Hea Uus Linn OÜ

Tuule ja päikeseenergia kasutamine Tartu linnas

Taastuvate energiaallikate kasutamine 21. sajandi linnas

Marek Muiste

Jaana Veskimeister

13

Sisukord

1. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE TEOREETILINE ÜLEVAADE 6

1.1. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE KONTSEPTSIOON JA RAKENDUSVÕIMALUSED, ERISUSED HAJAASUSTUSES JA TIHEASUSTUSES 6

1.1.1. ENERGIASEKTOR 21. SAJANDIL 6

1.1.2. EUROOPA JA EESTI ENERGIASTRATEEGIA 7

1.1.3. HAJUTATUD ENERGIATOOTMINE 12

1.1.4. ENERGIASEKTOR LINNAS 14

1.1.5. ELUJÕULINE LINN 15

1.1.6. TUULEGENERAATORID LINNAS 17

1.1.7. PÄIKE LINNAS 18

1.2. TAASTUVENERGIA TOOTMINE JA KASUTAMINE 19

1.3. ÜLDINE ÖKONOOMIKA 22

1.4. OHUTUSTEHNILISED NÕUDED TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISEL 24

1.4.1. TUULEGENERAATORITE RISKID 24

1.4.2. PÄIKESEKOLLEKTORITE JA –PANEELIDE RISKID 28

2. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE SOOVITUSED JA RAKENDAMISVÕIMALUSED TARTU LINNAS 28

2.1. KAVANDADES HEAD LINNA 28

2.2. TARTU 2050 – PÄIKESE- JA TUULELINN 30

2.3. TARTU 2020 31

2.4. PÄIKE, HOONED JA LINN 31

2.5. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA RAKENDAMINE 34

2.6. NÕUDED PLANEERINGUTE JA PROJEKTIDE KOOSTAMISEKS 35

2.7. TARBIJA ÜHENDAMINE 36

2.8. ARENDAJA MEELESPEA 37

3. TUULEENERGIA 38

3.1. TUULEENERGIA KASUTAMISE VAJADUSED, VÕIMALUSED, PUUDUSED JA OHUD 38

3.1.1. TUULERESSURSS 39

3.2. TUULEGENERAATORI VALIK 40

3.3. TUULEENERGIA KASUTAMISEKS SOBIVAD ALAD JA TINGIMUSED 49

3.4. TUULIKU PÜSTITAMISE TINGIMUSED 49

3.4.1. TUULIKUTE ARHITEKTUURSED TINGIMUSED 50

3.5. NÕUDED PAIGALDISTELE 50

3.6. RISKIDE HINDAMINE JA MAANDAMINE 51

3.6.1. LEEVENDAVAD MEETMED 52

4. PÄIKESEENERGIA 52

4.1. PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE VAJADUSED, VÕIMALUSED, PUUDUSED, OHUD JA PIIRANGUD 52

4.1.1. TARTU PÄIKESERESSURSS 54

4.2. PÄIKESEENERGIA KASUTAMISEKS SOBIVAD ALAD JA TINGIMUSED 59

4.3. PÄIKESEPANEELIDE PAIGALDAMISE TINGIMUSED 59

4.3.1. PÄIKESEPANEELIDE ARHITEKTUURSED TINGIMUSED 59

4.3.2. PÄIKESEPANEELIDE JA -KOLLEKTORITE PAIGALDAMISE TINGIMUSED 60

4.4. ERINEVAT TÜÜPI PÄIKESEENERGIA 61

4.4.1. PÄIKESEARHITEKTUUR 61

4.4.2. PÄIKESEKOLLEKTORID 62

4.4.3. PÄIKESEPANEELID 64

4.4.4. PÄIKESEPANEELIDE PAIGALDAMINE 66

5. NUTIKAD LAHENDUSED TARTU LINNAS 67

5.1. NÄIDE 1. ELURAJOON 67

5.1.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: PÄIKESELINN LINZ-PICHLING, AUSTRIA 69

5.2. NÄIDE 2. PÄIKESEJÕGI 70

5.3. NÄIDE 3. TARTU MUNITSIPAALKESKUS 70

5.3.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: BIANCHI PALACE, PERUGIA, ITAALIA 71

5.3.2. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: REICHSTAG, BERLIIN, SAKSAMAA 71

5.4. NÄIDE 4. KOOL 72

5.4.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: RAHVUSVAHELINE KOOL LYONIS 72

5.5. NÄIDE 5. LASTEAED 73

5.6. NÄIDE 6. HOOLDEKODU 74

5.7. NÄIDE 7. VEEKESKUS 74

5.7.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: ODENWALDI KOOLI SPORDIKESKUS SAKSAMAAL 75

5.8. NÄIDE 8. ERAMU ÜLDPINNAGA 130 M² 75

5.8.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: TERASSMAJA PROTOTÜÜP, LONDON, SUURBRITANNIA 75

5.9. NÄIDE 9. KORRUSMAJA KAHE JA VIIE KORRUSEGA 76

5.9.1. LOBACHI KARPMAJAD (INSBRÜKI LÄHISTEL), AUSTRIA 76

5.9.2. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: STADLAU MAJUTUS, VIIN, AUSTRIA 77

6. TSITEERITUD TEOSED 78

7. LISAD 80

7.1. LISA 1. ASENDIPLAANID 80

7.2. LISA 2. FOTOMONTAAŽID 80

7.3. LISA 3. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA MIKROTOOTJAD ELEKTRILEVI VÕRGUS 80

7.4. LISA 4. TAOTLUSE MENETLEMINE JA OTSUSTUSPROTSESS 80

7.5. LISA 5. TUULEGENERAATORITE JA PÄIKESEPANEELIDE HINNAPAKKUMISED NÄIDISOBJEKTIDELE 80

Sissejuhatus

Käesolev uurimustöö „Tuule- ja päikeseenergia kasutamine Tartus“ on koostatud Hea Uus Linn OÜ poolt Tartu Linnavalitsuse insenerteenistuse tellimusel ja kaasabil. Tööde aluseks on pooltevaheline leping nr 21.3-5/4212. Uuring järgib tellija poolt ette antud ülesehitust. Uuring on koostatud 88 A4 formaadis lehel, sisaldab 9 tabelit ja 19 joonist, millele lisandub omakorda kolm A2 formaadis asendiplaani.

Uuringu koostanud meeskond on püüdnud töös järgida omavalitsuse töökorraldusest tulenevaid vajadusi protsesside juhtimiseks valdkonnas ning see moodustab käesoleva töö peamise fookuse. Uuringus keskendume tuule- ja päikesetehnoloogiate kasutusvõimalustele ning nende mõjule kogukonnas, samuti nendega kaasnevate riskide hindamisele ja vähendamisele. Anname ülevaate taastuvate energiaallikate kasutamise seadusandlikust raamistusest, ökonoomikast ja selle ajaloost viimasel kümnendil. Vaatame tulevikku ja hindame energiasektori rolli linnas täna, homme ja selle arengut käesoleva sajandi keskpaigani. Töö käigus anname soovitusi tehnoloogiate rakendamiseks linnas nii linnaruumi, hoonete kui ka linnakodanike seisukohalt.

Arvame, et potentsiaali omab linnakeskkonnas lokaalne energiatootmine päikesekiirgusest päikesekollektorite ja fotoelektriliste paneelide abil, mille lihttasuvusaeg küünib (seda ka ületades) tänaste hindade juures 25 aastani. Siiski on need ökonoomsemad ja seotud väiksemate riskidega kui väiketuulikud, mille lihttasuvusaeg on täna ca 60 aastat. Pikk tasuvusaeg ja investeeringu kõrge maksumus ei tähenda nende tehnoloogiate kasutamise ebarentaablust, vaid seda investeeringut tuleb vaadelda nende hoonete eluea skaalal, mille energiavajaduse vähendamiseks neid tehnoloogiaid kasutatakse.

Päikese aastane kiirgushulk on meil keskmiselt 980 kWh/m^2, mis ületab meie hoonete energiatarbe enam kui viiekordselt. Kõige ökonoomsem on püüda kasutada seda energiahulka otse loomuliku valgustuse ja konstruktsioonide soojendamiseks ning sellega kunstliku energiavajaduse vähendamiseks hoones. Kuigi päikesekiirguse kasutamist arhitektuuris on vaadeldud ka käesoleva töö raames, soovitame selle valdkonna avamiseks koostada eraldiseisev uuring, mille maht ja ulatus oleks käesoleva uuringuga võrreldav.

Marek Muiste

Hea Uus Linn OÜ

Täname Ivo Saaremäed Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudist abi eest uuringu läbiviimisel!

1. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE TEOREETILINE ÜLEVAADE

1.1. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE KONTSEPTSIOON JA RAKENDUSVÕIMALUSED, ERISUSED HAJAASUSTUSES JA TIHEASUSTUSES

1.1.1. ENERGIASEKTOR 21. SAJANDIL

Energia on tsivilisatsiooni arengus selleks katalüsaatoriks, mis võimaldab tõsta inimeste elukvaliteeti ja vähendada nende hõivatust otseselt ellujäämiseks vajaliku tegevusega, vabastades neid nii muudeks ülesanneteks (teadus, filosoofia, kaunid kunstid jne). Võib öelda, et tsivilisatsiooni areng sõltub kättesaadavatest energiaressurssidest ning tsivilisatsiooni võimekusest neid ressursse mõistlikult kasutada. Üks osa sellest võimekusest on oskus tunda piire ja vältida protsesside kaldumist enesehävitusele. Seoses tehnoloogia ja ühiskonna murrangulisele arenguga 20. sajandil, on meie tsivilisatsioon seda oskust minetamas. Piiride taaskehtestamine ja ressursside parem kasutamine on 21. sajandi energeetika peamine ülesanne.

Kiusatus on suur, kuna panused on suured. Energiaäri on alates möödunud sajandi keskpaigast üks maailma suurimaid ärisid. Geopoliitilised jõujooned käivad mööda energiapartnerluse piire ja riigid on valmis seisma oma huvide eest energiarikastes regioonides kõikide vahenditega, kaasa arvatud sõda. Energiavaesus, s.o ühiskonnaliikmete võimetus energiateenuste eest maksta, kummitab ka heaoluriike. Samuti valmistab paljudele riikidele peavalu nende energiavarustuse sõltuvus teistest riikidest, sh ka sellistest, kellest mitte mingil tingimusel sõltuda ei soovita. Põhjuseks pole energiaressursside vähesus, vastupidi – mitte kunagi varem inimkonna ajaloo jooksul pole meie käsutuses olnud energiakandjaid nii ohtralt nagu seda on täna. Probleemide põhjuseks on energiat raiskav elukorraldus, mida võimendavad ühiskonnas kasvavad sotsiaalsed lõhed ja lõppematule kasvule orienteeritud ogar majandusmudel. Paraku pole ükski majanduskasv igavene ning optimaalne ressursikasutus on ainus enam-vähem kindel viis, kuidas ühiskond saab ennast uute vapustuste vastu kindlustada.

Majanduslikud tagasilöögid on siiski vaid osa globaalsest kriisist, milles energiasektor ennast üleminekul 21. sajandisse leiab. Alates 1970. aastatest räägivad keskkonnateadlased kliima globaalsest muutumisest ning sellest, et oma osa on ka inimeste tegevusel, eelkõige naftal põhineval energiasektoril. Nafta eeliseks on selle ressursi kõrge energiatihedus, küttevääртus ning energeetiline vääring, mille järgi võis ressursi loomiseks investeeritud energiaühik toota ennast (20. sajandi alguses) tagasi kümne- kuni sajakordselt. Nafta puuduseks on selle kaevandamise ja tootmise kõrge keskkonnakoormus ning miljonite aastatega ladestunud suur CO2 hulk, mis tänu nafta massilisele kasutusele vabaneb kiirkorras meie atmosfääri ning võib kutsuda esile planeedi kliima ulatusliku muutuse ja halvima stsenaariumi korral inimese kui liigi hävingu. Oluline on mõista, et nafta tarbija on nafta tootmisest eraldatud (reeglina toimub see erinevates maailmajagudes) ja võõrandunud ning ei vaeva oma pead

selle tootmise ja tarbimise mõjudega. See on aidanud tõmmata maha pidurid ning loonud eeldused tarbimise mõõdutundetuks kasvuks. Selline ignorantsus on luksus, mida 21. sajandi inimesel pole enam võimalik harrastada.

Võime näha, et oma loomulikus arengus peab energiasektor võtma endale järjest uusi eesmärke ning seda protsessi kirjeldab oma hierarhias ilmekalt Šveitsi teadlane Dr. Christoph Frei, kelle järgi iga energiapoliitika esmane eesmärk on luua kogukonnale juurdepääs energiateenustele, seejärel tagada nende teenuste kvaliteet (varustuskindlus) ja majanduslik elujõulisus. Seejärel saab energiapoliitika keskenduda energiasektori poolt mõjutatud looduskeskkonna (ja elukeskkonna) elujõulisusele ning lõppeesmärgiks on energiasektori allutamine ühiskondlikele vajadustele (Frei, 2008). Eesmärke võetakse järk-järgult ning kiireid muutusi planeerida on keerukas. Samas aitab järgmiste sammude ette planeerimine muuta protsessi valutumaks ja lõppkokkuvõttes ühiskonnale vähem kulukamaks.

Euroopa energeetika tervikuna keskendub täna kolmele arengueesmärgile korraga. Nendeks on majanduse, looduskeskkonna ja ühiskonna elujõulisus. Peamine raskuspunkt on energiasektori keskkonnamõju vähendamisel. Seda soovitakse teha viisil, mille järgi majandus ja ühiskond kahjusid ei kannaks. Need eesmärgid peavad aitama muuta Euroopa majandust vähem reostavamaks ning 21. sajandi keskpaigaks loodetakse loobuda fossiilsetest kütustest kõikjal, kus see on võimalik. Rohemajandust nähakse loodava konkurentsieelisena ülejäänud maailma ees. See aitab arendada uusi majandusmudeleid ja töökohti postindustriaalsel ajastul, mil rasketööstus on Euroopast lahkunud ning energiakandjate hinnad on järjest tõusnud. Kohalike taastuvate energiaallikate kasutamine on lahutamatu osa sellest arengust, kus ka päikese- ja tuuleenergiat kasutavatel tehnoloogiatel on oma kindel koht.

1.1.2. EUROOPA JA EESTI ENERGIASTRATEEGIA

Euroopa Liidu rajajoone 2050 (Euroopa Komisjon, 08.03.2011) järgi eeldab ülemineku konkurentsivõimelisele vähese CO2-heitega majandusele, et EL peab olema valmis vähendama 2050. aastaks oma territooriumil tekitatavat heidet 80% võrreldes 1990. aasta tasemega. Hoonestatud keskkonnas on plaanitud vähendada heidet veelgi enam: kuni 90%. See tähendab, et järgmistel aastakümnetel oleme tunnistajateks meie asulate ja linnade põhjalikule muutumisele globaalsetest tarbijatest ja reostajatest tootjateks ja reostuse vähendajateks. Olulist tähelepanu tuleb selles protsessis pöörata hoonetele ja vastavalt hoonete energiatõhususe direktiivile, peavad alates 2021. a. olema kõik uued ja renoveeritud hooned nn liginullenergia hooned, st nende tarbimine peab olema viidud nulli lähedale. Säästmisest siiski üksi ei piisa ja panustada tuleb ka tõhusale tootmisele. Energiatootmise fookus peab nihkuma kaugküttelt madala keskkonnamõjuga elektrienergia (sh soojuspumbad ja –salvestid) ja taastuvenergia (nt päikeseküte, biogaas, biomass) suunas.

Euroopa energiapoliitika aastani 2020 (Euroopa Komisjon, 2007) paneb paika strateegia energiasektori ja sellega seotud valdkondade arenguks. Strateegilisteks eesmärkideks on võitlus parema keskkonna (kliimamuutused jne), väiksema energiasõltuvuse ja majanduskasvu eest, mis peaks tarbijatele tagama turvalise ja soodsa energiavarustuse. Strateegia keskmes on püüe vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid 20% võrra 1990. a.

tasemest. Nende eesmärkide elluviimiseks on kehtestatud tegevuskava, mille meetmed näevad ette:

- toimiva energia siseturu loomise,
- energiaressursside varustuskindluse parandamise ja energiasõltuvuse vähendamise,
- kasvuhoonegaaside emissiooni pikaajalise vähendamise,
- tõhusa energiakasutuse soodustamist riiklikul, kohalikul ja rahvusvahelisel tasemel,
- taastuvate energiaallikate ulatuslikuma kasutamise,
- uute ja innovaatiliste energiatehnoloogiate arendamise,
- fossiilkütuste emissiooni vähendamise,
- ohutuma tuumaenergeetika arendamise,
- Euroopa huvisid kaitsva rahvusvahelise energiapoliitika arendamise,
- tulemusliku järelevalve ja aruandluse.

Tõhusa energiakasutuse meede näeb ette primaarenergiatarbimise üldist vähendamist 20% võrra 2020. a. prognoosituga, mis tähendab umbes 400 miljonit tonni naftaekvivalenti aastas, säästes sellega iga-aastaselt 100 miljardit eurot ja vähendades heitmeid 780 miljoni tonni võrra. Tegevused selle saavutamiseks hõlmavad nii säästvat transporti, hoonete energiatõhusust, energiatootmise tõhustamist, ühtset maksustamist ja ka rahvusvahelist energiaturgu.

Taastuvate energiaallikate kasutamise meede sätestab, et energiatehnoloogiatesse investeerimisel on oluline leida tasakaal tänaste tootmisvõimaluste ja teadusarendustegevuse tagajärjel tekkivate uute võimaluste vahel. Strateegia paneb ette tõsta taastuvenergia osakaalu 20% energia lõpptarbimisest ning täpsustada sellesuunalised tegevused eraldiseisva taastuvenergia direktiiviga

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta (Euroopa Parlament, 2009) täpsustab energiapoliitika 2020 (KOM(2007) 1) elluviimist taastuvenergia sektoris ja seab eesmärgiks 20% taastuvatest energiaallikatest pärineva osa Euroopa Liidu summaarses energia lõpptarbimises aastaks 2020. Täpsustav eesmärk käsitleb transpordisektorit, kus soovitakse näha 10% biokütuste osakaalu. Koostöös liikmesriikidega töötatakse välja riiklikud eesmärgid, mida liikmesriigid kohustuvad täitma. Eesmärkide täitmiseks peavad liikmesriigid koostama spetsiaalse tegevuskava ning esitama Energiadirektoraadile regulaarselt aruandeid, mis avaldatakse rahvuskeeles ja inglise keeles.

Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020 (Vabariigi Valitsus, 26. november 2010) põhineb taastuvenergia direktiivi nõuetel ja võtab kokku ning kirjutab lahti eesmärgid, mis Eesti on võtnud nii selle direktiivi kui ka Euroopa energiapoliitika 2020 (KOM(2007) 1) raames. Tegevuskava annab ülevaate prognoosidest sektoris ja kirjeldab sektorite kaupa tegevusi, mis peavad viima riiklike üldeesmärkide täitmiseni.

Tabel 1. Riiklikud üldeesmärgid taastuvate energiaallikate kasutamisel (Vabariigi Valitsus, 26. november 2010) jms

Taastuvenergia osakaal lõpptarbimises aastaks 2005	18%
Taastuvenergia osakaalu eesmärk lõpptarbimises aastaks 2020	25%
Energia eeldatav kogutarbimine aastaks 2020	3 451 ktoe
Taastuvenergia eeldatav kogus aastal 2020	863 ktoe
Taastuvelektrit brutotarbimises aastaks 2015	15%
A-energiaklassi korterelamuid aastaks 2013	10%
Liginullenergiahooned kohalikes omavalitsustes, alates	2019. a.
Koostootmisjaamadest pärineva elektri osa aastaks 2020	20%
Taastuvkütuste osa kaugküttes aastaks 2020	30%
Kohalike omavalitsuste vähem kui 10 a. vanust energiakava aastaks 2013	120

Eesti on järgimas Euroopa energiastrateegiat ning on kohandanud selle eesmärgid vastavalt meie võimalustele. Tänaseks on edukalt täitmisel eesmärk taastuvate energiaallikate 25% osakaalust lõpptarbimises (aastal 2011 oli see näitaja Eurostati andmetel 25,9% (Eurostat, 2013), Statistikaameti andmetel 14,8%). Võrreldes Euroopa Komisjoni poolt soovitatud baasaastaga 2005, on primaarenergia tarbimine küll tõusnud 12,7% võrra, kuid riiklikult sätestatud energiasäästu eesmärgiks on 6,5 miljonit tonni naftaekvivalenti (Mtoe) primaarenergia tarbimises ja 2,8 Mtoe lõpptarbimises, mis on hõlpsasti täidetavad (2010. a. oli primaarenergia tarbimine 6,1 Mtoe). Kahjuks ei aita selline vähenõudlikkus vähendada meie majanduse suurt energiamahukust ning energiakandjate suurt keskkonnakoormust. Eesti majanduse energiamahukus on endiselt Euroopa üks kõrgemaid, samuti keskkonnakahju energiatarbimise ühiku kohta. Eestis toodetud elekter on suurim kasvuhoonegaaside tekitaja Euroopa elektriturul (toodetud ja tarbitud ühiku kohta). Euroopa Komisjon on väljendanud muret Eesti võimekuse suhtes täita endale võetud keskkonnaeesmärke. Murekohtadeks on transport ja elamumajandus, samuti energiaturgude vähene välisühenduste hulk (vt näiteks komisjoni riiklikud soovitused NPRi baasil 2013. a.).

Elektrimajanduse arengukava aastani 2018 (Vabariigi Valitsus, 26.02.2009) näeb ette Eesti elektritootmise mitmekesistamist, kombineerides olemasolevaid põlevkivijaamu põlevkiviõlil töötavate gaasiturbiinidega, uute biokütust kasutavate koostootmisjaamade, maismaal ja merel paiknevate tuuleparkidega ning pikas perspektiivis loodava tuumaelektrijaamaga. Tähelepanu on pööratud põlevkivijaamade heitmete vähendamisele ning suitsugaaside puhastustehnoloogia kasutamisele. Olulise teemana on käsitletud elektrivõrgu välisühenduste arendamist.

Energiasäästu sihtprogramm 2007-2013 (Vabariigi Valitsus, 05.11.2007) sõnastab Eesti kütuste ja energia kokkuhoiu poliitika sihid aastateks 2007-2013 ning määrab sihtide

saavutamiseks vajalikud meetmed. Programmi eesmärgiks on tagada kütuste ja energia tõhusam kasutamine Eestis, mis on olulise tähtsusega elektrimajanduse arengukava eesmärkide täitmiseks säästliku elektritootmise ja tarbimise toetamise valdkonnas.

Eesti eluasemevaldkonna arengukava 2008-2013 (Vabariigi Valitsus, 2008) näeb ette meetmeid kortermajade energiasäästlikkuse parandamise osas, samuti teadlikkuse tõstmist elamufondi parendamiseks, mis toetab elektrimajanduse arengukavas sätestatud eesmärki suurendada elektritarbimise säästlikkust.

Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2010/31/EL hoonete energiatõhususe kohta (Euroopa Parlament, 19.05.2010), ütleb: pärast 31. detsembrit 2020 peavad kõik uusehitised olema liginullenergiahooned. Samu nõudeid peavad pärast 31. detsembrit 2018 täitma uusehitised, mida kasutavad ja omavad riigiasutused. Komisjon julgustab seda tüüpi hoonete arvu suurendamist, kehtestades riiklikud kavad, mis sisaldavad järgmist:

- liikmesriigi liginullenergiahoonete määratluse kohaldamine;
- vahe-eesmärgid uute hoonete energiatõhususe parandamiseks 2015. aastaks;
- teave poliitika ja vastu võetud finantsmeetmete kohta hoonete energiatõhususe suurendamise julgustamiseks.

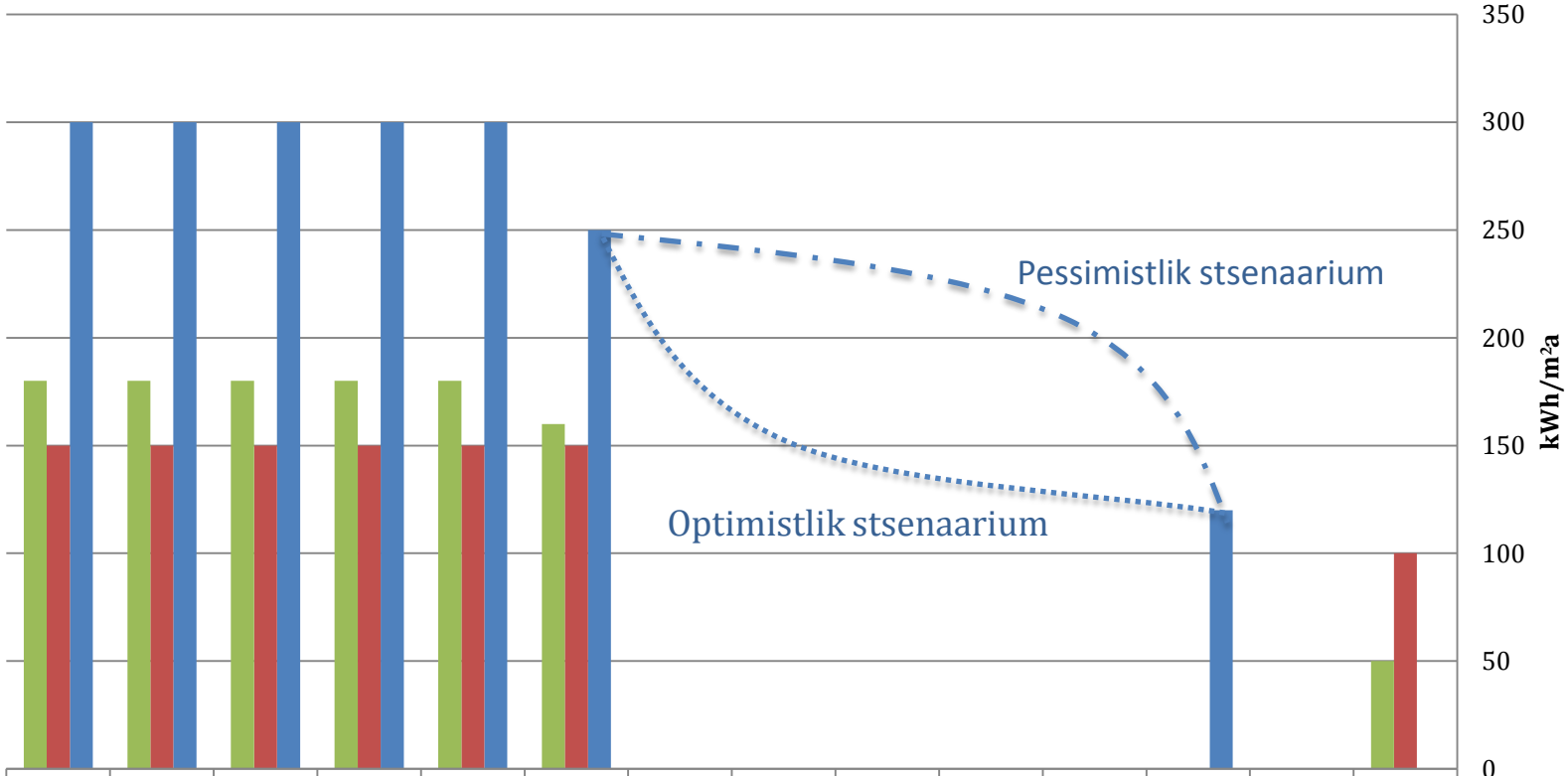
Vastavalt direktiivile 2010/31/EL on Eesti kehtestanud liginullenergia standardi nõuded valitsuse määrusega Energiatõhususe miinimumnõuded (Vabariigi Valitsus, 30.08.2012). See määratleb paragrahvis 7 ära liginullenergia hooned:

(1) Liginullenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhusarv on suurem kui 0 kWh/(m² a), kuid mitte suurem kui käesolevas paragrahvis sätestatud piirväärtus.

(2) Liginullenergiahoone energiatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi:

1) väikeelamutes 50 kWh/(m² a);
2) korterelamutes 100 kWh/(m² a);
3) büroohoonetes, raamatukogudes ja teadushoonetes 100 kWh/(m² a);
4) ärihoonetes 130 kWh/(m² a);
5) **avalikes hoonetes 120 kWh/(m² a);**
6) kaubandushoonetes ja terminalides 130 kWh/(m² a);
7) haridushoonetes 90 kWh/(m² a);
8) koolieelsetes lasteasutustes 100 kWh/(m² a);
9) tervishoiuhoonetes 270 kWh/(m² a).

Sama regulatsioon lubab täna rajada ja renoveerida avalike hooneid tasemele 250 kWh/(m²a) ning olemasolevate hoonete energiatarve on isegi sellest tasemest kõrgem. Reaalselt tähendab see enam kui 50%-list kvaliteedihüpet avalike hoonete ehitamisel ja renoveerimisel, mis peab aset leidma 2019. a. alguseks (vt joonist 1). Kuid see on alles sissejuhatus, sest kaks aastat hiljem peavad uued oskused olema omandatud ja avalikule sektorile järgneb kogu elamu- ja hoonete sektor.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
avalik hoone	300	300	300	300	300	250						120		
korterelamu	150	150	150	150	150	150								100
väikeelamu	180	180	180	180	180	160								50

Joonis 1. Energiatõhususe miinimumnõuded avalikule hoonele, korterelamule ja väikeelamule 2008…2021. a.

Üleminek võib toimuda optimistliku või pessimistliku stsenaariumi kohaselt ja selle juures on avaliku sektori juhtidel mängida oluline roll. Optimistlik stsenaarium näeb ette kõrgendatud nõudmiste esitamist alates käesolevast hetkest. Soovitav on seada eesmärgiks A-energiaklassi saavutamist kõikidele uutele hoonetele. Tänu intensiivsele õppimiskõverale ühtlustuvad arhitektide, inseneride, tööliste ja ekspertide oskused piisavalt ja olulist hüpet ehitushindades ei toimu. Pessimistliku stsenaariumi korral ei suudeta energiatõhususe meetmeid sujuva üleminekuga ellu rakendada ning sektorit tabab ehitushindade hüppeline tõus, millega halvimal juhul kaasneb ehituskvaliteedi langus.

1.1.3. HAJUTATUD ENERGIATOOTMINE

Elektrivarustus on traditsiooniliselt tagatud tugeva võrgustikuna, milles edastatava elektri kvaliteet on määratud (väheste suurte) tootmisüksuste parameetrite, edastusvõrgu parameetrite ja tarbija parameetrite regulatsiooni ja kontrollimise teel. Ajalooliselt on olnud selle põhjuseks suurte elektrijaamade kõrgem kuluefektiivsus (Randolph & Tech, 2008) ajal, mil tootmisvõimsuste loomine oli ebaproportsionaalselt kallim väikeste võimsuste korral. Selline lähenemisviis on viinud tsentraliseeritud elektrienergia tootmisviisi eelistamiseni elektrivõrgus ning suurte tsentraalsete elektrijaamade domineerimiseni energiatootmises, mille kuldaeg oli eelmise sajandi 70-80ndad aastad. Eesti elektrisüsteem on olnud aastakümneid näide ülimalt tsentraliseeritud elektrivõrgust, milles enam kui 98% ressursist loodakse ühes piirkonnas kahe võimsa soojuselektrijaama poolt.

