

KORTERELAMUTE TERVIKRENOVEERIMISE ARENDUSTÖÖ EESTIS VIIMASE 20 AASTA JOOKSUL – PANEELMAJA VUUKIDE TIHENDAMISEST KUNI NAABRUSKONNA TEHASELISE RENOVEERIMISENI

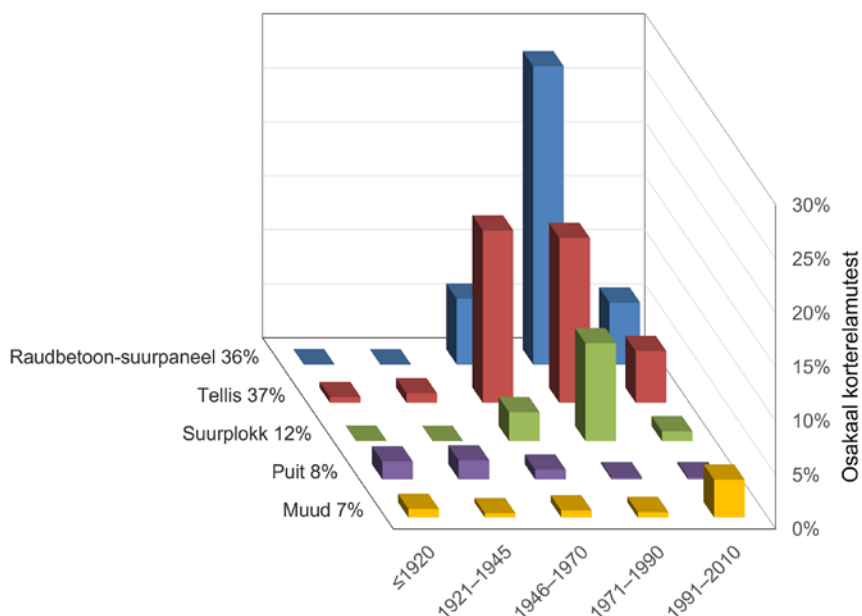
Targo Kalamees (Tallinna Tehnikaülikool)

*Teaduspreemia tehnika ja tehnoloogia valdkonnas tööde tsükli
„Elamufondi tervikrenoveerimine ja niiskusturvalisuse tagamine
inimeste elukvaliteedi parandamiseks ja hoonete keskkonnamõju
vähendamiseks“ eest*

Korterelamute renoveerimise vajadus

Kuna Teise maailmasõja käigus hävines üle poole sõjaeelsest elamufondist (Juursoo, 1978), valitses pärast sõda eluasemete järele suur puudus. Umbes 12 sõjajärgse aastaga suudeti taastada hävinenud elamispind pindalaliselt, aga elanikkonna kasvu ja säilinud elamute halva seisukorra tõttu oli tarvidus elamispinna järele tunduvalt suurem (EKP KK, ENSV MN, 1957). Peatselt tõdeti, et ettenähtud elamuehituse perspektiivprogrammi elluviimine ei ole mõeldav seniseid mitteindustriaalseid ehitusviise kasutades, sest selleks tuli ehitustegevusse suunata mitu korda rohkem tööjõudu, mis aga polnud pingelise tööjõubilansi tõttu võimalik (Treifeldt, 1959). Seepärast orienteeriti elamuehituse edasisel arendamisel tööstuslikele, esmalt suurplokki- ja seejärel raudbetoon-suurpaneel ehitusviisile. Korterelamute ehituse kõrgaeg Eestis oli aastatel 1961–1990 ehk nõukogude aja kesk- ja lõpuaastatel, mil ehitati 90 000 – 120 000 korterit kümnendis (Statistikaamet, 2021) (joonis 1). Arvestades tüüpilist korterelamu projekteeritud kasutusiga 40–50 aastat, hakkab see vanemate korterelamute puhul lähenema lõpule ja ette on vaja võtta tervikrenoveerimine.

Korterelamute tehnilist olukorda on üsna põhjalikult uuritud. 1993. aastal viis Soome ettevõtte AIR-IX OY läbi uuringud, mis hõlmasid nii 5- kui ka 16-korruselisi korterelamuid ja pilootprojektina renoveeriti 5-korruseline raudbetoon-suurpaneel elamu aadressil Õismäe tee 5. Mustamäe korterelamute konstruktsioonide seisukorda uurisid ning renoveerimise ettepanekuid



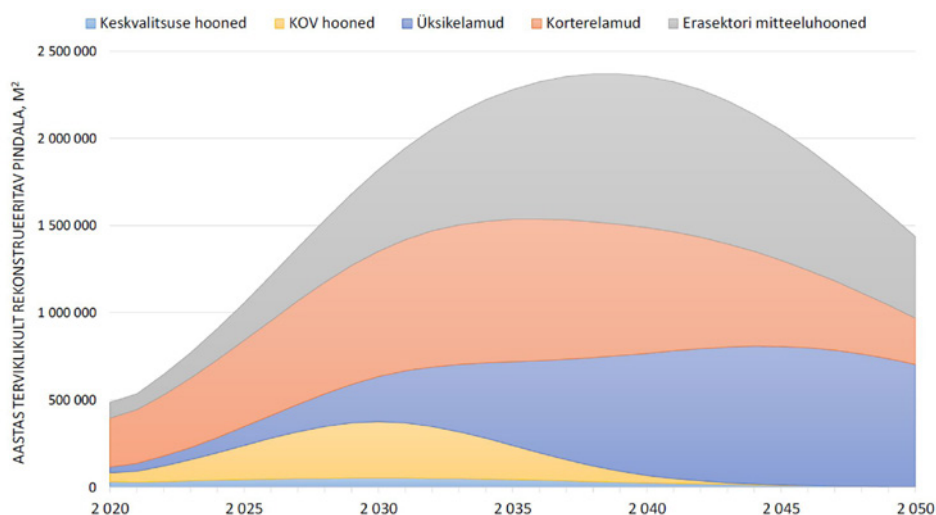
Joonis 1. Eesti korterelamute jaotus ehitusaasta ja välisseinakonstruktsiooni alusel (EHR, 2010).

tegid Ehituskonstrueerimise ja Katsetuste OÜ (EKK, 1994) ja inseneribüroo EstKONSULT (EstKONSULT, 1996). Perioodil 2009–2012 tegid Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteadlased uuringuid raudbetoon-suurpaneel- (Kalamees jt, 2009), tellis- (Kalamees jt, 2010) ja puitkorterelamute (Kalamees jt, 2011) ning pärast taasiseseisvumist ehitatud korterelamute kohta (Kalamees jt, 2012). Uuringute tulemused osutasid korterelamute renoveerimise vajadusele nii hoonete juba algselt probleemse tehnilise olukorra, puuduliku ruumiõhu kvaliteedi kui ka suure hooldusvõla tõttu. Konstruktsioonide osas on kõige murettekitavam korterelamute rõdude, varikatuste ja fassaadide olukord. Tehnilise Järelevalve Ameti läbi viidud rõdude ja rõdupiirete uuringu kohaselt tuvastati 87% väiksemaid ja suuremaid puuduseid rõdude kinnituselementides ja 61% ilmnis ühe suure või mitme puudusega kinnitusi, mis võivad kaasa tuua varingu (TJA, 2013).

Omaette renoveerimisvajaduse põhjustab vanemate korterelamute suur energiavajadus. Eesti korterelamute energiakasutus on ligi 250 kWh/(m²·a), millest suurima osa moodustab soojust kasutamine ruumide kütmiseks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks (Arumägi, Kalamees, 2014; Kuusk jt, 2014; Kuusk, Kalamees, 2016). Soojuskao põhjus on nii piirdetarindite ulatuslikus soojuslähivuses kui ka nende liitekohtades olevates soojasildades (Ilomets jt, 2017) ning piirdetarindite suures õhulekkes (Hallik jt, 2023). Need probleemid tuvastati ka esimeste raudbetoon-suurpaneelilamute juures – ehkki talvel ei langenud temperatuur väga madalale, külmusid välisseinad üksikutes kohtades läbi ja liitekohtadest puhus tuul sisse. Viga oli tingitud mitmest tegurist: seina konst-

ruksioonist (soojustust vaid 13 cm), materjalist, paneelide valmistamise ja montaaži kvaliteedist (Veigel, 1962). Suurt soojusvajasust põhjustas ka küttesüsteemi juhitamatus: puudusid termostaadid, ühe toruga küttesüsteemi oli raske juhtida ja tasakaalustada jne.

Teise maailmasõja järgse ehituslaine käigus rajatud elamute projekteeritud kasutusea lõppemine põhjustab praegusajal suure renoveerimisaine. Eesti hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia kohaselt tuleb aastaks 2050 terviklikult renoveerida vähemalt 14 000 korterelamut ja 105 000 üksikelamut (MKM, TalTech, 2020). Praegusega võrreldes on renoveerimisvajadus korterelamute puhul kuni kolmekordne ja üksikelamute puhul mitmekümnekordne (joonis 2). Nõudluse kasvuga hakkamasaamiseks on renoveerimisel vaja rakendada tööstuslikke meetodeid, kuna käsitöönduslikult me hakkama ei saa.



Joonis 2. Kumulatiivne aastane rekonstrueerimise vajadus (MKM, TalTech, 2020).

