



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI VIRUMAA KOLLEDŽI
ASJADE INTERNETI JA TEHNOLOOGIASIIRDE KESKUS
KÕRGTEHNOLOOGILISTE LAHENDUSTE KASUTAMINE
ARCHITEKTUURIS

IOT AND TECHNOLOGY TRANSFER CENTER OF VIRU COLLEGE OF
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - HIGH-TECH SOLUTIONS IN
ARCHITECTURE

MAGISTRITÖÖ

ÜLIÕPILANE:	TAURI TAMME
ÜLIÕPILASKOOD:	165218 EAU
JUHENDAJA:	ÜLLAR AMBOS

TALLINN 2021

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 2021

Autor: Tauri Tamme

...../allkiri/

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2021

Juhendaja: Üllar Ambos

...../allkiri/

Kaitsmisele lubatud

“.....” 2021

Kaitsmiskomisjoni esimees /nimi ja allkiri/

EESSÕNA

Käesolev Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna arhitektuuri eriala magistritöö teema on "Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledži asjade interneti ja tehnoloogiasirde keskus - kõrgtehnoloogiliste lahenduste kasutamine arhitektuuris". Töö juhendaja on arhitekt Üllar Ambos.

Magistritöös on uuritud tarkade hoonesüsteemide, asjade interneti ja tehisintelligentsi koostöö võimalusi ja potentsiaali ning nende integreerimist arhitektuuri. Töö lõpptulemuseks on töö teoreetilist osa arvestav uue koolihoone projekt, kasutades kõrgtehnoloogilisi lahendusi hoone siseste süsteemidena ning konstruktiivselt.

Soovin tänada enda juhendajat Üllar Ambost, kes tekkinud küsimuste korral alati kiirelt vastuseid andis ning leidis aega kõrgtehnoloogiliste süsteemide töökäigu uurimiseks. Lisaks soovin tänada Kimmo Sakari Lylykangast, kes tutvustas algset Virumaa kolledži lähteülesannet ning Tristen Vardjat algsete alusmaterjalide varustamise eest, mis kiirendasid tööd eskiisi visandamisel. Aitäh Elis, Vladislav ja Epp, kes jagasid töö kohta enda mõtteid ning soovin tänada enda perekonda abivalmi suhtumise eest õpingute ajal.

ABSTRAKT

Uute innovaatiliste tehnoloogiate välja töötamine on igapäevaselt muutmas meie ühiskonda. Erinevate valdkondade spetsialistid tegelevad süsteemide arendamisega, millest aastakümneid tagasi ei osatud veel unistadagi. Märkimisväärne kiirus tehnoloogia arengus on lootust andev inimeste elukvaliteedi ja Maa järjepidevuse suhtes, aidates kaasa taastuenergia tootmisele ning talletamisele ja inimkonna CO2 emissioonide vähendamisele. Ehitussektor hõlmab endas väga mitmekesiseid valdkondasid ning nõuab üha enam spetsialistide ja teadlaste koostööd. Tuleviku hooned ei pea olema enam loodust koormavad oma ehitusprotsessiga ning kiiresti aeguvate lahendustega, sest uued avanevad võimalused lubavad hooned muuta jätkusuutlikuks ning energiat tootvateks elementideks linnaruumis.

Käesolev Tallinna Tehnikaülikooli arhitektuuri eriala magistr töö tegeleb Kohtla-Järve Tallinna Tehnikaülikooli kolledži uue hoonega, kaasates asjade interneti (IoT) ja tarkade süsteemide tehnoloogiaid ning uurides nende koostööd ja võimalusi tulevikus. Uuritud on tarkasid süsteeme, IoT ühilduvust hoone protsesside vahel, tehisintellekti võimekust juhtida tarkasid süsteeme ning hüvesid, mida selline kompleksne

tervik hoonele ja linnaruumile pakkuda suudab. Vaadeldud on olemasolevaid tarkasid hooneid, kus juba praegu rakendatakse osaliselt käsitletud tehnoloogiaid ning mille märkimisväärsed energiatõhususe ja kasutajamugavuse näitajad illustreerivad selgelt nende süsteemide kasutamise vajalikkust ja võimalusi.

Ülikoolihooned leiavad tihti kasutust erinevatel aegadel ning nendes viibiv rahvahulk on varieeruv. Tarkade hoonete eesmärk ei ole ainult üldiste süsteemide automaatne talitlus, vaid ka kasutajamugavus. Oluline on inimesega kaasa töötav ruum ning soovile vastav sisekliima. Tarkade lahenduste võimalused täna ning potentsiaal edaspidi annab lootust, et hooned muutuvad järjest isikupärasemaks, tagades sellega igale inimesele võimalikult meelepärase ja tervisliku keskkonna.

Võtmesõnad: arhitektuur, targad hooned, asjade internet, magistr töö

ABSTRACT

The development of new innovative technologies is changing our society on a daily basis. Specialists in various fields are engaged in the development of systems that could not be dreamed of decades ago. The pace of technological development, contributing to the production and storage of renewable energy and the reduction of human CO₂ emissions, is promising for the quality of life of people and the sustainability of the Earth. The construction sector covers many areas and increasingly requires the cooperation of specialists and researchers. The buildings of the future will no longer have to burden nature with their construction process and aging solutions, as new opportunities will enable them to be transformed into sustainable and energy-producing elements in urban space.

This master's thesis in the field of architecture of Tallinn University of Technology deals with the new building of TalTech Virumaa College, involving technologies such as Internet of Things (IoT), smart systems and exploring their cooperation and possibilities for the future. Intelligent systems, the compatibility of IoT between construction processes, the ability of artificial intelligence to control intelligent systems and the benefits that such a

complex whole can bring to buildings and urban space have been studied and used during the thesis' project phase. The study also goes over existing smart buildings that already implement some of the mentioned technologies and their significant energy efficiency and user-friendliness clearly illustrate the possibilities and need for these systems.

University buildings are often used at different times and the number of people in them varies. The purpose of smart buildings is not only the automatic operation of general systems, but also the convenience of users. It is important to have a space that works with people and an indoor climate that meets your wishes. Smart solutions today and the potential in the future gives hope that buildings will become more and more personal, thus ensuring the most pleasant and healthy environment for everyone.

Keywords: architecture, smart buildings, internet of things, master's thesis

SISUKORD

SISSEJUHATUS	12	7. REFERENTSOBJEKTID	38
PROBLEEMI PÜSTITUS JA EESMÄRK	12	7.1 THE EDGE	38
TÖÖ STRUKTUUR JA METOODIKA	12	7.2 BULLITT CENTER	40
		7.3 POWERHOUSE TELEMARK	42
1. TARGAD HOONED	16	8. INTERVJUU	44
1.1 TARGAD SÜSTEEMID	16		
1.2 ANDURID	17	TEORIAOSA KOKKUVÕTE	46
1.2.1 HOONE KASUTAJA TÄPNE JÄLGIMINE	17		
1.2.1.1 WIFI	18	SUMMARY	47
1.2.1.2 KAAMERAD	18		
1.2.1.3 KOHALOLEKUANDURID	19	9. PROJEKT	50
1.2.1.4 ANDMETE LIITMINE	19	9.1 ASUKOHA ANALÜÜS, ASENDIPLAAN	50
1.3 KÜTE, VENTILATSIOON JA KONDITSIONEER	20	9.2 MÕJUALA	50
1.4 TURVALISUS	20	9.3 TARGAD LED TEEJUHISED	52
1.4.1 LIGIPÄÄSETAVUS	20	9.4 TARGAD NURGAD	52
1.4.2 TULEOHUTUS	21	9.4.1 TÄNAVAVALGUSTUS	54
1.5 HALDUS	22	9.4.2 VARJESTUS JA PÄIKESEPANEELID	56
1.6 VALGUSTUS	23	9.4.3 VENTILATSIOON, KÜTE JA JAHUTUS	58
1.7 PÄIKESEVALGUS	23	9.5 PEAMAJA JA TEHNOLOOGIAD	62
1.8 PÄIKESEPANEELID	24	9.6 TARGAD TSOONID	66
1.9 ENERGIA JAOTUS	25	9.6.1 ÜKSIK ISIK	66
		9.6.2 VÄIKE GRUPP	68
2. ASJADE INTERNET - IOT	26	9.6.3 SUUR GRUPP	70
		9.7 E HITUSTEHNOLOOGIAD	73
3. TEHISINTELLEKT	28	9.7.1 BETOONI 3D PRINTIMINE JA SÜSINIKUST EKSOSKELETT	73
3.1 TEHISINTELLEKTI EETIKA NING TULEVIK	29	9.7.2 PLASTMASSI PRINTIMINE	74
		9.7.3 TEHNILISED OMADUSED	81
4. ENERGIASÄÄST	32		
		KASUTATUD KIRJANDUS	82
5. TÄNAVARUUMI KAASAMINE	34		
5.1 MUUTUVA VISUAALSE INFORMATSIOONI EDASTAMINE	34	JOONISED	84
6. LABORID JA ÕPPERUUMID	36	LISA 1 - EKSPERTINTERVJUU	86
		LISA 2 - PLANŠETID	90

SISSEJUHATUS

Igapäevane suhtlus elukeskkonnaga on muutumas järjest keerulisemaks ja mitmekesisemaks. Info üleküllusest on saamas suur probleem, mida ei suuda inimesed individuaalselt ega mitmekesi enam hallata. Selliste probleemidega tulevad paremini toime arvutid. Nende miinuseks on läbi aja olnud info sisestamine ning inimese ja arvuti vaheline suhtlus. Arvutid ei ole pikalt suutnud koguda ise andmeid, kuid tänu tehnoloogia kiirele arengule on see muutumas.

Probleemi püstitus ja eesmärk

Erinevate valdkondade tehnoloogia on arenemas kiiremini, kui eales varem. Tihti liiguvad hoonetele välja töötatud lahendused kiiremas tempos, kui arhitektuuriteooriad, planeeringud ja ehitusprotsess. Uuenduslikud lahendused on sageli ehitusprotsessis kallimad ning nende potentsiaalset pikemas perspektiivis on raske aru saada. Internetiajastu võimaldab siduda erinevaid hoone süsteeme ühtseteks tervikuteks, kus iga osa lisamine mängib olulist rolli ning toob endaga kaasa energiatõhusama terviku loomise. Oluline on kaasaegses arhitektuuris mõista erinevate tehnoloogiate tööpõhimõtteid ning võimalusi, kuidas neid rakendada.

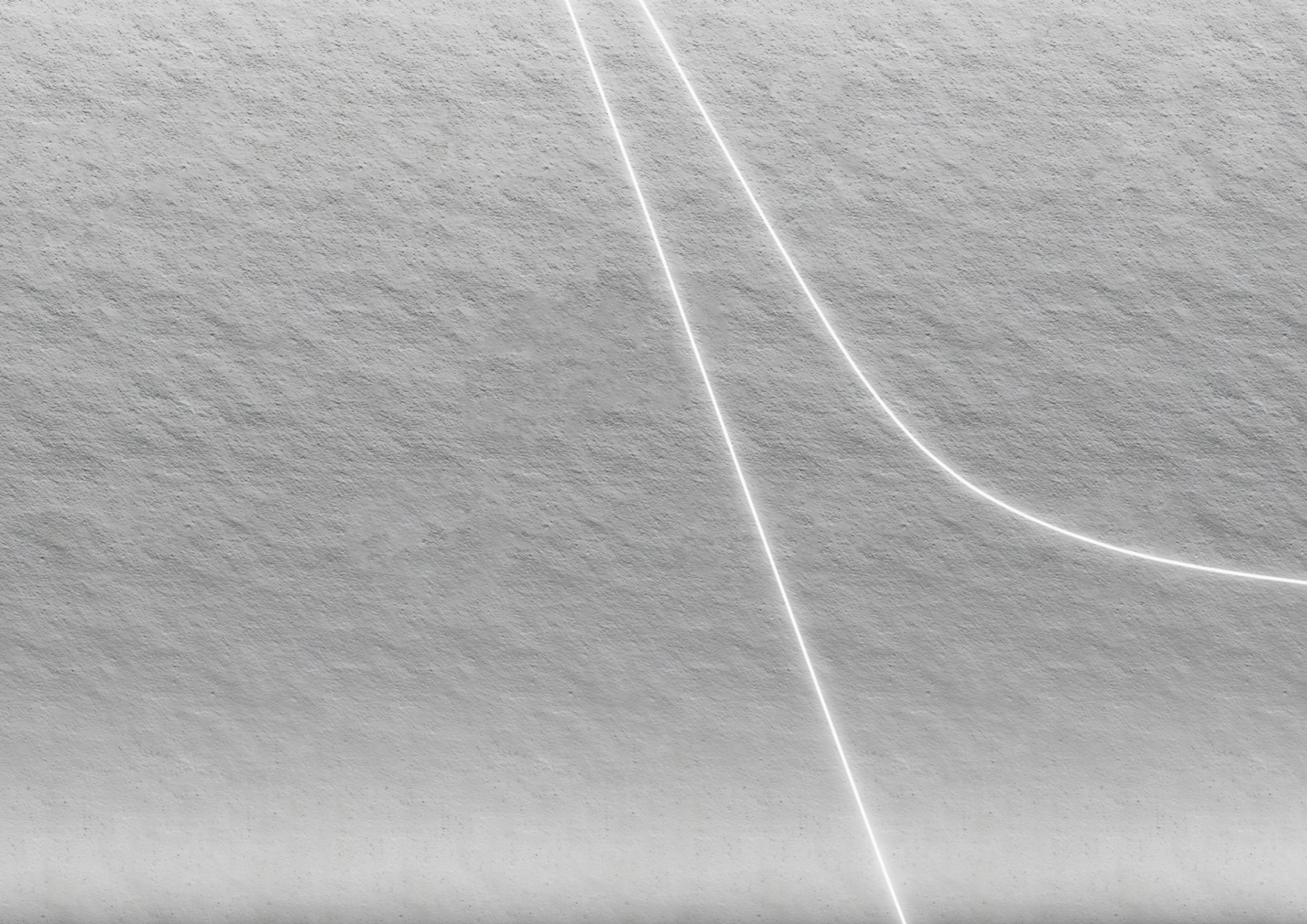
Magistritöö eesmärk on uurida erinevaid IoT ja tehnoloogiasiirde võimalusi ning nende kasutamist arhitektuuris hoone siseselt ning linnakeskkonnas. Teooriaosale toetudes on loodud arhitektuurne projektilahendus Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledži uue õppehoone näol, rakendades maja siseselt ja selle ümber kõrgtehnoloogilisi lahendusi ning illustreerides nende omavahelise koostöö potentsiaale.

Töö struktuur ja metoodika

Käesolev magistritöö koosneb kahest osast – teoreetilisest uurimisest ja projektilahendusest. Teoreetiline osa annab ülevaate erinevatest hoonetes kasutatavatest tarkadest süsteemidest ning nende perspektiivist, masinõppe ja tehisintelligentsi võimekusesest hoonete automatiseerimisel ning analüüsib olemasolevate tarkade hoonete süsteeme ja hüvesid. Teises osas on esitatud arhitektuurne projektilahendus, kus on teooria järeldeste tuginedes projekteeritud uus õppehoone Kohtla-Järve kolledžihoone külge, kus arvestatakse tehnoloogiliste võimaluste potentsiaaliga tänapäeval ja tulevikus. Ühtlasi kaasab tark hoone enda mõjualas linnaruumi.

“Just as electricity transformed almost everything 100 years ago, today I actually have a hard time thinking of an industry that I don’t think AI will transform in the next several years.”

-Andrew Ng



1. TARGAD HOONED

Targad hooned kasutavad arenenud ja hoone funktsioonidesse integreeritud tehnoloogilisi süsteeme. Sellised süsteemid mõistavad enda rolli hoones ning teevad vastavalt olukordadele ise muudatusi. Targad hooned tagavad suurel hulgal informatsiooni endas toimuva kohta, kus iga süsteem jälgib enda toimimist ning võimaldab seda seadistada ja muuta vastavalt vajadustele. Tänu arenevaatele tehnoloogiatele on tarkadest hoonestest saamas kõige kulutõhusamad ehitised. See tagab hoones viibijatele mugava ning turvalise keskkonna ja seda kõike iseseisvalt, ilma inimese sekkumiseta (Sinopoli, 2009, lk 3). Tarkade süsteemide areng on väga kiire ning igal aastal töötatakse välja uusi lahendusi ning tehnoloogiaid, mis on inimestele märkamatumad ning omavad seejuures veel suuremat potentsiaali, kui varasemad mudelid. Hea targa hoone aluseks on õigete süsteemid valimine ning nende optimaalne kasutamine. Selles mängib suurt rolli arhitektuurne disain, kus tuleb arvestada inimeste ja tarkade süsteemide koostööga. Süsteemid peavad aitama elanikul, töötajal või külastajal hoones hõlpsamini navigeerida ja hoonet enda soovide kohaselt seadistada, olles seejuures ise võimalikult märkamatud ja vähe häirivad.

1.1 Targad süsteemid

Hoone arhitektuurse ilme ning olemuse moodustavad füüsilised, meeltega tajutavad elemendid. Selle tõttu ei ole hoonet projekteerides kõige olulisem nende süsteemide taga peituvad koodiread ning kõrgtehnoloogilised kiibid, vaid nende füüsiline olemus ning võime kanda edasi inimestele tajutavat informatsiooni (Sinopoli, 2009, lk 7). Juhtmed ning seadmeid ühendavad vahelülid peidetakse üldjuhul ripplagede ja seinte taha, kuid hoones kus kõik on omavahel suhtlevas ühenduses, võib nende sidemete näitamine olla väga huvitav.



Joonis 1. Smart home as a System-of-Systems
<https://www.businessprocessincubator.com/content/smart-home-as-a-system-of-systems-reference-architecture/>

1.2 Andurid

Kõrgtehnoloogilised andurid suudavad lisaks inimeste ruumis viibimise mõõta ning vastavalt seadistada küttesüsteeme, ventilatsiooni ja õhukvaliteeti, valgustust ning päikesevarjestust. Koostöös erinevate tehnosüsteemidega tagavad andurid hoones parima võimaliku sisekliima ning on seeläbi lahutamatud osad tulevikuhoonetest (Sinopoli, 2009, lk 7).

Andurite ning tehnosüsteemide koostöö võimaldab luua väga mitmekesist sisekliimat erinevatel skaaladel. Suurtes ruumides saab tagada inimeste üldise heaolu, vähekasutatud ruumides säästa energiat ning individuaalsetes töökohtades olla väga kasutajakesksed ning seadistada töökoha kliima vastavalt kasutaja soovidele. Hea töökoht peaks võimaldama igal inimesel vastavalt oma vajadustele reguleerida temperatuuri, ventilatsiooni ja valgust ilma, et see teisi töötajaid segaks. Inimest mõistvad andurid suudavad seda teha.

1.2.1 Hoone kasutaja täpne jälgimine

Hoone targad süsteemid on loodud tervislikuma, mugavama ja turvalisema siseruumi tagamiseks. Tehnoloogia parimaks võimalikuks rakendamiseks on vaja jälgida inimeste liikumist ja harjumusi hoones ning võimalusel individuaalse inimese põhiselt (Ghayvat, 2015). See peab toimuma targa süsteemi siseselt, tuues masinale esile vaid vajaliku informatsiooni ning tagades privaatsuse jälgitavale inimesele. Tuvastamine ei saa toimuda ühel tasandil, vaid see vajab mitmete erinevate süsteemide koostööd. Kasutaja tuvastamisel esinevad üksteisest sõltuvad etapid:

- Kasutaja esmane tuvastamine - Süsteem ei pea teadma inimeste arvu, nende olemust või eesmärke hoones. Eesmärk on mõista individuaalse inimese kohalolekut.
- Kasutajate arv - Süsteem peab teadma enda vastutusalas viibivate inimeste arvu ning suhtlema teiste sarnaste süsteemidega. See võimaldab vajadusel arvestada kõigi hoones viibivate inimeste arvuga.
- Kasutaja asukoha määramine - Süsteem mis teab hoone kasutaja asukohta. Tegu on kõige keerulisema protsessiga, mis hõlmab kõikide andurite koostööd ning masinõppe

süsteemide rakendamise võimekust.

- Kasutaja käitumise / sündmuse tuvastamine - Vastavalt kasutaja asukohale peab süsteem tegema ennustusi, mis tegevusega kasutaja tegeleb ning mis on tema eesmärk. Selle järgi toimib hoones peamine tehnosüsteemide kontrollimine ning turvalisuse tagamine.

(Akkaya et al., 2015)

1.2.1.1 WiFi

Tarkade sensorite paigaldamine tiheda võrgustikuna on kulukas, kuid tänaseks on peaaegu igal inimesel nutitelefon, mis sellises majas käitub nagu inimese isiklik sensor. Ilma lisavahenditeta ei ole telefonist lihtne informatsiooni kätte saada, kuid mobiilirakenduse abiga oleks võimalik hoonel ja selle külastajal hõlpsalt suhelda (The smartest building in the world). Nii on võimalik vältida eraldi paigaldatud kaameraid näotuvastamiseks, sõrmejälje lugejaid ning hääletuvastust tagavaid süsteeme, sest telefon võimaldab seda kõike ning igal ühel on enda isiklik seade. Kasutaja asukoha määravad WiFi levikupunktid ning signaali tugevus vastavalt punktile. Selle järgi on võimalik sarnaselt GPS süsteemile määrata kasutaja asukoht. Mobiilirakenduse olemasolu korral on võimalik siduda kasutaja ära ka kindla MAC-aadressi ehk meediumpöörduse juhtimise aadressiga, mis määrab igale füüsilisele võrguliidesele (telefonile) unikaalse identifikaatori (Akkaya et al., 2015). San Diego ülikool Californias viis arvutiteaduste osakonnas läbi katse, mille eesmärk oli jälgida individuaalsete ruumikasutajate liikumise täpsust ning sellest tulenevalt tehnosüsteemidega energiasäästlikust. Eksperiment kestis 10 päeva, milles osales 116 inimest. Süsteem

näitas kasutajate asukohta täpselt 86% ajast ning kogu testperioodi vältel andis süsteem valepositiivse tulemuse inimeste asukoha kohta ainult 6,2% ajast. Vigade tekkimise peamiseks põhjuseks olid probleemid telefoni ja WiFi võrkude järjepideva koostööga. Töö autorid täheldasid seda süsteemi kasutades 17.8% energiakulude vähenemist tehnosüsteemide arvelt (Akkaya et al., 2015). Võttes arvesse, et tegu oli ainult WiFi peale üles ehitatud lahendusega, mis ei arvesta teiste anduritega on see väga hea tulemus. Koostöös IoT tehnoloogiatega, masinõppe algoritmidel areneva tehishäälvõrguga ning teiste tarkade masinatega on potentsiaal muuta inimese asukoha määramine väga täpseks, tagades sellega samal ajal kasutaja privaatsuse teiste kasutajate ees.

1.2.1.2 Kaamerad

Tõhusa ja levinud vahendina kasutatakse hoonetes turvalisuse tagamiseks videovalvet. Kaamerapildi järgi on võimalik inimesi kiirelt tuvastada ning vajadusel inimeste liikumist jälgida. Olenevalt riikidest on privaatsusele erinevad nõudmised, mistõttu kaamerate kasutamine võib tulevikus muutuda järjest problemaatilisemaks. Saksamaal on juba praegu kehtestatud ranged reeglid kaamerate kasutamiseks ning nende olemasolust inimeste teavitamiseks (Germany: DSK publishes guidance on video surveillance by non-public bodies under the GDPR) . Eestis nii rangeid nõudmisi veel ei ole. Sellest hoolimata ei saa välistada kaamerate abi masinõppe valdkonnas, kus saadud kaamerapilt võib inimeste jaoks olla krüpteeritud ning kogu info loetav vaid tarkadele süsteemidele. Kaamerapildiga inimeste lugemist ja arvu määramist on võimalik jagada mitmesse kategooriasse:

- Inimesele iseloomulike (käed, jalad) osade tuvastamine ning kokku lugemine
- Pikslite liikumise jälgimine ja nende trajektoori arvutamine ning võrdlemine reaalsusega
- Erinevate elementide jälgimine ning oletuslik prognoos inimeste arvust (Sinopoli, 2009, lk 83)

Masinatele valmistab kaamerapildi mõistmine oluliselt suuremaid raskuseid kui inimesele. Üksiku inimese tuvastamine staatilise taustaga olukorrast võib olla lihtne, kuid liikuva ümbritseva keskkonnaga olukorrast mitme inimese jälgimine võib osutuda oluliselt keerulisemaks. Kõige efektiivsemaid tulemusi annavad süsteemid, kus saab tuvastada võimalikult palju inimesele omaseid tunnuseid. Ilma näotuvastuseta ja anonüümsema olukorra loomise juures ei pruugi selline süsteem üksinda olla kõige tõhusam, kuid koostöös teiste jälgimisseadmetega väga kasulik.

1.2.1.3 Kohalolekuandurid

Inimesteliikumist ning tegevusi ruumis on võimalik tuvastada ka anonüümsemate vahenditega. Kohalolekuandurid tagavad privaatsuse, andes samal ajal hoonetele edasi teavet inimeste arvu ning ruumikasutuse kohta. Kõige uuemad andurid kasutavad liikumise tuvastamiseks infrapunat ja ultraheli ning mõõdavad CO₂ taset, valgustatust, õhuniiskust ning helisid, tagamaks väga täpse arusaama ruumis viibijate kohta isegi minimaalsete liigutuste korral (DT Quattro DCS). Selliseid andureid on võimalik kasutada erinevatel skaaladel. Sarnaselt kaamerapildile on võimalik anduritest saadud info põhjal teha intelligentseid järeldusi liikumise kohta. Ainult anduritega ruumikasutuse uurimise eksperimendis suutsid need nädala aja sees 92% täpsusega ära arvata ruumis viibivate inimeste hulka (Akkaya et al., 2015).

1.2.1.4 Andmete liitmine

Andmete liitmine võimaldab kombineerida erinevate seadmete tööd ning suurendada nende koostööl inimese asukoha määramise täpsust. Wifi võrgus Arduino mikrokontrolleriga suhtlevad andurid andsid ühes katses inimeste jälgimise ja lugemise täpsuseks 88%

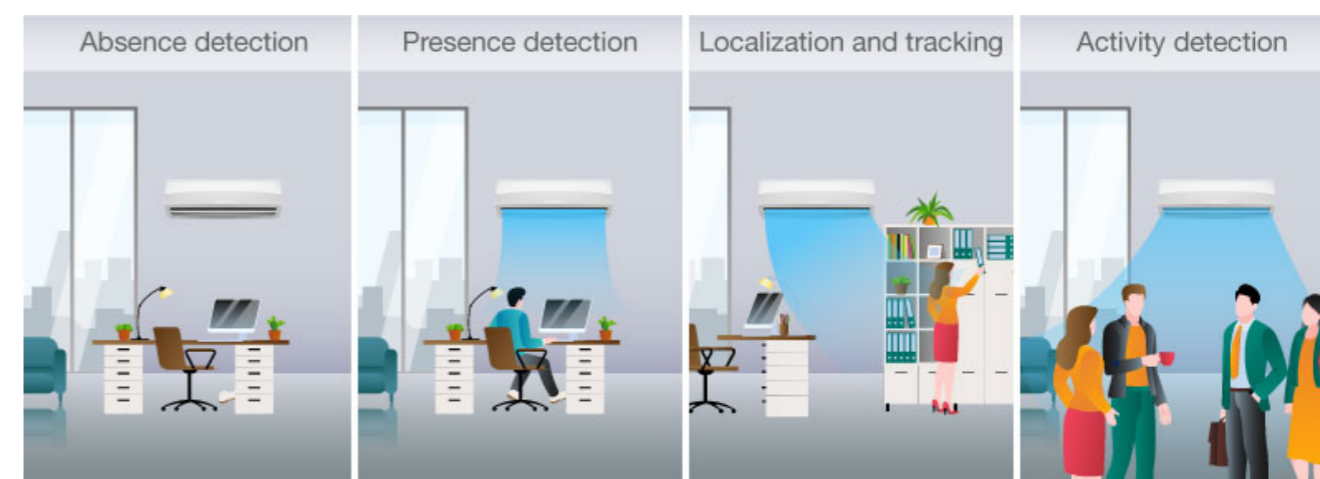
(Yang et al., 2012). See süsteem kasutas tehisenärvivõrguga olukorra analüüsimist ning andis selle lihtsust arvesse võttes väga täpseid tulemusi.

Bluetoothi ja WiFi koostöö suurendavad veel rohkem telefonirakenduse põhiste määramistäpsust. Tehtud katses määras Bluetooth inimese asukoha vastavasse tsooni ning WiFi ühenduse järgi leiti täpsem asukoht. Ainult WiFi võrguga inimese asukoha määramise täpsus jäi 2.69m peale, aga lisades Bluetooth liidese vähenes see vahemaa 2.32m peale (Aparicio et al., 2008).