Tsentraliseeritud elektrienergia tootmisel on omad head ja vead. Peamisteks puudusteks on sõltuvus suurtest tsentraalsetest jaamadest ja nende varustamisest toormega, sõltuvus ühest-kahest energiakandjast ja nende kättesaadavusest, suurenenud võrgukaod, jääksoojuse kasutamise keerukus, kontsentreeritud ja taluvusvõimet ületav keskkonnakoormus, mis kahjustab loodus- ja elukeskkonda, ning raskendatud ligipääs kvaliteetsele tööjõule. Suurtes jaamades toimuvad õnnetused ohustavad tuhandete inimeste elusid ja võivad põhjustada miljonitesse ulatuvaid kahjusid. Nendel (ja mitmetel muudel põhjustel, nagu näiteks ühiskonna muutunud ootused, aga ka suurte süsteemide paradoksaalselt raske juhitavus ja kõrge riskitegur) eelistavad riigid rajada tänapäeval pigem väikseid ja keskmisi kui suuri elektrijaamu ning hajutada energiatootmise riske ühtlasemalt erinevate geograafiliste, majanduslike, looduslike ja sotsiaalsete keskkondade vahel. Kaasaegne energiatootmine liigub tarbijale lähemale, hajutades energiatootmist ning lokaliseerides ja vähendades energiasüsteemi negatiivset mõju.

Hajutatud energiatootmise arengule aitavad kaasa kolm tehnoloogilist tegurit:

1) keskkonnatehnoloogiate areng, mis vähendab väikeste ja keskmiste tootmisjaamade keskkonnamõju;
2) energiatehnoloogiate areng, mis võimaldab uusi efektiivseid väikelahendusi koostootmises, tuule- ja päikeseenergeetikas jne;
3) info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate (IKT) areng, mis võimaldab väikseid tootmisvõimsusi nn targas võrgus paremini juhtida.

Just viimane tegur aitab energiasüsteemil kohaneda uute väljakutsetega, mida hajutatud tootmine võrgule esitab. Targa (ingl. k *Smart Grid,* teisi sõnu nutika, intelligentse) võrgu

puhul võib iga tarbija osutuda järgmisel hetkel elektri tootjaks ning kogu süsteemi juhib infotehnoloogiline kesksüsteem, mille ülesandeks on tagada tootmise ja tarbimise tasakaal. Elektrienergia kvaliteeti reguleeritakse sellisel juhul ülekandevõrgus ning operaatoril on voli vajadusel sisse ja välja lülitada täiendavaid tootmisüksusi. Täna pole targa võrgu mastaapne rakendamine Eestis veel alanud, kuid elektrivõrgu operatiivjuhtimine on muutunud järk-järgult IKT põhisemaks, mistõttu saab rääkida käimas olevast üleminekufaasist targale võrgule. Targale võrgule üleminek on Euroopa energiavarustuse tulevikuprioriteet.

Targa võrgu rakendumine avab tulevikus võimaluse muuta elektrivõrgu ülesehitust kardinaalselt ning lubab tarbimisrežiimist tootmisrežiimi üle minna igal ajal ja kõigis võrgu osades. See omakorda teeb võimalikuks energiatootmise ja –müügi nn rohujuuretasandil nii üksikmajapidamisena, kodanike poolt moodustatud energiaühistuna kui ka piirkonda hõlmava positiivse energiabilansiga piirkonna ehk omaenergiaregioonina. Kohaliku energiaäri tasuvus on alles selgitamisel (kirjandusest leiab viiteid enam kui kolmandiku suuruse ökonoomsusvõidu kohta, vt näiteks (Randolph & Tech, 2008)), kuid selle potentsiaal on kogukonnas suur ning päike ja tuul kõigile vabalt kättesaadavate energiaressurssidena kasutajasõbralike tehnoloogiate abil teevad selles äris osalemise juurdepääsetavaks paljudele. Tuulegeneraatorite ja päikesepatareide toodangu ebaühtlust aitab siluda toodetud elektrienergia edastamine võrku, kust vajadusel saab tarbitava elektri hiljem tagasi osta. Sellisel juhul saame võrku vaadelda ja kasutada energia salvestusseadmena. Siiski tuleb silmas pidada, et tuulegeneraatorid moodustavad elektrivõrgu jaoks kuluka erandi, kuna vajavad võrgu valmisolekut tuule möödumisel nende tootmisvõimsus kompenseerida selleks pidevalt valmis olevate tootmisüksustega.

Hajutatud energiatootmise areng võrgupiirkonnas mõjub elektrivõrgule ja soojust edastavale kaugküttevõrgule põhimõtteliselt erinevalt. Kui hajutatud elektritootmine võrgus suurendab selle varustuskindlust ja sellega võrgu üldist kvaliteeti, siis kohalik soojatootmine vähendab soojusvõrgu ökonoomsust kuni piirini, mille korral pole selle toimimise tagamine enam võrku alles jäänud tarbijatele jõukohane. Sama mõju kaasneb madala energiatarbega hoonete ulatusliku rajamisega kaugküttepiirkonda. Oluline on mõista, et mitmed klassikaliselt suure energiatarbega tarbijagrupid, nagu elamud ja administratiivhooned, on lähiaastatel kaotamas oma tähtsust tarbijatena ning kaugkütte teenusepakkujatel tuleb oma rolli hakata kogukonnas ümber mõtestama. Üks osa uuest rollist on töö energiatootmise ja –ülekande tõhustamisel: trasside renoveerimisel, koostootmistehnoloogiate kasutamisel jne. Teine osa on funktsioonide laiendamine näiteks elektritootmisele ja ka selle võimaluse puhul on oluline koostootmistehnoloogiate arendamine. Kõige selle juures on oluline aktiivne dialoog kogukonnaga uute stabiilsete tarbimismahtude arendamisel. Hästi läbimõeldud suurtarbijate arendamine võrgu erinevates osades ja linna struktuuri tihendamine kaugküttepiirkonnas lisavad soojateenusele rentaablust ning lõppkokkuvõttes aitavad vähendada tarbijate kulutusi soojusenergiale. Need on teemad, mille puhul soojusettevõtja ja kogukond leiavad ühise kasu.

1.1.4. ENERGIASEKTOR LINNAS

Energiasektori juhtimine linnas peab põhinema kohaliku piirkonna võimalustel ja lahendama spetsiifilisi probleeme, kuid lühidalt võib välja tuua mõned üldised soovitused, mida sellisel juhul võiks silmas pidada (OECD, 1995):

- Panna paika konkreetsed ja selged eesmärgid, millest lähtuda ja mida teadvustada kogukonnas ning siis need ühiste jõududega teoks teha.
- Ühiselt tõstetud eesmärkide saavutamiseks on kriitiliselt oluline kogukonda tegevustesse kaasa tõmmata ja julgustada. Võib juhtuda, et kodanikud on keskkonnaküsimustega juba tuttavad, kuid kui ei, siis on omavalitsuse tegevus ka kogukonda hariva iseloomuga.
- Esimene samm on reeglina keskendumine energiasäästule ja energiakandjate tarbimise efektiivsusele, mida tuleks hüppeliselt tõsta. Alles seejärel saab hakata kaaluma erinevate tehnoloogiliste lahenduste rakendamist energiatootmiseks. Tootmise juhtimiselt tuleb põhimõtteliselt ümber orienteeruda tarbimise juhtimisele, eelkõige ebamõistliku tarbimise vähendamisele.
- Kohalik omavalitsus peaks olema aktiivselt kaasatud kogukonna energiavarustusse, ilma milleta on keeruline kehtestada reegleid tootmisele ja ülekandele.
- Kohaliku omavalitsuse tegevus peab käima käsikäes riikliku keskkonna- ja energiapoliitikaga.
- Energiasektori toodete ja teenuste hinnad peavad kajastama nende teenuste kogukulu, kaasa arvatud nn väliskulud, mis kaasnevad toote või teenuse osutamisega, kuid mis ei väljendu otseselt rahas (kuid on võimalik rahasse ümber arvestada). Lisaks majanduslikule kulule tuleb arvestada kulusid keskkonnale ja kogukonnale. Need kulud tuleb arvata toote ja teenuse lõpphinna sisse, mitte kompenseerida kogukonna ühisest kassast.

Nende soovituste elluviimine pole esimese soojaga kõikidele linnadele ühtviisi jõukohane, kuid tarvis on nende suunas liikuda. Kui hinnata nende soovituste täitmist Eesti tingimustes, siis torkab silma kui palju mõjutavad energiasektori juhtimist probleemid, mis pärinevad tehnoloogiakaugetest valdkondadest. Selgub, et energiapoliitika elluviimiseks on vaja mitte üksnes inseneri, vaid ka liidrit: on vaja võtta eesmärke, mobiliseerida kodanikke, teha sektori sisest ja ülest koostööd jne. Kuid on vaja ka kogukonna üldist koostöövalmidust ning inimeste valmisolekut loobuda oma ühest või teisest väiksest hüvest selleks, et elukeskkond tervikuna võidaks. Eestile on üleminekuühiskonnana omane, et üksikud nutikad indiviidid suudavad üldist hüve enda huvides ära kasutada ilma, et kogukond seda teadvustaks. Et seda ära hoida, on vaja ka väga spetsiifilisi oskusi, näiteks energia- või transpordisektoriga kaasnevate väliskulude arvestamiseks.

Linnade ressursivajadus on suur ning kõige olulisem neist on kaasaegses linnas elekter. Ilma elektrita ei voola torudes vesi, ei toimi sidesüsteemid, ei liigu ringi trammid ega linnalähedased elektrirongid. Kaugküttevõrgud ei tööta, sest soojavõrku tsirkuleerivad pumbad ei tööta, samuti ei toimi katlamaja sisetsirkulatsioon. Ei põle tänavavalgustid ega pole valgust kodudes. Elutähtsates ahelates hoiavad avariipinget üleval avariiakud (lühiajaliselt) ja varugeneraatorid (pikaajaliselt, kuid üksnes juhul, kui on tagatud pidev

kütuse juurdevedu). Meie kõrgtehnoloogiline maailm seiskub elektrivarustuse katkedes. Mida pikem on katkestus, seda raskemad on selle tagajärjed, mis võivad tipneda kümneid tuhandeid inimelusid nõudva sotsiaalse katastroofiga.

Viimase viie aasta jooksul on lisaks Tallinnale ja Narvale loodud uued koostootmisjaamad Tartusse ja Pärnusse. Uued jaamad on võimelised riigiülese elektrivarustuse katkestuse korral jääma tööle nn võrgust isoleeritud saartena ja tagama kriisiolukorras lähiümbruses hädavajaliku elektrivarustuse. Sellega on suurendatud Eesti nelja suurema linna energiajulgeolekut ning loodud eeldused edukaks kriisijuhtimiseks hädaolukorras. Kuid kohalik energiatootmine pole üksnes julgeoleku teema, vaid sellel on nii oma majanduslik kui ka sotsiaalne mõõde. Väiksemõõtmeline ja lokaalne energiaäri elavdab kohaliku majandust ja loob uusi töökohti. Uuenduslikud energia- ja keskkonnatehnoloogiad äratavad huvi tehnikahuvilistes noortes, kes seovad ehk just seetõttu oma karjääri tulevikus Tartu või mõne teise Eesti linnaga, selle asemel, et otsida endale rakendust teistest Euroopa innovatsioonikeskustest.

Euroopa Liidus tarbitakse ligikaudu 40% lõppkasutuses olevast energiast hoonetes nende kütteks, valgustamiseks ja teenusteks. Nendest hoonetest enamik asub linnades, moodustades meie igapäevase olmekeskkonna. Hoonete energiatõhusus on Euroopa kliima- ja energiapoliitika üks prioriteete ning aastaks 2021 peab olema rakendatud liginullenergia standardit kõikide uute või renoveeritavate hoonete puhul. Põhjamaises kliimas tähendab see paratamatult lokaalsete energiatootmise tehnoloogiate laialdast kasutuselevõtmist, kuna hoone totaalsel isoleerimisel on mõistlik minna vaid teatud piirini, millest edasi minnes tuleb silmas pidada hüppeliselt kasvavaid kulusid. Sõltuvalt turul pakutavatest tehnoloogiatest on ilmselt oma roll tuule- ja päikseenergiat rakendavatel lahendustel. Kui täna on päiksepaneelid meie hoonetel pigem erand kui reegel ja tuulegeneraator on veelgi haruldasem, siis alates 2019. aastast avalikel hoonetel ja 2020. aastast kõikidel uutel hoonetel on need pigem reegel kui erand. Konkreetsed tehnilised lahendused leivad endile rakendust vastavalt nende turuvalmidusele.

1.1.5. ELUJÕULINE LINN

Lisaks tehnoloogilistele teguritele mõjutab hajutatud energiatootmise arengut veel rida majanduslikke ja sotsiaalseid tegureid, millest peamiseks on globaalne linnastumine. Täna elab enam kui pool globaalsest kogukonnast linnades ja teadlased prognoosivad linnastumise jätkumist stabiilses tempos. Eestis on linnades elavate inimeste hulk 69% kogu riigi elanikest ning see suhe on viimaste aastakümnete jooksul stabiliseerunud. Viimase vähem kui 100 aasta jooksul on eestlased muutunud põllumajanduslikust ühiskonnast tööstuslikuks ja teenindavaks ning seejuures tugevalt linlikuks.

Linnade energiavarustuse eripäraks on tarbijate suur kontsentreerumine ning hinnanguliselt 80% globaalsest energiatarbimisest toimub linnades ja asulates. Selles kontekstis omab mõtet energiatootmise toomine linnadesse või nende lähedale, mis aitaks vähendada energiavarustuse riske ning muuta linnakeskkonda elujõulisemaks. Piirkond, mis suudab ennast ise energiaga varustada, on kaitstud sotsiaalsete katastroofide eest, mida energiavarustuse katkemine kaasaegses kõrgtehnoloogilises tsivilisatsioonis kaasa võib tuua.

Puhaste energiatehnoloogiate levik linnades annab ligipääsu kvaliteetsele energiavarustusele järjest suuremale hulgale inimestest.

Kõige lihtsam ja odavam viis varustuskindluse tõstmiseks on ebamõistliku ja raiskava energiatarbimise vähendamine. Selleks tuleb muuta regulatsiooni, keskkonda, tarbijaid ja tehnoloogiat. Tehnoloogiat selleks, et energiasääst oleks tehniliselt võimalik, tarbijat selleks, et see vähem tarbiks, keskkonda selleks, et inimesel oleks võimalik teha paremaid (tarbimise) otsuseid ja lõpuks regulatsiooni, et me kõik oleks motiveeritud neid paremaid otsuseid tegema. Osa sellest protsessist on ka kadude vähendamine, näiteks hoonete muutmine energiatõhusaks või ökonoomsemate sisepõlemismootorite rakendamine sõidukites.

Tehnoloogiliselt on võimalik Eestis luua linnakeskkonda, mille energiakandjate tarve on vaid 20-10% tänasest ja mille maksumus jääb alla tänasele. Samuti on võimalik luua keskkonda, milles kogu lõpptarbimises olev energia toodetakse kohapeal kasutades lähiümbrusest pärit ressursse (eeldades, et eelnevalt on tehtud vajalikud energiatarbimist vähendavad tegevused) ja suurendades nii kogukonna varustuskindlust.

Tartu Regiooni Energiaagentuur on hinnanud elanike kuluks energiakandjatele Lõuna-Eestis umbes 1000 eurot aastas (Kikas, 2010) ja see on ligikaudu ka Euroopa keskmine näitaja. Samas pole meie sissetulekud veel Euroopa keskmisele tasemele jõudnud ja seega peame energiatoodete ja -teenuste eest maksma suhteliselt kallist hinda. Põhjus selleks on meie energiasektori negatiivne bilanss - me ostame oma energiat maailmaturult sealsete hindadega. Olukorda, kus energiateenuste ostmine käib kodanikele majanduslikult üle jõu, nimetatakse energiavaesuseks ja selle tagajärjeks on, et osa kogukonnast on energiateenuste turult ära lõigatud. Kuid mitte ainult. Energiavaesus kahjustab kogu kohalikku majandustegevust, sest energiakulu sisaldub kõikide kohalike toodete ja teenuste hinnas, muutes need tundlikuks energiahindade kõikumisele maailmaturul ning kättesaamatuks sotsiaalselt vähekindlustatuile.

Selleks, et energiakandjad oleksid kogukonnale kättesaadavad ka hinna poolest, peavad need pärinema kohalikult turult ja põhinema kohalikul ressursil. Sarnaselt varustuskindluse tagamisele aitab keskendumine kohalikule ressursile suurendada ligipääsu energiateenustele. Seejuures on oluline ka mastaabiefekt, mille puhul kohalike teenuste suur hulk tekitab surve teenuste hindadele nende langemiseks ja laiemaks kättesaadavuseks (võrguteenuste arenguks jne).

Teine oluline tingimus kättesaadavuse suurendamiseks on keskendumine taastuvatele energiaallikatele nagu biokütused, hüdroenergia, tuule- ja päikeseenergia. Kuigi tänu välja kujunenud turumoonutustele on mitmel juhul taastuvenergia tehnoloogiate ostuhind kõrgem kui fossiiltehnoloogial, siis pikas perspektiivis osutuvad need ökonoomsemaks valikuks. Seda on näidanud ilmekalt kaugkütteteenuste turg, milles odavamad hinnad on välja kujunenud just puitu ja turvast kasutavates võrkudes ja kallimad põlevkiviõli, kütteõli, maagaasi ja teisi fossiilkütuseid kasutavates. Kohalikul taastuval ressursil põhinev energiamajandus ei vii kogukonnast raha välja, vaid aitab muuta kogukonda rikkamaks, luua lisandväärtust kogukonnas ja kohalikke töökohti.

Rootsi energiaspetsialistid on hinnanud, et mahus 3000 MWh aastas kohalikul taastuval ressursil põhinevat energiateenust loob kogukonnas ühe püsiva töökoha. Meie tingimustes võib ilmselt rääkida keskmiselt kolmest töökohast, tänu meie majanduse väiksemale efektiivsusele. Lihtne arvutus näitab, et 100 MW võimsusega kohaliku puitu kasutav koostootmisjaam hoiab üleval 300 (Rootsi tingimustes) kuni 900 (meie tingimustes) püsivat töökohta piirkonnas, mis tegelevad metsatöödega, puidu töötlemisega ja energia tootmisega – insenerid, oskustöölised, liinitöölised, abitöölised jne. Energiasektor võib olla kogukonnas arvestatav tööandja pakkudes selleks võimalusi erinevates kategooriates ja erineva profiiliga töölistele, alates lihttööjõust kuni tippspetsialistideni.

1.1.6. TUULEGENERAATORID LINNAS

Tuule kasutamine energiakandjana on ajalooliselt üks vanimaid tehnoloogiaid ning ohtralt kasutusel tuuleveskitena ja purjede jõul liikuva laevatranspordi näol kuni tööstusliku revolutsioonini 19. sajandil. Esimene elektrit tootev tuulik ehitati 1891 Taani leiutaja Poul la Cour poolt [6]. Atmosfäärinähtusena on tuul meie piirkonnas kapriisne, kuid sage külaline ja meie õnneks mitte liiga tugev. Need omadused mõjutavad ka tuule kasutamist energiakandjana. Nii tuulikute kui tuulegeneraatorite puhul on kõige olulisemaks teguriks tuule kiirus – kiiruse kasvades kaks korda suureneb muundatava energia hulk kaheksa korda. Selleks, et püüda kiiremat tuult, on lihtsaim võimalus tõsta tuult püüdev tiivik kõrgemale, kuna tänu pinnavormidest põhjustatud turbulentside vähenemisele puhub ülemistes õhukihtides tugevam ja stabiilsem tuul. Seetõttu moodustavad mastid koos generaatori ja tiivikuga ühtse koosluse ning seda peetakse silmas ka käesolevas töös kõikjal, kus räägitakse tuulikutest või tuulegeneraatoritest.

Tuulegeneraatorite summaarne tootmisvõimsus on aastakümnete jooksul üleilmselt kasvanud stabiilses tempos, küündides 2012. a. lõpuks 282 587 MW-ni (GWEC, 2013), millest 47,9% paikneb kahes juhtivas riigis: Hiinas ja USAs. Euroopa Liidus on juhtival kohal Saksamaa, mille võimsus on üle 32 MW, mis annab talle globaalses konkurentsis kolmanda koha (11,1% maailma tuulikutest paikneb seal).

Tuulegeneraatorite kasutamine tiheasustatud linnakeskkonnas on haruldane ja erandlik tegevus, millega kaasnevad mitmed olulised riskid, mida tuleb osata ette näha, hinnata ja vajadusel ka vähendada või ära hoida. Lisaks looduslikule keskkonnale mõjutab tuulik ka inimeste heaolu, kujundades ümber linnaruumi ja meie igapäevast elukeskkonda. Kuigi see võib tulevikus muutuda, on tuuleturbiinid täna meie linnakeskkonnas pigem harjumatud võõrkehad, mis sellistena võivad tekitada esialgu võõristust ja protesti. Tehnoloogiliste objektidena on nad disainitud olema funktsionaalsed, viimasel ajal ka vaiksed ja ohutud, kuid linnas muutub oluliseks hoopis see, kas nad on lisaks ka “ilusad”. Kõige ilmekamalt avaldub see küsitavus vaidlustes, mida peetakse linna silueti üle, kuna hästi kavandatud tuulik ulatub tublisti üle ümbritsevate hoonete ja paistab maamärgina kindlasti siluetil välja.

Hoolimata mitmetest probleemidest on tuulegeneraatoritel linnakeskkonnas arvestatav perspektiiv, kuna tegemist on taastuvat ja tasuta ressurssi kasutava tehnoloogiaga. Eriti perspektiivikad on keskmisest väiksemad tuulikud, mille tasuvusaeg on täna küll veel pikk (enam kui 50 aastat), kuid see väheneb kasutajate hulga kasvades (ja elektri hinna tõustes). Kvaliteetne linnakeskkond näib nõudvat tuulikutelt head adopteerumisvõimet: need peavad

olema neutraalsed, ohutud ja mitte riivama silma. See on tööülesanne inseneridele ja tööstusdisaineritele. Kuid küsimuse võib esitada ka teisiti: milline peaks olema linnaruum, milles oma peamist funktsiooni hästi täitev tuulegeneraator ei mõjuks võõrkehana? Või sama küsimus laiemalt: kuidas peaks välja nägema ennast ise energiaga varustav linnaruum, mis ei ole täielikus sõltuvuses sisse toodavast energiast?

1.1.7. PÄIKE LINNAS

Päike on meie planeedi ökosüsteemi peamine energiaallikas ja selle energia muundamise teel on loodud kõik teised energiakandjad, alates puhuvast tuulest ja voolavast veest ning lõpetades radioaktiivsete elementidega. Seetõttu eristatakse päikese otsekasutust ja kaudset kasutust. Päikest kasutavad energiaallikana otse näiteks taimed, mis fotosünteesi käigus toodavad endile vajalikke toitaineid ja kasvamiseks vajaliku süsiniku. Kuid otsekasutuse näiteks on ka aknad meie majadel ja laiemalt võttes kogu meie elukeskkond, mis asub päikese poolt soojendatud planeedi pinnal, mida omakorda ümbritseb päikese poolt soojendatud atmosfäär. Meie planeedile langeb päikeselt aastas kokku $3{,}85\times10^{18}$ J energiat, mis ületab globaalse energiavajaduse enam kui seitse tuhat korda. Selle energia püüdmine, muundamine ja salvestamine on päikese energia kaudne kasutamine, mis käesolevas töös jaguneb päiksekollektoriteks (tarbevee kütteks) ja fotoelektrilisteks paneelideks (elektri tootmiseks), mida kirjanduses nimetatakse ka PV-paneelideks (lühend ingl. k. nimest *Photovoltaics*), kuid käesolevas töös on nimetatud lihtsalt päikesepaneeliks.

Päikese fotoelektriline kasutamine tähendab päikese kasutust, mille käigus päikesekiirgus muundatakse elektrienergiaks fotoelektriliste rakkude abil. Fotoelektriline rakk (ingl. k. *Solar Cell*) on oma tööpõhimõttelt pooljuhtelement, mis muundab sellele langeva valguskiirguse footonite energia elektrienergiaks, tekitades suletud vooluringis alalisvoolu. Üksikud fotorakud suudavad tekitada vooluringis vaid väga madala pinge, kuid nende omavahelisel liitmisel päikesepaneelideks saab tekitada vooluahelaid, millede pinge ja vool lubab kasutada seda seadmete käitamiseks ja igapäevase elektrivajaduse rahuldamiseks. Päikesepaneele võib omakorda liita suuremahulisteks päikesepatareideks, mis võivad elektrienergiaga varustada suurtarbijaid ja nii vähendada elektrienergia tootmist fossiilsetest energiakandjatest.

Fotoelektriliste pooljuhtide kasutamine sai alguse elektroonikatööstusest, kus need leiavad rakendust anduritena, diskreetses andmesides jne. Esimene elektritootmiseks kasutatav fotoelektriline rakk toodeti kosmosetööstusele 1954. a. ja juba neli aastat hiljem hakati neid paigaldama kõikidele satelliitidele (Häberlin, 2012). Kommertshuvi päikeseenergia kasutamise vastu hakkas tõsisemalt tekkima peale 1973. a. majanduskriisi, mis ilmestas fossiilkütustest sõltuva majanduse haavatavust Euroopas ja USAs, kuid sai hoogu ka 1986. a. tuumakatastroofiga kaasnenud pettumusest tuumatehnoloogiates. Päikesepaneelide esimene põlvkond leidis endale kasutust peamiselt autonoomsete süsteemide energiaallikana piirkondades, kus puudus võrguühendus, nt ääremaadel ja vähearenenud piirkondades.

Spetsiaalsete muundurite – inverterite - abil võib päikesepaneele ühendada ka elektrivõrku ja kasutada neid nõnda energiavarustuse parandamiseks võrgus. Võrguühenduseks vajalike inverterite areng võimaldab täna töökindlalt luua ühendusi nii keskmisest väiksematele kui

ka suurematele tootmisüksustele. Esimesed võrku tootvad päikesejaamad avati 1980ndatel USAs. Euroopasse jõudis päikesejaamade rajamine 1990ndatel Itaalias, hiljem ka Saksamaal ja Hispaanias. Suurim Euroopas paiknev fotoelektrijaam on täna võimsusega 60 MW, mille asukoht on Olmedilla de Alarcon Hispaanias. Plaanimisel on mitmed suuremad jaamad, näiteks ka 2 GW installeeritud võimsusega päikesejaam Hiinas. Lisaks päikesepaneelidele kasutatakse keskmise suurusega elektrijaamades veel kontsentreeritud päikeseenergiat. Päikesekollektorite erivormiks on kontsentreeritud päikesekollektorid, mis kasutavad peegelpindu suurema energiakoguse koondamiseks muundurisse (näiteks turbiini soojusvahetisse) (Randolph & Tech, 2008). Nende süsteemide kasutegur on suurusjärgus 10…20%, mis on ligikaudu võrreldav päikesepaneelide efektiivsusega. Kontsentreeritud kollektoritena kasutatakse paraboolseid läbikande, paraboolseid soojusmootoriga (Stirling mootoriga) ja tsentraalse vastuvõtjaga tehnoloogiad. Viimati nimetatud tehnoloogia leiab kasutust näiteks aurutsükliga päikesesoojuselektrijaamades (11 MW Sanlucar la Mayor, Hispaanias ja 377 MW Ivanpah, USAs).

Erinevalt päikesekollektorist võimaldab päikesepaneel kasutada ära ka hajusat päikesekiirgust, mis meie oludes moodustab pisut enam kui poole paneeli poolt püütavast valgusest.

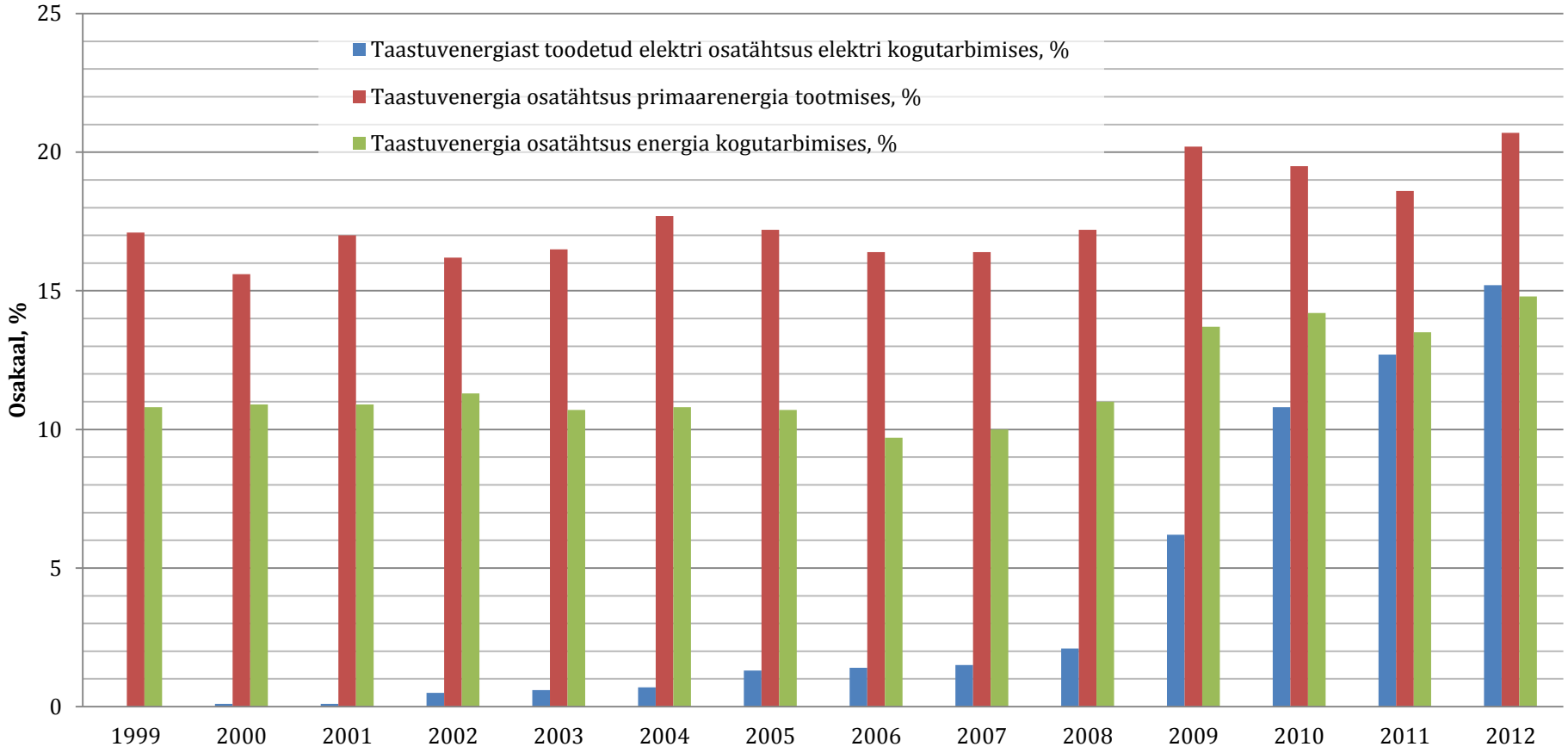
Päikesepaneelide tõhusamaks kasutamiseks tuleb nende hoonega integreerimisele tähelepanu pöörata juba hoone planeerimisel. Neid saab kasutada fassaadielementidena, või paigaldada näiteks aknaid varjutava sirmi pinnale, kus need saavad täita korraga kahte funktsiooni – vähendada suvise keskpäevapäikese valgushulka ja toota sellest elektrienergiat.