Korteralamute renoveerimise varasem praktika

Taasiseseisvumise alguses käivitus ka korteralamute renoveerimise uurimis- ja arendustöö. Esimestele projektidele tulid appi sõbralikud naabrid: Taani spetsialistid aitasid korraldada energiaaudiitorite koolitust, Soome aitas kaasa esimese renoveerimise katseprojekti koostamisel.

Esimene tähelepanuväärne renoveerimise pilootprojekt oli Õismäe tee 5 asuv 5-korruseline 60 korteriga raudbetoon-suurpaneelilammut (tabel 1, 1. rida), millel rekonstrueeriti küttesüsteem, puhastati ventilatsioonisüsteem, tihendati välisseinapaneelide vuugid, korrastati rõdud, uksed-aknad, soojustati otsafassaadid, puhastati ja värviti küljefassaadid (Majandusministeerium, 1997). Soojustamata

jäid kõik välisseinad, piirdetarindite ja akende soojuslähivus jäi siiski suureks ning ventilatsioonil puudus soojuse tagastus.

Kümme aastat hiljem sama tüüpi korterelamu (Paldiski mnt 171, tabel 1, 2. rida) renoveerimisel soojustati juba kõik piirdetarindid, vahetati aknad ning uuendati küttesüsteem. Energiasääst küündis kuni 50% (KredEx, 2008). Osaliselt ressursinappuse, heade komplekssete lahenduste puudumise ja inimeste vastuseisu tõttu jäi ventilatsioon renoveerimata ja soojustagastus paigaldamata. Renoveeritud ja vähemalt üks aasta ekspluatatsioonis olnud elamute olukorra uuring (Hamburg jt, 2010) näitas, et korterelamute suurim probleem oli ebapiisavalt toimiv ventilatsioon, mis põhjustas halva õhuvahetuse, liigse niiskuse ja kõrge CO₂ taseme ning võis viia hallituse tekkeni ja ohustada tervist. Selle teadmise alusel otsustas KredEx toetada vaid projekte, kus rekonstrueeriti ventilatsioon koos soojustagastuse paigaldusega (Kuusk, Kalamees, 2016).

Sõpruse pst 244 korterelamu (tabel 1, 3. rida) oli katsehooneks projektis „Tervislik ja säästlik kodu“, mille eesmärk oli korteriühistutele näidata, et tervisliku sisekliima tagamiseks ja energia säästmiseks on otstarbekas hoone renoveerida komplekselt. Selle hoone ventilatsiooni soojustagastus lahendati väljatõmbeõhu soojuspumba abil. Renoveerimise tulemusena vähenes soojuse tarbimine 50%, kuid edasise arendustöö vajadusele osutasid väljatõmbeõhu soojuspumba suur elektrikulu, soojasillad ümber akende (aknad jäid soojustuse tasapinda välja tõstmata) ja toetusmeetme lahendus (Kuusk jt, 2017). Kui säilivad soojasillad akende soojustuse tasapinda tõstmata jätmise ja konsoolrõdude tõttu, võib soojasildade negatiivne mõju ulatuda kuni 34% hoone kogu soojuskaost ning seda ei saa kompenseerida ka paksema soojustusega (Ilomets jt, 2017).

SmartEnCity projekti (2016–2022) Tartus võib näidiseks esile tuua, kuna see astus ühe hoone renoveerimisest naabruskonna (18 korterelamut, tabel 1, 4. rida) renoveerimise suunas ja ühendas heitmevaba linna kontseptsiooni nutikate energialahendustega ühtseks toimivaks tervikuks. Protsessi olid aktiivselt kaasatud ka hoonetes elavad inimesed ja kohalik omavalitsus. Renoveerimise tulemusel vähenes oluliselt energiatarbimine (kaugküte –36%, elekter –27%, maagaas –78%), energiatõhusus paranes F-klassist (257 kWh/(m²·a)) A-klassi (101 kWh/(m²·a)) ning lisati päikeseelektrijaamad koguvõimsusega 551 kWp (TREA, 2022). A-energiaklassi renoveeritud elamute korterid olid 6,5% kõrgema kinnisvaraväärtusega kui renoveerimata või tavapäraselt renoveeritud elamute korterid (Lehes, 2021).

Tabel 1. Taasiseseisvumise järgsed olulisemad tervikrenoveerimise arendusprojektid.

Projekti iseloomustus	Foto
Õismäe tee 5, 60 korteriga 5-korruseline raudbetoon-suurpaneel-elamu. Ehitatud 1975, renoveeriti 1994. Maksumus 0,28 mln eurot (93 €/m²), 35% rahastasid Soome Kaubandus- ja Tööstusministeerium ning Soome Keskkonnaministeerium, ülejäänu kattis Eesti Majandusministeerium. Kütte- ja ventilatsioonisüsteemide, akende ja rõdude uuendamine, katuse remont, välisseinapaneelide vuukide korrastamine ja tihendamine ning uste ja akende uuendamine (Majandusministeerium, 1997).	
Paldiski mnt 171, 60 korteriga 5-korruseline raudbetoon-suurpaneel-elamu. Ehitatud 1977, renoveeriti 2006. Projekti „The Baltic Energy Efficiency Network for the Building Stock“ (BEEN, Interreg IIIB) pilloothoone. Maksumus > 0,40 mln eurot (128 €/m²). Soojustati fassaad ja katus, vahetati aknad ning korrastati rõdud, rekonstrueeriti küttesüsteem, paigaldati küttekulu arvestuse süsteem (KredEx, 2008).	
Sõpruse pst 244, 60 korteriga 5-korruseline raudbetoon-suurpaneel-elamu. Ehitatud 1966, renoveeriti 2011. Projekti „Tervislik ja säästlik kodu“ pilloothoone. Maksumus > 0,45 mln eurot (114 €/m²). Soojustati fassaad, sokkel, vundament ja katuslagi, renoveeriti rõdud ning vahetati aknad ja uksed. Lisaks paigaldati soojustagastusega ventilatsioonisüsteem (Kalamees jt, 2013).	

18 korterelamu**tervikrenoveerimine Tartus**

Ehitatud 1950.–1960. aastatel, renoveeriti 2017–2019.

Projekti „SmartEnCity“ piloothooned.

Renoveerimise maksumus umbes 350–400 €/m². Soojustati piirdetarindid, uuendati tehnosüsteemid, rajati mehaaniline ventilatsioon ja kaugküttel põhinev tarbevee soojendamine, hoonetele paigaldati päikesepaneelid ja nutikodu lahendused energiatarbimise jälgimiseks.

Arendati terviklikku nutikat linnaosa:

loodi energiatõhus tänavavalgustus, elektrisõidukite laadimistaristu, jalgrattarent ning andmepõhised juhtimissüsteemid (SmartEnCity, 2022).



Paljude hoonete korraga renoveerimine kasvatab nõudlust ja tõstab ehitusmaksumust, mis teeb renoveerimise korteriühistute jaoks raskemaks. Seetõttu on oluline lisaks stabiilsetele toetustele välja arendada renoveerimistehnoloogiad, mis nõudluse kasvades ei põhjustaks kallinemist, vaid mastaabiefektiga võimaldataks hoopis maksumuse alanemist. See on võimalik, kui renoveerimisel kasutatakse tehases valmistatud lisasoojustuselemente, millesse on eelpaigaldatud ka aknad ja ventilatsioonitorud.

Välismaa kogemus

Renoveerimisel lisasoojustuselementide kasutamine tähendab uut tehnoloogiat ja tootearendust, mis ei saa tekkida üleöö, vaid vajab nii arendustööde ja tehnoloogia pakkumist kui ka nõudlust. Üks esimesi suuremaid pilootprojekte tehasele renoveerimise arendamiseks oli Rahvusvahelise Energiaagentuuri projekt IEA Annex 50 „Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings“ (2007–2011). Pilootrenoveerimised teostati Austrias, Hollandis ja Šveitsis. Tulemused rõhutasid täpse paigalduse ja tolerantside arvestamise olulisust ning kinnituste korrektset paigaldust (Miloni jt, 2011; Zimmermann, 2012). TES Energy Facade projekt (2008–2009) arendas lisasoojustuselementidega renoveerimise digitaalset töövoogu, kaasates sellesse mõõdistamise, planeerimise, tootmise ja kohapealse paigaldamise (Larsen jt, 2011). Toodi välja lisasoojustuselementide liitekohtade õhupidavuse (Loebus jt, 2014) ja niiskustehnilise toimivuse olulisus, samas ei esitatud lisasoojustatava seina algniiskusele mingeid kriteeriume (Lattke jt, 2009). Rootsi projektis TURIK „Teknikupphandling: Rationell isolering av klimatskärmen på befintliga flerbostadshus“ (2008–2011) hinnati lisasoojustuselementide soojuslikku ja