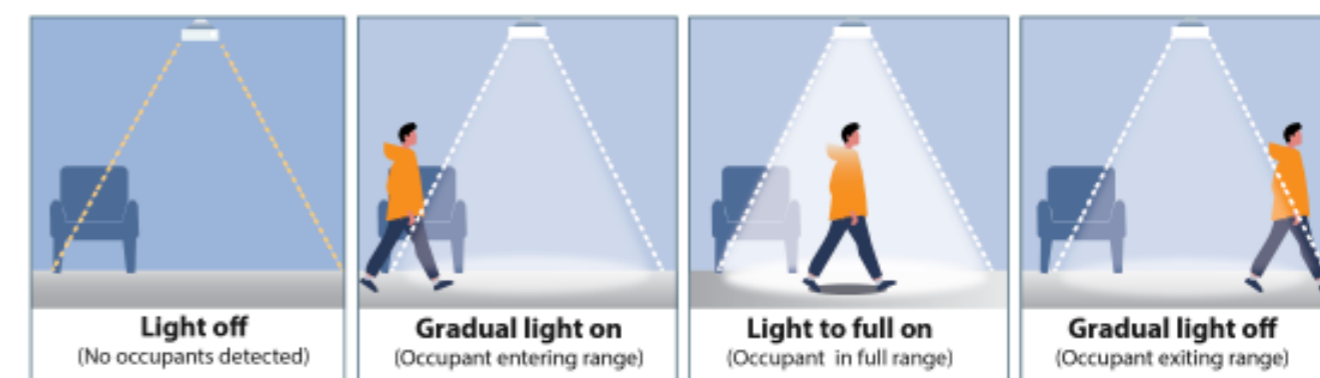
Testitud on ka erinevate sagedustega WiFi võrkude toimimist, kus 2.4 GHz ja 5 GHz WiFi signaalid kombineeritakse, et asukohta täpsustada. Sellele aitavad veel kaasa telefoni kiirendusandur ja güroskoop, mille põhjal algoritmid teevad trajektoori ennustavaid arvutusi (Karlsson et al., 2015). Erinevate CO₂ ja liikumisandurite koostöö tulemusena oli inimeste liikumistäpsus 89%, kus süsteem üritas ette ennustada ruumikasutust ning võrdles seda reaalsusega (Meyn et al., 2009).

Testid on näidanud, et erinevate andurite koostöö on võimalik ning üksikute süsteemide sidumine teistega muudab tulemusi juba märkimisväärselt täpsemaks. Potentsiaal inimeste asukoha määramiseks tuleviku hoonetes on väga hea, kui siduda kõik kõrgtehnoloogilised

süsteemid omavahel ning lasta tehisintellektil seda juhtida ning masinõppe algoritmidele arendada.



Joonis 2. Multifunktsionaalsete andurite mitmekesine kasutamine
https://e2e.ti.com/blogs_/b/industrial_strength/posts/designing-smart-energy-efficient-air-conditioning-using-ti-mmwave-occupancy-sensors



Joonis 3. Aktiivne valgustuse seadistamine anduritega
<https://www.asmag.com/showpost/30803.aspx>

1.3 Küte, ventilatsioon ja konditsioneer

Küttesüsteemid, konditsioneerid- ning ventilatsiooniseadmed on vajalikud hoone sisekliima loomiseks ning selle püsivana hoidmiseks. Targad süsteemid võimaldavad olemasolevate andmete töötlemist ning vastavalt sellele oma töökäiku reguleerida. Targad küttesüsteemid suudavad hoida üksteisest sõltuvalt väga täpseid temperatuure (Luo et al., 2019), konditsioneeriseadmed jahutada hoonet vastavalt vajadustele erinevates ruumides (Song et al., 2017) ning ventilatsioonisüsteemid suudavad jälgida õhukvaliteeti, selle liikumise hulka, õhu ringliikluse vajadust ning seda kõike reaajas kuvada (Lohani & Acharya, 2016). Hoone sisekliima on üks tervik, milles inimesed viibivad, mistõttu peab selle eest vastutav süsteem olema mitte ainult enda tegemistega kursis, vaid jälgima ka kõike enda ümber toimuvat. Targad tehnosüsteemid suudavad ilma järgi teha ennetavaid otsuseid ning inimeste hulga suurenedes ruume paremini ventileerida ning jahutada.

1.4 Turvalisus

1.4.1 Ligipääsetavus

Vähesed hooned on tervenisti avalikkusele avatud. Vastavalt hoone funktsioonile ja kasutusotstarbele on tihti mitmed ruumid või hooneosad piiratud ligipääsuga (Sinopoli, 2009, lk 70). Kiiptkaartide kasutamine on laialt levinud ning mugav viis töötajate ja külastajate jagamiseks gruppidesse, mille järgi on hoones liikumine võimaldatud. Selline süsteem nõuab alati kiiptkaardi olemasolu või selle saamist, mis võib uuemate tehnoloogiate kasutamisel olla ebavajalik. Hoone tuvastussüsteemide keerukusest sõltuvalt on võimalik kasutada mitmeid mugavamaid võimalusi (Biometrics, Smartphones Poised to Replace Key Cards).

- WiFi võrku ühenduvus
- Mobiilirakendus
- Sõrmejälje lugejad
- Näotuvastus
- Häältuvastus

1.4.2 Tuleohutus

Tuleohutus ning tulekahjude tuvastamise võimekus on iga hoone puhul väga olulised. Suitsuandurid ning hädavalgustus on hea samm turvalisema töökeskkonna poole, kuid omavahel suhtlevate süsteemide võrgustik võimaldaks lisaks inimeste teavitamisele neid ka aidata (Sinopoli, 2009, lk 103). Targad tuleohutussüsteemid suudavad tulekahju tuvastada tihti varem, kui see on kontrolli alt väljunud. Uued andurid võimaldavad mõõta ruumi süsihappegaasi sisaldust ning märgata tulekahju tekkimist termopildiga (Smart fire detection techniques). Lisaks võimaldab see anda teistele süsteemidele käsk:

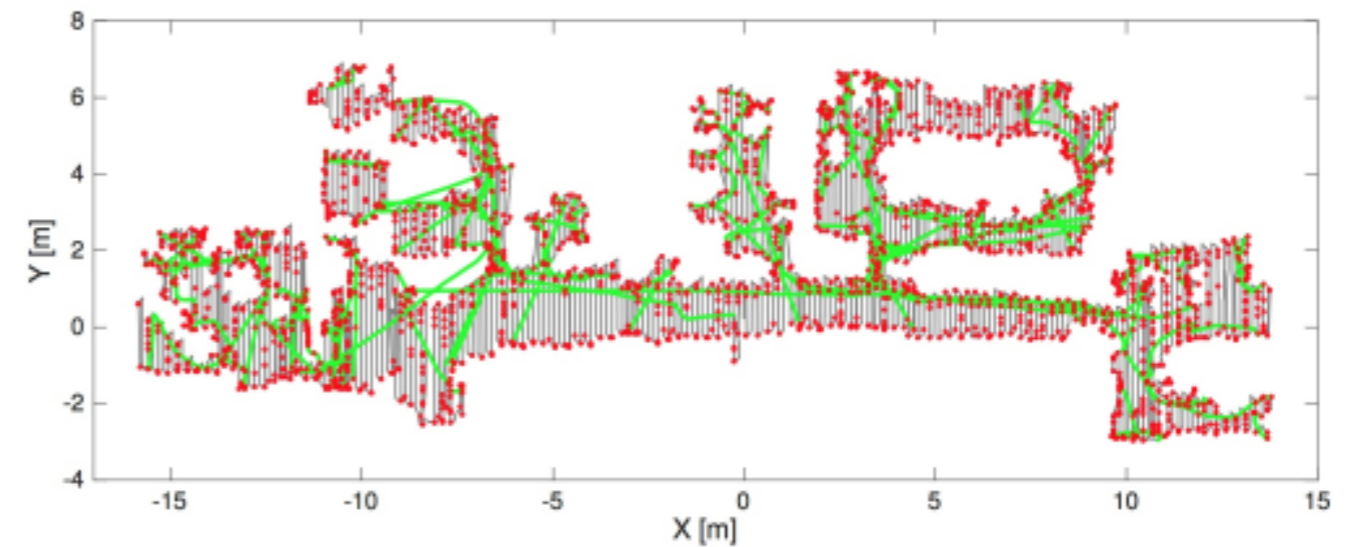
- Ventilatsioonisüsteemi teavitamine suurest suitsuhulgast, et see võimalikult kiiresti hoonest välja suunata.
- Uste avamine ning lukus udest läbipääsu võimaldamine kiirema evakuatsiooni jaoks.
- Inimeste hoones jälgimine erinevate tuvastussüsteemide abil ning abivajajate asukoha kindlaks määramine ning nende suunamine.
- Tulekahju asukoha ning leviku kindlaks tegemine ning võimalusel vastavate tuletõkkeuste ja -kardinate sulgemine tule piiramiseks.
- Tulekahju ajal kasutuses olevate liftide suunamine õigetele korrustele.
- Päästeameti teavitamine ning päästjatele info edastamine olukorra kohta.

(Smart fire detection techniques)

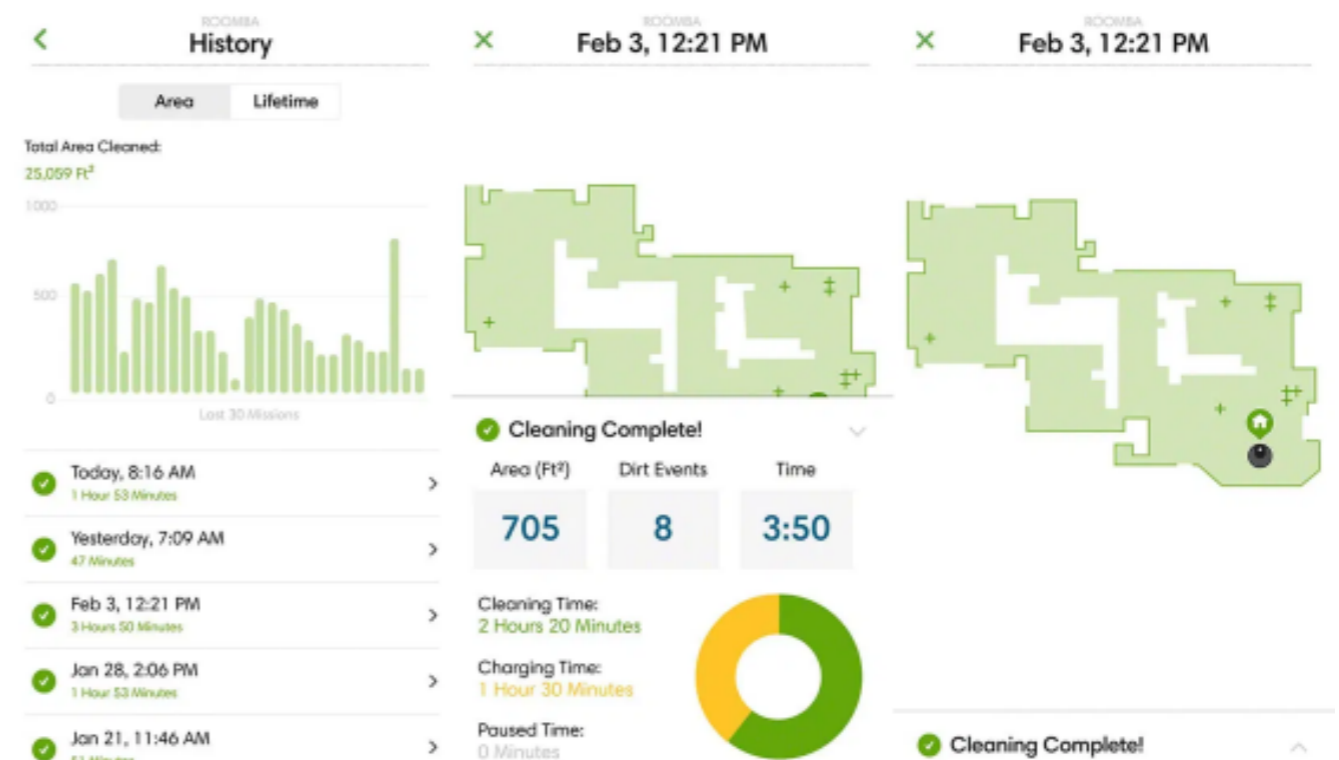
1.5 Haldus

Igas hoones peab vastavalt külastajate arvule vastutama korrasoleku ja koristamise eest. Targal hoonel on tänu inimeste liikumise jälgimisele võimalik kaardistada rohkem kasutatud ruume ning vastavalt sellele edastada koristamise info masinatele või inimestele. Robottolmuimejad on kogumas populaarsust kodudes ja kontorites. Enamjaolt vajavad sellised robotid siiski inimeselt sisendit aja ning tsoonide kohta, kus koristada. Pealtnäha väikese ja tähtsusetu robottolmuimeja ühendamine intelligentsesse hoonevõrku võimaldab koguda väga mitmesugust informatsiooni. Kõige olulisem on puhtus maas ja õhus. Tolmuosakeste tajumine uuematel robotitel on olemas, kuid ei võimalda suurel määral selle infoga midagi peale hakata. Tark hoone saab seda informatsiooni kasutada ventilatsiooni reguleerimiseks või tubade tuulutamiseks ning kõike seda automaatselt. Selle tulemusena on hingamisteede haigustega inimestel ruumides hea igas olukorras viibida ning hoone vastutab ise pidevalt õhu kvaliteedi eest (Contigiani et al., 2017). Robottolmuimejad on ka väga head ruumide kaardistamises. Vastavalt liikumistrajektorile võimaldab robot joonistada pildi toast, kus ta liikus, ning

seeda tänu arenevatele tehnoloogiatele järjest täpsemalt (Ong & Azir, 2020). Erinevate koristuskordade vahel on võimalik jälgida muutusi ruumides, et teavitada haldust näiteks mööbli ebaharilikust paigutusest või anda märku tuleohutuseeskirjade rikkumisest, kus näiteks tuletõkkeuksed või evakatsiooniteed on mingitel põhjustel raskesti läbitavad. Robottolmuimeja roll hetkel on olla hea koduabiline, kuid vajadusel saab ta olla hoone üks tähtsamaid andureid.



Joonis 4. iRobot ruumi kaardistamise trajektoori graafik
<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/home-robots/how-irobots-roomba-will-roomify-your-home>



Joonis 5. iRoboti ruumiplaani kaardistamise presentatsioon läbi kasutajaliidese
<https://venturebeat.com/2017/03/14/irobot-updates-home-app-with-roomba-clean-map-reports-promises-amazon-alexa-skill-in-q2-2017/>

1.6 Valgustus

Valgustus on hoones vajalik eelkõige nägemiseks, kuid ka esteetilise ilme loomiseks ning turvalisuseks. Tihti on käsitsi valgustuse reguleerimine suuremates hoonetes hooletusse jäätud ning mitmed tühjad ruumid on valgustatud. Varasemalt kulus hoone valgustamise peale hinnanguliselt 30-40% kogu hoone energiast (Sinopoli, 2009, 47-48), kuid uute LED paneelide kasutusele võtmine on kuluva energia hulka vähendanud 55-69%, olenevalt jälgitavast kuust (Magno et al., 2014). Ebavajalikud ning kontrollimata valgustid on seetõttu lisakoormuseks hoone energiatarbimisele. Parem lahendus siseruumide valgustuse kontrollimiseks on tarkade süsteemide ja andurite rakendamine, millest kõige efektiivsemalt toimivad ruumis viibijaid tuvastavad sensorid (Sinopoli, 2009, lk 47).

1.7 Päikesevalgus

Päikesevalgus on lahutamatu osa igast hoonest, kus leiab aset inimtegevus. See aitab kasutajal mõista päeva kulgu, annab energiat ning lisab hoone siseselt muutuva ilme. Päikesevalgust õigesti rakendades on võimalik säästa hoones suurel määral energiat. Suvel on tihti probleemiks päikese poolt ruumide ülekütmise, kuid talvel oleks hea võimalikult suures koguses seda siseruumi lasta. Süsteemi toimimiseks paigaldatakse hoone külge andurid, mis jälgivad päikse asukohta ning eredust. Selle põhjal annavad andurid infot varjestusmehhanismile, mis seadistab ennast vastavasse asendisse (Chiesa et al., 2020). Ühendades varjestussüsteemi hoone tarka võrku, saab hoone teha iseseisvalt järeldused sisekliima reguleerimiseks ning energiasäästlikuse optimeerimiseks. Internetiühendus võimaldab varjestussüsteemile kuvada ka lühiajalisi ilmaennustusi, mis võimaldab sellel teha ennetlikult otsuseid. Piisavalt pikalt kogutud andmete põhjal suudab masinõppe baasil toimiv süsteem hakata tegema ennustusi, mille täpsus suureneb ajas varasemate näidete põhjal (de Elía & Laprise, 2005).

1.8 Päikesepaneelid

Päikeseenergia on puhas, taastuv ning külluslik peaaegu igal pool maakeral. Energia tarbimine on aastatega suurenenud, mistõttu taastuvenergia lahendused on eelistatud loodust kahjustavate energia saamise viiside ees. Põhilise taastuvenergia tootjana on päikesepaneelid viimaste aastatega populaarsust kogunud ning muutunud tavainimestele kättesaadavamaks.

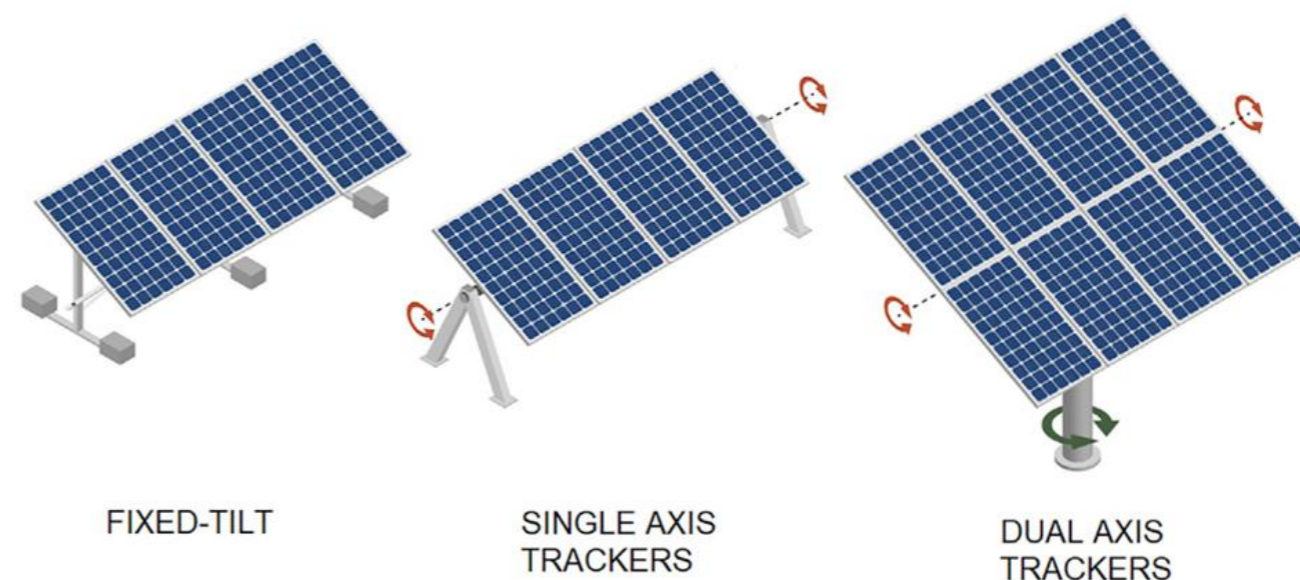
Päikesepaneelid on süsteemid pooljuht materjalidest, mis muudavad päikeseenergia otse elektrienergiaks. Toodetava elektrienergia kogus sõltub nende nurgast ja suunast päikese suhtes. Selle tõttu on päikese trajektoori kahel teljel jälgiv süsteem kõige efektiivsem. (Sungur, 2009)

Türgis, Konyas, 37.6° laiuskraadil tehtud katse järgi tootsid kahel teljel päikest jälgivad päikesepaneelid 42.6% rohkem energiat kui samas asukohas ühte suunda fikseeritud paneelid. Katse tulemus illustreeris hästi investeringu tasa tegemist, kus päikest järgivate paneelidega süsteemis peab soovitud tulemuse saavutamiseks olema oluliselt vähem paneele, kui fikseeritud süsteemis. (Sungur, 2009)

Päikesepaneelidest saadud energia info jälgimine on ajas märgatavalt paranenud. Targad süsteemid võimaldavad väga

täpselt lugeda saadud energia hulka ning soovi korral seda informatsiooni edastada. (Spanias, 2017)

Tehisintellektiga süsteemis võimaldab see teha omakorda mitmeid järeldusi ilma kohta ning reguleerida vastavalt päevadele hoone energiakasutust ning sellest tulenevalt võtta vastu otsuseid sisekliima reguleerimise osas.



Joonis 6. Fikseeritud, ühel teljel liikuv ja kahel teljel liikuv päikesepaneelide skeem
<https://www.forbes.com/sites/scottsnowden/2020/06/29/double-sided-solar-panels-that-track-the-sun-could-produce-35-more-energy/?sh=18f20b581fc4>

1.9 Energia jaotus

Hoone energiajaotussüsteem jälgib terve maja poolt kasutatavat energiat. See on ühendatud teiste hoones olevate tarkade süsteemidega, mis omakorda vahetavad üksteisega informatsiooni. Selline süsteem võimaldab hoone kasutajatel jälgida reaalajas hoone energiakasutust ning vajadusel teha seadistusi (Sinopoli, 2009, lk 59). Samal ajal jälgib süsteem ka ise energiakasutust ning teeb vastavad muudatused terves hoones. Vastavalt olukorrale võivad erinevad protsessid viia samade tulemusteni. Näiteks liiga kõrge ruumitemperatuuri korral peab seda jahutama konditsioneeriga, kuid vahest võib piisata ka ainult akende avamisest. Sellise süsteemiga saab maja teha enda järeldused, valides kõige energiasäästlikuma ja soodsama viisi, et saavutada soovitud tulemus.

3. TEHISINTELLEKT

Tehisintellekt on intelligents, mida väljendavad masinad. Need on isemõtlevad süsteemid, mis suudavad algse informatsiooni põhjal teha omad järeldused ja toota uut informatsiooni ning selle kõrvalt oma tegevustest õppida ning muutuda targemaks (Poole et al., 1998, lk 1). Need protsessid toimuvad kaasaegsetes süsteemides väga kiiresti ning ületavad igasugused inimeste võimekused teha saadud tulemustest järeldusi. Isemõtlevaid masinaid on võimalik kasutada erinevates valdkondades, mistõttu jagunevad spetsiifilisemad süsteemid ja algoritmid vastavalt kasutusotstarvetele erinevatesse kategooriatesse. Hoone optimaalseks muutmise seisukohalt on kõige mõistlikum vaadata masinõppel põhinevaid süsteeme. Masinõpe on tehisintellekti alamosa, mis on mõeldud analüütiliste mudelite genereerimise automatiseerimiseks (Machine learning: What it is and why it matters).

Hoones kõik andurid, seadmed ning masinad on üksteisega seotud, moodustades tehisnärvivõrgu. Nad suhtlevad üksteisega ning jagavad kogu aeg informatsiooni. Sellesse süsteemi põimitud tehisintellekt vastutab kogu süsteemi toimimise ning juhtimise eest. Esialgu on vajalik hoone kasutajate poolt tagasiside, et suunata tehisintellekti

õigeid otsuseid tegema. Ajapikku õpib programm hoone kasutajatest paremini iseseisvalt adekvaatseid järeldusi tegema (Zhao et al., 2020). Selle järgi on võimalik tehisintellektil seadistada kõike hoones toimuvat vastavalt hetkeolukorrale. Efektiivsuse tagamiseks on vaja panustada iga valdkonna tehnoloogiasse, et need oleksid võimalikult paindlikud erinevates olukordades ning suudaksid olla ühe kasutaja põhised. Juba tänaseks on sellised tehnoloogilised lahendused olemas ning üksikute osadena kasutuses.



Joonis 8. Tehisintellekti tehisnärvivõrgu struktuuri sarnasust inimajuga võrdlev illustratsioon
<https://www.oneprod.com/blog/how-does-artificial-intelligence-improve-vibration-analysis/>

3.1 Tehisintellekti eetika ning tulevik

Inimesed tajuvad ja hindavad arhitektuuri väga erinevalt, võttes arvesse meeltega tajutavaid elemente, varasemaid kogemusi ja põhimõtteid. Ühiseks jooneks paljude inimeste seas saab tuua soovi teatud määral privaatsusele ning tunde ennetamine, kus keegi neid justkui kogu aeg jälgiks. Tehisintellekt on muutumas järjest rohkem ellu sekkuvaks ning mure selle usaldamise üle päevakohasemaks.

Tehisintellektil on tohutult suur potentsiaal meie elu paremaks muuta, kuid sama suur võimekus ka seda rikkuda. Fundamentaalsed põhimõtted ja küsimused kerkivad esile tarkade masinatega suheldes, eriti kui suhtlus on pahatahtlik. Väärtused mida masinatelt oodatakse ei pruugi olla samad mida loodetakse teistelt inimestelt. Inimeste ja masinate vahelist usaldust ei ole tänaseks väga palju uuritud, mistõttu on keeruline ennustada nende eetilisi norme (Sullivan et al., 2020). Usaldus on tähtis olukorras, kus kaks osapoolt loodavad üksteise peale ning sellega on seotud mingil määral risk. Peamine suhtlus kasutaja ja tehisintellekti vahel on kui kasutaja soovib saavutada eesmärgi ning tehisintellekt üritab

seda vastavalt talle antud vabadusele võimalikult hästi teostada. Risk seisneb tehisintellekti poolt sooritatud tegudes, sest halbade valikute korral võivad vastavalt süsteemile tagajärjed olla väga suured ka inimestele, kes ei olnud sellega algselt seotud. Turvalisuse eesmärkidel on rakendatud selliseid tehnoloogiad välja töötavatele firmadele väga ranged nõudmised tehisintellekti kasutamise, jagamise ja testimise osas (OpenAI API). Selle tõttu tulevikus tehisintellekti kasutamine sõltub peamiselt kasutaja ja masina vahelisest usaldusest.

Oluline on mõista tehisintellekti olemust ning põhjuseid, miks see võib tekitada ebamugavaid ja kõhedaid olukordasid. Varasemad uurimised on näidanud, et oluline on jätta omavahelises suhtluses inimesele inimese karakteristikud ning robotile tehislikud karakteristikud, kuid need testid ei võtnud arvesse sotsiaalseid ootuseid kuidas tehisintellekt käituma peaks. Inimesed ootavad masinatelt paremat suhtumist, kui teistelt inimestelt. Masin ei tohiks olla kindlaid inimgrupe eelistav ja teisi kritiseeriv. See peab jääma neutraalseks ning tegema objektiivseid otsused tähtsa informatsiooni põhjal, osates ebatähtsa välja filtreerida. Ebameeldivate olukordade tekkimine vähendab usku süsteemidesse, mistõttu nende kasutusele võtmine peab algusest

peale selliste olukordade tekkimist vältima. (Sullivan et al., 2020)

Moraalsed hinnangud jagunevad kaheks: kahju ning ebaõigluse esinemine. Nende käitumismustrite väljendumine tehisintellektil toob esile ebameeldivaid tundeid. Inimesed leiavad, et tegu on moraalselt vale, kui see tekitab kahju (Sullivan et al., 2020). Sellisest teooriast lähtudes saab kahju tekitamise võtta kogu moraalse käitumise aluseks inimese ja masina vahelises suhtluses. Osad teadlased väidavad, et kahju tekitamine ei ole piisav alus hea ja halva eristamise vahel, sest mõned inimesed leiavad, et osad kahju tekitavad tegevused on vastuvõetavad. Vastuväiteks kahju tekitamisele on osad uuringud leidnud, et halb käitumine väljendub ebaõigluses. Sellisel juhul ei arvestaks masin kõikide osapoolte soovidega vaid teeks eelistusi. Halvasti käitumine ilma eelistusteta on rohkem aktsepteeritav kui meelega kahju tekitamine, kus arvestatakse mõndade osapooltega rohkem kui teistega. Sellised nähtused on tehisintellektile tekkimas ning sellele tuleb tähelepanu pöörata. Tarkade masinate lihtsustatud tööpõhimõte on enda vigadest õppida. Algses seadistusfaasis on oluline anda masinale tagasisidet, mis ütlevad talle kas käitumine on hea või halb. (Sullivan et al., 2020)

Sotsiaalsed ja tehnilised hüved tulevikus tehisintellekte kasutada on üüratud. Uuringute tulemused näitavad, et hoone kasutajatega koos tehisintellekti treenimine tõstab ajapikku usaldust piisavalt, et inimesed ei pööra sellele enam otsest tähelepanu. Hoone projekteerimise seisukohast ei ole vaja ka kõige arenenumat tehisintellekti. Peamine eesmärk on väga erinevate andmete haldamine, töötlemine, nendest oma järelduste tegemine ning vigadest õppimine. Kahju tekitavad tehisintellektid võivad potentsiaalselt alguse saada teistest valdkondadest, kui seda on arhitektuur ja ehitus, mistõttu selle vältimine hoonetes on enne ülemaailmsete probleemide tekkimist ebaratsionaalne. Energiasäästlikus, hoone sisekliima ning turvalisus suurenevad nii suurel määral, et ilma tarkade masinateta ei ole see võimalik.