Ekspertide hinnangul võib päikesepaneelidest toodetud elektri hulk küündida mõnekümne aasta järel 25-30% Euroopa elektrivajadusest (Häberlin, 2012). Seda juhul, kui on võetud tarvitusele tehnilised ja majanduslikud meetmed paneelide hinna vähendamiseks.

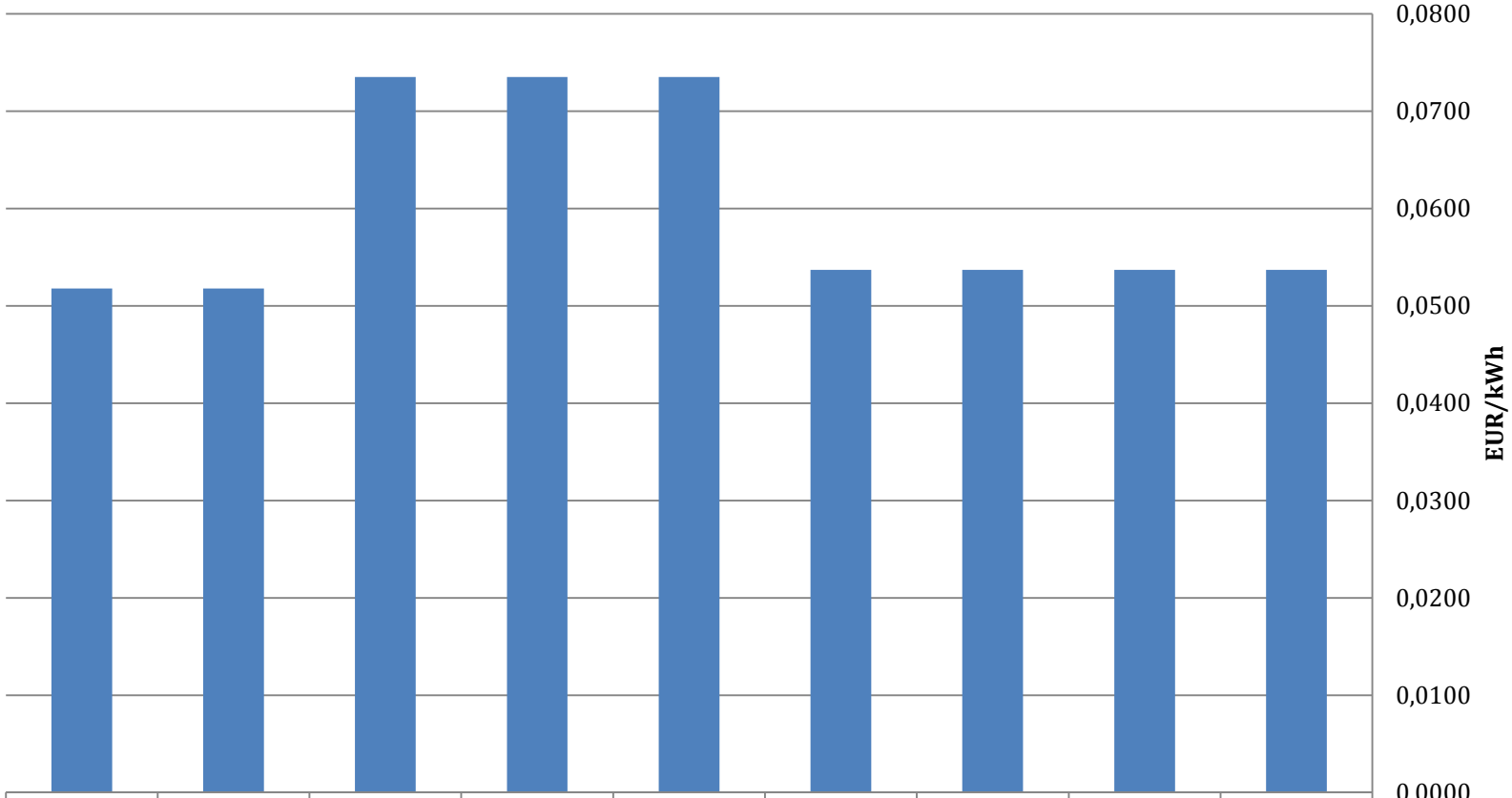
1.2. TAASTUVENERGIA TOOTMINE JA KASUTAMINE

Taastuvate kütuste kasutamisel Eestis on head eeldused, eriti soojamajanduses, kuna umbkaudu pool meie territooriumist on kaetud metsaga ning puit biokütusena on ajalooliselt olnud peamine energiaallikas. Täna on taastuvenergia osa lõpptarbimises (2012 a. oli see 33 837 GWh) 14,8% ja see on kasvanud viimase kümnendi jooksul varasemalt ca 10% tasemelt (vt joonis 2). Tegelikult on taastuvenergia tootmise kasv olnud pidev, kuid jäänud üldise energiatarbimise kasvu varju. Viimase kümnendi jooksul on lisandunud mitmeid biokütust kasutavaid keskmise suurusega koostootmisjaamu.

Taastuva elektri kasutamine Eestis on teinud arenguhüppe viimase viie aasta jooksul ning see on aidanud kaasajastada kogu energiasektorit. Kui veel 2006. aastani sai elektritarbimises rääkida taastuvate energiaallikate vaid marginaalsest mõneprotsendilisest osast, siis alates 2007. a. näeme me lineaarset kasvutrendi suurema turuosa suunas. 2012. a. oli taastuvkütuste osa elektritarbimises (kokku 7 407 GWh) üle 15% ning käesoleva, 2013. a. prognoos tõotab kasvutrendi jätkata.



Joonis 2. Taastuvatest energiaallikatest toodetud energia ja elektrienergia osakaal primaarenergia tootmises ning kogutarbimises 1999…2012. a. Allikas: Eesti Statistikaamet, www.stat.ee



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
EUR/kWh	0,0518	0,0518	0,0735	0,0735	0,0735	0,0537	0,0537	0,0537	0,0537

Joonis 3. Alla 100MW nimivõimsusega taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia toetus, 2005…2013. a. Allikas: elektrituruseadus, www.riigiteataja.ee

Taastuva elektri osa lõpptarbimises hakkas kasvama esimeste suure võimsusega tuulegeneraatoritega, mida hakati paigaldama 2000. aastate alguses. Tuulikute paigaldamisele aitas kaasa 2003. a. esmakordselt vastu võetud elektrituruseadus, milles oli võrguettevõttele ette nähtud taastuvatest energiaallikatest toodetud elektri ostukohustus, makstes 1,8 kordset eelmise perioodi keskmist hinda. Alates 2005. a. redaktsioonist oli ostukohustuse hind fikseeritud 0,81 EEK/kWh (0,0518 EUR/kWh), kuid selle maht oli piiritletud võrguettevõtja võrgukadude mahuga. Peale 2007. a. redaktsiooni kehtestamist tekkis taastuvenergia tootjatel võimalus müüa oma toodangut ise ja saada selle eest toetust ning toetuse suuruseks määrati 0,84 EEK/kWh (0,0537 EUR/kWh). Ostukohustuse fikseeritud hinnaks määrati 1,15 EEK/kWh (0,0735 EUR/kWh). Samuti pikendati toetusskeemi kasutusaega 12 aastani alates tootmise algusest (Šavel, 2007). Käesolevast, 2013. aastast kehtivas elektrituruseaduse redaktsioonis on toetuse määraks 0,0537 EUR/kWh (vt joonis 3).

Tuuleenergia Assotsiatsiooni andmetel oli 2012. a. lõpus tööl 126 elektrituulikut koguvõimsusega 269,4 MW ja aastaga olid tuulikud tootnud 448 GWh elektrienergiat, mis kattis ligikaudu 5% kogu elektritarbimisest ja ca kolmandiku kogu taastuvelektri tarbimisest Eestis. Toetusena maksti tuuleparkidele 2012. a. jooksul 14,1 MEURi, mis moodustab kogu taastuvenergia toetustest 22,5% (Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013).

2009. a. alustas Tartu külje all Luunjas tööd biokütusel koostootmisrežiimis töötav Tartu Elektrijaam, mille koguvõimsus on 90 MW. Sellele lisandusid peagi koostootmisjaamad Pärnus ja Tallinnas võimsustega 69 MW ja 92 MW ja koostootmisrežiimis töötav prügipõletusjaam Irus koguvõimsusega 67 MW. Lisaks on tööd alustanud väiksemad koostootmisjaamad Helmes ja Valkas, samuti on suurenenud biogaasil töötavate jaamade võimsus.

1.3. ÜLDINE ÖKONOOMIKA

Suurimaks pudelikaelaks tuulegeneraatorite ja päikesepaneelide laialdasel kasutamisel on nende suhteliselt kõrge maksumus, mis võib tänaste hindade juures ületada biokütustest toodetud elektri hinna 2-3 korda. Samas ei maksa unustada, et tegemist on alles arengujärgus oleva tehnoloogiaga ja näiteks päikesepaneelide hinnad maailmaturul on langenud tasemelt 76,67 USD/W aastal 1977 tänasele tasemele 0,74 USD/W (Geoffrey, 2012). Viimase viie aasta jooksul on paneelide hinnad langenud enam kui 60% (Ken, 2012), olles täna elektri tootmiseks ökonoomsemad kui näiteks tuumaenergiatehnoloogiad. Päikesest ja tuulest toodetud elekter on üks väheseid energiakandjaid, mille hind on langemas, mitte tõusmas.

Fotoelektriliste paneelide hinnad on täna vahemikus 1300…2500 eurot installeeritud võimsuse ühe kilovati kohta (vt lisa 5 ja (Sonn, 2013)), mis võimaldab aastas toota meie tingimustes viie 1,5 m² paneeliga optimistlikult 1000 kWh elektrienergiat (paneeli kasuteguriks on näiteks 14%). Lihttasuvusaeg on sellisel juhul vahemikus 25…40 aastat. Väiketuulegeneraatorite turg on täna ebastabiilsem ja Eestis alles välja kujunemas, seetõttu on nende hindade kohta raske pikaajalisi järeldusi teha. Väga laiades piirides võib öelda, et installeeritud võimsuse ühe kilovati hind on väiketuulikutel vahemikus 4000…5000 eurot, mis teeb tasuvusajaks 55…65 aastat. Tasuvusaega arvestades tuleks arvestada ka

alternatiivset kulu elektrienergia ostmisele, juhul kui energiatootmisse ei investeerita, milleks võib võtta tänaste hindadega 0,116 EUR/kWh (Uiga, 2013).

Hoolimata pikaajalisest tasuvusajast on päikesepaneelidel ja –kollektoritel juba täna oma kindel koht energiatõhusate hoonete konstruktsioonis nii uute kui renoveeritavate hoone puhul. Maja ei ehitata 20 või 30 aastaks, vaid enamikel juhtudel on see pikaajaline investeering ning vajab energiavarustust, mille tagamine on paraku traditsioonilisi tehnoloogiaid kasutades üha kallim. Siin muutuvadki oluliseks kohalikud energiatootmisvõimalused. Iga kilovatt päikesest toodetud elektrit vähendab vajadust elektrit tarbida võrgust ja 200 000 eurot maksva maja hinna sees olev 5 kW võimsusega päikesepaneel maksumusega 7000 eurot ei tundu maja koguhinnaga võrreldes enam liiga kallis, eriti kui see säästab tänaste elektrihindade juures aasta kohta kuni 600 eurot elektrikulust. Täpsuse huvides tuleb märkida, et päikesepaneelide säästvus sõltub nende kasutajatest, nagu see on iga teisegi tehnoloogia puhul. Kui tarbijad oma harjumusi sellega ei kohanda, siis saab päikesepaneelist lihtsalt ülemakstud fassaadielement. Ja lõpuks kehtib ka siin reegel, et suurusjärgu võrra odavam on tarbimist piirata kui seda asendada efektiivsema tehnoloogiaga.

Tuule- ja päikeseenergia ökonoomsust arvestades tuleb silmas pidada asjaolu, mida tasuvusaeg üksi ei kirjelda. Võimalus investeerida väikelahendustesse tõmbab turule suure hulga väikeinvestoreid ja uut raha, mis omakorda elavdab kohalikku majandust, andes tööd paneelide ja tuulikute valmistajatele, paigaldajatele ja hooldajatele. Viimase aasta ja kahe kuu jooksul (perioodil august 2012 – oktoober 2013) on lisandunud Elektrilevi võrku umbes 113 uut tuule- ja päikesetehnoloogiaid kasutavat väiketootjat, kelle poolt installeeritud võimsus küünib 850 kW-ni (Lillipuu, 2013). See tähendab ca miljoni euroni küündivat käivet kohalikele tarnijatele ja paigaldajatele, 248 MWh elektritoodangut ja 2,6 miljoni euro suurust aastakäivet paigaldiste omanikele. See on uut liiki kohaliku tasandi majandus, milles liidripositsiooni hoiavad täna Harju (99,8 MWh/a), Tartu (61,9 MWh/a), Põlva (22,5 MWh/a) ja Järvamaa (11,8 MWh/a) ning mis tõenäoliselt alles kogub oma hoogu.

Täna on väiketootmisse investeeringuid teinud peamiselt üksikisikud ja loodud tootmisvõimsused on olnud keskmiselt 3-5 kW päiksepaneelidel ja 10 kW tuulegeneraatoritel. Järgmine loogiline samm sellest edasi oleks inimeste koopereerumine ja energiatootmise investeeringute tegemine energiaühistute raames. See võimaldab tõsta loodavate tootmisühikute võimsust tasemeni 50…100 kW ja enamgi (kindlasti on turul ruumi ka loetud hulgale 1 MW nimivõimsusega tuulikule või päikesepargile), luues uue energiaturu, mille aastane maht võib küündida 500 miljoni euroni ja enamgi. See on arvestatav ühistegevuse vorm, mis loob pikas perspektiivis eeldusi omaenergiaregiooni kontseptsiooni arendamiseks, milles kogukonna esindajad võivad olla nii tootjad kui tarbijad.

Oluline komponent tuule- ja päikeseenergia tehnoloogiate turu arendamisel on toetustel. Eestis kehtivad sellistele tehnoloogiatele nn rohelise elektri toetused, mis lubavad maksta võrku müüdava elektrienergia eest toetust 0,0537 eurot ühe kilovatt-tunni eest, mis praktikas tähendab väiketootjale börsihinnaga samas suurusjärgus olevat lisakäivet (Riigikogu, 01.03.2013). Viljastavalt on turule mõjunud SA KredExi poolt 2012. a. läbi viidud väikeelamute renoveerimise toetusvoor, mis on aidanud 90 väikemajapidamisel luua endale

autonoomse või võrku ühendatud tuult või päikest kasutava energiatootmisseadme. Selle taotlusvooru raames aitas KredEx teha sektorisse 1,5 miljoni euro eest investeeringuid (Adler, 2013), pakkudes taotlejatele kuni 70% ulatuses toetust. Kindlasti tuleks teha lähiaastatel sarnaseid toetusvoore veelgi, arvestate nende reaalset arendavat mõju olukorrale turul. Järgmiste voorude eesmärgiks võiks olla tootmisvõimsuste skaleerimine ja ühiste investeeringute (koopereeruvad indiviidid, korteriühistud, või ka näiteks avaliku- ja erasektori ühisinvesteeringud) arendamine.

1.4. OHUTUSTEHNILISED NÕUDED TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISEL

1.4.1. TUULEGENERAATORITE RISKID

Tuulegeneraatorite paigaldamise, hooldamise ja töötamisega kaasnevad mitmed riskid, mis võimenduvad linnakeskkonnas. Peamised tuulikutega kaasnevad riskid on (Stanicovic, et al., 2009):

- oht seadmetest nende läheduses viibivaile inimestele,
- visuaalne reostus,
- tegevusega kaasnev müra,
- valguse vilkumine ja peegeldus labadelt,
- elektromagneetilised häired,
- mõju looduskeskkonnale, bioloogilisele mitmekesisusele ja eriti lindudele.

Oht lähikonnas inimeste tervisele, tuleneb seadmete võimalikest riketest, sh masinaosade või jäätükkide langemisest. Sellised riskid on kõige tõsisemad, kuni selleni, et nende mõju võib olla surmav. Peamisteks ohuallikateks on:

- tuuliku masti avarii ja tuuliku/tiiviku kukkumine,
- tiiviku labade või laba osade pudenemine,
- jäätükkide teke talvel ja nende heitmine/langemine.

Avariidest tuleneva mõju vältimiseks on minimaalne ohutuskaugus mastist selline, mille puhul pikali langev mast koos tuulikuga ei kahjusta lähedal asuvaid inimesi. Selleks loetakse 10% enam tuuliku paiknemiskõrgusest, s.o masti kõrgus ja laba pikkus kokku. Seda soovitust ei saa järgida hoonetele paigaldatavate väiketuulikute puhul, samuti pole väiksemate tuulikute puhul horisontaaljõud nii tugevad ning oht pole suur (kui ei esine erakordselt tugevat tuult - keeristormid jms). Samuti on olemas mitmeid näiteid tuulikutest, mille alune ala on avatud inimestele ja loomadele. Üldine põhimõte tuulikute ohtude vältimiseks on järgida samu ohutusnõudeid, mida teiste samalaadsete paigaldiste, mastide ja seadmete puhul.

Jää võib tekkida tuulikutele talveperioodil ning siis tuleb tuuliku osad ja eriti labad hoida jäävabad. Labadele tekkivad jäätükid võivad lennata erandjuhtudel isegi sadu meetreid, kuigi enamikel juhtudel langevad need lihtsalt tuuliku alla. Jää tekkimist mõjutavad mitmed asjaolud ning seda on keeruline ette planeerida. Kui oht kahjustusteks on suur, siis peaks tuuliku ümber kujundama nn jääohutustsooni, mille ulatus on poolteist korda pikem tuuliku pikkusest (masti kõrgus ja laba pikkus). Pikema hoolduse jooksul on ilmselt võimalik jää

tekkimist konkreetsel tuulikul vastavalt ilmastiku tingimustele ette näha ja täiendavalt seda vältida. Selleks, et vähendada jäätükkide lennutrajektoori, võib generaatori jäätekkimise ajaks peatada.

Tuulegeneraatoritel, eriti levinuma nn horisontaalse paigutusega mudelitel, on avalikkuses välja kujunenud äratuntav visuaalne identiteet. Kui avamaa ja avamere tuulikud paiknevad väiksema asustustihedusega aladel, siis linnas ja linnalähedal paiknevate tuulegeneraatorite puhul on nende nähtavus oluline ja võib põhjustada teravaid vaidlusi. Selleks, et tuuliku töö oleks efektiivne, pole soovitatav tuuliku kõrgust esteetilistel kaalutlustel vähendada - see tuleb paigaldada kõrgemale ümbritsevatest hoonetest ning paistab igal juhul kaugele. Arendajad peavad võtma arvesse, et on olukordi, mil linna panoraam või välja kujunenud vaade välistavad tuuliku paigaldamise. Kuid hästi läbimõeldud paigutusega tuulik linnaruumis võib luua hoopis ruumilist väärtust ja hakata tööle visuaalselt põneva maamärgina, väljendades kogukonna hoiakuid ja pühendumist oma reostuse vähendamisele.

Hästi toimiv tuulegeneraator on visuaalselt kompromiss olemasoleva linnaruumi ja tulevikku suunatud energiatehnoloogiate vahel. Ka siin kehtib põhimõte, et kui ruumiline kvaliteet on niigi madal ja seda juba risustavad olemasolevad tehnoloogilised objektid, alates kõrgepingemastidest ja lõpetades katlamaja korstendega, siis pole tuuliku paigaldamisel midagi eriti kaotada. Rahvusvaheline praktika näitab, et kogukonna esimene rektsioon on enamikel juhtudel negatiivne, ja selles on koht nii hirmudel, müütidel kui ka põhimõttelisel vastuseisul lubada tuulegeneraatoreid oma “tagahoovi”. Kui aga praktiline kogemus tuulikuga on tekkinud, siis vähendab see vastuseisu uutele sarnastele arendustele, kuna inimesed kogevad paljude levinud müütide paikapidamatust. Oluline on kogukonda protsessi kaasata alates võimalikult varajasest staadiumist: inimesi informeerida ja ühiselt hinnata erinevaid tuulegeneraatorite stiile ja paigaldusviise. Kindlasti aitab kaasa ka kogukonna motiveerimine kas jagatud kasumi või näiteks odavama elektriteenuse abil.

Tuulegeneraatorite müra jaguneb kaheks (Stanicovic, et al., 2009):

- aerodünaamiline müra, mis tekib tuule turbulentsidest tiiviku labade ümber,
- mehhaaniline müra, mis peamiselt pärineb käigukastist, generaatorist ja juhtsüsteemist ning kiirgub tuuliku pindadelt, sh ka mastilt.

Kaasaegsete suure võimsusega tuulikute peamiseks müraallikaks on tiibadelt eralduv aerodünaamiline müra, kuna vibratsiooni vähendamise ja isolatsiooniga on tuulegeneraatorite mehhaaniline müra suudetud viia alla 15 dBA ja isegi vähem mudelitel, millel on loobutud käigukastist. Väiketuulikute puhul pole müra tase ka keskmise tuulega üldiselt tuule mürast eraldatav. Müra puhul on oluline müra allika iseloom (punktallikas või suuremad pinnad), nende suund, valjusus, sagedus, kestvus ja kuulaja kaugus müra allikast. Arvestama peab veel keskkonna võimega müra summutada või koondada ja võimendada. Tuule suund ja tugevus, õhu niiskus ja temperatuur võivad samuti mõjutada müra levikut. Müra mõju inimese kuulmisele on individuaalne, sõltudes taustahelidest ning iga inimese taluvusvõimest. Kõikidel juhtudel, kui on oht keskkonda reostava müra tekkeks, tuleb läbi viia müra hindamine vastavalt riiklikule regulatsioonile (Sotsiaalminister, 04.03.2002).

Tabel 2. Keskmine mõõdetud müataju (Stanicovic, et al., 2009)

Tegevus	Müratase, dBA	Inimese taju
	140	Valulävi
Lennuk 250 m kõrgusel	105	
Karje 15 cm kaugusel	100	Väga häiriv
Suruõhuvasar 7 m kaugusel	95	
Raskeveok 15 m kaugusel	90	Kuulmiskahjustused 8 tunniga
Sõidutee 15 m kaugusel	70	Häiriv
Veok 30 km/h 100 m kaugusel	65	
Töine kontor	60	
Auto 40 km/h 100 m kaugusel	55	
Tavakõne 5 m kaugusel	50	Vaikne
Tuulepark 350 m kaugusel	35-45	
Sosin 5 m kaugusel	30	Väga vaikne
Öö maakohas	20-40	
Helistuudio	20	
	10	Vaevukuuldav

Keskmine müra taju on toodud tabelis 2, mille järgi peame häirivaks helirõhku alates 70 dBA ja vaikseks kuni 50 dBA. Helirõhk väheneb 6 dBA võrra kuulmiskauguse kahekordistudes. Ideaalsetes tingimustes kuuleme me 2-3 dBA valjust helirõhu muutust ja 5 dBA muutus peaks olema tavatingimustes kuuldav kõikidele. 10 dBA valjust helirõhu muutust tuleb juba vältida, sest kuulaja tajub seda helirõhu kahekordistumisena. Näiteks Suurbritannias kehtestatud ETSU DTI1996 standardid näevad ette, et tuulikute müra ei tohiks taustamüra ületada 5 dBA, arvestades, et erinevatel kellaaegadel taustamüra tase on erinev. Kui müra summaarne kogus on limiteeritud LA_90,10min (kümne minuti keskmine helirõhk, mis kestab 90% mõõtmisajast mõõdetuna A-filtriga, tuule kiirusel 10m/s ja mõõtmiskõrgusel 10m) 35 dBA, siis see tagab nõuetekohase müratasemeja taustamüra mõõtmine pole vajalik. Müra tase võib vaid erandkorras küündida 45 dBAni, juhul kui inimesed on nõus sellega leppima (näiteks tänu majanduslikule kompensatsioonile).

Tabel 3. Müra normid elu- ja magamisruumides (Sotsiaalminister, 04.03.2002)

	Lubatud (maksimum), dB	Soovituslik dB
Elu- ja magamisruumides, A-korrigeeritud	30 (35)	25 (32)
Elu- ja magamisruumides, C-korrigeeritud	50	45
Elamu välisterritooriumil, päeval	50	-
Elamu välisterritooriumil, öösel	40 (45)	-

Päikesevalguse vilkumine läbi tiivikulabade nende pöörlemisel võib põhjustada valgusmüra ja olla häiriv, kuid seda teatud kindlatel tingimustel. Vilkumise mõju ja ulatus sõltub päikese intensiivsusest ja langemise nurgast, tiiviku läbimõõdust ja asendist päikese suhtes, tiibade ehitusest, ulatusest ja liikumiskiirusest. Vilkumine võib mõjuda rohkem või vähem häirivalt, seda eriti epilepsia all kannatavatele inimestele (Stanicovic, et al., 2009). Ligikaudu 0,5% inimestest on epileptikud ja umbes 5% on valgustundlikud, neist omakorda 5% on tundlikud madala sagedusega (2,5-3 Hz) valgusmürale. Tabelis 4 on näha, et kõige ohtlikum on vilkumise sagedus 10-25 Hz, mis 3-labalisel horisontaaltuulikul vastab pöörlemissagedusele 200-500 rpm, mis jääb enamikele tuulegeneraatoritele kättesaamatuks. Kuigi talvisel ajal ja madala päikese korral võivad varjud ulatuda kaugemalegi, siis vilkumise ulatuseks loetakse mitte enam kui kümne tiiviku läbimõõtu. Vilkumiste mõju hindamiseks tuleb koostada vilkumiste kaart. Keerulisematel juhtudel võib valguse liikumist modelleerida spetsiaalse tarkvara abil ja kasutada tulemuseks olevat kolmemõõtmelist joonist täpsema tulemuse saamiseks.

Tabel 4. Vilkumise mõju inimese tajule (Stanicovic, et al., 2009)

Vilkumise sagedus, Hz	Inimese taju	Vilkumisele vastav pöörete arv 3-labalisel tuulikul
Alla 2,5	Tagasihoidlik mõju	Alla 50
2,5…3	Võib mõjutada 0,25% elanikkonnast	50…60
3…10	Efekt on tajutav	Alla 200
10…25	Suurim tundlikkus	200…500
Üle 50	Pidev valgusallikas	1000

Päikese valguse peegeldumine tiivikulabadelt võib omakorda tekitada silmatorkavat ja kaugele ulatuvat vilkumist, mille vähendamist peab tiiviku tootja ette nägema. Selleks võib kasutada peegeldumist vähendavat või hajutavat pinnatöötlust, spetsiaalseid värve jne.

Tuulegeneraatorid võivad põhjustada elektromagneetilisi häireid traadita telekommunikatsioonisüsteemides, samuti radari, lokaatorite ja nende poolt juhtud navigatsioonisüsteemides (Stanicovic, et al., 2009). Häirete ulatus ja iseloom sõltub tuuliku üldistest omadustest nagu kõrgus, tiiviku pöörlemissagedus jne (madalama sagedusega häired), kuid ka pisidetailidest (kõrgema sagedusega häired). Häireid on raske ette ennustada, kuid neid saab vähendada:

- kasutades klaasfiibrist vms mittemetallilisest materjalist tiivikut,
- paigaldades füüsiliselt väiksemaid tuulikuid võrreldes avamaa suurte tuulikutega,
- paigutades tuulikud üksikuna või suure vahemaaga.

Uuringud näitavad, et suurte avamaal paiknevate tuulegeneraatorite juures hukkub aastas üks kuni kolm lindu, kes lendavad vastu tiivikut või konstruktsiooni (Stanicovic, et al., 2009). See on tõsine probleem, millega seisavad silmitsi kõik tuulikute paigaldajad, eriti suurte tuuliku puhul, kuid ka väiksemate tuulikute paigaldamisel, kuigi oht on nende puhul oluliselt väiksem. Tuulikute paigaldamisel tuleb arvestada lindude rändega, samuti nende pesapaikade jne. Kui on karta, et paigaldatav tuulik võib olla lindudele ohuks, siis tuleb protsessi kaasata linnuspetsialiste ja loodusteadlasi, kelle abiga tuleb võtta tarvitusele vajalikud meetmed ohu vähendamiseks. Riskide hindamisest ja maandamisest loe täpsemalt peatükist 3.6.

1.4.2. PÄIKESEKOLLEKTORITE JA –PANEELIDE RISKID

Päikesekollektorite ja –paneelide riskide hindamisel tuleb hinnata eelkõige nende konstruktsiooni ja elektrisüsteemi töökindlust. Igasugune korrast ära elektriseade on kõrgendatud ohu allikas ja võib inimese elu ja tervist ohustada. Tähelepanu tuleb pöörata konstruktsiooni piksekaitsele ja nõuete kohasele maandusele.

Kui päikesekollektor või –paneel on paigaldatud otse hoone pinnale, siis tuleb tagada nende pindade kuumakindlus ja tuleohutus. Soovitav on luua ka ventileerimiseks piisav õhupilu, kuna kuumendes paneelide efektiivsus langeb. Täpsemalt paigaldusviisidest vt 4.4.4.

2. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE SOOVITUSED JA RAKENDAMISVÕIMALUSED TARTU LINNAS

2.1. KAVANDADES HEAD LINNA

Lõviosa energiast tarbitakse linnades ning linnad on vastutavad sellega seoses tekkiva keskkonnakoormuse eest. Hinnanguliselt 78% globaalsest CO2-st eraldub linnadest (Hodson & Marvin, 2010) ning seetõttu on rahvusvaheline kogukond pööranud erilist tähelepanu linnade poolt eralduva saaste vähendamisele. Sihikul on energia- ja transpordisektor kui peamised saastajad (enam kui 40% kasvuhoonegaasidest on pärit energiasektorist). Üldised soovitused energiasäästliku linnaruumi loomiseks näevad ette (OECD, 1995):

- Energiaressursi efektiivne kasutamine peaks olema linnplaneeringute üheselt mõistetav eesmärk ja planeerimispoliitika silmapaistev põhimõte.

- Planeeringute ettevalmistamisel tuleb kaaluda alternatiivsete stsenaariumite energiaparameetreid.
- Arendada positiivset eelhoiakut madala keskkonnamõjuga tehnoloogiate osas ning viia läbi olulistele arendustele mõjude analüüs selle täies mahus.
- Arendada varajast koostööd energiatootjatega, et uute arenduste puhul oleks saavutatud optimaalne energiasäästu ja loodavate tootmisvõimsuste suhe.
- Jälgida ja mõtestada energiatarbimise trende linnas ning hinnata energiapoliitikate mõju linnaplaneerimises.
- Transpordiinvesteeringute puhul lähtuda energiasäästust.
- Vähendada inimtegevuste eraldamist ja siduda seda transporditeenustega. Selleks peaks:
    - nägema ette erineva maakasutuse kombineerimist töökohtade ja teenuste tekkimiseks vajalikus skaalas;
    - arendama sobivates kohtades tihedamat asustust koos kõrgemate kvaliteedistandarditega;
    - vältima laiali valguvat arendust, eriti kui sellel puudub side ühistranspordiga;
    - arendama töökohti ja teenuseid piirkondades, kus need pole sõltuvuses autokasutusest ja seda ei suurenda;
    - julgustada kõigis asutustes ja ettevõtetes jalgsi käimist ja jalgrattakasutust ning diskrimineerida autokasutust igal juhul, kus see nendega konflikti satub.

