

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIA TEADUSKOND
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Andra Ainsaar

**PLANEERINGU OTSUSTE MÕJU HOONE
ENERGIATÕHUSUSELE**

Magistritöö ökotehnoloogias

Juhendaja: PhD Tõnu Mauring

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Teoreetiline ülevaade	6
1.1 Hoonete planeerimine linna tagamaale	6
1.2 Detailplaneeringu käsitus Eestis	7
1.3 Hoone orientatsiooni mõju energiatõhususele	9
1.4 Kiirguskliima Eestis	10
1.5 Kiirguskliima modelleerimise tähtsus hoonete energiatõhususes	12
2. Materjal ja meetodika	14
2.1 Uuritav Märja kinnistu	14
2.2 Uuritav Raamatu kinnistu	15
2.3 Tüüphoonete arvutusmodeli lähteandmed	16
2.4 Kasutatavad programmid	18
2.4.1 PHPP	18
2.4.2 Ecotect	18
2.5 Kliimaandmed	19
3. Tulemused ja analüüs	20
3.1 Tüüphoonete energiatõhusus vastavalt detailplaneeringule	20
3.1.1 Märja elamurajooni tüüphoonete kütteenergiavajadus	20
3.1.2 Männi tee elamurajooni tüüphoonete kütteenergiavajadus	23
3.2 Kinnistute uued planeeringud	27
3.2.1 Märja kinnistu uus planeering	27
3.2.2 Männi tee kinnistu uus planeering	30
4. Arutelu	33
Kokkuvõte	37
Summary	39
Tänuavaldused	41
Kasutatud kirjandus	42
Lisad	45

Oluliste mõistete seletused

ehitusaalne pindala (*enclosed building area*) – hoone alla jääv, sh eenduva kinnise osa pindala (ühik: m²).

energiatõhusus (*energy efficiency*) – energiakasutuse tõhusus, mis hõlmab meetmeid ning tehnoloogiaid hoone elutsükklis, et tagada väiksem elektri- ja küttekulu.

hoone orientatsioon (*building orientation*) – asetus ilmakaarte suhtes kraadides, mille alguspunkt on põhjasuund.

katuse kaldenurk (*roof pitch*) – katuse viilu ja horisontaalprojektsiooni vaheline nurk.

kompaktsus (*area to volume ratio*) – hoone välispiirete pindala suhe hoone ruumalasse.

lignullenergia hoone (*nearly zero energy building*) – parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv ei tohi ületada väikeelamutes 50 kWh/m²a ja korterelamutes 100 kWh/m²a.

neto kütteenegiavajadus (*specific space heat demand*) – energia hulk, mis on vaja ruumi lisada mugava sisekliima tagamiseks; esitatakse hoone kõetava pinna kohta aastas (ühik: kWh/m²a).

passiivmaja (*passive house*) – hoone, mille soojuslik mugavus tagatakse äärmiselt väikese energiavajadusega, st neto kütteenegiavajadus ≤ 15 kWh/m²a ja mille kvaliteeti on tunnustatud sertifikaadiga.

piirdetarind (*building envelope*) – konstruktsioon, mis eraldab ruumi välisõhust või pinnasest.

soojusjuhtivus (*U-value*) – soojustakistuse pöördväärtus (U-arv), mis näitab soojuskadu vattides (W) läbi ühe ruutmeetrise piirde, kui temperatuuride erinevus kahel pool piiret on üks Kelvin (ühik: W/m²K).

soojustagastusega ventilatsioon (*heat recovery ventilation*) – ventilatsiooniseade, milles õhuvahetuse käigus tõuseb sissepuhkeõhu temperatuur väljapuhkeõhuga lähedaseks, hoides sise- ja välisõhku lahus.

Sissejuhatus

Ehitustegevus areneb kiiresti linnast väljapoole, peamiselt poollooduslikele ja looduslikele aladele, mõjutades keskkonnatingimusi ja muutes maastikke. Tiheasustusega linnasid, kus on juba olemas vajalikud kommunikatsioonid ning ehitustegevuse mõju keskkonnale oluliselt väiksem, arendatakse seejuures suhteliselt tagasihoidlikumalt. Linnaümbrusesse rajatavad uuslamurajoonid, tööstuspargid ja logistikakeskused on sageli põhjalikult läbimõtlemata planeeringu ja ümbrusesse sobimatu arhitektuuriga.[1]

Ehitustegevuse ja maakasutuse aluseks on detailplaneering valla või linna territooriumi kohta. Detailplaneeringu koostamise eesmärk on säästva ja tasakaalustatud ruumilise arengu kujundamine.[2] Planeeringu kvaliteet oleneb oskusest leida konkreetse keskkonda eri osapooli arvestav lahendus. Selleks rõhutab tänapäevane planeerimise definitsioon koostööd, kus ühine lahendus leitakse läbi huvigruppide ideede ja vaatenurkade sünteesi.[3] Seega kujundavad detailplaneeringu ettekirjutised ka uuslamurajooni ehitavate hoonete energiatõhususe.

Euroopas tarbivad hooned umbes 40% kogu energiast ning Euroopa Liidu direktiivi kohastelt peavad alates 2020. aastast olema kõik uusehitised liginullenergia majad.[4] Arhitektuuril ja orientatsioonil on oluline tähtsus energiatõhususel kujunemisel. Eelkõige mõjutavad need passiivset päikeseenergia tarbimist, mida on võimalik kasutada efektiivselt ruumide valgustamiseks ja mugava sisetemperatuuri tagamiseks.[5] Uuringud on näidanud, et õigesti kavandatud hoone võib saada 45-100% päevasest kütteenergiavajadusest passiivsest päikeseenergia kasutamisest.[6] Seetõttu on määrava tähtsusega planeeringu mudelis päikesekiirguse simulatsioon, et analüüsida passiivse päikeseenergia kasutamise potentsiaali.

Käesoleva uurimustöö eesmärk on analüüsida planeeringu käigus vastuvõetud otsuste mõju hoonete energiatõhususele Eesti kliimas. Uuringuks kasutatakse näitena kahte Tartu linnapiiri lähedal asuvat uuslamurajooni. Töö lõpus annab autor mõlemale

kinnistule omapoolse lahenduse parema passiivse päikeseenergia kasutamiseks hoonetes.

Töö sisuline osa on jaotatud kolmeks peatükiks, millest esimeses antakse teoreetiline ülevaade hoonete planeerimisest linna tagamaale ja detailplaneeringust. Kirjeldatakse Eesti kiirguskliimat ning käsitletakse hoone orientatsiooni ja päikesekiirguse modelleerimise tähtsust. Uuringu teine osa annab ülevaade läbiviidud katse metoodikast ja kasutatud materjalist. Töö lõpus tuuakse välja peamised tulemused ja sellega seonduv arutelu.

1. Teoreetiline ülevaade

1.1 Hoonete planeerimine linna tagamaale

Maailma rahvaarv (7,3 miljardit) on pidevalt kasvanud. Aastaks 2050 ennustatakse 9 miljardi täitumist ning et iga seitsmes inimene kümnest elab ja töötab linnas.[4] Samas on Euroopas linnapiirkonnad oluliselt kiiremini laienenud selle tagamaale, kui on olnud üldine rahvaarvu kasv ning selline suhe jätkuvalt suureneb.[7] Madaltiheda linnakeskkonna planeerimatut laialivalgumist selle tagamaale nimetatakse valglinnastumiseks, mida iseloomustab juhuslik levikumuster ja monofunktsionaalsus.[1]

Eesti on jaotatud kaheteistkümneks linnaregiooniks, mille keskusteks on maakonnalinnad.[8] Intensiivsem uuselamuehitus linnade ümbruses algas 2000. aastatel, mida on tänaseni tinginud maaressursi odavam hind, linnakeskkonna ruumilised piirangud, rahvastiku arvu kasv ja sotsiaalmajandusliku heaolu tõus. Kõige ulatuslikum valglinnastumine on toimunud Tallinna linnaregioonis.[9] Tartuga külgnevate valdade rahvaarv on viimase kümne aastaga kasvanud maakonnalinnade elanike arvelt.[10] Elanike tihedus on tõusnud Luunja vallas 70%, Ülenurme vallas 67% ja Haaslava vallas 17%. 1997-2012 oli viide Tartut ümbritsevasse valda detailplaneeringute kavandatud 312 uuselamuala.[9]

Eeslinnapiirkondades pole vaid uued eramajad - linna servadesse on ehitatud ka kaubanduskeskusi, kontoripindasid, tööstusettevõtteid ja logistikakeskusi. Seejuures ei ole olnud piiravaks üldplaneeringu ruumistrateegia, sest piisavalt tugeva arendussurve korral on võimalik see kohandada vastavalt detailplaneeringule. Nii on linnade tagamaale kujunenud juhusliku ja hõreda paigutusega arendatud alad, millel puudub läbimõeldud struktuur ja seostatus ümbritseva keskkonnaga.[9] Lisaks on uusasumid planeeritud peamiselt endistele põllu- ja looduslikele rohumaadele, häirides taime- ja loomakasvatust ning vähendades rohevõrgustiku sidusust.[1]

1.2 Detailplaneeringu käsitlus Eestis

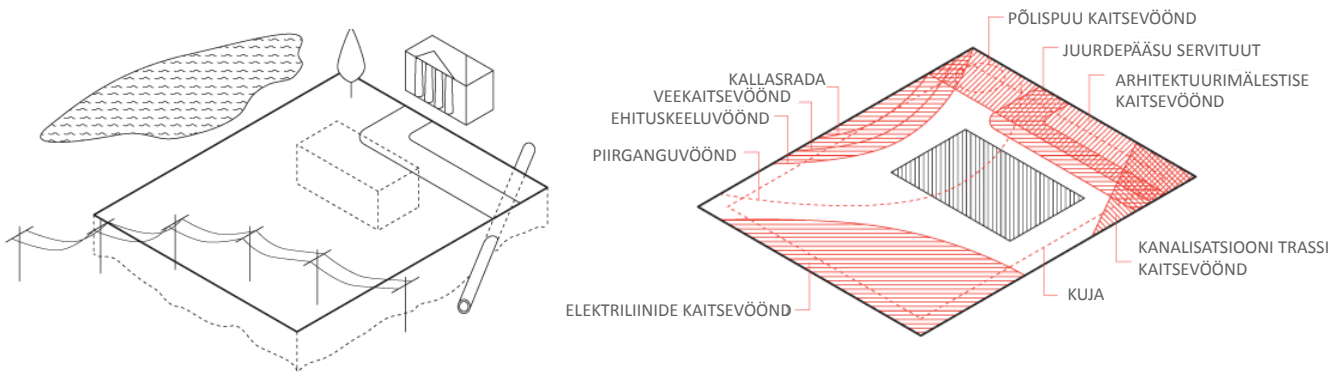
Linnade ja kinnistute planeerimise tähtsust hakati mõistma 19. sajandi lõpus, kuna üha kiiremini kasvas rahvaarv ja saastunud elukeskkond mõjutas inimeste tervist.[11] Kuni 1980. aastate lõpuni oli planeerimine poliitikute ja arhitekt-visionääride pärusmaa ning planeeringuid koostasid riiklikud projektbürood. Tänapäeval on planeerija ülesanne ruumilise lahenduse loomine nii eraomaniku kui ka riiklikul tasandil.[3]

Eesti sai planeerimisseaduse 1995. aastal, mida on ulatuslikult muudetud tänaseni. Seaduse eesmärk on tagada võimalikult paljude ühiskonnaliikmete vajadusi ja huvisid arvestavad tingimused säästva ja tasakaalustatud ruumilise arengu kujundamiseks, planeerimiseks, maakasutuseks ja ehitamiseks. Seaduse kohaselt on planeeringute koostamine avalik, et tagada huvitatud isikute kaasamine ja õigeaegne informeerimine.[2] Eestis on planeeringud jaotatud neljale tasemele: üleriigiline, maakonna-, üld- ja detailplaneering, mille käsitlus on üldisemast täpsemaks. Detailplaneering koostatakse valla või linna territooriumi osa kohta ja see on maakasutuse ja lähiaastate ehitustegevuse aluseks. Planeerimisseaduse järgi algatab detailplaneeringu kohalik omavalitsus ning koostamise õigus on kõrgharidusega arhitektil, planeerijal või muu planeerimisalase ettevalmistusega spetsialistil. Detailplaneeringus jaotatakse maa-ala kruntideks, millele määratakse ehitusõigus, hoonestusala ja sihtotstarve. Lisaks kinnitatakse haljasalad, tehnovõrgustik ja liikluskorraldus.[2] Seega võib pidada detailplaneeringut otseseks projekteerimise alusdokumendiks.

Detailplaneeringu koostamisel loovad raamistiku mitmed ehitustegevust piiravad kitsendused (joonis 1), mis tulenevad planeeringuala eripärast. Enamus looduskaitseadusest tulenevad piirangud:

- ehituskeeluvöönd, kus uute hoonete rajamine on üldiselt keelatud. Mererannas on ehituskeeluvöönd olenevalt asukohast 100-200 m, jõgede ja järvede ääres olenevalt ehitusmahu suuruselt 25-50 m;[12]

- piiranguvöönd, mis peab olema päikesetõusust päikeseloojanguni avalikuks kasutamiseks. Mererannas on piiranguvöönd 200 m, jõgede ja järvede ääres 50-100 m;[12]
- kaitsevöönd, on näiteks kinnismälestisel, rannal ja kaldal, teel, raudteel, nii tehnovõrgul ja valgalal, mis igäüks tuleneb vastavat valdkonda käsitlevatest seadustest.



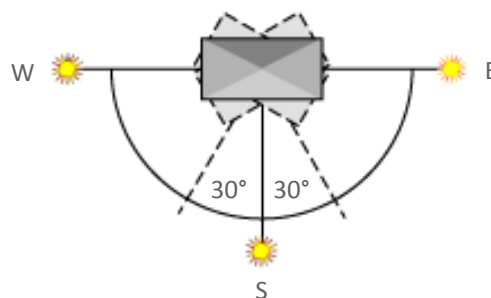
Joonis 1. Detailplaneeringu koostamist mõjutada võivad kitsendused.[3]

Lisaks maastikust tulenevatele piirangutele on detailplaneeringu eesmärk määrata hoonete kujad, mida võib pidada energiatõhususe aspektist üheks olulisemaks parameetrik. Kujaga piiritletakse hoonete väikseim lubatud vahekaugus, mis tuleohutuse tagamiseks peab olema vähemalt 8 m.[2,13] Hoonete omavahelistest vahekaugustest kujuneb kinnistu hoonestustihedus. Seejuures arvestatakse ka korruselisusega, sest planeeringuala jagatakse hoonete suletud brutopindalaga.[3] Kinnistu hoonestustihedus ja kuja kujundavad planeeringu varju- ning kiirgustingimused ja mõjutavad hoone passiivset päikeseenergia kasutamise võimalusi.[14]

1.3 Hoone orientatsiooni mõju energiatõhususele

Ehitussektorit võib energiatootmise ja tööstuse kõrval pidada üheks keskkonnale enim mõju avaldavaks majandusharuks. Umbes 80% hoone elutsüklis kasutatavast energiast kulub kasutusfaasis.[15] Niisiis on ehituses ja planeerimises energiatõhusate meetodite arendamine globaalse tähtsusega. Euroopa Liidu liikmesriigid on kohustatud aastast 2020 rajama vaid liginullenergia hooneid.[4] Eestis reguleerib energiatõhusust 2012. aastal Vabariigi Valitsuse poolt vastuvõetud määrus "Energiatõhususe miinimumnõuded".[16]

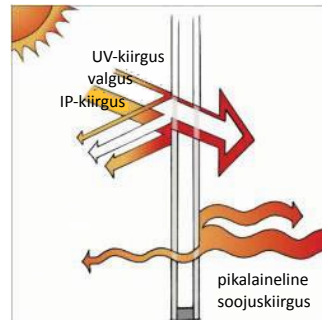
Uue hoone kavandamisel on üks põhieesmärke tagada mugav ning tervislik sisekliima minimaalse energiakuluga. Seda on võimalik saavutada külmasillavaba konstruktsiooni ja tõhusa soojustusega, rakendades efektiivseid seadmeid ning taastuvaid energiaallikaid.[17] Peale materjalide ja tehnoloogiliste lahenduste on energiatõhususe aspektist samuti määrav hoone asend.[1] Mitmed uuringud on näidanud, et detailplaneeringus kinnitatud hoonestustihedusel, asendil kinnistul ja kompaktsusel on tähtis roll energiatõhususe kujunemisel.[4,6,14] Hoone orientatsioon määrab päikesekiirgusele eksponeeritavad fassaadid ja kiirguse kestvuse.[18] Õhu temperatuuri, tuule kiiruse ja päikesekiirguse koosmõjul kujuneb välispiirde temperatuur, mis on oluline tegur ruumisise ja välisõhu vahelises soojusvahetuses.[19]



Joonis 2. Hoone orientatsioon võib olla lõunast kuni 30° ida või lääne suunas efektiivseks päikeseenergia kasutamiseks.[20]

Põhjapoolkeral peab hoone olema orienteeritud lõunast kuni 30° ida või lääne suunas, et maksimaalset kasutada päikesekiirgust ka talvel (joonis 2). Orienteeritus enam kui 30° suurendab aastast kütteenergiavajadust 30-40%.[21]