Hoone kasutaja seisukohast on oluline suhtlus tehisintellektiga. Telefoni-rakenduse põhine lähenemine on esialgu kõige tõenäolisem, kuid tulevikus võivad ajulainetel põhinevad tehnoloogiad nagu Neuralink asendada nutitelefone (Neuralink). Selline tehnoloogia on hetkel vaid teoreetiline, kuid nutitelefonide põhine suhtlus tehisintellektiga mitte. Oluline on tavakasutaja jaoks luua kergesti muudetav süsteem, mille abil

on võimalik sättida vastavalt soovile tehisintellekti inimlikkust või robotile omaseid käitumismustreid. Tänu sellele väheneb suheldes kõhedustunne ning usaldus virtuaalse abilise näol kasvab.

4. ENERGIATÕHUSUS

Hoonete energiakasutus on tehnoloogia arenguga ning lisaseadmete tekkimisega ajapikku suurenemas, mistõttu on trendiks saamas tarkade meetodite kasutamine, et ennustada hoone energiakasutust ning seda seeläbi tõhusamaks muuta. Uuenduslikud tehnoloogiad, mis põhinevad andme-mahukal teadusel, pilve põhisel arvutamisel, masinõppel ja tehisintellekti algoritmidel seotakse ära tavapäraste arhitektuursete teooriatega (Zhao et al., 2020).

IoT süsteemid võimaldavad luua kõikvõimalikke ühendusi masinate ja sensorite vahel. Üheks olulisemaks faktoriks hoones on temperatuur. Näitena saab tuua hoone soojusmugavuse optimiseerimist läbi tarkade süsteemide. Selline süsteem hõlmab sensoreid, juht- ja IoT seadmied ning nendest saadud info töötatakse läbi intelligentsete algoritmide poolt. Suhe hoone kasutaja ja temperatuuri vahel tuleb esmalt paika sättida, kasutades selleks Predicted Mean Vote (PMV) tagasisidet algoritmile. Selle põhjal suudab süsteem teha järeldused ning enda tööd paremaks muuta. Protsessi järjekord oleks vastav:

1.Targad andurid koguvad hoones töötavate inimeste ning sisekliima kohta informatsiooni. Sinna alla kuulub õhu temperatuur, keskmine kiirgustemperatuur, õhu liikumise kiirus, suhteline niiskus, ainevahetuse määr (met), riiete soojuslik väärtus (clo).

2.Hoone ruumikasutajad annavad süsteemile PMV tagasisidet ning kogutud andmete põhjal hakkab intellektuaalne algoritm moodustama tehisevärivõrku antud probleemi jaoks ning looma erinevaid seoseid.

3.Jälgimisperioodi ajal kogub süsteem infot hoone sisekliima kohta ning saab jooksvalt tagasisidet kasutajate käest.

4.Süsteem hakkab ennustama temperatuuride, niiskuse ja õhuliikumise kiiruse trende ning üritab ette näha järgmiseid PMV sisendeid.

5.Süsteem seadistab hoone sisekliimat testperioodil ilma lisanduva tagasisideta ning üritab hoida kõige energiasäästlikumatel viisidel seda optimaalsena.

6.Kasutajad sisestavad peale kontrollperioodi viimase tagasiside, mille järgi suudab süsteem edaspidi teha enda järeldused ja intelligentselt kontrollida

sisekliimat ilma, et hoone kasutajad peaksid sellesse sekkuma.

(Zhao et al., 2020)

Sellised tehnoloogiad võimaldavad minna ruumis väga isikupõhiseks, sest vastavalt tehnosüsteemide võimekusele ning arvule on võimalik luua iga inimese töökoha juurde sobilik olukord. Iga töötaja tagasiside võetakse süsteemi poolt arvesse ning töökoha ümber tekib vastavalt indiviidi soovile ideaalne sisekliima. Kirjeldatud süsteem koostöös teiste hoone IoT lahendustega võimaldab individuaalse töötaja jaoks sisekliimat seadistada isegi olukordades, kus ta töökohta ja ruumi vahetab. (Moreno et al., 2014)

Tark hoone tagab kasutajatele kohandatud teenuseid tänu intelligentsete masinate koostööle. Üks sensor ei suuda hoones kõike jälgida, mistõttu hoone tsoneerimine on väga oluline ning kasulik täpsemate tulemuste saavutamiseks. Mida tihedamalt on funktsioonide põhised hoone tsoneeritud, seda energiatõhusamaks saab hoone teha, sest energiat tarbivate seadmete reguleerimiseks on täpne hoones toimuva jälgimine vajalik (Minoli et al., 2017).

5. TÄNAVARUUMI KAASAMINE

Hoone ümbrus on selle väga oluline osa. Erinevad liikumisteed, funktsioonid ja ruum hoone ümber moodustavad ühe terviku, mis peavad sarnaselt siseruumidele looma turvalise ja kasutajasõbraliku keskkonna. Hoone välised süsteemid ei pea olema nii keerulised ning ei pea tingimata olema ühendatud tehisintellektiga. Üks oluline tark süsteem mida hoone ümber rakendada saab on masinõppel toimiv välisvalgustus. Liikumisanduritega toimivad lambid, mis jalakäijate esialgse tagasiside põhjal valgustamise aega ja eredust optimiseerivad on oluliselt energiasäästlikumad ning kasutajasõbralikumad, kui kogu aeg ühtlaselt põlevad tänavavalgustid. Uuemate süsteemide külge on võimalik ühendada ka temperatuuri ja õhuniiskuse andurid, mis olenevalt võrgu suurusest saavad määrata teatud territooriumil kliimat (Dheena et al., 2017). Sellised süsteemid on eriti kasulikud välisruumis, kus liikumine ei ole väga tihe ning suurema osa ajast saavad valgustid olla säästurežiimil. Ühendades tänavavalgustuse võrk targa hoonega, saab hoone rohkem infot ilmast ning selle põhjal reguleerida sisemisi süsteeme.

5.1 Muutuva visuaalse informatsiooni edastamine

Hoonetest tänavaruumi informatsiooni edastamine on vältimatu osa linnadest. Fassaadidel on reklaamitahvlid, LED-valgustid või ennast esile toovad süsteemid. Informatsiooni edastamine muutub sageli konkureerivaks ning suurte ekraanide üleküllus võib hakata kaotama ära nende taga peituvaid hooneid ja arhitektuuri, luues sellega teistsuguse, tihti mitteplaneeritud linnaruumi. Tehnoloogia areng on kaasa toonud energiasäästlikumaid ja tagasihoidlikumaid LED-paneele, kuid nende kasutamine on ikkagi osa hoone fassaadist ning nende paigaldamist peab arvesse võtma uusi maju projekteerides. Kiirelt arenev hologrammide ja projektorite tehnoloogia võib seda lähitulevikus muuta ning anda kogu soovitud info edasi ilma, et hoone fassaad sellest muutuks. Hologrammid on mitme valgusvihu kohtudes tekkiv eredam punkt ruumis, mis moodustab 3D kujutise. Selline tehnoloogia on arenemas järjest detailsemate ja interaktiivsemate lahenduste poole, kus õhku kuvatud 3D pilt suudab edasi anda väga detailset informatsiooni (Chaudhari et al. 2015). Hologrammide kasutamine hoonest väljas võimaldaks kuvada informatsiooni selles toimuvast,

tekitades enneolematuid visuaalseid efekte ning äratada huvi möödujates.

6. LABORID JA ÕPPERUUMID

Mobiilsed tehnoloogiad on viimaste aastatega suurel kiirusel arenenud. Sellega kaasnevalt on märgatavalt muutunud, kuidas inimesed suhtlevad informatsiooniga, tehnoloogiaga ja üksteisega. Need toovad endaga kaasa suuri mõjutusi paljudes elualdkondades ja töösektorites, kaasaarvatud õpetamise ja õppimise töös. (Zhang & Cristol, 2019, lk 3).

Mobiilsete töövahendite väljatöötamine on keeruline protsess, mis hõlmab endasse disaini ja tootmise ning katseperioodi õpetajate, õpilaste, disainerite ja tarkvaraarendajate seas. See omakorda tasub ära kasuliku mobiilse tehnoloogiana, mis võimaldab sotsiaalset sidet, mitmetasandilist suhtlust koos-tööks, multimeedia ligipääsu, üldist liikumisvabadust ning võimalust luua õppimistingimused igal ajal, igas kohas. Need tegurid omavad potentsiaali suunata õpilasi paremini õppima ning üksteist motiveerima. Mobiilsed vahendid suurendavad üksteisega suhtlemist ning abistavad õppetöös, muutest õppimist ja õpetamist tõhusamaks. Kergestiigaruumiolukorras kättesaadav informatsioon ei määra enam nii palju erivajadustega inimeste eristumist ülejäänutest, sest nad saavad õppetöös osaleda samade põhimõtete alusel. Mobiilsete

seadmete ühendamine internetiga tagab paremate ressursside kiirema kogumise ja haldamise ning võimaldab õppimise muuta personaalsemaks kogemuseks. Põhilised probleemid selliste tulemuste saavutamisel on maksumus ja kättesaadavus, kiired ühenduses, turvalisus, privaatsus ning kasutajasõbralikkus. Suuremad ja väiksemad firmad laiendavad iga päevaselt meie tehnoloogiate piire, muutes selliste süsteemidele ülemineku tulevikus ainult tõenäolisemaks. (Zhang & Cristol, 2019, lk 4).

Näost-näkkude õpetamine on paljudes asutustes hetkel ainus võimalik variant, sest seda on aastate pikkuse tööga viimistletud ning on tõestust, et see toimib. Sellest hoolimata on viimase 20 aasta jooksul olnud pidevaid arenguid tulevikus õppimise mobiilsesse keskkonda üleviimise jaoks. Paljude õpetajate jaoks on see osutunud parajaks katsumuseks ning tekitanud mitmeid küsimusi, näiteks: Millised mobiilsed tehnoloogiad on olemas? Millised õppemeetodeid on nendel seadmetel parim rakendada? Kas õpilaste õppetulemused on pärast aastaid lõpuks paremad või halvemad? (Zhang & Cristol, 2019, lk 35). Koroonakriis on parandanud mobiilsete õppevahendite toimivust ning suurendanud teadlikkust erinevate

võimalike süsteemide kohta.

Põhilisteks probleemideks mobiilse ühendusega, kus on oluline püsida kooli võrgus, on suurema skaalaga levialad, kus erinevate hoonete vahel võivad tekkida leviaugud, kuid ühe maja mastaabis on tugeva ühenduse hoidmine teostatav. See võimaldab targal hoonel siduda tehisintellekti ära lisaks tehnoseadmetele ka õppimislahendustega. Klassides, laborites ja tööruumides ei ole arvutite omamine enam nii vajalik, piisab telefonist või tahvelarvutist, mida on kerge kaasas kanda ning lihtsamini erinevatesse asenditesse kinnitada. Tsentraalse superarvuti olemasolu hoonetes tagab arvutusvõimekuse ühes kindlas punktis ning interneti teel ühendatud tehisintellekt kuvab kõik vajaminevad protsessid seadmetesse.

7. REFERENTSOBJEKTID

7.1 The Edge- the smartest building in the world

The Edge on projekteeritud PLP Architecture büroo poolt ning valmis aastaks 2015. Hoone on eelkäijaks paljudele tulevastele tarkadele hoonetele, olles ise hetkel maailma kõige targem hoone. (The smartest building in the world). 28 000 sensori jaoks jäävad vähesed asjad märkamata, mistõttu hoone teab väga hästi temas toimuvat.

Kogu süsteem on üles ehitatud telefonirakenduse peale, mis järgib kasutaja päevakava ning määrab vastavalt sellele ruumikasutuse, sest kindlad tökohad puuduvad. Rakendus võimaldab ennast ruumides tuvastada, viibates telefoni ekraanide juures ning isegi auto parkla teab tänu auto numbrite lugemisele kasutaja kohalolekust.

Andurite koostööd illustreerib hästi ka hoone energiasäästlikus, mis on hinnatud BREEAM-NL skaalal 98.36%, mis on ühtlasi antud skaalal maailma üks parimaid tulemusi. Üle 85% peetakse kõige energiasäästlikumateks hooneteks ning sellest paremad tulemused on vähem kui 1% hoonetel. Peaaegu täiuslik tulemus annab tugevalt kinnitust juba hetkel hästi toimivatele süsteemidele ning viitab tohutule potentsiaalile

tulevikus. Hoone kuju on valitud väga täpselt päikese liikumis järgi, kus põhja küljel on suur avatud klaasfassaad, mis võimaldab kasutada maksimaalselt päikesevalgust ning lõuna küljele on paigaldatud väga efektiivsed päikesepaneelid. Süsteemid on piisavalt hästi optimeeritud, et hoone toodab rohkem energiat kui selle süsteemid ja kasutajad kulutavad. Energiasäästlikust hoone ka valgustuse pealt, kus 6000 LED paneeli on ühendatud päikesevalguse-, temperatuuri-, infrapuna- ja liikumisanduritega ühte võrku. Selle tulemusena kulub energiat 3.9W/m² tavalise 8W/m² asemel (The Edge).

Lisaks tarkadele süsteemidele ja energiasäästlikusele on rõhku pööratud ka sellest tulenevale arhitektuurile. 15- korruseline avatud aatrium ei ole oluline vaid energia optimeerimise tagamõtetega vaid tagab ka puhvertsooni välismaailma ja kontoriruumide vahel. Aatriumist kujunes hoone sotsiaalne tuumik, kus vertikaalsed kihid erinevateks tegevusteks on selgelt välja toodud ning kergesti leitavad (The Edge / PLP Architecture). Personaalsete soovide kohaselt kohandatavad ruumiolukorrad võimaldavad igal hoone kasutajal leida sobiva ruumi või olukorra soovitud eesmärgi täitmiseks. Suured klaasfassaadid ning aatriumisse ulatuvad

rõdud loovad hoonele futuristliku ilme, mis targa hoone olemusest teadmata jätavad juba väga kõrgtehnoloogilise mulje.

The Edge on üks parimaid näiteid targa hoone positiivsetest külgedest ning tulevikus sarnaste tehnoloogiate rakendamine kõikidel uutel hoonetel võimaldab kaasa tuua oluliselt väiksemad energiakulud ning hooned ise saavad toota endale kõik vajaliku energia.



Joonis 9. The Edge - vaade väljast
<https://www.lifegate.com/gallery/edge-sustainability>



Joonis 10. The Edge - vaade aatriums
<https://thinkmarketingmagazine.com/edge-amsterdam-innovative-office-building-world/>



Joonis 11. The Edge - vaade aatriums
<http://www.plparchitecture.com/the-edge.html>

7.2 Bullitt Center

Bullitt Center avati Seattleis 2013. aastal ning projekteeriti Miller Hull Partnership poolt. Majas kasutatav tehnoloogia oli varasemalt individuaalsete elementidena juba mujal kasutuses, kuid hoone teeb eriliseks asjaolu, et kõik need tehnoloogiad toodi ühte kohta kokku. Ehituses kasutati toksiliste ainete vabu materjale ning arvestati loodussõbralike tootmisviisidega (Bullitt Center). Hoones toimiv tehnoloogia ja inimese suhe ruumiga on tasakaalus, kus kõrgtehnoloogilised süsteemid on pigem peidetud ning visuaalselt meeldivate ruumiolukordadega suunatakse inimesi õigeid otsuseid tegema. Tehnoruumid on akendega avatud tänavatele, kus möödujad saavad QR koodi skaneerides täpsemat infot hoone kohta ning selles toimuvat mõista (The 'World's Greenest Commercial' Building Opens in Seattle Today).

Hoone üheks silmapaistvaimaks tunnusjooneks on üle põhimahu ulatuv päikesepaneelidega kaetud katus. Eesmärk oli luua süsteem, mis toodab aastassama palju või rohkem energiat, kui maja kasutab. Selleks paigaldati katusele 1300m² ulatuses 575 päikesepaneeli. Paneelid asuvad maaga horisontaalselt, saades suurema kasu vaid suvel. Sellest

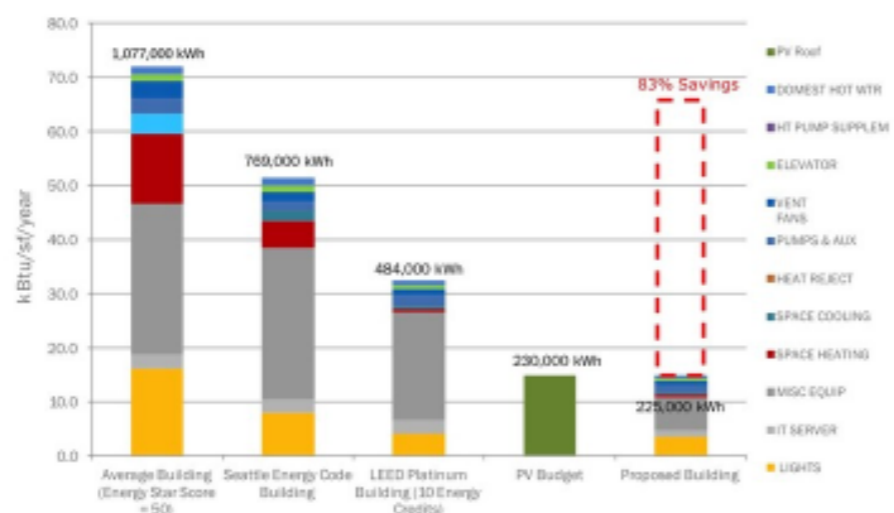
hoolimata toodavad need kokku 230 000 kW/h aastas. Suvel ületoodetud energia talletatakse Seattle'i elektrivõrku, mida on võimalik talvekuudel taas kasutada. Tänu sellele süsteemile on hoone saanud null-energia hoone tiitli. Aasta lõikes kasutab hoone keskmiselt 83% vähem energiat, kui teised Seattle'i sama suuruse ja funktsiooniga hooned (Bullitt Center).

Arhitektuurne ilme hoonel on luksuslik, kuid maalähedane. Kõrged laed meenutavad lofte ning võimaldavad päikesevalgusel võimalikult suurel määral ruume valgustada. Konstruktiivne puidust osa viitab loodussõbralikule suhtumisele ning tekitab ruumi soojema tunde. Maja treppe kutsutakse „vastupandamatuteks treppideks“, sest nendel kõndides avanevad head vaated ning jalgsi korruste vahel liikumine on tehtud võimalikult mugavaks ja huvitavaks. Selle arvelt säästab hoone energiat liftide kasutamise pealt ning muudab korruste vahelise liikumise elavamaks (The 'World's Greenest Commercial' Building Opens in Seattle Today).



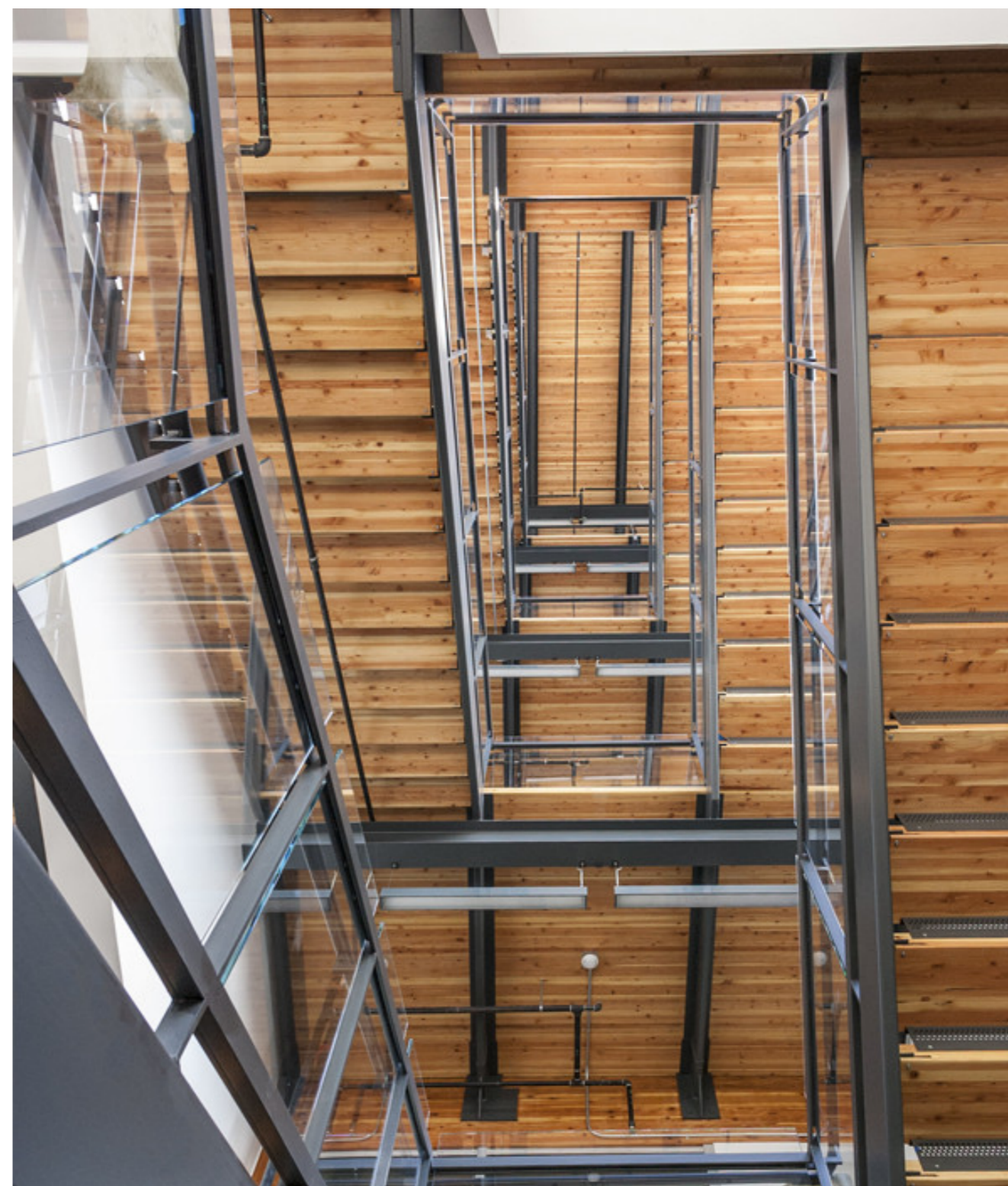
Joonis 12. Vaade tänavalt

<https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-to-day>



Joonis 13. Energiakasutus

<https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-to-day>



Joonis 14. Vaade trepikojast

<https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-to-day>

7.3 Powerhouse Telemark

Powerhouse Telemark on kõige põhjapoolsem energiapositiivne hoone, mis asub Porsgrunnis, Norras. See valmis 2020 aastal Snøhetta arhitektide projekti järgi ning on ühtlasi väga sümboolseks hooneks kohalikule tööstuslinnale. Hoone on saanud teerajajaks, tähistamaks järjest suuremat investeerimist roheenergiate kasuks. Suure kaldega katus muudab 11-korruselise hoone maamärkobjektiks, kuid lisaks arhitektuursele ilmele on katuse eesmärk ka suunata sellel asuvad päikesepaneelid võimalikult optimaalselt päikes poole (Powerhouse Telemark – a Sustainable Model for the Future of Workspaces). Päikesepaneelid toodavad 256 000 kWh aastas, mis on rohkem kui hoone kasutab ning ülejääk müüakse elektrivõrku. Maja on saanud BREEAM Excellent tähistuse, mis on vahemikus 70-85% (Powerhouse Telemark / Snøhetta). See on väga hea tulemus, kuid võrreldes The Edge 98.36% tulemusega on selgelt näha tarkade süsteemide kasutamise eelist uutes majades.

Powerhouse Telemark ei kasuta küll nii uuenduslikke andureid ja jälgimissüsteeme, kuid omab selle eest teistsuguseid ruumilisi väärtuseid. Terve hoone on projekteeritud standartsete lahenduste alusel, kus igal korrusel on

ruumilahendused väga lihtsad. See võimaldab selles töötavatel firmadel võimalikult lihtsalt ruume vahetada või ümber kolida ning selle käigus minimaalselt ülejääke ning prügi tekitada. Terves hoones on haljastatud seinade põhiselt üles ehitatud logode lahendused, kus iga firma saab kindlates kohtades oma logo näidata ja muuta, välistades üleliigsete elementide tootmist ja kasutamist siseruumides. Linna asukoht soosib maksimaalselt päikesevalguse kasutamist, mistõttu on hoone kujult võimalikult päikesele avatud ning akendest tупpa pääsev valgus maksimaalselt ära kasutatud. Katusel on päikesepaneelide vahel katuseaknad, et kõrgematele korrustele lae kaudu päevavalgust võimaldada. Töötajatel on võimalik kasutada ka katuserassi, mis on suunatud vaatega Fjordidele (Powerhouse Telemark / Snøhetta).

Powerhouse Telemark on heaks näiteks tööstuslinnas energiasäästlikumate lahenduste näitamiseks ning lihtne tõestus, et energiasäästlik arhitektuur saab olla väga huvitav ja mitmekesine.



Joonis 15. Vaade õuest

https://images.adsttc.com/media/images/5f9a/e965/63c0/1726/a800/004b/slideshow/2015082_N128.jpg?1603987758



Joonis 16. Töökohad

https://images.adsttc.com/media/images/5f9b/0a2a/63c0/1726/a800/00ae/slideshow/2015082_N164.jpg?1603996191



Joonis 17. Sisevaade

https://images.adsttc.com/media/images/5f9a/fb95/63c0/17d5/3500/013a/slideshow/2015082_N162.jpg?1603992417

8. EKSPERTINTERVJUU

Ekspertintervjuu on läbi viidud Fabian Dembskiga, kes on professor Tallinna Tehnikaülikoolis ning uurija ja süsteemide teaduse juhataja Kõrgetasemelises Arvutuskeskuses Stuttgartis, Saksamaal.

Intervjuu käigus said kinnitust mitmed uuritud teooriad ning lähenemised hoone automatiseerimisele ja tarkade hoonete lahendustele. Fabiani töö hõlmab suures osas superarvuti kasutamist ning projektilahenduses on lähtutud reaalsest näidetest. Hoones saab olla üks tsentraalne superarvuti, mille peal toimivad masinõppesüsteemid ei sega üksteise tööd. Oluline on eristada protsessorite põhise ja graafikakaartide põhise süsteemi, kus ühel on lihtsam teostada keerulisi arvutusi ning teisel simulatsioone. Ainult hoone funktsioonide juhtimiseks ei ole vaja eraldi superarvutit, kuid teadustöö edendamiseks ja tulevikus potentsiaalselt suurema ala kaasamiseks tarkade süsteemidega on see hea lisa.

Tehisintellekti eetika on üks suurimaid probleeme, mis ei pruugi lasta tehnoloogia kogu potentsiaali rakendada.

“Ühest küljest me usaldame tehnoloogiat, sest me eeldame, et see töötab, kuid teisest küljest hakkame usaldust kaotama, sest me ei mõista täielikult kuidas see tehnoloogia töötab.”

(Dembski, 2021)

Tehisnärvivõrkude tekkimine arvutites on muutumas nii keeruliseks, et inimesed ei suuda seda enam mõista. Hirmu tekkimisel ei võimalda kasutajad tihti tervet programmi potentsiaali rakendada. Sellest tulenevalt peab olema süsteemi ja kasutaja vaheline liides võimalikult lihtsasti muudetav. Arvutid õpivad inimeste käitumismustritest ja nende poolt saadud tagasisidest, mistõttu tuleb olla veendunud tehisintellekti välja töötavate inimeste eesmärkidest. Usaldades inimesi kes loovad tehisintellekti, võime omakorda ka seda süsteemi usaldada.

Tarkade võimaluste planeerimine hoones ei tähenda tingimata, et neid süsteeme alati näha oleks. Tähtis ei ole inimesel igat andurit ja süsteemi ühendust märgata, vaid läbi arhitektuuri mõista hoone võimalusi ja rakendada neid vastavalt ruumiolukorrale. Kaasama peaks ka võimalikult palju hoone ümbrust ning looma rohkem tarka linnaruumi, kus energiakulukad protsessid ja igapäevategevusi aeglustavad takistused oleksid optimeeritud ning pidevas

arengus. Ruumi targaks muutmisega kaasneb kasutaja privaatsuse piiride kompimine. Vastavalt süsteemidele kogub arvuti andmeid ning töötleb neid sobilike tulemuste saavutamiseks. Selle info väärkasutamine ei ole aktsepteeritav ning vajab turvalist käsitlemist ja krüpteeritud lahendusi.

