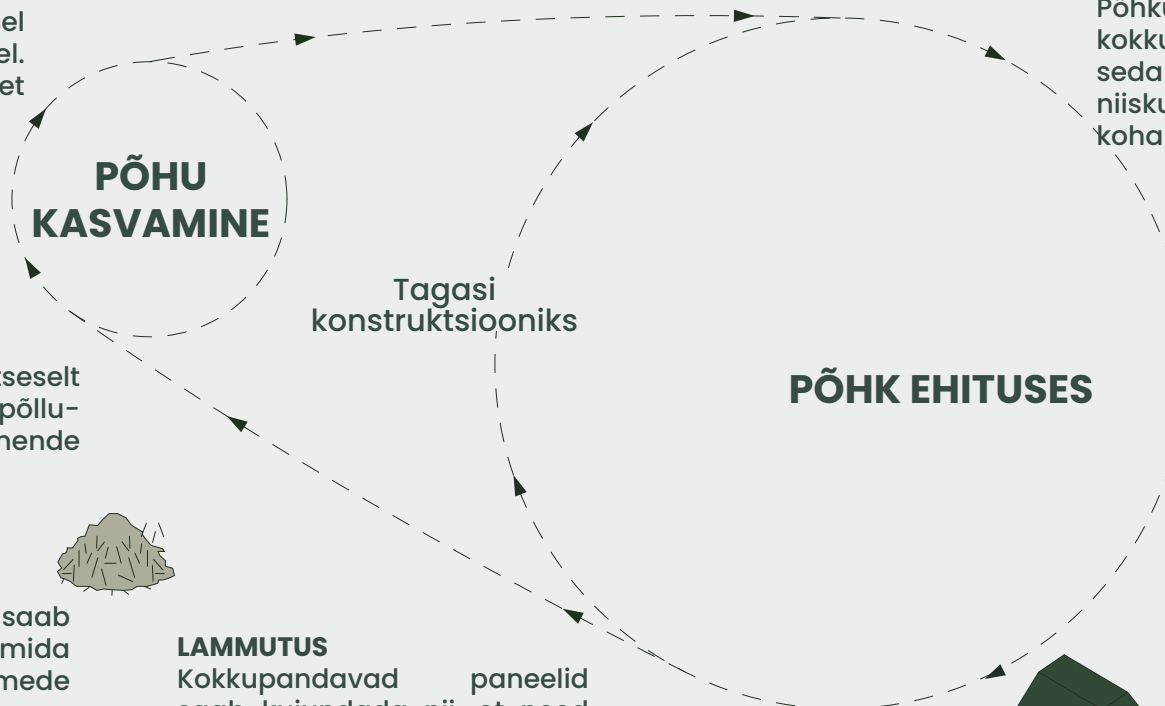
KASUTAMINE

Arvestades põhust seinte paksust, on põhupallide
seintelsuurepärased soojusväärtused, samaskuinende
hügrokoopsed omadused aitavad tasakaalustada
sisemist niiskust. Materjali hoolika valiku korral võivad
põhupallidest seinad parandada siseõhu kvaliteeti ja
nende soojusmass võib olla mitu korda suurem kui
tavalise puitkarkassiga seina puhul.



LAMMUTUS

Kokkupandavad paneelid
saab kujundada nii, et need
oleksid eemaldatavad ja
taaskasutatavad.



Joonis 6. Põhu eluring.

3. KONSTRUKTSIOONID

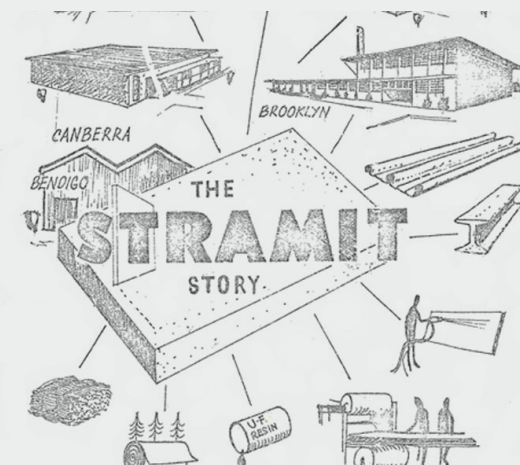
3.1. Paneelitootjate kaardistus (möödud, kujud, põhu tüüp)

Maailma esimene meetod põllumajandusliku jääkprodukti põhu jäigaks plaadiks kokkupressimiseks leiutati 1933. aastal Rootsis. Toode kandis nime nime "Stramit Board" (pilt 19), mis tuletati rootsikeelsest sõnast öled ehk *Strå*. Toote esimese kümnendi jooksul viimistleti algset primitiivset leiutist ja seda kasutati laialdaselt Rootsis katuste ja seinte soojusisolatsioonina.⁸³

3.1.1. Durra Panel

Tootja

Durra panel põhupaneelide tootmine kuulub Austraalia ettevõttele Ortech Industries, kes kasutas põhupaneeli esmakordselt 1950ndatel elumaja ehitamiseks ning hoone on tänaseni kasutuses.⁸⁴



Pilt 19. Durra Paneli reklaam.

Kasutusviisid

Durra paneel on mõeldud kasutamiseks ainult siseviimistlusena. Kuigi paneel võib ehitamise ajal kergelt niiskut taluda, ei suuda see välitingimustega pidevalt kokku puutuda. Durra Panelit saab kasutada eraldi akustiliste seinte ja lagede jaoks või kombineerida Durra terassektsioonidega (katuseribid, sarikad, seinaribad ja põrandatalad).

Materjalid ja põhu tüüp

Paneele toodetakse läbi kuivekstrusiooniprotsessi, kus kasutatakse äärmist kuumust ja rõhku. Selle protsessi käigus imatakse vilja kõrre sees olev looduslik lignaan välja, et siduda kiud omavahel ja moodustada jäik

⁸³ The History of Durra Panel. – DURRA PANEL, <https://durrapanel.com/our-story/> (vaadatud 22. VII 2023).

⁸⁴ Technical Manual: Durra Steel Sections. Panelised Building Systems. – DURRA PANEL, <https://durrapanel.com/resources/> (vaadatud 22. VII 2023).

paneeli südamik. See tähendab, et paneeli tootmisel ei lähe vaja täiendavaid kemikaale ega sideaineid. Durra Panel koosneb kokkupressitud nisupõhust ja kraftvoodrist (papp). Kraftvooder kleebitakse paneeli südamikule veepõhise PVA-liimiga. Ekstrudeeritud paneel lõigatakse masinaga vajaliku pikkusega ja lõigatud otsad suletakse.

Mõõdud

Durra Panel paneeli paksus on 50 mm või 58 mm ja standardne laius on 1187 mm. Paneeli pikkus saab varieeruda vastavalt vajadusele, kuid optimaalne on kuni 3600 mm. Paneelide lõikamine projektile spetsiifiliste mõõtudega aitab minimeerida raiskamist nii tehases kui ka kohapeal.

Hind

Durra paneelid valmistatakse eritellimusel naturaalse viimistlusega alates 23,65 € ruutmeetri kohta.

Kinnitamine

Ortech Industries toodab külmaltsitud tsingitud terasprofiile, mida kasutatakse Durra paneeli kinnitamiseks katuse-, lae-, põranda- ja seinasüsteemides (Durra Building Systems).

3.1.2. EcoCocon

Tootja⁸⁵

Firma asutati 2008 Slovakkias. Hetkel asub ainus tootmisüksus Leedus Kybartais. Firma eesmärk on järk-järgult luua kohalik tootmine kõigis riikides, kuhu tarnitakse.

Kasutusviisid

EcoCoconi paneele kasutatakse hoonekonstruktsioonina.

Materjalid ja põhutüüp

Paneelid koosnevad keskmiselt 89% põhust ja 10% puidust. Paneelide puit ja põhk ei sisalda liime ega ole tootmisprotsessi käigus läbinud keemilist töötlust.

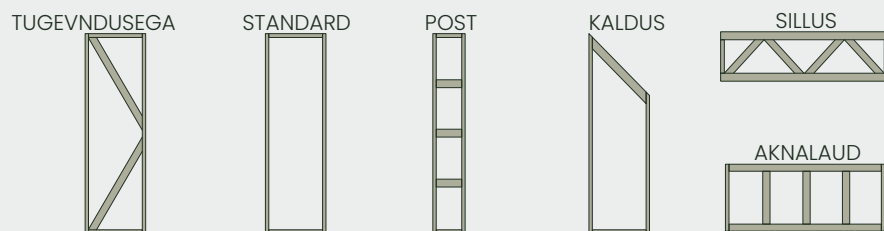
Siseviimistluse standardsed kihid koosnevad puit-põhupaneelist, enne krohvimist puidule kleebitud õhukestest 5 mm puitkiudplaatidest, savikrohvi aluskihist (25 mm (2-3 kihti), armatuurvõrgust ja peensavikrohvist. Välisviimistluse kihid koosnevad põhust seinapaneelidest, õhukindlast difusiooniga avatud membraanist, vineeriribadest membraani kinnitamiseks,

⁸⁵ For professionals. – EcoCocon, <https://durrapanel.com/our-story/>.
<https://ecococon.eu/professionals/architects> (vaadatud 25. VII 2023).

puitkiudplaadist (6–10 cm), puitkiudplaatidele sertifitseeritud veekindlast krohvisüsteemist.

Paneelitüübid

EcoCoconi paneelitüüpide hulka kuuluvad standardpaneelid, tugipaneelid, talapaneel (*lintel*), lävepaneel (*sill*) ja kaldpaneel (joonis 7).



Joonis 7. Ecococoni paneelitüübid.

Mõõdud

EcoCoconi paneelide standardpaksus on 40 cm. See ei sisalda siseviimistlust (ca 3 cm), välist puitkiudkihti (6–10 cm) ega krohvi/tuulutatavat fassaadi. Seega võib kogu sein ulatuda kuni 60 cm-ni. Alternatiivina toodetakse ka õhemat paneeli paksusega 30 cm. Paneelide süsteem on kandevoimega kuni 6 korrust.