Külmas kliimas moodustab kütte enamuse hoone kogu energiavajadusest, mida on võimalik vähendada passiivse päikeseenergia kasutamisega.[14] Läbi akna tulev päikesekiirgus ei soojenda õhku otse, vaid muutub soojuseks tahketes pindades, mis omakorda annavad salvestatud soojuse pika aja vältel konvektiivselt ruumiõhule (joonis 3).[17] Nii on passiivse päikesekiirguse kasutamise eesmärk on tagada hoones mugavad soojus- ja valgustingimused tehnoloogiliste vahenditeta.[22]



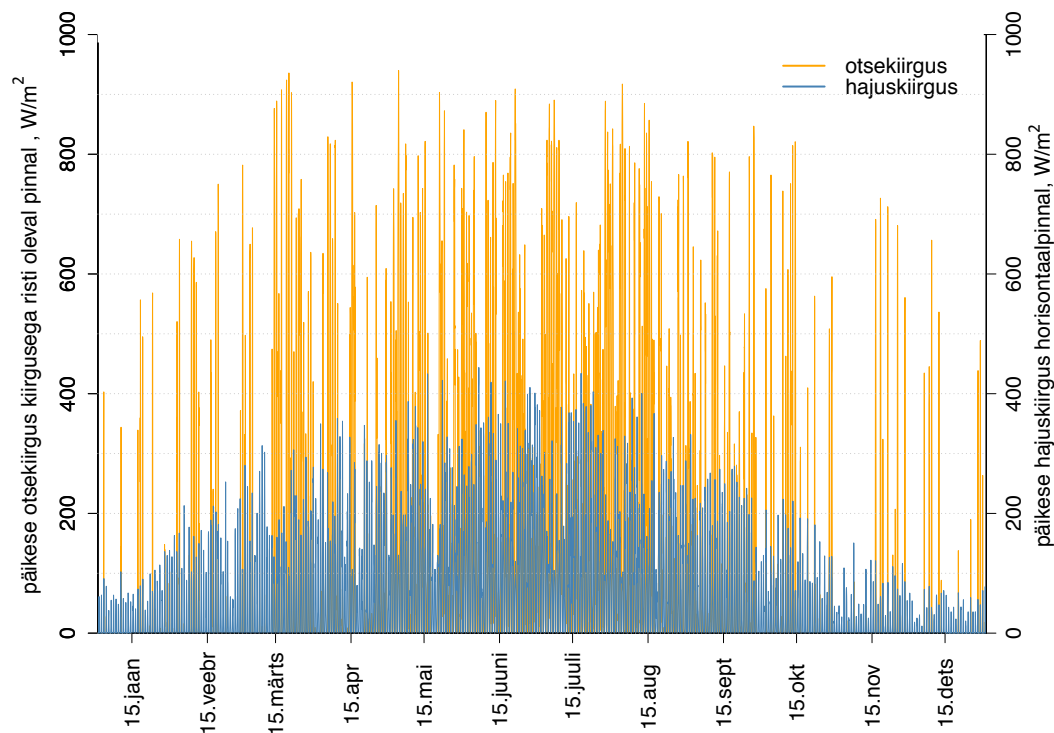
Joonis 3. Aknale langeva päikesekiirguse muundumine pikalaineliseks soojuskiirguseks.[23]

Selleks, et päikesekiirgust efektiivselt kasutada, on oluline optimeerida klaaspinna osakaal fassaadil. Põhjapoolkeral tuleb selleks suurema aknapinnaga sein suunata lõunasse.[22] Ida-, lääne- ja põhjasuunalised aknad on tavaliselt negatiivse soojusbilansiga ning nende pindala peaks moodustama 10-15% kogu hoone akende pindalast.[24]

1.4 Kiirguskliima Eestis

Planeeringuala võib iseloomustada sealsele piirkonnale omase pikaajalise kliima kui ka vahetusläheduses paiknevatest objektidest sõltuva mikrokliimaga. Hoonet ümbritsev keskkond ja asukoht võivad märkimisväärselt mõjutada kütteenergiavajadust ja ruumide sisekliimat. Üheks peamiseks hoone energiatõhusust kujundavaks parameetrik on päikesekiirgus.[25]

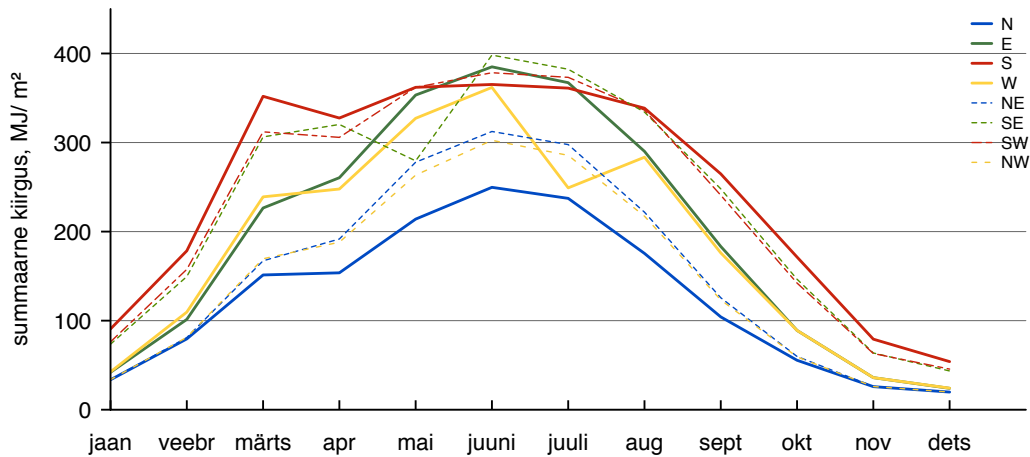
Päikesekiirguse perioodilised muutused on tingitud geograafilisest laiusest, kändest ja kellaajast. Nende koosmõjul muutuvad päikese kõrgus ja päeva pikkus. Päikese kõrgus on nurk horisondi ja vaatlejast päikese suunas mõtteliselt kulgeva kiire vahel. Eestis erinevad keskpäevased kõrgused rohkem kui 2° võrra. Nende suurimad väärtused on suvisel ($53^\circ 37' - 55^\circ 54'$) ja vähimad talvisel ($6^\circ 45' - 9^\circ 2'$) pööripäeval.[19] Päeva pikkus määrab päikesepaiste aja, mis on suvel ligikaudu kümme korda pikem kui talvel - kõige enam juunis ja kõige vähem detsembris. Eestis on päikesepaiste tegelik kestus keskmiselt 37-43% väiksem võimalikust väärtusest, sest seda mõjutavad pilved, udu ja vaatluskohta varjutavad objektid horisondil.[19]



Joonis 4. Otsese ja hajusa kiirguse tunni keskmised väärtused Eesti energiaarvutuste baasaastas.[26]

Päikesekiirgus jõuab maapinnale otsese- ja hajuskiirgusena, mille nähtavaid osasid nimetatakse vastavalt päikese- ja taevavalguseks.[17] Otsesel kiirgusel on kindel suund ja jõuab vaatlejani praktiliselt paralleelsete kiirte kimbuna. Hajuskiirgus jõuab maapinnale pärast korduvat hajumist poolsfääri kõikvõimalikest suundadest. Atmosfääri peamisteks hajutajateks on õhu molekulid, veeaur, aerosool ja pilved.

Aastasummas on otsese ja hajusa kiirguse osatähtsus ligikaudu võrdne (joonis 4). Suvekuudel on summaarses kiirguses ülekaalus otsene, talvel hajuskiirgus.[19]



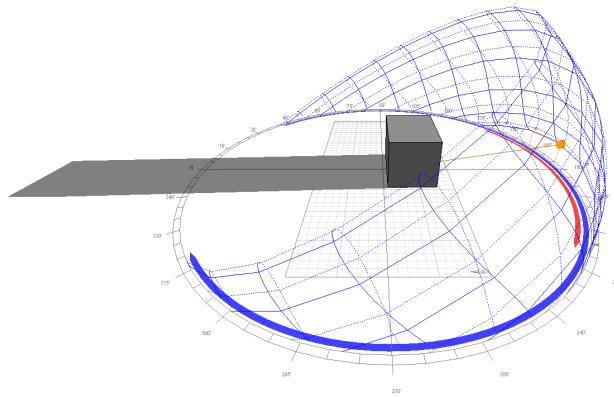
Joonis 5. Summaarse kiirguse keskmised kuusummad Tõraveres (1955-2000) erineva orientatsiooniga vertikaalsetel pindadel.[19]

Erinevatesse ilmakaartesse orienteeritud seinad ei ole võrsetes kiirgus- ja valgustingimustes (joonis 5). Päikesekiirguse aastasummas saab otsekiirgust kõige vähem põhjasein, kuhu jõuab otsest kiirgust ainult viie kuu jooksul ja aastasumma on üle 13 korra väiksem lõunaseina omast. Talvel madala päikse korral kujundavad põhjaseinal summaarse kiirguse hajus- ja peegeldunud kiirgus ning lõunaseinad on otsese kiirguse osas eelisolukorras.[19]

1.5 Kiirguskliima modelleerimise tähtsus hoonete energiatõhususes

Päikesekiirgus on taastuv ja kergesti kättesaadav energiaallikas, mille tähtsus tulevikus kindlasti kasvab. Linnad ja elamurajoonid on keskkonnad, kus kiirgus jaotub ebahõltselt ning tekivad keerulised varjutingimused.[27] Järelikult on üha enam energiast sõltuval ühiskonnal oluline reaalse mudelite simulatsioonid planeeringute analüüsimiseks ja jätkusuutlikuks arendamiseks, et hinnata päikeseenergia kasutamise potentsiaali.[28]

Varasemad päikesevalguse simulatsiooniprogrammid arvutasid kiirguse füüsilise potentsiaali üksikutele katustele kahedimensionaalses geometrias. Tänapäeval võimaldavad programmid modelleerida päikesekiirgust kolmemõõtmelises linnamudelis, arvestades kohalikku kliimat ja geograafilisi aspekte. Sageli on aga simulatsioon ressursi- ja ajakulukas ning sõltub detailsusest.[25] Niisiis peaks programmide edasine areng olema suunatud ka tavaspetsialistile, et saada mõningate andmetega lihtsustatud analüüs. Seega on veel palju arendustööd, et aina aktuaalsemaks muutuvad päikesekiirguse modelleerimisprogrammid saaksid veelgi kättesaadavamaks ning planeerimise loomulikuks osaks



Joonis 6. Hoone varjupikkusse kujunemine talvel, 15. detsembril kell 12:00 (vaade läänest), välja võte Ecotectist.

Kuna päikesekiirgust on võimalik passiivselt ära kasutada ruumide kütteks ja valgustamiseks, on oluline kinnistu kiirgus- ja varjuanalüüs läbi viia juba planeeringu algusjärgus.[15] Eriti tähtsaks võib pidada passiivse päikeseenergia optimeerimist suurematel põhjalaiustel, kus talvel on päike madalal ning päevad lühemad (joonis 6).[29] Seetõttu on päikesekiirguse kavandamine üheks võtmelemendiks madala elukaaremaksimumusega hoonete projekteerimisel.[17]

2. Materjal ja metoodika

Käesolevas töös võeti analüüsi aluseks kaks Tartu linnapiiri lähedal asuva kinnistu detailplaneeringut. Üheks valitud uuselamurajooniks on Märja, kus on eri tüüpi elamuid ja millest kaks on passiivmajad, mida seirab ka Tartu Ülikooli Energiatõhusa ehituse tuumiklabor. Teiseks valiti Raamatu kinnistu, kus on hästi orienteeritud hooned, kuid samas on erinevaid detailplaneeringut piiravaid kitsendusi. Mõlemal kinnistul jaotati vastavalt lähtetingimustele elamud sarnasuse alusel tüüphooneteks. Kütteenergiavajaduse arvutamisel on lähtutud välispiirete soojusjuhtivuses määrusest "Energiatõhususe miinimumnõuded", mille järgi on elamute välisseinte soojuslähivus 0,12-0,22 W/m²K ja katusel ning põrandal 0,1-0,15 W/m²K.[16] Hoonekarbi õhuvahetuskordsuse määramisel on aluseks võetud Eesti elamute keskmine õhuvahetuskordsus, mis on ligikaudu 4,84 1/h.[30] Lisaks on arvestatud akendega, mille klaasi pindala on jäetud vastasfassaadidel samaks. Kinnistutel modelleeriti nii kiirgus- kui ka varjutingimusi ning analüüsiti olukorda, kui kõik hooned oleksid orienteeritud täpselt ilmakaarte suhtes

Töö teises osas andis autor mõlemale planeeringutele uue lahenduse, arvestades vaid detailplaneeringutest tulenevaid ehitust piiravaid kitsendusi. Lisaks kasutati uues lahenduses eelnevalt leitud madalaima kütteenergiavajadusega tüüphooneid, mille muudetavaid parameetreid parandati energiatõhusamaks. Seejuures lähtuti rahvusvahelisest passiivmaja standardist, mille järgi hoone õhuvahetuskordsus ei tohi ületada 0,6 1/h [31] ja välispiirete soojusjuhtivuses võeti aluseks Märja passiivmajade piirdetarindid. Samuti viidi läbi kiirgus- ja varju analüüs ning leiti tüüphoonete uus kütteenergiavajadus.

2.1 Uuritav Märja kinnistu

Märja uuselamurajoon asub Tartu linna piirist umbes 1 km kaugusel, Ülenurme valla põhjaosas Õssu külas. Märja maaüksuse detailplaneeringu, mille on koostanud maastikuarhitektuurifirma Artes Terrae, kinnitas Ülenurme Vallavolikogu 2006. aastal (lisa 1).[32]

Kinnistu kavandatud hoonestustihedus on 27,1% ja orienteeritus põhja suhtes 27,2° lääne suunas. Planeeringuala suuruseks on 18,68 ha, mis on jagatud väike- ja korterelamukruntideks, üldmaa- ning transpordimaakruntideks. Keskmise elamukrundi pindala on umbes 1702,6 m², millele vastavalt võib ehitada kahekorruselisi väikeelamuid või kolmekorruselisi korterelamuid. Kinnistul on ka kolm krunti eksperimentaalelamute rajamiseks, mis jäeti käesolevast uuringust välja, kuna ei ole teada hoonete täpsemaid arhitektuurilisi nõudmisi. Planeeringuga on kavandatud ka üldmaa sihtotstarbega krundid, mis on mõeldud ühiskasutuses olevate rohealade ja mängu- ning spordiväljakute tarbeks.[32] Märja kinnistu hetkeolukord on toodud lisa 1.

2.2 Uuritav Raamatu kinnistu

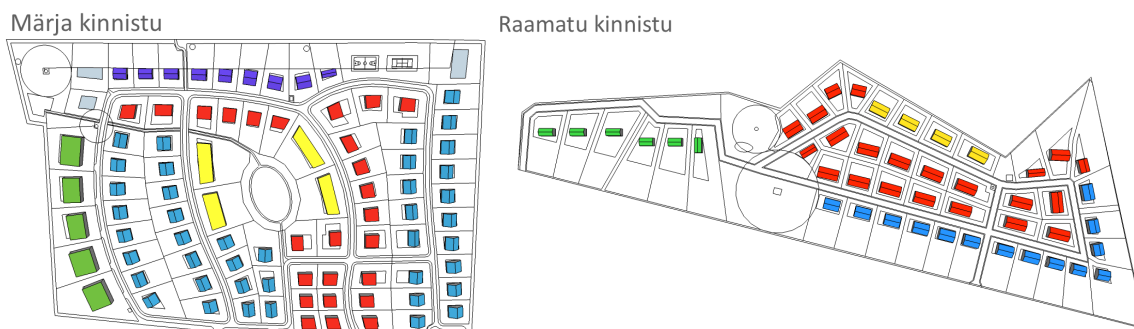
Raamatu kinnistul paiknev Mäni tee elamurajoon asub 6 km Tartu linna piirist Haaslava vallas. Antud maaüksuse detailplaneeringu koostas OÜ GEPA Maa- ja Ehituskorraldus Haaslava Vallavalitsuse tellimisel 2006. aastal (lisa 2).[33]

Katastriüksuse pindala on 12,7 ha, mis on jagatud 46 elamukrundiks, mille keskmine pindala on umbes 2084,7 m². Kinnistu hoonestustihedus seega on 19,6%. Elamukrundile võib vastavalt rajada kuni kahekorruselisi üksik- ja ridaelamuid, mille suurim lubatud kõrgus ei tohi ületada 8,5 m. Lisaks on detailplaneeringus ette nähtud hoonetel viilkatused, mille kalle peab jääma vahemikku 25-45° ja harjajoone suund paralleelselt teega.[33]

Planeeringualale pääseb lõunakaares paiknevalt Tõrvandi-Roiu-Uniküla kõrvalmaanteelt. Planeeringuala katab läänest männimets ning umbes 2 km kaugusele jääb Kurepalu paisjärv. Niisiis on tegemist linnalähedase ja looduskauni alaga.[33] Mäni tee elamurajooni hetkeolukorda on toodud lisa 2.

2.3 Tüüphoonete arvutusmudeli lähteandmed

Männi tee ja Märja planeeringuala elumud jaotati vastavalt detailplaneeringust tulenevatele tingimusele ja arhitektuursetele nõuetele sarnasuse alusel tüüphooneteks. Märja kinnistul on viis ja Raamatu kinnistul neli tüüphoonet (joonis 6).