(Intervjuu, Lisa 1)

KOKKUVÕTE

Lähiaastatel on oodata tehisintellekti kiiret arengut, mille lõpptulemust on hetkel raske ennustada. Protsesside ja süsteemide pidev muutumine täpsemaks ja energiasäästlikumaks soosib nende kasutamist. Praegused lahendused omavad märkimisväärseid positiivseid omadusi, millest võib järeldada, et tulevik on tarkade süsteemide päralt. Koos tehnoloogia arenguga kaasneb ka soodsam hind, mis teeb selle kättesaadavamaks. Automatiseeritud ja kaasa mõtlevad süsteemid on head kasutajatele, hoonetele endale ning isegi teistele linnakodanikele. Oluline on mõista, et vähene automatiseerimine on ka kasulik, sest iga süsteemi osa omab mõnda positiivset väljundit. Käesoleva projektilahenduse terviksüsteem hõlmab endas kõikvõimalikud targad süsteemid ning potentsiaali uusi juurde lisada, kuid realiseeritavate hoonete puhul on võimalik valida vaid osa neist ning süsteem on ikka toimiv, energiasäästlikum ja tagab parema elukeskkonna. Arvutid on ületanud osades valdkondades kõikisugu inimeste võimekuse, mistõttu mõndade ülesannete jätmine tehnoloogiale tundub tulevikus paratamatu. Sellest tulenevalt peavad planeerijad olema ettenägelikud ning mõistma nende süsteemide põhimõtteid, et tehnoloogiliste lahenduste inte-

greerimine ja realiseerimine oleksid võimalikult optimaalsed ja enesest mõistetavad. Võimaldades tulevikus hoonetel integreeritud tarkasi lahendusi, suurendame oluliselt kasutajamugavust ning selle arvelt töö efektiivsust. Lisaväärtusena vähendame sellega energiatarbimist ning inimkonna ökoloogilist jalajälge.

SUMMARY

Artificial intelligence is expected to rapidly develop in the coming years but the final result is currently difficult to predict. The constant improvement of processes and systems to make them more accurate and energy efficient favours their use. Current solutions have significant positive features, from which it can be concluded that the future belongs to smart systems. Constant technological developments will most likely lower the price of smart systems and make them more accessible. Automated and intelligent systems are good for users, the building itself and even other citizens. It is important to understand that even small processes of automation are beneficial because each part of the system has some positive outputs. The complete system of the thesis' project solution includes smart lighting, HVAC, safety, security and comfort systems and the potential to modify or add new ones. Regarding buildings that are actually built, only a part of these systems can be selected and the process is still functional, more energy efficient and provides a better living environment. Computers have surpassed all kinds of human capabilities in a lot of areas, making it seem inevitable to leave some tasks to technology in the future. Consequently, planners must be foresighted and understand

the principles of these systems so that the integration and implementation of technological solutions is as optimal and self-evident as possible. We will significantly increase user comfort and work efficiency by enabling smart solution integration into buildings in the future. As an added value, we reduce energy consumption and the ecological footprint of humanity.



“The designer does not, as a rule, begin with some preconceived idea. Rather, the idea is (or should be) the result of careful study and observation, and the design a product of that idea.”

-Paul Rand

9. PROJEKT

9.1 Asukoha analüüs, asendiplaan

Planeeritav ala asub olemasoleva Kohtla-Järve kolledži hoone kõrval, kuid jääb sellega kvartali sisehoovi. Lõuna ning kirde suunda jäävad eluhooned ning lääne pool asuv Virumaa Hostel on olulised moodustamiseks tänavafrente Kalevi ja Järveküla teel. Sellest tulenevalt jääb väga vähe ruumi uue hoone avamiseks tänavatele, mille tõttu hoone maamärgilisus ilma seda toetavate elementideta võib kannatada. Eluhoonete ja hosteli lammutamine ei oleks antud olukorras õigustatud, sest vana hoone kaotamine ei too piisavalt põhjendatud väärtust linnaruumi juurde. Kõige olulisemaks liikumisteks vaadeldaval alal on põhja suunas asuvat Virula Väljakut ja olemasoleva kolledžihoone esist ühendav tee, mis tänase seisuga ei ole välja ehitatud, vaid on olnud inimeste tiheda liikumise tõttu isetekkeline.

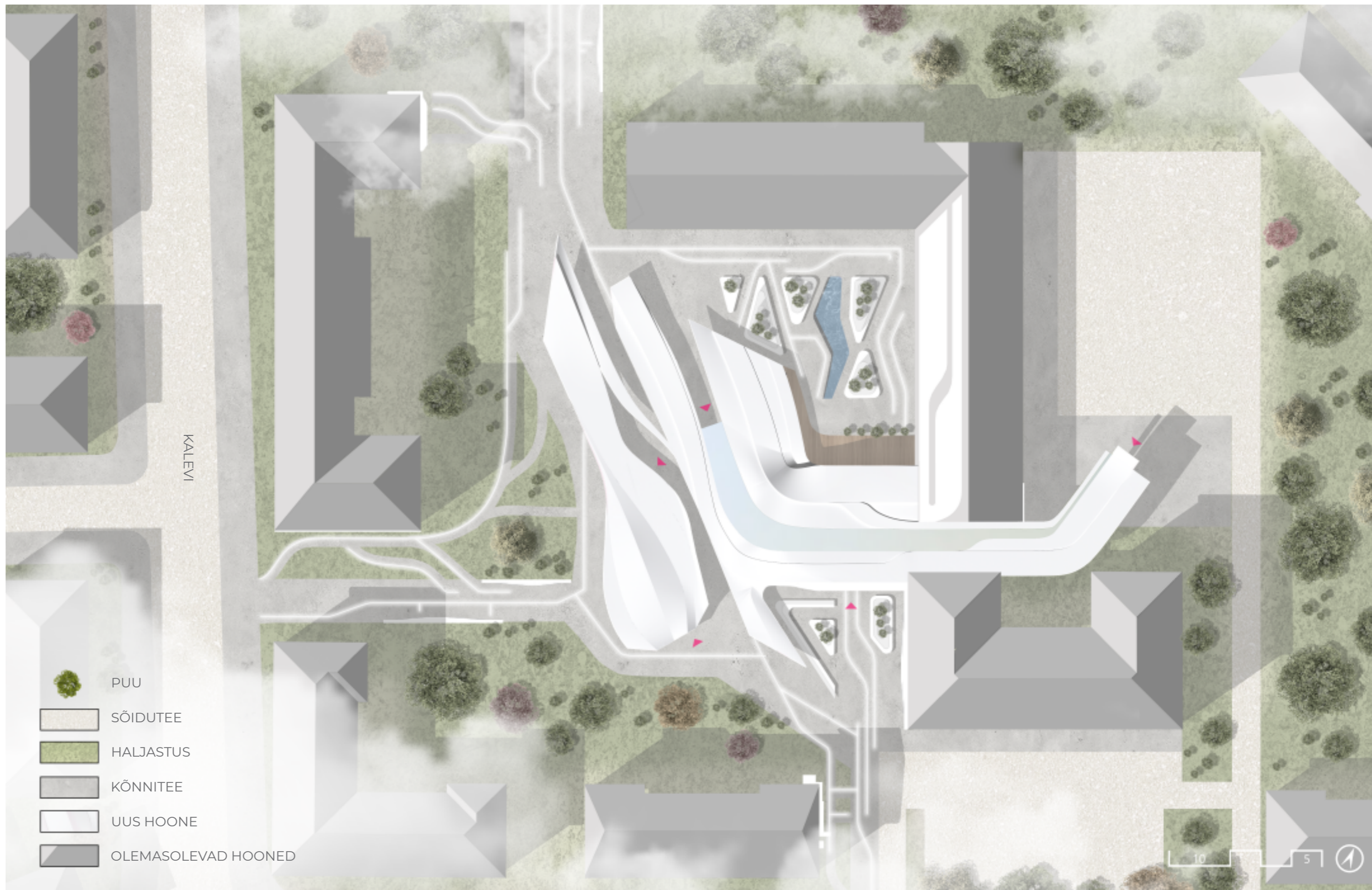
Reljeefilt on asukoht tasane ning päikese liikumisele väga hästi avatud, võimaldades suurema hoone ehitamisel olemasolevaid hooneid minimaalselt varjata.

9.2 Mõjuala

Maamärgiline hoone peab olema kergesti identifitseeritav ning selle mõjuala ulatub tavaliste hoonete omast kaugemale. Kinnine kvartal teeb olukorra uue hoone jaoks keerulisemaks, mistõttu peab lisaks koolihoonele olema ruumis veel kergesti märgatavaid elemente, mis suunavad inimesi ja tekitavad nendes huvi. Linnaruumi kaasamine uute silmapaistvate elementidega nõuab olemasolevale olukorrale erinevat esteetilist lähenemist, kus kaasatud stiil on selgelt eristuv ning koheselt peahoone mõjuala edasi kandev. Vormiotsingu tulemusena osutusid parimaks lähenemiseks orgaanilised voolavad vormid, mis iseseisvalt moodustavad skulpturaalseid elemente linnaruumi rakenduse funktsionaalse vajaduse põhjal tarkade nurkade näol, kuid koos mõjuvad väga arusaadava ja selge tervikuna.

Tehnoloogiasiiire väljendub mehaanilise, elektroonilise, tarkvaralise ja intellektuaalse informatsiooni vahendamises erinevate osapoolte vahel. Välja töötatud kontseptsioon võimaldab selle tuua selgesse füüsilisse vormi, mille kaudu laieneb tehnoloogia kaugemale linnaruumi, laiendades ühtlasi ka hoone mõjuala ja täiendades linnaelanike teadmisi erinevate tehnoloogiliste

valdkondade läbi. Lähiümbruse analüüsi käigus selgusid parimad asukohad hoone lisaelementide paigutamiseks, millest magistritöö raames on välja valitud ja esitatud kolm disaini prototüüpi.



Joonis 18. Asendiplaan (Autori joonis)

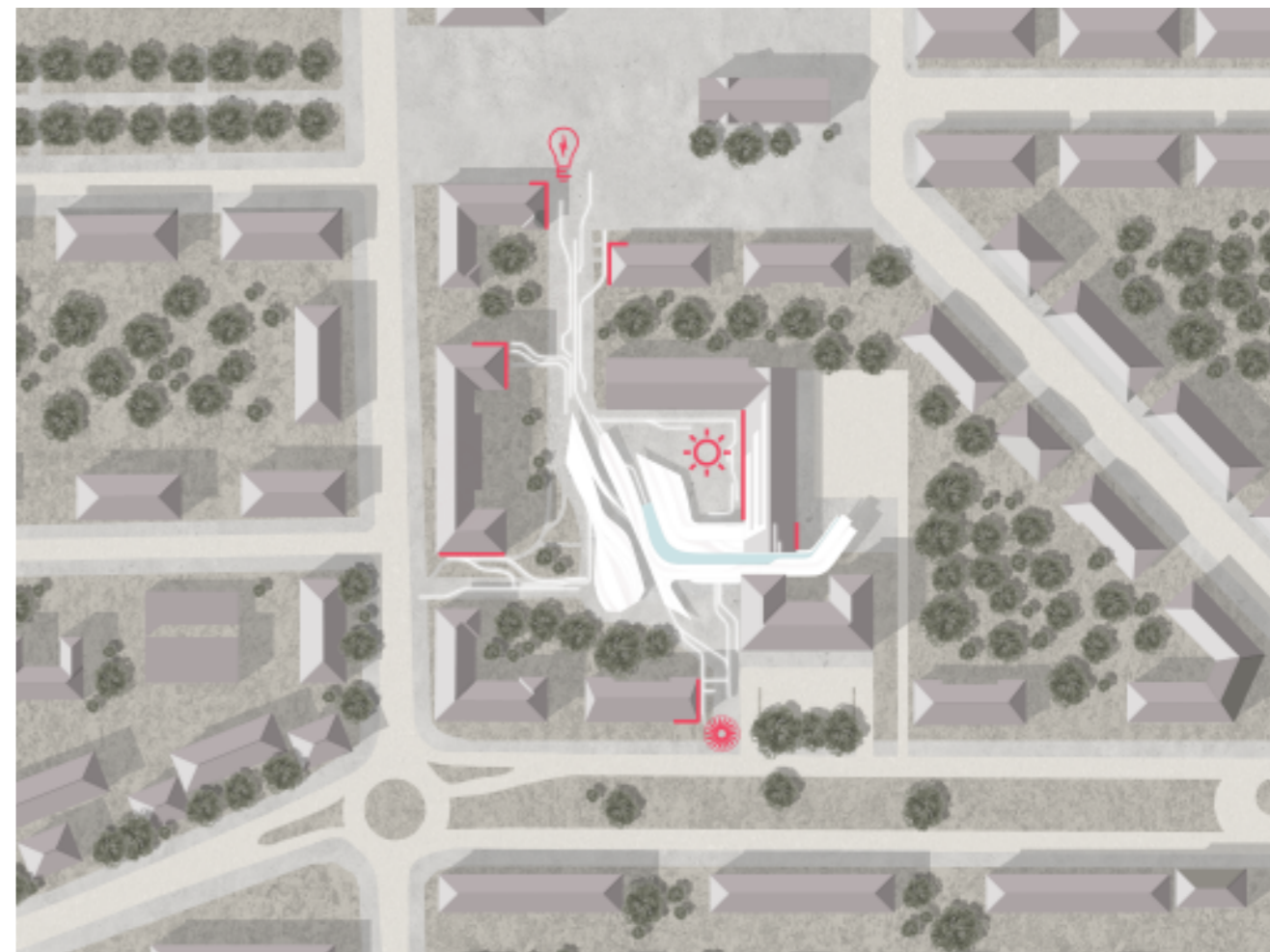
9.3 Targad LED teejuhised

Visuaalsed märgid linnaruumis on põhilised juhised inimeste liikumisel. Mõjuala teedele on paigaldatud targad LED ribad, mis tuvastavad inimese liikumist ja trajektoori ning suunavad jalakäijat vastavasse sihtkohta, valgustades sellega soovitud rajad. Nendega on ühendatud kõik targad nurgad ning peamaja, sidudes juba stiililiselt ühtse terviku veel tugevamini kokku.

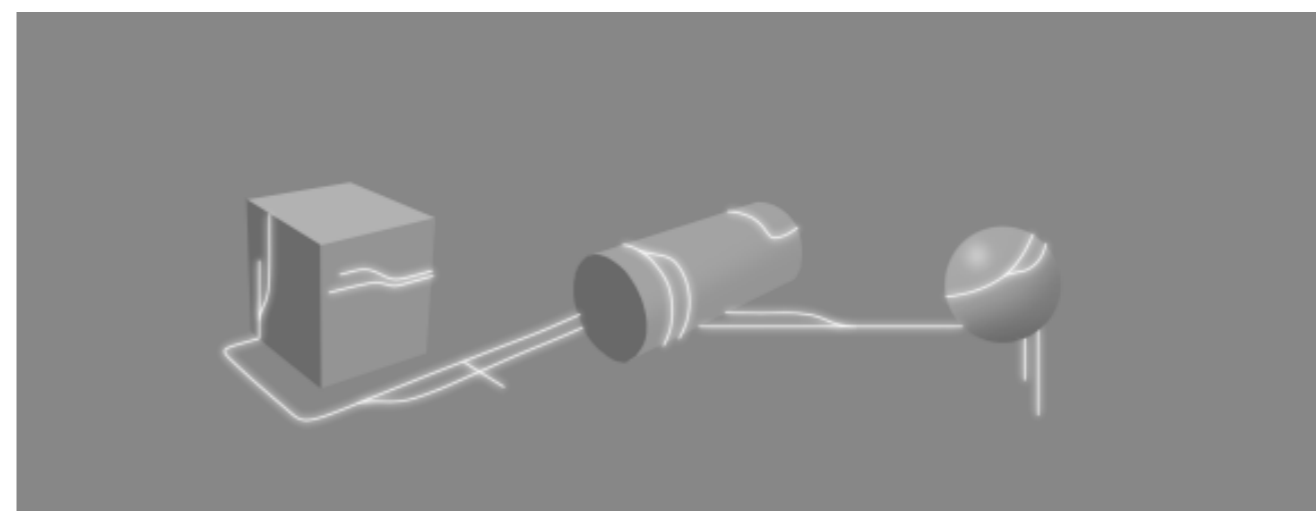
9.4 Targad nurgad

Targad nurgad on kontseptsiooni välja töötades tekkinud peahoone mõjuala laiendamise alad, kus olemasolevate hoonete külge või avalikku linnaruumi on paigutatud kindla temaatikaga tehnoloogia uurimispunkt. Kõikidest asukohtadest kogutakse infot koolihoonesse, kus on võimalik jälgida erinevate süsteemide töötamist. Igas targas nurgas on võimalik möödujatel ka QR koodi vahendusel saada täpsemat infot süsteemide kohta mida uuritakse. Tehnoloogia kiire ja mitmekülgne areng nõuavad pidevaid muutuseid, mistõttu ei ole oluline ega võimalik väga detailselt tarkade nurkade välja lahendamine, vaid meediumi pakkumine, millega on võimalik

uusi olukordasid lahendada. Pidevalt muutuvaid elemente linnaruumis saab käsitleda kui vahetuvaid skulptuure. Disainikeel ei ole ainult visuaalse olukorra loomiseks, vaid osa eksperimendist, kus saab lisaks tehnoloogiale testida võimalikke viimistlus- ja vormilahendusi, materjalikasutust ja juhtida tähelepanu olulisematele osadele targa nurga süsteemis. Pakutud ideed on vaid variandid võimalikest lahendustest ning ajas muutuvad olukorrad võtavad arvesse tehnoloogia eripärasid ning terviku esteetilist stiili. Süsteemid võivad olla seotud olemasolevate hoonetega või iseseisvad. Ajutisemad lahendused väldivad vanade hoonete lõhkumist ning kinnituvad minimaalsete kahjustustega hoone pinnale, olles nendega sümbioosis ja pakkudes hoone elanikele lisaväärtuseid uuenduslike tehnoloogiate näol.



Joonis 19. Tarkade nurkade skeem (Autori joonis)



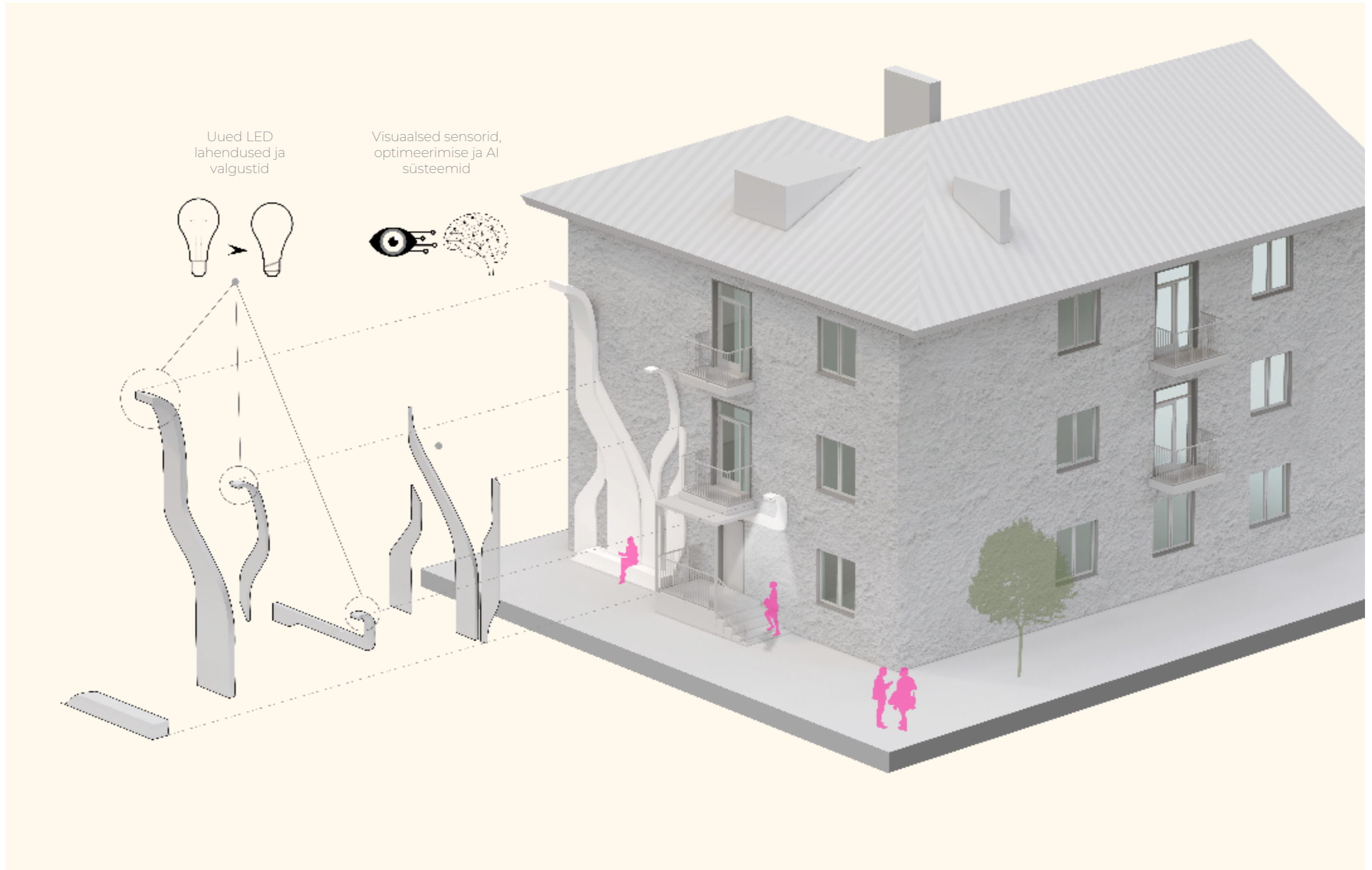
Joonis 20. Esteetiliselt ühtsust illustreeriv skeem (Autori joonis)



Joonis 21. Ilupilt - vaade õhust (Autori joonis)

9.4.1 Tänavavalgustus

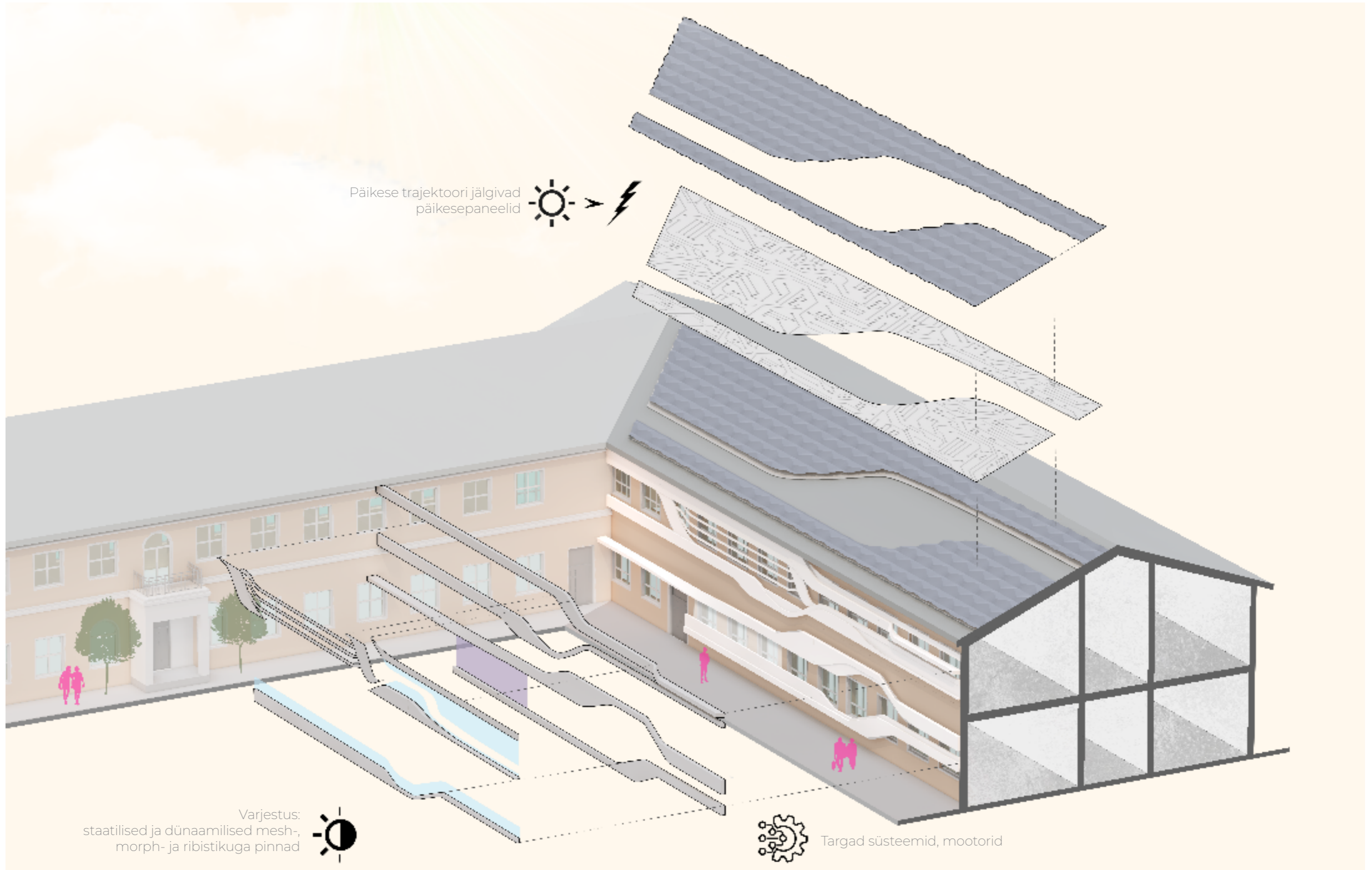
Tänavavalgustuse tark nurk asub Virula Väljaku äärse maja küljel. Koha eesmärk on analüüsida erineval skaalal toimivate tänavavalgustite automatiseerimist ning energiasäästlikust tiheda liikumisega alal. Pakutud variandis on kolm valgustit, mis toimivad liikumisanduritega ning valgustavad erinevatel distantsidel tänavaruumi. Targa õppehoone masinõppesüsteemid võimaldavad valgustusel jooksvalt liikumisanduritest saadud infot töödelda ning selle põhjal põlemisaegasid optimeerida. Olemasoleva hoone abil saab uurida ka valgusreostust eluruumides, mille vähendamine on üks eesmärkidest parema linnaruumi loomisel.