Standard paneeli standardmõõt on 800x2800 mm (maksimum pikkus 3000, laius 850, sügavus 400, min 400x400x400).

Tugipaneeli standardmõõt on 800x2800 mm (maksimum pikkus 3000, laius 850, sügavus 400, min 2000x500x400).

Postipaneeli maksimum pikkus 3000, laius 550, sügavus 400, min 400x400x400.

Kaldpaneeli maksimum pikkus 3000, laius 800, sügavus 400, min 200x400x400 (maksimum kalle 50°, min kalle 1°).

Lävepaneel maksimum pikkus on 850, laius 3000, sügavus 400, min 400x850x400.

Talapaneel maksimum pikkus on 850, laius 3000, sügavus 400, min 400x850x400.

Hind

Ehituskulud on ligikaudu võrreldavad passiivmajaga. Täpne maksumus sõltub aga alati konkreetsest projektist.

Kinnitamine

Paneelide omavaheliseks kinnitamiseks kasutatakse Eurotec kruvisid mõõtudega 8x100 mm/ 8x140 mm/ 8x200 mm.

3.1.3. Ekopanely

Tootja

1999. aastal loodi perefirma Tšehhis, mis esimese ettevõttena Euroopas hakkas keskkonnasõbralikku ja energiasäästlikku põhupaneeli ehitusmaterjalina tootma.⁸⁶

Kasutusviisid

Kasutatakse puithoonete sisevooderduseks, vaheseinteks, juurdeehitusteks, ripplagedeks ja fassaadiks. Sobib hoone perimeetri seinte katmiseks seestpoolt või olemasolevate seinte sisevooderduseks, vaheseintele ja põrandatele, lagedele ja kaldlagedele.

Materjalid ja põhu tüüp

Teraviljaõled pressitakse suure rõhu all kõrgel temperatuuril ilma sideaineid kasutamata massiks. Põhumass kaetakse seejärel taaskasutatud papiga.

Paneelitüübid

Paneelid toodetakse riskülikukujulistena, erikujusid talade, katuste vms jaoks ei ole.

Mõõdud

Ekopanely katmata ehituspaneel E60/1200 on paksusega 60 mm, laiusel 1200 mm ja pikkusega 1200–3200 mm. Ekopanely katmata ehituspaneel E40/800 on paksusega 40 mm, laiusel 800 mm ja pikkusega 1200–3200 mm.

Hind

E40/800 paneel alates 18.3 €/m². E60/1200 paneel alates 21.4 €/m².⁸⁷

Kinnitamine

Lõigatud paneeliservad kaetakse teibiga. Vaheseinte paigaldamisel kasutatakse spetsiaalset seinaklambrit. Seda saab kasutada ka Ekopanely plaatide paigaldamiseks üksteise vahele, samuti ankurdamiseks olemasoleva seina külge.

3.1.4. ModCell

Tootja

Loodi 2005 Bristolis Suurbritannias ning ettevõte

⁸⁶ Ekopanely boards. – Ekopanely, <https://www.ekopanely.com/ekopanely-boards> (vaadatud 23. VII 2023).

⁸⁷ Ekopanely. – VELKO STAVEBNINY, <https://www.velkostavebniny.com/en/categories/ekopanely-stramit> (vaadatud 23. VII 2023).

teeb koostööd Bath'i Ülikooliga.⁸⁸

Kasutusviisid

Paneele kasutatakse seinte vooderduseks ja konstruktsioonisüsteemina.

Materjalid ja põhu tüüp

ModCelli paneel koosneb lamineeritud puitkarkassist, põhust, roostevabast terasest tugevdusest ja lubikrohvist.⁸⁹ Struktuurne puitkarkass täidetakse I-talade vahel kokkusurutud põhuga. Seejärel kaetakse sein puidu või muu kattematerjaliga. Kasutatakse FSC/PEFC sertifikaadiga puitmaterjale. Paneelid on õhutihedad ja vastavad passiivmaja nõuetele.

Paneelitüübid

Paneelid toodetakse ristikülikukujulistena. Eraldi paneeli kujusid talade, katuste vms jaoks ei ole.

Mõõdud

Paneeli sügavus	427 mm	377 mm	262 mm
-----------------	--------	--------	--------

Põhu osa sügavus	400 mm	350 mm	235 mm
------------------	--------	--------	--------

⁸⁸ Helping you build a more sustainable future. – Modcell, <https://www.modcell.com/> (vaadatud 23. VII 2023).

⁸⁹ C. Gross, Structural Performance of Prefabricated Straw Bale Panels. Magistritöö, 2009, Bath: <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/structural-performance-of-prefabricated-straw-bale-panels>.

Standardised paneeli mõõdud puuduvad, kuna need kohandatakse vastavalt projektile. Võimalik on toota ka kaarjaid paneele. Paneele on võimalik ehitada kuni 3,5 korruse kõrgused. Üle 3,5 korruse järkjärguline kokkuvolditaval süsteemil püstitamine nõuab sõltumatut raami, mille külge saab kinnitada ModCell täitepaneelid.

3.1.5. Modulina

Tootja

Firma loodi Klaipedas Leedus.⁹⁰

Kasutusviisid

Põhupaneele on võimalik kasutada nii seinte püstitamiseks, kui ka katuste ja vahelagede ehitamiseks.

Materjalid ja põhu tüüp

Põhupaneelide puitkarkasside valmistamisel kasutatakse ainult sertifitseeritud kuivatatud puitu (klass C24). Tootmise käigus pressitakse põhk standardiseeritud tasemele ja kõik lahtised põhupinnad lõigatakse ühtlaseks.

Vundamendile toetuva välisseina puhul moodustatakse vundamendi ja põhupaneeli vahele

⁹⁰ TECHNICAL INFORMATION. – Modulina Straw Panels, <https://modulina.lt/en/#info-en> (vaadatud 23. VI 2023).

eraldi aluskiht, mis kannab koormused vundamendile. See koosneb kahest horisontaalsest puitlatist ja XPS isolatsioonist. Peale on kinnitatud õhuke puitkiudplaat. See alus kinnitatakse poltidega vundamendi külge ja põhupaneel kinnitatakse kruvide abil horisontaalsete liistude külge.

Paneeli väliskihtide puhul kinnitatakse põhupaneeli külge difusioon-avatud õhumembraan. Membraan kaitseb paneeli ehitusfaasis vihma eest ja tagab hoone õhutiheduse. Puitkiudplaadid paigaldatakse hiljem. Olenevalt soovitud soojusisolatsiooni väärtusest saab valida 24 kuni 100 mm paksuseid plaate. Savi- või lubikrohvi välisviimistlust saab kanda otse puitkiudplaatidele.

Paneeli sisemised kihid krohvitakse pruuni saviga. Selle peale kasutatakse viimistluskihina peent valget savikrohvisegu 2–3 mm. Segule võib soovitud värvi saamiseks lisada looduslikke pigmente või hiljem värvida spetsiaalsete savivärvidega. Savikrohvi kihi kogupaksus on umbes 30 mm.

Katusepaneelide kandekonstruktsiooniks on l-talad, mis võimaldavad katta pikemaid sildeid. Põhk surutakse kokku sama tihedusega kui seinte puhul.

Paneeli ülaosale on kinnitatud difusioon-avatud õhu membraan. Puitkiudplaadid paigaldatakse hiljem. See lisab katusele täiendava soojustakistuse ja pikendab alloleva membraani eluiga, lastes niiskusel siiski välja pääseda, olles ise difusioonavatud plaat. Konstruktsiooni on võimalik katta vabalt valitud katusekatte materjaliga.

Paneelitüübid

Toodetakse kolme erinevat paneelitüüpi: seinapaneelid, katusepaneelid ja talapaneelid.

Mõõdud

Seinapaneeli laius on 800–2400 mm, kõrgus 800–2900 mm, paksus 300–450 mm. Katusepaneeli laius on 800–2400 mm, kõrgus 800–9000 mm, paksus 300–450 mm. Talapaneeli laius on 800–4000 mm, kõrgus 450–800 mm, paksus 300–450 mm.

Paneelide standard paksus on 45 cm (vastavalt projektile võib paneelide paksus varieeruda 30 cm kuni 48 cm), kõrgust ja pikkust saab kohandada vastavalt projektile ja transpordinõuetele.

Hind

Et teada saada, kui palju maksab ehitamine

“moodulina” põhupaneelidest, tuleb maja seinte pindala korrutada 1 m² põhupaneelide hinnaga, mis hetkel algab 90 eur/m². Kalkulatsiooni ei arvestata uste ja akende osa seintes. Põhust katusekonstruktsioonide hind on 105 eur/m².

3.1.6. Rainbow Ecosystem

Tootja

Ettevõtte Rainbow Ecosystem asutas prantslane Raphael Petit, kes 2013. aastal Mykolaivis alustas GMP liini ehitamist ökopaneelide tootmiseks. Ökopaneelide võtab valmistamine võtab 30 päeva ja paigaldus 10 päeva.⁹¹

Kasutusviisid

Rainbow Ecosystem põhupaneele kasutatakse hoonekonstruktsioonina.

Materjalid ja põhu tüüp

Ecoblock on pressitud põhuga täidetud puitkarkass, mis on mõlemalt poolt tihendatud savikrohvi kihiga. Ökoplokkide valmistamise protsess toimub tootmistingimustes, kus insenerid ja tehnoloogid kontrollivad igat etappi – alustades tarnitava tooraine

kvaliteedist lõpetades plokkide geomeetriaga. Seinad, põrand, lagi ja katus on valmistatud ainult looduslikest materjalidest nagu puit, pressitud põhk, savi, liiv, lubi. Paneele kaitseb mõlemalt poolt niiskuskindel savi-lubikrohv. Põhk on kokku surutud nii, et närilised ei suuda sellest läbi tungida. Seda kinnitavad laboratoorsed testid ja kasutuskogemus. Täiendav kaitsemeetod näriliste eemale hoidmiseks, nagu ka muud tüüpi majade puhul, on seina põhjas olev metallvõrk.