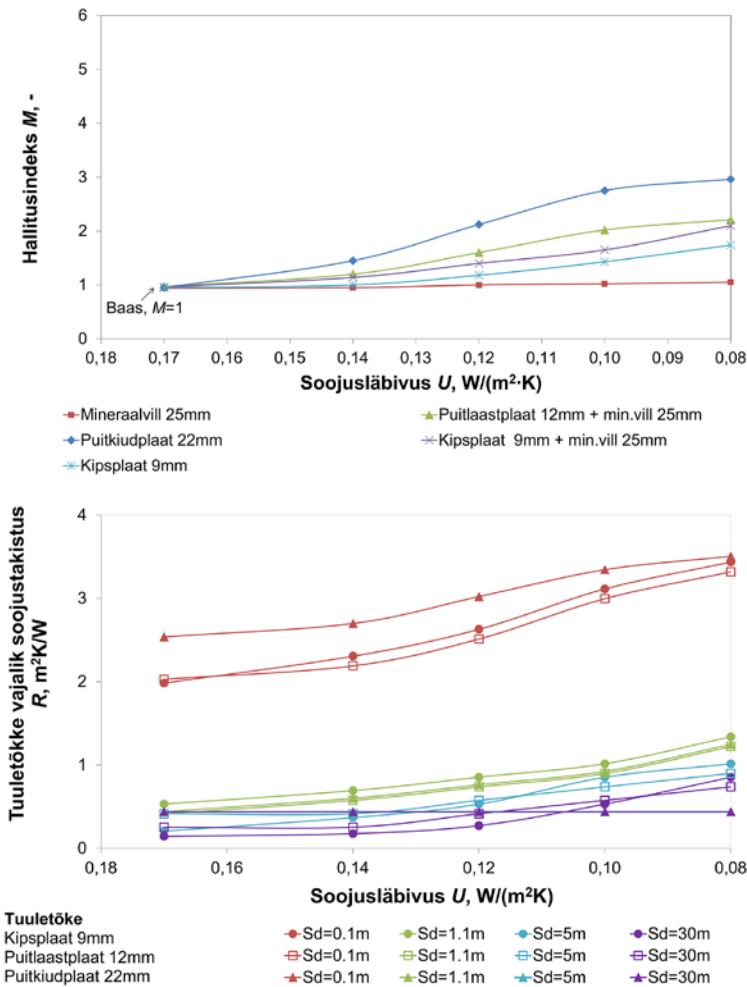
niiskuslikku toimivust, kulutõhusust, keskkonnasäästlikkust, vastupidavust ja hooldusvajadust (Mjörnell, 2011). EU Horizon2020 projekt E2ReBuild (Heim jt, 2014) (2011–2014) keskendus lisasoojustuselementide tööstuslikule tootmisele, renoveerimislahenduste standardimisele ja jäätmete vähendamisele, et tagada stabiilne korratavus ja hoone energiatõhusus. RetroKiti projekt (2012–2016) arendas ja testis lisasoojustuselementide lahendusi, mis oleks hõlpsasti paigaldatavad ning koos tehnosüsteemide ja taastuenergia lahendustega võimaldaks hoonete terviklikku renoveerimist (Katsifarakis jt, 2014). Projekt „Multifunctional Energy Efficient Facade System for Building Retrofitting, MeeFS“ (2012–2016) keskendus komposiitmaterjalidel põhineva lisasoojustuselemendi arendamisele, mis ühendaks soojustuse ja tehnosüsteemid ning võimaldaks kohandada fassaade vastavalt hoonele ja kliimale, olles samas standardiseeritud, kulutõhus, vähese hooldusvajadusega ning sobiv tööstuslikuks tootmiseks ja paigalduseks (MEEFS, 2016). Projekt „Building energy renovation through timber prefabricated modules, BERTIM“ (2015–2019) arendas lisasoojustuselemente, millesse olid integreeritud aknad, tehnosüsteemid ja taastuenergia lahendused ja mis võimaldas kiiret ja elanikke vähehäirivat paigaldust. Lisaks loodi terviklik digitaalne renoveerimisprotsess, mis toetas projekteerimist ja tööstuslikku tootmist (Lasarte jt, 2017).

Teiste riikide arendustööd pole võimalik otse üle võtta, kuna renoveeritav hoonefond ja vajadus on riigiti erinev. Vähem olulised pole ka arendusse kaasatud kohalikud ettevõtted ja lõpptarbijad, kelle usaldus uue tehnoloogia vastu kasvab protsessis osalemise tõttu.

Eesti arendustöö

Renoveerimise lisasoojustuselementide arendustöö Eestis on seni keskendunud peamiselt nende soojuslikule ja niiskuslikule toimivusele, soojuskadude vähendamisele, liitekohtade tihendamisele, kinnituse arendamisele ning niiskus- turvalisuse ja tuleohutuse tagamisele ning hoone enda kandevõime tagamisele. Arendustöö on toimunud nii Tallinna Tehnikaülikoolis, Eesti Puitmajaliidus kui ka lisasoojustuselemente tootvates ja paigaldavates ettevõtetes, kellest on põhjalikemat tööd teinud Matek, Timbeco Woodhouse, KMT Prefab, Estnor, Welement, Timbeco Ehitus ja BaltiVara.

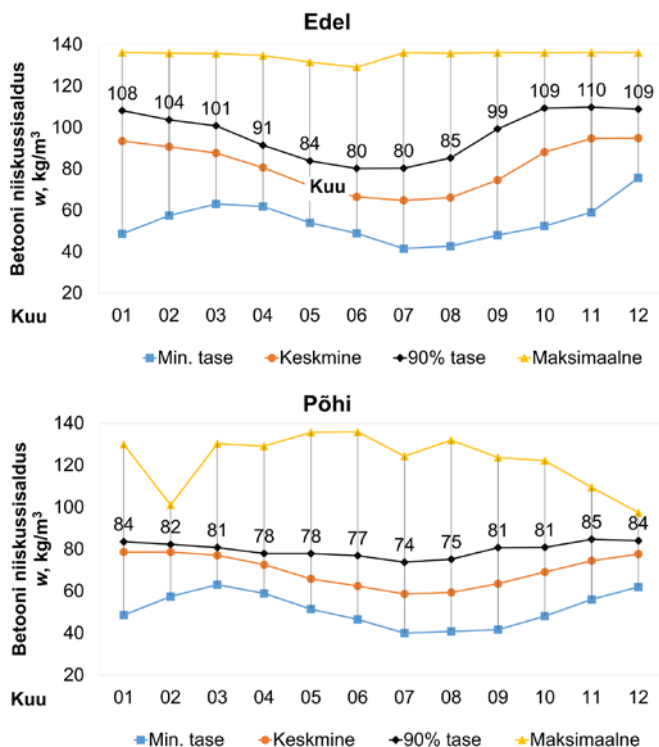
Lisasoojustuselemendi soojusliku ja niiskusliku toimivuse tagamise uuringuid võib vaadata kahes osas: lisasoojustuselemendi kui puitkarkass-seina toimivus ja lisasoojustuselement renoveeritava seinal. Puitkarkass-seina soojusliku ja niiskusliku toimivuse analüüs näitas, et soojuslähivuse vähendamisel ainult soojustuse paksuse lisamisega (kui muid tarindi kihtide omadusi ei muudeta) on suhteline niiskuse ja hallituse tekke oht kõrgem (joonis 3 ülal) ning kuivamis- periood pikem. Suurema soojustakistusega tuuletõkked näitasid soojuslähivuse vähenemise käigus konstruktsioonis hallituse tekkeriski suurenemist väiksemal määral (joonis 3 all).



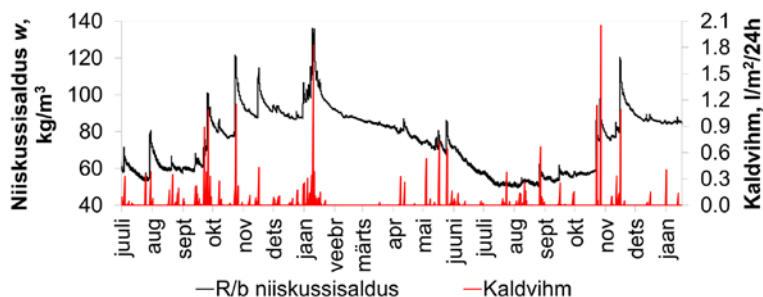
Joonis 3. Hallituse kasvuriski indeksi (M) sõltuvus tuuletõkkest ja seina soojuslähivusest (ülal). Tuuletõkke kihi nõutav minimaalne soojustakistus (R , $m^2 K/W$) ja õhu- ja aurutõkke veeaurutakistus S_d , et hoida hallituserisk $M < 1$ (kasvu ei esine) (all) (Pihelo, Kalamees, 2016).

Lisasoojustuselemendi niiskuslikku toimivust mõjutab oluliselt soojustatavast seinast välja kuivav niiskus. Ilma seinast välja kuivava niiskuse koormust arvestamata ei näita standardi EVS-EN ISO 13788 (2012) kohane analüüs õiget tulemust. Samas kasutavad paljud projekteerijad jätkuvalt selle standardi kohast arvutusmeetodit. Fassaadi niiskussisaldust mõjutab kõige rohkem kaldvihm, aga ka sesoonne õhuniiskuse muutus. Aasta lõikes on suurim niiskussisaldus sügistalvisel perioodil, mil renoveerimine tähendab lisasoojustuselemendile suurimat niiskukoormust. Kaldvihma olulisim mõju vana fassaadimaterjali niiskussisaldusele on lääne- ja lõunakülje fassaadide ülemises osas ja nurkades

– seal on niiskussisaldus 15–20% kõrgem kui põhja- ja idaküljel (joonis 4). Vihmast märjaks saanud seina väljakuivamine on suhteliselt kiire esimeste päevade jooksul pärast vihma ja praktiliselt peatub 7–9 päeva pärast (joonis 5). Kui fassaadi algniiskust pole mõõdetud, võib lähtuda järgnevatest niiskussisalduse suurustest: raudbetoonfassaad 110 kg/m^3 , tellisfassaad 100 kg/m^3 ja suurplokkfassaad 60 kg/m^3 . Väiksemast algniiskusest võib lähtuda vaid siis, kui fassaadi niiskussisaldus ja selle jaotus on usaldusväärselt mõõdetud.