Joonis 19. Tark nurk: automatiseeritud tänavavalgustus tiheda liiklusega alas (Autori joonis)

9.4.2 Varjestus ja päikesepaneelid

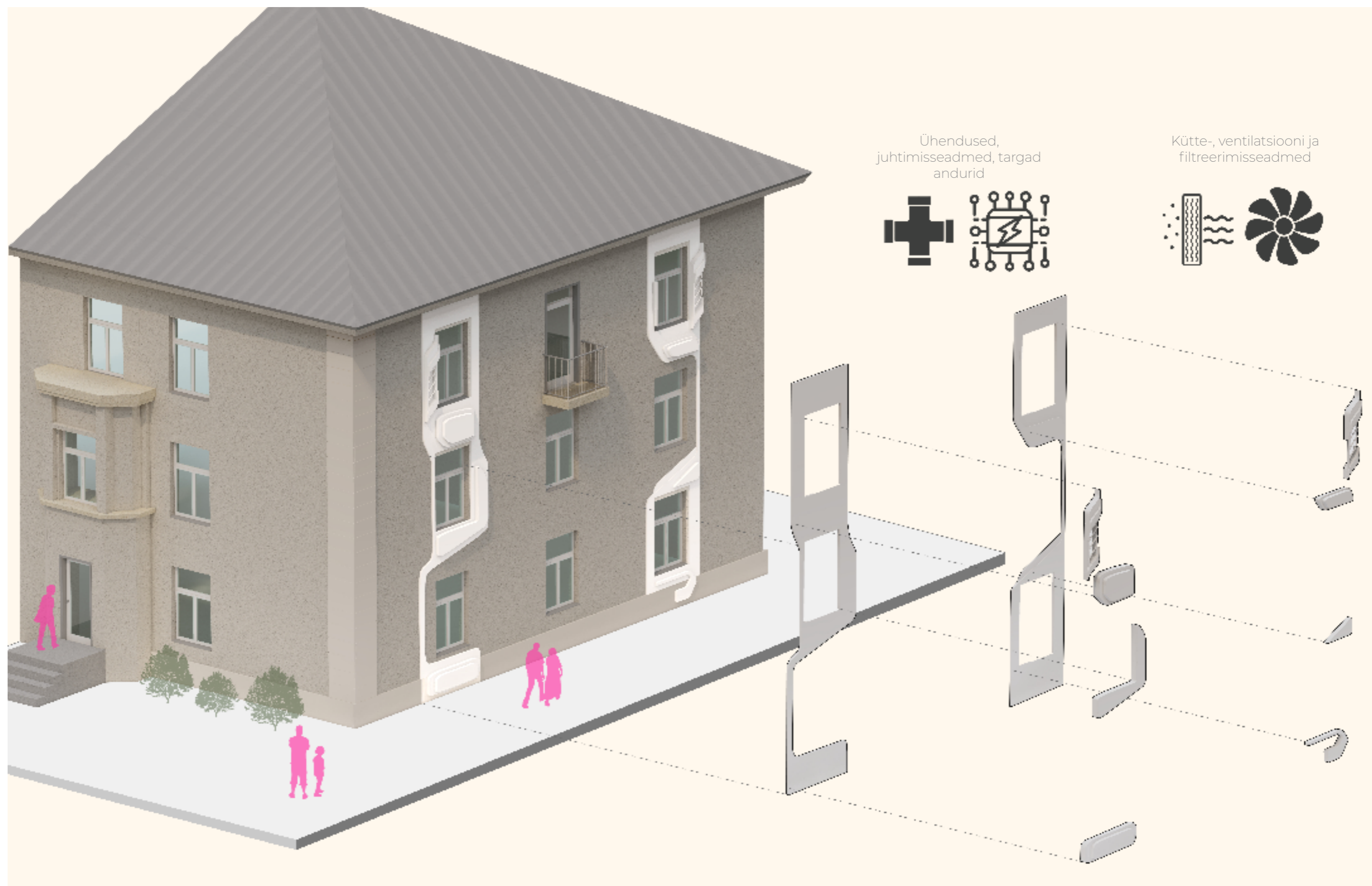
Uue koolihoone sisehoovi jääb varjestuse ja päikesepaneelide ala, mis on kinnitatud olemasoleva koolihoone külge ning on ühtlasi ka kõige suurem jälgimisala. Vana hoone katusele on paigaldatud kahes reas päikese trajektoori järgivad päikesepaneelid. Eristuvate ridade olemasolu võimaldab erinevate paneelide testimist ning omavahel võrdlemist. Ühtlasi toodavad paneelid ka koolihoonele energiat. Vana hoone küljele on akende ette paigaldatud osaliselt modulaarsed, automaatsed ja statsionaarsed varjestused, mida on võimalik kergesti muuta ning vahetada. Lõuna-edela suund on varjestuse uurimiseks hea ning ühtlasi võimaldab jälgida ka olemasoleva koolimaja jahutuse tööd. Sisehoovis on võimalik jälgida erinevate tehnoloogiate koostööd ning erinevate varjestussüsteemide katsetamine muudab vana hoone fassaadi elavaks.



Joonis 20. Tark nurk: päikesepaneelid ja olemasoleva hoone varjestus (Autori joonis)

9.4.3 Ventilatsioon, küte ja jahutus

Vanemate hoonete ventilatsioon, küte ja jahutus on tihti algelised või puudulikud ning hallituse tekkimine ja halb õhukvaliteet ei ole välistatud. Uute ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemide testimine olemasolevatel majadel võimaldab tulevikus pakkuda mitmekülgsemaid lahendusi. Vanemates hoonetes magistraalide vedamine ja uute tehnosüsteemide ja seadmete paigaldamine on tihti hoone siseselt ruumipuudusetõttu keeruline. Laialdaselt kasutusel olevad soojuspumbad ei ole disainitud ega oma hoone välimuse juures lisaväärtust. Uurimisalas asuvad seadmed hoonest väljas ning nende ühendused korteritega kulgevad voolavalt mööda fassaadi. Uuendusliku vormikasutuse eesmärgiks antud targa nurga puhul on ka esteetika probleemi lahendamine, kus seadmeid ning torusid on võimalik peita või ühildada ühtse ilusama vormikeelega.



Joonis 21. Tark nurk: kütte-, ventilatsiooni- ja filtreerimissüsteemid (Autori joonis)



Joonis 22. Ilupilt - vaade vana maja peasissepääsu poolt (Autori joonis)



Joonis 23. Ilupilt - vaade sisehoovist (Autori joonis)

9.5 Peamaja ja tehnoloogiad

Peamaja eristub olemasolevast koolimajast, olles dünaamilise vormikäsitluse ja futuristliku ilmega. Ühtlasi on tegu ka terve mõjuala keskpunktiga, kuhu linnaruumi visuaalsed elemendid ja tehnoloogia kokku koonduvad. Hoone maht jaguneb eraldiseisvaks peamahuks ja külustuskeskuseks. Peamahus on laborid, kohvik, raamatukogu ning seminariruumid. Külustuskeskus on mõeldud peahoones uuritavate tehnoloogiate tutvustamiseks ja reklaamimiseks. Ühtlasi asub külustuskeskuses virtuaalreaalsuse tuba, kus on võimalik inimestel tutvuda erinevate tipp tehnoloogiliste virtuaalreaalsuse seadmete võimalustega.

Hoone projekteerimisel on arvesse võetud kõiki teooria osas käsitletud tarkasid lahendusi, mille koostööpõhimõtted on kujundanud hoone sisesed liikumisteed ja tsoneerimise. Tark hoone eristab kasutajaid kolme erineva suurusega targas tsoonis ning põhiliseks kasutajaliideseks lähitulevikus on nutitelefon. Kaugemas tulevikus uute tehnoloogiate väljatöötamisel on võimalik hoone ümber kohandada teiste liideste jaoks, kuid hetkel on

telefoni kasutamine kõige mugavam ja töökindlam variant. Hoone keldris asub tsentraalne superarvuti, mis annab teadustöödeks suure arvutusvõimekuse ning ühtlasi juhib hoonestoimivaid süsteeme, võimaldades mitmekesisemate tehishärvivõrkude teket ning potentsiaali teha katseid keerulisemate ja infomahukamate süsteemidega. Ühtlasi võimaldab tsentraalne arvuti pakkuda personaalse arvuti töökoha läbi innovaatilise ja eksperimentaalse kasutajaliidese, mida on võimalik aktiveerida erinevatel pindadel läbi hoone vastavalt vajadusele ilma personaalsete seadmeteta.

1. KORRUS

1-SEMINARIRUUMID	85m ²
2a-GARDEROOB	32m ²
2b-GARDEROOB	14m ²
2c-GARDEROOB	26m ²
3-RAAMATUKOGU	90m ²
4-KOHVIK	140m ²
5-RK. ABIRUUM	20m ²
6-TÖÖTUBA	20m ²
7-TÖÖTUBA	20m ²
8-TÖÖTUBA	22m ²
9-3D PRINTIMINE	58m ²
10-MINITEHAS	45m ²
11-KÖÖK	48m ²
12-LADU	22m ²
13-WC	35m ²
14-ABIRUUM	9m ²
15-KORIDORID	390m ²
KOKKU	1076m²

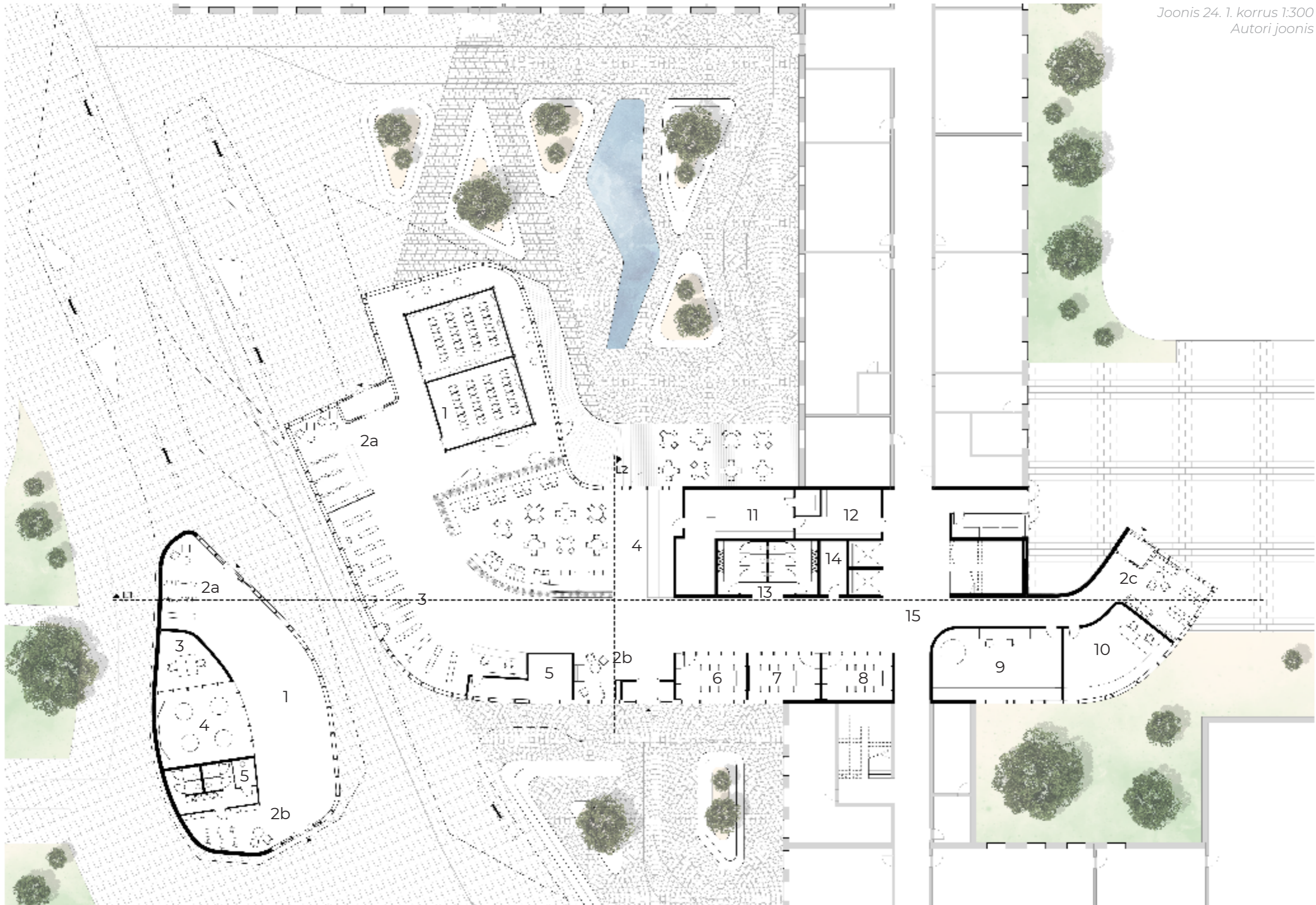
KÜLASTUSKESKUS

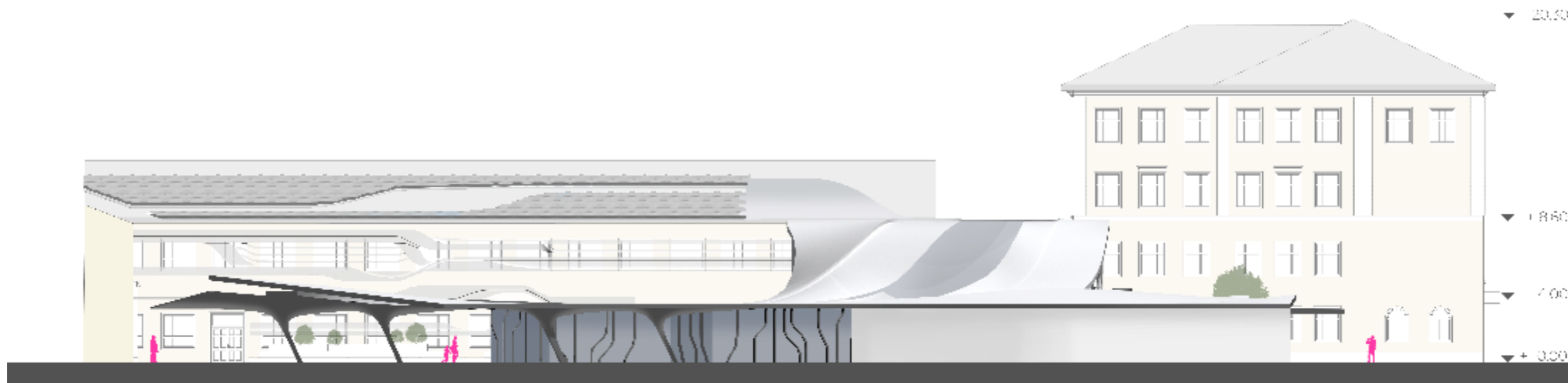
1-EKSPONAATIDE RUUM	130m ²
2a-GARDEROOB	22m ²
2b-GARDEROOB	22m ²
3-VR. KONTOR	21m ²
4-VR. RUUM	44m ²
5-WC	27m ²
KOKKU	266m²

2. KORRUS

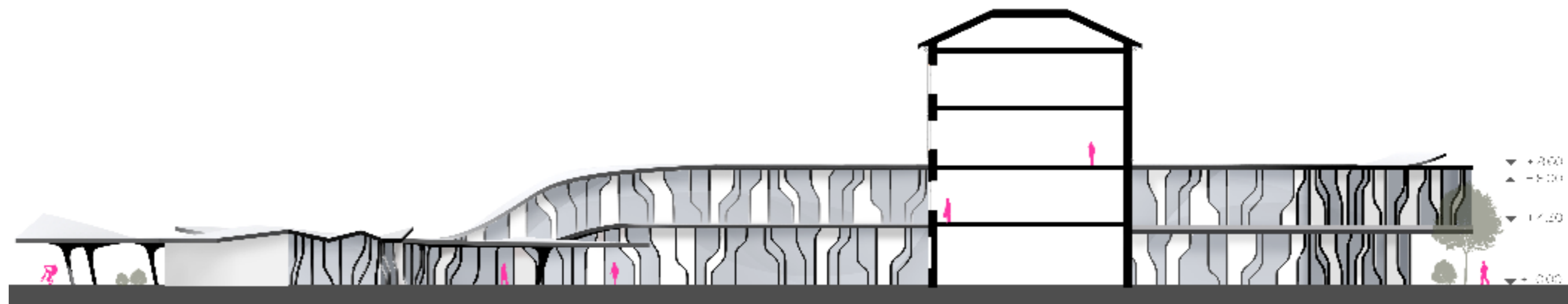
1-MASINAEHITUS	60m ²
2-ENERGIA TARKVÕRGUD	38m ²
3-AUTOMAATIKA	62m ²
4-ARUKAD SÜSTEEMID	22m ²
5-ARUKAD SÜSTEEMID	22m ²
6-TERVISEDENDUS	22m ²
7-KOOSOLEK	22m ²
8-KOOSTÖÖROBOOTIKA	62m ²
9-MINITEHAS	70m ²
10-KORIDORID	215m ²
KOKKU	595m²

Joonis 24. 1. korrus 1:300
Autori joonis



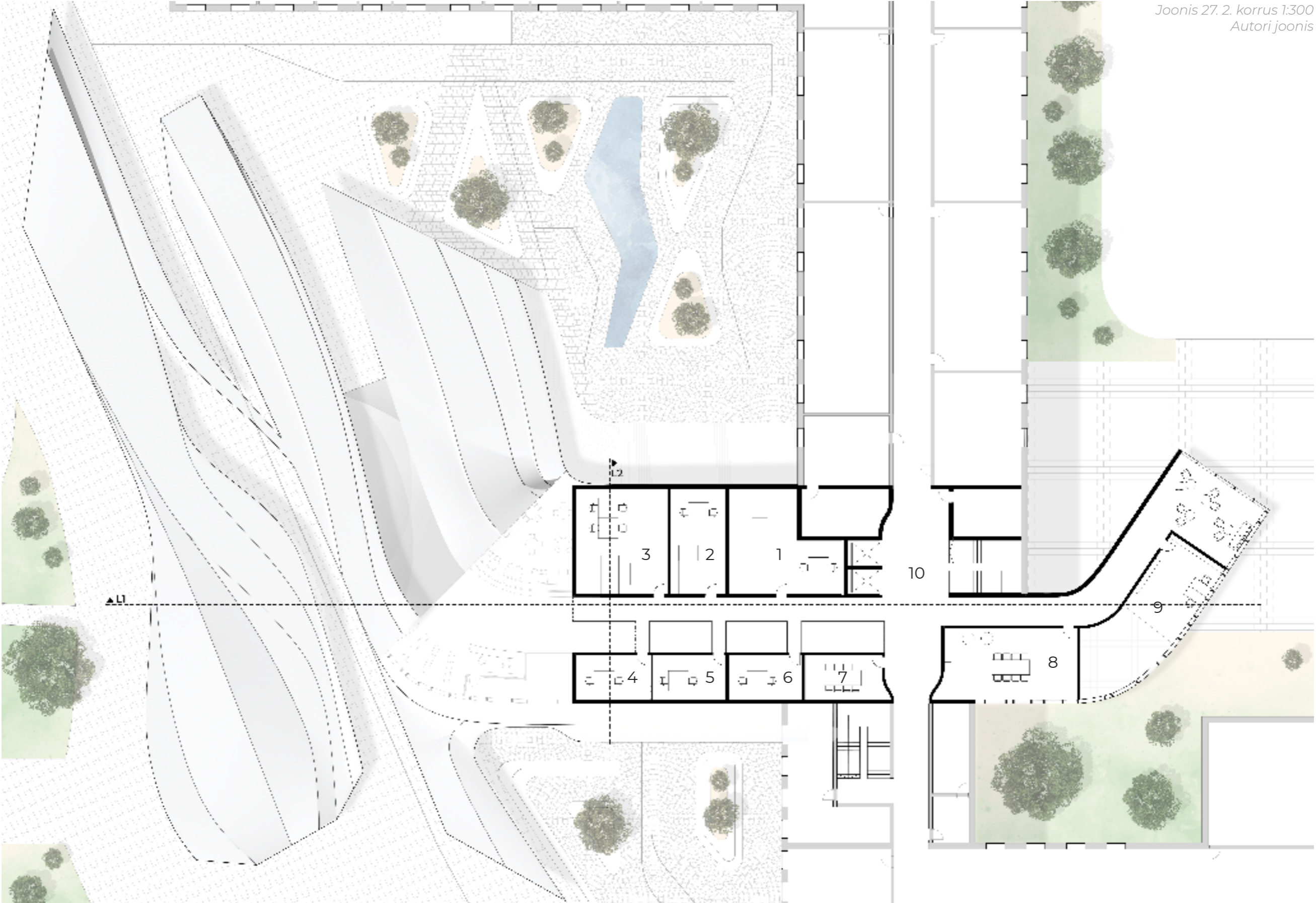


Joonis 25. Vaade edelast 1:300 (Autori joonis)



Joonis 26. Vaade kirdest 1:300 (Autori joonis)

Joonis 27. 2. korrus 1:300
Autori joonis



9.6 Targad tsoonid

9.6.1 Üksik isik

Laborid, individuaalsed töökohad- Töötajate jaoks pakub hoone kõige mitmekülgsemat ja personaalsemat lähenemist. Telefonirakendus tuvastab töötaja viibimise hoone mõjualas ning telefonis päevagraafikut omades on võimalik juba projektoritel töötajat vastavasse ruumi suunata. Töökohtade kliima on reguleeritav üksikisiku soovide järgi. Masinõppealgoritmid saavad kasutajalt tagasisidet testperioodil ning hiljem teavad juba iga töötaja eelistusi. Erinevad anonüümsed jälgimisseadmed terves hoones koos telefonirakendusega võimaldavad täpset isiku asukoha määramist. Sellest tulenevalt võib töötaja vahetada enda töökohta, kuid sisekliima on automaatselt uues kohas olemas.

Telefonirakendus võimaldab planeerida ka enda tööd, kus hoone saab visuaalselt valguse või projektsioonidega anda infot õigeaegselt edasi. Ilma isikliku mobiilse seadmeta on võimalik säilitada enamus targad hoonefunktsioonid, kuid hoones liikumise täpsus ning tarkade süsteemide seadistamine reaalsajas ei saa sellisel juhul kõige efektiivsemalt toimida. Superarvuti võimekus tagab ligipääsetavuse suurele arvutusvõimele igalt poolt

koolimajast. Töötaja mobiilne seade on vaid vahendajaks ning superarvuti saab teostada väga keerukaid analüüse ning neid kasutajale kuvada. See vähendab statsionaarsete arvutikohtade vajadust ning võimaldab vabama liikumise ja tööstrateegia erinevates laborites. UST (Ultra Short Throw) projektorid võimaldavad peaaegu igale pinnale kuvada 4K resolutsioonis pilte ning projektsioonipõhise ja hologramm tehnoloogiaga saab kuvada tööpindadele klaviatuure, töömudeleid ning teisi vajalikke ruumilisi visualiseeringuid. Töökohtades on võimalik suhelda hoonega ka häälmärguannetega, sarnaselt nagu toimivad Amazon Alexa või Google Assistant. Kasutajaliides registreerib lisaks häälkäsklustele liikumist ruumis ja puudutusi pindadel.

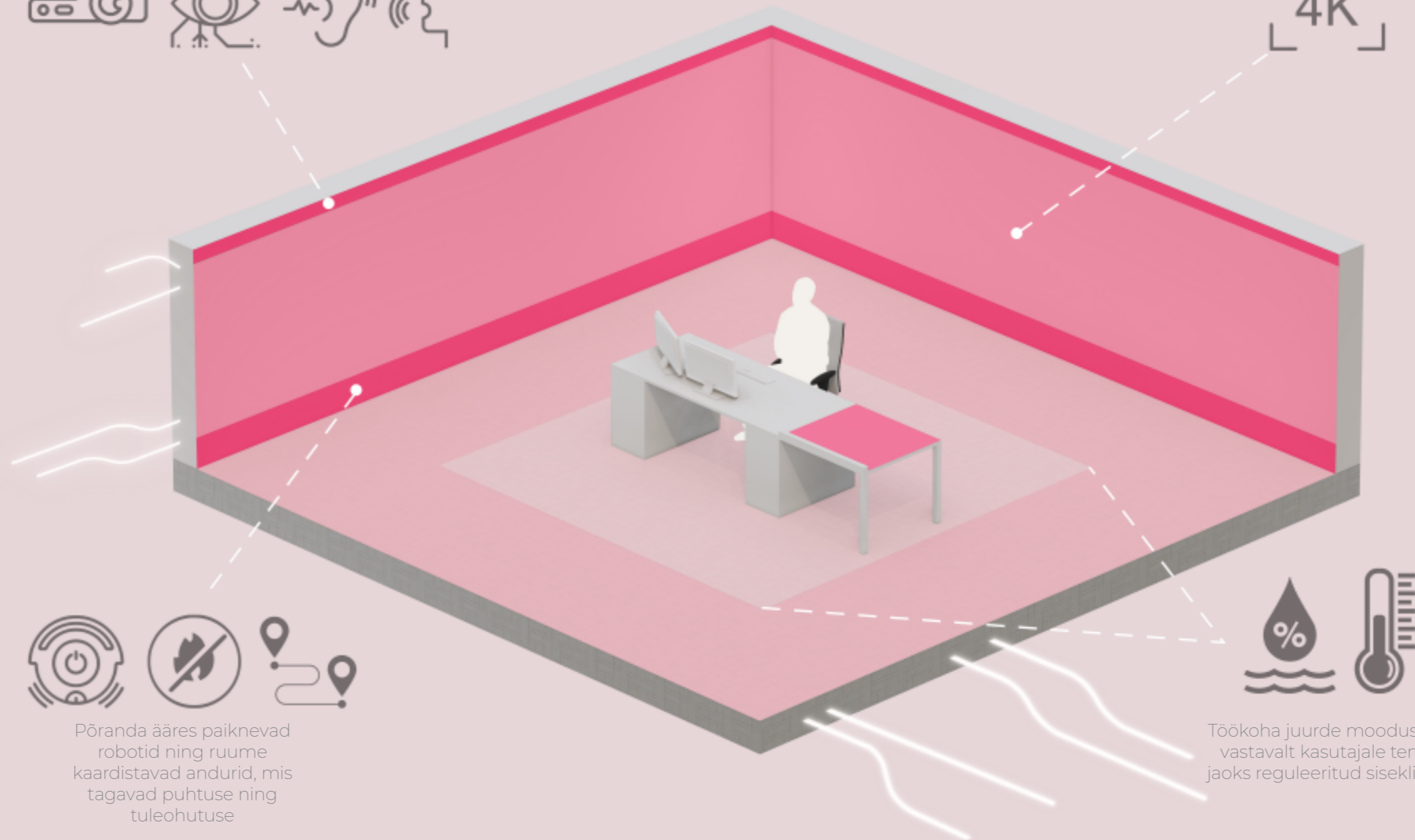
Telefonirakendus on väga isikupõhine, olles lisaks töötaja mobiilse andurina ka hoone monitooringu ja seadistamise füüsiline liides. Seadistused süsteemidele saavad olla personaliseeritud vastavalt kasutaja soovidele. Näiteks on hoone häälmärguannete heli võimalik reguleerida vastavalt inimlikuks või tehnilikuks. Personaliseeritud teated võivad olla minimaalsed või võimalikult paljudes kohtades. Kohviku menüü saab töötaja saabudes näidata allergeenide olemasolu või välistada lihatooded.

Maksimaalne personaliseerimine väldib ohtu, kus kasutaja tunneb ennast kõrgtehnoloogilise vaatluse all ebamugavalt ning usalduse tõttu ei kasuta süsteemi täit potentsiaali. Tulevikus on võimalik funktsioone lisada, kuid oluline on kindlate tsoonide määramine hoones ja nende vahelised üleminekud.

Lae ülemises ääres paiknevad visuaalsed tuvastussüsteemid, kohalolekuandurid, häältuvastussüsteemid ning tehnoloogiad, mis vajavad suuremat mõjuala



Ruumide sisepindadele on võimalik UST projektorite abil kuvada 4K resolutsiooniga pilti, tagades töökeskkonna igas ruumis, igal pinnal



Põranda ääres paiknevad robotid ning ruume kaardistavad andurid, mis tagavad puhtuse ning tuleohutuse

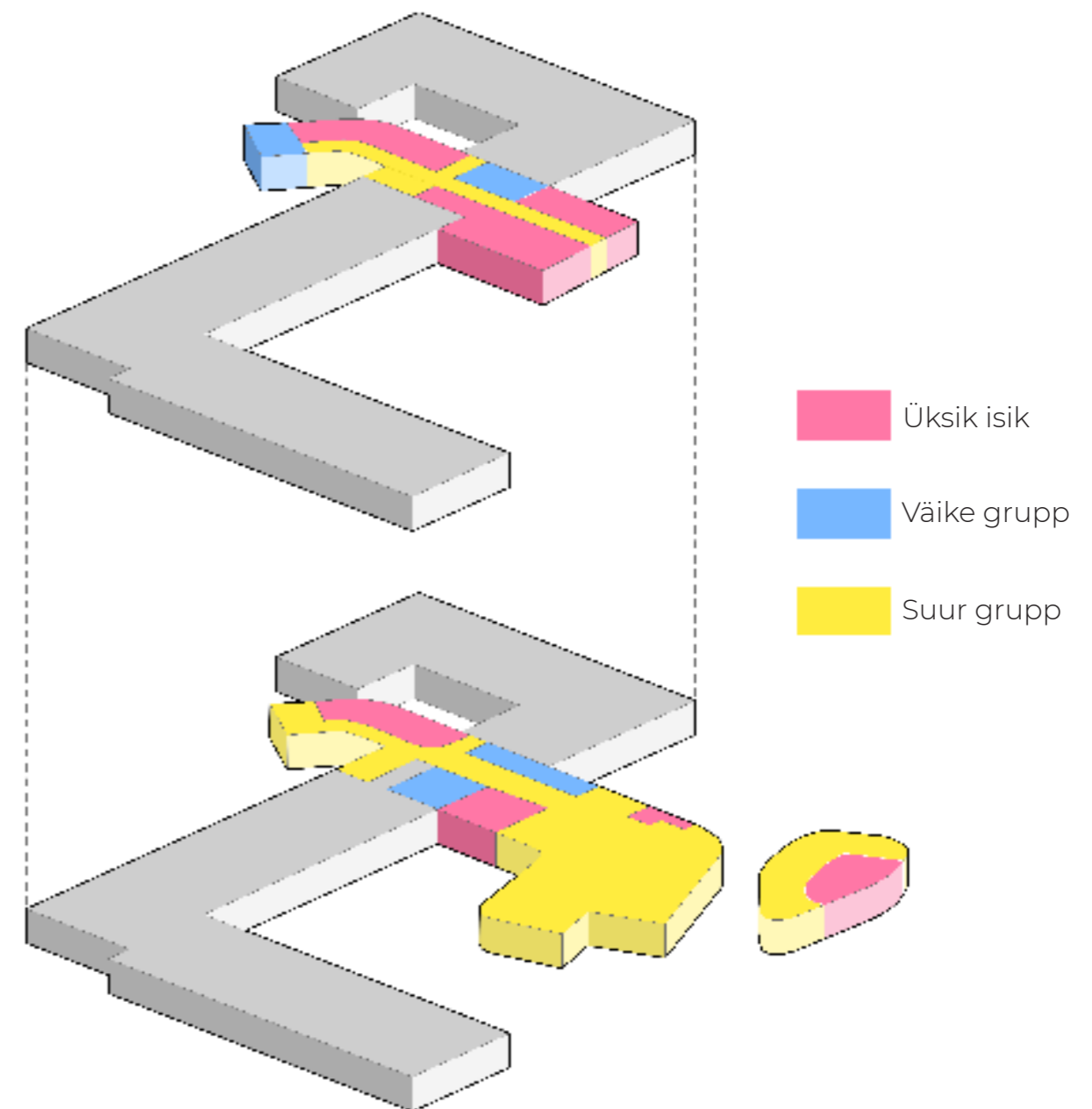


Töökoha juurde moodustub vastavalt kasutajale tema jaoks reguleeritud sisekliima

Joonis 28. Üksiku inimese skeem (Autori joonis)

9.6.2 Väike grupp

Klassiruumid, koosolekuruumid- Sarnaselt töötajatele, saavad õpilased telefonirakenduse vahendusel koolis kergemini orienteeruda ning saada hoone poolt jooksvaid teavitusi erinevate sündmuste kohta. Sisekliima seadistamine ei saa olla enam nii personaalne ning jääb kinni klassi- ja tööruumide tehnoseadmete võimekuse taha. Sellest hoolimata saab ruum analüüsida selles viibivate inimeste eelistusi ning moodustada parima keskmise variandi.