Energia- ja transpordipoliitika integreerimine maakasutuse ja planeerimispoliitikaga on võtmetähtsusega viis elujõulise linnaruumi loomiseks. See eeldab erinevate instantside tihedat koostööd ja ühist jõupingutust hea elukeskkonna loomiseks linnas. Kui hinnata integreeritud planeerimismetoodika rakendusvõimalusi Eestis, siis oleme oma poliitiliselt mõtlemiselt endiselt 20. sajandi teises pooles, kui linnaarenduses toimisid nn uusliberaalse ideoloogia põhimõtted (Hodson & Marvin, 2010). Kahjuks pole see lähenemine 21. sajandi maailmas enam kuigi viljakas ega loo pinnast ei ettevõtluse, sotsiaalse innovatsiooni, majandusliku heaolu ega elukeskkonna kvaliteedi parandamiseks.

Hea elukeskkonna loomiseks vajalikud tehnoloogiad on teinud viimase kahe aastakümne jooksul suure arenguhüppe ja, kuigi see areng on veel käimas, on juba täna võimalik planeerida, projekteerida ja rajada 21. sajandi nõuetele vastavat linnakeskkonda. Need tehnoloogiad moodustavad linna arendajate poolt kasutatava nn tööriistakasti, millest kombineerides on võimalik luua igale linnale just selle vajadustele vastav elukeskkond:

- Energiasäästlik ehitus – madala energiatarbega ja passiivmajad, (ligi) nullenergiamajad, madala keskkonnakoormusega ehitusmaterjalid, tagatud ja toksiliste materjalide vaba sisekliima.
- Energiasäästlik tarbimine – energiatarbe reaalajas monitoorimine, nn tark maja, nn tark võrk, tarbimise kompenseerimine hoone põhise tootmisega, tarbimisandmete personaalne teavitamine.
- Energiat säästev liikumine – jalgsi- ja jalgrattaliikluse rajad ja teed (ka valvehooldus), hübriid- ja elektrisõidukid, kohalikke ja/või taastuvkütuseid kasutav ühistransport,

transpordi reaalajas planeerimise IKT lahendused, sõidukite laenutus ja ühiskasutus, nn pargi-ja-sõida lahendused.

- Tõhus energiatootmine – koostootmistehnoloogiad, taastuvad ja/või kohalikud energiaallikad, sh päikese- ja tuuleenergia.
- Jäätmekäitlus ja veepuhastus – materjalide taaskasutus, madala keskkonnakoormusega prügipõletus, biojäätmete kääritamine ja biogaasi tootmine.

2.2. TARTU 2050 – PÄIKESE- JA TUULELINN

Aastaks 2050 on Euroopa linnad läbinud põhjaliku muutuse, mis oma mahult ja ulatuselt on võrreldav muutustega aastatel 1945-1972, kuid oma sisult on selle vastandiks. Kui 20. sajandi keskmised kümnendid muudavad meie linnad laialivalguvaks, energiamahukaks ja autokeskseks, siis järgmised kümnendid vähendavad energiatarbimist, emissiooni ja tõrjuvad linnadest autod välja. Muutused on ulatuslikud ja väljenduvad nii nähtavas (vaated, panoraamid jne), kuid enamgi varjatus (infoedastus, ressursihaldus, kaubavarustus, töökohtade haldus jne jne), millest annavad märku ehk vaid heaolu kasv ja linnakodanike kõrge elukvaliteet. Ka linnade roll ja vahekord riigiga on muutumas. Abstraktse riikliku võimuaparaadi asemel juhivad riike üha enam linnade ja maa-asumite ühised kärajad ning poliitiliste ideoloogiate asemel lähtutakse seadusloomes kogukondade vajadusest nii omavalitsuse, riikide kui ka riigiüleste regioonide tasemel.

Energia ja puhta vee tarbijatest on saanud nende tootjad. Tartu on aastaks 2050 mitte ainult loobunud fossiilkütuste tarbimisest, vaid toodab piisavas mahus rohelist elektrit, et kompenseerida fossiilkütuste kasutamist linnas tarbitavate kaupade tooteahelas (peamiselt (põllumajanduslikus) transpordis). Ligikaudu pool linnas tarbitavast energiast on elekter, mis pärineb üsna võrdsetes osades biokütustel töötavatest koostootmisjaamadest, päikesepatareidest ja tuulegeneraatoritest. Energiasalvestuse tehnoloogiad aitavad vähendada lõhet tootmise tipu ja tarbimise tipu vahel ning suur osa salvestusseadmetest paikneb elektrisõidukites ja nende laadimisjaamades.

Kõik linnas paiknevad ettevõtted peavad tootma oma tarbimisele vastavas koguses energiat ja edastama selle linna võrku. Sama kehtib ka kodanike kohta. Kõigil tartlastel on personaalne energiakonto, kus on näidatud tarbitud ja toodetud energia saldo, mille alusel arveldatakse kuu lõpuks ettevõtete ja kodanike akumuleerunud emissioonid CO2 ühikutes, mis kuulub maksustamisele. Kõik linnas paiknevad hooned on nullenergiahooned ja sisaldavad energiatootmise tehnoloogiad. Kui madalates äärelinnades on nendeks kombinatsioon biokütustest ja päiksepaneelidest ning siin-seal ka üksikud tuulikud, siis linnasüdames ja kõrgtihedas elukeskkonnas on selleks valdavalt päikesepaneelid nii hoonete fassaadidel kui ka katustel. Linna ääres paiknevates tööstus- ja tehnoloogiaparkides võib kohata ka üksikuid suuri ja salgakestena keskmisi/väiksemaid tuulegeneraatoreid, mis tõusevad linnapanoraamis esile ja markeerivad piirkondi maamärkidena.

Kohalik masstransport põhineb kiiretel kergrööbasliikuritel ja aeglastel autonoomsetel linnabussidel, mis koguvad sõitjaid kiiretele süstikliinidele ette. Linna peamiseks ühenduskanaliks teiste linnadega on raudteetransport, mis, sarnaselt ühistranspordiga linnas, põhineb „rohelisel“ s.o taastuvatest energiaallikatest toodetud elektril. Maakonnatransport on lahendatud autonoomsete väikebussidega, mis toimivad

nõudetranspordi põhimõttel 10minutiliste intervallidega 10-60 minutini tellimuse esitamisest, ning on samuti täiesti „rohelised“. Kõik ühistranspordi liigid on kohandatud ja kättesaadavad jalgratturitele, väikelapsega vanematele, erinevas elueas ja füüsilises vormis inimestele kui ka puuetega liiklejatele. Rööbastranspordi koridorid on markeeritud ja kaetud päikesepaneelidega, mis varustavad ühekorraga transpordivõrku (ja selle salvestusseadmeid) kui ka linna üldist elektrivõrku, vähendamaks voolutõukeid liikurite laadimsel.

Kõik uuemad hooned linnas on rajatud maksimaalselt ära kasutama päikeseenergiat. Päikesearhitektuur on kombineeritud energiatõhusa ehituse põhimõtetega nii, et enamiku aastast on peamine energiatarbija elektri jõul töötav hoone sisekliima tagamise süsteem ja tarbitava soojusenergia maht on minimaalne. Kõrgtiheda linnaruumi loomisel ei saa päikese passiivkasutusele piisavalt panustada ning seda olulisem on aktiivkasutuse roll kollektorite ja paneelide näol, mis katavad hoone pinna optimaalselt. Peamine ehitusmaterjal hoonete ja ehitiste rajamisel on kohalik puit, ka kõrgtiheda linnaruumi loomisel. Kõikide konstruktsioonielementide puhul on arvestatud nende emissiooni nii, et hoone oma elutsükli jooksul kokkuvõttes mitte ei emiteeri CO2e, vaid hoopis seob seda, vähendades linna hoonete ja lõppkokkvõttes Tartu osa globaalses keskkonnamõjus.

2.3. TARTU 2020

Alates 2019. a. peab kõikide uute ja renoveeritavate avalike hoonete energiatarve vastama liginullenergia standardile. See puudutab kõiki riigi ja omavalitsuse käsutuses olevaid administratiivhooneid, haiglaid, koolimaju, lasteaedu jne. Liginullenergia standard kombineerib omavahel energia kokkuhoiu ja lokaalse tootmise põhimõtteid, milles oluline roll on lokaalsetel tuule- ja päikseenergia lahendustel, tänu nende tehnoloogiate turuvalmidusele.

Administratiivhoone haldamine, aga ka ehitamine, peaks lähtuma mitte väikseimast soetusmaksumusest vaid elutsükli kogukulu minimeerimisest. Hoone soetusmaksumus moodustab keskmiselt vaid ühe kolmandiku selle akumuleeritud kogukulust (50 aastase arvestusliku eluea jooksul) ning on igati mõistlik püüda minimeerida soetusmaksumusest suuremaid kulukomponente, energiakulu sealhulgas.

Alates 2020. a. lõpust laieneb liginullenergia standardi kasutamine ka erasektorile ja elamusektorile, st sellega on lõpuks hõlmatud kõik hooned, mis linnas ehitatakse või renoveeritakse. Järgnevalt mõned näited nutikatest lahendustest, kuidas integreerida päikese- ja tuuleenergia tehnoloogiaid Tartu ehituistesse.

2.4. PÄIKE, HOONED JA LINN

Päikese keskmine kiirgushulk Tartus on 980 kWh aastas ruutmeetri kohta. Selle energiahulga ärakasutamine on kaasaegse linnaarhitektuuri võtmeülesanne ning aitab vähendada energiatarvet hoonete, linnaosade ja tervete linnade mahus. 1995. aastal allkirjastatud Euroopa arhitektide Päikeseenergia Harta rõhutab päikseenergia olulisust homses arhitektuuris ja seda soodustavate planeerimise ja disainikontseptsioonide tähtsust (Kaiser, 1996).

Passiivsete ja aktiivsete päikeseenergia elementide integreerimine on tõhusam ja valutum protsess uute kavandatavate hoonete puhul. Olemasolevate renoveeritavate hoonete korral on tulemus tihtilugu vähem viljakas ja pigem eklektiline kui esteetiliselt ühtne. Siiski on oluline panustada päikesetehnoloogiate kasutamisse ka olemasolevate renoveeritavate hoonete puhul, kuna enam kui 25-aastased hooned moodustavad täna üle 80% kogu hoonemassist (TREA, 2011).

Hoone energiavajadus sõltub samal määral nii hoone struktuurist kui ka asukohast ja mikrokliimast. Hoone asukoha temperatuuri mõjutab ulatuslikult selle maastik. Kõrgematel asukohtadel on reeglina madalam keskmine temperatuur. Madalamatel kohtadel võib jälle temperatuur langeda madalamale ja võib esineda külma udu. Tuulises piirkonnas on hoone küttevajadus suurem ja täiendav kaitse tuulte eest aitab energiatarvet vähendada. Kaitse võib olla kunstlik või looduslik, näiteks puud, mis suvel pakuvad ka varju päikese eest. Täiendavalt mõjutab energiatarvet veel hoone (Schittitch, 2003):

- kuju,
- suund ja isolatsioon,
- ruumijaotus ja tsoneerimine,
- kest,
- isolatsioon ja kaitse tuule eest,
- avatäited,
- puhveralad, nt talveaiad,
- läbipaistvad isolatsioonimaterjalid,
- soojust salvestavad massid.

Päikeseenergia harta sätestab muuhulgas (Kaiser, 1996):

Arhitektid ja insenerid peavad projekteerima kasutades oma teadmisi kohaliku olustiku, ja ressursside kohta, ning, mis peamine, tagades taastuvate materjalide ja energia kasutamise. Selle vastutuse kandmiseks peab nende roll ühiskonnas vastavalt muutuma. Tuleb arendada uusi disainivõtteid, mis teadvustaksid päikest valguse ja soojuse allikana. Üksnes nähtavad ideed suudavad üldsust panna päikesetehnoloogiaid aktsepteerima. See tähendab, et:

- linnu, hooneid ja nende elemente tuleb käsitleda komplekssete süsteemidena jälgides nende materjali- ja energiavoogusid;
- keskkonda vähem saastavate energiaallikate kasutamist tuleb planeerida terviklikult;
- ülevaatlik ja pidevalt täienev teave paremate ehitusvõtete ja energiakasutuse kohta peab olema tehtud kättesaadavaks ja arusaadavaks;
- arhitektide ja inseneride haridus peab olema tulevikku vaatav ja omavahel lõimitud.

Hooned ja linnaruum peavad olema projekteeritud minimaalselt kasutama täiendavat energiat valgustuseks, kütteks, sooja vee tootmiseks, jahutuseks ja ventilatsiooniks [16]. Kasutatav energia peab olema toodetud võimalikult vähe keskkonda kahjustaval viisil, kasutades selleks tehnoloogia viimaseid saavutusi. Energia bilansi järgimiseks tuleb arvestada materjalide, konstruktsioonide, tootmise ja transporditehnoloogiate energiamahukust ja elutsüklit. See tähendab, et:

- eelistada tuleb taastuvaid ehitusmaterjale, mis on olemas vajalikus hulgas ning mille loomiseks on kasutatud vähimal hulgal energiat;
- garanteeritud peab olema materjalide taaskasutus või keskkonnasõbralik likvideerimine;
- kandekonstruktsioonid ja hoone karp peavad olema tehtud kestvalt, kuid olema heas tasakaalus arvestades ka hilisemat demonteerimist;
- saavutatud on tasakaal hoonesse paigutatud energia ja hoone püsivuse vahel;
- arenduseks ja kasutamiseks peavad olema prioriteetsed sellised hoone elemendid, mis võimaldavad hõlpsat päikeseenergia aktiivset või passiivset kasutamist hoones;
- uued ehitustooted ja –süsteemid peavad olema hõlpsasti integreeritavad ja vajadusel vahetatavad või asendatavad.

Taastuvad energiaallikad pakuvad võimalust muuta elamine linnas atraktiivsemaks. Ehitamisel tuleb maksimeerida nende kasutamist energiavarustuses ja transpordi infrastruktuuris. Olemasolevat hoonestruktuuri tuleb säilitada, kus see on võimalik ja praktiliselt teostatav. Fossiilkütuste põletamist tuleb drastiliselt vähendada. Linna ja looduskeskkonna omavahelist suhet tuleb arendada nende sümbioosiks. Arendus ja ehitustööd peavad võtma arvesse piirkonna ajaloolist ja kultuurilist identiteeti ning maastiku geograafilisi ja klimaatilisi tingimusi.

Linna tuleb mõista pika elueaga isetoimiva koosorganismina. Pidevat muutumist selle kasutuses ja välimuses, kuid ka tehnoloogias, peab olema võimalik kontrollida viisil, mis tagab minimaalse häiringu ja maksimaalse ressursside konserveerumise. Linnad on rajatud väärindatud ressursist, millel on kõrge primaarenergiasisaldus. Selle kvartalid, hooned ja avalik ruum, selle infrastruktuur, funktsionaalsed, transpordi- ja kommunikatsioonisüsteemid peavad sobituma, arvestades loomulikku uuendustsüklit, järjest paremini looduse loomulikku tasakaalu. Inimeste loodud linnalikud ja maastikustruktuurid peavad olema juhitud lähtudes järgmistest keskkonna ja bioklimaatilistest teguritest:

- tänavate ja hoonestuse orientatsioon päikese suhtes;
- kontrollitud temperatuur ja päevavalgus avalikus ruumis;
- topograafia (maastiku vorm, üldine nähtavus, üldpilt);
- tuule tugevus ja suund (tänavate paigutus, kaetud avalik ruum, pidev ventilatsioon, külmakoridorid);
- rohealade jaotus (õhu tootmine, tolmu filtreerimine, temperatuuri tasakaalustamine, varjutus, tuule murdmine);
- hüdrogeoloogia.

Vähendamaks sõidukite liiklust tuleb linnalisi funktsioone - elupaigad, tootmine, teenused, kultuur ja vaba aeg – omavahel ühildada, kus see vähegi võimalik ja ühiskondlikult vastuvõetav. Tootmine ja teenused sobivad üksteist täiendama ning võivad olla kasutatud nõnda intensiivsemalt ja efektiivsemalt. Linnaliikluses tuleb prioriteet anda jalakäijatele ja mittefossiilkütust kasutavatele liiklejatele. Ühistransport peaks nautima lausa erilist toetust. Parkimisvajadust tuleb vähendada ja fossiilkütuste kasutust minimeerida.

Ökonoomne maakasutus aitab vähendada pidevaid kulutusi infrastruktuurile ja transpordisüsteemile ning hoiab kokku väärtuslikku linnamaad. Seda saab saavutada mõistlikult tiheda planeerimismeetodiga, mida saab täiendada tihendavate arendustega. Samuti tuleks rakendada ökoloogilist tasakaalu taotlevad abinõusid.

Tuleb astuda samme asulate ja linnade avaliku ruumi kujundamisel, et parandada nende keskkonda - kaitsta neid tuule ja vihma eest, kontrollida nende (liig)temperatuuri ja rakendada spetsiifilisi kütte- või jahutusviise.

2.5. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA RAKENDAMINE

Tuule- ja päikeseenergia kasutamisel ja kavandamisel tuleb seadmete paigaldamisel arvestada nii väljakujunenud kui ka perspektiivselt areneva linnaruumiga ning alati silmas pidada sobivust (olemasoleva) ümbritseva keskkonnaga. Uute majade ja arenduspiirkondade puhul on taastuvenergia kasutamiseks vajalike seadmete planeerimine ja projekteerimine mõnevõrra lihtsam kui juba väljakujunenud linnaruumis. Keerukam on tuule- ja päikeseenergiale üleminek juba väljakujunenud linnakeskkonnas, eriti muinsuskaitsealal, kaitsealuste üksikobjektide kaitsevööndites ning miljööväärtuslikel hoonestusaladel ja nende lähipiirkondades. Tähelepanu vajavad veel linnaruumiliselt olulised ja emotsionaalselt tundlikud piirkonnad, nt Emajõe ümbrus. Huvitavate arhitektuursete lahendustega on võimalik taastuvenergia elemendid „peita“ või muuta selliselt, et tulemuseks on põnev linnaruumiline objekt või kõrgetasemeline (positiivselt silmatorkav) arhitektuur.

Käesoleva töö raames on määratud tuule- ja päikeseenergia kasutamiseks sobilikud ja ebasobivad piirkonnad arvestades maastikku ja hoonestust ning kaitsealasid. Ka sobilike alade puhul tuleb arvestada peatükis 1.4. toodud riskidega ning peatükis 3.4, 3.5, 4.4. ja 4.5 toodud kitsenduste ning tingimustega, samuti petükis 2.6 toodud nõuetega. Graafiliselt (joonistel L1, L2 ja L3) on näidatud alad, kus on eeldus püstitada tuulikuid ja sobiv kasutada päikesepaneele, ning kus on nende rajamine kas keelatud või kitsendatud.

Arvestades 2018. a. lõpust kehtima hakkavat liginullenergiatarbimise standardit, tuleb avaliku ja avalik-õigusliku kasutusega hoonete puhul pöörata tähelepanu energia säästmisele ja lokaalsele tootmisele. Energiasaamise alternatiivsed lahendused peavad olema avalik-õiguslikel hoonetel, avalikes hoonetes (sh ka avalikes spordi-, kultuuri-, haridus- ja teadushoonetes, kaubanduskeskustes jmt).

Soovitatav on kõikide uushoonete (olenemata nende kasutusotstarbest) projekteerimisel näha ette võimalusi energiatarbe vähendamiseks ja alternatiivsete energiaallikate kasutamise võimalikkus.

Taastuvenergia kasutamise võimaluste kirjeldamiseks ja töös toodud nõuete, soovituste ja ettekirjutuste paremaks mõistmiseks on Tartu linn jagatud kaheksaks piirkonnaks:

1. Korterelamute piirkonnad, sh üksikud üle 3-korruselised hooned (kõrg-(tihe)hoonestusega alad);
2. Väike- ja korterelamute piirkonnad (madal-tihehoonestusega alad, kuni 3 korrust);
3. Suured kaubanduskeskused, administratiivhooned, tervishoiuasutused, spordikeskused, haridusasutused jmt;

4. Tööstuspiirkonnad;
5. Vanalinna muinsuskaitseala ja selle kaitsevöönd; miljööväärtuslikud hoonestusalad;
6. Hajusa hoonestusega avalikus kasutuses olevad piirkonnad, puhkealad (nt Emajõe ja Anne kanali ümbrus);
7. Joonobjektid (sillad, viaduktid, tänavakoridorid);
   7.1. Raudtee;
8. Linnasisene looduskaitseala.

Päikesepaneele saab kasutada hoonetel ja rajatistel. Piirkonnad 1, 2, 3, 4 ja 6 on üldiselt päikesepaneelide kasutamiseks sobivad alad; piirkond 5 jääb valdavalt teatud kitsendustega alaks (vastavalt peatükile 4.2 ja 4.3); piirkond 7 puhul on tegemist tingimusliku alaga (vastavalt peatükile 4.2 ja 4.3). Piirkonnas 7.1 on päikesepaneelide ja -kollektorite kasutamine lubatud vastavalt raudteeseadusele. Paneelide püstitamine on keelatud looduskaitsealal (8. piirkond).

Tuulegeneraatorite püstitamine on keelatud piirkonnas 5 ja 8. Mujal on see võimalik, kui täidetud on nõuded ja tingimused vastavalt peatükkidele 3.3, 3.4 ja 3.5. Raudtee kaitsevööndis (piirkond 7.1) on tuulegeneraatorite paigaldamine lubatud vastavalt raudteeseadusele.

2.6. NÕUDED PLANEERINGUTE JA PROJEKTIDE KOOSTAMISEKS

Planeeringute koostamisel tuleb kavandada lahendusi, milles hoonestus ja linnaruum kasutab maksimaalselt ära päikeseenergiat ning võimaldab ja soodustab sellelaadseid arhitektuurseid lahendusi.

Detailplaneeringute koostamisel tuleb märkida taastuvenergia kasutamise lubatavus või selle keeld olenevalt ala asukohast. Planeeringu mahus analüüsida alternatiivsete energiaallikate kasutamise võimalikkust/soovi. Tuua välja:

- Millised on päikese otsekasutuse võimalused (hoonete paiknemine ilmakaarte suhtes, maapinna reljeef, tuulte suunad jne);
- Kas planeeringualal on võimalik kasutada taastuvenergia allikaid - vastaval tuule- või päikeseenergia kasutamiseks - arvestades olemasoleva kinnistu või planeeritud kruntide suurust, avatust tuultele, olemasoleva/kavandatava hoonestuse paiknemist ilmakaarte suhtes jmt);
- Kas taastuvenergia allikate kasutamiseks on antud ala suhtes kehtestatud kitsendusi. Tuua need välja ja kavandada lahendus/esitada nõuded projekteerimiseks arvestades kehtestatud kitsendusi;
- Tuua välja nõuded ja tingimused ning kavandada lahendus/esitada nõuded projekteerimiseks vastavalt kehtestatud nõuetele ja tingimustele.

Üldiste arhitektuursete tingimuste mahus määrata tuulegeneraatorite ja/või päikesepaneelide arhitektuursed tingimused. Määrata ja näidata võimalikud alad tuulegeneraatori(te) püstitamiseks. Kirjeldada tekstiliselt või näidata graafiliselt alad päikesepaneelide paigutamiseks. Planeeringulahenduse 3D illustratsioonil näidata päikesepaneelide paiknemise alad.

2.7. TARBIJA ÜHENDAMINE

Lokaalselt toodetud elektri kasutamiseks on erinevaid võimalusi, millest lihtsaimaks on tarbija otseühendus tootmisüksusega, olgu selleks siis päikesepaneel või tuulegeneraator. Tarbijaks on sellisel juhul enamasti küttekeha, mille poolt toodetud soojust on lihtne salvestada: akupaagis vett soojendav küttespiraal või massiivset konstruktsioonielementi (nt betoonist valatud põrandat) soojendav traatkontuur. Sellised süsteemid on lihtsad ja töökindlad ning praktiliselt hooldusvabad. Puuduseks on sõltuvus energiatootmiseks kasutatavast ressursist. Tuuletu ilmaga või peale päikeseloojangut pole elektrit võimalik tarbida. Teiseks pole võimalik kasutada toodetavast erinevate parameetritega elektrivoolu, nt ühendada ahelasse 230V vahelduvvoolutarbijat kui paneel toodab vaid 12V alalisvoolu.

Nende probleemide lahendamiseks kasutatakse tootmisüksuste järel akut ja inverterit, mis moodustavad autonoomse (ingl. k. *Off-grid*) elektrisüsteemi, salvestades toodetud elektrit ja muundades seda tarbija jaoks sobivale standardpingele. Ka elektrit salvestava aku korral võib üleliigse elektri salvestada soojuseks, sarnaselt eelmises lõigus kirjeldatuga. Sellise süsteemi eeliseks on sõltumatus välisest elektrivõrgust, garanteerides ka elektri olemasolu võrgukatkestuste korral. Puuduseks on kalli ja palju ruumi nõudva akupargi rajamine, mis peab tagama elektrivarustuse siis, kui tootmist ei toimu (päikesepaneelide korral vastab sellisele olukorrale pime aeg, mis talvel võib olla enam kui 12 tundi ööpäevast). Sellised süsteemid on maailmas kõige enam levinud (Pinn, et al., 2012), tagades hädapärase, kuid stabiilse elektrivoolu piirkonnas, kus võrguühendus puudub.

Kvaliteetse võrguühendusega tarbija võib võrku vaadelda kui energia salvestit ning sellisel juhul pole akude olemasolu süsteemis enam vajalik. Toodetud elekter müüakse otse võrku ja ostetakse tagasi siis, kui seda soovitakse tarbida. Sellisel juhul tuleb võrguvaldajaga sõlmida elektrienergia müügiks leping ning rajada koostöös võrgufirmaga nõuete kohane ülekandesüsteem. Selliseid süsteeme võib rajada nii, et tarbimist ja tootmist mõõdetakse reaalajas eraldi või ka nii, et arvestatakse tarbimise ja tootmise bilanssi teatud ajaperioodi (kalendrikuu vms) jooksul, mille alusel toimub tasumine energiateenuse pakkujale või vastupidi. Võrguühendusega (ingl. k. *On-grid*) süsteemi eeliseks on pidevalt tagatud elektrivarustus ja võimalus oma toodangut elektrivõrku müüa. Tarbija ei pea rajama kallist ja ruumi nõudvat akuparki. Puuduseks on elektrivarustuse sõltuvus elektrivõrgu töö kvaliteedist, st oma elektritootmine ei suurenda tarbija varustuskindlust elektriga.

Selleks, et kohapeal toodetud elekter suurendaks tarbija varustuskindlust (näiteks võrgu äärealadel vm võrguprobleemide korral) ja tagaks pideva elektrienergia olemasolu, kombineeritakse võrku ühendatud tootmisseadmeid kohapealsete salvestusseadmetega, s.o akudega. Lisaks elektrienergia kvaliteedi parandamisele aitab selline lahendus säästa raha olukorras, kus elektrit on võrgust osta kallim, kui seda võrku müüa. Erijuhul, kui elektrienergia kvaliteet on erakordselt vilets, ohustades pingekõikumiste ja -katkestustega tarbija seadmeid, võib sellise süsteemi korral kasutada võrgust tarbitavat elektrit (lisaks kohapeal toodetud elektrile) vaid akude laadimiseks. Sellise süsteemi eeliseks on kvaliteetse elektrivarustuse tagamine ja võime lühiajaliselt (sõltuvalt rajatud salvestusseadmete mahust) tagada elektrivarustust ka võrguühenduse puudumisel. Ka ei ole vajadust (v.a eriolukordades) rajada salvestusseadmeid mahus, mis tagaksid autonoomse

elektrivarustuse, piisab mõnetunnisest varust. Puuduseks on kallim hind võrreldes akuta süsteemiga.

Autonoomse süsteemi rajamisel või juhul, kui kohapealse elektritootmisega soovitakse parandada elektrivarustuse kvaliteeti, võib kaaluda ka vedelkütust kasutava väikesevõimsuselise varugeneraatori lisamist süsteemi juhuks, kui lühiajaliselt on vaja tagada süsteemis suuremat võimsust, mille tagamine taastuvate energiatehnoloogiatega oleks proportsioonitult kallis. Sama kehtib ka olukorras, kus elektrikatkestus ületab akude mahtuvuse. Generaatori kasutamine vähendab vajadust rajada proportsioonitult suurt salvestusseadet, kuid muudab süsteemi keerulisemaks. Sellisel juhul tuleb kasutada inverterit, millel on spetsiaalne sisend generaatorile (kui seda sisendit pole, ei tohi elektri tootmiseks korraga autonoomset inverterit ja generaatorit kasutada!) või spetsiaalseid juhtinverteriga süsteeme, kus komponentide liitmine toimub võrgupingel ja kõikide tootmisüksuste sagedused sünkroniseeritakse inverteri automaatika poolt (Pinn, et al., 2012).

2.8. ARENDAJA MEELESPEA

1) Koosta lühike kirjeldus oma soovidest:
   a) kus täpselt peaks soovitud energiatootmine toimuma?
   b) milline on selle piirkonna ressurss (tuul/päike) ja kuidas on selle kättesaadavusega (vt peatükk 3.1. ja 4.1.)?
   c) millises mahus ja mis tüüpi seadmega (seadme tehnilised parameetrid, tooteinfo, brošüür vms) soovid tootmist alustada?
   d) millised riskid võivad energiatootmisega kaasneda ja kuidas neid leevendada (vt ka peatükk 1.4.):
      i) tehniline oht seadmetest (konstruktsioon, mast, pudenev jää vms),
      ii) visuaalne reostus,
      iii) müra,
      iv) valguse vilkumine,
      v) elektromagneetilised häired,
      vi) mõju looduskeskkonnale.
2) majandusanalüüs, st kas „maksab“ või „ei maksa“ (vt peatükk 1.3.)?
3) Kui soovitud asukoht on teada, siis esita päring Tartu linnavalitsuse insenerteenistusele, et teha selgeks, kas selles piirkonnas on üldse lootust kohaliku elektritootmisega sellisel kujul tegeleda (vt peatükk 3.3. ja 4.2.)?
4) Kui asukoht on sobiv, siis koosta ja esita insenerteenistusele tehniline kirjeldus eelmainitud sisuga.
5) Tehnilise kirjelduse põhjal langetab linnainsener otsuse (vt peatükk 3.5 ja 4.3.):
   a) objekti linnaruumi sobivuse kohta,
   b) objekti tehniliste parameetrite sobivuse kohta,
   c) objekti mõjutsooni ja sellest tuleneva kuja kohta,
   d) mõjutsooni jäävate kinnistute kohta, mille omanikega on vaja objekti paigaldamine kooskõlastada,
   e) objekti iseloomust lähtuvalt ka vajaduse kooskõlastada teiste ametkondadega.

6) MÄRKUS: kui mõjutsooni ulatus tehnilise kirjelduse baasil ei selgu, siis tuleb arendajal esitada täiendavaid andmeid. Kui need andmed pole muul moel hangitavad, tuleb läbi viia vastav uuring.
7) MÄRKUS: linnaruumi alaste otsuste tegemisse on kaasatud arhitektuuri osakond ja kultuuriväärtuste teenistus.
8) Kui vajalik info on linnainsenerile esitatud ja arendus on heaks kiidetud, väljastatakse objektile projekteerimistingimused, mis, lähtuvalt arenduse eripärast, sisaldavad ka võimalike erinõuded. Nõuda võib lisaks veel täiendavaid uuringuid riskide hindamiseks ja leevendamiseks (vt peatükk 3.4. ja 4.3.).