Joonis 7. Tüüphoonete jaotusskeem Märja ja Raamatu kinnistul.

Hoone geometrias võeti arvesse arhitektuursetes nõuetes toodud hoonete suurim lubatud kõrgus ja viilkatuse korral katuse kaldenurk. Lisaks leiti iga tüübi keskmine orientatsioon ja ehitusalune pindala. Täpsemad parameetrid on toodud lisa 3.

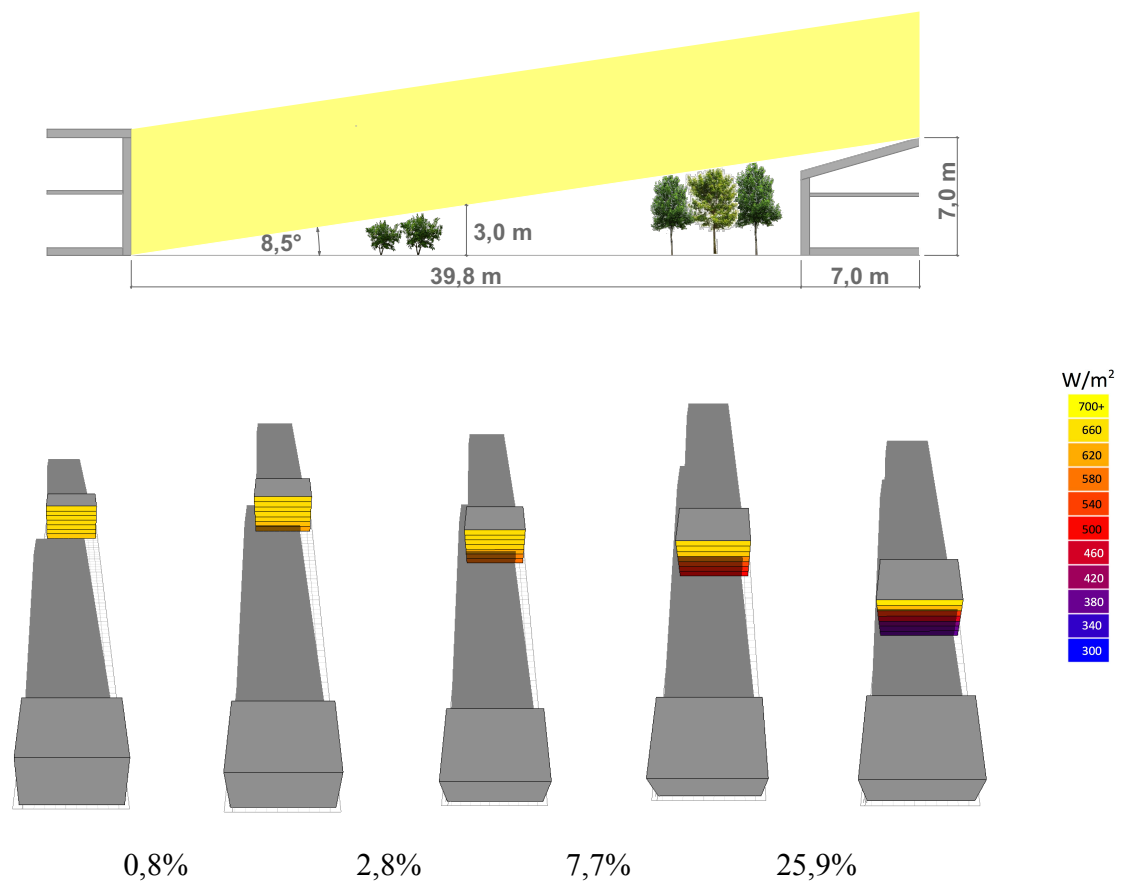
Tüüphoonete energiatõhususe arvutamisel on aluseks võetud Märja kinnistule rajatud sertifitseeritud passiivmaja. Seega on mudelites väga head puitaluumiinium raami ja kolmekordse klaaspaketiga aknad ning soojustagastusega ventilatsiooniseade. Kütteenergiavajaduse arvutamisel fikseeritud tingimused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Arvutusmudelites fikseeritud tingimused kütteenergiavajaduse leidmisel.

Klaaspaketi U-arv (W/m^2K)	0,53
Aknaraami U-arv (W/m^2K)	0,59
Välisukse U-arv (W/m^2K)	1
Ventilatsiooniseadme soojustagastuse efektiivsus (%)	93
Siseruumide temperatuur ($^{\circ}C$)	21,0

Muudetavateks parameetriteks olid hoone välispiirete soojusjuhtivus ning õhuvahetuskordsus. Lisaks akende pindala, mis mõjutavad olulisel määral hoone energiatõhusust. Käesolevas töös on arvestatud ainult vertikaalsete klaaspindadega ja välja jäetud võimalikud kaldaknad katusel.

Muutuvaks tingimuseks olid ka varjud, mida põhjustasid kõrvalolevad hooned ja võimalik haljastus. Siinjuures ei võetud arvesse elamu arhitektuurset varjutust, mida võivad põhjustada rõdud, räästad, sirmid ja muud hoonest eenduvad osad. Täpsed tüüphoonete varjupikkused on välja arvatud ka lisas 4, millega arvestati kinnistutele uue lahenduse loomisel. Näitena on toodud joonisel 8 7 m kõrguse maja varjupikkus talvel ning päikesekiirguse energia hulga vähenemine kõrvalhoone lähendamisel 10 m võrra.



Joonis 8. 7 m kõrguse hoone varjupikkus ja passiivse päikeseenergia vähenemine (%) vastasmaja lähendamisel 10 m võrra talvel, 15. detsembril kell 12:00.

Hoonete kütteenõudavusest tingitud süsinikdioksiidi (CO₂) emissiooni leidmiseks arvestati hoonetes gaasi kondensaatoriga, mille korral on kasutegur 1,1 ja CO₂ emissioonifaktor 0,25 kg/kWh_{loppenergia}. Mõlemad näitajad vastavad Euroopa keskmisele süsinikdioksiidi emissioonile, mis tekib elektrienergia tootmisel.[31]

2.4 Kasutatavad programmid

2.4.1 PHPP

PHPP 2007 (*Passive House Planning Package*) on MS Exceli baasil töötav tarkvarapakett, mis on välja töötatud Saksamaal Passiivmaja instituudis. Rahvusvaheliselt tunnustatud simulatsiooniprogramm on mõeldud väga madala kütteenergiavajadusega hoonete planeerimiseks ning passiivmajade sertifitseerimiseks. PHPP arvutuste abil on võimalik leida antud kliimas hoone kütteenergiavajadust, arvestades välispiirete soojusjuhtivust ja soojakadusid. Arvutused tehakse soojusbilanssi kuupõhiselt, mis vastab Euroopa standardile EN ISO 13790 "*Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*".[31]

2.4.2 Ecotect

Ecotect 5.60 on eelkõige päikesekiirguse dünaamiliseks simulatsiooniks loodud programm, mille on välja andnud Ameerika Ühendriikide ettevõtte Autodesk. Ecotect võimaldab hinnata hoone päikeseenergia efektiivset ära kasutamist ning leida ka keerulisema arhitektuuri korral sobiv varjulahendus. Lisaks iga hoone eraldi analüüsimisele, sobib Ecotect ka suuremate kinnistute kiirguse- ja varjutingimuste modelleerimiseks. Ecotect on mõeldud projekteerimise algusjärgus kasutamiseks ning seega on programmi peamised kasutajad projekteerijad, arhitektid ja ehitusinsenerid.[34]

2.5 Kliimaandmed

Hoonete pikaajalise toimimise analüüsimiseks kasutati Eesti energiaarvutuste baasaastat, mille koostamisel on lähtutud määruses "Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika" toodud standardist EVS-EN ISO 15927-4:2005 [35].

Tabel 2. Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmed.[26]

Kuu	Välisõhu temperatuur, °C	Suhteline õhuniiskus, %	Tuule kiirus m/s	Otsekiirgus MJ/m ²	Hajuskiirgus MJ/m ²
jaanuar	-3,0	90	5	35,0	39,2
veebruar	-5,2	89	4	93,4	82,0
märts	-0,1	76	4	308,1	144,2
aprill	4,0	77	4	254,4	190,2
mai	11,2	70	4	493,3	269,6
juuni	14,1	73	3	497,8	306,1
juuli	17,2	77	3	606,1	290,8
august	15,7	81	3	453,6	229,7
september	10,8	82	4	259,0	161,3
oktoober	5,8	87	4	143,8	82,9
november	-0,1	91	4	68,2	37,0
detsember	-2,5	86	5	49,7	20,8

Baasaasta konstrueerimisel on kasutatud kolme dekaadi (1970-2000) vältel kogutud väliskliima parameetreid Tallinna, Kuressaare, Pärnu, Tartu, Väike-Maarja ja Võru kohta. Andmekogum kajastab tunnilise täpsusega välisõhu temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse, tuule kiiruse ja suuna ning otsese ja hajusa päikese kiirguse keskmisi väärtusi.[26] Tabelis 2 on toodud baasaasta andmete kuusummad (välisõhutemperatuur, suhteline õhuniiskus, tuule kiirus) ja kuu keskmised (otsene päikese kiirgus, hajuspäikese kiirgus horisontaalpinnale) väärtused. Otsese ja hajusa kiirguse graafik (joonis 4) on Eesti kiirguskliimat käsitlevas peatükis.

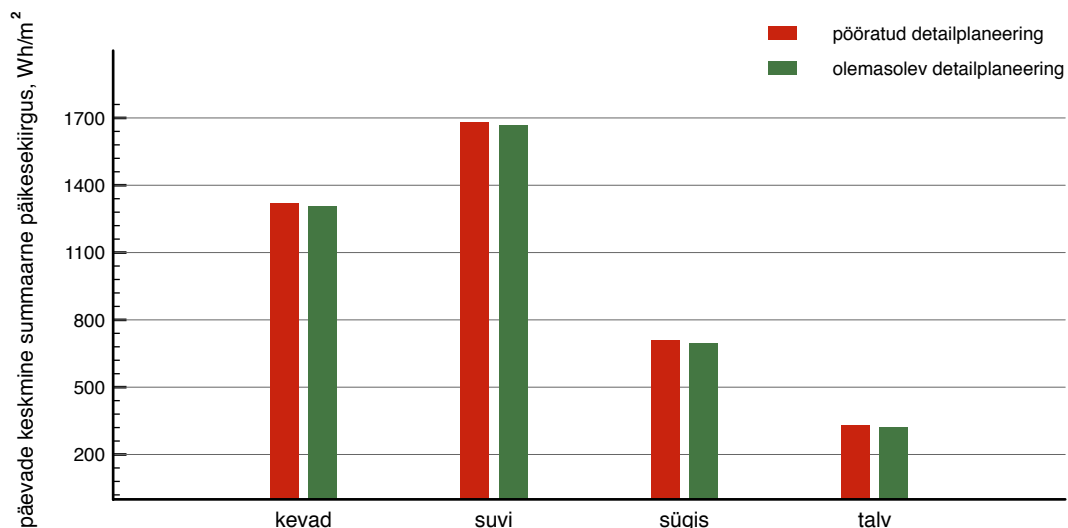
3. Tulemused ja analüüs

Katse esimese etapi eesmärk oli analüüsida kahe Tartu linnapiiri lähedal asuva uuselamurajooni hoonete energiatõhusust. Mõlemas planeeringus jaotati elamud vastavalt detailplaneeringus antud lähtetingimustele tüüphooneteks. Uuringu esimeses pooles leiti tüüphoonete kütteenergiavajadus ning analüüsiti alternatiive selle parandamiseks. Töö teises osas andis autor planeeringutele uue lahenduse, arvestades olemasolevaid kinnistute ja detailplaneeringute tingimusi.

3.1 Tüüphoonete energiatõhusus vastavalt detailplaneeringule

3.1.1 Märja elamurajooni tüüphoonete kütteenergiavajadus

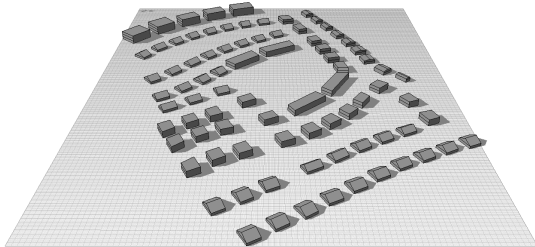
Olemasolevates tingimustes saavad Märja kinnistu hoonete fassaadid suvel keskmiselt 1679,3 Wh/m² summaarset päikesekiirgust päevas, mis on enam kui viis korda rohkem kui talvel (326,6 Wh/m²). Sügisel ja kevadel on sama näitaja vastavalt 706,5 Wh/m² ja 1311,8 Wh/m² (lisa 5). Kui Märja elamurajoonis oleksid hooned orienteeritud täpselt ilmakaarte suhtes, siis summaarne päevade keskmine päikesekiirgus oleks aastas 1,6% suurem. Summaarse kiirguse päevade keskmised tulemused hoonete fassaadidele aastas on toodud joonisel 9.



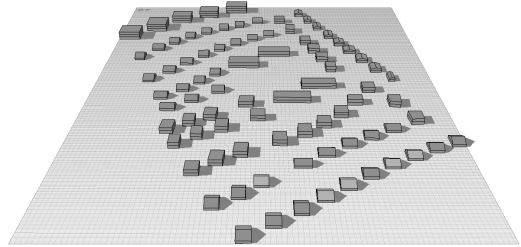
Joonis 9. Märja kinnistu olemasoleva ja pööratud detailplaneeringu päevade keskmine summaarne päikesekiirgus hoonete fassaadidele aastas.

Käesolevas töös arvestati varjutingimustes vaid hooneid ümbritsevate objektidega. Kõrvalhoonetest tulenevad varjud on toodud joonisel 10.

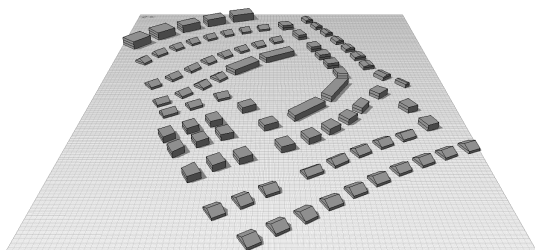
Kevad (15.03)



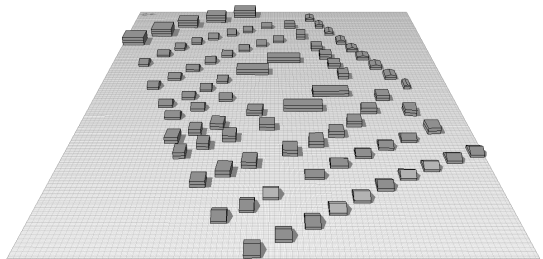
Kevad (15.03)
pööratud detailplaneering



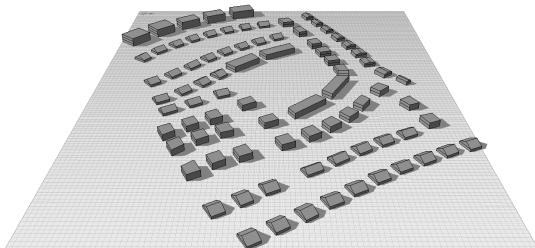
Suvi (15.06)



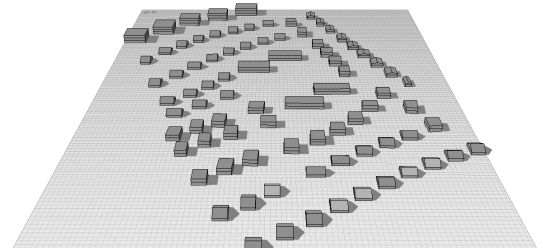
Suvi (15.06)
pööratud detailplaneering



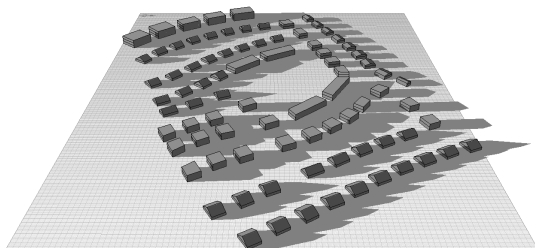
Sügis (15.09)



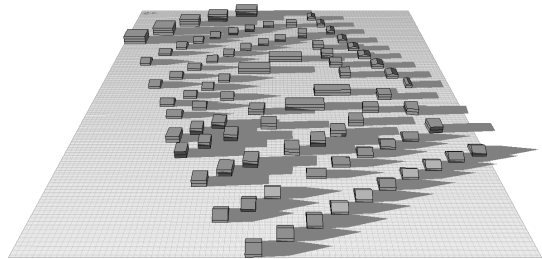
Sügis (15.09)
pööratud detailplaneering



Talv (15.12)



Talv (15.12)
pööratud detailplaneering



Joonis 10. Märja kinnistu kõrvalhoonetest tulenevad aastaajalised varjutingimused olemasoleval ja pööratud detailplaneeringul (vaade läänest).