Paneelitüübid

Toodetakse seitset erinevat tüüpi paneeli: seinapaneelid, kaldpaneelid, aknalauapaneelid, talapaneelid, aknaavaga seinapaneelid, kattepaneelid ja katusepaneelid.

Mõõdud

Seinapaneel: kõrgus 3000 mm, laius 1200 mm, paksus 400 mm. Kaldpaneel: kõrgus 3600 mm (60 kraadine kalle), laius 1000 mm, paksus 400 mm. Aknalauapaneel: kõrgus 900 mm, laius 1200 mm, paksus 400 mm. Talapaneel: kõrgus 600 mm, laius 1200 mm, paksus 400 mm. Aknaavaga seinapaneel: kõrgus 2500–3600 mm, laius 700–1300 mm, paksus 400 mm, akna

⁹¹ Виробництво солом'яних панелей для екобудинку. – Rainbow Ecosystem, <https://rainbowecosystem.com/services/production/> (vaadatud 24. VII 2023).

kõrgus 1500 mm, akna kõrgus põrandast 350 mm –1500 mm. Kattepaneel (overlap panel): kõrgus 3500–6000 mm, laius 1000 mm, paksus 400 mm. Katusepaneel: kõrgus 4000–6000 mm, laius 1000 mm, paksus 400 mm.

Kahekordse tugevusvaruga puitkarkassil seinapaneel on laiusega 1,2 m, paksusega 0,45 m ja kõrgusega 3,0 m ning talub 27 tonni koormust, võimaldades ehitada kuni 3 korrust.

Hind

Paneelid: alates 270 dollarist m² kohta (vundament, seinad, põrandad, laed, katuse krohvitud paneelid, katus, paigaldus).

Lõplik töötlemine: alates 420 dollarist m² kohta (vundament, krohvitud seinad, põrandad, laed ja katusepaneelid, katus, paigaldus, fassaad, elektrikaablid, kütte, veevarustuse ja kanalisatsiooni paigaldus, seinad ja lae pahteldamine, katuse üleulatuste sideaine, sillutis, vihmaveerennid, aknad ja uksed, põrandatase).

Võtmed kätte maja: alates 500 dollarist m² kohta (vundament, seinte, põrandate, lagede, katuse krohvitud paneelid, katus, paigaldus, fassaad, elektrikaabli, kütte, veevarustuse ja kanalisatsiooni paigaldus, seinad

ja lae pahteldamine, katuse üleulatuste sideaine, sillutis, vihmaveerennid, aknad ja uksed, põrandatase, trepp, terrass, põrandakate, seinte ja lae värvimine, sanitaartechnilised seadmed, küte ja kamin, valgustusseadmed ja elektritarvikud).

3.1.7. StrawSIPS

Tootja

Tehas asub Uus-Meremaal. Tehases asub eritellimusel valmistatud hüdrauliline põhupaneelide press, mis on oluline hästi kokkupressitud põhust täpsete paneelide ehitamiseks.⁹²

Kasutusviisid

StrawSIPS paneelid on võimalik integreerida tüüpilistesse vundamendi- ja katusekonstruktsioonidesse ning neid saab kasutada ka koos teiste seinakonstruktsioonidega.

Materjalid, põhutüüp

Paneelide kihid koosnevad mehaaniliselt pressitud põhust, vooderdusest (ventileeritav vooder struktuursetel 45mm õõnsusliistudel), puitkiudplaadist

⁹² StrawSIPS straw-timber panel system. – STRAWSIPS, <https://www.strawsips.co.nz/> (vaadatud 15. VI 2023).

(STEICO puitkiudplaat 35mm), StrawSIPS paneelist (paksus 400mm), võrgust, alusvärviga savikrohvist (30mm), džuudist tugevdavast võrgust, savikrohvist (viimistluskiht 10mm).

Paneelitüübid

Standard paneel: Kasutatakse tavaliselt seinade puhul, aga ka sillusteks, kui laius on alla 850 mm. Saadaval ühe- või kahekordne suurus. Ühekordne suurus on vahemikus 400–800 mm laiusega ja kahekordne on laiusega 800–1200 mm.

Tugipaneel: seinapaneel, millele on lisatud diagonaaltoed, et saavutada vastupanu külgmistele jõududele. Tavaliselt kasutatakse nurkades – 2 paneeli nurga kohta, kus paneelid on üksteisega täisnurga all. Saadaval ühe- või kahekordne suurus. Ühekordne suurus on vahemikus 400–800 mm laiusega ja kahekordne on laiusega 800–1200 mm.

Post paneel: Kasutatakse tugevdamiseks akende vahel või nurkades. Vineer mõlemal küljel parandab konstruktsiooni tugevust. Laius: 400–550mm (k.a vineer).

Kaldpaneel: kalde all lõigatud ülemine külg, et sobitada kalle viilu või viilkatuste jaoks. Saadaval ühe-

või kahekordne suurus. Ühekordne suurus on vahemikus 400–800 mm laiusega ja kahekordne on laiusega 800–1200 mm. Kõrgus: maksimaalne kõrge külg 3200mm ja minimaalne madal külg 200 mm. Kaldenurk: 5–45 kraadi.

Silluse paneel: Akna ja/või ukse ava jaoks. Laius: 800–3000mm. Kõrgus: 400–850mm. Silluse paneele toetab mõlemal pool 21 mm kiht vineeri. See vähendab ava suurust 42 mm võrra. Nt. 1200 mm laiuse aknaava koos 1200 mm sillusega on tegelikult vaba ava suurus 1158 mm.

Mõõdud

Paneelide laiust ja kõrgust saab hõlpsasti reguleerida, et muuta võimalikuks peaaegu igasugune hoone kuju ja suurus. Kõik paneelid on 400 mm paksused. Standardne laius 400 – 1200 mm; kõrgus 400–3200 mm; kaldenurk 5–45 kraadi.

3.2. Elementide vahelised liitumised

Mustersüsteemi moodustavate osade arv on seotud montaažisüsteemi keerukusega. Liiga väheste osadega süsteem võib oma olemuselt olla jäik ning mõeldud pigem kindla hoone tüübi ja suuruse jaoks. Keerukam süsteem, mis koosneb aga paljudest erinevatest elementidest võib raskendada hoone demonteerimist ja taaskasutamist. Minimaalne komponentide arv võib aga tähendada, et komponendid on loodud spetsiifilise projekti või süsteemi jaoks ning need ei pruugi seega olla kaubanduslikult laialdaselt kättesaadavad. Sellest tulenevalt võib süsteemi osi olla keeruline taaskasutada või asendada. Optimaalne komponentide arv viib üldiselt standardsema konstruktsioonini koos kaubanduslikult saadavate komponentidega, mis annab võimaluse paindlikumalt hooneid kohandada vastavalt ajas muutuvatele vajadustele.⁹³

3.2.1. Tappliitumised

Tappliitumiste puhul peab ühendussüsteem olema terviklik lahendus, kus elemendid ja

nende liitumispunktid on kalkuleeritud vastavalt konstruktsiooni vastupidavusele. Arvesse tuleb võtta kõiki konstruktsioonis esinevaid koormusi, sest kui üks ühendustest kaob, võib juhtuda konstruktsiooni osaline või isegi täielik kokkuvarisemine. Lisaks konstruktsiooni omaraskusele (tühikoormusele) on vaja arvestada erinevat tüüpi pingetega. Näiteks maavärina tagajärjed avalduvad esmalt vundamentides, kanduvad üle ülejäänud konstruktsioonile ja naasevad seejärel uuesti vundamendile. Vastupidiselt aga tuule- või lumekoormus esineb konstruktsiooni kõige kõrgemas osas ja sealt tulevad jõud tuleb alla poole juhtida.⁹⁴

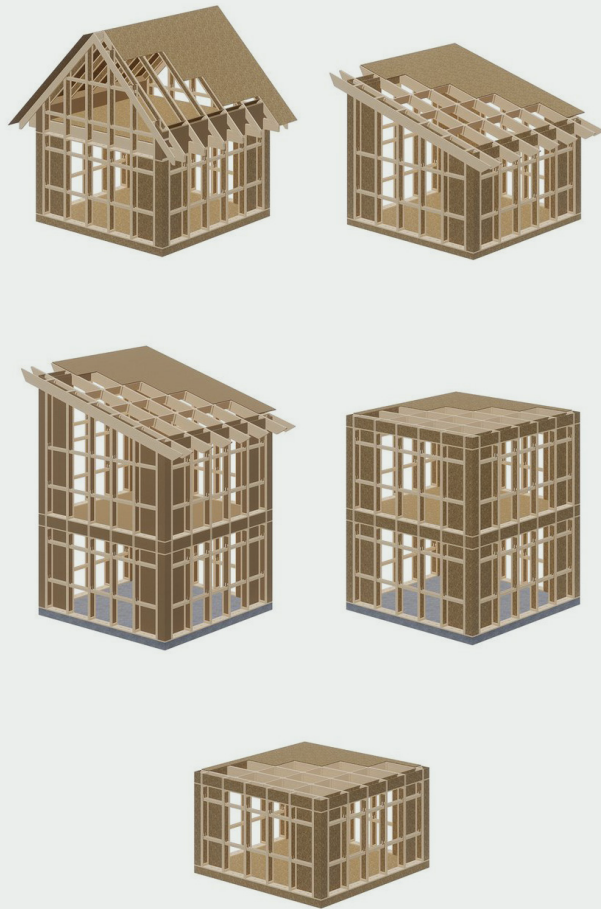
3.2.1.1. SI-MODULAR

SI-MODULAR konstruktsioonisüsteem suudab lühikese ajaga luua hoone põhistruktuuri, kasutades väga vähe komponente. Süsteem seisneb puitkarkassis, mida saab vabalt laiendada ja muuta. Süsteemi on võimalik kasutada olenemata hoone tüübist. Ehitusmeetodina kasutatakse nn. pistikinnitussüsteemi, mis tähendab,

⁹³ P. Rizzotti, A. Vercoutère, F. Baudry, M. Levy, T. Gaspard, A. M. Richon, O. Angeli, J. Edelmann, A. Mignon, Light and low carbon construction, lk 321.