Oluline on ka küsida, et millised on alternatiivid? Kas on võimalik investeerida energiatootmise asemel näiteks hoopis energiasäästu? Vähendades oma elumaja energitarvet 250 kWh/m² aastas 100-le on keskmise 150 m² eramaja korral võimalik säästa aastas 22 500 kWh, mis on enamvähem võrdne 10 kW nimivõimsusega päikesepaneeli aastase toodanguga. Päikesepaneeli hind on seejuures suurusjärgus 15 000...20 000 eurot. Juhul, kui renoveerimine tuleb samas summas või odavam, siis on kasumlikum investeerida energiasäästu, mitte tootmisse, kuna see vähendab leibkonna püsikulusid järgmistel aastakümnetel

3. TUULEENERGIA

3.1. TUULEENERGIA KASUTAMISE VAJADUSED, VÕIMALUSED, PUUDUSED JA OHUD

Tuulegeneraatoritest toodetud elektril on oma kindel koht kaasaegsel energiaturul. Selleks et ellu viia ühiskonna poolt energiasektorile pandud kohustusi – varustuskindluse tagamine võimalikult väikese kahjuga loodus- ja elukeskkonnale ning majandusele – peab energiasektor võtma kasutusele enam keskkonnasõbralikke energiatehnoloogiaid, millest üks peamisi on tuulegeneraatorid. Tänaseks pole see arvestatavas skaalas veel toimunud, kuigi tuuleelektri hulk kasvab juba kaks kümnendit stabiilses tempos. Uusi (ja odavamaid) tuulegeneraatoreid vajavad kohalikud kogukonnad, mis soovivad vähendada oma energiatarbimise keskkonnamõju ja sõltuvust imporditavatest energiakandjatest.

Hinnanguliselt kolmandik kogu Euroopas tarbitavast elektrist võib tulla tulevikus tuulikutest. Enamik sellest tuleb tõenäoliselt suurtest avamaa või avamere tuuleparkidest, kuid oma panuse sellesse annavad ka keskmised ja väiketuulikud, mille eelis on paikneda tarbijale lähemal, olla vaiksemad ja ohutumad ning teenida kohalikule kogukonnale lisasissetulekut. Tehnoloogia arenguga kasvab tuulikute tõhusus ja masstootmisega väheneb tuulikute maksumus, muutes need taskukohasemaks väikeinvestoreile. Targa võrgu arenguga tekib igal energiatarbijal võimalus hakata energiat tootma ja võrku tagasi müüma, tekitades nii uue kohaliku ettevõtlusvormi. Uut tüüpi ettevõtlus loob kogukonnas uusi töökohti ja tekitab uue kogukonda siseneva rahavoo. Kaasaegsed energiatehnoloogiad on põnev valdkond, mis

pakub võimalusi nii teadusuuringuteks kui ka tehnoloogiliseks innovatsiooniks ja tõmbab ligi helgeid päid meilt ja mujalt.

Tuulikute üldine ökonoomika soosib täna investeeringuid suuremahulistesse avamaa või -mere tuuleparkidesse. Väiketuulikute tasuvusaeg on pikk, küünides tänaste elektrihindade puhul 50 ja 60 aastani. Seda probleemi saaks lahendada riiklike ja kohalike toetusmeetmetega, mis jagunevad investeeringutoetuseks ja tegevustoetuseks, viimast omakorda saab teostada läbi kõrgendatud hinnaga ostukohustuse ja töötundidele vastava tegevustoetusega. Toetuste väljatöötamisel tuleb silmas pidada tuulikute rakendamise kaugemat eesmärki – vähendada energiahindade survet kohalikule majandusele, seega on soovitatav mitte kasutada toetusmeetmeid, mis pikas perspektiivis kogukonnast raha välja viivad. On selge, et tuulikute tasuvus paraneb elektrihindade üldise kasvu kontekstis.

Tänaseni on Eestis probleemne väiketuulikute energia utiliseerimisega, kuna elektrivõrgu võime väiketootjaid integreerida on alles arengujärgus ja vastav praktika välja kujunemas. Riiklik energiapoliitika ei väärtusta väiketuulikute kasutamist, erinevalt suuremahulisest põlevkivienergeetikast. Ka on väiketootjatel keeruline suurtootmisega konkureerida. Olukord võib muutuda kui põlevkivielektri hind hakkab arvesse võtma keskkonnakahju, mis selle tootmisega kaasneb. Tuulegeneraatorite poolt toodetud elekter on süsinikuvaba ehk energia muundamise käigus ei eraldu CO2-e. Tuulegeneraatorid aitavad vähendada kogukonna keskkonnakoormust ja toota kohalikku, taastuvat ja rohelist elektrit.

Viimaste aastakümnetega on tuulegeneraatorid läbi teinud suure arengu, muutudes ohutumaks, vaiksemaks ja efektiivsemaks. Siiski on tegemist alles arengujärgus oleva tehnoloogiaga, mis aja jooksul kohaneb kasutajate järjest kasvavate nõuetega. Lisaks riskide paremale maandamisele puudutab see ka energiatootmise tõhusust, mis teoreetiliselt võib küündida kuni 59,3%ni, kuid praktikas jääb täna veel alla 45% (vertikaaltuulikul alla 35%) [6]. Reaalselt suudab tuulik töötada vähem kui kolmandiku ajast, kuna tuulevaiksetel perioodidel pole lihtsalt ressurssi. Efektiivsuse kasv ja madala kiirusega tuule parem kasutamine tulevikus tõstavad tuulikute kasutusvõimalusi ja ökonoomiat.

Tuulegeneraatorid on küll vähem reostavad kui enamus teisi energiatehnoloogiad, kuid pole siiski keskkonna suhtes neutraalsed. Loodusesse või linna asetatud tuulegeneraator on aktiivses interaktsioonis oma keskkonnaga, ühelt poolt kasutades tuult elektrienergia tootmiseks ja teisalt mõjutades keskkonda protsessi käigus tekkiva müra, valguse varjutuse ja ka pelgalt tuuliku olemasoluga. Kiire käiguga suure läbimõõduga tiivikud on ohtlikud lindudele ja võivad põhjustada õnnetusi. Külmas kliimas võib labadel tekkida jääd, mis sealt võib pudeneda või kiiretel pööretel suure kiirusega eemale paiskuda. Tehniliste rikete korral võib tuulik süttida või laguneda ning halvimal juhul koos konstruktsiooniga maapinnale langeda. Tuulikute riskide kohta täpsemalt peatükis 1.4.

3.1.1. TUULERESSURSS

Alates 1990. aastatest tuule mõõtmisi Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI) Tartus enam ei teosta ja lähim ilmajaam paikneb 20 km kaugusel Tõraveres, mille andmeid on järgnevas analüüsis ka kasutatud (Saaremäe, 2013). Tuule keskmine kiirus mõõdetuna EMHI jaamas Tõraveres (asub 70 m kõrgusel merepinnast ja mõõtmised on tehtud 10 m

kõrgusel maapinnast) aastatel 2003...2012 on 2,6 m/s. Analüüsides keskmist tuuletugevust peamiste ilmakaarte suhtes (joonis 4 ja 5), võib näha, et keskmiselt tugevam tuul puhub lõuna, kagu ja lääne suunas. Lõuna suund on peamine tuulekiirusel enam kui 4 m/s, kuid tugev on ka suund läände (vt joonis 4 ja 5). Vähem kui 4 m/s tuulte puhul domineerib tuul edela suunas, olles risti linna läbiva jõekoridoriga, mis jääb tuule eest seetõttu varju. Viimase kümnendi tugevaima tuule kiiruseks Tõraveres mõõdeti 10,9 m/s.

Tuule ressursi kasutamisel saab vaadelda kahte selgelt eristuvat profiili. Valdavad tuuled, mis puhuvad loode, lõuna ja lääne suunal lubavad suuremat hulka aktiivseid töötunde aastas, kuid seda väiksema tuulekiirusega, millest kõige levinumad puhuvad kiirusel 2...2,5 m/s (sellise tuule esinemissagedus on ligikaudu 14%). Sellise tuule kasutamine on paraku keeruline selles peituva energia madala hulga tõttu, mistõttu on levinud isegi väiketuulikute stardikiirus mitte alla 2,5 m/s. Lahenduseks on sellisel juhul kõrgema masti kasutamine, mis omakorda vähendab ka hoonete mõju tuule turbulentsusele. Näiteks kui kasutame linna edelapiirkonnas maapinna absoluutkõrgusel 70 m tuulikut mastikõrgusega 40 m, siis võib hinnata sellest tulenevaks lisanduvaks kiiruseks 0,7 m/s, mis tõstab enamlevinud tuule kiirusele 2,7...3,2 m/s. Loomulikult on see vaid prognoos ja tegeliku ressursi hindamiseks tuleks märgitud asukohas läbi viia mõõtmised kestvusega vähemalt üks aasta.

Teine võimalus on kasutada põhjast (vähem ka idast) puhuvaid tugevaid tuuli, mille kiirus on enam kui 4 m/s, kuid mille esinemissagedus on alla 1%. Sellisel juhul tuleks kaaluda tuulegeneraatori püstitamist linna kirdeküljele, et vältida hoonetest tekkivat tuule turbulentsi. Probleemiks on sellisel juhul piirkonna suhteliselt madal reljeef, mis jääb mõõtmiste tasemest 20...30 m madalamaks ning mida tuleks kompenseerida kõrgema mastiga. Teine võimalus on ka seda tuult püüda linna edelaservas asuva tuulikuga, kasutades piirkonna hoonetest kaks korda kõrgemat masti, vältimaks hoonete mõju turbulentsusele.

Tuuliku paigaldamisel jõe orgu, tuleb arvestada tugeva turbulentsi ja jõeoru varjutava mõjuga, mis muudab energia tootmise väheefektiivseks. Selle kompenseerimiseks tuleks masti kõrgusele lisada täiendavad 50 m või enam.

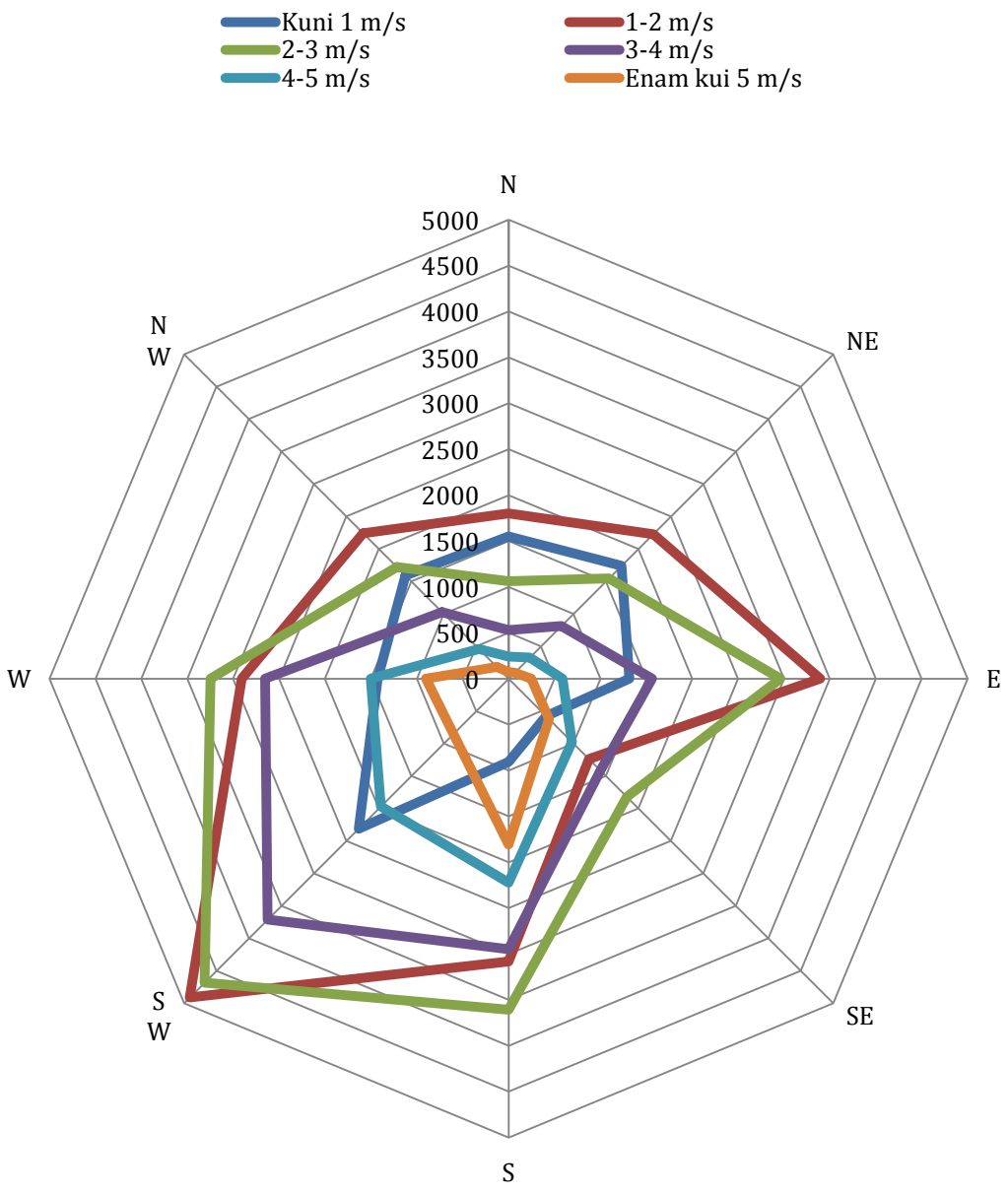
3.2. TUULEGENERAATORI VALIK

Kaasaegseid tuulegeneraatoreid võib jagada:

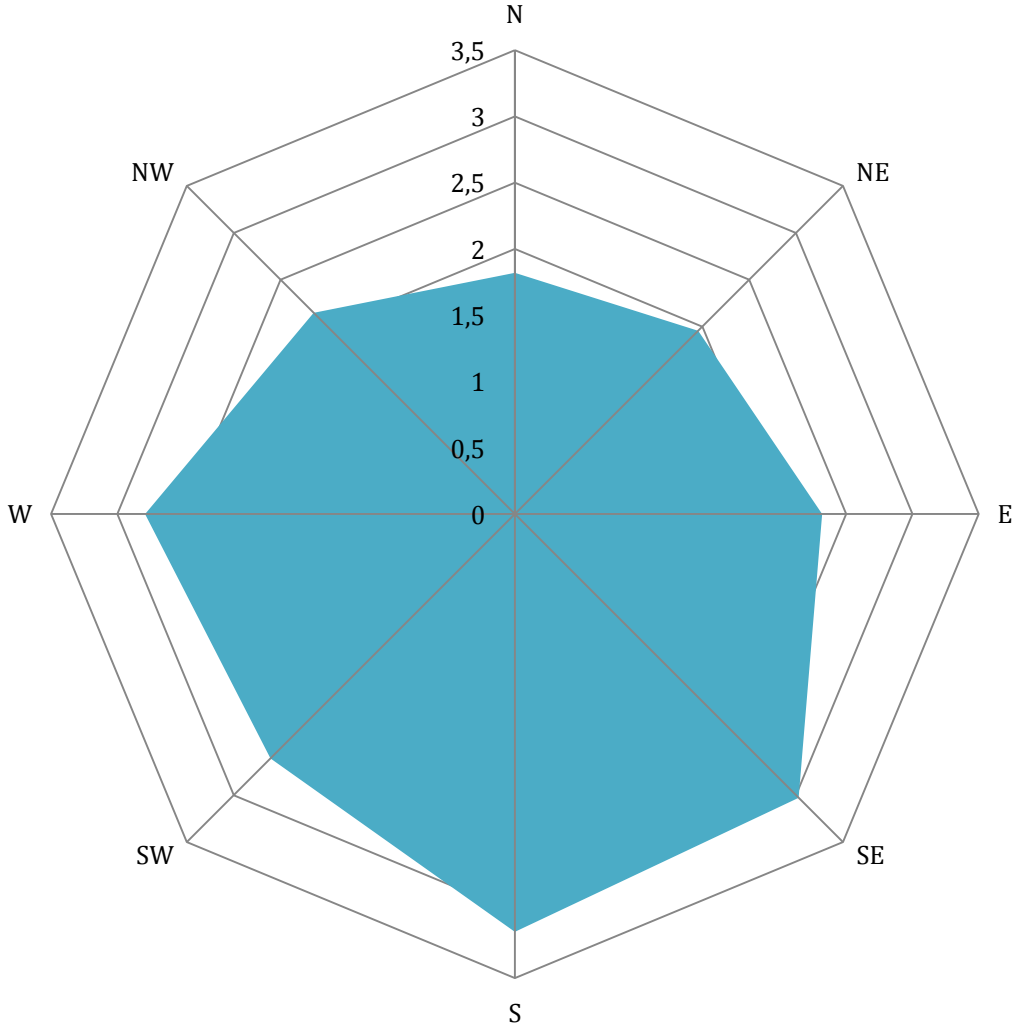
- rootori asendi järgi maapinna suhtes – horisontaalsed ja vertikaalsed,
- tiiviku asendi järgi rootori suhtes – üles- ja allatuult,
- paigutusviisi järgi – eraldi masti otsas paiknevad ja hoonele paigutatud,
- võrguühenduse järgi – võrku ühendatud või autonoomsed.

Lisaks nimetatule võib tuulikuid eristada veel generaatori ehituse (alalisvooluga ja vahelduvvoolu, mis omakorda jaguneb sünkroon- ja asünkroongeneraatoriga, aga ka püsi- ja elektrimagnetitega), ülekande tüübi (otseülekandega või muudetava ülekandega) ja tiiviku ehituse (labade tõste- ja veojõudu kasutavad).

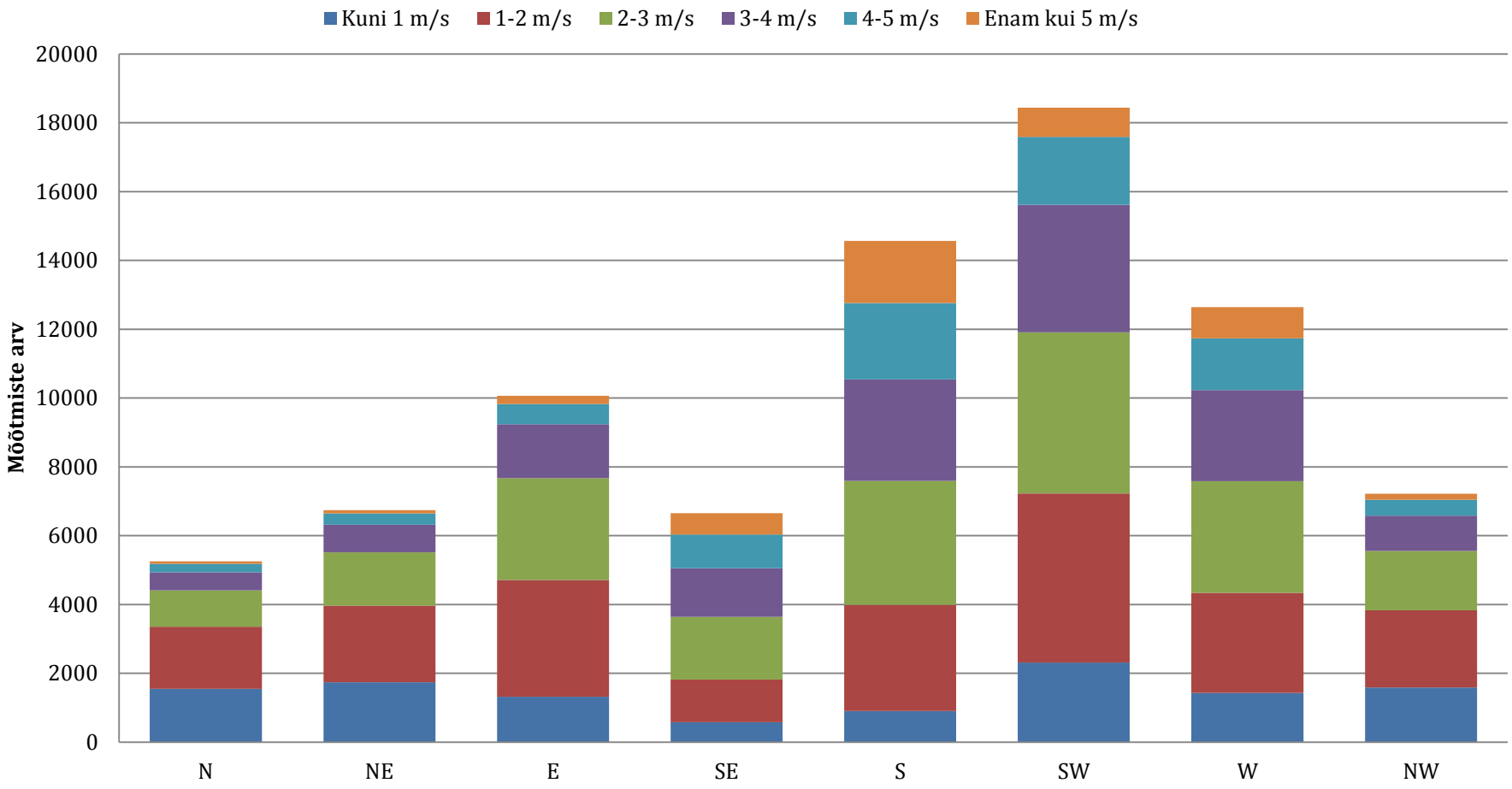
Tuulikuid eristatakse ka generaatori võimsuse järgi (Renewable UK, 2010) (võrdle neid ka Elektrilevi jaotusega peatüki lõpus (Elektrilevi OÜ, 2013)):



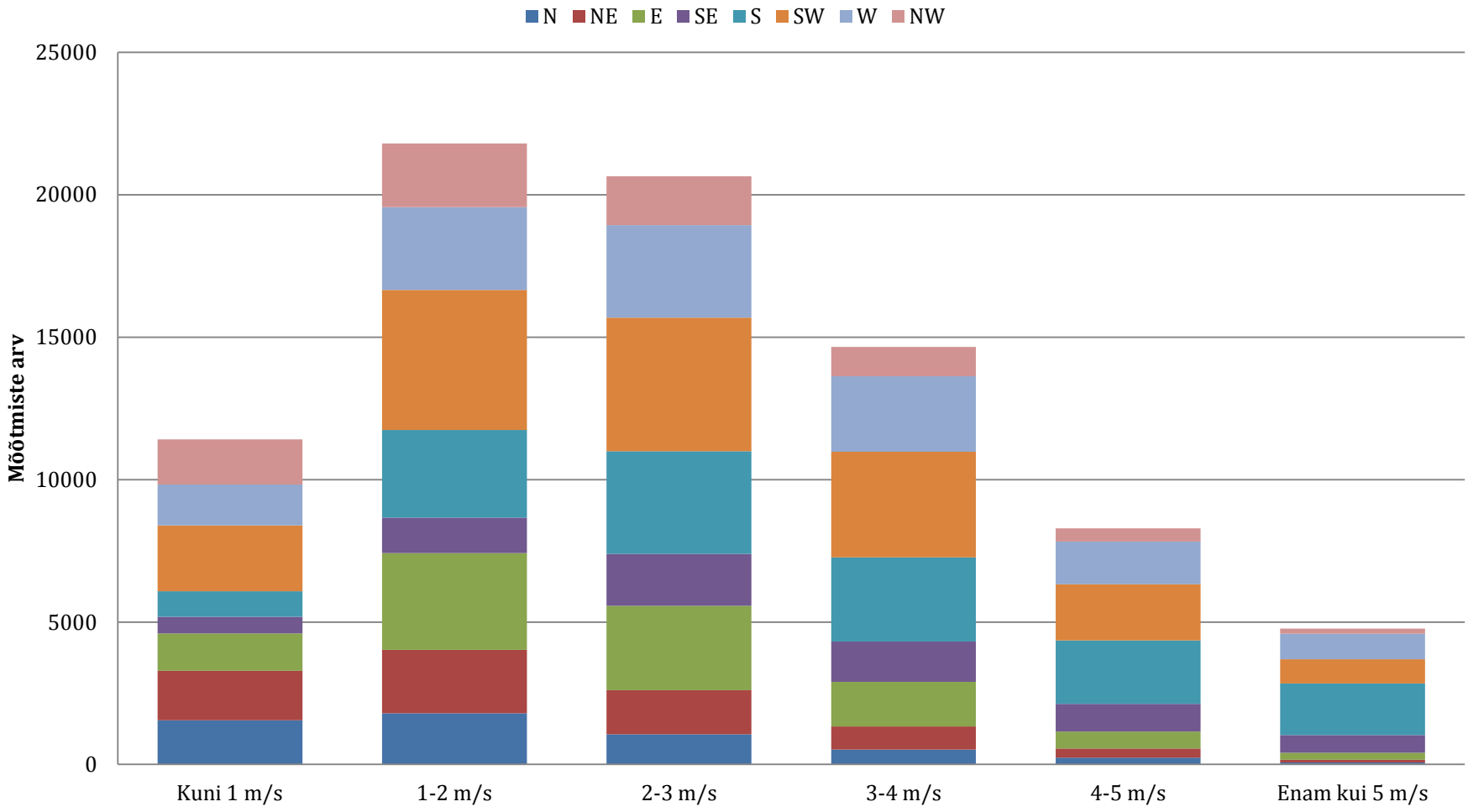
Joonis 4. Valdavate tuulte suunad mõõdetuna Tõraveres 2003…2012. a. 10 m kõrgusel maapinnast



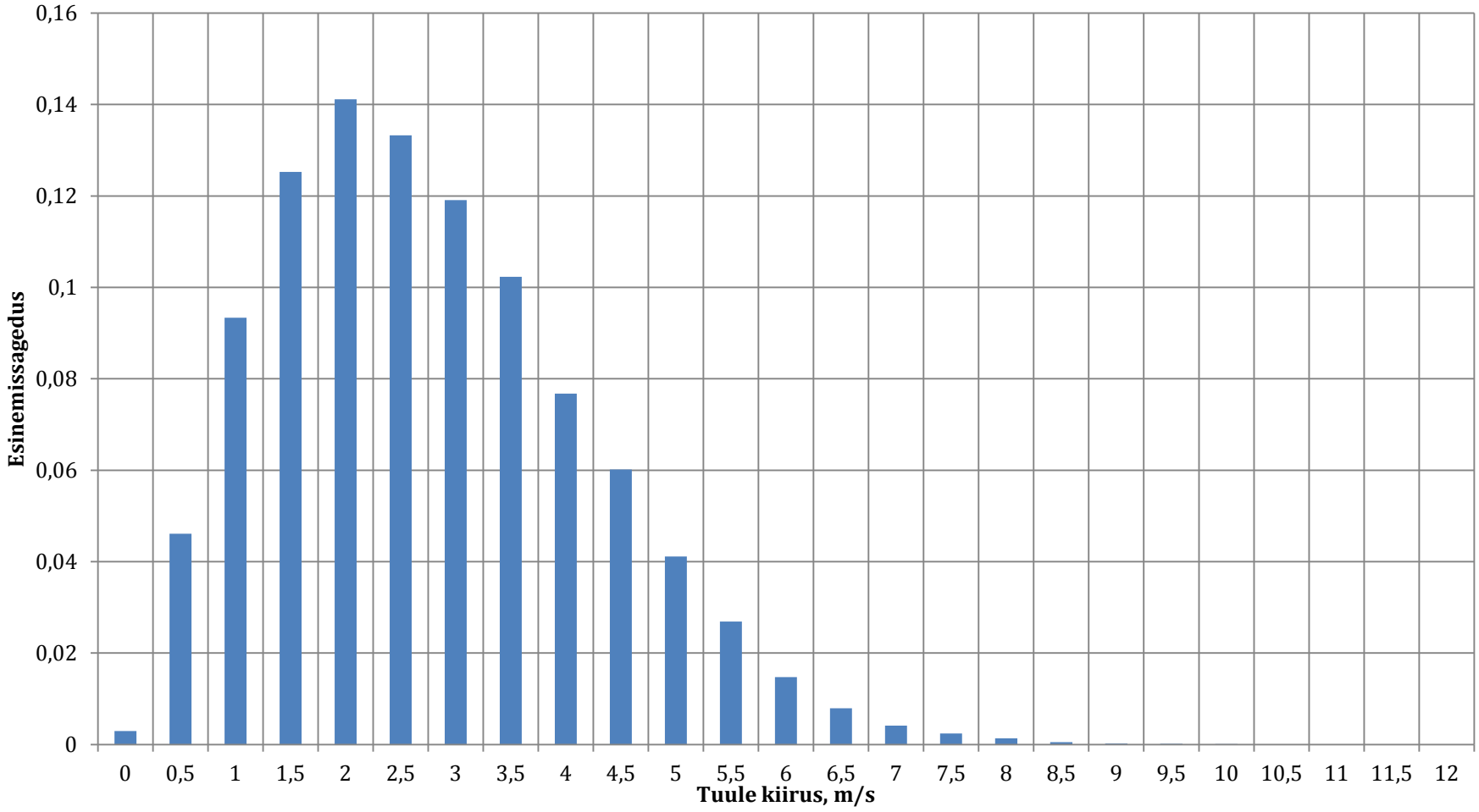
Joonis 5. Tuulte valdavad suunad ja keskmine tugevus (m/s) mõõdetuna Tõraveres 2003…2012. a. 10 m kõrgusel maapinnast



Joonis 6. Tuulte valdavad suunad ja tugevused mõõdetuna Tõraveres 2003…2012. a. 10 m kõrgusel maapinnast



Joonis 7. Tuulte valdavad suunad ja tugevused mõõdetuna Tõraveres 2003…2012. a. 10 m kõrgusel maapinnast



Joonis 8. Tuulte esinemissagedus mõõdetuna Tõraveres 2003…2012. a. 10 m kõrgusel maapinnast

- mikrotuulik, kuni 1,5 kW võimsuse ja tüüpilise masti kõrgusega 10…18 m,
- väiketuulik, kuni 15 kW võimsuse ja tüüpilise masti kõrgusega 12…25 m,
- keskmine tuulik, kuni 100 kW võimsuse ja tüüpilise masti kõrgusega 15…50 m.

Horisontaalsed kolme tiivaga tuulegeneraatorid on tänapäeval kõige enam levinud ja kujutavad endast paljude jaoks nn klassikalist tuulegeneraatorit. Need on kiire käiguga ja nende efektiivsus võib küündida 45%ni (kiire käiguga kahelabalisel tiivikul võib see hakata lähenema 50%ni) (Randolph & Tech, 2008). Enam kui kolmelabalised tiivikud põhjustavad piisavalt tuuleturbulentse, et kahjustada teiste lähikonnas asuvate generaatorite tööd. Teoreetiliselt võiks üksikult paigaldatud tuulikute puhul kaaluda ka suurema arvu labade kasutamist, kuid praktikas seda võimalust erinevatel põhjustel ei kasutata. Kaasaegsed tiivikud võimaldavad labade pöördenurga reguleerimist (moodsamad ka iga laba eraldi), millega saab vajadusel tiiviku efektiivsust kunstlikult vähendada ülekoormuse kaitseks või ka näiteks müra vähendamiseks. Horisontaalse paigutusega generaatori peamiseks puuduseks on selle poolt esitatavad kõrged nõudmised puhuva tuule suunale ja kvaliteedile. Kui tuul puhub tugevalt ja tuuliku tiivik on pööratud tuulde (paikneb sellega risti), siis on sellise tuulegeneraatori töö täna turul olevatest tehnoloogiatest kõige efektiivsem ja ökonoomsem.