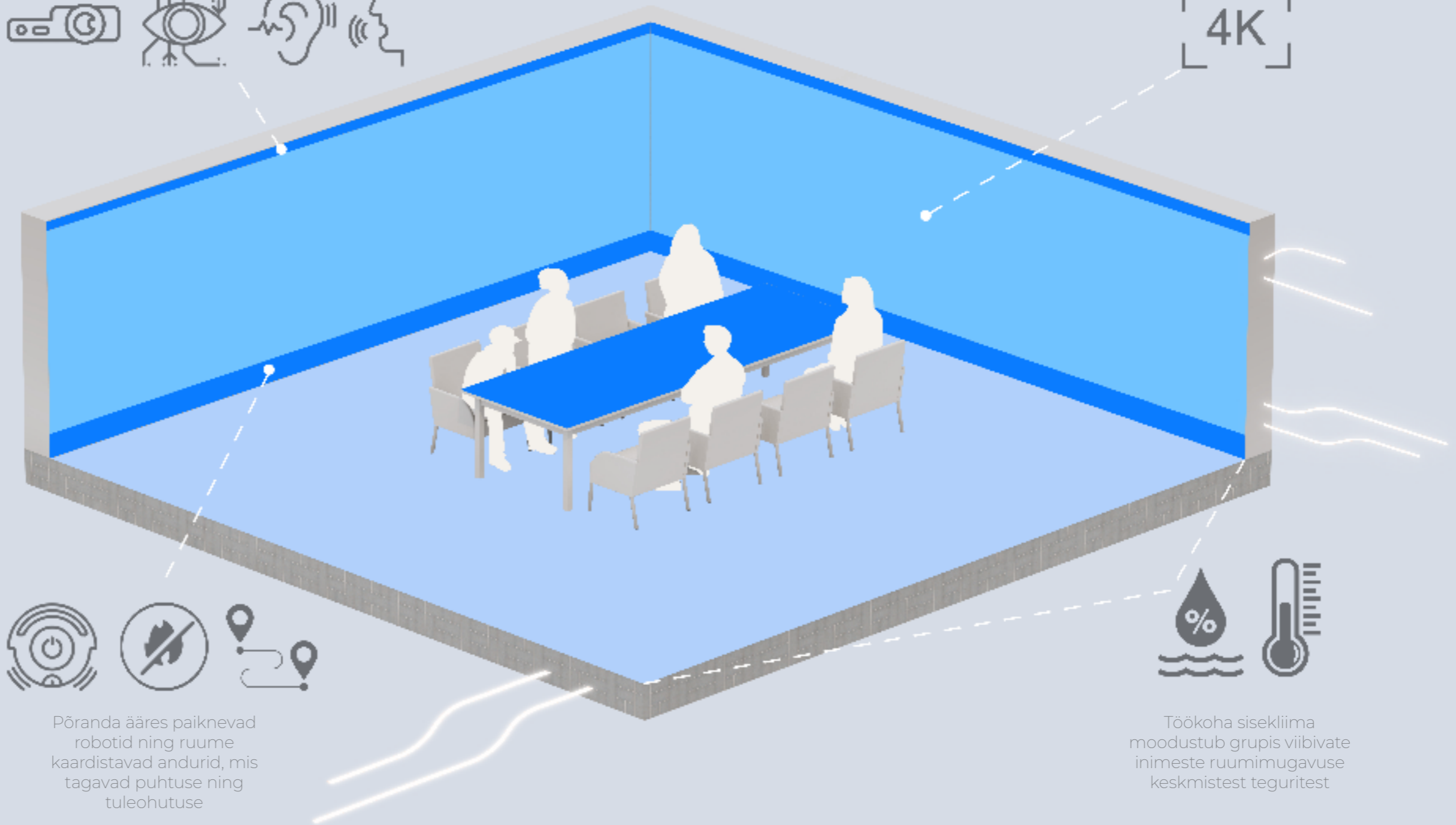


Joonis 29. Väikese grupi skeem (Autori joonis)

Rühmatöö- ja klassiruumides paiknevad andurid tajuvad inimeste arvu ruumis ning teevad vastavalt sellele otsuseid. Individuaalse inimese tuvastamine on võimalik, kuid mitte eesmärk



Ruumide sisepindadele on võimalik UST projektorite abil kuvada 4K resolutsiooniga pilti, tagades töökeskkonna igas ruumis, igal pinnal



Põranda ääres paiknevad robotid ning ruume kaardistavad andurid, mis tagavad puhtuse ning tuleohutuse



Töökoha sisekliima moodustub grupis viibivate inimeste ruumimugavuse keskmistest teguritest

Joonis 30. Väikese grupi skeem (Autori joonis)

9.6.3 Suur grupp

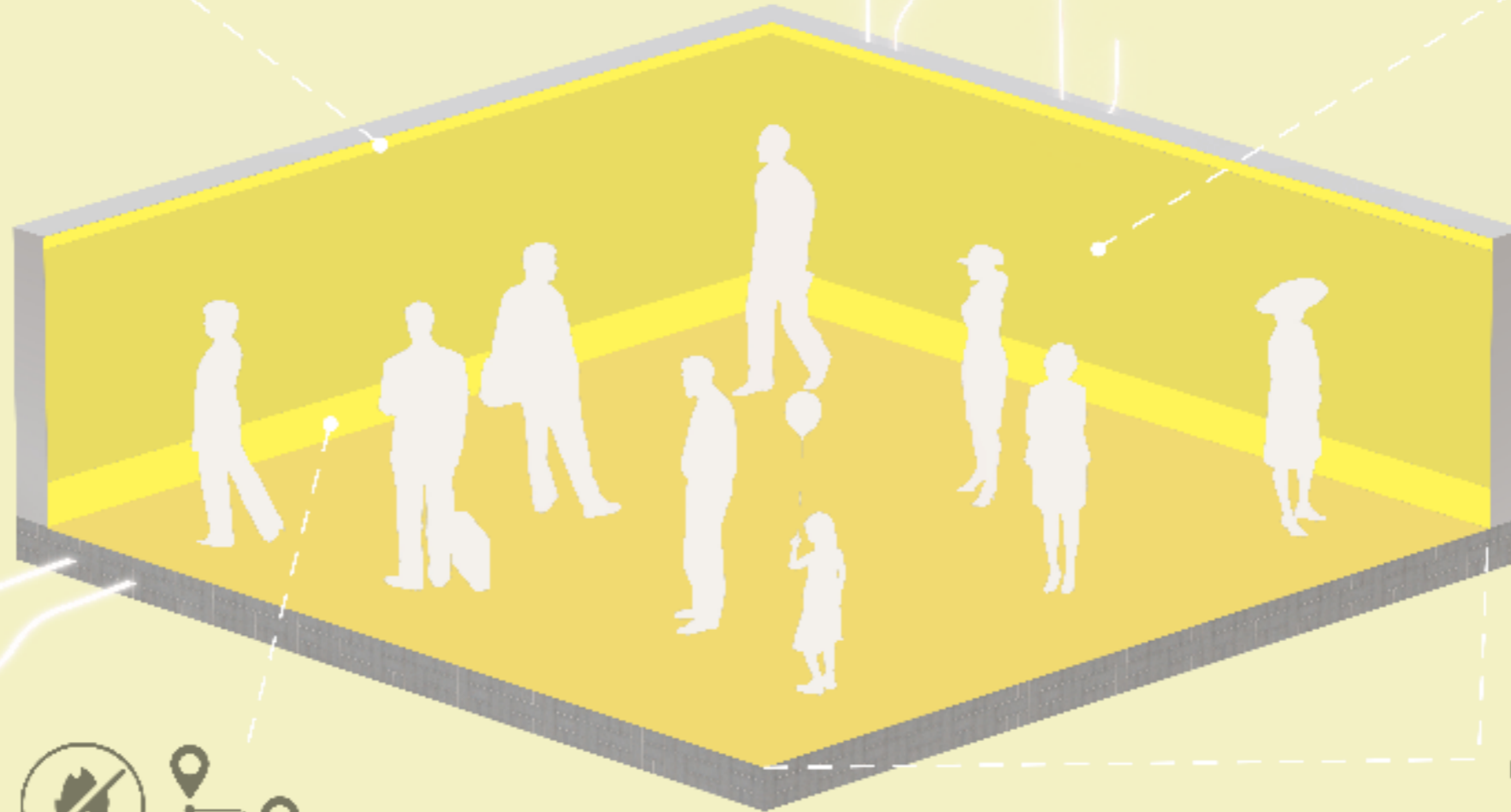
Suured avalikud ruumid- Suuremates inimmassides ei ole väga oluline individuaalsete inimeste jälgimine, vaid terve grupi kui terviku analüüsimine. Oluline on tagada hea sisekliima, mille temperatuur ja ventileeritus on seotud muutuva inimmassi suurusega. Rohkemate inimeste koosviibimisel tuleb rõhku pöörata ka turvalisusele ja tuleohutusele. Hoonet igapäevaselt koristavad robottolmuimejad kaardistavad hoone ruume ning vajadusel teavitavad haldajat vigadest, näiteks evakatsiooniteedel esinevatest takistustest. See võimaldab igapäevaselt likvideerida esinevaid puuduseid ning hoida hoonet korras ja turvalisena.

Terve hoone on jaotatud vastavalt nimetatud tsoonidesse, kus nende eraldi paigutamine on süsteemide jaoks väga oluline. Tsooni suuruste lineaarne kasvamine inimeste arvu poolest hoone ruumiprogrammis ja korruste suhtes tagab võimalikult täpse personaalse monitooringu ning süsteemide optimaalseima talituse terves hoones.

Andurid võimaldavad tuvastada individuaaset hoone kasutajat, kuid peamine eesmärk on hallata suurema grupi liikumist ja inimeste arvu ning edastada teistele süsteemidele vastav info



Ruumide sisepindadele on võimalik UST projektorite abil kuvada 4K resolutsiooniga pilti, tagades informatsiooni peaaegu igal pinnal



Põranda ääres paiknevad robotid ning ruume kaardistavad andurid, mis tagavad puhtuse ning tuleohutuse



Ruumi sisekliima moodustub inimeste arvust, võttes arvesse sise- ja väliskliimat

Joonis 31. Suure grupi skeem (Autori joonis)



Joonis 32. Illupilt - vaade teiselt korruselt (Autori joonis)

9.7 Ehitustehnoloogia

Parameetrilised ja vabavormilised elemendid disainis on kogumas populaarsust ning tehnoloogia erinevate kujude loomiseks on pidevalt arenemas. Hoone kontseptsioon nõuab katusepinna ning ruumielementide elegantset vabavormilist lahendust, mille valmistamiseks on võimalik kasutada uuenduslikke meetodeid.

9.7.1 Betooni 3D printimine ja süsinikust eksoskelett

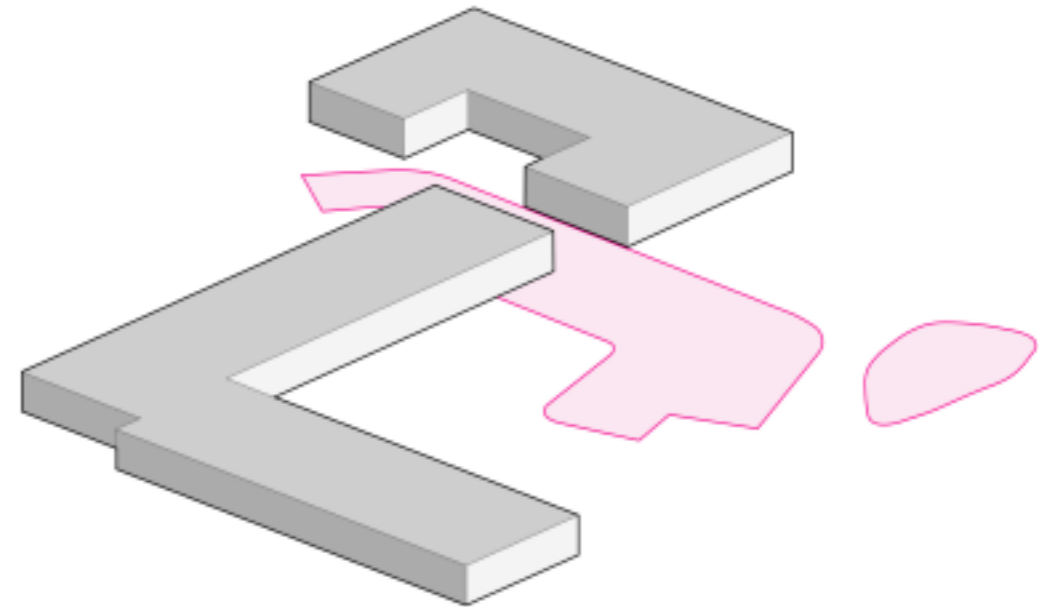
Betooni tootmine on 8% inimkonna globaalsest süsinikjalajäljest, mistõttu selle kasutamine liigsetes kogustes ei ole sobilik (Fast complexity). Arvutitel on võimekus kujundada mudeleid vastavalt jõududemõjumisesuunale ja optimeerida elemente minimaalse materjalikulu jaoks. Sellised elemendid on tihti keeruka sisestruktuuriga ning omavad vaid jõudude neutraliseerimiseks vajalikke ühendusi (Topology optimisation for a concrete slab). Betooni 3D printimine on kiirelt arenev valdkond, mis võimaldab järjest suuremaid ja keerulisemaid elemente printida ning seda võimalikult väikese materjalikulu juures. Planeeritava hoone katuseelemente oleks võimalik printida betoonist ning ühendada nad üheks tugevaks

tervikus. Kandvad konstruktsioonid on lihtsad ning võimaldavad suuri avatud ruume, kuid katusekonstruktsioon saab olla osaliselt ennast kandev. Innovatiivse tehnoloogiana on tehtud väiksematel skaaladel katseid prinditud betoonelementidele süsinikkiust eksoskelette lisades, mis võimaldavad luua väga tugevaid õhukesi, vabavormilisi betoonpindasid (Carbon Fiber Exoskeleton). Tehnoloogia uudsus ei võimalda hetkel veel analüüsida suuremal skaalal käsitletud eksoskeleti võimalusi, kuid potentsiaal tulevikus elegantsemate betoonelementide loomiseks on olemas.

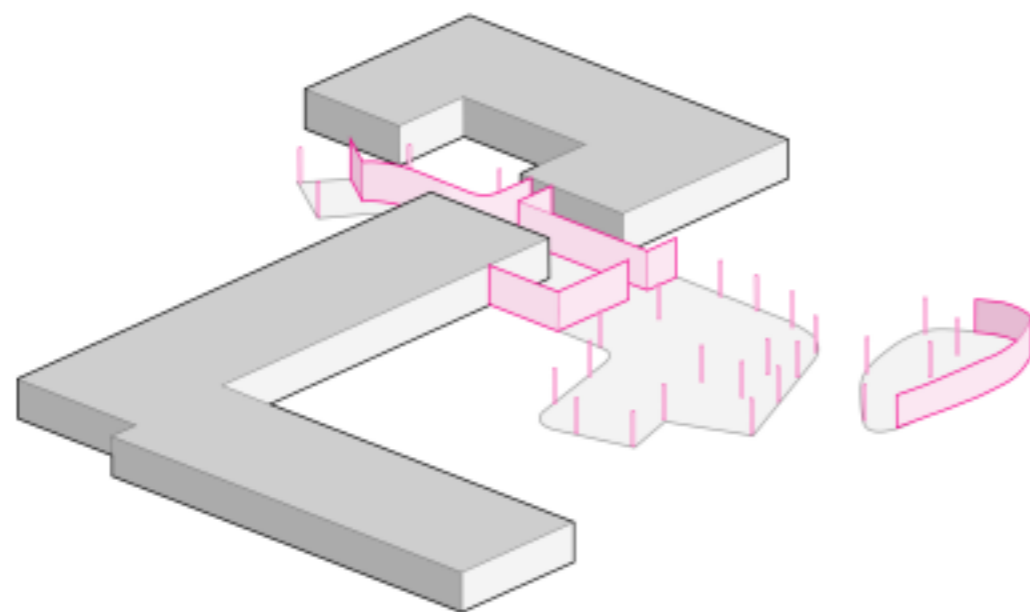
9.7.2 Plastiku printimine

Kõige laialdasemalt on levinud 3D printimine plastmassist, kuid ehitusvaldkonnas hetkel veel vähe kasutatud. Plastmassi 3D printimine ehituses oleks võimalik vabavormiliste paneelide näol, kus kandvaks struktuuriks on teras ning hoone välise ilme annavad prinditud paneelid. Selline lähenemine on kasulik ajutisemate lahenduste puhul, kus keeruka betoonelemendi optimeerimine ja keerukad insener-tehnilised lahendused osutuksid liiga

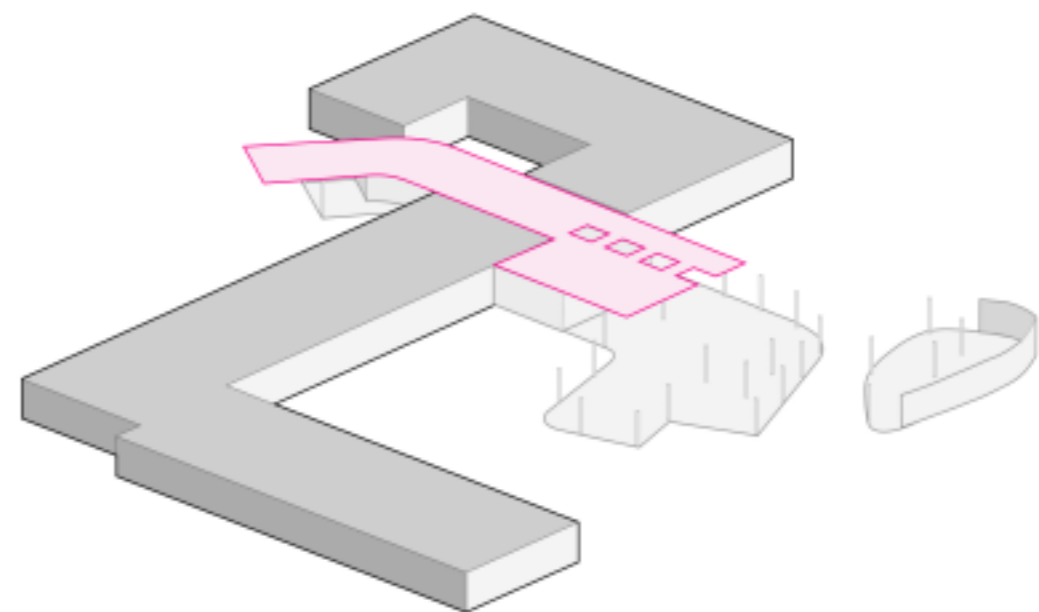
kulukaks. Tarkade nurkade ajutised lahendused saavad olla struktuurilt väga lihtsad ning tehnoloogiat hõlmavad, kuid nende esteetilise ilme saavad anda plastikust prinditud välised korpused. Lisaks uurimispunkti teemaikale on võimalik erinevates alades kasutada mitmetest materjalidest ja erineva tehnoloogiaga prinditud elemente, et jälgida nende ilmastikukindlust ja potentsiaalseid võimalusi suuremates ehitusprotsessides.



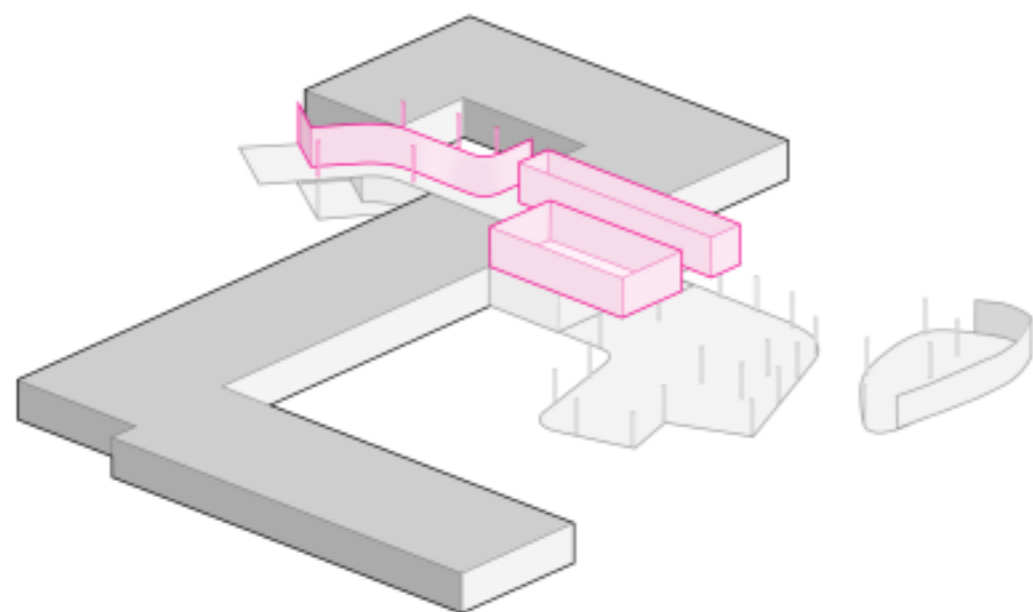
Joonis 33. I korruse põrandad (Autori joonis)



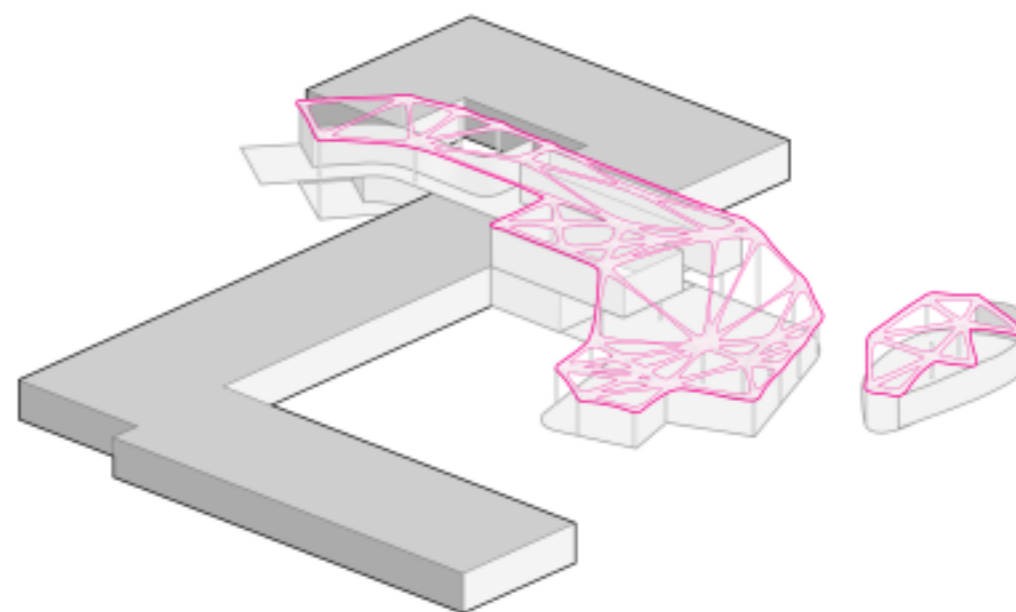
Joonis 34. I korruse kandvad konstruktsioonid (Autori joonis)



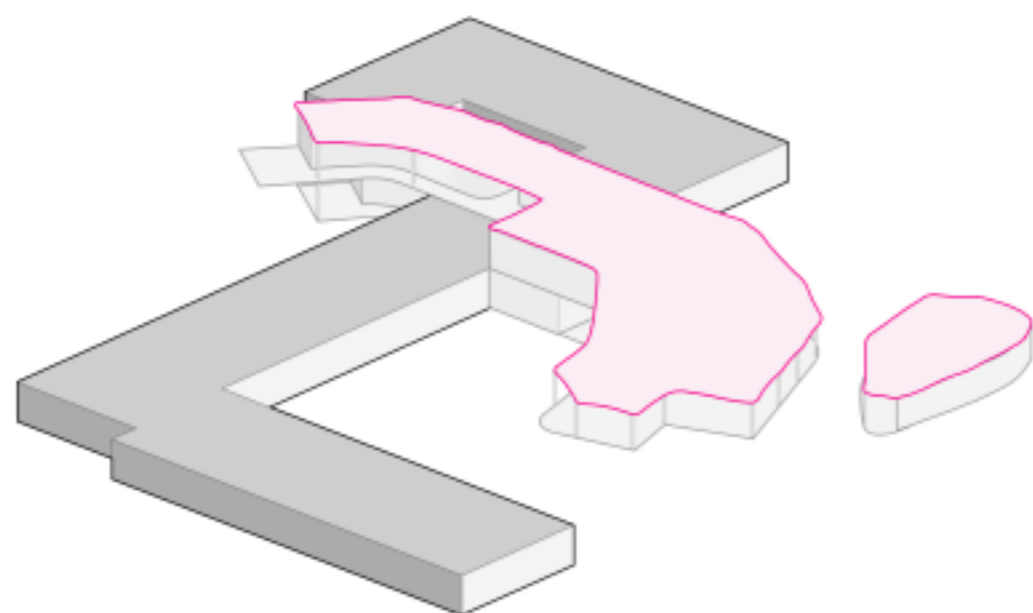
Joonis 35. II korruse põrand/vahelagi (Autori joonis)



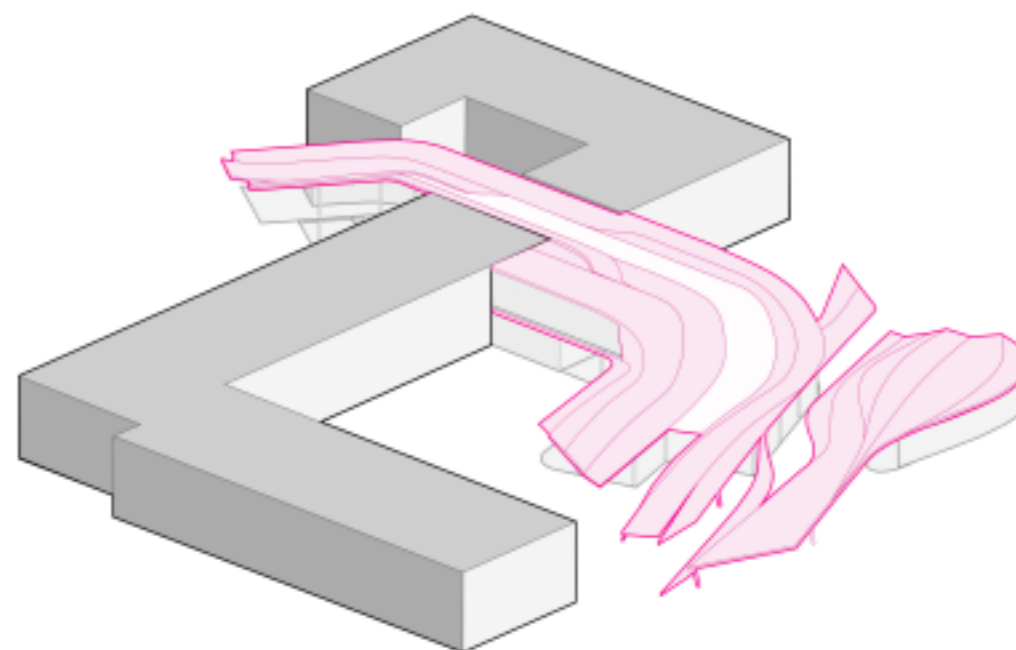
Joonis 36. II korruse kandvad konstruktsioonid (Autori joonis)