⁹⁴ J. T. Franco, How to Join Wooden Elements: 6 Tips to Build Safe and Strong Structures. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/928388/how-to-join-wooden-elements-6-tips-to-build-safe-and-strong-structures> (vaadatud 23. VI 2023).

et objektile läheb ehitamiseks tarvis vaid haamrit et elemente omavahel kokku liita (joonis 8).⁹⁵

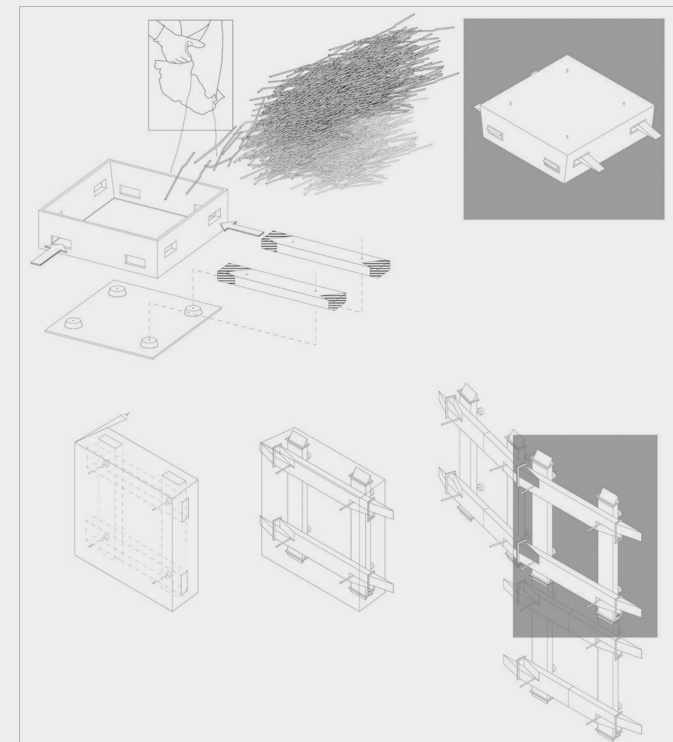


Joonis 8. Komponentidest koosnevate modulite süsteem.

95 The Easy. – Build Si-Modular, <https://www.si-modular.net/documentation> (vaadatud 16. VIII 2023).

3.2.1.2. Strawshape

Põhu- ja lubjakiht vormitakse puitkonstruktsioonist paneeli raami sisse (joonis 9). Raamidest ulatuvad välja puitplaadid, mis moodustavad paneelide vahelised ühenduskohad. Paneelide peale asetatakse kate, mis surutakse kokku poltidega ja kasutatakse hiljem välise põhu-vaigukihi viimistluse kinnitamiseks.⁹⁶

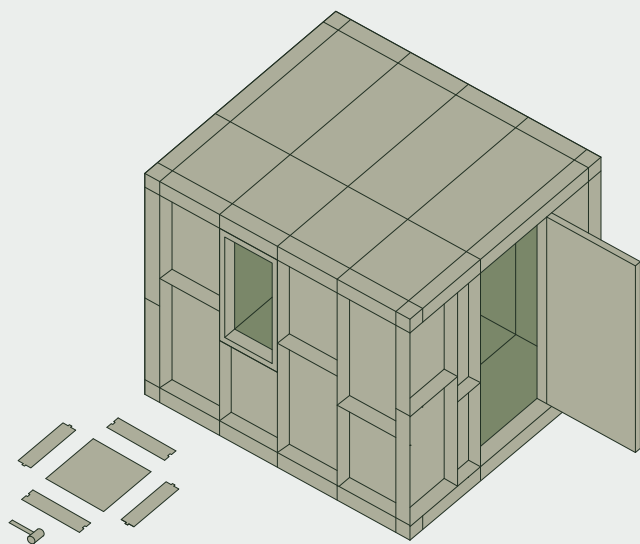


Joonis 9. STRAWSHAPE süsteem.

96 STRAWSHAPE. – IAAC blog, <https://www.iaacblog.com/programs/strawshape/> (vaadatud 28. VIII 2023).

3.2.1.3. U-Build

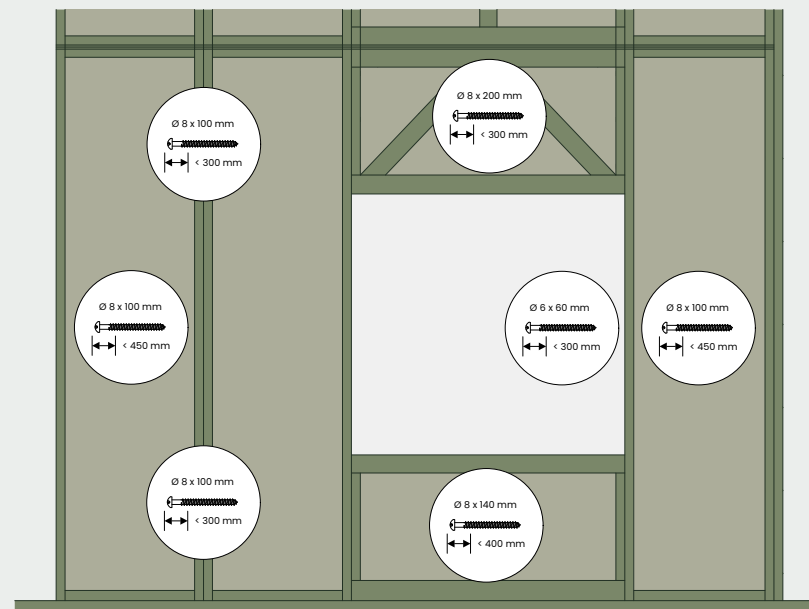
U-Build on modulaarne ja demonteeritav süsteem, mille töötas välja büroo Studio Bark (joonis 10). Elementide mõõdud on konstrueeritud 0,3 m *grid'i* sammuga, mis muudab selle paigaldamise ka juba olemasolevatesse konstruktsioonidesse lihtsamaks. Konstruktsioonelemendid koosnevad kuuse vineeriplaatidest ja soojustusest. Lihtsasti tõstetavad kastielemendid kinnitatakse tsingitud poltide, mutrite, kruvide ja seibidega.



Joonis 10. U-Buildi süsteemi põhimõtteline skeem.

3.2.2. Kruviliitumised

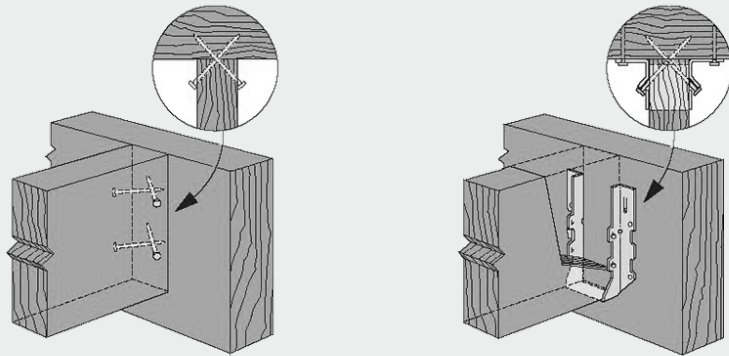
Paljud põhupaneeli tootjad on toote üles ehitanud kruviliitumistele (joonis 11). Kruvide kasutamise eeliseks on selle meetodi lihtsus. Vaja läheb tavapäraseid tööriistu: kruvikeerajat ja haamrit. Kruviliitumiste eeliseks on konstruktsioonide lihtne kokkupanek ja lahtivõtmine. Samuti on kruvisid võimalik hõlpsasti tööstulikult toota ning need on pea kõikjal kaubanduslikult kättesaadavad. Kruvide puuduseks on nende tootmine terasest, mis on keskkonnale kahjulik. Samas on võimalik terasest kruve üles sulatada ning taastoota.



Joonis 11. Kruviliitumised paneelide vahel.

3.2.3. Vaheelemendiga liitumised

Ühenduselementidega ehitatud konstruktsioonid on üldjuhul tugevamad kui need, mis on ehitatud ainult naelte või poltidega (joonis 12), võimaldades suuremat ohutust ja vastupidavust. Levinumad vaheelemendid on valmistatud terasest ning need on mõeldud erinevate konstruktsiooni osade omavaheliseks ühendamiseks, aidates ära hoida maavärinate, tugeva tuule ja muude ohtude põhjustatud kahjustusi.⁹⁷



Kruviühenduse kandevõime: Vaheelemendiga liitumise kandevõime:

1.30 kN

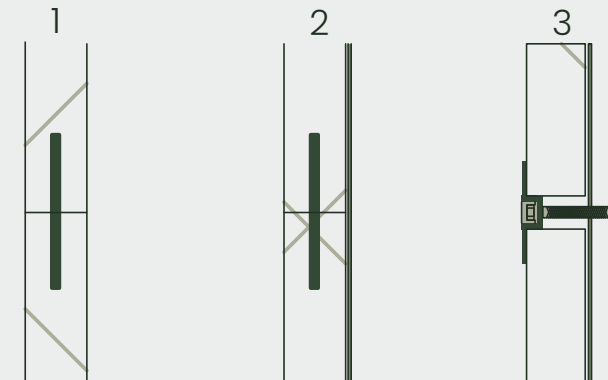
4.70 kN

Joonis 12. Kruvi- ja vaheelemendiga liitumised.

97 J. T. Franco, How to Join Wooden Elements: 6 Tips to Build Safe and Strong Structures. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/928388/how-to-join-wooden-elements-6-tips-to-build-safe-and-strong-structures>.