Horisontaalsed tuulegeneraatorid võivad püüda tuult enne masti või pärast masti ja selliseid konstruktsioone nimetatakse üles- ja allatuult tiivikutega tuulikuteks. Allatuult tiivikuga turbiinid lubavad ennast kerge vaevaga (ka automaatselt) tuulde pöörata, kuid nende puhul tuleb arvestada masti mõjuga tiiviku tegevusele, mis suurendab tiivikule mõjuvaid pingeid, sellest tekkivat müra, ning vähendab töö efektiivsust.

Vertikaalse paigutusega tuulikud on vähem levinud ning pole oma massturgu veel välja kujundanud. Nende tasuvusaeg on pikem võrreldes sama võimsusega horisontaaltuulikutega, kuid neil on ka mitmeid eeliseid (Stanicovic, et al., 2009):

- nõuavad vähem hooldust, kuna neil on vähem (kiiresti) liikuvaid osi,
- pinge tiivikule on ühtlane, mis võimaldab kergemat ja odavamat konstruktsiooni,
- vähem müra,
- ei vaja tuulde pööramist,
- suudavad efektiivsemalt ära kasutada erinevaid tuulepuhanguid ja turbulentset tuult,
- võivad olla vähem silmatorkavad ja esteetiliselt rahuldavamad.

Vertikaalse paigutusega tuuliku levinuimaks alaliigiks on nn Darrieuse tuulik, mis kasutab hea efektiivsusega tuule tõstejõudu kasutavat tiivikut, mis võib olla nii kahe (originaalis) kui ka kolme labaga (H-Darrieus). Sellegipoolest leiab kasutust ka tõukejõudu kasutav tiivik, mille efektiivsus on madalam, kuid mis on lihtsama ehitusega ja robustsemad ning ei vaja tugeva tuule puhul kaitset (kuni muljetavaldava tuuletugevuseni 60 m/s). Ühtlasi vajavad need vähem hooldust, on vaiksemad ja püüavad ka madala kiirusega tuult, mistõttu toodavad energiat kokkuvõttes pikemal perioodil aastast. Tõukejõudu kasutava tiiviku puuduseks on efektiivsuse langus tugevamate tuulte korral (tootes 30% tuulekiirusel 3 m/s langeb see 20%ni tuulekiirusel 6 m/s) (Stanicovic, et al., 2009).

Terasest või raudbetoonist (mitme megavatiste tuulikute puhul) monoliitne mast on levinuim tuulegeneraatorite paigutusviis. Neid eelistatakse raudsõrestikkonstruktsiooniga latiits-mastile ja trosskinnitusega mastile, hoolimata viimaste odavamast hinnast ja kandevõimest näiva ebaturvalisuse tõttu (Stanicovic, et al., 2009). Lisaks on viimaste puuduseks avalikus ruumis nende väike vandaalikindlus, kuna sõrestik ja kandetrossid võimaldavad vandaalidel ronida ja seada ohtu ennast ja seadmeid. Ümarprofiiliga terasmastide kasutus linnaruumis on üldiselt levinud ja tuulegeneraatorite mastid sobituvad siia hästi, ainsaks erandiks on nende pikkus. Tuulikud lubavad ka mastide ühiskasutust näiteks liiklusmärkide, reklaami- ja teadetetahvlite, päikesepaneelide jms, juhul kui need ei kujuta ohtu inimestele ega sega tuuliku hooldust.

Linnatingimustest on tõhusa energiatootmise huvides tõsta tuulegeneraatori tiivik kõrgemale hoonete poolt tekitatavast turbulentsest tuulest. Üldiselt on selleks hoonete ja muude takistuste kahekordne kõrgus. Kui tuulik paigaldatakse hoone katusele, siis tuleb arvestada ka selle hoone poolt tekitatud turbulentsiga, mille vältimiseks peab tiiviku kõrgus olema vähemalt kolmandiku võrra pikem hoone kõrgusest. Näiteks kui 20 m kõrguste majadega linnaosas soovitakse püstitada efektiivne tuulegeneraator, siis peab selle tiivik olema vähemalt 30 m kõrgusel. Juhul, kui paigaldatakse horisontaalne tuulik tiiviku läbimõõduga 10 m, siis peab rootor paiknema ligikaudu 35 m masti otsas. Isegi kui nende hoonete hulgas leidub üks 30 m pikkune kõrghoone, kuhu on võimalik tuulik paigaldada, tuleb turbulentside vältimiseks viia tiivik sellest 10 m kõrgemale, s.o 15m masti otsa. Rootori kõrgus maapinnast on sellisel juhul 45 m.

Tabel 5. Tuulegeneraatorite võrdlus

Tuuliku tüüp	Eelised	Puudused
Horisontaalne ülestuult	Kõrge efektiivsus, ökonoomne	Oht jää heiteks, müra, valguse varjutus, oht lindudele, nõuab tugevamat ja vähem turbulentset tuult
Horisontaalne allatuult	Kõrge efektiivsus, ökonoomne, pöörab ennast tuulde	Vt eelmist, mast varjab tuult, mis tekitab müra ja kahjustab tiivikut
Vertikaalne Darrieus ja H-Darrieus	Tuule suund pole oluline, kasutab ka turbulentset tuult, vaikne, nõuab vähem hooldust	Eelmistega võrreldes madalam efektiivsus, madalam rootori ja tiiviku asetus, stardiks vajalik lisaenergia
Vertikaalne tõukejõuga	Vt eelmist, robustne ja töökindel, töötab ka väga tugeva tuulega, ei vaja lisaenergiat	Madal efektiivsus, mis langeb tugevama tuule korral veelgi

Tabel 6. Tuulegeneraatorite efektiivsus ja riskid

Madal	Horisontaalne madalal paiknev	Vertikaalne tõukejõuga
Kõrge	Horisontaalne kõrgel paiknev	Vertikaalne (H)Darrieus
Efektiivsus/risk	Kõrge	Madal

Linnatingimustes võib tuulikut paigaldada ka hoone katusele, juhul kui see hoone välimust, konstruktsioone ja kasutatavust ei kahjusta. Enamikel juhtudel kasutatakse selleks vertikaalse ehitusega generaatoreid, mis on horisontaalsetest vaiksemad (v.a kahelabaline Darrieus, tänu tiibade sümmeetriale) ja vähem kapriissemad turbulentse tuule suhtes. Siiski on soovitatav ka vertikaalne tuulik tõhusa tootmise tagamiseks tõsta turbulentse tuule tsoonist kõrgemale nii, et tiivik paikneks hoonest vähemalt kolmandiku võrra kõrgemal. Hoonete katusele paigutatud tuulegeneraatorid hoiavad kokku ruumi, kuid hinnata tuleb iga üksiku juhtumi riske nii, et oleks tagatud ohutus inimestele, hoonele ja loodusele. Loomulikult tuleb enne tuuliku püstitamist hinnata hoone konstruktsioonide sobivust täiendava koormuse lisamiseks, sh telgkoormusele ja vibratsioonile.

Kuigi tuulegeneraatorid võivad hoida töös ka autonoomseid elektrisüsteeme koos salvestusseadmetega, siiski on soovitatav linna tingimustes tagada neile ühendus elektrivõrguga. Seda ka juhul, kui tuulik on rajatud vaid ühe elamu või perekonna tarbeks. Sellisel juhul toimib võrk salvestusseadmena, kuhu tugeva tuule korral energiat edastatakse ja kust tuuletu ilma korral energiat tarbitakse. Võrguühenduse tagamiseks tuleb sõlmida leping elektrienergiat vahendava ettevõttega, milleks Tartus on Elektrilevi. Liitumine on tasuline ning katab võrguettevõtte kulud uue tootja võrku lisamisel, sh mõõteseadmed, vajaliku aparatuuri soetamise ja ehitustööd vastavalt hinnakirjale. Lepingu protsess on kaheastmeline, mille käigus võrguettevõte kehtestab oma tingimused võrguga liitujale, täpsustab liitumismaksumuse ja peale selle osalist tasumist alustab liitumistöid. Liituda saab madalpingel 0,4 kV, keskpingel 6,3…20 kV ja kõrgepingel 110…330 kV. Vastavalt organisatsioonisisesele korrale jagunevad elektrivõrku energia tootjad (Elektrilevi OÜ, 2013):

- mikrotootja võimsusega kuni 11 kW, liitub madalpingel 0,4 kV,
- pisitootja võimsusega kuni 200 kW, liitub madalpingel 0,4 kV või keskpingel 6,3…20 kV,
- väiketootja võimsusega kuni 5 MW, liitub üldjuhul keskpingel 6,3…20 kV,
- suurtootja võimsusega enam kui 5 MW, liitub põhivõrguga kõrgepingel 110…330 kV.

Vajalikud vormid avalduse esitamiseks ja lepingu koostamiseks on antud Elektrilevi kodulehel, kus on toodud ka Elektrilevi poolsed soovitused võrguga liitumiseks mikrotootjana (3,68 kW võimsusega ühefaasiline tootja või 11 kW võimsusega kolmefaasiline tootja).

3.3. TUULEENERGIA KASUTAMISEKS SOBIVAD ALAD JA TINGIMUSED

Maastikku arvestades (joonis L3) on tuuleenergia kasutamiseks paremad eeldused Tartu äärteosas, eriti edelaosas. Üldjuhul on tuulikute rajamine lubatud piirkondades 1, 2, 3, 4, 6 ja 7. Piirkonnas 7.1 vastavalt raudteeseadusele. Lubatud aladel (alade sobivus on graafiliselt näidatud joonisel L2) peab siiski arvestama peatükis 3.4 toodud tuuliku püstitamise tingimustega.

Piirkonnas 5 ehk vanalinna muinsuskaitsealal, selle kaitsevööndis, kaitsealaustel objektidel ja nende kaitsevööndis ning miljööväärtuslikel aladel on tuulegeneraatorite püstitamine keelatud. Samuti on see keelatud looduskaitsealal (8. piirkond).

Lubatud aladele tuulegeneraatorite kavandamisel arvestada, et need ei tohi kahjustada vaateid kaitsealustele piirkondadele ja objektidele.

Reaalse võimaluse tuulikute rajamiseks paneb paika:

- Sobiv maastik (reljeef, kõrgus), sh avatus tuultele (joonis L3);
- Linna ruumiline keskkond (piirkonna hoonestustihedus, kinnistu suurus, n-ö linnaruumi kvaliteet).

3.4. TUULIKU PÜSTITAMISE TINGIMUSED

Tuuliku püstitamise eeltingimused (tegevuskava esitatud punktide järjekorras, vaata ka käesoleva töö lisa nr 4):

1) Soovitud asukoht jääb maastikuliselt sobivale (joonis L3) ja lubatud alale (joonis L2);
2) Koostatud on tehniline kirjeldus, mis sisaldab vähemalt:
   a) Projekti eesmärki ja ülevaadet;
   b) Tuuleressursi hinnangut ja planeeritud asukoha hindamist;
   c) Riskianalüüsi, mõjude hinnangut ja nendele vastavat tehnoloogilist lahendust;
   d) Majandusanalüüsi, sh planeeritavat energiatoodangut ja käidu ning hooldusega seotud kulusid;
   e) Illustreerivat materjali;
   f) Toote infot.

Tehnilise kirjelduse alusel saab linnavalitsus:

- Anda põhimõttelise nõusoleku linnaruumi sobivuse aspektist;
- Anda hinnangu tuuliku paiknemiskõrguse (masti ja labade kõrgus kokku) ja kukkumiskauguse (ca 10% paiknemiskõrgusele lisaks) sobivuse kohta;
- Nõuda uuringu ja analüüsi koostamist kuja ulatuse määramiseks, et selgitada välja kujasse jäävate kinnistute omanikud, keda tuulikute püstitamine otseselt mõjutab ning kellega on vaja projekt kooskõlastada. Kuja moodustub jääohutustsoonist (mis on vähemalt pooleteistkordne tuuliku kogupikkus), müra tsoonist ja vilkumise nähtavustsoonist. Uuringu ja analüüsi põhjal saab selgitada välja täiendavate kooskõlastuste vajaduse asjakohaste ametitega.

Linnavalitsusel on õigus nõuda lisaks täiendavaid materjale rajatava tuuliku mõjude eelhindamiseks. Avalikku huvi, elukvaliteeti ja/või looduslikku mitmekesisust kahjustavate arenduste takistamiseks on linnavalitsusel õigus tehniline kirjeldus tagasi lükata. Tehnilise kirjelduse sobivusel väljastatakse taotlejale projekteerimistingimused, milles täpsustatakse projekti maht, lisategevused ja objekti lubatud parameetrid.

Projekteerimistingimuste alusel koostatakse ehitusprojekt, mis olenevalt objektist ja selle asukohast sisaldab vähemalt järgmist infot:

1) Tehniline osa;
2) Arhitektuurne osa, sh vaated ja muu illustreeriv materjal;
3) Tasuvusanalüüs;
4) Müra hindamine;
5) Riskide hindamine;
6) Vilkumise kaart;
7) Hooldusjuhend ja soovitused paigaldamiseks.

3.4.1. TUULIKUTE ARHITEKTUURSED TINGIMUSED

- Mast on monoliitne või terastorudest, ilma tõmmitsateta.
- Metallsõrestikuga mast on lubatud erijuhtudel. Näiteks, kus ümbritsev keskkond toetab selle kasutamist (tööstuspiirkonnad (piirkond 4), kus paiknevad metallsõrestikuga elektrimastid).
- Tiivikud on klaasfiibrist vormi valatud, voolujoonelised ja aerodünaamilised.
- Metall-lehtedest kokku keevitatud, nurgelised ja sõrestikuga tiivikud on lubatud, kus ümbritsev keskkond toetab nende sellelaadsete tiivikute kasutamist (nt tööstuspiirkonnad (piirkond 4)).

3.5. NÕUDED PAIGALDISTELE

Riskianalüüs peab vaatlema paigaldise kõiki peamisi riskitegureid ja hindama nende realiseerumise tõenäosust ja protsessi. Tuleb hinnata tehnilise ohutuse, visuaalse reostuse, müra, vilkumise ja elektromagneetiliste häirete mõju looduskeskkonnale ja bioloogilisele mitmekesisusele, samuti inimeste elukeskkonnale.

Tehniline ohutus peab olema tagatud nii konstruktsioonide, ehitiste, paigaldiste kui ka elektriseadmete ja –süsteemide juures vastavalt riiklikele nõuetele ja regulatsioonidele. Seadmed peavad olema konstrueeritud ja paigaldatud nõuetekohaselt ja vastava valdkonna (litsentseeritud) spetsialistide poolt. Kõik elektrivõrku ühendatud tootmisseadmed peavad vastama võrgustandardile.

Kõrgete konstruktsioonide puhul peab olema võimalik need objekti territooriumil langetada. Minimaalne ohutuskaugus mastist sellele paigaldatud tuulikute puhul on masti kõrgus, millele lisandub tiiviku raadius ja 10% lisaruumi (n-ö langemiskaugus).

Jää tekkimist tuulegeneraatori tiiviku labadele tuleb vältida. Kui see pole võimalik, tuleb tuuliku ümber tekitada n-ö jääohutustsoon, mille ulatus on poolteist korda pikem tuuliku

pikkusest (masti kõrgus ja laba pikkus). Kui jääohutustsoon on väiksem, siis selleks, et vähendada jäätükkide lennutrajektoori, tuleb tiiviku pöörlemissagedust jäätekkimise ajaks vähendada või generaator hoopis peatada.

Visuaalne mõju peab olema hinnatud, kirjeldatud ja aktsepteeritud kõigi poolt, keda see mõjutab: piirnevad naabrid, lähimad elanikud ja, ulatusliku mõju või tundliku piirkonna puhul, ka kogukonna esindajad ja liikmed. Ulatusliku mõju puhul tuleb läbi viia visuaalse mõju hindamine vastavalt rahvusvaheliselt aktsepteeritud metoodikale.

Seadmetest tekkiv müra peab jääma lähimas asustatud punktis või inimeste liikumistrajektooril alla 35 dBA (tase HEA) ja erijuhtudel (ja kohalike nõusolekul) võib küündida kuni 45 dBA (tase RAHULDAV). Soovitav on vältida helirõhu keskmist suurenemist projekti käigus enam kui 5 dBA võrra. Müraohu korral tuleb teha müra eelhindamine, mis täpsustab lisanduva müra hulga ja selle suhtelise mõju planeeritavas piirkonnas.

Horisontaalsete labadega tuulegeneraatori puhul, mille tiiviku poolt põhjustatud valguse vilkumise sagedus ületab 2,5 Hz (pöörlemissagedus 3-labalise tiiviku korral ületab 50 RPM) tuleb koostada vilkumiste kaart, millel on näidatud vilkumiste ulatus kuni tiiviku kümne-kordse läbimõõdu kauguseni. Kaart peab arvestama tiiviku asendit päikese suhtes ja seda võib täpsustada domineerivate tuulesuundadega.

Tuulegeneraatori paigaldamisel tuleb ette näha abinõud labadelt peegelduva valguse vähendamiseks (pinnakate, värvid jms).

Kogukonna või ametite esindajatel (muinsuskaitse, linna arhitektuuriosakond jms) on õigus seadmete paigaldamisest kaasnevate riskide ja võimaliku mõju tõttu keelduda, või lubada paigaldamist teatud tingimustel või piirangutega.

3.6. RISKIDE HINDAMINE JA MAANDAMINE

Rahvusvaheliselt välja kujunenud metoodika paigaldatavate objektide visuaalse mõju hindamiseks koosneb (Stanicovic, et al., 2009):

- olemasoleva maastiku iseloomu hindamine;
- visuaalse mõju tsoonide uuring mõjutatavate oluliste vaatepunktide määratlemiseks;
- uuring peamiste mõjutatavate gruppide määramiseks;
- kokkulepitud vaatepunktidest tehtud fotomonteeritud vaated n-ö enne ja pärast;
- maastiku iseloomule tekkiva mõju ulatuse hindamine.

Tuulegeneraatorite müra hindamiseks tuleb teha:

- taustahelide eeluuring kõikidel sagedustel erinevatel kellaaegadel (ööl ja päeval) peamistel kõnniradadel ja asustuspunktides;
- taustahelide eeluuringu võrdlus tuulegeneraatori tootja poolt väljastatud ametliku informatsiooniga müra kohta;

- helirõhu uuring vastavalt kehtivale regulatsioonile (Sotsiaalminister, 04.03.2002) peale paigaldamist erinevatel ilmastikutingimustel ja kellaaegadel, mis arvestaks summaarset helirõhku.

Tuulegeneraatori vilkumise hindamiseks tuleb koostada vilkumiste kaart, mis sisaldab (Stanicovic, et al., 2009):

- vilkumiste suuna ja ulatuse hindamist;
- kontsentriliste ringidena näidatud mõjuala, kus 100 m pikkusele ringile vastab 10 m läbimõõduga tiivik, 200 m vastab 20 m tiivik jne;
- mõjualast eraldada n-ö pime ala, mis on ligikaudu 50° mõlemale poole lõunatelge;
- hinnata peamiste tuulte suunda ja seda, millise nurga all on tiivik päikese suhtes;
- hinnata vilkumise tõenäosust erinevatel aasta- ja kellaaegadel.

3.6.1. LEEVENDAVAD MEETMED

On mitmeid võimalusi, kuidas riskide realiseerumise tõenäosust vähendada. Iga arendusprojekt peaks ette nägema võimalikud leevendavad meetmed konkreetselt projektis esinevate riskide vähendamiseks ja ära hoidmiseks.

- Arhitektuurselt leevendavad meetmed – läbimõeldud terviklahendus, kunstiliselt tasemel kontseptsioon, keskkonda väärtustav ja sellega suhestuv looming jne;
- riskidega seotud meetmed - müra vähendamine, vilkumise vähendamine, tehnilise ohutuse ja avaliku turvalisuse tagamine; peegelduste vähendamine, looduskeskkonna hoidmine (lindude ohutus) jne;
- majanduslikult leevendavad meetmed – investeeringud kogukonda, ühise hüve loomine jne;
- sotsiaalselt leevendavad meetmed – kogukonna informeerimine, ühised arutelud, avalikud koosolekud, küsimuste-vastuste ringid jne.

4. PÄIKESEENERGIA

4.1. PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE VAJADUSED, VÕIMALUSED, PUUDUSED, OHUD JA PIIRANGUD

Päikese kasutamine energiaallikana on kõike ligipääsetavam ja seetõttu kõige demokraatlikum energiakasutuse liik, millest võivad kasu lõigata sõna otseses mõttes kõik kogukonna liikmed. Päikeselt saabuva kiirgusliku energia passiivsel kasutamisel on oluline mõju meie elukeskkonna loomisel ning aktiivne kasutus võimaldab lisaks toota elektrit või sooja vett ilma energiatoorme peale raha kulutamata. Päikesekiirgust kasutavad energiatehnoloogiad on ka erakordselt paindlikud ja skaleeritavad, olles rakendatavad hoone, kvartali, linnaosa ja tervete linnade mahus. On selge, et päikeseenergia kannab endast suurt potentsiaali vähendada meie hoonete energiatarbimist välisest võrgust ning sellega vähendada meie linnade energiasõltuvust ja keskkonnakoormust. Kuid veelgi enam

hakkavad need tehnoloogiad meie elu mõjutama lähimas tulevikus, mil kasvab nende tehnoloogiate tõhusus ja langeb hind.

Täna on päikesepaneelide kasutegur vaevalt 20%, mis muudab need vähe efektiivseks ja nende rakendamise paljudes kohtades ebarentaabliks (eriti võrreldes riiklikult toteeritud fossiilse elektriga). Kuid juba on teadlased jõudnud kaks korda efektiivsemate seadmeteni ning nende kasutusele võtmine muudab tulevikus turgu põhjalikult. Kommertslikult edukad päikesepaneelid tekitavad põhimõtteliselt uue olukorra elektritootmises, mille korral iga kodanik võib hakata energiatootjaks ja energeetikainvestoriks ning kogukond lõikab kasu ohtrast kohalikus piirkonnas toodetud süsinikuvabast elektrienergiast.

Lisaks energiaturule elavdab see ka energiateenuste turgu, tekitades nõudluse seadmete, disaini ja nõustamise järele kogu tooteahelas. Tänu fotoelektriliste päikeseelementide paindlikkusele on võimalik konstrueerida erikujulisi paneele, maatrikseid ja ülirakke ning neist konstrueerida pindu, mis vastavad kliendi nõudmistele ja vajadustele. Tööstusdisain õpib paremini integreerima päikese tehnoloogiaid elektrit tarbivatesse seadmetesse (sh ka sõidukid) ja arhitektid arendavad oma oskusi päikesearhitektuuri ja hoonetesse integreeritud päikesetehnoloogiate osas. See on vältimatu eeldus liginullenergia standardi rakendamiseks ja emissiooni vähendamiseks Põhja-Euroopas ja sealhulgas ka Eestis.

Lisaks madalale efektiivsusele ja kõrgele maksumusele on päikesepaneelide ja –kollektorite puuduseks veel energiatootmise tsüklilisus ning sõltuvus ilmastikust. Peamine energiatootmine toimub päeval ja on maksimaalne keskpäeval, mil päike on seniidis. Peamine elektri ja sooja tarbevee kasutamine toimub aga varahommikul ja õhtul, st enne ja pärast tööpäeva. Selleks, et energia tootmist ühtlustada tarbimisega, on vaja kasutada energia salvestamist. Sooja vee puhul on selleks boileri veepaak või põrandakütte betoonmassiiv. Elektri puhul toimib efektiivse salvestusvahendina võrk, kuhu päeval elektrit toota ja millest õhtul tarbida. Autonoomsetes süsteemides (ingl. k. *Off-Grid*) kasutatakse salvestamiseks elektrokeemilisi akumulaatoreid, koos neid teenindava juhtelektroonikaga.

Päikesetehnoloogiate efektiivsus väheneb paratamatult, kui paneelide asend pole päikese suhtes optimaalne, s.o kui need pole päikese langemisnurgaga risti. Kuna see langemisnurk muutub olenevalt planeedi asendist päikese suhtes pidevalt, siis erinevatel aasta- ja kellaaegadel on see erinev. Paigaldatud päikesepaneeli efektiivsus väheneb seetõttu veelgi ning mõnikord kasutatakse selle probleemi vältimiseks spetsiaalseid paneeli tõusunurka korrigeerivaid seadmeid, mis aga on kallid ja vähendavad paneelide paindlikku paigaldatavust. Päikesekiirgust kasutavatel tehnoloogiate puhul vähendab tõhusust veel soojusvaheti pinnale kogunenud tolm, mustus ja ka näiteks lumi. Seetõttu on lumetõrje talvel ja tolmutõrje kuival perioodil oluline tõhusa tootmise huvides.

Erinevalt tuulegeneraatoritest pole päikesepaneelide ja -kollektorite juures kasutuses kiiresti pöörlevaid osi ning nende otsene mõju loodus- ja elukeskkonnale on väike. Siiski kaasneb keskkonnareostus ja emissiooni nende tootmise ja utiliseerimisega, mida aitab vähendada tarbijate vastutustundlik käitumine. Päikesetehnoloogiate soetamisel tuleks tutvuda

tootmisel rakendatud keskkonnastandarditega. Utiliseerimisel tuleb jälgida elektrooniliste jäätmete utiliseerimise reegleid.

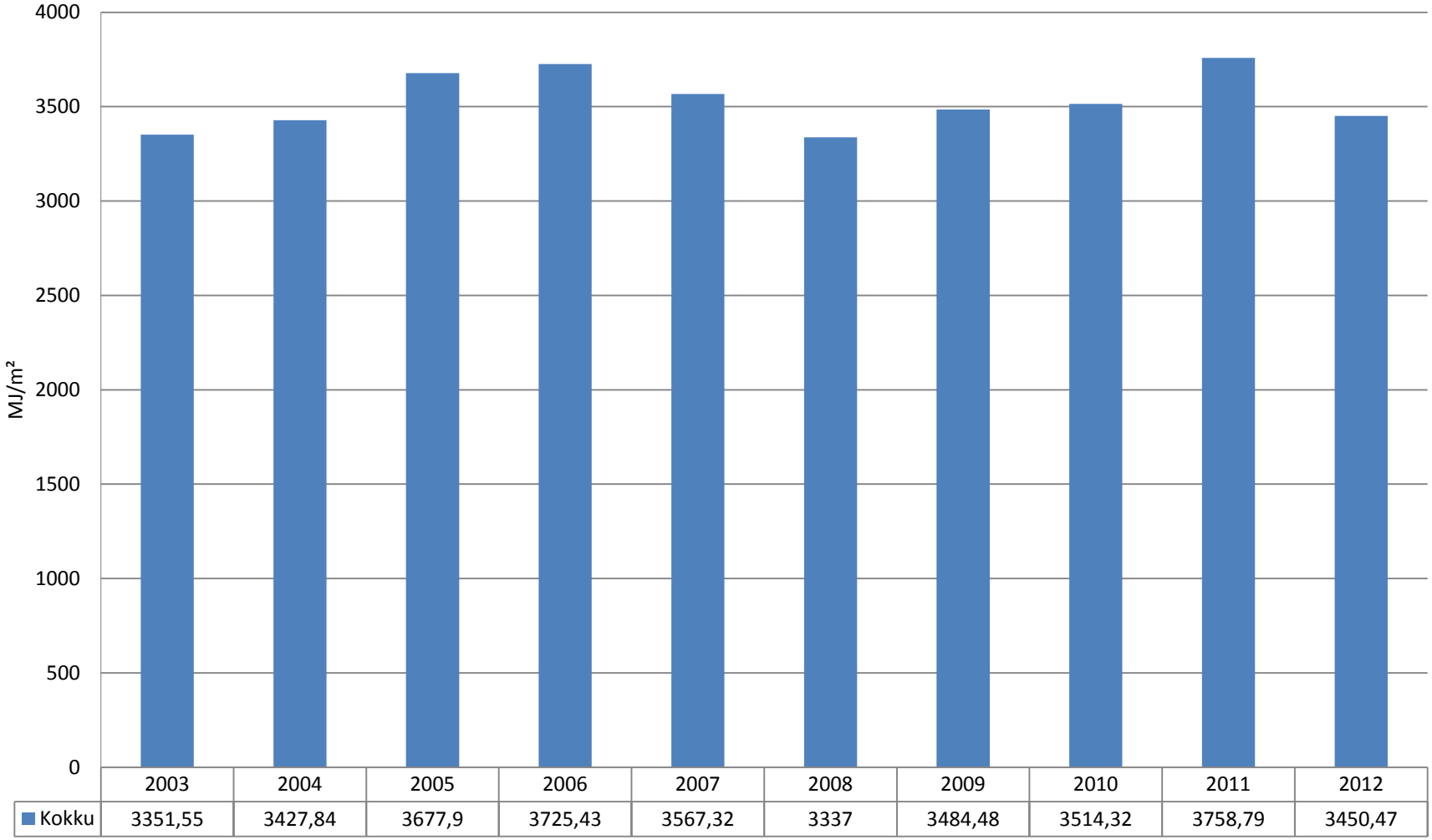
Tartu keskmine päikeseenergia hulk, mis aasta jooksul langeb ühele ruutmeetrile on 3,5 GJ, mis on ligikaudu 980 kWh. Kogu linna pindala kohta teeb see keskmiselt ühes tunnis 15,85 TJ, mis on võrdne ligikaudu 4400 MWh. Kui ka vaid 1% sellest tasuta käes olevast energiast õnnestuks muuta elektriks, siis on seda ikkagi pea kaks korda rohkem kui suudab toota uus Fortumi koostootmisjaam Luunjas, mille elektriline võimsus on "vaid" 25 MW. Aasta jooksul suudaks see 1% toota 380 GWh elektrienergiat, mis ületab linna tänase tarbimise kordades.