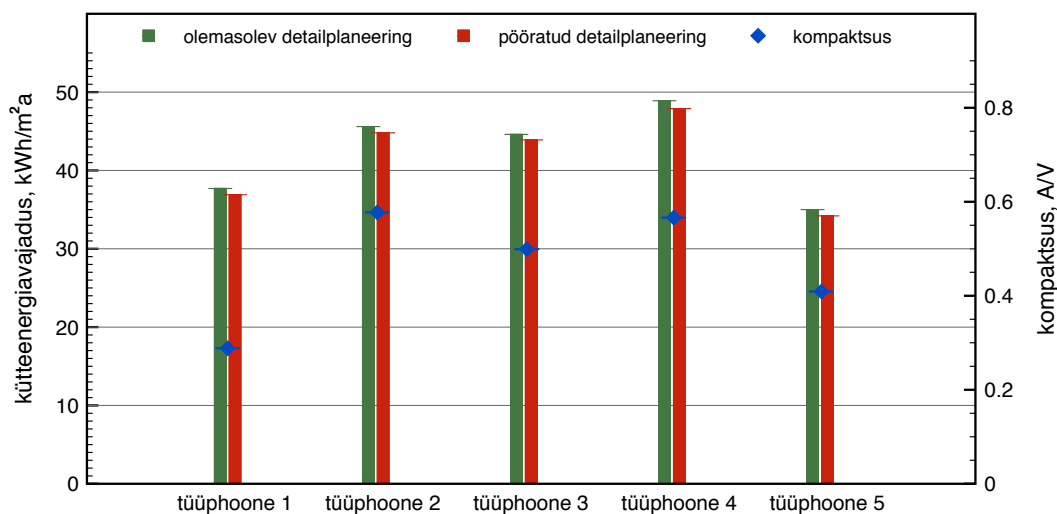
10. joonisel on näha, et pööratud detailplaneeringul on varjupikkused lühemad ning seetõttu saavad elamu fassaadid ka rohkem summaarset päikesekiirgust.

Märja elamurajooni tüüphoonete kütteenergiavajaduse arvutamiseks PHPP-s määrati välispiirete soojusjuhtivus, õhuvahetuskordsus ning akende pindalad, mis on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Märja elamurajooni tüüphoonete parameetrid kütteenergiavajaduse arvutamiseks.

	Tüüphoon 1	Tüüphoon 2	Tüüphoon 3	Tüüphoon 4	Tüüphoon 5
Välisseina U-arv (W/m ² K)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Katuslae U-arv (W/m ² K)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Põrandpinnase U- arv (W/m ² K)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Akna mõõdud (m)	1,6 x1,4	1,6 x1,4	1,6 x1,4	1,6 x1,4	1,6 x1,4
Klaaspind põhja ja lõuna fassaadil (m ²)	35,2	8,4	16,7	8,4	16,7
Klaaspind ida ja lääne fassaadil (m ²)	45,2	10,0	13,4	6,7	50,2
Õhuvahetus- kordsus (1/h)	5,2	4,84	4,84	4,84	4,84

Arvestades tüüphoonete parameetreid nii olemasoleva kui ka pööratud detailplaneeringu järgi, leiti elamute kütteenergiavajadused (joonis 11).



Joonis 11. Märja kinnistu tüüphoonete neto kütteenergiavajadus köetava pinna kohta ja kompaktsus olemasoleva ja pööratud detailplaneeringu järgi.

Kui Märja detailplaneeringus oleks arvestatud hoonete täpse orientatsiooniga ilmakaarte suhtes, saaksid fassaadid rohkem päikesekiirgust ja varjutingimused paraneks. Seega muutmata hoonete piirdetarindit väheneks kütteenergiavajadus ligi 2% vaid efektiivsema päikeseenergia passiivse kasutamise tõttu.

Tabel 4. Märja kinnistu tüüphoonete CO₂ emissioon köetava pinna kohta.

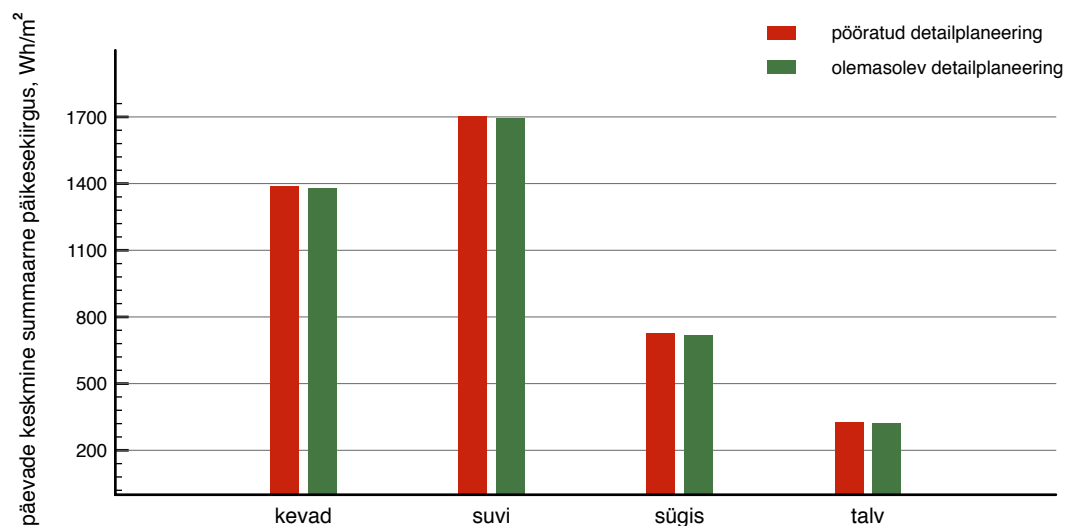
Hoone tüüp	CO ₂ emissioon (kg/m ²)	
	Olemasolev detailplaneering	Pööratud detailplaneering
Tüüphoone 1	13,5	13,3
Tüüphoone 2	13,9	13,7
Tüüphoone 3	13,7	13,5
Tüüphoone 4	14,6	14,4
Tüüphoone 5	13,1	12,6

Korrelatsioonis kütteenergiavajadusega väheneb pööratud detailplaneeringul ka CO₂ emissioon (tabel 4). Tulemused on taandatud hoone köetava pinna kohta.

3.1.2 Männi tee elamurajooni tüüphoonete kütteenergiavajadus

Raamatu kinnistul on hooned olemasoleva detailplaneeringu järgi ilmakaarte suhtes täpsemalt orienteeritud ning seetõttu saavad fassaadid rohkem päikesekiirgust. Suvel saavad hoonete fassaadid keskmiselt 1699,8 Wh/m² summaarset päikesekiirgust päevas, mis on enam kui viis korda rohkem kui talvel, siis on summaarne kiirgus vaid

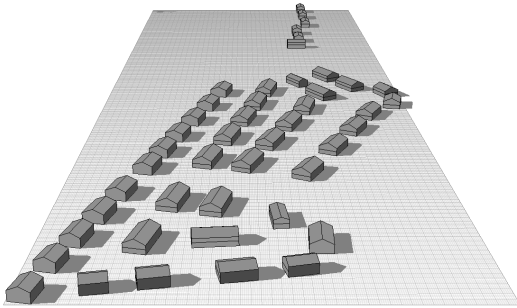
330,3 Wh/m². Sügisel ja kevadel on sama näitaja vastavalt 723,6 Wh/m² ja 1380,4 Wh/m² (lisa 6). Kui kõik Männi tee elamurajooni hooned oleksid orienteeritud täpselt ilmakaarte suhtes, siis summaarne päevade keskmine päikesekiirgus oleks aastas 1,1% suurem. Sama tulemus on toodud joonisel 12 erinevatel aastaegadel.



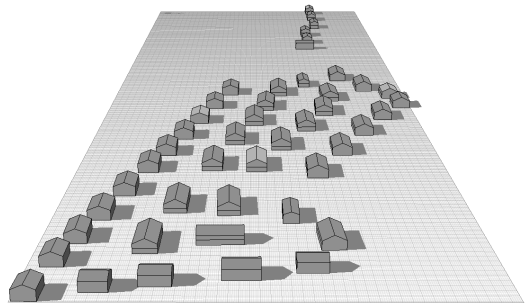
Joonis 12. Raamatu kinnistu olemasoleva ja pööratud detailplaneeringu päevade keskmine summaarne päikesekiirgus hoonete fassaadidele aastas.

Raamatu kinnistu varju analüüsi tulemused on toodud joonisel 13. Kuna hooned olid juba algselt täpselt orienteeritud, siis pööratud planeeringus varjutingimused oluliselt ei muutunud.

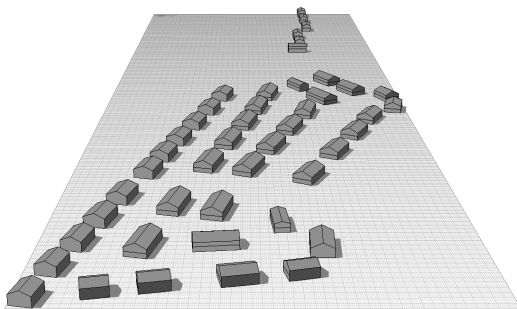
Kevad (15.03)



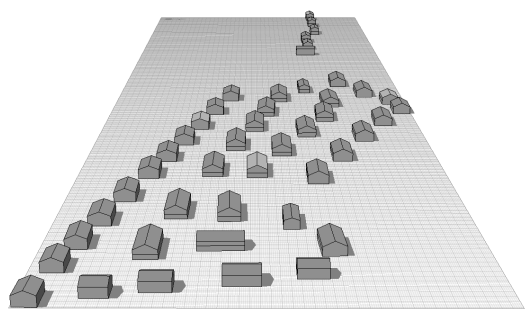
Kevad (15.03)
pööratud detailplaneering



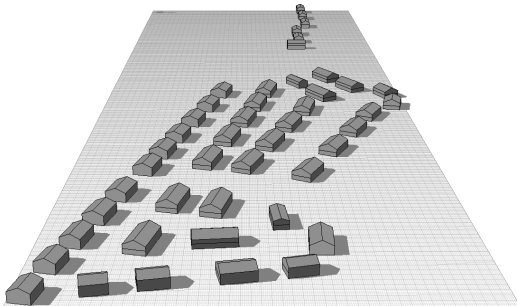
Suvi (15.06)



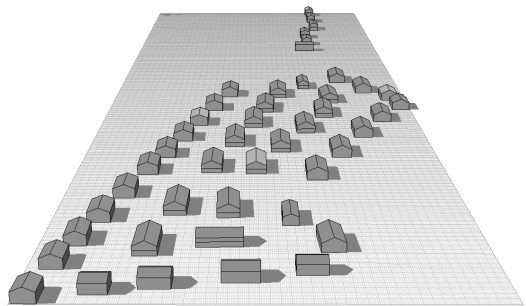
Suvi (15.06)
pööratud detailplaneering



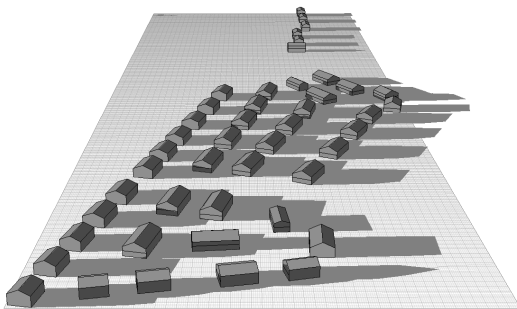
Sügis (15.09)



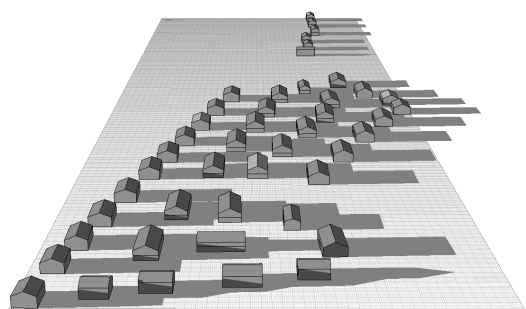
Sügis (15.09)
pööratud detailplaneering



Talv (15.12)



Talv (15.12)
pööratud detailplaneering



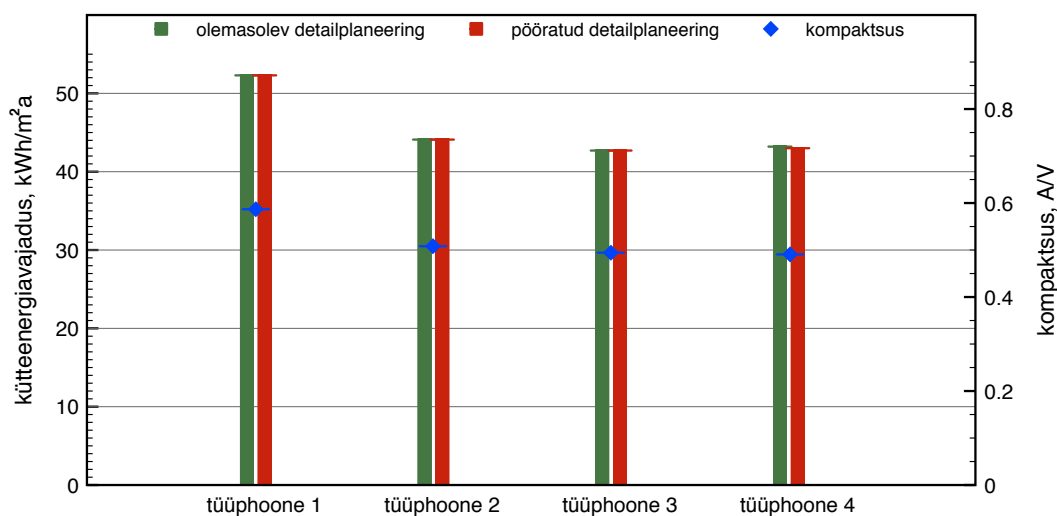
Joonis 13. Raamatu kinnistu kõrvalhoonetest tulenevad aastaajalised varjutingimused olemasoleval ja pööratud detailplaneeringul (vaade läänest).

Männi tee elamurajooni tüüphoonete kütteenergiavajaduse arvutamiseks PHPP-s määrati välispiirete soojusjuhtivus, õhuvahetuskordsus ning akende pindalad, mis on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Männi tee elamurajooni tüüphoonete parameetrid kütteenergiavajaduse arvutamiseks.

	Tüüphoon 1	Tüüphoon 2	Tüüphoon 3	Tüüphoon 4
Välisseina U-arv (W/m ² K)	0,22	0,22	0,22	0,22
Katuslae U-arv (W/m ² K)	0,15	0,15	0,15	0,15
Põrandpinnase U-arv (W/m ² K)	0,15	0,15	0,15	0,15
Akna mõõdud (m)	1,6 x1,4	1,6 x1,4	1,6 x1,4	1,6 x1,4
Klaaspind põhja ja lõuna fassaadil (m ²)	16,7	20,1	26,8	26,8
Klaaspind ida ja lääne fassaadil (m ²)	10,0	13,4	13,4	13,4
Õhuvahetuskordsus (1/h)	4,84	4,84	4,84	4,84

Arvestades tüüphoonete parameetreid nii olemasoleva kui ka pööratud detailplaneeringu järgi, leiti elamute kütteenergiavajadused (joonis 14).



Joonis 14. Raamatu kinnistu tüüphoonete neto kütteenergiavajadus köetava pinna kohta ja kompaktsus olemasoleva ja pööratud detailplaneeringu järgi.

Enamus Raamatu kinnistu hooneid on juba olemasoleva detailplaneeringu järgi täpselt orienteeritud ning seetõttu pööratud planeeringu korral ka tüüphoonete kütteenergiavajadus märkimisväärselt ei muutu. Järelikult ei oleks antud kinnistul hoonete õige orientatsioon mõjutanud energiatõhusust.

Tabel 6. Raamatu kinnistu tüüphoonete CO₂ emissioon köetava pinna kohta.

Hoone tüüp	CO ₂ emissioon (kg/m ²)	
	Olemasolev detailplaneering	Pööratud detailplaneering
Tüüphoon 1	15,4	15,4
Tüüphoon 2	13,7	13,7
Tüüphoon 3	13,6	13,6
Tüüphoon 4	13,6	13,6

CO₂ emissioon köetava pinna kohta on toodud tabelis 6. Tulemused kahe variandi vahel emissiooni ei muutnudki.

3.2 Kinnistute uued planeeringud

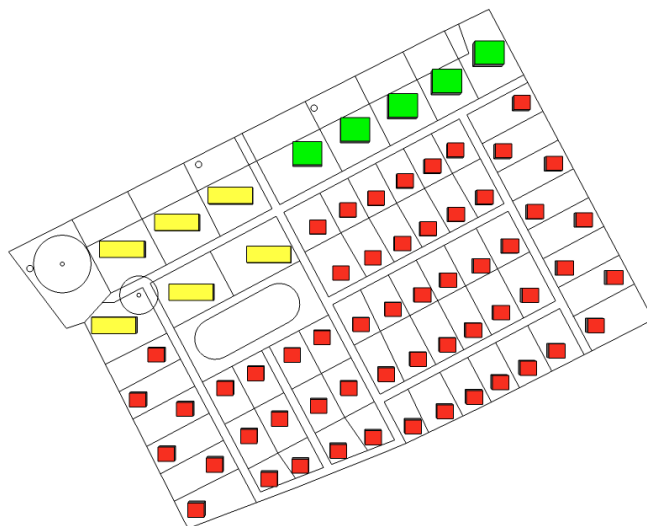
3.2.1 Märja kinnistu uus planeering

Märja kinnistule uue lahenduse leidmisel lähtuti olemasolevast ning arvestati vaid ehitust piiravate kitsendustega. Uues planeeringus kasutati kolme madalaima kütteenergiavajadusega tüüphoonet (1, 3, 5). Lisaks muudeti oluliselt paremaks hoonete välispiirete soojusjuhtivus, õhuvahetuskordsus ning akende pindala. Uued tüüphoonete muutunud parameetrid on toodud tabelis 7.