Joonis 4. Betoonfassaadi seina väliskooriku niiskussisalduse muutuse jaotus pärast kaldvihma edela (ülal) ja põhja (all) orientatsioonis (Pihelo jt, 2016).



Joonis 5. Betoonseina väliskooriku niiskussisalduse muutus pärast kaldvihma (Pihelo jt, 2016).

Lisasoojustuselemendi soojuslik ja niiskuslik toimivus sõltub lisaks soojustatava seina algniiskusele ka lisasoojustuselemendi soojustakistusest ning tuule- ja aurutõkke omadustest (tabel 2). Nagu näha, toimib kõige paremini suure veeauru-juhtivuse ja soojustakistusega mineraalvillast tuuletõke. Lisasoojustuselemendi materjalide esmaseks valikuks saab kasutada alltoodud valgusfooripõhist otsustusmaatriksit.

Tabel 2. Mineraalvillaga soojustatud lisasoojustuselemendi soojuslik ja niiskuslik toimivus sõltuvalt lisasoojustuselemendi karkassi vahelisest soojustuse paksusest, tuuletõkkeplaadist, õhutõkkest ja betoonfassaadi algniiskusest (roheline: hallitusrisk puudub, $M < 1$; kollane: mikroskoobiga tuvastatav hallitusrisk, $1 \leq M < 2$; punane: kõrgem hallitusrisk, $M \geq 2$).

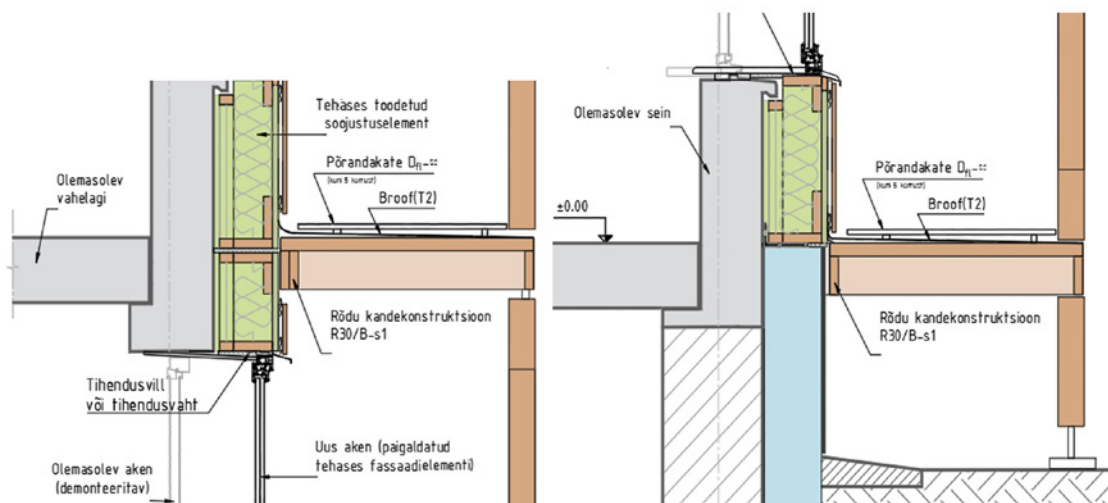
Tuuletõkkematerjal ja paksus	Õhu- tõkke veeauru- takistus	Soojustuse paksus								
		120 mm			145 mm			195 mm		
		Algniiskus (kg/m³)								
		85	95	110	85	95	110	85	95	110
Tuuletõkkekangas	0,2 m ≤ S _d ≤ 5 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Kipsplaat, 9 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
D3Ts-kiudplaat, 9 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Puitkiudplaat 22 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mineraalvill 30 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tuuletõkkekangas	Ilma auru- tõkketa	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Kipsplaat, 9 mm		6	6	6	6	6	6	6	6	6
D3Ts-kiudplaat, 9 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Puitkiudplaat 22 mm		6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mineraalvill 30 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tuuletõkkekangas	S _d ≥ 50 m	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Kipsplaat, 9 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
D3Ts-kiudplaat, 9 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Puitkiudplaat 22 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mineraalvill 30 mm		4	4	4	4	4	4	4	4	4

Punkt 4 – lisasoojustuselemendi õhu- ning aurutõkke sisepind.

Punkt 6 – lisasoojustuselemendi tuuletõkke sisepind.

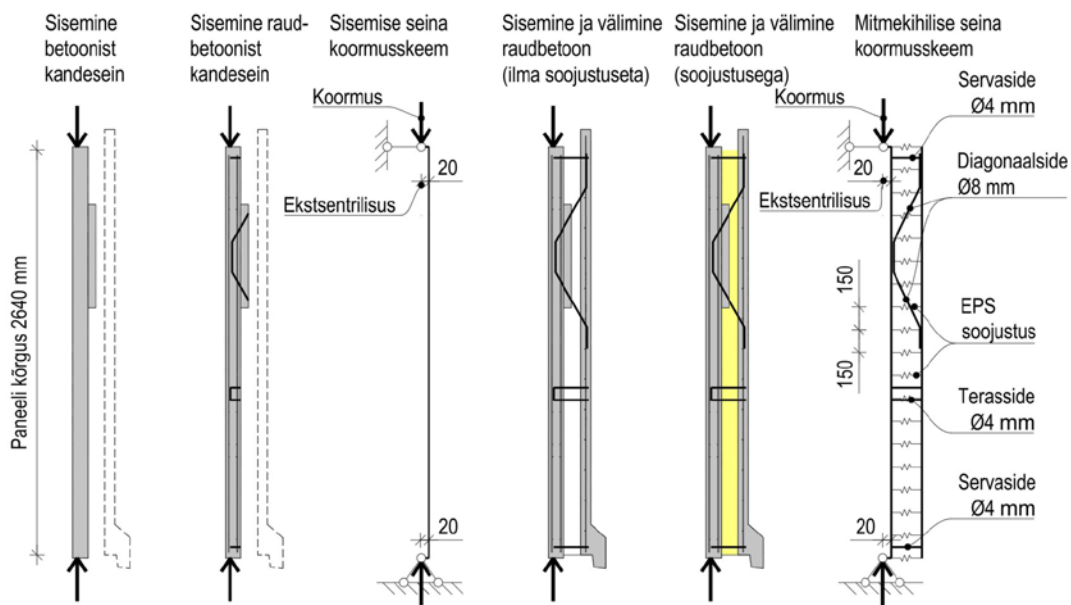
2020. aastal käivitus Eesti Puitmajaliidu eestvedamisel viie ettevõtte koostöö tehasealise renoveerimise põhilahenduste täiustamise alal, tuginedes esialgsetele pilootprojektidele (Pihelo jt, 2017; Pihelo, Kalamees, 2020). Arhiivist saadi tüüp- hoonete projekteerimisdokumentatsioon. Eri ettevõtete poolt välja töötatud kolme tüüpi korterelamute jaoks loodi renoveerimisjoonised. Peamine tähelepanu oli hoone väliskesta, sealhulgas akna-seina, katuse-seina, rõdu-seina, sein-seina, põranda-seina, sokli ja isolatsioonielemendi ventilatsioonikanalite ühendustel.

Koostöös Päästeameti ja tuleohutuse spetsialistidega töötati välja puitfassaadi- de tuleohutuslahendused kuni 5-korruseliste eluhoonete renoveerimise jaoks (Luht-Kallas jt, 2021) ja mõne aasta pärast ka kuni 8-korruseliste ja enama kui 8 korrusega hoonetele, kui need ei ole projekteeritud kõrghoonena (9-korru- selised korterelamud perioodil 1970–1990) (Pukk, Vogt, 2023). Juhendid on kirjutatud ladusas keeles ja varustatud hästi arusaadavate joonistega (joonis 6).



Joonis 6. Näide lisasoojustuselemendi ja rõdu liitekohast vahelaega (vasakul) ja maa- pinnaga (paremal) (Pukk, Vogt, 2023).

Hooned projekteeritakse vastavalt neile mõjuvatele koormustele. Ka masselamu- ehituse aegsete hoonete kavandamisel ja ehitamisel peeti silmas materjalide põhjendatud kasutust ja välditi põhjendamatut üledimensioneerimist. Seetõttu tuleb koormuse lisamisel kindlasti hinnata olemasolevate kandekonstruktsioo- nide seisukorda ja võimet renoveerimisega lisanduvat koormust vastu võtta. Olukord on tõsisem, kui hoone ehituskvaliteet on halb, hoone on puudulikult hooldatud või remonditud. Ka kõrgemate hoonete puhul võib kandevõime risk olla suurem, kuna materjalikihtide paksuse puhul pole enam piiravaks mitte niivõrd tootmise tehnoloogia kui kihtide paksusest tulenev kandevõime.