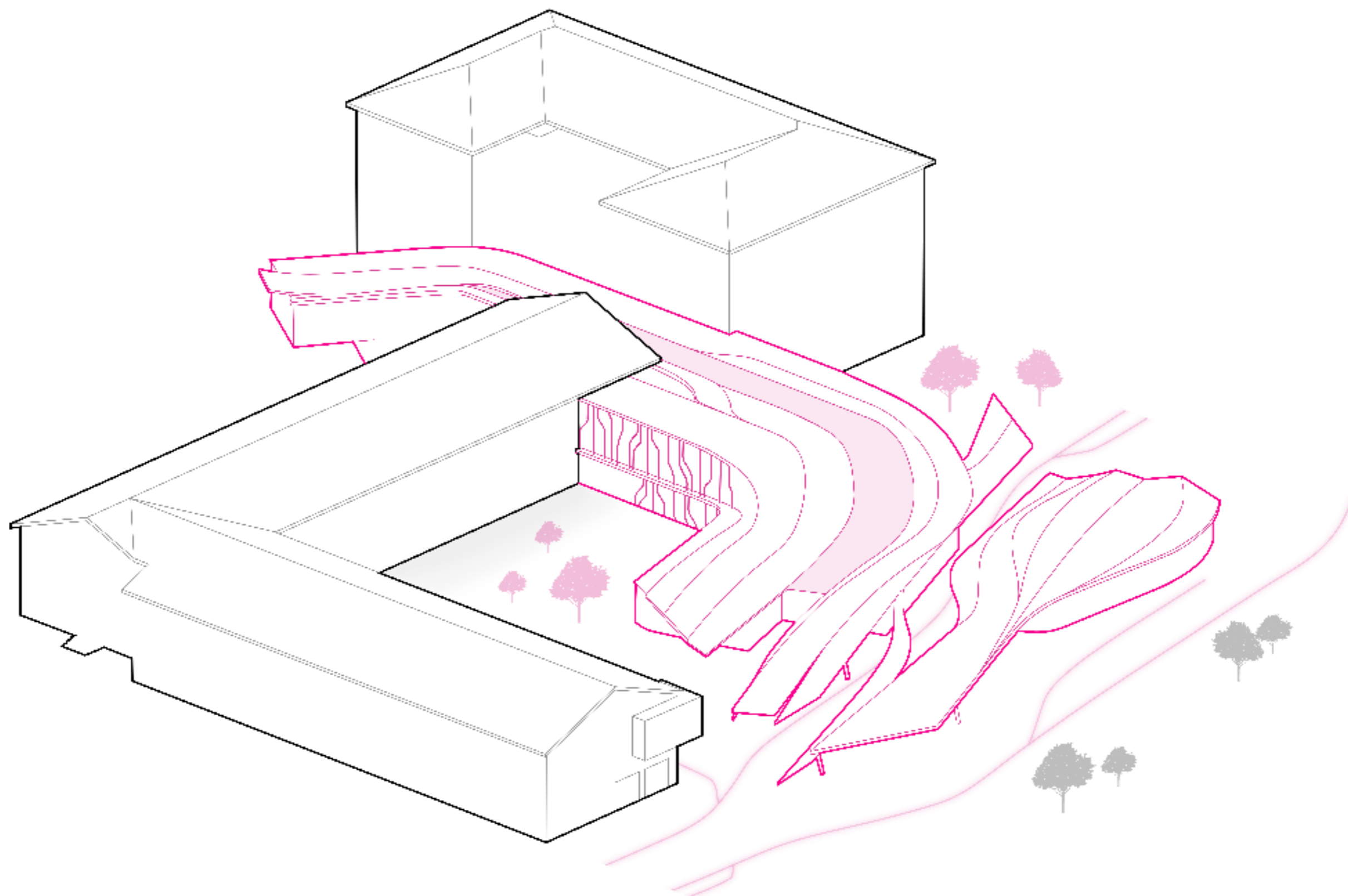
Joonis 37. Katust kandev optimeeritud konstruktsioon(Autori joonis)



Joonis 38. Optimeeritud osa siduv betoonpaneel (Autori joonis)



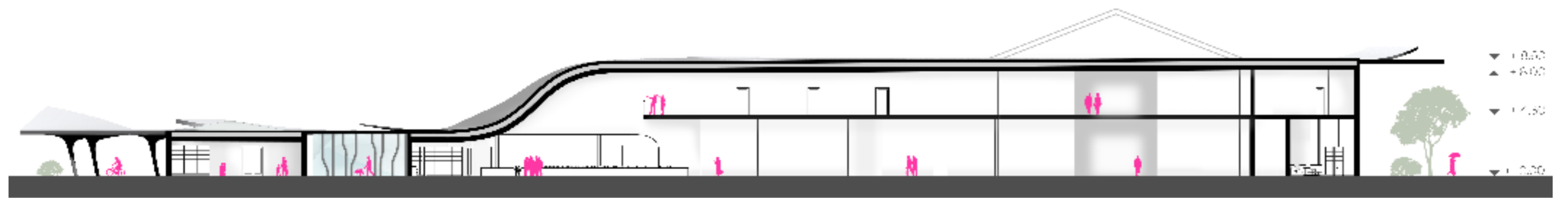
Joonis 39. Katusekonstruktsioon (Autori joonis)



Joonis 40. Uus ja vana (Autori joonis)



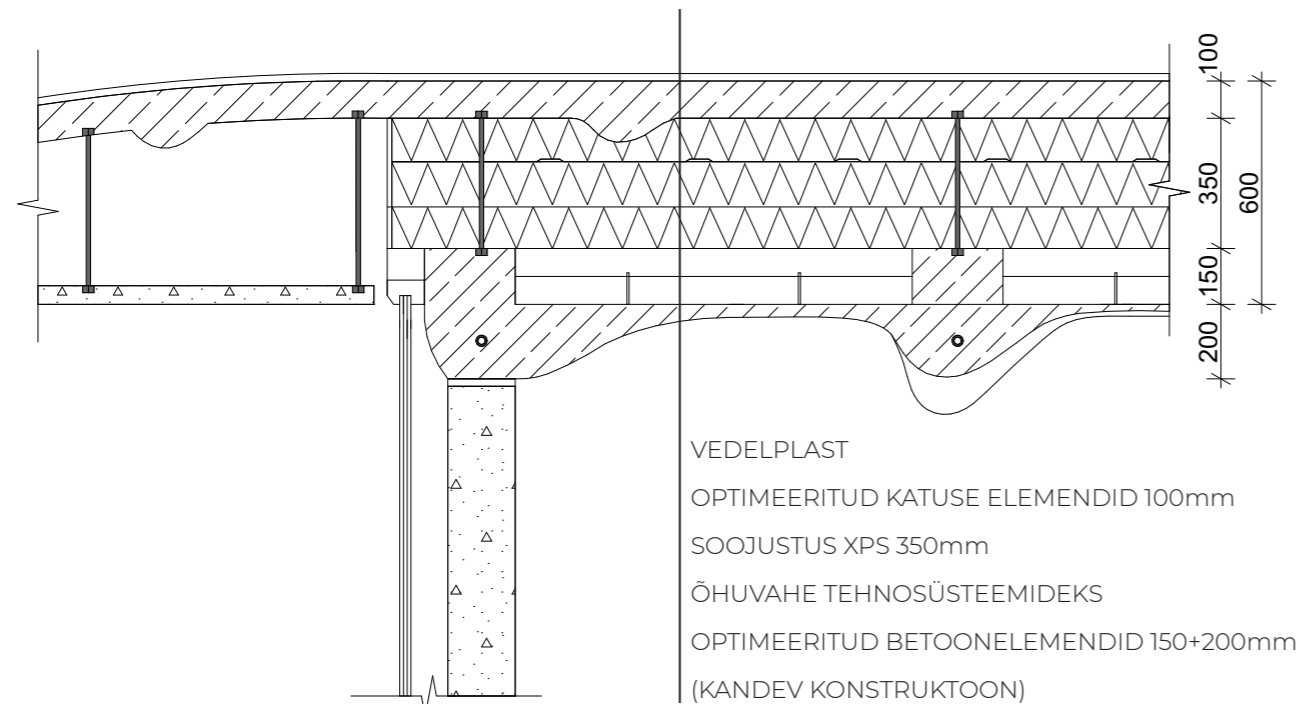
Joonis 41. Ilupilt - vaade esimesel korrusel (Autori joonis)



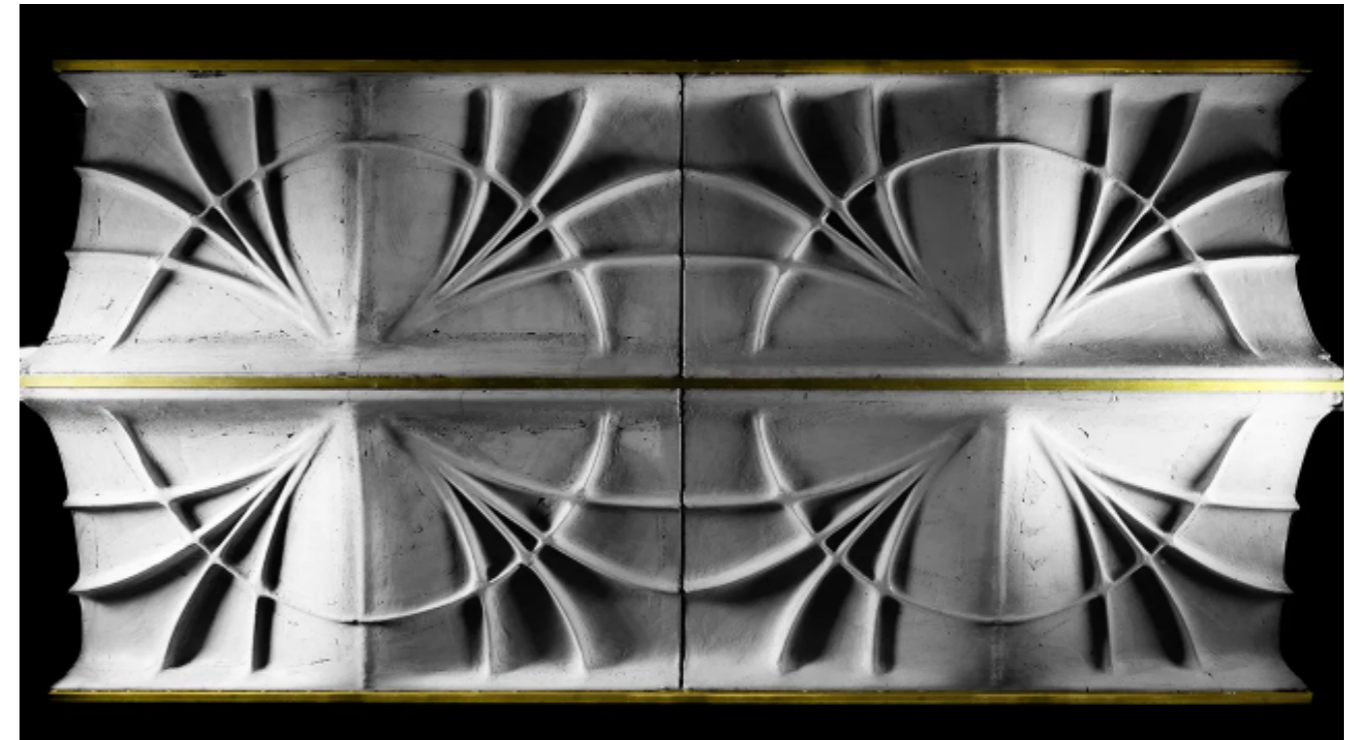
Joonis 42. Lõige 1 1:300 (Autori joonis)



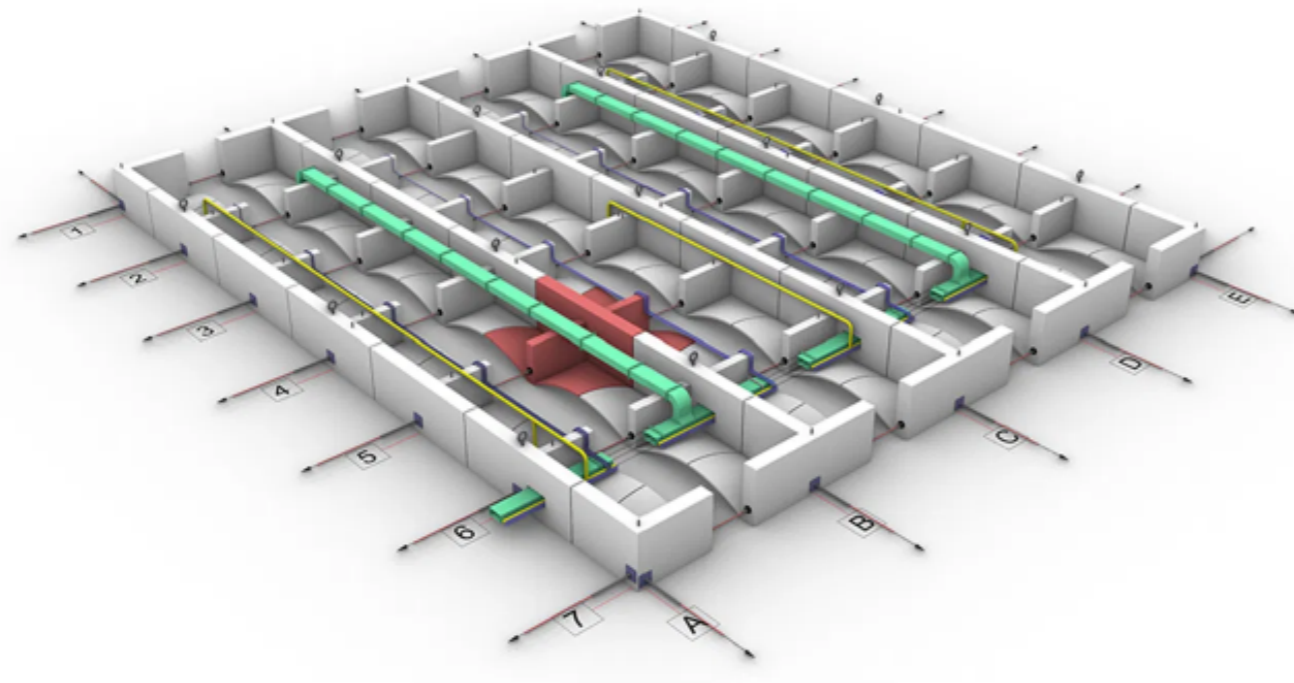
Joonis 43. Lõige 2 1:300 (Autori joonis)



Joonis 44. Räästa sõlm 1:20 (Autori joonis)



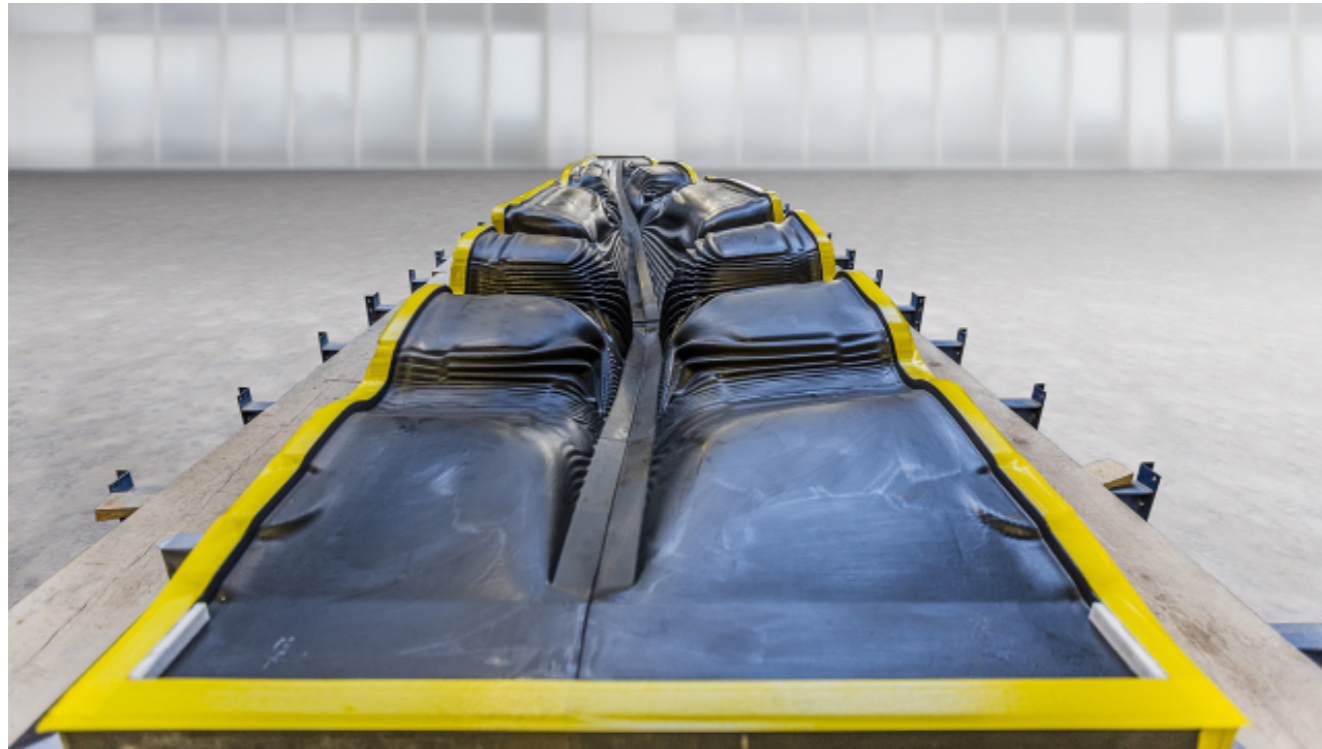
Joonis 46. Digital Building Technologies, Andrei Jipa
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/fast-complexity/>



Joonis 45. Digital Building Technologies, Andrei Jipa
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/fast-complexity/>



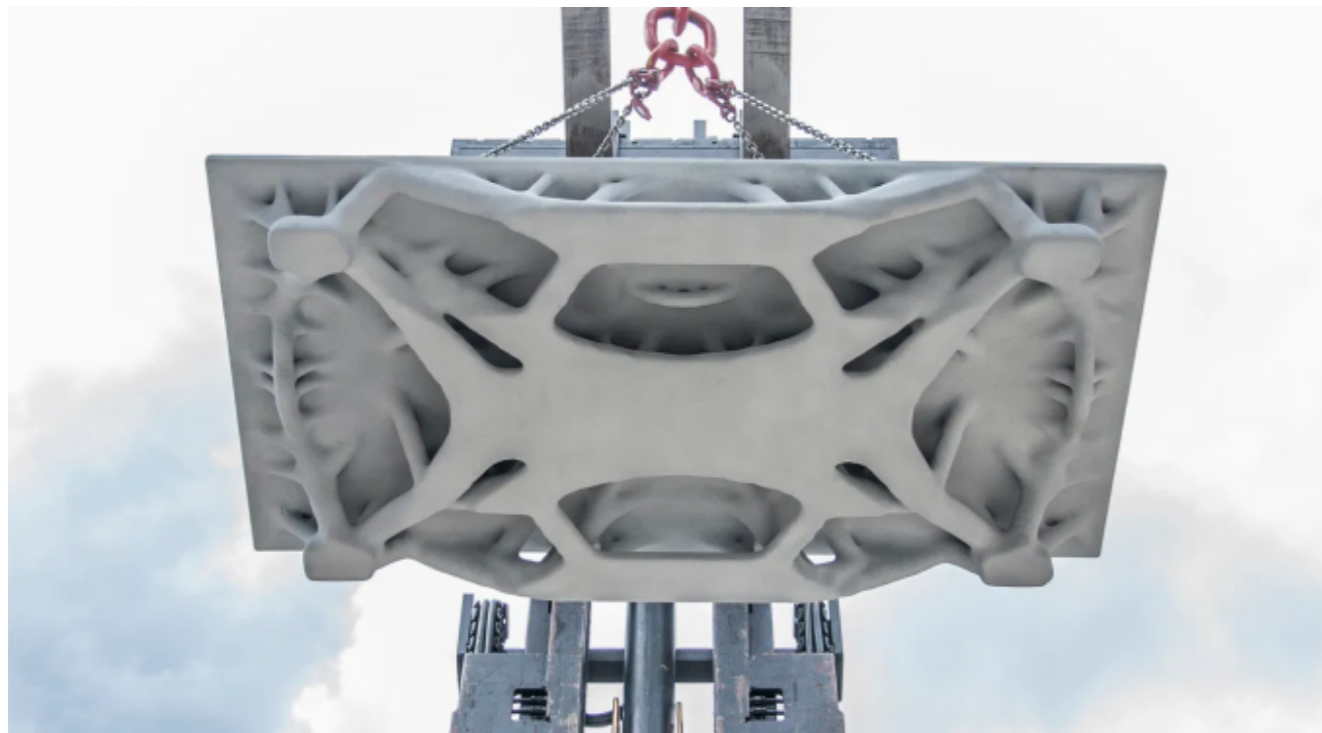
Joonis 47. Digital Building Technologies, Ana Anton
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/fast-complexity/>



Joonis 48. The Smart Slab - Optimeeritud elemendi vorm
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab/>



Joonis 50. The Smart Slab - Üksik optimeeritud element
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab/>



Joonis 49. 3D Printed Concrete Slab
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/topology-optimisation-concrete-slab/#jp-carousel-24883>



Joonis 51. The Smart Slab- Paigaldatud osa laest
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab/>

9.7.3 Tehnilised lahendused

Hoonete konstruktiivsed elemendid loovad sisestruktuuri, mis on kohandatud erinevate tehnoloogiliste lahenduste mugavaks paigaldamiseks ja vahetamiseks.

Vundament

Hoone asukoht on vanade ning aktiivsete kaevanduste lähedal, mistõttu maapinnas võib olla tavalisest rohkem vibratsioone. Kindla lahenduse vundamendi jaoks annaks keerukas olukorras teostatud pinnaseuuring, kuid projekti raames on lahendatud hoone plaatvundamendiga. Plaatvundament jääb võrreldes teiste vundamentidega üpris pinna peale ning suur toetuspind võtab paremini maapinnalt vibratsioone vastu. See tagab hoone kasutajatele võimalikult mugava, vaikse ning vibratsioonideta töökeskkonna.

Välisseinad

Välisseinad on uuel hoonel suures osas klaasfassaadid, millel looklevad elemendid annavad majale karakteri ning huvitava visuaalse välimuse. Klaasijaotuste vahele on paigutatud vastavalt vjaadusele sirged elemendid, mis ulatuvad sügavamale hoonesse ning on ühtlasi konstruktiivsed kandvad postid.

Siseseinad

Hoone siseseinad on kandvates osades raudbetoonist, mille viimistluseks on modulaarsed paneelid. See võimaldab andurite ja tehnoloogiliste võimaluste muutumisel kergelt süsteeme vahetada ja uusi lisada ilma, et peaks olemasolevaid seinasid ümber ehitama.

Põrandad

Hoone põrand ja vahelagi on monoliitsetest raudbetoonist. Sarnaselt seintele, on põrandakihi alla jäetud õhuruum süsteemide, kaablite ja andurite paigaldamiseks ning mugavaks vahetamiseks. Kerge ligipääsetavus tagab võimalikult multifunktsionaalsed võimalused ja arvestab tulevikus muutuvate lahendustega.

Katus

Katus on planeeritud 3D prinditud ja 3D printimistehnoloogiad ära kasutavatest betoonelementidest, mille seob ühtseks tervikuks süsinikkiududest eksoskelett. Katust kannavad optimeeritud betoonvõrgustikud, mis omavad rohkem materjali vajaminevates kohtades. Välisruumis paikevaid varikatuseid toestavad betoonpostid. Katuse keskel jookseb voolujooneline katuseaken, mis on kirkast, suure peegeldusteguriga klaasist, et vältida hoone ülekuumenemist.

Koostöös ulatusliku klaasfassaadiga tagab see hoonesse suurel määral päevavalgust ning vähendab selle arvelt valgustite töötamise aega. Liigse päikese korral on võimalik katuseaken varjestada seespoolt siinidel toimiva varjestussüsteemiga. Vastavalt vajadusele ja efektiivsusele on võimalik siinide külge kinnitada automaatselt liikuvad ja suunda muutvad metallribid või pehmem võrk, mis vastavalt vajadusele saab ennast lahti ja kokku rullida, et tagada tekstuurst tulenevalt päikese hulga muutus siseruumis.

Sadevesi

Sadevesi katusel juhitakse klaasilt katusepaneelidele, mis suunavad vee omakorda äravoolutorudesse. Kogu sadevee juhtimine on lahendatud hoone siseselt.

Tuleohutus

Hoone tuleohutus on ajas paremaks muutuv, kus tehnoloogia arendedes on võimalik tagada järjest turvalisem ruum. Tuleohtuse tagavad ruume kaaristavad andurid, vingukaasiandurid ning termokaamerad. Tark maja suudab tulekolde piirata tuletõkkeuste ja -kaardinatega ning juhatada inimesed majast välja. Hoone teavitab tulekahju korral koheselt ise päästkeskust ning annab ülevaate häire tekkepõhjusest.

Küte ja jahutus

Hoone kütmis- ja jahutusvajadused on lahendatud maa-aluses veekihis energia talletamisega (Aquifer thermal energy storage). Süsteem töötab puurkaevude põhiselt, kus talvel pumbatakse maa seest välja sooja vett ning suunatakse pärast külma tsooni. Suvel toimitakse vastupidiselt ning külma vett kasutatakse jahutamiseks. Selline süsteem on loodussõbralik ning vähendab CO₂ emissioone. Kasulik on rakendada antud lahendust olukorras, kus köetav ja jahutatav pind on suurem kui 5000m². Koos olemasoleva vana hoonega on pind sobilik ning puurkaevu lahendus arvestatav.

Takistuseks võib osutada pinnase situatsioon, kus sügaval on suured liikuvad veemassid, mis jahutavad sooja vett, kuid selliseid probleeme saab tuvasatada vaid kindlate pinnaseuuringutega.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Akkaya, K., Guvenc, I., Aygun, R., Pala, N., & Kadri, A. (2015, March). IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings. In 2015 IEEE Wireless communications and networking conference workshops (WCNCW) (pp. 58-63). IEEE.
2. Aparicio, S., Pérez, J., Bernardos, A. M., & Casar, J. R. (2008, August). A fusion method based on bluetooth and wlan technologies for indoor location. In 2008 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (pp. 487-491). IEEE.
3. Beyond the Geometry Plastic 3D Printed Pavilion / Archi-Union Architects + Fab-Union. https://www.archdaily.com/960939/beyond-the-geometry-the-worlds-largest-modified-plastic-3d-printing-architecture-archi-union-architects?ad_source=search&ad_medium=search_result_all
4. Biometrics, Smartphones Poised to Replace Key Cards. <https://www.facilitiesnet.com/security/article/Biometrics-Smartphones-Poised-to-Replace-Key-Cards--18847>
5. Bullitt Center. <https://bullittcenter.org/building/>
6. Carbon Fiber Exoskeleton - 3D printing of carbon fiber-reinforcement with formworks for freeform thin concrete components. https://www.archdaily.com/952445/the-master-of-advanced-studies-in-architecture-and-digital-fabrication-at-eth-zurich-unveils-its-latest-thesis-achievements?ad_source=search&ad_medium=search_result_all
7. Chaudhari, A., Lakhani, K., & Deulkar, K. (2015). Transforming the world using holograms. *International Journal of Computer Applications*, 130(1), 30-32.
8. Chiesa, G., Di Vita, D., Ghadirzadeh, A., Herrera, A. H. M., & Rodriguez, J. C. L. (2020). A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings. *Automation in Construction*, 120, 103397.
9. Contigiani, M., Pollini, R., Sturari, M., Mancini, A., & Frontoni, E. (2017). IoT Architecture for the Processing of Data Collected by a Central Vacuum Cleaner. In ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.
10. de Elía, R., & Laprise, R. (2005). Diversity in interpretations of probability: Implications for weather forecasting. *Monthly Weather Review*, 133(5), 1129-1143.
11. Dheena, P. F., Raj, G. S., Dutt, G., & Jinny, S. V. (2017, December). IOT based smart street light management system. In 2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS) (pp. 368-371). IEEE.
12. DT Quattro DCS. https://www.steinel.net/DT_Quattro_DCS
13. Fast complexity. <https://dbt.arch.ethz.ch/project/fast-complexity/>
14. Germany: DSK publishes guidance on video surveillance by non-public bodies under the GDPR. <https://www.dataguidance.com/news/germany-dsk-publishes-guidance-video-surveillance-non-public-bodies-under-gdpr>
15. Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S., Gui, X., & Suryadevara, N. (2015). WSN-and IOT-based smart homes and their extension to smart buildings. *Sensors*, 15(5), 10350-10379.
16. Hoone energiatõhususe miimumnõuded. (2015). RT I, 05.06.2015, 15 Loetud aadressil <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015>
17. Internet of things (IoT). <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
18. Karlsson, F., Karlsson, M., Bernhardsson, B., Tufvesson, F., & Persson, M. (2015, July). Sensor fused indoor positioning using dual band WiFi signal measurements. In 2015 European control conference (ECC) (pp. 1669-1672). IEEE.
19. Lohani, D., & Acharya, D. (2016, June). Smartvent: A context aware iot system to measure indoor air quality and ventilation rate. In 2016 17th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM) (Vol. 2, pp. 64-69). IEEE.
20. Luo, X. J., Oyedele, L. O., Ajayi, A. O., Monyei, C. G., Akinade, O. O., & Akanbi, L. A. (2019). Development of an IoT-based big data platform for day-ahead prediction of building heating and cooling demands. *Advanced Engineering Informatics*, 41, 100926.
21. Machine learning: What it is and why it matters. https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/machine-learning.html
22. Magno, M., Polonelli, T., Benini, L., & Popovici, E. (2014). A low cost, highly scalable wireless sensor network solution to achieve smart LED light control for green buildings. *IEEE Sensors Journal*, 15(5), 2963-2973.
23. Meyn, S., Surana, A., Lin, Y., Oggianu, S. M., Narayanan, S., & Frewen, T. A. (2009, December). A sensor-utility-network method for estimation of occupancy in buildings. In Proceedings of the 48th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) held jointly with 2009 28th Chinese Control Conference (pp. 1494-1500). IEEE.
24. Minoli, D., Sohraby, K., & Occhiogrosso, B. (2017). IoT considerations, requirements,

and architectures for smart buildings—Energy optimization and next-generation building management systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 269-283.