Tabel 7. Märja kinnistu uue planeeringu tüüphoonete parameetrid.

	Tüüphoon 1	Tüüphoon 3	Tüüphoon 5
Välisseina U-arv (W/m ² K)	0,079	0,079	0,079
Katuslae U-arv (W/m ² K)	0,073	0,073	0,073
Põrandpinnase U-arv (W/m ² K)	0,061	0,061	0,061
Klaaspind lõuna fassaadil (m ²)	97,0	35,9	93,4
Klaaspind põhja fassaadil (m ²)	15,1	6,7	16,7
Klaaspind ida ja lääne fassaadil (m ²)	20,1	10,0	20,1
Õhuvahetuskordsus (1/h)	0,6	0,6	0,6
Orientatsioon põhja suhtes	0°	0°	0°

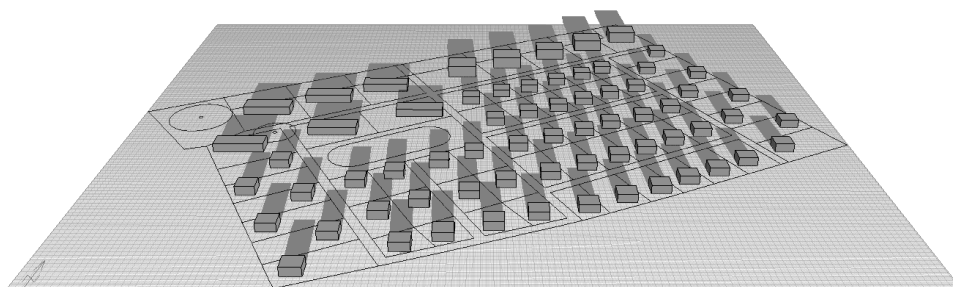
Arvestades täpselt leitud tüüphoonete varjupikkuseid (lisas 4) ja kasutades vaid energiatõhusamaid tüüphooneid leiti Märja kinnistule uus võimalik lahendus (joonis 15). Antud planeeringu hoonestustihedus on 25,7%



Joonis 15. Märja kinnistu uus planeering.

Uues lahenduses ei kata ükski kõrvalhoone vari teise elamu fassaadi. Varjuanalüüs talvel on toodud joonisel 16.

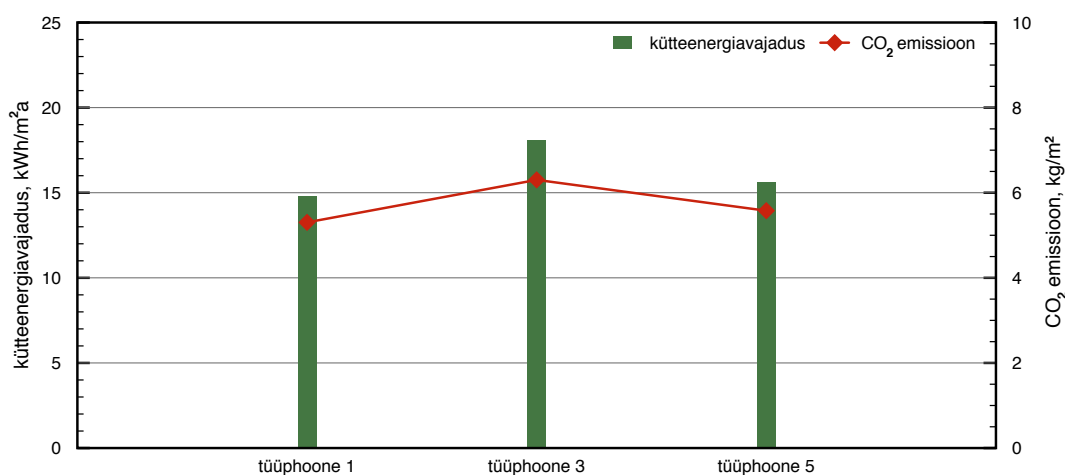
Talv (15.12)
uus planeering



Joonis 16. Märja kinnistu uue planeeringu varjutingimised talvel, 15. detsembril kell 12:00 (vaade lõunast).

Parandades seega hoonete varjutingimusi saavad fassaadid rohkem ka summaarset päikesekiirgust. Uue lahenduse korral saab suvel fassaad päevas keskmiselt summaarset päikesekiirgust 1714,1 Wh/m², mis on ligi 35 Wh/m² võrra rohkem, kui esialgses planeeringus. Üldiselt aastane summaarne päikesekiirgus suurenes 3,8% võrreldes olemasoleva detailplaneeringu lahendusega.

Uue planeeringu tüüphoonete neto kütteenergiavajadus kätava pinna kohta koos sellega kaasneva CO₂ emissiooniga on toodud joonisel 17.



Joonis 17. Märja kinnistu uue lahenduse tüüphoonete neto kütteenergiavajadus kätava pinna kohta koos sellega kaasneva CO₂ emissiooniga.

Antud tulemustest võib öelda, et piirdetarindite parema soojusjuhtivuse, aknapinna suurema osakaaluga lõunas ja kõrvalhoonetest tingitud varjude puudumisel on võimalik kogu kinnistul kütteenergiavajadust vähendada ligi 31,4%. Seejuures on oluline märkida ka võimalikku CO₂ emissiooni vähenemist kuni 43,9%.

Kuna uue lahenduse korral vähenes ka hoonestustihedus, siis leiti ka variant, milles tüüphoon 3 lisamisel suurenes hoonestustihedus ligilähedaseks esialgsega (26,9%) (lisa 7). Antud juhul ulatub teatud päevadel talvel kõrvalhoone vari vastasfassaadile kuni üks meeter, kuid see ei mõjutanud kütteenergiavajadust. Saab järeldada, et Märja kinnistule oleks saanud planeerida paremate kiirgus- ja varjutingimustega

elamurajooni, mille korral hoonete täpse orientatsiooni ja energiatõhusamate piirdetarinditega saanuks säästa ka keskkonda.

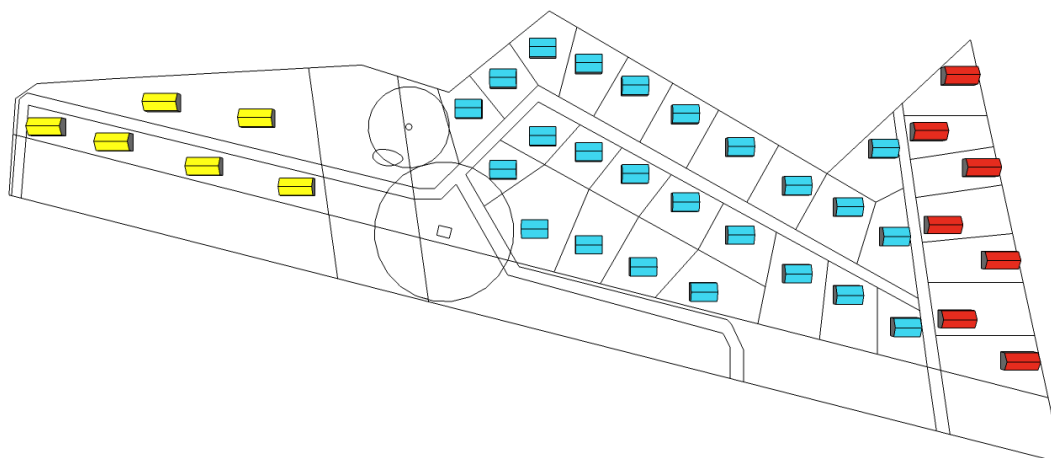
3.2.2 Mäni tee kinnistu uus planeering

Mäni tee kinnistule uue planeeringu leidmisel võeti samuti aluseks olemasolev lahendus ning arvestati vaid ehitust piiravate tingimustega. Uues planeeringus kasutati kolme madalaima kütteenergiavajadusega tüüphoonet (2, 3, 4). Lisaks muudeti hoonete välispiirete soojusjuhtivust, õhuvahetuskordsust ning akende pindala. Uued tüüphoonete muutunud parameetrid on toodud tabelis 8.

Tabel 8. Mäni tee kinnistu uue planeeringu tüüphoonete parameetrid.

	Tüüphoon 2	Tüüphoon 3	Tüüphoon 4
Välisseina U-arv (W/m ² K)	0,079	0,079	0,079
Katuslae U-arv (W/m ² K)	0,073	0,073	0,073
Põrandpinnase U-arv (W/m ² K)	0,061	0,061	0,061
Klaaspind lõuna fassaadil (m ²)	43,1	57,5	57,5
Klaaspind põhja fassaadil (m ²)	5,0	5,0	5,0
Klaaspind ida ja lääne fassaadil (m ²)	6,7	6,7	6,7
Õhuvahetuskordsus (1/h)	0,6	0,6	0,6
Orientatsioon põhja suhtes	0°	0°	0°

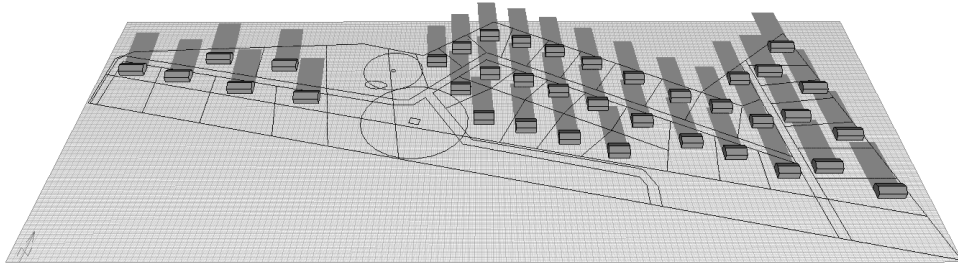
Mäni tee kinnistu uue lahenduse leidmisel arvestati hoonete talviseid varjupikkusi (lisa 4). Autori poolt leitud võimaliku uue lahenduse (joonis 18) hoonestustihedus on 15,9%



Joonis 18. Mäni tee kinnistu uus planeering.

Lahenduse leidmisel püüti vältida hoonete teineteise varjutamist. Uue planeeringu varjutingimused on toodud joonisel 19.

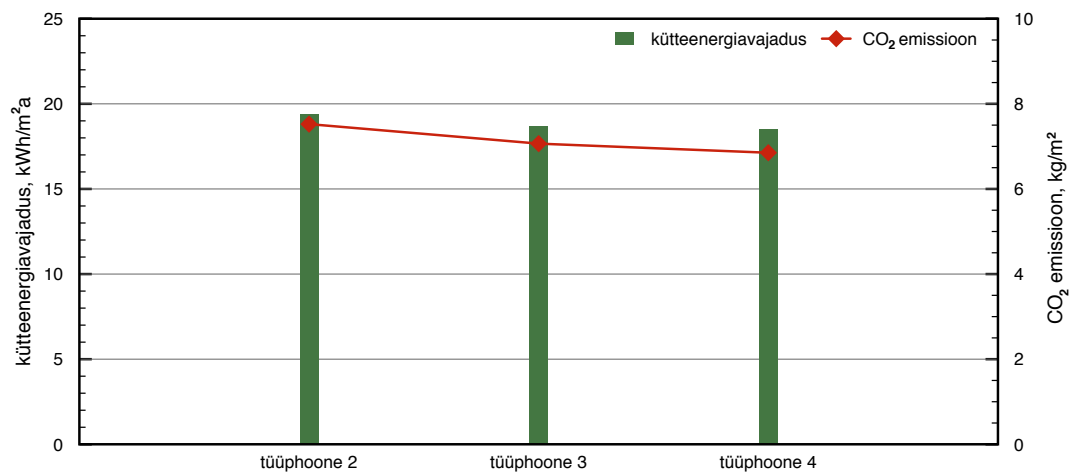
Talv (15.12)
uus planeering



Joonis 19. Mäni tee kinnistu uue planeeringu varjutingimused talvel. 15. detsembril kell 12:00 (vaade lõunast).

Vaatamata Mäni tee kinnistul juba olemasolevas detailplaneeringus osade hoonete täpsele orientatsioonile, paranes uues lahenduses hoonete varjutingimused ja summaarne päikesekiirus fassaadidele veelgi. Uue planeeringu korral saab suvel fassaad päevas keskmiselt summaarset päikesekiirgust $1718,1 \text{ Wh/m}^2$, mis on ligi $18,3 \text{ Wh/m}^2$ võrra rohkem, kui esialgses planeeringus. Üldiselt aastane summaarne päikesekiirus suurenes 2,7% võrreldes olemasoleva detailplaneeringu lahendusega.

Tüüphoonete neto kütteenergiavajadus köetava pinna kohta koos sellega kaasneva CO_2 emissiooniga on toodud joonisel 20.



Joonis 20. Raamatu kinnistu uue lahenduse tüüphoonete neto kütteenergiavajadus köetava pinna kohta koos sellega kaasneva CO₂ emissiooniga.

Ka Raamatu kinnistul on võimalik kütteenergiavajadust vähendada ligi 34,6%, kui parandada hoonete piirdetarindite soojusjuhtivust, suurendada aknapinna osakaalu lõunas ning vältida kõrvalhoonetest tingitud varjusid. Seejuures on oluline märkida ka võimalikku CO₂ emissiooni vähenemist kuni 43,1%.

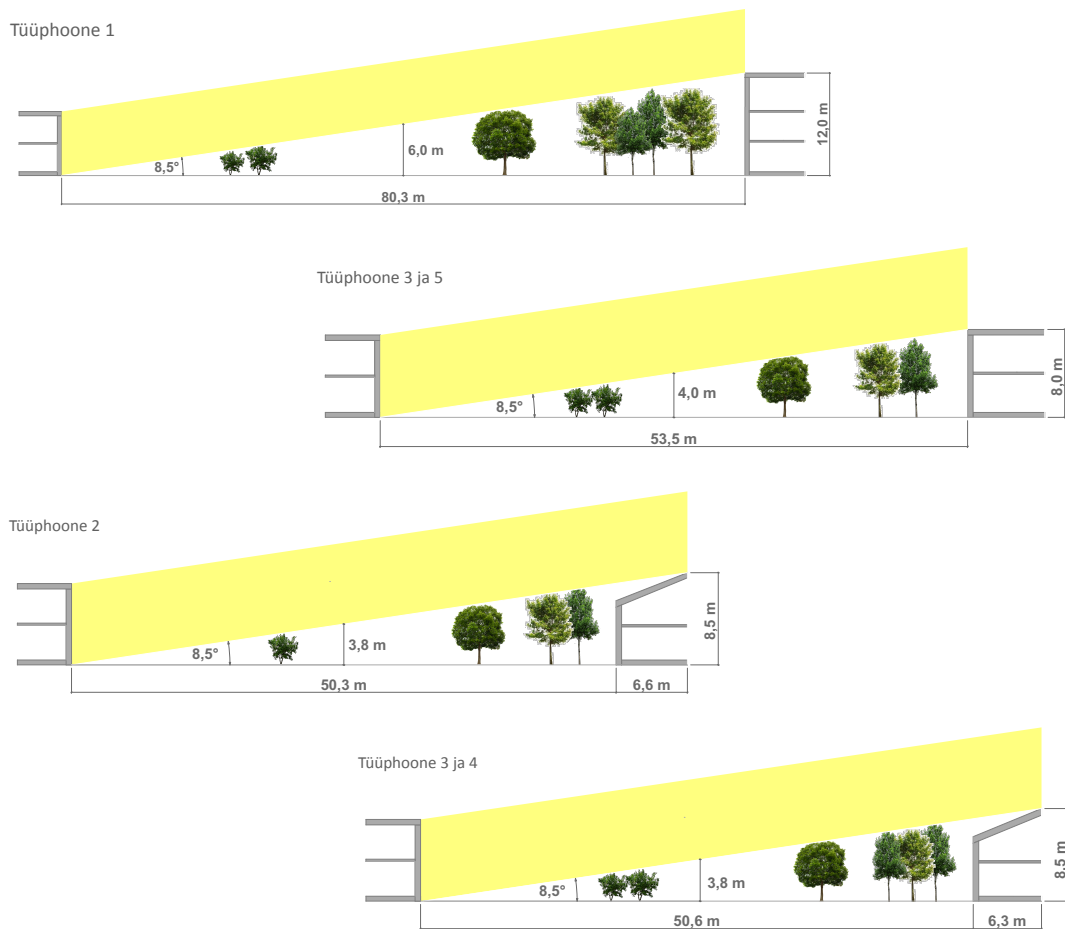
Sarnaselt Märja uuele planeeringule, leiti ka variant, milles tüüphoone 2 lisamisel suurenes hoonestustihedus ligilähedaseks esialgsega (18,3%) (lisa 7). Niisiis oleks saanud ka Raamatu kinnistule planeerida paremate kiirgus- ja varjutingimustega elamurajoon, mille korral hoonete energiatõhusamate piirdetarinditega saanuks kokku hoida ka süsihappegaasi emissiooni.