Joonis 7. Seeria 111-133 suurpaneelilamu demonteerimisest (ülal) saadud seina-paneelide katsetamine laboris (keskel) ja arvutusskeemid modelleerimiseks lõplike elementide tarkvara abil (all) (Paalandi jt, 2026).

Selgitamaks korterelamute võimet vastu võtta lisasoojustuselementidest tulenevat täiendavat koormust, on Tallinna Tehnikaülikoolis läbi viidud nii laborikatseid, väliuuringuid kui ka arvutusi ja modelleerimisi. Tehaselise renoveerimise arendamine 9-korruseliste korterelamute jaoks tingis vajaduse uurida seda tüüpi korterelamute kandevõimet ning hinnata suutlikkust taluda lisasoojustuselementidest tulenevat täiendavat koormust (Paalandi jt, 2026). Unikaalse võimaluse selleks andis Valgas Tähe tn 31a demonteeritud korterelamu (joonis 7 ülal). Demonteeritud välisseinapaneelide kandevõimet mõõdeti tehnikaülikooli ehituskonstruksioonide teadus- ja katselaboratooriumis (joonis 7 keskel). Laborimõõtmised olid aluseks lõplike elementide meetodi (FEM) tarkvara arvutusmodeli kalibreerimisele. Kalibreeritud mudeliga tehtud arvutused näitasid, et saledate raudbetoonseinte kandevõimet on võimalik usaldusväärselt hinnata ja tõendada. FEM-mudelid võimaldavad hinnata konstruktsioonide kandevõimet ka olukordades, kus tavapärased normipõhised meetodid osutuvad liiga konservatiivseks või ei ole rakendatavad. Katsete põhjal tõendati, et olemasolevate paneelide kandevõime on piisav tehaseliste puitkarkassil põhinevate lisasoojustuselementide täiendava koormuse $0,50 \text{ kN/m}^2$ vastuvõtmiseks, eeldusel et konstruktsioonide omadused ja ehitustolerantsid on põhjalikult hinnatud. Vanade raudbetoon-suurpaneelidelamute kandevõime uuringud tehaselise renoveerimise valmiduseks jätkuvad Tallinna Elamuehituskombinaadi tüüpseeriate 1-464 ja 111-121 osas.

Piloteerimine, demonstreerimine

Iga arendustöö juures on vaja erinevate toote- ja tehnoloogia arendusetappide lahendusi testida, piloteerida ja demonstreerida. Kui ehitusettevõttel puudub oma arendusosakond ja labor lahenduste testimiseks ning praktika arendusalaseks koostööks ülikoolidega, on reaalseks kohaks teadmiste ja oskuste demonstreerimiseks ja kogemuste saamiseks täiemahulised ehitus- ja renoveerimisobjektid.

Esimene pilootprojekt – Akadeemia tee 5a, Tallinna Tehnikaülikooli pereühiselamu

Sellest sai kõik alguse. Akadeemia tee 5a asuv tehnikaülikooli pereühiselamu oli piloothooneks H2020 teadus- ja arendusprojektis MORE-CONNECT (2014–2019), kus osalesid lisaks Tallinna Tehnikaülikoolile veel AS Matek ja OÜ REF Ehitustööd. Renoveerimise peaprojekterija oli Sirkel&Mall OÜ ja peatöövõtja oli Oma Ehitaja AS. Lisasoojustuselemendi kontseptsiooni (Kalamees jt, 2017) teostatavust kontrolliti Mateki puitmajatehases, kus valmistati prototüübid ja testiti nende paigaldamist teineteise peale. Prototüübi testimisest saadud kogemus kanti üle projektlahendile: muudeti soojustuselementide vahelist vahet, et pääseks paremini liitekohta tihendama.

Suurimad ülesanded ja arendusvajadused tulevikuks olid niiskusturvalisuse tagamine katuse (Kalamees jt, 2025) ja välisseina (Pihelo, Kalamees, 2021)

lisasoojustuselementide paigalduse osas. Soojustuselementide paigalduse ajal sadanud vihm tegi puidu ja soojustuse märjaks. Märgunud materjali kuivamine võttis aega kauem kui niiskes keskkonnas mikrobioloogilise kasvu algus. Õpikogemus oli see, et vihma ajal ja kohe pärast vihma elemente paigaldada ei või ja materjali märjaks lasta ei tohi.

Kuna enne elementide seinale kinnitamise koha projekteerimist jäi raudbetoon-välisseinapaneeli armeeringu asukoht tuvastamata, sattus kinnitus kohta, kus välisseinapaneelis oli palju armatuuri. Seetõttu osutus eraldi iga elemendi kinnituskonstruktsioonide paigaldus väga tömahukaks ja aeganõudvaks. Põhjalikumad eeltööd projekteerimise ajal ja enne soojustuselementide tootmist võimaldavad selliseid ootamatusi vältida.

Hoone renoveeriti parimasse energiatõhususe klassi – liginullenergiahooneks. See oli 2016. aastal väga suur ambitsioon. Normaalkasutusele taandades vastas tulemus ootustele, aga tegeliku kasutuse eripärade ja standardarvutustes mittem- arvestatavate tehnosüsteemide tõttu oli tegelik tarbimine mõnevõrra suurem (Hamburg jt, 2020).

Kokkuvõttes oli esimene pilootprojekt edukas. Esimest korda tehes tuleb ikka ette asju, mida edaspidi vältida. See ongi tootearenduse osa ja õpiprotsess. Renoveerimisest valmis ka õppevideo (Alev jt, 2020). Akadeemia tee 5a keldrisse rajatud õppeklassis on kogemusi jagatud väga paljudele inimestele ja ettevõtetele.



Joonis 8. Akadeemia tee 5a, tehnikaülikooli pereühiselamu 2015. aastal enne renoveerimist (vasakul), 2017. aasta suvel renoveerimise ajal (keskel) ja 2017. aasta sügisel pärast renoveerimist (paremal) (Pihelo, Kalamees, 2021).

Teine pilootprojekt – korterelamu Kuuma tn 4 Sael

Kuna Akadeemia tee 5a hoone renoveerimise pilootprojekt oli väga edukas, kutsuti tehnikaülikool järgmisse H2020 teadus- ja arendusprojekti DRIVE 0 (2019–2023), kus piloothooneks oli 24 korteriga 3-korruseline elamu Kuuma tn 4 Sael (joonis 9). Ettevõtetest osalesid Timbeco Ehitus ja Timbeco Woodhouse, kes tootis lisasoojustuselementid.



Joonis 9. Kuuma tn 4 korterelamu renoveerimine 2021. aastal. Foto: Erki Muhu, Timbeco Woodhouse.

Selle projekti arendustöö andis palju kogemusi ja uusi tulemusi:

- elanikud elasid renoveerimise ajal hoones;
- laserskaneeringust saadud punktipilve põhjal koostati hoone renoveerimiseks digitaalne 3D-mudel, mille info alusel toodeti tehase lisasoojustuselemendid;
- suurepärase energiatõhusus ja sisekliima saavutati ka praktikas – tänu hästi soojustatud piirdetarinditele ja efektiivsetele tehnosüsteemidele saavutati A-energiaklass ka tegeliku energiatarbimise alusel (Nigumann jt, 2024);
- katusel olevate päikesepaneelide toodang oli sama suur kui hoone aastane elektrivajadus ja võrku müüdud elektri abil kaeti renoveerimise laenu-makseid ning vähendati elanike kulusid (Kalamees jt, 2026);
- lodžade kinniehitamise arevelt suurenes köök ja lõuna poole rajati uued rõdud;
- puitmajatehase algusest lõpuni ehitamise (nn võtmed-kätte-)lahendus;
- esimene renoveerimine Eestis, kus rakendati ulatuslikult ringmajanduse põhimõtteid (Kuusk jt, 2021).

Kuna ehitusperiood sattus COVID-19 pandeemia aega, tekitas see palju probleeme ehitusettevõttele: materjalide ja toodete tarneraskused, hinna kallinemine, tööjõupuudus, alltöövõtjate leidmine ja lepingutest kinnipidamine jne. Vaatamata mõnele kitsaskohale oli tegemist väga eduka pilootprojektiga, kus koguti hulganisti andmeid ja õppetunde, et tulevased projektid oleksid veelgi edukamad ja sujuvamad.

Kolmas, KredExi/EIS-i tehasealise renoveerimise pilootprojekt

2020. aastal valmis Eesti hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia (MKM, TalTech, 2020), mis tõi esile vajaduse suurendada korterelamute renoveerimisvõimekust mitu korda (joonis 2). Esimeste tehasealiste renoveerimiste edu taustal otsustas riik käivitada üleriigilise tehasealise renoveerimise pilootprojekti, mis keskendus tüüpkerelamutele 1-317, 1-464, 111-121 ja 111-133 (joonis 10). Aastatel 2021–2024 renoveeriti 19 korterelamut enam kui 800 korteriga. Nii suure mahuga renoveerimise puhul tuli lisaks tehnilisele arendustööle panustada ka juhtimise, koostöökorralduse arendamise ja elanike kaasamise lahendustele. Pilootprojekti hoonete renoveerimise peatöövõtjad olid Balti Vara Ehitus OÜ ja Mapri Ehitus OÜ, lisasoojustuselemendid valmistasid EstNor OÜ ja KMT Prefab ja peaprojekteerijad olid Termopilt OÜ ja Eesti Soojustusprojekt OÜ.