3.2.3.1. Durra Biscuit

Austraalia põhupaneelide tootja Durra Panel on välja töötanud ja patenteerinud viisi seinaelementide liitmiseks vaheelemendi abil (joonis 13). Soovitud paneeli saab tellida vastavalt projektis kasutatavatele mõõtudele, mille järel süvendatakse paneelide liitumiskohtadesse paneeli pikemal küljel avaus. Enne paneelide kokkuliitmist asetatakse avausse alumiiniumist või terasest Durra Biscuit kinnituselement. Vaheelemendid on ringikujulised ning 100 mm läbimõõduga ja moodustavad kuiva mehaanilise ühenduse külgnevate põhupaneelide vahel.⁹⁸



Joonis 13. Durra Biscuit kinnituselement.

98 Technical Manual. Durra Steel Sections. Panelised Building Systems. – Durra Panel, <https://durrapanel.com/resources/> (vaadatud 2. VI 2023).

4. TOOTMINE

4.1. Alaline ehk tsentraalne (alati samas tehases)

Alalise tehase puhul on võimalik osta materjali suuremates kogustes ette. Samuti ei pea materjal olema lõplikku mõõtu kalibreeritud (puidu puhul näiteks hõõveldatud), vaid võib olla toorikuna, millest tehase saab kohandada vastavate mõõtudega materjali. Tänu lühemale tarneahelale on nii võimalik pakkuda kiiremat tarneaega, paindlikumat tootevalikut ning seda tõenäoliselt soodsama hinna juures. Samuti on võimalik kasutada digitaalset arvepidamissüsteemi ning kvaliteedikontrolli, läbi mille saab säästa loodust, hoida kokku aega ning muuta info liikumine kiiremaks ja läbipaistvamaks. Kõik hoone materjalid ja konstruktsioonid on võimalik hoiustada tehase kuivades ruumides, olles kaitstud ilmastikumõjude eest. Enne elementide tehasest väljasaatmist kaetakse need, mis pakub tarnimisel kaitset ilmastikumõjude eest. Ehitusplatsile tarnitakse tooted valitud transpordivahendiga, olgu selleks näiteks veoauto või laev. Selleks, et veenduda toote sobivuses, on võimalik

tehases toota näidiselemente. See annab suurte projektide puhul kindluse, et kasutatud materjalid ja hoone komponendid vastavad soovitud.⁹⁹

4.2. Liikuv ehk lokaliseeritud (vastavalt projekti asukohale)

Mõiste "liikuv tehase" (Flying Factory™) võttis kasutusele põhupaneelide tootja ModCell, kes varem kasutas paneelide tootmiseks ajutiselt maapiirkondades taluhooneid, mis asusid ehitusplatsist kuni kümne miili raadiuses. See tähendas ökonoomsemat tootmist ning väiksemat süsinikujalajälge.

Ehitusfirma Skanska on välja töötanud sarnase liikuva tehase kontseptsiooni, mida tsentraalsest tehastest eristab see, et tootmine toimub ajutises tehases, mis rajatakse projekti elluviimise ajaks. Kui vajalikud komponendid on toodetud ning objektile tarnitud, suletakse tehase ning pakitakse kokku ja viiakse uude ajutisse asukohta. Väljaspool objekti teostatava tootmise miinusteks on üldjuhul suur stardikapitali vajadus, kõrged transpordikulud (toodete

99 ELEMENTMAJAD. – Timbeco, <https://timbeco.ee/tooted/elementmajad/> (vaadatud 2. VI 2023).

kohaleviimiseks) ning väljaspool tehast ostetavate toodete rahaline ebastabiilsus. Liikuva tehase eeliseks on asukoha ja tehases teostavate tööde paindlikkus. Samuti on tehase rajamiseks vajaminevad kulud madalamad. Ajutisi tehaseid on võimalik rajada ka olemasolevatesse hoonetesse, näiteks ladudesse.¹⁰⁰ Kui liikuv tehas rajatakse uue ehitisena, saaks selle suurus ja mõõdud olla kohandatud vastavalt toodete ning nende valmistamiseks ja hoiustamiseks vajamineva ruumi suurustele.

¹⁰⁰ Skanska's 'flying factories' take off in Slough. – Construction Management, <https://constructionmanagement.co.uk/has-skanska-se2en-fu3ture-offsite-slo2ugh/> (vaadatud 23. VI 2023).

5. TRANSPORT

5.1. Transpordi viisid

Kaupade tarnimisel tuleb üldjuhul valida nelja transpordiliigi vahel: maantee-, mere-, raudtee- või lennutransport. Levinuim viis transportimiseks põhupaneele ning moodulmaju on hetkel maanteetransport.

5.1.1. Maanteetransport

Veoauto, mis paneele või moduleid veab peab olema kaetud, kaitstes tooteid ilmastikumõjude eest. Samuti on oluline, et kvaliteedi tagamiseks iga põhupaneeli niiskust mõõdetakse enne tarnimist. Et liiklusseisakuid vältida, transporditakse suuri veoseid üldjuhul öhtu- ja öötundidel, kus laia veose puhul tagavad teekonna sujumise saateautod. Enne hoone või elementide transportimist oleks mõistlik tellida veotee uuring, kus objektini viiv tee sõidetakse läbi koos mõõtmisvahendiga (arvesse võetakse nii veose kõrgus kui ka laius).¹⁰¹ Oluline on, et ligipääs ehitusplatsile oleks sobilik rahvusvahelisele transpordiveokile. Tee,

¹⁰¹ Ostuprotsess ja transport. – Akso-Hause, <https://www.aksohaus.ee/ostuprotsess-ja-transport/> (vaadatud 4. VII 2023).

mis objektini viib peab olema minimaalselt 3,5 meetrit lai ning võimeline kandma umbes 80 tonni raskust. Transportimise ajaks tuleb eemaldada liiklusmärgid, piirdeaiad, oksad ja muud elemendid mis võivad tarnet takistada. Kui juurdepääs objektini on raskendatud, tuleb leida koht, kus saab paneele laadida sobivasse sõidukisse (nt 4x4 m / 6x6 m veoauto või haagisega traktor). Pehme kattega veok võimaldab avada veoki külgi ja katust. Paneelide maha laadimiseks on soovitatav kasutada mehaanilisi mahalaadimise masinaid, näiteks kraanat, (kahvel) tõstukit või hüdraulilise hoovaga veokit. Üks põhupaneel võib kaaluda kuni 150 kg. Paneelid on üldjuhul kokku pandud 6–9 tükist koosnevasse pakki, mis võib kaaluda umbes 750 kg. Seega tuleb veenduda, et mahalaadimiseks kasutataval masinal on piisav tõstevõime. Tõstukiga mahalaadimise tugevuseks on ökonoomsus ja paindlikkus, kuid tuleb silmas pidada, et ümber pööramiseks hoone ümber on vaja piisavalt ruumi ning maapind peab olema tasane. Kraana abil maha laadimise tugevuseks on kraana kasutamine seinte paigaldamiseks vahetult pärast mahalaadimist, mis säästab oluliselt aega. Samuti on paneele võimalik tõsta üle takistuste või kallakute ja katta kogu ehitusala.

Kraana on üldjuhul aga kallim kui tõstuk, selle ulatus on piiratud noole pikkusega ning tuleb olla ettevaatlik puude ja elektriliinidega.¹⁰²

5.1.2. Meretransport

Kaupade vedamisel veeteede kaudu on teiste transpordiliikidega võrreldes väiksem süsiniku jalajälg. Laevatransport tekitab üldiselt väiksemaid heitkoguseid isegi pikkadel reisidel. Meretransport on mõistlik, kui ühel reisil liigutatava kauba maht on suur ja raske (kuni tuhandeid tonne). Kuna on võimalik liigutada suuremas koguses kaupa, tuleb teha ka vähem reise. See eristus muudab meretranspordi ökonoomsemaks ja keskkonnasõbralikumaks kui muud viisid kaupade pikamaa tarneks, kui kauba lähte- ja sihtkoht on üksteisest kaugel.¹⁰³ Meretranspordi aeg on oluliselt pikem kui maantee- või lennutranspordil, kuid seejuures on selle hind soodne. Samas tuleb aga arvestada lisaveoteenusega, sest nõ. uksest ukseni vedu pole üldjuhul võimalik.

102 Transport & Storage. – EcoCocon, <https://ecococon.eu/professionals/downloads> (vaadatud 4. VII 2023).

103 ADVANTAGES OF SEA TRANSPORT. – Trans Global Auto Logistics, <https://tgal.us/advantages-of-sea-transport/#:~:text=One%20of%20the%20most%20significant,your%20valuable%20safe%20en%20route> (vaadatud 4. VII 2023).

5.1.3. Raudteetransport

Raudteeveo eelisteks on võimalus saata korraga suuri kaubamahtusid. Raudteetranspordi tugevuseks on ka madalam hind võrreldes maanteetranspordiga, kui kaubamaht on suur ja transpordikaugused väga pikad. Samuti on see ilmastikust vähem mõjutatud võrreldes õhu- ja maanteetranspordiga. Raudteetransport on ohutum ja madalamate heitgaaside emissioonidega kui maanteetransport. Saadetise dokumentatsiooni eelvormistus võimaldab kaupade kiire ja sujuva piiriületuse võrreldes teiste transpordiliikidega. Lisaks võimaldavad fikseeritud tariifid transpordikulu pikemalt ette prognoosida.¹⁰⁴ Raudteetransport on aga piiratud veoteede olemasolu ning liiprite laiusega. Raudteetransport säilitab konkurentsivõime, kui kaupa transporditakse suures mahus vähemalt 350–500 km kaugusele.¹⁰⁵

5.1.4. Lennutransport

Lennuvedusid tehakse üldjuhul siis, kui kauba

¹⁰⁴ Raudteevedu. – CF&S Estonia, https://cfs.net/estonia/et/teenused/raudteevedu/?gclid=Cj0KCQjw5f2lBhCkARIsAHeTVljQlhjqvR17p2ucyf-YaZj3YX495U9ouaKnVf5Z6UaBcgMU3S8c8modArQnEALw_wcB (vaadatud 26. VII 2023).