4. Arutelu

Linnade tagamaal on ehitustegevus sageli detailplaneeringukeskne ja juhuslikult paiknevad arendused on läbimõttlemata.[9] Mitmed uuringud on näidanud, et jätkusuutliku lähenemisega kinnistuplaneerimine aitab luua energiatõhusamad, turvalisemad ja kompaktsemad tingimused.[36]

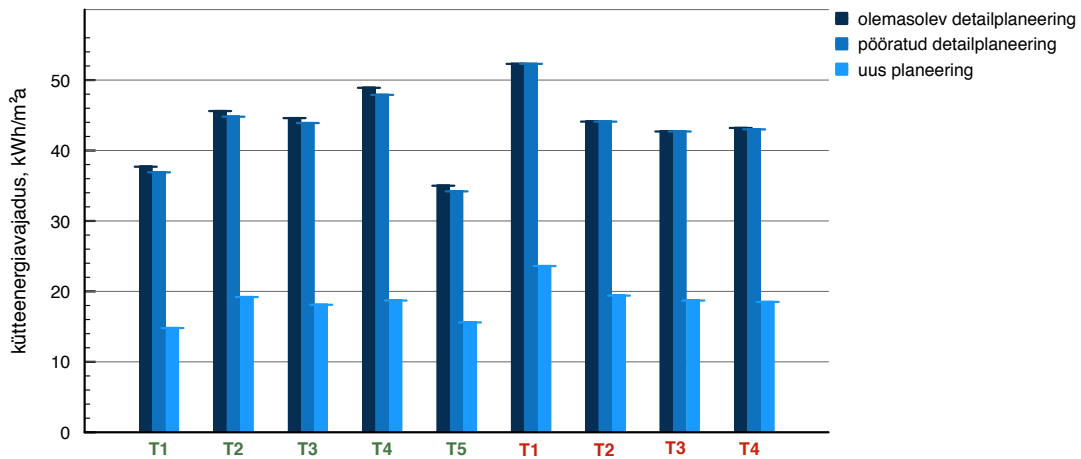
Detailplaneeringus määratud tingimused annavad aluse hoone energiatõhususe arendamisel. Hoonestustihedusel, asendil ja kujal on määrav tähtsus kütteenergiavajaduse kujunemisel. Käesolevas töös uuritud Märja kinnistul on hoonestustihedus 27,1% ja Raamatu kinnistul 19,6%. Vastav näitaja on autori poolt leitud uue planeeringu korral 26,9% ja 18,3%. Seega kaotamata oluliselt elamupinnas, oleks saanud mõlemale kinnistule arendada paremate kiirgus- ja varjutingimustega elamurajoonid. Lisaks hoonestustihedusele on planeerijal vaja jälgida, mis sihtotstarbega hooneid kinnistule rajada - erinevat tüüpi elamud (ühepere-, rida-, korterelamud) võimaldavad rahuldada enamate perede soove ja vajadusi.[37] Uuritavatel kinnistutel on planeeritud kolme tüüpi elamuid. Raamatu kinnistul on vaid ühepere- ja ridaelamud ning Märjal on ka viis korterelamut. Niisiis pakub Märja rajoon suuremat valikut elamispinna leidmiseks.

Põhja-lõunasuunaline hoonete vaheline kaugus mõjutab päikesekiirguse jõudmist fassaadile ja sellega energiatarbimist. Varjulistes tingimustes võib hoone kütteenergiavajadus olla ligi kolmandiku võrra suurem.[14] C. Hachem *et al.* on näidanud, et kõrvalhoonete varjutamist vähendada, tuleb tagada vähemalt 85% minimaalsest vahekaugusest hoonete vahel.[38] Joonis 21 illustreerib tüüphoonete varjupikkusi, mida kasutas autor ka omapoolsel lahendusel. Nii on kõrgematel hoonetel pikem vari ning seetõttu peavad põhja poole jäävad hooned asuma kaugemal, et ka nendele jääks võimalus kasutada talvist passiivsest päikeseenergiat. Lisaks on leitud tüüphoonete varjupikkused päikese asimuudiga kagus, lõunas ja edelas lisas 4.



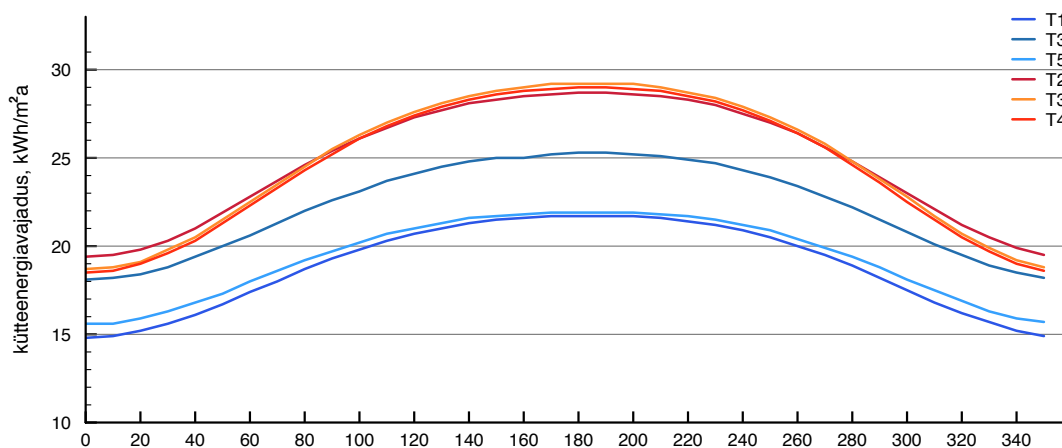
Joonis 21. Märja kinnistu tüüphoonete 1, 3 ja 5 ning Raamatu kinnistu tüüphoonete 2, 3 ja 4 keskpäevased varjupikkused 15. detsembril päikese asimuudiga lõunas.

Käesolev töö ja varasemad uuringud tõestavad, et hoonete optimaalse orientatsiooni ja planeeringuga, mis laseb kasutada passiivset päikeseenergiat, on võimalik vähendada kütteenergiavajadust.[4,14,39] Antud töös analüüsitud kinnistutel vähenes pööratud planeeringus kütteenergiavajadus vastavalt Märja kinnistul 2,6% ja Raamatu kinnistul vaid 0,1%. Nii nagu Sloveenia linnas (*Grosuplje*) tehtud simulatsioonis selgus, ei mõjuta hoonete paarikraadine orientatsiooni muutmine oluliselt päikese kiirguse potentsiaali fassaadil.[18] Joonisel 22 on toodud kõikide tüüphoonete kütteenergiavajadus, mis saadi käesolevas töös. Graafiku põhjal võib järeldada, et hoone energiatõhususe parandamiseks ei piisa vaid täpsest orientatsioonist, vaid määravad on ka optimaalne aknapinna osakaal fassaadidel ja madala soojusjuhtivusega piirdetarindid.



Joonis 22. Töös leitud tüüphoonete (T) neto kütteenergiavajadus köetava pinna kohta Märja (roheline) ja Raamatu (punane) kinnistul.

Lisaks on leitud, et põhjapoolsetel laiuskraadidel hoone orienteerituse muutus lõunast ida või lääne suunas enam kui 30° suurendab aastast kütteenergiavajadust 30-40%. [21] Hoone orientatsiooni ja kütteenergiavajaduse sõltuvuse graafik on joonisel 23. Joonisel on toodud autori poolt leitud planeeringus kasutatud tüüphoonete kütteenergiavajaduse muutus, kui hoonet pöörata ümber oma telje 360° . Sellisel juhul muutus tüüphoonete kütteenergiavajadus kuni 56,8%. Järelikult, kui suurem klaaspinna osakaal on orienteeritud põhja suunas ja lõunas on akende pind oluliselt väiksem, siis muutub ka kütteenergiavajadus ligi poole suuremaks.



Joonis 23. Märja (sinine) ja Raamatu (punane) kinnistu uue lahenduse tüüphoonete (T) kütteenergiavajaduse muutus erineva orientatsiooni korral.

Linnad tarbivad kuni 80% kogu toodetud energiast ning paiskavad atmosfääri enam kui poole kogu kasvuhoonegaasidest.[15] Maailma Meteoroloogiaorganisatsiooni (*World Meteorological Organisation*) andmetel on alates 1750. aasta tööstusrevolutsioonist CO₂ kontsentratsioon atmosfääris tõusnud 39%, jõudes praegusaja maksimumini: 400 ppm (*parts per million*).[40] Järelkult suureneb üha enam vajadus CO₂ emissioonide vähendamiseks, milles on oluline roll ka energiatõhusate elamurajoonide arendamisel. Antud töös leiti, et Märja uue planeeringuga vähenes kogu kinnistu süsihappegaasi emissioon 43,9% (653,1 kg/m²), võrreldes olemasoleva lahendusega. Vastav näitaja Raamatu kinnistul oli 43,1% ehk 363,2 kg/m². Seega võib pidada läbimõeldud planeeringut üheks olulisemaks teguriks süsihappegaasi emissioonide vähendamises.[11]

Viimase 20 aasta jooksul on tekkinud järjest suurem huvi jätkusuutliku elamurajoonide planeerimise vastu.[15] Eestis ei ole tugevat ja ühele paradigmale toetuvat planeerimisteoreetikute koolkonda veel välja kujunenud ning võiks eeldada suuremat avatust erinevatele lähenemistele ja planeerimissüsteemi innovaativsust.[9] See nõuab omakorda spetsiifiliste teadmistega ekspertide kaasamist ja uusi tehnoloogiaid.[4] Üheks oluliseks märksõnaks peab saama kliimat arvestav planeerimine, mille peamiseks teguriks on päikesekiirgus.[41] T. Vermeulen *et al.* on tõestanud, et põhjapoolsematel laiuskraadidel on päikesekiirguse modelleerimine äärmiselt oluline, kuna talvel on päikese kõrgus madal ning päevad lühemad.[29] Niisiis on vajalik planeerimisel modelleerida ka kinnistu kiirgus- ja varjutingimised, et Põhja-Euroopas, kus kütmine moodustab suurema osa energiatarbimisest, saaks kasutada ka talvel passiivset päikeseenergiat.

Kokkuvõte

Üha kiiremini laienevad linnapiirkonnad selle tagamaale, kujundades poollooduslikest ja looduslikest aladest läbimõtle mata struktuuri ja hõreda paigutusega arendatud alasid. Linn ja selle ümbrus tarbib 80% toodetud energiast ja tekitab enam kui pool kogu kasvuhoonegaasidest. Järelikult on oluline pöörata tähelepanu mitte vaid üksiku hoone, vaid kogu kinnistu energiatõhusale ja kliimat arvestavale planeeringule.

Käesoleva töö eesmärk oli analüüsida planeeringu otsuste mõju hoonete energiatõhususe kujunemisele. Uuringus kasutati kahte Tartu linnapiiri lähedal asuvat uuselamurajooni, kus jaotati elamud vastavalt lähtetingimustele tüüphooneteks. Simulatsiooniprogrammiga Ecotect leiti mõlema kinnistu kiirgus- ja varjutingimused ning MS Exceli baasil töötava tarkvarapaketi PHPP tüüphoonete kütteenergiavajadus. Töö tulemused näitasid, kui oluline on planeeringu algusjärgus modelleerida kinnistul tekkivaid varjutingimusi ja hinnata passiivse päikeseenergia kasutamise potentsiaali.

Analüüsi käigus selgus, et olemasolevas planeeringus hoonete täpse orientatsiooni korral paraneksid kiirgustingimused ja kõrvalhoonetest tingitud varjutamine. Samas ei mõjutanud see oluliselt kütteenergiavajadust. Kõige väiksemad muutused olid Raamatu kinnistul, kuna selle algplaneeringus olid hooned juba hästi orienteeritud. Märja kinnistul vähenes pööratud planeeringus kütteenergiavajadus 2,6%. Antud tulemustest võib järeldada, et energiatõhususe parandamiseks ei piisa vaid täpsest orientatsioonist.

Uurimusöö teises osas andis autor mõlemale kinnistule omapoolse lahenduse arvestades vaid detailplaneeringutest tulenevaid ehitust piiravaid kitsendusi. Seejuures arvutati tüüphoonete varjupikkused, millega arvestati planeeringu koostamisel, parandati piirdetarindite soojusjuhtivust ja aknapinna osakaalu fassaadidel. Antud tingimustel paranesid kiirgus- ja varjutingimused ning ka kütteenergiavajadus. Seega oli võimalik kogu Märja kinnistul kütteenergiavajadust vähendada ligi 31,4% ja Raamatu kinnistul 34,6%. Seoses kütteenergiavajaduse alanemisega saadi, et Märja

uue planeeringuga vähenes kogu kinnistu süsihappegaasi emissioon 43,9%, võrreldes olemasoleva lahendusega ja vastav näitaja Raamatu kinnistul oli 43,1%.

Töös leiti, et kaotamata oluliselt elamupinnas, oleks saanud mõlemale kinnistule arendada paremate kiirgus- ja varjutingimustega elamurajoonid. Hoonestustihedus, kuja ja asetus mõjutavad passiivse päikeseenergia kasutamise potentsiaali. Samas, nagu uurimustöö tulemused näitasid, siis paarikraadine orientatsioonimuutus kütteenergiavajadust märkimisväärselt ei vähendanud, vaid määravad on ka optimaalne aknapinna osakaal fassaadidel ja madala soojusjuhtivusega piirdetarindid. Võib öelda, et detailplaneeringus antud tingimused on vaid eelduseks hoone madala kütteenergiavajaduse loomiseks.

Hoonete energiatarbimise vähendamine on viimastel aastatel saanud eesmärgiks arhitektuuri kui ka planeerimise valdkonnas. Euroopa Liidu direktiivi kohaselt peavad 2020. aastast kõik uusehitused olema liginullenergia majad, millest samm edasi oleks energiatõhusate elamurajoonide loomine. Hoonete madala energiatõhususe saavutamine peab algama juba kinnistu planeerimisel, milles peamiseks võtmeelemendiks on passiivse päikeseenergia kasutamise võimalus. Niisiis on määrav roll päikeseikiirgusel, et vähendada energiatarbimist ja kasvuhoonegaase. Siinjuures oluline on meeles pidada, et käesolev uuring on lähtunud vaid hoonete energiatõhususe seisukohast. Detailplaneeringu koostamine ja otsuste tegemine on aga mitme valdkonna spetsialistide koostöö, mille tulemuseks on tuleviku visiooni kandev ruumiline lahendus.

Influence of building design and neighborhood on energy efficiency

Andra Ainsaar

Summary

Increasingly expanding urban areas into low-density and monofunctional neighborhoods and its planning is a complex process with a range of stakeholders. Planners are making decisions, that affects energy efficiency in buildings. Moreover, the increasing pressure to reduce the risks of climate change due to fossil fuel combustion generates a growing interest in optimising the design of urban settlements for the exploitation of solar radiation. Solar passive use is very dependent on design decisions made in the early stages of the design process. Thus, it is essential to model the local solar radiation in order to evaluate the potential of solar resource.

This paper analysis neighborhood design affects on energy efficiency in buildings. The aim of this study was to investigate solar radiation and shading conditions, even more to find annual heating demand for buildings. The summer solar radiation which plays an important role in thermal comfort was not considered in this work. The results obtained from a case study comparing two different neighborhood layouts near Tartu city.

The theoretical part of this paper gives an overview of urban sprawl and planning process in Estonia. It is also described with previous studies the importance of building orientation in order to passive solar use. Therefore, the detailed description of local solar resource and radiation was given. Finally was briefly discussed the essential need to model solar radiation and shading conditions at the early urban planning phase.

In the first part of the analyses the buildings were turned into exact orientation and the changes in shading, solar radiation and annual heating demand were compared with initial position. Afterwards the author gave a new solution for both housing estates,

taking into account the local solar potential. Besides, more effective building envelope U-values and windows glazing area were chosen.

The results of this study showed that exact orientation did not represent any major changes in annual heating demand nor solar potential. Generally, the existing layouts were not as problematic as had been expected. In that case, the main parameters for energy efficiency were building envelope insulation and optional windows area. Thus, compared with initial plans, new solutions showed that in total heating demand was reduced 31,4% in first place and 34,6% with the second neighborhood. Correspondingly to reduction in energy consumption, CO₂ emissions decreased respectively 43,9% and 43,1%.

However, design of solar neighborhoods for exploitation of solar radiation for passive heating involves key parameters like building orientation, their density within a site and the layout. Hence, the site plan conditions and requirements are basics to frame the energy efficiency in buildings. Minimizing energy consumption in buildings has become an important goal in architecture and urban planning in recent years. By 2020, all new buildings constructed in European Union will have to be nearly zero energy in response to the Energy Performance of Building Directive. Under these circumstances renewable energy resource like solar radiation will surely play a relevant share of future energy systems and is one of the many parameters affecting urban design process. Therefore, it is necessary to use simulation tools at the early stage of planning phase in order to predict the overshadowing effects created on the building envelope.

All in all it is important to notice, that the study was based on energy efficiency in building, but neighborhood design involves different specialists and stakeholders. This study could become useful for urban planners, architects and engineers, especially during the early design phases.

Tänuavaldused

Autor soovib tänada juhendajat, Tõnu Muringut, kes sisuliste nõuannetega aitas kaasa töö valmimisele. Lisaks tänusõnad ka laborikaaslasele, Jaanus Hallikule, kes aitas kaasa programmide seadistamisel ning arhitekt Eneli Markvartile edasiviivate küsimuste ja tähelepanekute eest.