Joonis 10. Tüüpseeria 111-121 (ülal) ja 1-317 (all) korterelamud enne (vasakul) ja pärast (paremal) renoveerimist.

Pilootprojekti üks suurimaid edusamme oli riigi rolli muutumine tavapärasest toetuse jagajast aktiivseks vahendajaks (Pikas jt, 2026). Ettevõtluse ja Innovatsiooni Sihtasutus (EIS) koondas nõudlust, korraldas ühishankeid, lõi tehnilised tingimused ning aitas vähendada hinnariski kiiresti muutunud ehitusturul. Samuti mindi üle integreeritud projekteerimis- ja ehitusmodelile, mis kaasas projekteerijad, tootjad ja ehitajad juba hanke ettevalmistamise etapis, võimaldades parandada koostööd ning täpsemat planeerimist. Tehniliselt saavutati märkimisväärne ajavõit: hoone lisasoojustuselementide paigaldus kestis vaid 2–6 nädalat, samas kui traditsiooniline renoveerimine võtab oluliselt kauem aega. Elanikud hindasid positiivselt paremat sisekliimat, soojusmugavust ja väiksemaid energiakulusid.

Oluline saavutus oli ka Puitmajaliidu ja Päästeameti koostöös standardiseeritud tuleohutuse tagamise lahenduste ja juhendite väljatöötamine (Luht-Kallas jt, 2021; Pukk, Vogt, 2023). Projekt näitas, et tööstuslik renoveerimine võib olla toimiv lahendus kogu korterelamufondi uuendamiseks, kui on olemas pikaajaline riiklik tugi ja koostööd toetav juhtimismudel.

Samas ilmnes pilootprojekti käigus mitmeid probleeme, millest suurimaks osutus ebakindlus projektide mahu osas, sest korteriühistud võisid pärast hanget projektist loobuda. See vähendas ettevõtete valmisolekut investeerida tootmise automatiseerimisse ja ei võimaldanud saavutada loodetud hinnalangust suuremate mahtude kaudu. Probleeme põhjustasid ka puudulikud algandmed olemasolevate hoonete kohta, mistõttu tuli projektlahendusi muuta ning ehitus venis. Kuigi lisasoojustuselementide paigaldus oli kiire, pikenes kogu projekti kestus peamiselt ettevalmistus-, tehnosüsteemide ja järelviimistlustööde tõttu.

Projekt näitas, et tehasealise renoveerimise tehnilise poole arendus on jõudnud juba heale tasemele. Tulevikus tuleb arendada lisaks tehnilistele lahendustele ka elanike ja korteriühistute kaasamist, vähendada projekteerimise ja ehitamise halduskoormust ning standardida rohkem nii objekti töökorraldust ja ehitustööde juhtimist kui ka lepinguid. Samuti vajab arendamist täpsem hoonete eeluuring. Et anda ettevõtlusele kindlust investeerida toote ja tehnoloogia arendusse, on vaja pikaajalist poliitilist raamistikku.

Neljas tehasealise renoveerimise pilootprojekt – Akadeemia tee 4, 6, 14, 22 korterelamud

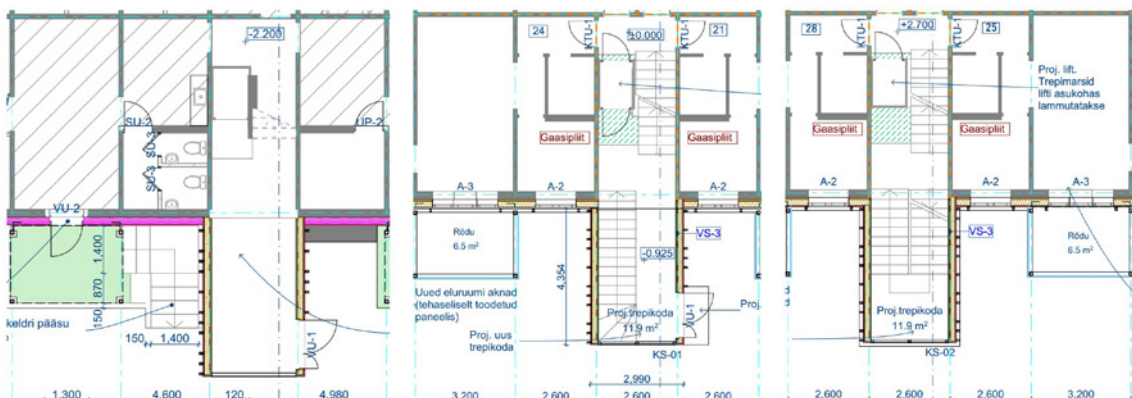
Hoonete renoveerimise kombineerimine naabruskonna ruumilise kvaliteedi parandamisega võiks olla võtmeks vananenud monofunktsionaalsete elamurajoonide kaasajastamisel (Truu jt, 2024). Järgmine tehasealise renoveerimise arenguetapp oli SoftAcademy (2024–2027) projekt, kus renoveeriti ühe hange naabruskonna neli korterelamut ja nende hoovid. Projektil oli kaks suurt eesmärki:

- naabruskonna tasandi ringmajandusliku tervikrenoveerimise demonstreerimine eeltoodetud lisasoojustuselementidega heitmevaba hoone saavutamiseks;
- kogukonna kaasamise mudeli arendamine ja elamute kohandatud tervikrekonstrueerimise toetamine, sh uuenduslike digilahenduste arendamine renoveerimise protsessi strateegiliseks suunamiseks ja lihtsustamiseks ning Tallinna renoveerimiskiirendi loomine.

Piloothooneteks on Tallinnas Mustamäe esimese mikrorajooni esimesed korterelamud: Akadeemia tee 4, 6, 14 ja 22 (joonis 11). Korterelamu tehniline innovatsioon tehti vanasse 5-korruselisse korterelamusse lifti rajamisega. Viis aastat varem arendatud kontseptsioon (Kalamees, 2021) ja sellest arendatud tehniline lahendus (Sild jt, 2024) realiseerus praktikas (Anmeri, 2025) (joonis 12).



Joonis 11. Akadeemia tee 6 on esimene korterelamu, mis renoveeriti nelja korterelamu ühishankega 2026. aasta kevadel.



Joonis 12. Lift asub vana trepi asemel ja uus trepikoda on rajatud hoonest väljaspoole (Anmeri, 2025).

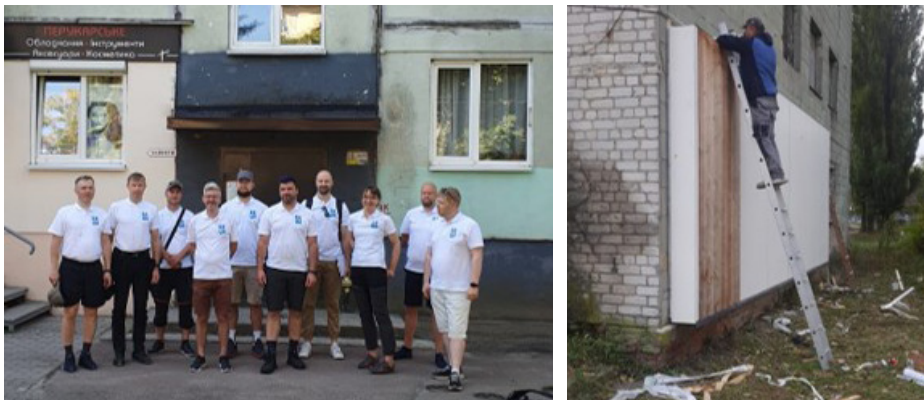
Ekspordipotentsiaal ja esimesed kogemused

Kui ehitusvaldkond ettevõtluse ja majandustegevuse vaates on enamasti lokaalse iseloomuga, siis tehase renoveerimine võimaldab Eesti ettevõtetel oma tooteid ja teenuseid eksportida. Üks esimesi Eesti ettevõtte renoveerimisprojekte algas 2021. aastal Berliini lähedal Ludwigsfeldes. Eeluuringutes ja renoveerimiskontseptsiooni väljatöötamisel osalesid ka Tallinna Tehnikaülikooli teadlased. Tänu esimeste pilootprojektide kogemustele ja jätkuval arendustööle on Matek saanud tänaseks Saksamaal kortermajade tehase renoveerimise valdkonnas turuliidriks, olles viimaste aastate jooksul renoveerinud 15 hoonet. Renoveerimislahenduste ekspordi alal on edukad ka teised puitmajatootjad, näiteks Timbeco Woodhouse ja KMT Prefab.



Joonis 13. Esimene Eesti ettevõtte poolt renoveeritud korterelamu Saksamaal: 5-korruseline 82 korteriga elamu Ludwigsfeldes (Matek 2026).

Eesti Rahvusvahelise Arengukoostöö Keskus ESTDEV on käivitanud mitu suuremahulist arengukoostööprojekti Ukraina ülesehituseks. 2024. aasta suvel käisid Tallinna Tehnikaülikooli teadlased koos ettevõtete Hades Geodeesia ja Aero Grupp esindajatega Žõtomõri linnas, et hinnata kolme korterelamu tehnilist seisukorda, teostada kohapeal vajalikud mõõdistused ja analüüsida kortermajade sobilikkust tervikrenoveerimiseks, sh kasutades eeltoodetud lisasoojustus-elemente. 2025. aastal paigaldati katsesein Žõtomõri Polütehnikumi ühiselamule ja alustati renoveerimislahenduse projekteerimisega.