¹⁰⁵ M. Beuthe, M. Kreutzberger, HANDBOOK OF LOGISTICS AND SUPPLY-CHAIN MANAGEMENT: Consolidation and Trans-Shipments. Amsterdam: Elsevier, 2001.

väärtus, arvestades selle kaalu, on suhteliselt kõrge või kauba vedamine muu transpordiliigiga nõuaks mitmeid veoviise ja kauba ümberlaadimist, millega kaasneksid täiendavad kulud. Lennuvedude eeliseks on suur veokiirus, tihe ülemaailmne lennuliinide võrgustik ja võimalus teha vedusid kaugetesse piirkondadesse, mis on muudele transpordiliikidel kättesaamatud. Lennuvedudel on aga suhteliselt kõrged veotariifid kauba kaalu- ja ruumalaühiku kohta, üldjuhul saadetise suhteliselt väike kaal, sõltuvus ilmastikuoludest ja kauba suhteliselt kõrge hind võrreldes kauba kaaluga.¹⁰⁶

5.2. Transpordivahenditest tulenevad mõõdud ja piirangud

5.2.1. Maanteetranspordist tulenevad mõõdud

Kõvade seintega trailer on maanteetranspordi valdkonnas üks levinumaid haagiseid. Seda tüüpi haagiseid kasutatakse tavaliselt suure väärtusega saadetise või rõivaste transportimiseks. Kardin trailerid võimaldavad hõlpsat juurdepääsu kaubale ja neid

¹⁰⁶ Õhutransport. – Digar, <https://www.digar.ee/arhiiv/et/download/347087> (vaadatud 26. VII 2023).

kasutatakse paljudes erinevates tööstusharudes eri tüüpi kaupade jaoks. Megatreileril, mida mõnikord nimetatakse kajumbotreileriks, on liikuvad kardinad nagu kardin treileril. Enamik megatreileritest on kõrgusega 3 m ja ülestõstetav ülemine kate, mis muudab treileri teatud kõrgusega saadetiste jaoks sobivaks. Avatud tüüpi treilerit kasutatakse spetsiaalset käitlemist vajava ja ülegabariidilise saadetise jaoks. Tent treilerite külgmised lauad on valmistatud alumiiniumist, mis hõlbustab kauba kinnitamist. Kaupade nõuetekohane kinnitamine on eriti oluline ohtlike kaupade transportimisel.¹⁰⁷

Konteinerveok (tava ja külglaadur (inglise keeles *sideloader*)): Konteinerveokeid kasutatakse merekonteinerite (20'; 30'; 40'; 45' DRY, HC, OT, PW, REF ja TANK) transportimiseks. Eristatakse tava- ja külglaaduri tüüpi veokeid. Tavaveokil ei ole laadimise tehnikat (kaup laetakse konteinerisse estakaadi, tõstukit vms kasutades, sest konteiner asub laadimise hetkel veoki peal). Külglaaduril (joonis 14) on kaks hüdrotõstukit, mis tõstavad (maksimaalne tõstejõud 32t) konteineri maapinnale. Külglaadur sobib kui puudub võimalus

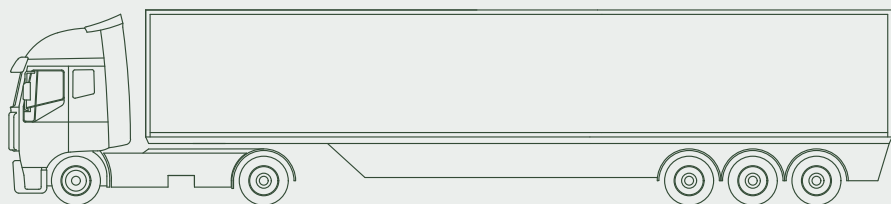
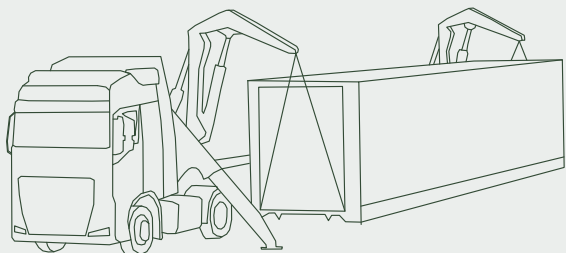
kauba laadimiseks maapinnast kõrgemal asuvasse konteinerisse.¹⁰⁸

	Kõvade seintega treiler	Kardin treiler	Mega-treiler	Avatud treiler	Tent treiler
Tühikaal (kg)	8 600	7 200	7 200	6 500	7 200
Max kauba kaal (kg)	22 000	24 000	24 000	31 900	24 000
Mahutavus (m ³)	90	91	100	-	90
Sisemine pikkus (m)	13,62	13,62	13,62	13,62	13,62
Laius (m)	2,46	2,48	2,48	2,48	2,48
Kõrgus (m)	2,70	2,70	2,94	-	2,67
Ukseava laius (m)	2,46	2,45	2,45	-	2,46
Ukseava kõrgus (m)	2,70	2,67	2,90	-	2,65
Küljeava kõrgus (m)	-	2,65	2,87	-	2,65

Tabel 1. Veokite mõõdud.

107 Treilerite liigid ja mõõtmed. – DSV, <https://www.dsv.com/et-ee/meie-lahendused/transportiliigid/maanteetransport/haagise-suurused> (vaadatud 26. VII 2023).

108 Veokite ja haagiste tüübid ning nende mahutavused. – ETS logistika, <https://etslogistika.ee/teadmiseks/veokite-ja-haagiste-mahutavus/> (vaadatud 26. VII 2023).



Joonis 14. Külglaadur.

5.2.2. Meretranspordist tulenevad levinumad konteinerite mõõdud

	10'	20'	40'	45' ¹⁰⁹
Pikkus (mm)	2843	5898	12032	13540
Laius (mm)	2352	2352	2352	2350
Kõrgus (mm)	2698	2698	2698	2689
Ukse laius (mm)	2335	2340	2340	2340
Ukse kõrgus (mm)	2585	2597	2597	2580

Tabel 2. Merekonteinerite mõõdud.

109 Uued konteinerid. – CONWAY, <https://cway.ee/containers/new> (vaadatud 26. VII 2023).

5.2.3. Raudtee transpordist tulenevad mõõdud

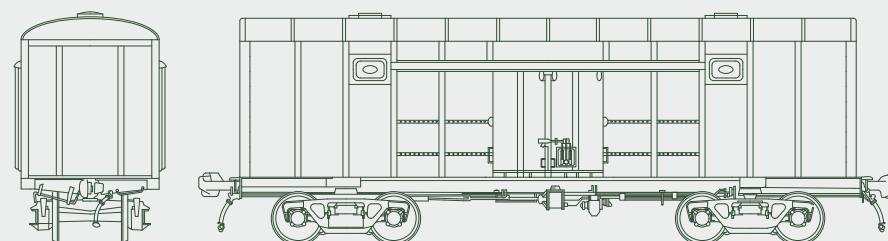
Raudteetranspordiks kasutatakse vaguneid (joonis 15), mille standardmõõdud on:

Vaguni kandevõime: 68 tonni

Sisemõõtmed: pikkus 17492 mm,
laius 2790 mm,
kõrgus 3106 mm

Põranda pindala: 48,8 m²

Külgukse mõõt: 3900×2862 mm¹¹⁰



Joonis 15. Transpordivagun.

110 Private Rolling-Stock. – DSV, <https://cfs.net/estonia/wp-content/uploads/sites/2/2023/03/CFS-Rolling-Stock-Presentation-ENG-2022.pdf> (vaadatud 26. VII 2023).

6. EHITUS

6.1. Kokku ja lahtikäidavuse olulisus

Uute hoonete varajases projekteerimis- ja planeerimisprotsessis valitakse otseselt või kaudselt mahud ja materjalidest tulenevat esteetikat, mis mõjutavad hoone funktsiooni, välimust, aga ka hoone korrashoidu ja materjalide keskkonnamõju. Paraku ei räägita sellest, kuidas saab hoone ja selle materjale kasutusea lõpus (*end-of-life. EoL*) dekonstrueerida või lahti võtta, et minimeerida jäätmevoogu ja taaskasutada jäätmeid disainis. Jäätmete väljatöötamine ei vähenda mitte ainult hoone kogu keskkonnamõju, vaid sellel on ka sotsiaalne ja majanduslik kasu.¹¹¹

DfD'i (Design for Deconstruction/Disassembly)

Printsiibid.

1. Hoone üldise projekteerimise puhul tuleb:

Kasutada lihtsat modulaarset disaini; kasutada avatud ja paindlikku hoonesüsteemi, mis võimaldab tulevikus funktsioonemuuta; kasutada modulaarset struktuurilist võrku; projekteerida hoone nii, et elemendid oleksid

kihilised vastavalt nende eeldatavale elueale; veenduda, et dekonstruktsiooni ajal säiliks füüsiline stabiilsus; eraldada mehaanilised, elektrilised ja sanitaartechnilised (*MEP*) süsteemid.

2. Materjalide ja ühenduste puhul tuleb:

Minimeerida erinevate materjalide, ühenduste ja komponentide arvu; kujundada vuugid ligipääsetavaks ja vastupidavaks; muud tüüpi ühenduste asemel kasutada mehaanilisi liitekohti (poldid, mutrid); kasutada mitte toksilisi, mittekomposiitseid, vastupidavaid ja kvaliteetseid materjale, mida saab taaskasutada; vältida sideainete, liimi, vaigu ja sekundaarsete viimistlusvahendite kasutamist; kasutada ringlussevõetud ja taaskasutatavaid materjale; kasutada kergeid materjale.

3. Ehituse ja dekonstrueerimise etappide käigus on vaja: Töötada välja ja kujundada dekonstruktsiooni plaan juba projekteerimise staadiumis; kasutada kokkupandavaid komponente ja materjale. Eelvalmistamine (*Prefabrication*) hõlbustab kuivade vuukide ühenduste ehitamist; veenduda, et komponendid oleksid käsitsemiseks sobiva suurusega; dekonstruktsioon peaks olema võimalik tavaliste

¹¹¹ J. Kanter Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art. – MDPI, <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/11/150> (vaadatud 4. VII 2023).

tööriistade ja seadmetega; tagada võimalust hoone erinevate välistarindite elemente paralleelselt lahti võtta; tagada võimalust samaaegselt mitut montaažtööd.