Kasutatud kirjandus

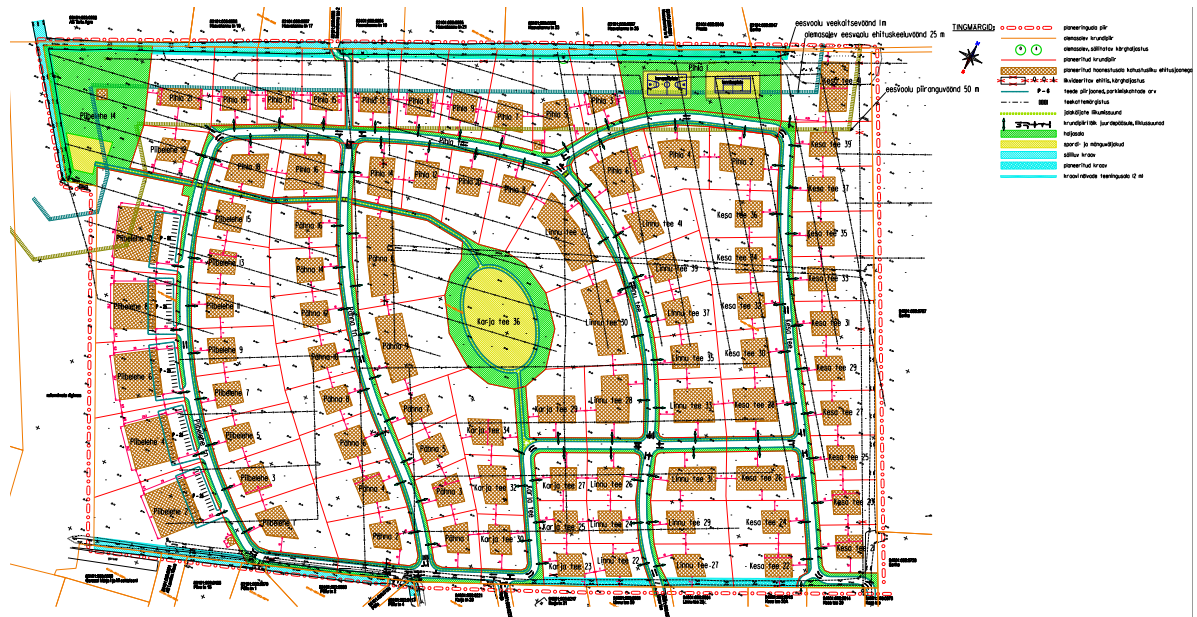
- [1] A. Roose, Keskkonnasäästlik planeerimine ja ehitus, Tartu Ülikooli geograafia instituut, Tartu, 2005.
- [2] Riigikogu, Planeerimisseadus, Riigi Teataja, 2002. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032014097> (seisuga 19.05.2015).
- [3] R. Viljasaar, K. Vaher, A. Ader, K. Tõugu, Tallinna planeeringute juhend, Linnalabor&b210, Tallinn, 2012.
- [4] M. Amado, F. Poggi, Towards solar urban planning: A new step for better energy performance, Energy Procedia 30 (1261–1273) 2012.
- [5] A. Okeil, A holistic approach to energy efficient building forms, Energy and Buildings 42 (1437–1444) 2010.
- [6] C. Hachem, A. Athienitis, P. Fazio, Parametric investigation of geometric form effects on solar potential of housing units, Solar Energy 85 (1864–1877) 2011.
- [7] M. Amado, F. Poggi, Solar Urban Planning: A Parametric Approach, Energy Procedia 48 (1539–1548) 2014.
- [8] A. Roose, Keskkonnasäästlik planeerimine ja ehitus 2, Tartu Ülikooli geograafia instituut, Tartu, 2006.
- [9] R. Kasesalu, A. Roose, G. Raagmaa, P. Metspalu, M. Kiisel, T. Paaver, P. Mardiste, A. Keskpai, R. Liias, E. Pukkonen, K. Leetmaa, H. Kalle, M. Gauk, D. Antov, L. Ventsel, M. Liinat, J. Jagomägi, K. Sepp, Peatükke planeerimisest: protsesse, meetodeid ja näiteid, Tartu Ülikool, Tartu, 2013.
- [10] MTÜ Entsüklopeedia, Eesti Entsüklopeedia, 2012. Kättesaadav: <http://entsyklopeedia.ee> (seisuga 19.05.2015).
- [11] M. Bayer, N. Frank, J. Valerius, Becoming an urban planner, John Wiley and Sons, Inc, New Jersey, 2010.
- [12] Riigikogu, Looduskaitse seadus, Riigi Teataja, 2004. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/108072014020> (seisuga 19.05.2015).
- [13] Riigikogu, Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded, Riigi Teataja, 2002. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12866223> (seisuga 19.05.2015).
- [14] K. Steemers, Energy and the city: Density, buildings and transport, Energy and Buildings 35 (3–14) 2003.

- [15] G. Lobaccaro, F. Frontini, Solar Energy in Urban Environment: How Urban Densification Affects Existing Buildings, *Energy Procedia* 48 (1559–1569) 2014.
- [16] Riigikogu, Energiatõhususe miinimumnõuded, Riigi Teataja, 2012. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/106012015007> (seisuga 19.05.2015).
- [17] E. Abel, H. Voll, Hoonete energiatarve ja sisekliima, Tallinn, 2007.
- [18] M. Košir, I. G. Capeluto, A. Krainer, Ž. Kristl, Solar potential in existing urban layouts - Critical overview of the existing building stock in Slovenian context, *Energy Policy* 69 (443–456) 2014.
- [19] V. Russak, A. Kallis, Eesti kiirguskliima teatmik, Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Tallinn, 2003.
- [20] Greenspec, Passive solar design: Siting and Orientation, 2015. Kättesaadav: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/solar-siting-orientation/> (seisuga 19.05.2015).
- [21] R. McLeod, K. Mead, M. Standen, *Passivhaus Primer – Designer ’ s Guide: A guide for the design team and local authorities*, Passivhaus, United Kingdom 2011.
- [22] C. Hachem, A. Athienitis, P. Fazio, Evaluation of energy supply and demand in solar neighborhood, *Energy and Buildings* 49 (335–347) 2012.
- [23] BuildingGreen, Reducing Heat Flow Through Windows, 2008. Kättesaadav: <https://www2.buildinggreen.com/article/reducing-heat-flow-through-windows> (seisuga 19.05.2015).
- [24] G. Brown, M. DeKay, *Sun, wind and light: architectural design strategies*, John Wiley and Sons, Inc, New York, 2001.
- [25] G. Hausladen, M. de Saldanha, P. Liedl, C. Sager, *Climate design: solutions for buildings that can do more with less technology*, Technical University of Munich, München, 2005.
- [26] T. Kalamees, J. Kurnitski, Estonian test reference year for energy calculations, *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering* 12 (40–58) 2006.
- [27] S. Freitas, C. Catita, P. Redweik, M. C. Brito, Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (915–931) 2015.
- [28] M. Amado, F. Poggi, Solar energy integration in urban planning: GUUD model, *Energy Procedia* 50 (277–284) 2014.

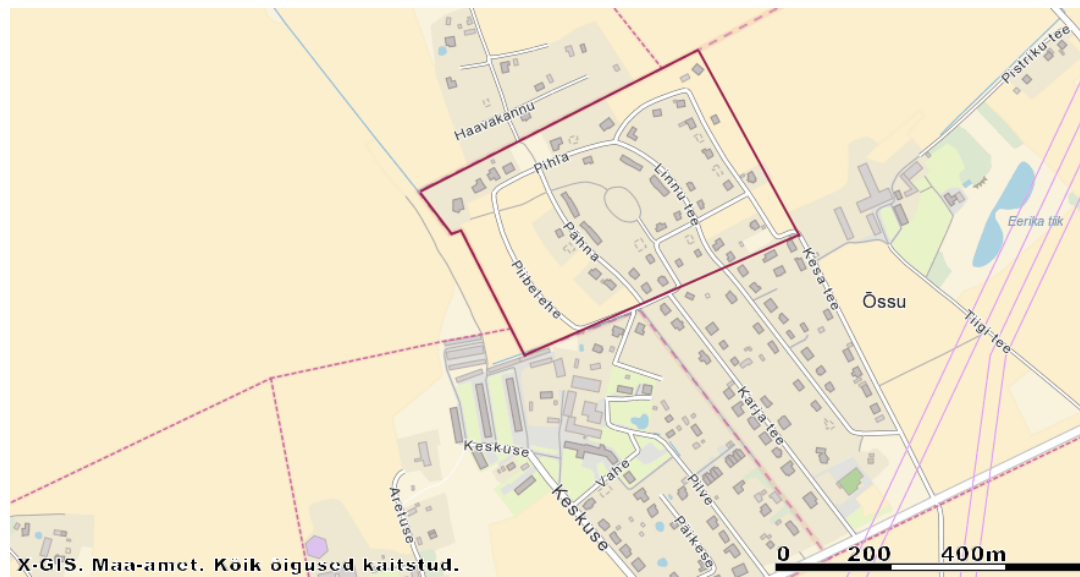
- [29] T. Vermeulen, C. Knopf-Lenoir, P. Villon, B. Beckers, Urban layout optimization framework to maximize direct solar irradiation, *Computers, Environment and Urban Systems* 51 (1–12) 2015.
- [30] C. Ipbüker, M. Valge, M. Vilbaste, T. Muring, A. H. Tkaczyk, Single-point fan pressurization measurements for calm and assumed windy conditions, *Fresenius Environmental Bulletin* 23 (1529–1538) 2014.
- [31] W. Feist, R. Pfluger, B. Kaufmann, J. Schnieders, O. Kah, Passive house planning package 2007, Passive House Institute, Darmstadt, 2007.
- [32] M. Hiob, K. Hansson, Märja kinnistu detailplaneering, Artes Terrae OÜ, Tartu, 2006.
- [33] M. Aleksašin, Raamatu kinnistu detailplaneering, OÜ GEPA Maa- ja Ehituskorraldus, Tartu, 2006.
- [34] Autodesk, Ecotect Analysis. Kättesaadav: <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> (seisuga 19.05.2015).
- [35] Riigikogu, Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, Riigi Teataja, 2012. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (seisuga 19.05.2015).
- [36] F. M. Shahli, M. R. M. Hussain, I. Tukiman, N. Zaidin, The Importance of Landscape Design on Housing Development in Urban Areas, *Procedia - Social Behavioral Sciences* 10 (311–315) 2014.
- [37] J. Teed, P. Condon, S. Muir, C. Midgley, Sustainable Urban Landscapes Neighbourhood Pattern Typology. The University of British Columbia James, 2009.
- [38] C. Hachem, A. Athienitis, P. Fazio, Design methodology of solar neighborhoods, *Energy Procedia* 30 (1284–1293) 2012.
- [39] J. J. Sarralde, D. J. Quinn, D. Wiesmann, K. Steemers, Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London, *Renewable Energy* 73 (1–8) 2014.
- [40] World Meteorological Organisation, CO2 concentrations top 400 parts per million throughout northern hemisphere, Press Release No. 991, 2014. Kättesaadav: <http://www.wmo.int/> (seisuga 19.05.2015).
- [41] D. Thomas, Architecture and the Urban Environment - A vision for the New Age. Architectural Press, Oxford, 2007.
- [42] Maa-ameti geoportaal, X-GIS kaardirakendus. Kättesaadav: <http://xgis.maaamet.ee> (seisuga 19.05.2015).

Lisad

Lisa 1. Märja kinnistu detailplaneeringu põhijoonis ja hetkeolukord

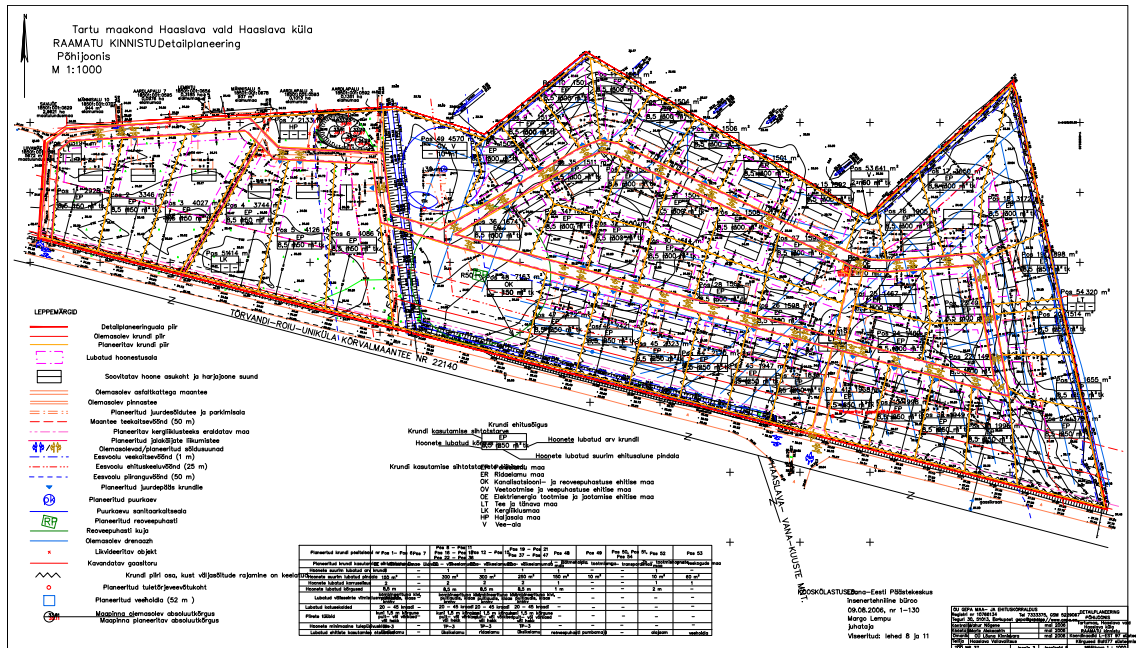


Joonis 1. Märja kinnistu detailplaneeringu põhijoonis.[32]

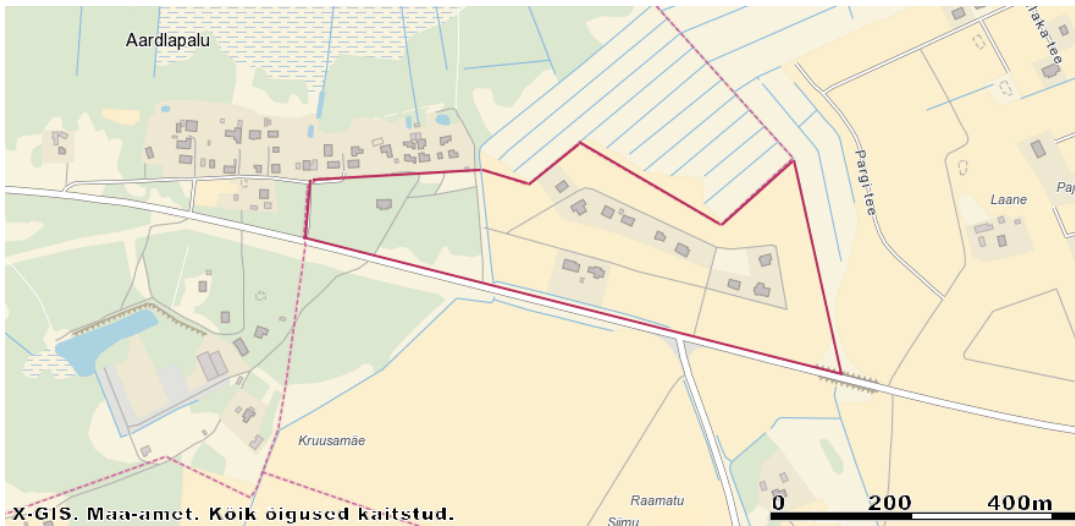


Joonis 2. Märja kinnistu hetkeolukord.[42]

Lisa 2. Raamatu kinnistu detailplaneeringu põhijoonis ja hetkeolukord



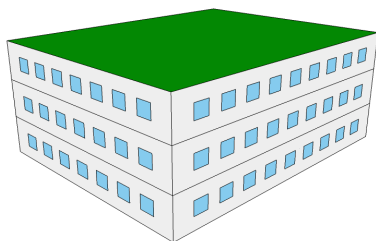
Joonis 3. Raamatu kinnistu detailplaneeringu põhijoonis.[33]



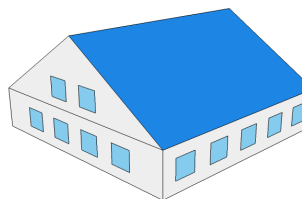
Joonis 4. Raamatu kinnistu kinnistu hetkeolukord.[42]

Lisa 3. Tüüphoonete parameetrid

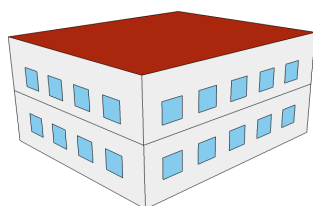
Tüüphoon 1



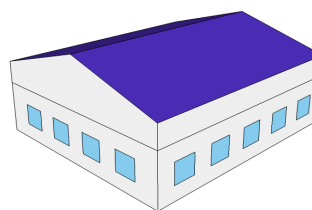
Tüüphoon 2



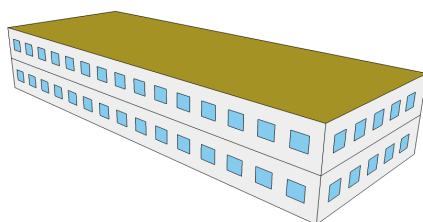
Tüüphoon 3



Tüüphoon 4



Tüüphoon 5

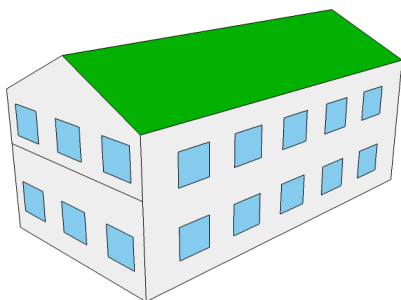


Joonis 5. Märja kinnistu tüüphoonete vaated.