4.1.1. TARTU PÄIKESERESSURSS

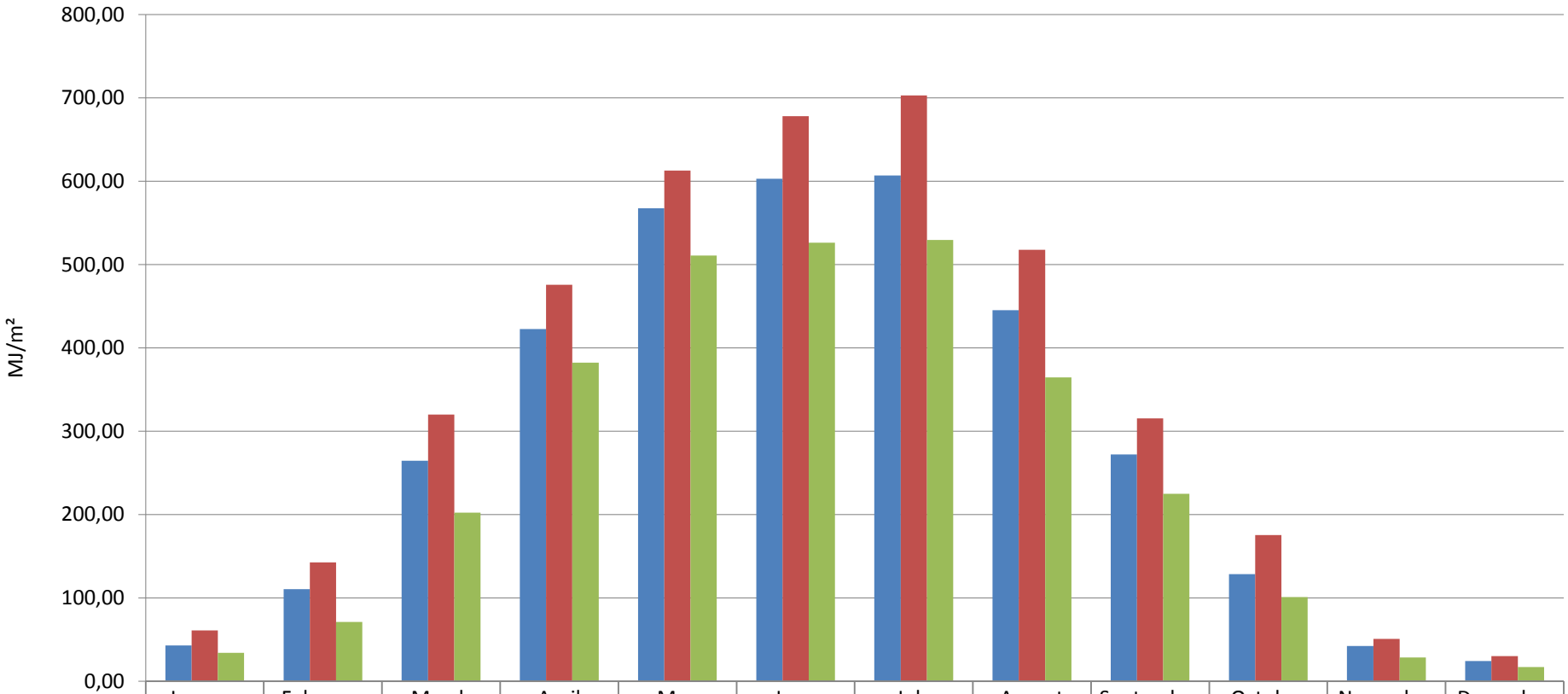
Päikese aastane kiirgushulk (joonis 9) aastatel 2003...2012. a. (Saaremäe, 2013) varieerub vastavalt mõõtmistulemustele 3337 MJ/m² (2008. aastal) kuni 3759 MJ/m² (2011. aastal), olles keskmiselt 3530 MJ/m², mis vastab ligikaudu 980 kWh/m². Kõige aktiivsemad kuud on mai (keskmiselt 568 MJ/m²), juuni (keskmiselt 603 MJ/m²) ja juuli (keskmiselt 607 MJ/m²). Juuli pole mitte alati suurima kiirgushulgaga kuu, võisteldes selle nimel juuniga, mis ületab juuli neljal korral kümnest (joonis 12). Vähima kiirguse hulgaga on detsember, keskmiselt 24 MJ/m² ja minimaalselt 17,09 MJ/m².

Päikeselt langevat kiirgust iseloomustab Tartu laiuskraadil (ca 58°) tugev sesoonsus. Päikese ööpäevane kõrgusnurk varieerub 53°57' 21. juunil kuni 7°3' 22. detsmebril (Kõiv & Rant, 2013). Lühim päev Tallinnas on 6 tundi ja 2 min ja pikim 18 tundi ja 40 min. Ööpäevane kiirgushulk varieerub vahemikus 0,12...30,67 MJ/m² ja kümne aasta keskmine väärtus on 9,66 MJ/m² (2,68 kWh/m²). enim on aastas päevi (ca 15%), mil ööpäevane kiirgushulk on keskmiselt kuni 1 MJ/m².

Päikeseenergia tarbimise raskuseks on selle tootmise ja tarbimise vaheline ajaline nihe, mille põhjuseks on suurem energiatarve madalama kiirgushulgaga kuudel, kuid ka ööpäevane tarbimise koondumine varahommikule ja õhtutundidele, mil kiirguse hulk on taas väiksem. Seetõttu on üks võtmeprobleeme päikese kiirguse salvestamine, säilitamine ja kasutamine sobival ajal. Päikese otse kasutuse puhul on sellisteks salvestiteks näiteks hoonete konstruktsioonid, kuid ka näiteks hoonete õhk. Kaudse kasutuse puhul võib samuti salvestada soojust suurtesse inertsetesse soojuskandjatesse nagu hoone konstruktsioonid (peamiselt monoliitselt valatud põrand) või akumulatsioonipaagis paiknev vesi.

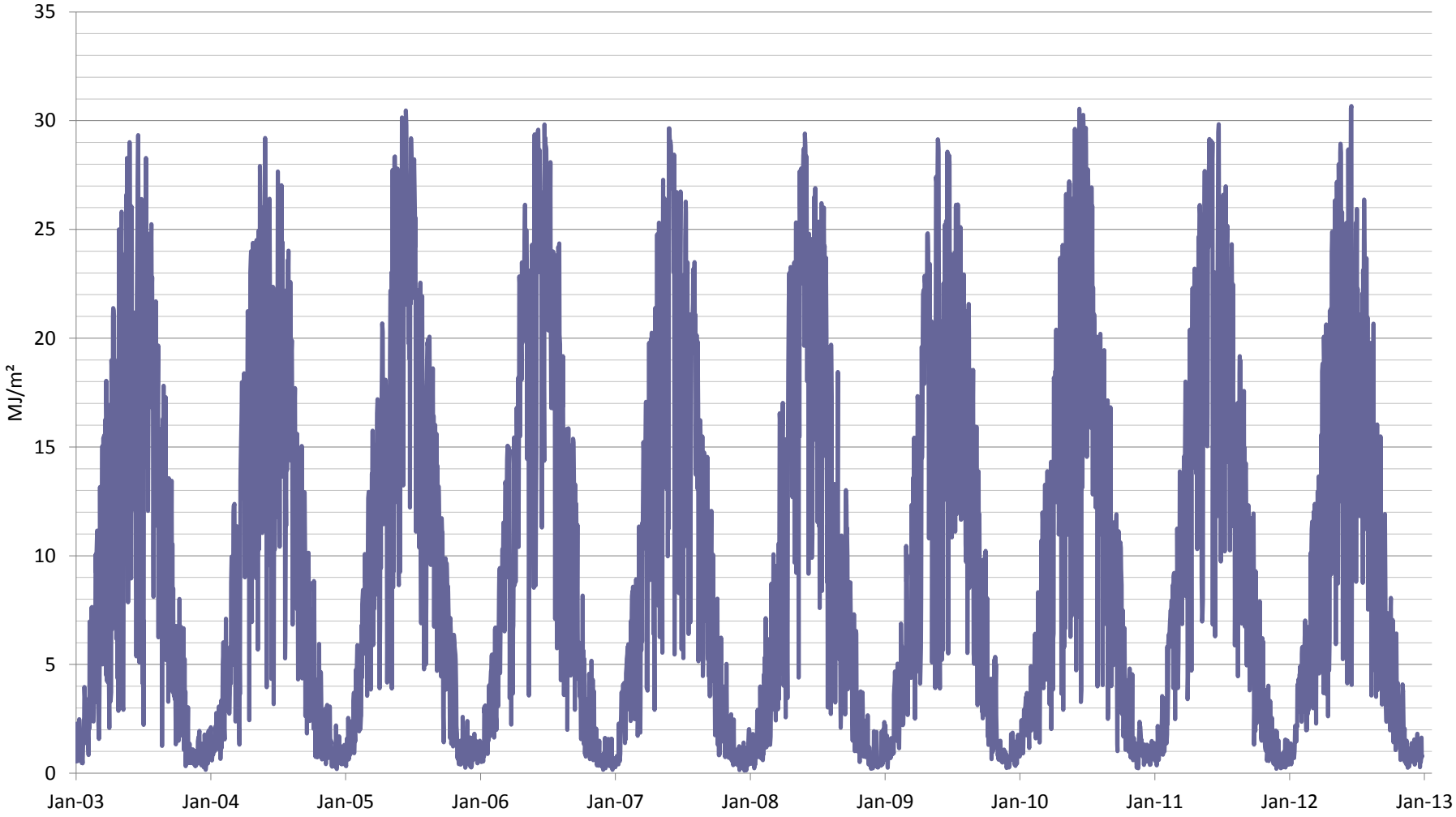


Joonis 9. Aastane päikesekiirguse hulk mõõdetuna Tõraveres aastatel 2003…2012

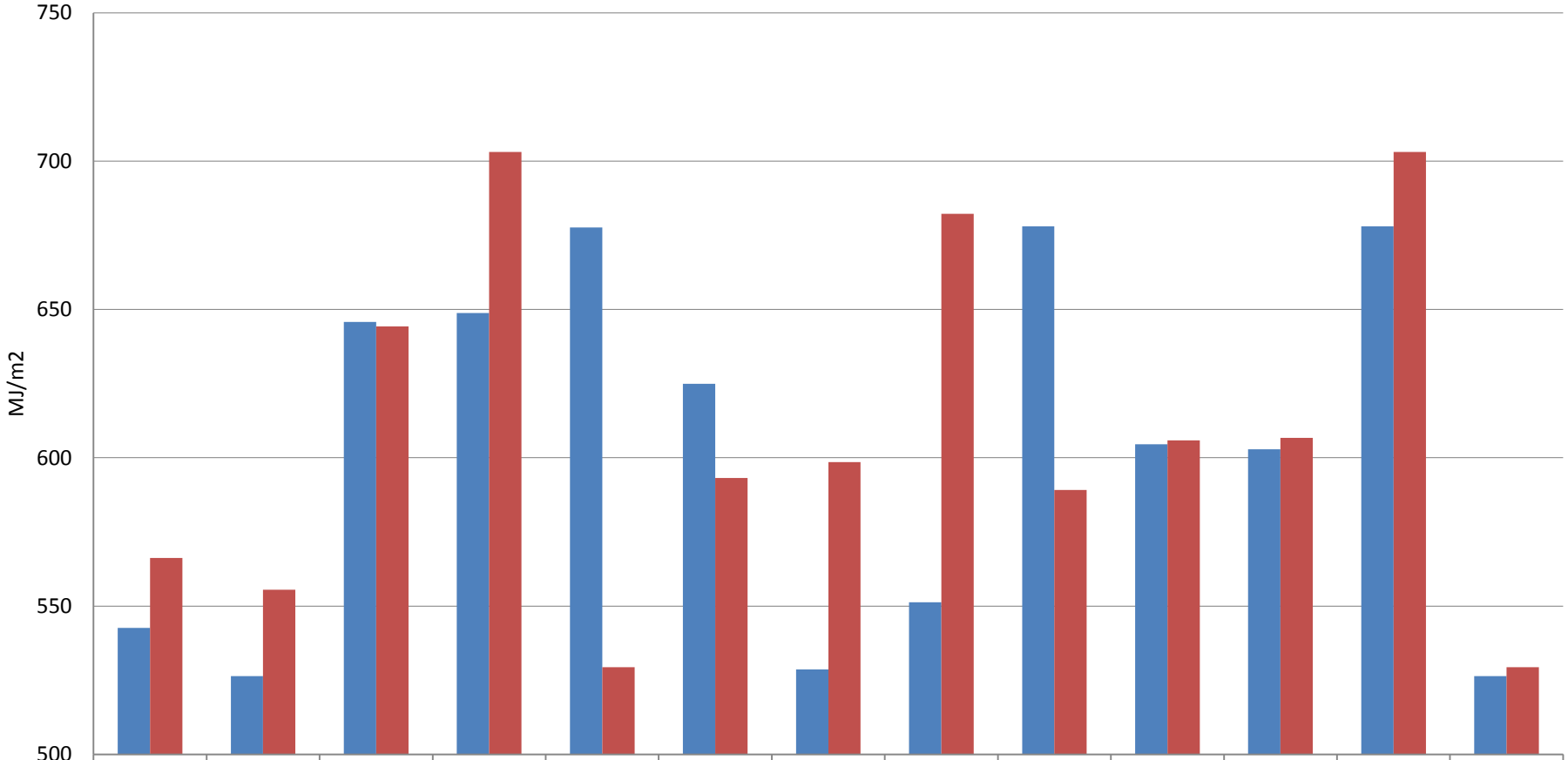


	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Keskmine	42,92	110,38	264,41	422,58	567,63	602,86	606,74	445,26	272,06	128,32	42,28	24,09
Suurim	60,83	142,72	319,94	475,6	612,83	678,02	703,05	517,73	315,5	175,33	50,85	30,06
Vähim	34,08	70,98	202,11	382,35	510,87	526,38	529,4	364,6	224,77	101,04	28,45	17,06

Joonis 10. Summaarse päikesekiirguse hulk kuude lõikes mõõdetuna Tõraveres aastatel 2003…2012



Joonis 11. Ööpäevane päikesekiirguse hulk mõõdetuna Tõraveres aastatel 2003…2012



	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Keskmine	Maks	Min
Juuni	542,62	526,38	645,77	648,77	677,59	624,97	528,6	551,27	678,02	604,58	602,86	678,02	526,38
Juuli	566,17	555,53	644,27	703,05	529,4	593,2	598,57	682,24	589,12	605,87	606,74	703,05	529,4

Joonis 12. Päikesekiirguse hulk juunis ja juulis, mõõdetuna Tõraveres aastatel 2003…2012

4.2. PÄIKESEENERGIA KASUTAMISEKS SOBIVAD ALAD JA TINGIMUSED

Arvestades päikesepaneelide disaini ja tehnilisi võimalusi, on päikesepaneelide ja -kollektorite paigaldamine võimalik peaaegu igas asukohas igale hoonele ja rajatisele (näiteks fotomontaažid lisas nr 2, joonised L4-L9). Efektiivsuse mõttes tuleb siiski arvestada ilmakaarte, päikese kõrgusnurga ning keskkonna osas linnaehitusliku situatsiooniga. Alade üldine sobivus on näidatud joonisel L1.

Vanalinna muinsuskaitsealal ja selle kaitsevööndis; miljööväärtuslikel hoonestusaladel (piirkond 5) on päikesepaneelide kasutamine lubatud järgnevalt:

- olemasolevate hoonete katustele ainult siis, kui need on katusega samas tasapinnas ega ole vaadeldavad tänavatasandilt avalikust ruumist, Toomemäelt, Jaani kiriku tornist ja Sadama asumist;
- uushoonetele vanalinna muinsuskaitsealal ja miljööaladel nii katusele kui ka seintele kõrgetasemelise arhitektuurse terviklahenduse korral, mille projekti osana on koostatud arhitektuursed vaated ja lahendus on kooskõlastatud linnavalitsusega;
- miljööalade hoovialadele ja ainult siis, kui miljööalade kaitse- ja kasutustingimused on täidetud ning lahendus on kooskõlastatud linnavalitsusega.

Ehitis- ja ajaloomälestistele ei ole päikesepaneelide paigaldamine lubatud, kui kultuuriväärtuste teenistus ei ole otsustanud teisiti. Looduskaitsealadele (piirkond 8), pole päikesepaneelide paigaldamine lubatud.

Mujal linnas (piirkondades 1, 2, 3, 4, 6 ja 7) on päikesepaneelide kasutamine lubatud. Raudtee kaitsevööndis (piirkond 7.1) vastavalt raudteeseadusele. Kaugus teistest hoonetest ja objektidest pole piiratud, kui püstitatavad paneelid vastavad järgmistele nõuetele ja tingimustele:

- Päikesepaneelid ei tekita kõrvalolevatele hoonetele valgusreostust (nt kõrvutiasetsevate erikõrguseliste hoonete puhul);
- Päikesepaneelid ei kahjusta naaberhooneid, linnaruumis liiklejaid ja looduskeskkonda;
- Päikesepaneelid ei häiri liiklust ja tänaval liiklejaid.

Kogu linna ulatuses, ehk siis kõikides piirkondades, on paneelide kasutamine lubatud ja soovitatav rajatistel – tänavamööblil – (nt bussiootepaviljonid, varikatustega puhkepingid jmt) kui eelnimetatud nõuded ja tingimused on täidetud. Päikeseenergia tootmiseks spetsiaalselt püstitatavad rajatised avalikus linnaruumis peavad olema arhitektuurselt kõrgetasemelised ja võimalusel multifunktsionaalsed.

4.3. PÄIKESEPANEELIDE PAIGALDAMISE TINGIMUSED

4.3.1. PÄIKESEPANEELIDE ARHITEKTUURSED TINGIMUSED

Olemasolevate hoonete puhul tuleb leida hoones elemente, mille katmisel päikesepaneelidega säilib hoone algne arhitektuur või saab paneelide abil hoone

väliskujundust täiendada/parandada. Kujunev kompleks peab moodustama professionaalselt lahendatud arhitektuurse terviku.

Uute hoonete puhul tuleb kavandada terviklahendused, kus paneelid või nendega kaetavad osad on osa arhitektuursetest elementidest või fassaadist.

Rajatiste puhul peavad lahendused lisama linnaruumile/keskkonnale arhitektuurset kvaliteeti.

Miljööväärtusega piirkondades ja vanalinna muinsuskaitsealal ning selle kaitsevööndis ei tohi päikesepaneelid rikkuda ega kahjustada kaitsealuse hoone arhitektuuri ega kaitseala terviklikkust. Lahendus peab olema kooskõlas kaitsealuse hoone arhitektuuriga.

Piirkonnad 3 ja 6 on sobivad innovaatiliste lahenduste ja eeskuju näitavate projektide elluviimiseks, kuid arvestama peab siiski linnaruumilist sobivust.

Tööstuspiirkondades paneelidele kasutamisel arhitektuurseid ettekirjutusi ei tehta.

4.3.2. PÄIKESEPANEELIDE JA -KOLLEKTORITE PAIGALDAMISE TINGIMUSED

Päikesepaneelide ja –kollektorite paigaldamise eeltingimused (tegevuskava esitatud punktide järjekorras, vt ka lisa nr 4):

Koostada on tehniline kirjeldus, mis sisaldab:

1) Projekti eesmärki;
2) Päikeseressursi hinnangut ja planeeritud asukoha hindamist;
3) Riskianalüüsi, mõjude hinnangut ja nendele vastavat tehnoloogilist lahendust;
4) Majandusanalüüsi, sh planeeritavat energiatoodangut ja käidu ning hooldusega seotud kulusid;
5) Illustreerivat materjali;
6) Toote infot.

Tehnilise eskiisi alusel saab linnavalitsus:

- anda põhimõttelise nõusoleku linnaruumi sobivuse aspektist;
- anda hinnangu tehnilise ja arhitektuurse lahenduse sobivuse kohta;
- määrata projekti kooskõlastamise vajaduse naaberkinnistute omanikega ja/või asjakohaste ametitega.

Linnavalitsusel on õigus nõuda lisaks täiendavaid materjale või lükata tehniline kirjeldus tagasi. Tehnilise kirjelduse sobivusel väljastatakse taotlejale projekteerimistingimused, milles täpsustatakse projekti maht, lisategevused ja objekti lubatud parameetrid.

Projekteerimistingimuste alusel koostatakse ehitusprojekt, mis olenevalt objektist ja selle asukohast sisaldab vähemalt järgmist infot:

1) tehniline osa;
2) arhitektuurne osa, sh vaated ja muu illustreeriv materjal;

3) tasuvusanalüüs;
4) riskide hindamine;
5) valgusreostuse hindamine;
6) hooldusjuhend ja soovitused paigaldamiseks.

4.4. ERINEVAT TÜÜPI PÄIKESEENERGIA

4.4.1. PÄIKESEARHITEKTUUR

Kui püstitada küsimus ideaalsest hoonest, siis ilmselt vastavad insenerid, arhitektid, linnaplaneerijad ja keskkonnatehnoloogid kõik erinevalt. Päikesearhitektuur, mida hakati teadvustatult viljelema 1970ndatel naftakriisidest mõjutatuna, on üks võimalus neid erinevaid vaateid ühildada. Selle esialgne fookus oli:

- hoonete maksimaalne energiatõhusus,
- hoonete täiendav kütmine talvel päikeseenergiaga ja
- sellest sooja tarbevee tootmine.

Aja jooksul aga on vaatluse alla võetud uued probleemid, näiteks hoonete jahutamine. Võrdluseks võib tuua, et ruumi jahutamine võtab keskmiselt kolm korda enam energiat kui selle kütmine ning seda on tunduvalt keerulisem saavutada. Tänaseks on eksperdid jõudnud arusaamisele, et hoonet ei saa vaadelda eraldiseisvate komponentidena (konstruktsioon vs energiatehnoloogiad), vaid tuleb analüüsida kui üht kompleksset terviklahendust, mis peaks püüdma kasutama kõiki looduslikke ressursse: päikest, tuult kui ka maasoojust. Sellise terviklahenduse saavutamine eeldab erinevate ekspertide kaasamist hoone kavandamisse alates selle võimalikult varasest staadiumist – planeeringust (Schittitch, 2003).

Kõige lihtsam viis päikeseenergia kasutamiseks hoonetes on nn passiivne kasutamine, mis toimib otse, ilma tehniliste abivahenditeta. Hoone kasutab päikest läbi oma konstruktsiooni vastavalt oma asetusele, kujule, ehitusele, kasutatud materjalidele jne – hoone ja selle komponendid moodustavad sisuliselt päikeseenergiat püüdva ja talletava süsteemi. Sellise süsteemi energiapüüdmise ja –talletamise võimet saab läbimõeldud arhitektuuri abil optimeerida. Asukoha, paigutuse, kuju ja suuna, akende paigutuse, materjalikasutuse ja piirete struktuuri nutikas valik aitavad looduslikku energiat paremini püüda ja kasutada mugava sisekliima, sh valgustuse loomiseks hoones. Sellises hoones kulub vähem võrgust tarbitavat energiat kütmiseks ja ka kütteperiood on lühem. Kui pöörata tähelepanu veel kasutatavale materjalile ja töövõtetele, võib tulemuseks olla madala keskkonnakoormuse ja energiakuluga hoone, kus lisaks kõigele muule on ka hea elada. Sügavale hoone sisemusse suunatud päikesevalgus loob inimestele hea elukeskkonna.

Päevavalgus on inimese kõige loomulikum keskkond. Katsed näitavad, et see mõjutab meie füsioloogiat ja enesetunnet. Päevavalguse tagamine tehiskeskkonnas parandab selle keskkonna kvaliteeti ja muudab seda inimeste jaoks õdusamaks. Kuid päevavalgus on ka kõige optimaalsem energiakasutuse viis. Selleks, et valgustada päevavalgusega 20 m² ruumi kõrgusega 5 m, on vaja ligikaudu 2 m² akent. Kui me soovime valgustada seda ruumi hõõglampidega, siis vajame energiat mahus 100 W/m², mis omakorda vajab umbes 40 m²

suurust päikesepaneeli, et toota vajaminevat elektrit (ca 10 m² suurust päikesepaneeli luminofoorlampide korral ja pisut väiksemat LED valgustitele). Kui soovime seda ruumi valgustada kivisöest pärineva energiaga, siis vajame selleks vähemalt miljon m² maapinda, et luua vajalik ressurss, see maapõuest kätte saada, seda töödelda jne (põlevkivi puhul tuleb pindala korrutada vähemalt kahega) (Kaiser, 1996). On lihtne mõista, et aken on kõige efektiivsem viis ruumi valgustamiseks.

Üks osa päikeseenergia passiivsest kasutamisest on hoonete nutikas kaitsmine päikesekiirguse eest ajal, mil hoone soojavajadus on rahuldatud ja täiendav kiirgus võiks hakata hoonet üle kütma. Seda kontseptsiooni nimetatakse passiivseks jahutuseks ja see on teostatud erinevate fikseeritud või liikuvate sirmide abil. Passiivjahutus projekteeritakse üldiselt viisil, mis blokeerib akendelt suvise „kõrge“ päiksevalguse, lubab aga hoonesse talvise „madala“ päikse, kuna talvel on hoone energiabilanss igal juhul negatiivne, st hoone vajab täiendavat energiat. Eksperdid väidavad, et oskuslikult projekteeritud hoones suudavad passiivjahutuselemendid hoida ära piisaval hulgal päikesekiirgust ja aktiivset jahutust ei ole meie laiuskraadil vaja. Linna ehitusmäärus peaks passiivse jahutuse kasutamise muutma kohustuslikuks kõikidele hoonetele, mida kasutatakse aastaringselt. Passiivjahutuse erijuhuks on tehnoloogiad, mis tekitavad piisava õhuvoolu tsentraalsete ventilatsioonisüsteemide osaliseks või täielikuks tsirkulatsiooniks, vähendades sellega energiavajadust hoone ventileerimisel.

4.4.2. PÄIKESEKOLLEKTORID

Päikesekollektorid on esimene samm päikeseenergia aktiivse kasutamise suunas ja need kuulusid (ning kuuluvad tänaseni) päikesearhitektuuri esimese laine juurde 1970ndatel aastatel, kuigi esimesed mudelid konstrueeriti ja müüdi juba 20. sajandi algusaastatel (Randolph & Tech, 2008). Tänu oma lihtsale konstruktsioonile, töökindlusele ja heale efektiivsusele on päikesekollektorid tänuväärne täiendus hoone energiakulude vähendamisse ja võimaldab ka Eesti kliimas suvist sooja tarbevett toota nii kortermajas kui eramus.

Kollektorite lihtsaim mudel on tasapinnaline kollektor, mis koosneb päikesekiirgust neelavast tasapinnast ja sellele paigutatud soojusvahetist, milleks lihtsamal juhul on klaastorus liikuv õhk või vesi. Lihtsama konstruktsiooni korral tsirkuleerib vesi loomulikul teel paaki. Kunstliku tsirkulatsiooni korral tuleb kasutada juhtimissüsteemi koos temperatuurianduritega, mis mõõdavad temperatuuride erinevust kollektori ja paagi vahel. Iga läbijooksuga tõstetakse vee temperatuuri paagis (5 või 10 kraadi). Kollektorit kattev klaas reguleerib selle soojusvahetust. Mida paremad on katteklaasi isolatsiooniomadused, seda kõrgema temperatuuriga on väljund, kuid seda väiksem on soojusvaheti kasutegur. Madala temperatuurse vee tootmiseks on kõige efektiivsem kasutada ilma katteklaasita kollektorit (ettevaatust külmas kliimas!). Miinuskraadide korral kasutatakse külmumisohu vältimiseks soojusvahetis vee asemel mõnda madalama külmumistemperatuuriga vähemürgist vedelikku (nn antifriisi) nt glükooli (Randolph & Tech, 2008).

Tabel 7. Päikesekollektorite tüüpilised parameetrid (Schittitch, 2003)

Tüüp	*Muundamistegur*	*Soojuskadu, W/m2*	*Temperatuurivahemik, C*
Katteta soojusvaheti	0,82...0,97	10...30	≤ 40
Lamekollektor	0,66...0,83	2,9...5,3	20...80
Vaakumkollektor, lame	0,81...0,83	2,6...4,3	20...120
Vaakumtoru kollektor	0,62...0,84	0,7...2,0	50...120
Kollektorpaagiga	≈ 0,55	≈ 2,4	20...70
Õhukollektor	0,75...0,90	8...30	20...50

Õhukollektor kasutab päikesekiirgust õhu soojendamiseks. Soojusvaheti paikneb katteklaasi all ja õhk võib liikuda selle sees või ka selle ümber. Soojendatud õhku võib kasutada ringleva soojuskandjana, mis annab oma temperatuuri edasi läbi teise soojusvaheti, olles nii suletud ja steriilses ringluses. Kuid soojendatud õhku võib ka otse ruumidesse puhuda. Sellisel juhul toimib kollektor õhu eelsoojendajana ning asendab klassikalist ventilatsioonisüsteemi soojusvahetit, hoides nii kokku elektrit. Eriti hästi sobib see koos õhkküttesüsteemiga ruumide soojendamiseks või tehnoloogilise kuumaõhu tootmiseks (Schittitch, 2003).

Keerulisema konstruktsiooniga, kuid kõrgema efektiivsusega on vaakumtorusüsteemiga kollektorid, mille soojusvaheti paikneb silindrilises õhutühjas klaastorus. Õhu puudumine vähendab konvektiivseid soojuskadusid kiirgust püüdvalt pinnalt katteklaasile ja suurendab sellega energia muundumise tõhusust. Erijuhul kasutavad seadmed kaheastmelist soojusvahetit, mille esimeseks astmeks on kondensatsioonitsükliga kergesti aurustuv gaas (nt glükool), mis pumpab soojust kollektori torust kondensaatorile, kus see antakse edasi paaki voolavale soojuskandjale (samuti glükoolilahus). Selline soojuspump lubab tõsta kollektorist väljuva soojuskandja temperatuuri. Vaakumtorusüsteemiga kollektorid sobivad hästi põhjamaisesse kliimasse, kuna soojuskandjana kasutatav glükoolilahus ei karda madalaid temperatuure ja silindrikujulised moodulid ei lase lumel kollektori pinnale kuhjuda. Tänu keerulisemale konstruktsioonile on nende hind kallim.

Sooja vee valmistamiseks kasutatava päikesekollektori pindalad ja salvesti suurused (Kõiv & Rant, 2013):

- Kollektori pind
  - Inimese kohta 1…2 m²,
  - kortermaja korteri kohta 3…4 m²,
  - eramule 5…8 m².
- Salvesti
  - kollektori 1 m² kohta 50…70 l,
  - kortermaja korteri kohta keskmiselt 200…300 l

Kollektori ja salvesti täpsem dimensioneerimine teostatakse tehnilise projektiga.

Kiirguse maksimaalseks püüdmiseks tuleb energiat püüdev pind paigutada kiirte langemisnurgaga st päikese kõrgusnurgaga risti. Et vähendada suvist ületoodangut, on optimaalne päikesekollektori kaldenurk 10..15° väiksem kui laiuskraad.

4.4.3. PÄIKESEPANEELID

Päikese fotoelektriline kasutamine on kõige kaasaegsem päikeseenergia kasutamise tehnoloogia, mis tänaseks on jõudnud küll juba laialdase kommertskasutuseni, kuid samal ajal on laborites arendamisel järgmine rakkude põlvkond. Juba täna saab kasu lõigata fotoelektriliste rakkude ja paneelide poolt toodetud elektrist, mille peamine ressurss, päike, on absoluutselt tasuta kõigile tarbimiseks. Fotoelektri tehnoloogia teiseks suureks eeliseks on selle erakordne paindlikkus, mis lubab seda tuua kasutajale lähemale kui ükskõik millist teist täna kasutuses olevat energiatehnoloogiat. Standardseid päikesepaneele võib paigaldada hoonetele jälgides arhitektuuri originaaljoont ja lõhkumata visuaalset tervikut. Enamgi veel – soovi korral võib paneeli rakk-raku haaval konstrueerida täpselt jälgima doonoriks oleva objekti pinda või värvi. Erinevate paigutustihedusega saab luua pool-läbipaistvaid pindu ja meeleolukaid mustreid ning kaitseklaaside värvust varieerides on võimalik luua energiat tootvaid pindu, mis sobituvad ka esteetiliselt nõudlikku keskkonda.