4. Suhtlemise, pädevuse ja teadmiste kohta on oluline: Säilitada dokumentatsioon kasutatud materjalide ja dekonstrueerimismeetodi kohta (ja ehitusjoonised); komponentide tüübid peaksid olema tuvastatavad; materjali tüübid peaksid olema tuvastatavad.¹¹²

Rios, Chong ja Grau määratlesid järgmised tõkked **DfD'i arendamiseks:** Kasutatava materjali koguse ja kvaliteedi määramatus; selliste materjalidega ehitamisega seotud reeglite ja standardite puudumine; demonteerimise käigus võivad komponendid kohapeal kahjustada saada; lõppkasutajate üldine negatiivne arusaam taaskasutatud materjalidest; projekteerijad ja konstruktorid peavad oma disaini püsivaks pidama; ajapiirangud, mis tulenevad asjaolust, et lahtivõtmine võib võtta oluliselt rohkem aega kui mehaaniline lammutamine; kulupiirangud, mis tulenevad arusaamast, et dekonstrueerimine maksab rohkem

kui lammutamine ja kõrvaldamine, mis ei ole alati tõsi; lepingu piirangud, mis võivad muuta korduskasutamise vähem teostatavaks; arvestusmeetodite puudumine DfD eeliste mõõtmiseks (pilt 20).¹¹³



Pilt 20. DfD printsiipidest lähtuvalt ehitatud People's pavilion.

¹¹² J. Kanter Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art. – MDPI, <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/11/150>.

¹¹³ F.C. Rios, W.K. Chong, D. Grau, Design for Disassembly and Deconstruction – Challenges and Opportunities. Amsterdam: Elsevier, 2015, lk 118, 1296–1304.

6.2. Ehituse kestus ja viis

Hoone ehituse efektiivsust hinnatakse ühe ruutmeetri elamiskõlbliku pinna moodustamiseks vaja minevate komponentide arvu järgi. Uuringute kohaselt läheb lihtsa kokkupandava või demonteeritava keskmise ühepereelamu kohta vaja 21,5 komponenti ühe ruutmeetri kohta ja kollektiivsete elamute puhul 6 komponenti ruutmeetri kohta. Neid tulemusi tuleb vaadelda seoses monteeringu indeksiga, mis vastab kokkupandavate komponentide osakaalule kohapeal tehtavate toimingute koguarvust. Protsendid võivad varieeruda olenevalt hoone tüübist, kuid eelkõige mõjutab indeksit kasutatava süsteemi tüüp: karkasskonstruktsioon, paneelid, moodulid või hübriidsüsteem. Ehitamise aeg on pikem karkassi- ja paneelide hübriidsüsteem kasutab keskmiselt 25,2 komponenti/m², kusjuures moodulsüsteemide ehitus on kõige efektiivsem, suhtega 0,5 komponenti/m².¹¹⁴

Enne hoone konstruktsioonide ehitamist, tuleb läbi viia ettevalmistustööd hoone krundil. Selleks võib olla vaja kommunikatsioonide (vesi, kanalisatsioon,

elekter) toomine hoonesse või puurkaevu ja lokaalse kanalisatsiooni rajamine. Samuti tuleb rajada hoone vundament sõltuvalt asukohast, pinnasest ja hoone tüübist.¹¹⁵ Ehituse kiirus sõltub süsteemi komponentide arvust, ehitajate professionaalsusest ja logistilistest lahendustest. Elementmajad on monteeritavad objektile kohapeal ning nende rajamine nõuab rohkem töötunde objektile. Moodulmaja puhul on objektile teostatavate tööde maht minimeeritud ning seega on tööaeg ehitusplatsil oluliselt lühem. Kui moodulid ja/või elemendid on püstitatud, siis nende ühenduskohad viimistletakse ehitusplatsil soovitud viisil. Üheks moodulitest või elementidest ehitamise eeliseks on ka see, et see hoiab märkimisväärselt kokku aega ning vähendab ehitusprügi tekkimist objektile.¹¹⁶

114 P. Rizzotti, A. Vercoutère, F. Baudry, M. Levy, T. Gaspard, A. M. Richon, O. Angeli, J. Edelmann, A. Mignon, Light and low carbon construction, lk 334.

115 Dokumentatsioon ja maotööd. – AKSO-HAUS, <https://www.aksohaus.ee/dokumentatsiooni-ja-maotood/> (vaadatud 23. VI 2023).

116 Moodulmajad. – Timbeco, <https://timbeco.ee/tooted/moodulmajad/moodulmaja-ehitus/> (vaadatud 23. VI 2023).

KOKKUVÕTE

Antud dokument avas modulaarsuse erinevaid viise, põhku kui ehitusmaterjali, põhupaneelide kaardistust ning modulaarse- ja elementidest arhitektuuri tootmist, transportimist ja ehitust.

Aina enam vaadatakse ehituses konkreetse hoone keskkonnamõju. Modulaarne ehitus on üks viis kuidas süsiniku jalajälg oleks väiksem. Lisaks võimaldab modulaarne ehitus kiiremat ehitamist, suuremat paindlikkust ja paremat ressursikasutust. Samuti on väiksem jalajälg hoonel kui kasutada ökoloogilisi materjale. Põhk on materjal, mis on põllumajanduse jääkprodukt ning igal aastal uuesti kasvav materjal. Kuna põhul on head füüsikalised omadused ehituses kasutamiseks, peaksime vaatama selle kui võimaliku ehitusmaterjali suunas.

Aruandes avatud peatükid on lähteülesandeks projekti "Moodulsüsteemi 1+X arendus, tehnomooduli väljatöötamine ja põhukui materjali kasutamise uurimine" eskiisprojektide staadiumi aluseks. Välja valitud näidete uurimine loob lähteülesande, mille alusel uuritakse kolme erinevat põhukui ehitamise viisi:

põhuplokidest, -paneelidest ja -moodulitest. Lisaks on antud dokument aluseks projekti kolmanda osa ehk eskiisprojekti aluseks, aidates mõista, millised tootmise, transpordi ja ehituse viisid võiksid olla parimad.

KASUTATUD ALLIKAD

Raamatud

Avfall i Sverige 2016. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, 2018.

B. Sanchez, C. Haas, Capital project planning for a circular economy. Oxfordshire: Routledge, 2018.

C. Ferrer, C. Martinez-Canavate, T. Hilderbrand, Touch Wood. Zürich: Lars Müller Publishers, 2023.

C. Liljenström, T. Malmqvist, M. Erlandsson, J. Fredén, I. Adolfsson, I. Adolfsson, Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften Livscykelberäkn. Stockholm: KTH, 2014.

D. Tingley, Design for Deconstruction: An Appraisal. Sheffield: University of Sheffield, 2012.

D. Wallance, The Future of Modular Architecture. Oxfordshire: Routledge, 2021.

E. Durmisevic, K. Yeang, Designing for Disassembly

(DfD). – Architectural Design 2009, 79(6).

Energiläget 2017. Stockholm: Swedish Energy Agency, 2017.

F.C. Rios, W.K. Chong, D. Grau, Design for Disassembly and Deconstruction—Challenges and Opportunities. Amsterdam: Elsevier, 2015, lk 118, 1296–1304.

G. Minke, B. Krick, Building with Straw Bales. Basel: Birkhäuser, 2020.

G. Staib, A. Dörrhöfer, M. J. Rosenthal, Components and systems: modular construction: design, structure, new technologies, Basel: Detail, 2008.

J.-L. Cohen, Building a new New World. Amerikanizm in Soviet Russia, Connecticut: Yale University Press, 2020.

M. Beuthe, M. Kreutzberger, HANDBOOK OF LOGISTICS AND SUPPLY-CHAIN MANAGEMENT: Consolidation and Trans-Shipments. Amsterdam: Elsevier, 2001.

O.O. Akinade, L.O. Oyedele, S.O. Ajayi, M. Bilal, H.A. Alaka, H.A. Owolabi, S.A. Bello, B.E. Jaiyeoba, K.O. Kadiri, Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. – Waste Management 2017, Volume 60.

P. Crowther, Designing for disassembly to extend service life and increase sustainability. Ottawa: Institute for Research in Construction, 1999.

P. Hradil, Barriers and Opportunities of Structural Elements Re-Use. Brussels: European Commission, 2012.

W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, Basel: Birkhäuser, 2019.

P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, San Francisco: ORO Editions, 2022.

P. Sulzer, J. Prouvé, Complete Works: Vol.3: 1944–1954. Basel: Birkhauser, 2005.

P. Rizzotti, A. Vercoutère, F. Baudry, M. Levy, T. Gaspard, A. M. Richon, O. Angeli, J. Edelmann, A. Mignon, Light and low carbon construction. Paris: Pavillon de l’Arsenal, 2022.

S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture. Princeton: Princeton Architectural Press, 2008.

T. Schneider, J. Till, Flexible Housing. Amsterdam: Elsevier, 2007.

Uurimistööd ja magistritööd

A. Jürgenson, R. Allikmäe, Põhupakkidest soojustusega puitkarkasshoonete ehitamise tehnoloogia ja ekspluatatsioon. Magistritöö, 2017, Eesti Maaülikool: https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/3430/A_J%C3%BCrgenson_R_Allikam%C3%A4e_MA2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

C. Gross, Structural Performance of Prefabricated Straw Bale Panels. Magistritöö, 2009, University of Bath: <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/structural-performance-of-prefabricated-straw-bale-panels>.

Interneti allikad

ADVANTAGES OF SEA TRANSPORT. – Trans Global Auto Logistics, <https://tgal.us/advantages-of-sea-transport/#:~:text=One%20of%20the%20most%20significant,your%20valuables%20safe%20en%20route> (vaadatud 4. VII 2023).