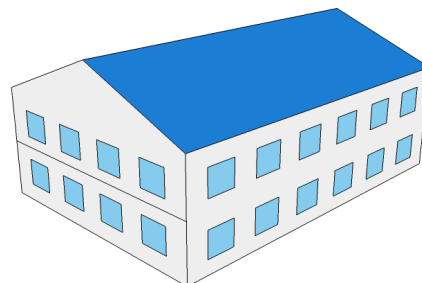
Tabel 1. Märja kinnistu tüüphoonete parameetrid.[32]

	Tüüphoon 1	Tüüphoon 2	Tüüphoon 3	Tüüphoon 4	Tüüphoon 5
Sihtotstarve	korter-elamu	ühepere-elamu	ühe-, kahepere-elamu	ühepere-elamu	ridaelamu
Pikkus (m)	30,0	16,0	17,0	16,0	45,9
Laius (m)	24,0	15,6	14,6	14,0	17,0
Kõrgus (m)	12	8	8	7	8
Ehitusaalne pindala (m ²)	720	250	248	225	780
Kõetav pind (m ²)	1058,5	352,0	364,6	326,6	1106,0
Katusekalle	0°	40°	0°	20°	0°
Orienteeritus põhja suhtes	326°	328°	330°	333°	313°
Kompaktsus (A/V)	0,32	0,59	0,50	0,58	0,41

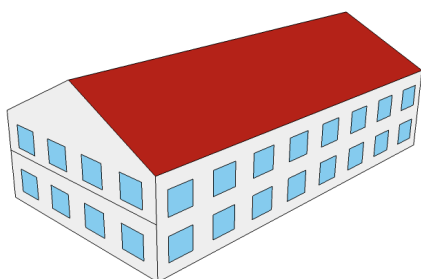
Tüüphoone 1



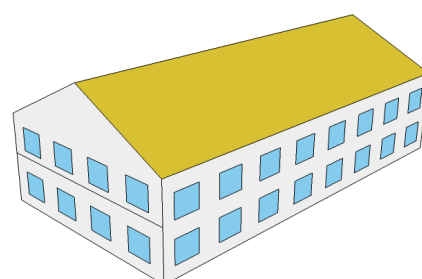
Tüüphoone 2



Tüüphoone 3



Tüüphoone 4



Joonis 6. Raamatu kinnistu tüüphoonete vaated.

Tabel 2. Raamatu kinnistu tüüphoonete parameetrid.[33]

	Tüüphoone 1	Tüüphoone 2	Tüüphoone 3	Tüüphoone 4
Sihtotstarve	ühepere- elamu	ühepere- elamu	ühepere- elamu	ridaelamu
Pikkus (m)	17,0	19,0	24,0	24,0
Laius (m)	8,8	13,2	12,5	12,5
Kõrgus (m)	8,5	8,5	8,5	8,5
Ehitusalune pindala (m ²)	150	250	300	300
Kõetav pind (m ²)	232,0	386,7	464,0	464,0
Katusekalle	35°	25°	30°	30°
Orienteeritus põhja suhtes	0°	10°	1°	25°
Kompaktsus (A/V)	0,59	0,52	0,51	0,51

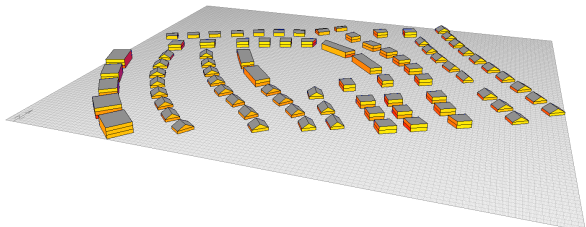
Lisa 4. Tüüphoonete varjupikkused päikese asimuudiga edelas, lõunas ja kagus

Tabel 3. Tüüphoonete keskpäevased varjupikkused päikese asimuudiga kagus (135°), lõunas (180°) ja edelas (225°).

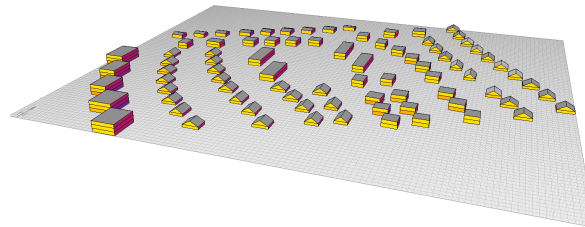
Kuupäev	Päikese asimuut 135° ja 225°					Päikese asimuut 180°				
	Päikese kõrgus (°)	Varju pikkus (m)				Päikese kõrgus (°)	Varju pikkus (m)			
		Hoone kõrgus 12 m	Hoone kõrgus 8,5m	Hoone kõrgus 8 m	Hoone kõrgus 7 m		Hoone kõrgus 12 m	Hoone kõrgus 8,5m	Hoone kõrgus 8 m	Hoone kõrgus 7 m
15. jaan	0,9	763,9	541,1	509,3	445,6	10,6	64,1	45,4	42,7	37,4
14. veebr	9,8	69,5	49,2	46,3	40,5	18,7	35,5	25,1	23,6	20,7
15. märts	21	31,3	22,1	20,8	18,2	29,5	21,2	15	14,1	12,4
15. apr	33,8	17,9	12,7	12	10,5	41,5	13,6	9,6	9	7,9
15. mai	43,9	12,5	8,8	8,3	7,3	50,6	9,9	7	6,6	5,7
15. juuni	48,9	10,5	7,4	7	6,1	55,1	8,4	5,9	5,6	4,9
15. juuli	47,2	11,1	7,9	7,4	6,5	53,3	8,9	6,3	6	5,2
15. aug	38,9	14,9	10,5	9,9	8,7	45,9	11,6	8,2	7,8	6,8
15. sept	26,9	23,7	16,8	15,8	13,8	34,9	17,2	12,2	11,5	10
15. okt	14,6	46,1	32,6	30,7	26,9	23,3	27,9	19,7	18,6	16,3
15. nov	3,8	180,7	128	120,4	105,4	13,3	50,8	36	33,8	29,6
15. det	-	-	-	-	-	8,5	80,3	56,9	53,5	46,8

Lisa 5. Märja kinnistu kiirgusanalüüs

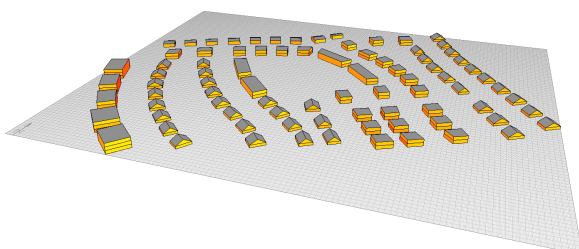
Kevad (01.03-31.05)



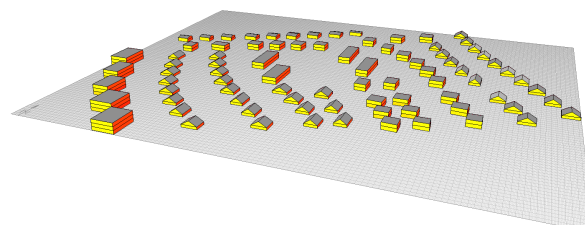
Kevad (01.03-31.05)
pööratud detailplaneering



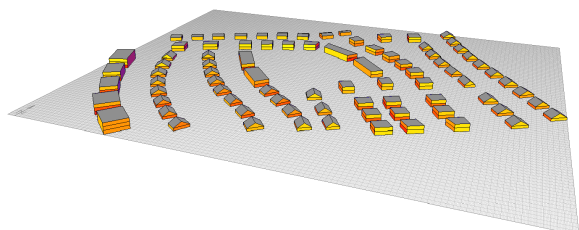
Suvi (01.06-31.08)



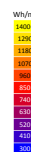
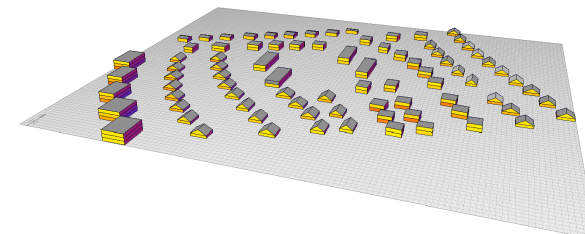
Suvi (01.06-31.08)
pööratud detailplaneering



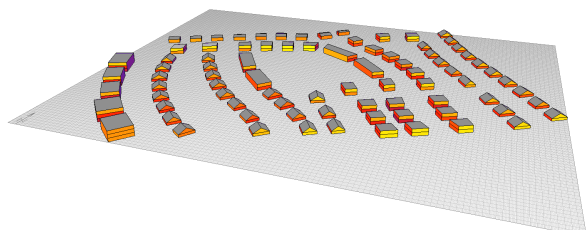
Sügis (01.09-30.11)



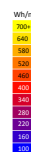
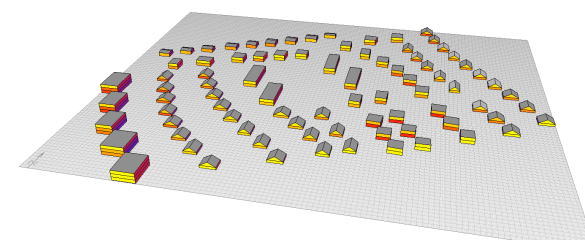
Sügis (01.09-30.11)
pööratud detailplaneering



Talv (01.12-28.02)



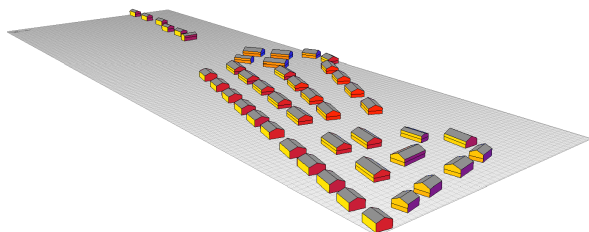
Talv (01.12-28.02)
pööratud detailplaneering



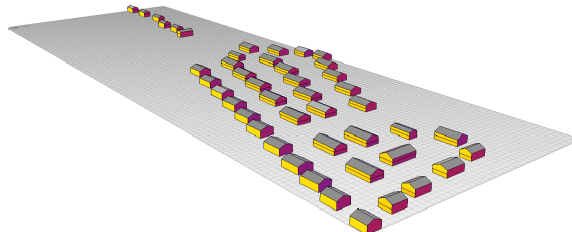
Joonis 7. Märja kinnistu olemasoleva ja pööratud detailplaneeringu kiirgusanalüüs.

Lisa 6. Raamatu kinnistu kiirgusanalüüs

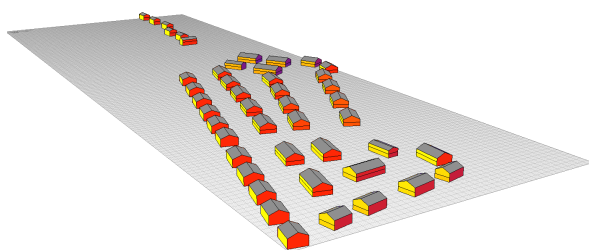
Kevad (01.03-31.05)



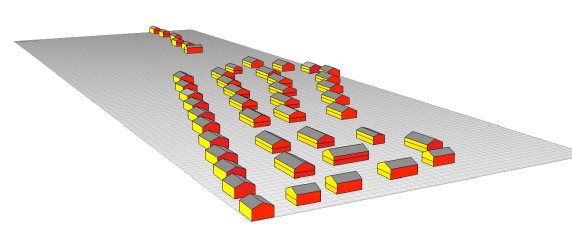
Kevad (01.03-31.05)
pööratud detailplaneering



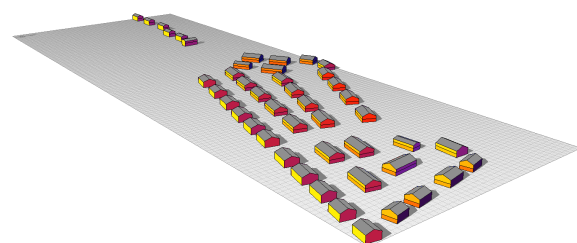
Suvi (01.06-31.08)



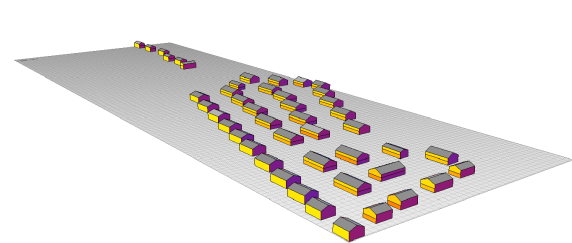
Suvi (01.06-31.08)
pööratud detailplaneering



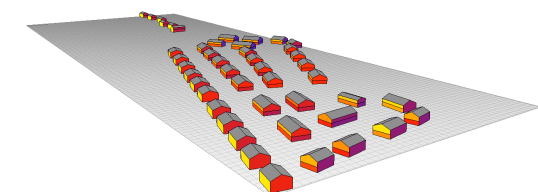
Sügis (01.09-30.11)



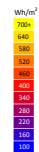
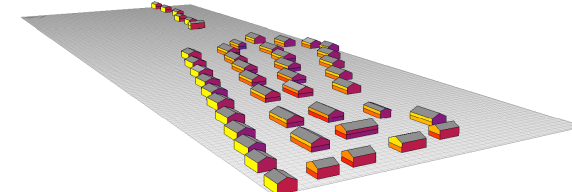
Sügis (01.09-30.11)
pööratud detailplaneering



Talv (01.12-28.02)

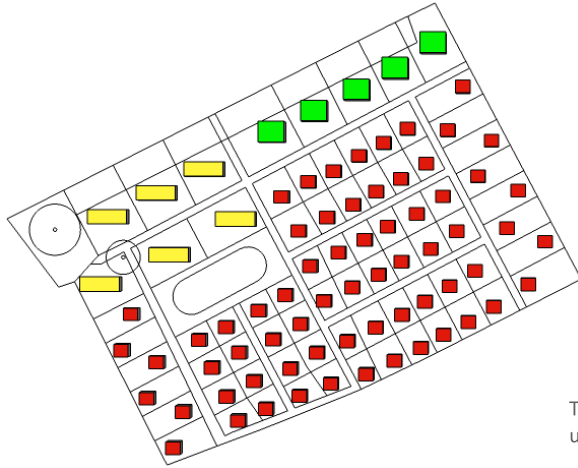


Talv (01.12-28.02)
pööratud detailplaneering

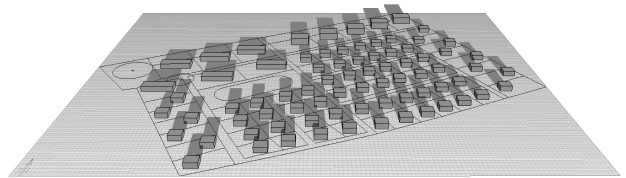


Joonis 8. Raamatu kinnistu olemasoleva ja pööratud detailplaneeringu kiirgusanalüüs.

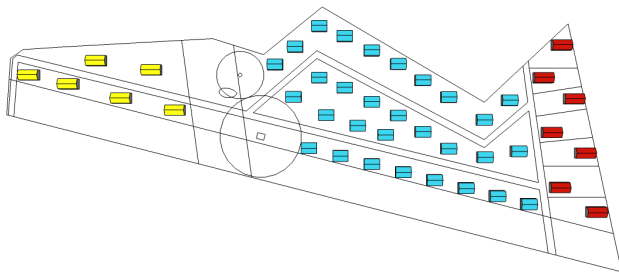
Lisa 7. Märja ja Raamatu kinnistu uus planeering suurema hoonestustiheduse korral



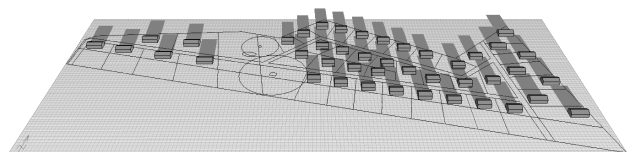
Talv (15.12)
uus planeering



Joonis 9. Märja kinnistu uus planeering ja varjutingimused talvel (15.01 kell 12:00) (vaade lõunast) suurema hoonestustiheduse korral.



Talv (15.12)
uus planeering



Joonis 10. Raamatu kinnistu uus planeering ja varjutingimused talvel (15.01 kell 12:00) (vaade lõunast) suurema hoonestustiheduse korral.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andra Ainsaar (23.10.1990)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Planeeringu otsuste mõju hoone energiatõhususele", mille juhendaja on Tõnu Muring,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus,

19.05.2015