25. Moreno, M., Úbeda, B., Skarmeta, A. F., & Zamora, M. A. (2014). How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings?. *Sensors*, 14(6), 9582-9614.

26. Neuralink. <https://neuralink.com/applications/>

27. Ong, R. J., & Azir, K. K. (2020, February). Low Cost Autonomous Robot Cleaner using Mapping Algorithm based on Internet of Things (IoT). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 767, No. 1, p. 012071). IOP Publishing.

28. OpenAI API. <https://openai.com/blog/openai-api/>

29. Poole, D., Mackworth, A., & Goebel, R. (1998). Computational intelligence: a logical approach. (1998). Google Scholar Google Scholar Digital Library Digital Library.

30. Powerhouse Telemark – a Sustainable Model for the Future of Workspaces <https://snohetta.com/projects/523-powerhouse-telemark-a-sustainable-model-for-the-future-of-workspaces>

31. Powerhouse Telemark / Snøhetta. <https://www.archdaily.com/950507/powerhouse-telemark-snohetta>

32. Sinopoli, J. M. (2009). Smart buildings systems for architects, owners and builders. Butterworth-Heinemann.

33. Smart fire detection techniques. <https://www.eaton.com/au/en-gb/markets/buildings/how-we-drive-building-efficiency-and-safety/safe-evacuation/detect/smart-fire-detection-techniques.html>

34. Song, W., Feng, N., Tian, Y., & Fong, S. (2017, June). An IoT-based smart controlling system of air conditioner for high energy efficiency. In *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)* (pp. 442-449). IEEE.

35. Spanias, A. S. (2017, August). Solar energy management as an Internet of Things (IoT) application. In *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)* (pp. 1-4). IEEE.

36. Sullivan, Y., de Bourmont, M., & Dunaway, M. (2020). Appraisals of harms and injustice

trigger an eerie feeling that decreases trust in artificial intelligence systems. *Annals of Operations Research*, 1-24.

37. Sungur, C. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable energy*, 34(4), 1119-1125.

38. Zhang, A., & Cristol, D. (Eds.). (2019). *Handbook of mobile teaching and learning*. Springer.

39. Zhao, Y., Genovese, P. V., & Li, Z. (2020). Intelligent Thermal Comfort Controlling System for Buildings Based on IoT and AI. *Future Internet*, 12(2), 30.

40. The Edge / PLP Architecture. <https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture>

41. The Edge. <https://edge.tech/developments/the-edge>

42. The smartest building in the world. <https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/>

43. The 'World's Greenest Commercial' Building Opens in Seattle Today. <https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenest-commercial-building-opens-in-seattle-today>

44. Topology optimisation for a concrete slab. <https://dbt.arch.ethz.ch/project/topology-optimisation-concrete-slab/>

45. Yang, Z., Li, N., Becerik-Gerber, B., & Orosz, M. (2012, March). A multi-sensor based occupancy estimation model for supporting demand driven HVAC operations. In *Proceedings of the 2012 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design* (pp. 1-8).

JOONISED

- Joonis 1. Smart home as a System-of-Systems
Joonis 2. Multifunktsionaalsete andurite mitmekesine kasutamine
Joonis 3. Aktiivne valgustuse seadistamine anduritega
Joonis 4. iRobot ruumi kaardistamise trajektoori graafik
Joonis 5. iRoboti ruumiplaani kaardistamise presentatsioon läbi kasutajaliidese
Joonis 6. Fikseeritud, ühel teljel liikuv ja kahel teljel liikuv päikesepaneelide skeem
Joonis 7. Asjade interneti ühenduste võimekust illustreeriv skeem
Joonis 8. Tehisintellekti tehisnärvivõrgu struktuuri sarnasustinimajuga võrdel illustratsioon
Joonis 9. The Edge - vaade väljast
Joonis 10. The Edge - vaade aatriums
Joonis 11. The Edge - vaade aatriums
Joonis 12. Vaade tänavalt
Joonis 13. Energiakasutus
Joonis 14. Vaade trepikojast
Joonis 15. Vaade õuest
Joonis 16. Töökohad
Joonis 17. Sisevaade
Joonis 18. Asendiplaan
Joonis 19. Tarkade nurkade skeem
Joonis 20. Esteetilist ühtsust illustreeriv skeem
Joonis 21. Ilupilt - vaade õhust
Joonis 19. Tark nurk: automatiseeritud tänavavalgustus tiheda liiklusega alas
Joonis 20. Tark nurk: päikesepaneelid ja olemasoleva hoone varjestus
Joonis 21. Tark nurk: kütte-, ventilatsiooni- ja filtreerimissüsteemid
Joonis 22. Ilupilt - vaade vana maja peasissepääsu poolt
Joonis 23. Ilupilt - vaade sisehoovist
Joonis 24. 1. korrus 1:300
Joonis 25. Vaade edelast 1:300
Joonis 26. Vaade kirdest 1:300
Joonis 27. 2. korrus 1:300
Joonis 28. Üksiku inimese skeem
Joonis 29. Väikese grupi skeem
Joonis 30. Väikese grupi skeem
Joonis 31. Suure grupi skeem
Joonis 32. Ilupilt - vaade teiselt korruselt
Joonis 33. I korruse põrandad
Joonis 34. I korruse kandvad konstruktsioonid
Joonis 35. II korruse põrand/vahelagi
Joonis 36. II korruse kandvad konstruktsioonid
Joonis 37. Katust kandev optimiseeritud konstruktsioon
Joonis 38. Optimiseeritud osa siduv betoonpaneel
Joonis 39. Katusekonstruktsioon
Joonis 40. Uus ja vana
Joonis 41. Ilupilt - vaade esimesel korrusel
Joonis 42. Lõige 1 1:300
Joonis 43. Lõige 2 1:300
Joonis 44. Räästa sõlm 1:20
Joonis 45. Digital Building Technologies, Andrei Jipa
Joonis 46. Digital Building Technologies, Andrei Jipa
Joonis 47. Digital Building Technologies, Ana Anton
Joonis 48. The Smart Slab - Optimiseeritud elemendi vorm
Joonis 49. 3D Printed Concrete Slab
Joonis 50. The Smart Slab - Üksik optimiseeritud element
Joonis 51. The Smart Slab- Paigaldatud osa laest

LISA 1 - EKSPERTINTERVJU

Interviewer: Tauri Tamme

Interviewee: Fabian Dembski- Professor of Digital Participatory City Planning at Tallinn University of Technology, Academy of Architecture and Urban Studies, Estonia, and postdoc researcher and head of the Competence Center for Global Systems Science (bwHPC-S5) at High-Performance Computing Center Stuttgart, Germany.

1) Does an AI system overseeing the building need its own computer, or could it function in one supercomputer side by side with other activities without interfering with them?

The AI system could work in the same computer or rather system.

At HLRS we used to focus on CPUs for our flagship systems to support codes used in computationally intensive simulations. Recently interest in deep learning and AI grew, but these applications run much more efficiently on GPUs. This is the reason why at HLRS we are currently expanding our CPU-based supercomputing system HAWK by adding (24 HPE Apollo 6500 Gen10 Plus systems with 192 NVIDIA A100) GPUs based on the NVIDIA Ampere architecture.

Additional 120 petaflops of AI performance will dramatically expand the ability to support applications of deep learning, high-performance data analytics and artificial intelligence. It will also enable new ways of hybrid computing workflows that combine traditional applications like simulation and other methods with big data.

2) Is a supercomputer necessary for a system that controls the whole building and all of its aspects or is the computing power of a supercomputer far more superior and a regular high-end computer would be enough?

A building is a relatively small system which could be, in my opinion (but I am not an expert) probably handled by a regular computer based on a GPU architecture. It becomes more complex if other buildings or the environment are interconnected and implemented.

3) Do you think that the ethics of artificial intelligence can be a problem in the future?

Is a scenario where AI decides to make the living conditions in a building as bad as possible a risk worth considering?

I think the ethics of artificial intelligence already are a problem today.

AI as we know it today is only made possible by a machine. This machine is called a computer. A computing machine that we trust to do many things, but we do not know exactly how it works and we cannot reconstruct what it actually does. The only ones who can reconstruct what a computer actually does are computers. We cannot. The term artificial intelligence mostly comes up in the context of machine learning these days. However, the neuronal networks that have to be trained in this process can actually no longer be reconstructed in their actions - for example, when analyzing large quantities (millions) of images and the resulting decisions of the computer. On the one hand, we trust technology because we assume that it works, but on the other hand we begin to distrust these machines because we can no longer understand how they work. This is a dilemma.

I am less afraid of artificial intelligence dominating us. AI is programmed by humans and is therefore dependent on their motivations. The people who decide how AI should work are more worrying - for example, when it comes to surveillance, capturing certain groups, for example, ethnicity, gender, appearance, religion, sexual orientation, „conformist behavior”, ... to name just a few examples.

4) Should a smart building look and feel smart even without displaying the built-in technology and devices to the user?

This is actually an essential question for architecture. I think in terms of transparency, I would make the technology and devices visible, even if what happens to the data collected will not be understandable for the user (and possibly also for the operator/owner of the building).

5) Should a smart building take its surroundings into consideration or should it only function inside as a closed system. In case it takes the surrounding area into consideration, how far should the intelligent area spread?

I think that the environment should be included in any case. In my opinion, the time of thinking of architecture in isolation in terms of buildings is over. Cities and city districts are becoming more and more interconnected. Buildings could also communicate more with each other. Reactions to energy demand or consumption, traffic, weather, and dangers (for example through emissions, extreme weather events, environmental hazards, etc.) but also opportunities by using the surrounding infrastructure should be included. The system boundary is difficult to define. Again, it probably depends on the size and use of the building. If the digital twins that are being planned work, then the borders would theoretically be set with the state borders. In practice, the neighborhood and district level will play the most important role, at least for the time being.

6) Can a supercomputer be efficiently used in mobile devices, such as smartphones and tablets to display information in real time that the device itself would not be able to compute?

In this case the mobile device would act only as a display and complicated calculations would be made in one central computer. I found this idea in a study but I was wondering if it would be possible in a situation like this, where the whole building actually has only one computer? This would allow students and researchers to access data everywhere and use the full potential of the rooms in the building without having to sacrifice information.

This is theoretically already possible, but — to my knowledge — not really applied yet — at least not directly. In order to visualize the — sometimes gigantic — amounts of data from simulations or analyses generated by supercomputers, a “translation” is needed. This works, for example, with software developed specifically for this purpose (COVISE or Vistle, for example <https://www.hlrs.de/covise/>), but it is not automated either. It needs science communication and the corresponding people who are capable of communicating complex content in such a way that the end user can

understand it. This applies not only to mobile devices, but also to all other types of visual scientific communication.

7) The need for privacy has been growing over the years and the use of cameras might not be the most favourable approach in the future to track people's movements. Could it be possible to combine other, less visual tracking methods (Wi-Fi signals, Bluetooth, room presence sensors, thermal sensors and motion detectors) through AI to get accurate enough readings to track the movement of individual people while keeping them anonymous from other people?

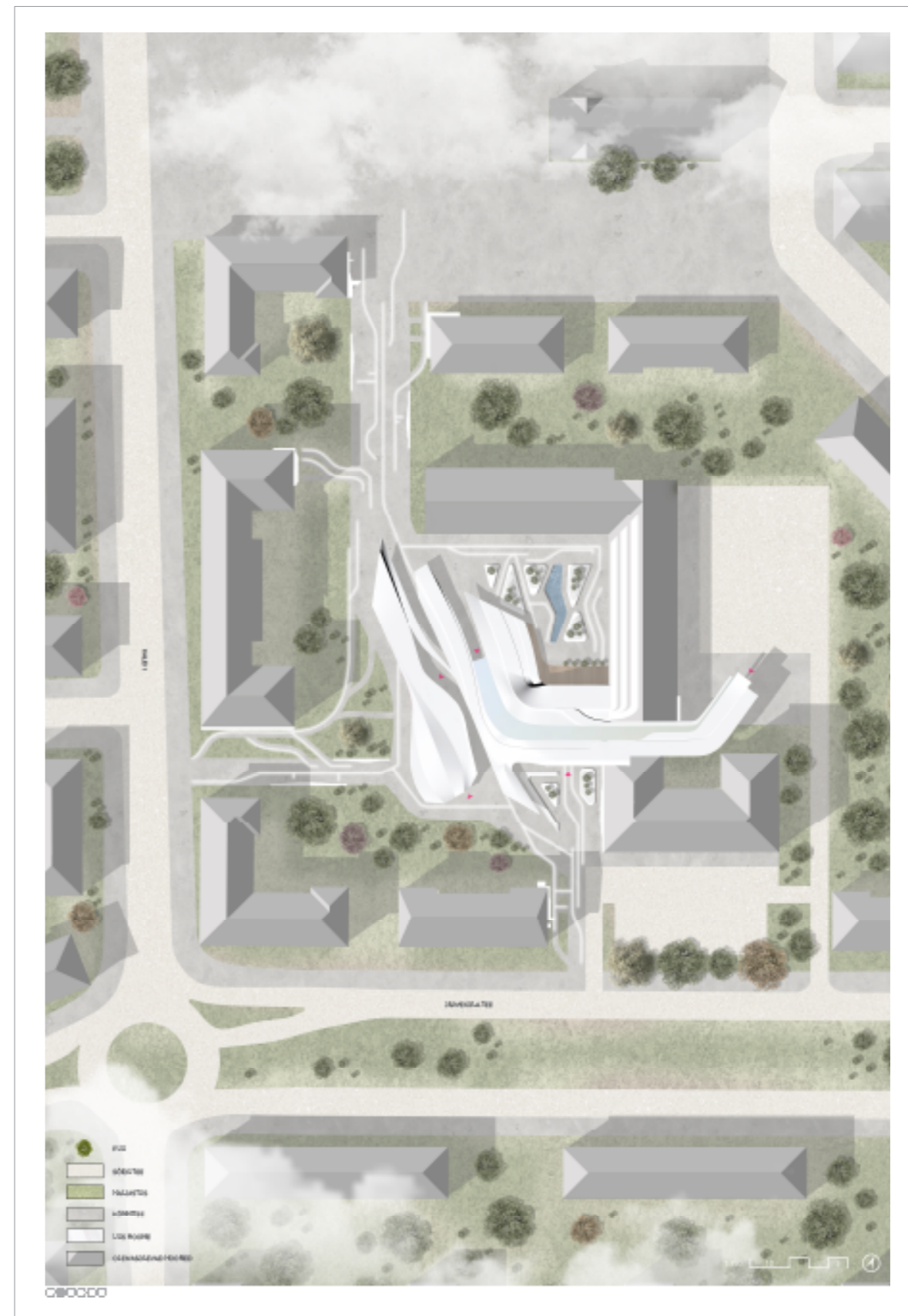
I have found many case studies that test these systems separately but there haven't been large scale tests where all these technologies work together. The results with individual tests were quite accurate, leading me to believe that combining these technologies could actually lead to very solid results.

I am not an expert on sensors, but I think there are a lot of interesting developments. It probably depends on how exactly you need this data, i.e. what spatial deviations you can tolerate. Cameras do not automatically mean working with personalized data. Rather, machine learning can be used to “abstract”, i.e. to determine gender and approximate age, for example. This can be done in such a way that no image data is recorded, but the camera or the associated system only records the trajectories or movement patterns of the persons, but not their identity or even image data. However, with each of the technologies you listed, it is possible to draw conclusions about the person or the passer-by, because the starting and ending point of the path would be recorded - for example, a specific workplace. This is also a topic that we are currently dealing with in a project in Stuttgart, where we have such trajectories calculated with the help of cameras and machine learning and also use additional sensors (GPS, distance sensors, stress sensors) - but in public spaces where it is easier to anonymize.

8) As I understand, privacy is very valued in Germany and video cameras aren't used as much. Would "anonymous" tracking, where a computer assigns you a certain ID, tracks you with algorithms and calculations and makes its own predictions be okay? Would this still be considered a violation of privacy, when the only one who knows about you is a complicated AI system?

I think that in German-speaking countries there is generally a lot of skepticism about the recording of data and surveillance. This is related to history — the Second World War and the horrors of National Socialism, but also (especially in Germany) to the regime of the GDR. This is not likely to change any time soon, I think. One example is a currently used Corona warning app which, although completely anonymized, is not very popular. Infections, for example, are not reported via the app by the users, even if they cannot be traced to a specific person.

LISA 2 - PLANŠETID

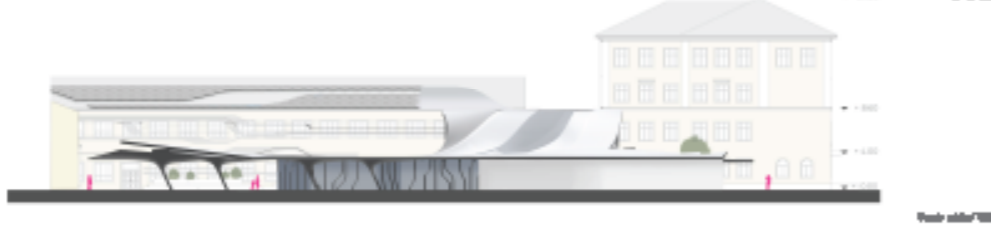
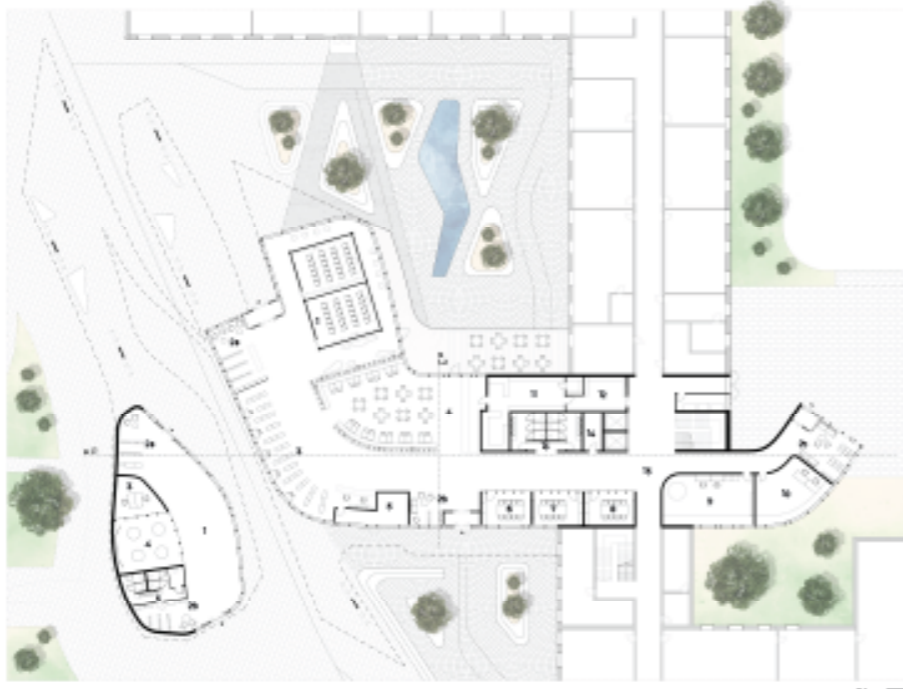




PROJEKTI LAHENKUS

Projektin lähtökohdat ja tavoitteet. Tarkoituksena on luoda modernin ja viihtyisän asuinalueen, joka tarjoaa laadukkaita asumis- ja vapaa-ajan tiloja. Alueen suunnittelu on otettu huomioon, ja kaikki rakennukset on suunniteltu vastaamaan korkeita laatuvaatimuksia. Projektin tavoitteena on luoda asuinalue, joka on turvallinen, viihtyisä ja tarjoaa kaikki tarvittavat palvelut ja tilat. Alueen suunnittelu on otettu huomioon, ja kaikki rakennukset on suunniteltu vastaamaan korkeita laatuvaatimuksia.

- 1. Asuinrakennukset
- 2. Kaupunkikeskus
- 3. Vapaa-ajan alue
- 4. Puisto
- 5. Kulkuväylät
- 6. Terveystieteiden keskus
- 7. Koulutuskeskus
- 8. Nuorisokeskus
- 9. Kulttuurikeskus
- 10. Liikuntakeskus
- 11. Nuorisokeskus
- 12. Kulttuurikeskus
- 13. Liikuntakeskus
- 14. Nuorisokeskus
- 15. Kulttuurikeskus
- 16. Liikuntakeskus
- 17. Nuorisokeskus
- 18. Kulttuurikeskus
- 19. Liikuntakeskus
- 20. Nuorisokeskus
- 21. Kulttuurikeskus
- 22. Liikuntakeskus
- 23. Nuorisokeskus
- 24. Kulttuurikeskus
- 25. Liikuntakeskus
- 26. Nuorisokeskus
- 27. Kulttuurikeskus
- 28. Liikuntakeskus
- 29. Nuorisokeskus
- 30. Kulttuurikeskus
- 31. Liikuntakeskus
- 32. Nuorisokeskus
- 33. Kulttuurikeskus
- 34. Liikuntakeskus
- 35. Nuorisokeskus
- 36. Kulttuurikeskus
- 37. Liikuntakeskus
- 38. Nuorisokeskus
- 39. Kulttuurikeskus
- 40. Liikuntakeskus
- 41. Nuorisokeskus
- 42. Kulttuurikeskus
- 43. Liikuntakeskus
- 44. Nuorisokeskus
- 45. Kulttuurikeskus
- 46. Liikuntakeskus
- 47. Nuorisokeskus
- 48. Kulttuurikeskus
- 49. Liikuntakeskus
- 50. Nuorisokeskus



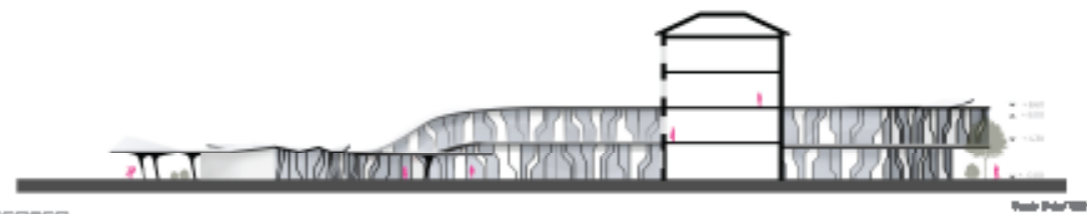
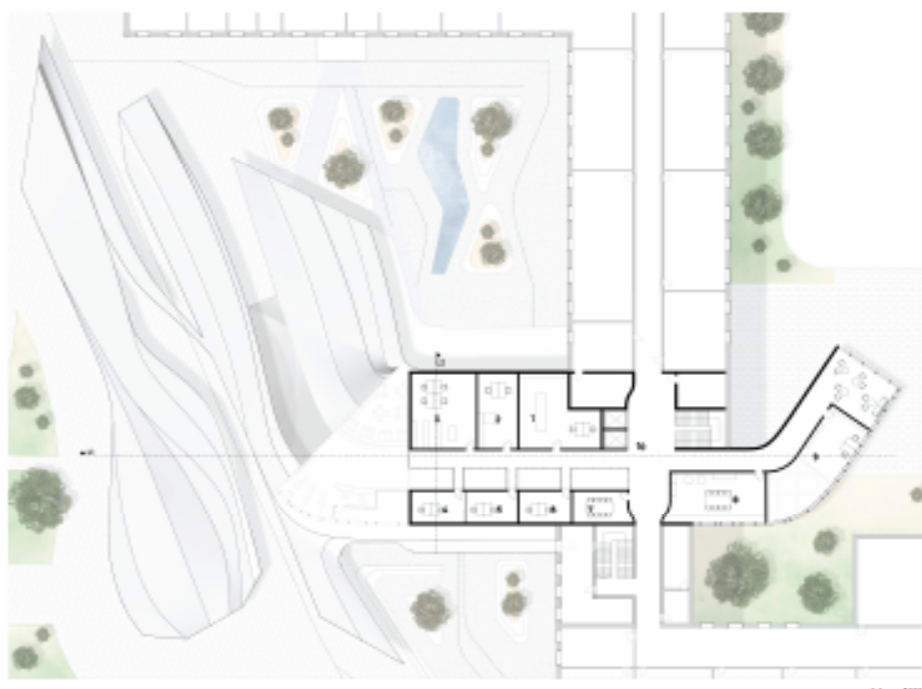
CC@CCO

Veikko Peltola/CCO



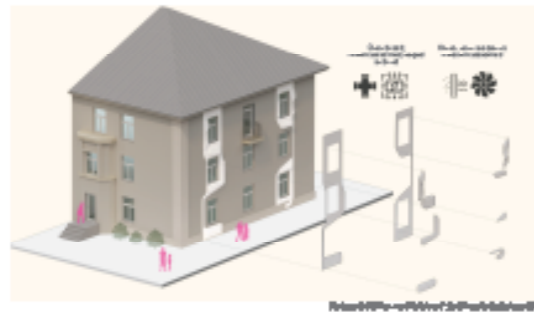
Projektin lähtökohdat ja tavoitteet. Tarkoituksena on luoda modernin ja viihtyisän asuinalueen, joka tarjoaa laadukkaita asumis- ja vapaa-ajan tiloja. Alueen suunnittelu on otettu huomioon, ja kaikki rakennukset on suunniteltu vastaamaan korkeita laatuvaatimuksia. Projektin tavoitteena on luoda asuinalue, joka on turvallinen, viihtyisä ja tarjoaa kaikki tarvittavat palvelut ja tilat. Alueen suunnittelu on otettu huomioon, ja kaikki rakennukset on suunniteltu vastaamaan korkeita laatuvaatimuksia.

- 1. Asuinrakennukset
- 2. Kaupunkikeskus
- 3. Vapaa-ajan alue
- 4. Puisto
- 5. Kulkuväylät
- 6. Terveystieteiden keskus
- 7. Koulutuskeskus
- 8. Nuorisokeskus
- 9. Kulttuurikeskus
- 10. Liikuntakeskus
- 11. Nuorisokeskus
- 12. Kulttuurikeskus
- 13. Liikuntakeskus
- 14. Nuorisokeskus
- 15. Kulttuurikeskus
- 16. Liikuntakeskus
- 17. Nuorisokeskus
- 18. Kulttuurikeskus
- 19. Liikuntakeskus
- 20. Nuorisokeskus
- 21. Kulttuurikeskus
- 22. Liikuntakeskus
- 23. Nuorisokeskus
- 24. Kulttuurikeskus
- 25. Liikuntakeskus
- 26. Nuorisokeskus
- 27. Kulttuurikeskus
- 28. Liikuntakeskus
- 29. Nuorisokeskus
- 30. Kulttuurikeskus
- 31. Liikuntakeskus
- 32. Nuorisokeskus
- 33. Kulttuurikeskus
- 34. Liikuntakeskus
- 35. Nuorisokeskus
- 36. Kulttuurikeskus
- 37. Liikuntakeskus
- 38. Nuorisokeskus
- 39. Kulttuurikeskus
- 40. Liikuntakeskus
- 41. Nuorisokeskus
- 42. Kulttuurikeskus
- 43. Liikuntakeskus
- 44. Nuorisokeskus
- 45. Kulttuurikeskus
- 46. Liikuntakeskus
- 47. Nuorisokeskus
- 48. Kulttuurikeskus
- 49. Liikuntakeskus
- 50. Nuorisokeskus



CC@CCO

Veikko Peltola/CCO



The building's facade is designed to optimize natural light and ventilation. The grid of windows allows for uniform light distribution across the interior spaces. The diagrams illustrate the placement and orientation of the windows to maximize their effectiveness.