A Wall System Designed by Nature. –EcoCocon, <https://ecococon.eu/assets/downloads/ec-brochure->

eng.pdf (vaadatud 9. VI 2023).

Dokumentatsioon ja maotööd. – AKSO-HAUS, <https://www.aksohaus.ee/dokumentatsiooni-ja-maotood/> (vaadatud 23. VI 2023).

Ekopanely. – VELKO STAVEBNINY, <https://www.velkostavebniny.com/en/categories/ekopanely-stramit> (vaadatud 23. VII 2023).

Ekopanely boards. – Ekopanely, <https://www.ekopanely.com/ekopanely-boards> (vaadatud 23. VII 2023).

ELEMENTMAJAD. – Timbeco, <https://timbeco.ee/tooted/elementmajad/> (vaadatud 2. VI 2023).

For professionals. – EcoCocon, <https://durrapanel.com/our-story/>. <https://ecococon.eu/professionals/architects> (vaadatud 25. VII 2023).

Helping you build a more sustainable future. – Modcell, <https://www.modcell.com/> (vaadatud 23. VII 2023).

Hot news – Expanding the range of EcoCocon fire resistance. – EcoCocon, <https://ecococon.eu/blog/2021/fire-resistance-2021> (vaadatud 16. VII 2023).

J. Kanter Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art. – MDPI, <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/11/150> (vaadatud 4. VII 2023).

J. T. Franco, How to Join Wooden Elements: 6 Tips to Build Safe and Strong Structures. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/928388/how-to-join-wooden-elements-6-tips-to-build-safe-and-strong-structures> (vaadatud 23. VI 2023).

K. F. Arisya, R. Suryantini, Modularity in Design for Disassembly (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture. – IOP Science, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/738/1/012024/meta> (vaadatud 4. VII 2023).

L. Alter, Old Holloway Passive House Is All About Comfort and Luxury. – Treehugger, <https://www.treehugger.com/old-holloway-passive-house-all-about-comfort-and-luxury-4855053> (vaadatud 9. VI 2023).

Modular Construction – The Essential Guide For Architects. – essential, <https://essential.construction/academy/tutorials/modular-construction-2/>

(vaadatud 10. VIII 2023).

Moodulmajad. – Timbeco, <https://timbeco.ee/tooted/moodulmajad/moodulmaja-ehitus/> (vaadatud 23. VI 2023).

Ostuprotsess ja transport. – Akso-Hause, <https://www.aksohaus.ee/ostuprotsess-ja-transport/> (vaadatud 4. VII 2023).

Private Rolling-Stock. – DSV, <https://cfs.net/estonia/wp-content/uploads/sites/2/2023/03/CFS-Rolling-Stock-Presentation-ENG-2022.pdf> (vaadatud 26. VII 2023).

Pros and Cons of Straw Bale Houses. – House of Straw, <https://houseofstraw.com/pros-and-cons-of-straw-bale-houses/> (vaadatud 16. VII 2023).

R. Mets, Põhumajja passib hästi ka firma peakontor. – Tartu Postimees 21. III 2013, <https://tartu.postimees.ee/1177368/pohumajja-passib-hasti-ka-firma-peakontor> (vaadatud 28. VII 2023).

R. Sirén, Ricin olkielementtimökki. – Luomura <https://www.luomura.com/talotarinoita/ricin-olkielementtimokki/> (vaadatud 4. VII 2023).

Raudteevedu. – CF&S Estonia, https://cfs.net/estonia/et/teenused/raudteevedu/?gclid=Cj0KCQjw5f2IBhCkARIsAHeTvljQlhjqvR17p2ucyf-YaZj3YX495U9ouaKnVf5Z6UaBcgMU3S8c8modArQnEALw_wcB (vaadatud 26. VII 2023).

Skanska's 'flying factories' take off in Slough. – Construction Management, <https://constructionmanagement.co.uk/has-skanska-se2en-fu3ture-offsite-slo2ugh/> (vaadatud 23. VI 2023).

STRAWSHAPE. – IAAC Blog, www.iaacblog.com/programs/strawshape/?fbclid=IwAR05gnca9yC8Kclj2xsEZqEK6vkS2emN_rnKPA0JAnUT8bL0Cw-DrqYOlUu (vaadatud 18. VI 2023).

TECHNICAL INFORMATION. – Modulina Straw Panels, <https://modulina.it/en/#info-en> (vaadatud 23. VI 2023).

Technical Manual: Durra Steel Sections. Panelised Building Systems. – DURRA PANEL, <https://durrapanel.com/resources/> (vaadatud 22. VII 2023).

The History of Durra Panel. – DURRA PANEL, <https://durrapanel.com/our-story/> (vaadatud 22. VII 2023).

Transport & Storage. – EcoCocon, <https://ecococon.eu/professionals/downloads> (vaadatud 4. VII 2023).

Treilerite liigid ja mõõtmed. – DSV, <https://www.dsv.com/et-ee/meie-lahendused/transpordiliigid/maanteetransport/haagise-suurused> (vaadatud 26. VII 2023).

Uued konteinerid. – CONWAY, <https://cway.ee/containers/new> (vaadatud 26. VII 2023).

Veokite ja haagiste tüübid ning nende mahutavused. – ETS logistika, <https://etslogistika.ee/teadmiseks/veokite-ja-haagiste-mahutavus/> (vaadatud 26. VII 2023).

Õhustransport. – Digar, <https://www.digar.ee/arhiiv/et/download/347087> (vaadatud 26. VII 2023).

Illustratsioonid

Pildid 1–2. Ruumimooduli näide.

BAUART SMALLHOUSE. – divisare, <https://divisare.com/projects/330195-bauart-smallhouse>.

Pildid 3–5. Ploki mooduli süsteemil põhinev hoone.

S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture. Princeton: Princeton Architectural Press, 2008, lk 106.

Pilt 6–7. “Standard” house Meudonis.

Casas Meudon. – Jean Prouvé, <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1951-34>.

Pilt 8. Cellophane House'i modulaarsete komponentide loogika.

Cellophane House. – Kieran Timberlake, <https://kierantimberlake.com/page/cellophane-house>.

Pilt 9. Põhk.

Foto: Triinu Amboja, 2023.

Pilt 10. Wood House.

Smiljan Radic – Wood house. – SUBTILITAS, <https://www.subtilitas.site/post/157672833309/smiljan-radic-wood-house-colico-lake-2015-the>.

Pilt 11. Zilvar House.

Zilvar House. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/photographer/petra-hajska>.

Pilt 12. Gartist HmbH House.

Ausstellungsgebäude | Gartist GmbH. – European Straw Building Association, <https://strawbuilding.eu/ausstellungsgebäude-gartist-gmbh/>.

Pilt 13. Tammistu Agro kontor.

Foto: Triinu Amboja, 2023.

Pilt 14. Mauritzberg Test House.

Fritidssentrum på Mauritzberg Slott. – Nasjonalmuseet, <https://www.nasjonalmuseet.no/en/collection/object/NMK.2008.0734.371.007>.

Pilt 14. Media Perra House.

Media Perra House. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/924306/media-perra-house-santos-bolivar>.

Pilt 16–17. Põhust moodulitest suvila.

Finland. – ARCHMOSPHERES, <https://archmospheres.com/finland>.

Pilt 18. Old Holloway.

Old Holloway. – Passivhaus Trust, <https://www.passivhaustrust.org.uk/projects/detail/?cid=88>.

Pilt 19. Durra Panel reklaam.

Stramit Board. – DURRA PANEL, <https://durrapanel.com/our-story/>.

Pilt 20. DfD printsiipidest lähtuvalt ehitatud People's pavilion.

People's Pavilion / bureau SLA + Overtreders W. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/915977/peoples-pavilion-bureau-sla-plus-overtreders-w>.

Joonis 1. Ruumimoodulite erinevad monteerimistüübid.

W. Huß, M. Kaufmann, K. Merz, Building in Timber: Room Modules, Basel: Birkhäuser, 2019, lk 16–18.

Joonis 2. Šveitsi arhitektide "Bauart AG" väikese maja idee.

Algallikas: Option zweigeschossig mit Flachdach. – WeberHaus, <https://www.weberhaus.de/haeuser/baureihen/option/>.

Joonis 3. Idee elemendilisest ehitusest.

Algallikas: S. Kieran, J. Timberlake, Loblolly House Elements of a New Architecture. Princeton: Princeton Architectural Press, 2008, lk 46–47.

Joonis 4. Cellophane House'i modulaarse komponendide loogika.

Joonis 5. Puidu eluring.

Algallikas: P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, "Manual of Biogenic House Sections", 2022, lk 76–77.

Joonis 6. Põhu eluring.

Algallikas: P. Lewis, M. Tsurumaki, D. J. Lewis, Manual of Biogenic House Sections, San Francisco: ORO Editions, 2022, lk 140–141.

Joonis 7. Ecococoni paneelitüübid.

Joonis 8. Komponentidest koosnevate modulite süsteem.

STRUCTURAL FRAME. – SI-MODULAR, <https://www.si-modular.net/construction>.

Joonis 9. STRAWSHAPE süsteem.

STRAWSHAPE. – Iaac Educational Programmes, <https://www.iaacblog.com/programs/strawshape/>.

Joonis 10. U-Buildi süsteemi põhimõtteline skeem.

Joonis 11. Kruviliitumised paneelide vahel.

Algallikas: For Architects. – Ecococon, <https://ecococon.eu/ee/professionals/architects>.

Joonis 12. Vaheelemendiga liitumised.

Algallikas: How to Join Wooden Elements: 6 Tips to Build Safe and Strong Structures. – ArchDaily, <https://www.archdaily.com/928388/how-to-join-wooden->

[elements-6-tips-to-build-safe-and-strong-structures](#).

Joonis 13. Durra Biscuit kinnituselement.

Joonis 14. Külglaadur.

Joonis 15. Transpordivagun.

Tabelid

Tabel 1. Veokite mõõdud.

Tabel 2. Merekonteinerite mõõdud.