Joonis 14. Tehnikaülikooli ja Eesti ettevõtete uurimisrühma (vasakul) ülesanne oli välja selgitada tehasehise renoveerimise võimalusi Ukraina ülesehitamisel. Katseseina ehitamine Žõtomõri Polütehnikumi ühiselamule (paremal).

Kokkuvõte

Eesti korterelamute renoveerimine on vältimatu, sest suur osa sõjajärgsest elamufondist on tehnilise eluea lõpus, energiamahukas ja halva sisekliimaga. Tehaselise renoveerimise pilootprojektid näitasid, et tervikrenoveerimine koos lisasoojustamise ja tehnosüsteemide uuendamisega annab suurima kasu.

Tehaselise renoveerimise jätkamiseks tuleb tagada püsiv tootearendus, paremad eeluuringud, standardimine, elanike kaasamine ja stabiilne riiklik tugi. Üksikhoone renoveerimiselt tuleb edasi liikuda naabruskonna renoveerimisele.

Eesti ühe suurima taristu – elamufondi – kasutusea pikendamiseks ja kaasajastamiseks tuleb lisaks omanikele panustada ka riiklikul tasandil finantsmeetmete ja selgete raamtingimustega ning kohaliku omavalitsuse tasandil projekteerimise ja renoveerimise halduskoormuse vähendamisega, ühtsete kontaktpunktide loomise ja elanike nõustamisega. Oluline on tagada ettevõtete investeerimis- ja arendusjulgus püsivate renoveerimise toetusmeetmete kaudu. Käsitöõnduslike meetoditega ei ole võimalik ees ootava renoveerimislainega toime tulla. Tehaseline renoveerimine kiirendab protsesse, parandab kvaliteeti ja võimaldab mastaabiefekti korral vähendada ka maksumust.

Lisaks Eesti kodude kordategemisele võimaldab tehaseline renoveerimine Eesti ettevõtetel oma tooteid ja teenuseid eksportida ning sel on suur potentsiaal Ukraina sõjajärgsel üleschitamisel.

VIITED

Alev, Ü., Vilja, E., Hirvelaan, J. jt. 2020. nZEB energy renovation with prefabricated elements. Baltic Broadcasting OÜ, <https://youtu.be/pPvIf9-G290>

Anmeri. 2025. Akadeemia tee 4 korterelamu laiendamine ja rekonstrueerimine. KRT180525,EP. Tallinn.

Arumägi, E., Kalamees, T. 2014. Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates. Applied Energy 115, 540–548.

DRIVE 0. 2019. Driving decarbonization of the EU building stock by enhancing a consumer centred and locally based circular renovation process. Grant agreement ID: 841850. H2020, CORDIS, European Commission, <https://cordis.europa.eu/project/id/841850/results>

EHR. 2010. Riiklik ehitisregister, www.ehr.ee

EKK. 1994. Mustamäe suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud. Tallinn.

EKP KK, ENSV MN. 1957. Abinõudest elamuehituse arendamiseks Eesti NSV-s, määrus nr. 337. Eesti NSV seadusandlike aktide kronoloogiline kogu (II). Eesti NSV Ministrite Nõukogu juures asuv Juriidiline Komisjon, 415–419.

EstKONSULT. 1996. Tallinna Mustamäe linnaosa elamute rekonstrueerimine. Tallinn.

EVS-EN ISO 13788. 2012. Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisise kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid. Tallinn: Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-13788-2012> (07.05.2026).

Hallik, J., Kalamees, T., Pikas, E. 2023. Airtightness of Estonian dwellings – median and base-values for heat loss estimation. – Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries NSB2023, Aalborg, Denmark on 12–14 June 2023, 8.

Hamburg, A., Kuusk, K., Mikola, A. jt. 2020. Realisation of energy performance targets of an old apartment building renovated to nZEB. Energy 194: 116874.

Hamburg, A., Paap, L., Hamburg, P. jt. 2010. Renoveeritud ja vähemalt üks aasta eksploatatsioonis olnud elamute ehitusfüüsikalise olukorra uuring. Tallinn.

Heim, T., Ehrbar, D., Schwehr, P. 2014. Technical Report: Industrial Energy Efficient Retrofitting of Resident Buildings in Cold Climates. E2Rebuild.

Ilomets, S., Kuusk, K., Paap, L. jt. 2017. Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings. Journal of Civil Engineering and Management 23(1), 96–104.

Juursoo, R. 1978. Ehituse arendust Eesti NSV-s aastail 1944–1955. Andmeallikas: Eesti NSV Teaduste akadeemia toimetised 27(2). Eesti NSV Oktoobrirevolutsiooni ja Sotsialistliku Ülesehituse Riiklik Keskariiv (f. R-10, nim. 6, s. 36, 1. 1; s. 40, 1. 6–B, 57), 118–131.

Kalamees, T. 2021. Kuidas paigaldada lift vanasse korterelamusse? Elamu 1, 20–21.

Kalamees, T., Ilomets, S., Liias, R. jt. 2012. Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord – ajavahemikul 1990–2010 kasutusele võetud korterelamud. Tallinn.

Kalamees, T., Ilomets, S., Mikola, A. jt. 2013. Sõpruse pst 244, Tallinn, korterelamu renoveerimisjärgne uuring. Tallinna Tehnikaülikool, https://eis.ee/wp-content/uploads/2023/10/sopruse_pst_244_korterelamu_renoveerimisjargne_uuring.pdf?context=eluase-eestis

Kalamees, T., Ilomets, S., Orro, O. jt. 2011. Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga: uuringu lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool, <https://eis.ee/wp-content/uploads/2023/10/eesti-eluasemefondi-puitkorterelamute-ehitustehniline-seisukord-ning-prognoositav-eluiga.pdf>

Kalamees, T., Kalbe, K., Kodi, G-M. jt. 2025. Moisture Safety Strategies for Renovations of a Roof with Prefabricated Additional Insulation Elements: A Whole Building Heat, Air, and Moisture Simulation Approach. – Berardi, U.

(ed). Multiphysics and Multiscale Building Physics, Singapore, 262–269. Springer Nature.

Kalamees, T., Kuusk, K., Pihelo, P. jt. 2026. Circular, low carbon, affordable, and innovative apartment building renovation concept. – Zilio, C., Busato, F., Mazzearella, L. jt (eds). Proceedings of the 15th REHVA HVAC World Congress – CLIMA 2025, June 4–6, 2025. Milan, Italy, 1173–1183. Springer Nature Switzerland.

Kalamees, T., Kõiv, T.-A., Liias, R. jt. 2010. Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne.

Kalamees, T., Pihelo, P., Kuusk, K. 2017. Deep Energy Renovation of Old Concrete Apartment Building to nZEB by Using Wooden Modular Elements. – 23. Internationales Holzbau Forum, IHF, 6–8 December 2017, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 317–325, https://www.forum-holzbau.ch/pdf/56_IHF2017_Kalamees.pdf

Kalamees, T., Õiger, K., Kõiv, T.-A. jt. 2009. Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga.

Katsifaraki, A., Bueno, B., Kuhn, T. jt. 2014. Technical Report: Assessment of a Photovoltaic Thermal (PVT) Prefabricated Facade. Retrokit.

KredEx. 2008. BEEN näidisprojekt Eestis Paldiski mnt 171 Tallinn asuva korterelamu rekonstrueerimine. Aruanne. Tallinn, <https://eis.ee/wp-content/uploads/2023/10/paldiski-mnt-171-tallinn-asuva-korterelamu-rekonstrueerimine.pdf>

Kuusk, K., Kalamees, T. 2016. Estonian Grant Scheme for Renovating Apartment Buildings. Energy Procedia 96. SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 5–7 October 2016, Tallinn, Helsinki, 628–637.

Kuusk, K., Kalamees, T. 2016. Retrofit cost-effectiveness: Estonian apartment buildings. Building Research and Information 44(8), 1–15.

Kuusk, K., Kalamees, T., Link, S. jt. 2017. Case-study analysis of concrete large-panel apartment building at pre- and post low-budget energy-renovation. Journal of Civil Engineering and Management 23(1). Taylor & Francis, 67–75.

Kuusk, K., Kalamees, T., Maivel, M. 2014. Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings. Energy and Buildings 77, 313–322.

Kuusk, K., Kullerkupp, K., Pihelo, P. jt. 2021. Circularity concepts for offsite prefabricated energy renovation of apartment buildings. – The 8th International Buildings Physics Conference, Copenhagen, Denmark, 25–27 August 2021, <https://www.ibpc2021.org/>

Larsen, K. E., Lattke, F., Ott, S. jt. 2011. Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements. *Automation in Construction* 20(8). Elsevier, 999–1011.

Lasarte, N., Chica, J. A., Gomis, I. jt. 2017. Prefabricated solutions and automated and digital tools for the optimisation of a holistic energy refurbishment process. – 8th edition of the European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urbanism (EESAP8) and the 1st International Congress on Advanced Construction (CICA1), Donostia-San Sebastian, Spain.

Lattke, F., Larsen, K., Ott, S. jt. 2009. Technical Report: TES Energy Facade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope. Woodwisdom Net.

Lehes, E. 2021. Korterelamute rekonstrueerimise mõju korteriomandite väärtusele – Tartu elamuseeria 1-317 ehk nn hruštšovkade näitel. Eesti Maaülikool, <http://hdl.handle.net/10492/6759> (03.05.2026).

Loebus, S., Ott, S., Winter, S. 2014. The multifunctional TES-facade joint. – Aicher, S., Garrecht, H., Reinhardt, H-W. (eds). *Materials and Joints in Timber Structures: Recent Developments of Technology*. RILEM, 31–44.

Luht-Kallas, K., Pukk, R., Vogt, E. 2021. Fire safety solutions for wooden facades in the renovation of residential buildings up to 5 floors high. Estonian Woodhouse Association, <https://media.voog.com/0000/0009/4426/files/Puitfassaadide%20tuleohutuslahendused%20kuni%205%20korruseliste%20eluhoonete%20renoveerimisl.pdf>

Majandusministeerium. 1997. Paneelelamute renoveerimisest. Tallinn.

Matek. 2026. Ludwigsfelde renoveerimine, <https://www.matek.ee/et/project/ludwigsfelde-renovation/>

MEEFS. 2016. Multifunctional Energy Efficient Facade System for Building Retrofitting, <https://cordis.europa.eu/project/id/285411>

Miloni, R., Grischott, N., Zimmermann, M. jt. 2011. Building Renovation Case Studies IEA ECBCS Annex 50. Empa, Building Science and Technology Lab.

Mjörnell, K. 2011. Teknikupphandling : Rationell isolering av klimatskärmen på befintliga flerbostadshus. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

MKM, TalTech. 2020. Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia. Tallinn, <https://www.mkm.ee/media/155/download>

MORE-CONNECT. 2014. Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for modular retrofitting

and connexions. Grant agreement ID: 633477. H2020, CORDIS, European Commission, <https://cordis.europa.eu/project/id/633477/reporting> (10.05.2026).

Nigumann, E., Kalamees, T., Kuusk, K. jt. 2024. Circular Renovation of an Apartment Building with Prefabricated Additional Insulation Elements to Nearly Zero Energy Building. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* 34(1), 1: 22–34.

Paalandi, K., Talvik, I., Tuhkanen, E. jt. 2026. Structural Capacity Assessment of Precast Concrete Sandwich Panels of Existing Multi-Storey Buildings. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Epub ahead of print 2026. DOI: <https://doi.org/10.1080/19648189.2026.2667492>

Pihelo, P., Kalamees, T. 2016. The effect of thermal transmittance of building envelope and material selection of wind barrier on moisture safety of timber frame exterior wall. *Journal of Building Engineering* 6. Elsevier B.V., 29–38.

Pihelo, P., Kalamees, T. 2020. Development of prefabricated insulation elements for buildings with aerated autoclaved concrete walls. – Kurnitski, J., Kalamees, T. (eds). 12th Nordic Symposium on Building Physics (NSB 2020) , 7–9 September 2020. Tallinn, Estonia, June 2020, 18001. EDP Sciences, <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202017218001>

Pihelo, P., Kalamees, T. 2021. Commissioning of moisture safety of nZEB renovation with prefabricated timber frame insulation wall elements. *Wood Material Science & Engineering* 16(2), 110–117. Taylor & Francis.

Pihelo, P., Kalamees, T., Kuusk, K. 2017. nZEB Renovation with Prefabricated Modular Panels. *Energy Procedia* 132. Trondheim. 11–14 June 2017, 1006–1011. Elsevier B. V., Pihelo, P., Lelumee, M., Kalamees, T. 2016. Potential of Moisture Dry-out from Concrete Wall in Estonian Climate. – International RILEM Conference on Materials, Systems and Structures in Civil Engineering. 22–24 August 2016, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, Lyngby, Denmark, 21–24 August, 2016, 289–298.

Pikas, E., Kuusk, K., Pihelo, P. jt. 2026. Prefabrication for housing retrofit: governance, innovation, and resident experience. *Buildings and Cities*, taasesitatus 01.05.2026.

Pukk, R., Vogt, E. 2023. Renovation of apartment buildings with factory-made facade elements. Estonian Woodhouse Association, <https://woodhouse.ee/wp-content/uploads/2024/02/2023-12-20-korterelamute-renoveerimise-tuleohutusnouded.pdf>

Sild, J. Juhendajad Paalandi, K., Kalamees, T. 2024. Lifti kavandamine ja rajamine tüüpsesse viiekorruselisse suurpaneelalamusse. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool, <https://digikogu.taltech.ee/et/item/7d02166f-3ba8-44ef-b36b-f9bb31126d48> (10.05.2026).

SmartEnCity. 2022. Projekt SmartEnCity – Tark Tartu, <https://tarktartu.ee/avaleht/ulevaade/>

SoftAcademy. 2024. Demonstrating a model of collaborative pre-fabricated reinvention of modernist districts into cozy living environments. European Urban Initiative, <https://www.urban-initiative.eu/ia-cities/tallinn/about-projects> (10.05.2026).

Statistikaamet. 2021. Eluruumid ja eluruumidega hooned – 2021 aasta rahva- ja eluruumide loendus, <https://rahvaloendus.ee/et/tulemused/eluruumid-ja-eluruumidega-hooned>

Zimmermann, M. 2012. Project Summary Report. Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings. IEA Annex 50.

TJA. 2013. 1960–1990 ehitatud korterelamute rõdude ja rõdude raudbetoonist eenduvate esipiirdepaneelide uuring. Tehnilise Järelevalve Amet.

TREA. 2022. SmartEnCity projekti tulemused: rekonstrueerimine, <https://tarktartu.ee/wp-content/uploads/2022/06/SmartEnCity-tulemused-rekonstrueerimine.pdf>

Treifeldt, A. 1959. Suurplok-ehitusviisi rakendamise võimalused ja majandusliku efektiivsuse kujunemine Tallinna elamuehituses. Eesti NSV Teaduste Akadeemia toimetised VII(2).

Truu, M., Lihtmaa, L., Niinemägi, M. 2024. Revitalizing Modernist Districts: Neighbourhood Level Mass-Renovation with SOFTacademy Project. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering 34(1), 8–21.

Veigel, P. 1962. Seinad pidagu sooja! Õhtuleht 78(2), 2.



Targo Kalamees

Foto: Erlend Štaub

Sündinud 18. juulil 1972 Tartus

Ehitusfüüsika professor ja praktiseeriv ehitusinsener enam kui 30-aastase kogemusega ehitusfüüsika, energiatõhususe, hoonete renoveerimise ja kliimakindla ehituse valdkonnas, kes ühendab teadus-, arendus- ja praktilise inseneritöö. Juhtinud arvukaid Euroopa Liidu ja Eesti teadusprojekte, panustanud ehitusstandardite väljatöötamisse ning nõustanud avaliku ja erasektori organisatsioone ehitusfüüsika, energiatõhusa ning kestliku ehituse küsimustes.

Haridus

- 1991 Tallinna Ehitus- ja Mehaanikatehnikum, insenerigeodeesia
- 1996 Tallinna Tehnikaülikool, ehituse õppesuuna inseneriõpe
- 1999 Tallinna Tehnikaülikool, ehituse õppesuuna magistriõpe (lisasoojustatud seinte niiskusraamatus)
- 2006 Tallinna Tehnikaülikool, ehitustehnika doktoriõpe (niiskus- ja soojuslikud kriteeriumid hoonete projekteerimiseks ja simulatsiooniks)

Töökohad ja ametid

- 2001–2002 Tampere Tehnikaülikool, teadur
- 1995–2003 Arhitektuuribüroo Kuup OÜ, QP Arhitektid OÜ, ehitusinsener
- 2003–2004 Helsingi Tehnikaülikooli kütte ja ventilatsiooni labor, teadur

2004	Tampere Tehnikaülikool, teadur
2004–2007	Helsingi Tehnikaülikooli kütte ja ventilatsiooni labor, teadur
2007–2010	Helsingi Tehnikaülikool, teadur (järel doktorantuur)
2015	Lundi Ülikool, külalisteadur
2009	Tallinna Tehnikaülikool, ehitusfüüsika professor

Tunnustused

2012	REHVA fellow – Euroopa kütte, ventilatsiooni ja õhu konditsioneerimise autasu silmapaistva töö eest hoonete energiatõhususe ja sisekliima alal
2015	Tallinna Tehnikaülikooli auhind ettevõtte-ülikooli koostööprojektile
2017	Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituudi parim doktoritöö juhendaja
2017	Tallinna energiategu 2017 – Tallinna Akadeemia tee 5a tervikrenoveerimine liginullenergiahooneks
2018	Eesti puitmaja sõber – Eesti Puitmajaliidu tunnustus
2019	Tallinna Tehnikaülikooli aasta teadlane
2022	aasta ehitusinseneri tiitel – Eesti Ehitusinseneride Liidu tunnustus
2025	Tallinna Tehnikaülikooli parim doktoritöö juhendaja
2026	riiklik teaduspreemia „Elamufondi tervikrenoveerimine ja niiskusturvalisuse tagamine inimeste elukvaliteedi parandamiseks ja hoonete keskkonnamõju vähendamiseks“