Päikesepaneelide kasutus ei piirdu üksnes massiivsete paigal seisvate objektidega, nagu hooned, vaid nendega saab rahuldada ka mobiilset elektrienergia vajadust. Nendega saab katta elektrisõidukeid autodest lennukite ja laevadeni. Just praegu on sooritamas oma esimest ümbermaailmareisi üksnes päikesejõul töötav mehitatud lennuk. Samuti tiirleb maailma sadamates ringi vaid päikeseelektrit kasutav luksusjaht. Fotoelementide tehnoloogia on ka erakordselt skaleeritav ja samal tehnoloogial loodud rakk võib toota elektrit mõnest vatist mobiiltelefoni või taskulambi aku laadimiseks kuni mitme megavatiste elektrijaamadeni, mis varustavad energiaga terveid linnu.

Enamik fotorakke on valmistatud ränist, mis on oma levikult meie planeedil teisel kohal. Oma loomulikul kujul esineb see ränidioksiidina, mis on liiva peamine koostisosa. Sellest puhastatakse välja räni 99,9999%se puhtuseni. Puhast räni võib töödelda (n-ö kasvatada) ka üheks ainsaks hiigelkristalliks, sellisel juhul kutsutakse seda monokristalliliseks (vastandina polükristallilisele ehk kaootiliselt kristalliseerunud struktuurile või pisut vähem kaootilisele vormi valatud multikristallilisele struktuurile). Kasvatatud või valatud ränistruktuur lõigatakse õhukesteks vahvliteks, millest saab fotorakkude alusmaterjal. Ränikristallrakkudele pakuvad üha enam konkurentsi orgaanilised ja anorgaanilised kilejad (ingl. k. *Thin Film*) rakud, mis on kõige uuem sõna fotorakkude arengus. Täna on tegemist veel vähem efektiivse tehnoloogiaga, kuid, kuna materjalikulu (ja energiakulu) on sellisel tehnoloogial väiksem, siis tulevikus tõotavad need odavamat hinda toodetud energiaühiku kohta. Sellest põlvkonnast on kõige lootustandvamad *Graetzeli* tehnoloogial arendatavad rakud, mida loodetakse tulevikus hakata kandma plastikpinnale trükkides (Randolph & Tech, 2008).

Fotoelektriliste rakkude poolt toodetava maksimaalse voolu hulk ripub ära iga üksiku raku parameetritest, kõikudes 4tollisel (ca 100 cm²) vahvlil 3...3,8 A, 5tollisel vahvlil (ca 155 cm²) 4,6...6 A, 6tollisel (ca 225 cm²) vahvlil 6,8...8,5 A ja 8tollisel (ca 400 cm²) vahvlil vahemikus 13...15 A (siin ja edasi (Häberlin, 2012)). Müügil olevate fotoelektrilise rakkude poolt toodetav pinge on vahemikus 0,55...0,72 V, millele pole tavatarbimises erilist kasutust. Selleks, et kasutada neid kodumajapidamises või seadmete käitamiseks, tuleb nendest konstrueerida mitmerakulisi klastreid. Rakkude omavahelisel ühendamisel saab suurendada nende summaarset tootmisvõimsust: paralleelsel ühendamisel pinget ja järjestikusel ühendamisel nende poolt toodetavat voolu. Sama reegel kehtib ka mitmerakuliste klastrite (moodulid või paneelid) omavahelisel ühendamisel.

Mõistlik on ühendada omavahel 32...72 rakku ühtsesse kaitsekesta üheks paneeliks. Levinuim konstruktsioon on 36 rakku väljundpingega 15...20 V ja võimsusega 50...200 W, mis võimaldab toita autonoomset süsteemi pingega 12 V. Samas lubab 72rakuline moodul luua autonoomse süsteemi pingega 24 V. 1,5 m² suurune paneel, mis kaalub 18 kg (ja toodab 200 W võimsust) on käsitletav ka vaid ühe inimese poolt. Suurim polükristalliline paneel, mida rahvusvahelisel turul müüakse, koosneb 80 järjestikust rakust ja on väljundvõimsusega 300 W ning suurim monokristalliline paneel koosneb 96 rakust ja selle väljundvõimsus on 315 W (Häberlin, 2012). Suuremaid paneele on võimalik soovi järgi tellida spetsiaalsetelt ettevõtetelt.

Päikesepaneelide eluiga sõltud rakke ümbritseva kaitsekesta isolatsioonist neid ümbritsevast keskkonnast. Mõned kaupmehed prognoosivad oma toodetele kuni 30 aastast eluiga ja suurematel turgudel (nt USA) võib saada paneelile 2…5 aastat täisgarantiid ja 10…26 aastat garanteeritud tootlikust. Tüüpiliselt on paneeli katteklaas tehtud spetsiaalsest optiliselt kõrgekvaliteedilisest karastatud klaasist ning paneeli ümbritseb tugev alumiiniumist ääris. Kilejad rakud võivad paikneda ka plastikraamis.

Hoonetele integreerimiseks toodetakse spetsiaalseid raamita paneele, mille paigaldamisel tuleb, hoolimata paksemast kaitseklaasist, olla eriti ettevaatlik. Samuti on tootmises katustele paigaldatavad moodulid ja terviklahendused, mille raamistus erineb tavalisest ja mis võivad imiteerida sindleid või kive.

Kuigi esimene põlvkond päikesepaneele olid orienteeritud paiknema autonoomselt, siis tänapäeval on pea kõik paneelid ühendatud elektrivõrguga. Võrguühenduse peamine eelis on võimalus kasutada seda päeval toodetud energia „akumuleerimiseks“, et seda siis hiljem vajaduse järgi tarbida. Võib välja arvutada, et 5 kW päikesepaneeli korral tuleb sellise teenuse eest maksta laias laastus 14 eurot kuus (täpne summa sõltub tootlikkusest, tarbimisgraafikust ja valitud elektripaketist).

Päikesepaneeli tootlikkus on suurim, kui see on suunatud täpselt päikesele. Kuna aga päikese kõrgus ja asukoht horisondil päeva jooksul muutuvad, siis kaotab fikseeritud paigutusega päikesepaneel oma efektiivsust. Selle vältimiseks paigaldatakse paneele spetsiaalsetele ühe- või kaheteljelistele „jälgijatele“, mis võivad anda ca 30% rohkem elektrit

võrreldes fikseeritud süsteemiga (Randolph & Tech, 2008). Seejuures kehtib ligikaudu sama nii ühe- kui kaheteljeliste jälgijate kohta.

Tabel 8. Kuhu kaob energia päikesepaneelis?

	Kadu	Jääk, kW/m2	
		980	Maapinnale langeb
Paneeli kadu	86%		
		137,2	Ideaalse paigutuse korral püütakse
Ebatõhus nurk	30%		
		96,04	Fikseeritud nurgaga püütakse
Optiline kadu	10%		
		86,44	Reaalne energiahulk paneelist
Inverteri kadu	15%		
		73,47	Energiahulk võrku
Kadu kokku	92,50%		

Paneeli paigaldamisel fikseeritud asendisse tuleks kaaluda kahte võimalust. Esiteks olukorda, mille järgi paneel on orienteeritud igakuisele optimaalsele energiatoodangule (näiteks juhul kui on tegemist autonoomse süsteemiga). Sellisel juhul oleks mõistlik seada paneel pisut suurema nurga alla (15 kraadi lisaks), mis meie laiuskraadil vastab 75°le. Teine strateegia oleks optimeerida paneel suvisele toodangule ja seada paneeli nurk täpselt võrdseks laiuskraadiga.

Autonoomse päikesepaneelisüsteemi loomine on võrreldes võrku ühendatud süsteemiga keerulisem, kuna see on palju rohkem sõltuv igakuisest kiirgushulgast, paneeli kaldenurgast ja päikese paistmisest. Tänu akule ja tihti ka varugeneraatorile on need süsteemid keerulisemad, kallimad ja vajavad rohkem tähelepanu. Tüüpiliselt sisaldavad sellised paigaldised veel juhtsüsteemi akude laadimiseks ja vahelduvvoolu inverterit (vt peatükk 2.7). Kuna iga energiaühik on kallis, siis sunnib selline süsteem tõsiselt tegelema oma elektritarbimise vähendamisega.

4.4.4. PÄIKESEPANEELIDE PAIGALDAMINE

Hoonestatud piirkonnas on võimalik valida erinevate paigaldusviiside vahel (Häberlin, 2012). Paneelide paigaldamisel maapinnal tuleb arvestada täiendavat kulu, mis kaasneb kandekonstruktsiooni välja ehitamisega. Loomulikult eeldab selline paigaldus vaba aluspinna olemasolu, kuhu konstruktsioon rajada. Seejuures on oluline roll lumehooldusel, kuna pinnasele kuhjunud lumi võib oma raskusega paneele kahjustada.

Paneelide paigaldamiseks lamekatusele võib kasutada spetsiaalseid betoonist ankruid, mis hoiavad paneele katusepinnal ilma seda kahjustamata. Vältimaks tuulest tekkivat ohtu on paneelide kaldenurk võrdlemisi väike: 18…25°. Ankrud lubavad kasutada nii lamineeritud kui raamitud paneele. Sellise madala kalde probleemiks on lumi, mis võib hakata paneelidele kuhjuma. Toodetakse ka kõrgema kaldega ankruid, mille kasutamisel lumi kergemini paneelilt maha libiseb. Lamekatusele võib paigaldada ka massiivseid kandekonstruktsioone, kuid enne seda peaks veenduma, et katusel on olemas täiendav kandevõime (ca 100 kg/m²). Metallkonstruktsiooni puhul tuleb katusel kasutada maanduseks piksekaitset.

Viilkatusele paigaldatud paneelid tuleb tuleohutuse huvides täiendavalt isoleerida katusest, vältimaks võimalikku õnnetust paneelide tõsise rikke korral. Kui paneelid on katuse kohale juba installeeritud, muudab see igasuguse ligipääsu konstruktsiooni alla keeruliseks. Soovitatav on jätta vähemalt 10 cm vahe, mis lubab paneele õhutada (vähendades nii paneelide kuumenemisest tingitud kadusid) ja teha lumetõrjet.

Visuaalselt on atraktiivsem kui paneelid on integreeritud katusekattega. Selle puhul tuleb aga arvestada, et paneelid peavad tagama katuse ilmastikukindluse, mis tõstab konstruktsiooni maksumust. Eriti oluline on tagada paneelide õige ühendamine ning valeühendused peavad olema välditud. Soovitav on, et paneelide ühendused teeb paneelide paigaldaja ise, jättes elektrimontöörile üksnes võrguühenduse tegemise. Tähelepanu tuleb pöörata veel paneelide kinnitusele ja vajadusel kasutada tugevamaid klambreid kui katusematerjalile. Oluline on ka tagada õhu piisav juurdepääs paneelide tagusele.

Paneele on võimalik paigaldada ka hoone fassaadile, kuigi see vähendab paneelide efektiivsust 20…40%. See ei kehti mägistes piirkondades, kus ka fassaadile paigaldatavad paneelid on sama tõhusad kui katusele optimaalse nurga alla paigaldatud paneelid. Eeliseks on fassaadile paigaldatud paneelide kaitse lume kuhjumise vastu. Järgida tuleb paneelide ventileeritust. Peamiselt kasutatakse suuri plaate (300 W ja enam) või tellimusel tehtud laminaatpaneele ja sellisel juhul peab arvestama ca 100% kõrgema hinnaga. Erilist tähelepanu tuleb pöörata elektriohutusele ja välistada juhtmete valeühendused. Mõistlik on kasutada paneele fassaadielementidena, mitte nende katteks (eriti kui kaetakse väärtuslikke fassaadimaterjale).

Päikesepaneele võib integreerida ka paigaldistesse nagu kiirtee äärised ja müratõkked, sillad, viaduktid, tammid, katusealused jms.

5. NUTIKAD LAHENDUSED TARTU LINNAS

5.1. NÄIDE 1. ELURAJOON

Näiteks toodud Jaamamõisa elurajooni piirkonna planeerimisel on mõistlik järgida säästva planeerimise põhimõtteid, tagades:

- optimaalse ressursikasutuse,
- madala keskkonnakoormuse,

- suurima sotsiaalse lisaväärtuse.

Piirkonna ressursikasutuse juhtimiseks tuleb tagada, et kõik piirkonnas rajatavad hooned vastaksid kehtivale energiaklassile A. See garanteerib piirkonna tulevastele elanikele, et nende investeering kinnisvarasse on olemasolevate seaduste raames kõige paremini kaitstud. Samuti väldib see absurdset olukorda, kus värske kodu soetanud leibkond avastab, et nende püsikulud uude hoonesse kolimisega mitte ei lange, vaid suurenevad. Selged ja hästi paigas olevad kvaliteedinõuded ei kaitse mitte üksnes lõpptarbijat, vaid ka erinevaid teostajaid nende endi vigade eest. A-energiaklassi energiatõhususarvu või kaalutud energiaerikasutuse piirväärtused on:

Tabel 9. A-energiaklassi piirväärtused hoonetel

Hoone	Piirväärtus, kWh/m²a
Väikeelamu	≦ 50
Korterelamu	≦ 100
Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	≦ 100
Ärihoone	≦ 130
Avalik hoone	≦ 120
Kaubandushoone ja terminal	≦130
Haridushoone	≦ 90
Koolieelne lasteasutus	≦ 100
Tervishoiuhoone	≦ 270
Muu hoone	≦ 130

Piirkonna struktuur, ehitus- ja tänavajooned peaksid jälgima ilmakaari ja eelkõige hoonete asetust langeva päikesekiirguse suhtes. Hooned peaksid kümblema päikesevalguses võimaikult ohtralt ning olema tsoneeritud nii, et loomuliku valguse ja soojuse kasutamine oleks optimaalne. Juba planeeringu staadiumis tuleks hinnata piirkonna potentsiaali päikeseenergia kasutamiseks ning piirkond vastavalt struktureerida. Vajadusel tuleb töösse kaasata kliima- või energiatõhusa ehituse asjatundjaid. Hoonete energiatõhususele tuleb tähelepanu pöörata juba planeeringu staadiumis, luues eeldused hea hoone püstitamiseks.

Kaasaegne linn peab pakkuma inimestele võimalusi veeta oma aega avalikus ruumis: peab olema valgustatud, hooldatud ja kaitstud ekstreemsete tingimuste eest. Piirkonnas peab olema puhke- ja liikumisalasid, samuti rohealasid, jalutusteid jne. Kuna uuselamurajoonid on populaarsed noorte perede hulgas, siis peaks olema tähelepanu pööratud laste vaba aja veetmise võimalustele.

Keskkonnakoormuse vähendamiseks tuleb hoolikalt hinnata loodava linnaosa keskkonnamõju järgmistes kategooriates:

- kasutatavad materjalid ja nendega seotud reostus,
- prognoositav tarbimine ja sellega seotud reostus,
- transpordivajadus ja selle vähendamine,

Kasutatavad materjalid peaksid olema võimalikult looduslähedased ning madala keskkonnakoormusega. Kaaluda tasub kohaliku puidu kasutamist peamise ehitusmaterjalina. Puidu eeliseks on selle kättesaadavus ehitusel ja selle lihtne utiliseeritavus.

Tarbitava energia keskkonnamõju saab vähendada kui kasutada energia tootmiseks taastuvaid energiaallikaid nagu biokütused või päikesekiirgus. Kaaluda tasub madala energiatarbega tänavavalgustuse rajamist ning selle tarbeks energia tootmist päikesepaneelidega. Päikeseelektrit võiksid kasutada ka elektriautode laadimispunktid piirkonnas, samuti võiks nende abil olla tagatud korrusmajade üldelekter, valgustus parkides ja väljakutel jne.

Inimeste transpordivajadus piirkonnas peaks olema põhjalikult analüüsitud ja võimalikult vähendatud. Kõik peamised teenused peaksid olema veerandtunnise jalutuskäigu kaugusel. Piirkonnas peaks olema eelisarendatud kergliiklust autokasutajate arvelt ja välja ehitatud eraldi rajad jalgratturitele ja jalakäijatele. Autokasutust elamualadel tuleks piirata. Sõidukite parkimist hoovides tuleks täielikult vältida, samuti oleks parkimine piiratud tänaval. Parkimisvajaduse rahuldamiseks peaks piirkonnas olema parkimismaja(d). Piirkonda peaks linnaga siduma peamiselt jalgrattateed, kõnniteed ja ühistransport.

Piirkond peaks moodustama toimiva terviku suurema terviku osana. Lisaks eluruumidele tuleks luua ka teenuseid ja töökohti, ette näha võimalikke ühistegevuse vorme ja aidata kaasa kogukonna iseorganiseerumisele. Kõik teed, tänavad ja hooned peaksid olema ligipääsetavad puuetega inimestele, samuti ühistransport. Kohalike teenuseid tuleks eelisarendada, luues ettevõtjatele sobivat keskkonda ja pakkudes neile eeliseid suurtootjate ja –kaupmeeste ees.

5.1.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: PÄIKESELINN LINZ-PICHLING, AUSTRIA

Rajati: 1992…2005 (Kaiser, 1996) jt

Põhja-Austria provintsi pealinn Linz planeeris uue linnaosa ca 25000 inimesele, mis kasutab suures mahus ära päikeseenergiat. Üldised arhitektuurilised põhimõtted, mida arvestati piirkonna planeerimisel, viimistleti täpsemalt välja esimeste hoonete puhul. Vägagi piiratud eelarve juures tuli saavutada maksimaalne lubatud tihedus ja võimaluste rohkus erinevate kasutusviiside kombineerimisel (ka sotsiaalmajutus). Päikeseenergia kasutamine tuli integreerida inimestele aktsepteeritavas vormis, kuid tehniliselt täiesti töötavana. Lisaks kasutatakse piirkonnas kanalisatsioonivee eraldamist ja “halli” vee immutamist pinnasesse.

Arendus oli jagatud kompaktseteks segakasutusega linnalisteks aladeks, mis on koondunud jalutuskäigu kaugusele ümber keskväljaku. Väljak toimib sotsiaalse magnetina tõstmaks

linnaruumi kvaliteeti. Ühistransport ja kõnniteed, mis ulatuvad kõikidele aladele, on tehtud elanikele atraktiivsemaks autokasutusest.

Andmaks mitmekesist valikut ja püüdes vastu talla erinevatele vajadustele, on hoonete puhul kasutatud erinevaid ehitustüüpe, mis kõik on ühildatud päikeseenergia kasutamisega.

Erinevad hoonestusalad oma ruumiga on jagatud pisikesteks omanäolisteks piirkondadeks, mida ühendavad rohealad, puhketsoonid, mänguväljakud ja ühistegevuse alad.

Kasutatud transpordi- ja energialahendus annab piirkonna elanikele majandusliku eelise ning võimaldab jääkenergia (sh kohalikust koostootmisjaamast) võrku müüa.

5.2. NÄIDE 2. PÄIKESEJÕGI

Eesmärgiks on Emajõe koridori kujundamine linna läbivaks rohealaks, mille teenused tagatakse päikesepatareidega. Luuakse dünaamiline ja elav linnaruum, mis toimib läbi linna voolava rohekoridorina olles puhke- ja vabaajakeskusena avatud ka säästvale liiklusele.

Liikudes läbi linna märkame me, kuidas ruum meie ümber muutub, kandes järjest uusi ilmeid, ideid ja emotsioone. Oleks loomulik, kui samamoodi oleks pidevas muutumises jõe kaldapromenaad, pakkudes linnas liikujale välja uusi elamusi ja ahvatledes teda ikka ja jälle tagasi tulema. Selleks pakub võimalusi ruumi rikastamine uute ja põnevate lahendustega, mis kombineerivad endaga kaasaegseid energiatehnoloogiaid, valgustust, ruumielemente, tänavamööblit, kineetilist kunsti ja skulptuuri. Istepingid, mis peidavad endas valgusteid ja löövad pimeduse saabudes kutsuvalt helendama. Lihtsaid varjualuseid, kus jalutuskäigul pere saab puhkuseks istet võtta ja lahti pakkida oma morsi ja võileivad. Ilma trotsivad malelauad, mille ümber vanameestele meeldib päikeseliste ilmadega koguneda ning, mis oleks osaliselt kaitstud kõige kurjema tuule ja vihma eest. Võimlemispuud ja mänguplatsid. Rattateed ja jooksurajad. Jõepromenaad oleks kogu oma pikkuses turvaline, hooldatud ja valgustatud ning kogu tarbitav energia toodetakse sellesse istutatud päikesepaneelide abil, mis moodustavad erinevaid, sh ka kõige eriskummalisemaid vorme. Tehnoloogia, arhitektuuri ja teenuste koostoimel luuakse hubane ning meeleolukas avalik ruum.

5.3. NÄIDE 3. TARTU MUNITSIPAALKESKUS

Eesmärgiks on hoonekompleksi (Raekoja 3 / Küüni 3) renoveerimine loomuliku valguse, ventilatsiooni ja parema sisekliima tagamiseks. Linnakodanikule avaliku ruumi loomine linna asjade arutamiseks ja dialoogiks võimuesindajatega. Linnavalitsuse töö korraldamine kodanikukesksemaks. Hoone ettevalmistamine liginullenergiastandardi kasutuselevõtuks.

Kvartali hoonete kompleksse renoveerimise käigus suletakse sisehoov klaasist katusega, luues valgusküllase aatriumi, mis on täis värsket õhku ja inspireerivaid mõtteid. Aatriumi baaskorrus avatakse poolavaliku ruumina kõigile linnakodanikele, kellel on huvi linnavalitsuse tegevuse vastu, seal viiakse läbi avalike väljapanekuid, näitusi ja ühiseid kärajaid. Lisaks paiknevad seal universaalsed nõupidamisruumid kuni 10 inimesele. Ülemised korrused avatakse osaliselt ametnikele palkonitena, mis toimivad majasiseste kommunikatsiooniteedena ja võimaldavad osaliselt ümber kujundada hoonete

ruumiprogrammi. Aatriumi varjatud osadesse paigaldatakse soojustagastusega ventilatsioonisüsteem, ja rajatakse välja kõiki hoone osasid kattev ventilatsioonitorustik, mis tagab hoonetes suurepärase sisekliima, mille kvaliteeti rikastab aatriumi täitev maitsekas haljastus. Renoveerimisel rakendatakse passiivjahutuse ja – ventilatsiooni põhimõtteid nii, et kliimaseadmete kasutamiseks enam vajadust pole. Renoveeritud hooned ja loodud aatrium vastavad liginullenergia hoone standardile, mille energiakulu ei ületa 120 kWh/m²a. Perspektiivis saab katta Poe tn pikenduse poolse kvartali siseõue, kuhu tänase parkimisplatsi asemel saaks luua eripalgelise segakasutusega ruumi, mis rikastaks südalinna uute funktsioonidega. Samuti on võimalik kaaluda Küüni tänava katmist Küüni 3 piirnevas lõigus ajutise katusega lumeperioodiks, et meelitada inimesi linnaruumis aega veetma ka külmal ajal.

5.3.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: BIANCHI PALACE, PERUGIA, ITAALIA

Arhitektid: Francesca Sartogo, Massimo Bastiani, Valerio Calderaro, Rooma (Kaiser, 1996)

Kavandamine ja teostamine: 1992…1995

Bianchi palee Perugias on tüüpiline "*casa corte*", mis on püstitatud ümber keskse aatriumi. 18. sajandil läbiviidud ümberehitused on muutnud selle esialgset funktsiooni ja iseloomu ning kujundanud sellest omavalitsuse administratiivhoone. Projekti eesmärgiks on taastada hoone esialgne iseloom ja bioklimaatiline struktuur. Aatrium taastatakse oma esialgsel kujul ja funktsioonis ning optimeeritakse selle soojuste salvestamisvõimalused ja õhu väljatõmbevõime. Traditsiooniline *impluvium* (märkus: peaks olema arvatavasti *compluvium*) katus kombineeritakse päikesepaneelide ja holograafiliste klaaspaneelidega, mille ülesandeks on päevavalguse filtreerimine ja suunamine aatriumisse, seda soojendades ja parandades selle valgustust.

5.3.2. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: REICHSTAG, BERLIIN, SAKSAMAA

Arhitektid: Sir Norman Foster and Partners, London (Kaiser, 1996)

Planeerimine ja teostamine 1993...1997

Renoveerimisprojekt on võtab arvesse nelja peamist tegurit:

- *Bundestagi* töökorraldust;
- hoone ajalugu;
- energiat ja keskkonda;
- majanduslike vahendeid, mis on vajalikud projekti läbiviimiseks.

Hoone seni blokeeritud peasissekäik taasavatakse kõikidele külastajatele kui pidulik värav demokraatiale. On väga oluline, et demokraatliku riigi toimimine oleks avatud ja läbinähtav kõikidele. Hoone katus kujundatakse ümber suuremahuliseks avalikuks ruumiks, mis sümboliseerib uut taasühinenud Saksa riiki. Katuse struktuur peegeldab päevavalgust selle all asuvasse Istungite Saali ning ühtlasi ventileerib ruume loomulikul viisil. Katusele paigaldatakse osana hoone energiasüsteemist ka päikesepaneelid, samuti paikneb seal kõrgendatud vaateplatvorm. Külastajatele avaneb mitte üksnes suurepärane panoraam

linnale, vaid nad saavad olla ka jälgija rollis poliitikute tegemistele, kes neile kui valijatele õigupoolest aru peavad andma.

5.4. NÄIDE 4. KOOL

Klassiruumi eripäraks on sisekliima tagamise tähtsus, kuna saastunud õhuga ruumis ei suuda õpilased klassis toimuvale piisavalt keskenduda ning nende õpivõime langeb. Seetõttu on oluline luua õpikeskkond, milles on palju loomulikku valgust, avarust ja värsket õhku. Nii õpilased, õpetajad kui ka personal peab ennast koolis tundma hästi ja turvaliselt.

Näitena kasutatud Tartu Kivilinna Gümnaasiumi koolihoone on siseõuega betoonpaneelidest tüüpprojekt, mis valmis 1986. aastal ja tüüpiliselt selle perioodi hoonetele toimus ventileerimine läbi akende. Tänaseks on endised hõredad aknad välja vahetatud uute ja õhukindlate vastu, mis on tekitanud ruumides alaventileerituse ning süsinikdioksiidi ohtliku ülekülluse. Teisalt on mahuka hoonekompleksi sundventileerimine keeruline ülesanne ja lahendus oleks möödapääsmatult energiamahukas. Selle asemel oleks soovitatav panustada ruumide osalisele loomulikule ventilatsioonile, kus õhu eelsoojendamine toimuks päikesekiirguse toimel ja ruumide ülekütmist kevadel saaks vältida sirmide paigaldamisega.

Kaaluda tasub topeltfassaadi paigaldamist, kus kahe fassaadi vahele jääv õhukoridor täidaks õhu loomuliku eelsoojendamisega reservuaari ülesannet. Värske õhk liiguks klassiruumi läbi akende tuulutusavade ning tõmmatakse läbi koridoride hoonest välja. Väljuva õhu jääksoojust võib ära kasutada suuremate ruumide (aula, võimla) ventileerimiseks vajaliku sundventilatsiooni eelsoojenduseks või ujula tarbeks sooja vee tootmiseks. Täiendavalt võib osaliselt sulgeda hoone lõunasse avaneva sisehoovi, rajades sinna valgusküllase kolme korrust läbiva aatriumi, mida võib samuti kasutada loomuliku ventilatsiooniõhu eelsoojenduseks.

Hoone energiavarustuse parandamiseks saab paigaldada päikesepaneele välisele fassaadile, samuti hoone massiivsele lamekatusele. Katusepinda saab kasutada ka vaakumtorudega päikesekollektorite paigaldamiseks, mille poolt toodetud sooja vett saab kasutada põrandaküttesüsteemis ja basseini vee soojendamiseks. Võimalusi pakub ka kooli avar territoorium, kuhu on võimalik paigaldada maaküttekontuuri ning kombineerida seda päikeseküttega ja päikesepaneelide abil toodetud elektriga. Hoone energiavajaduse katteks vajamineva tuule- ja päikesetehnoloogiate investeeringu maht on toodud käesoleva töö lisas nr 5.

Kool on oluline keskkond noorte inimeste maailmavaate ja hoiakute kujundamisel. Innovaatilised energia- ja keskkonnatehnoloogiad, mida kooli territooriumil nähtavalt ja arusaadavalt kasutatakse, julgustavad ja innustavad õpilasi tegelema tulevikus inseneeria ning selle aluseks olevate fundamentaalsete reaalteadustega. Ühtlasi aitab see kasvatada uusi põlvkondi, kes hoolivad oma elukeskkonnast selle kõige avaramas tähenduses.

5.4.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: RAHVUSVAHELINE KOOL LYONIS

Arhitektid: Jourda & Peraudin, Lyon (Kaiser, 1996)

Koolihoone paikneb kaldapealsel vaatega Rhone ja Saone jõgede ühinemisele, Gerlandi pargi sissepääsu läheduses. Koolihoone ida- ja lõunafassaad on täielikult kaetud klaasiga, mida omakorda kaitsevad õppetundide ajal reguleeritavad sirmid. Hoonest idas paikneb nn elukeskus, kus asuvad kõigi kolme kooliastme (algkoolist keskkoolini) ühised ruumid. See on kattetekstiili all paiknev külake, kuhu on koondunud õppekeskuse üldhooned. Kooli koridoridega ühendatuna paiknevad seal ühise jalutustee ääres raamatukogu, mängude tuba, söökla, gümnaasiumi lisahooned, konverentsiala ja laborid. Nende ümber paikneb ilmastiku eest kaitstuna avalik ruum oma teede, terasside ja pargiga.

5.5. NÄIDE 5. LASTEAED

Lasteaed vajab palju loomulikku valgust ja värsket õhku. Samal ajal peab ruumide temperatuur olema mugav ja hästi jaotatud. Õhuvahetus peab olema hea, õhk peab olema tolmu- ja allergeenide vaba ning sisaldama piisaval hulgal niiskust. Ruumide sisekujunduses tohib vaid minimaalselt kasutada polümeere ja plastmaterjale (värvid, tekstiilid, kattematerjalid jne) – materjalid peavad olema võimalikult naturaalsed. Alles väljakujuneva organismi jaoks on hea sisekliima erakordselt tähtis ja mängib olulist rolli hingamisteede vaevuste ja teiste elukeskkonnast tulevate terviseriskide vähendamisel. Erinevalt täiskasvanutest pole lastel tihti võimalik oma ebamugavustunnet selgelt ja arusaadavalt väljendada, sama kehtib just erivajadustega laste kohta. Seda suurem vastutus on täiskasvanutel lastele igapäevase hea keskkonna loomisel.

Näitena kasutatav Pääsupesa lasteaed Tartus on rajatud 1980ndate algusaastatel ja nagu kõik tolleaegsed ehitised kannatab ka see hoone tänapäeval alaventileerituse ja hapnikupuuduse käes. Hoone paikneb Annelinnas, seda ümbritsevad viiekorruselised elumajad ja otsest päikesevalgust langeb hoonele sellevõrra vähem. Arhitektuuriliselt meenutab hoone H tähte, mis on paigutatud maastikule põhja-lõunasuunaliselt. Selliste tingimuste juures pole võimalik hoone energiavarustust tuule- ja päikseenergia tehnoloogiatega oluliselt parandada. Kaaluda võib päikesepaneelide paigaldamist hoone katusele, kuid seejuures tuleb arvestada väiksema otsese kiirgushulgaga ning selle võrra väiksema efektiivsusega. Kaaluda võib ka maaküttekontuuri paigaldamist lasteaia võrdlemisi suurele territooriumile, kuid väiksemast kiirgushulgast tingituna on pinnasese absorbeerunud energia hulk madalam ja võib tekkida oht pinnase keltsastumiseks st maapinna pikaajaliseks jäätumiseks.

Võib kaaluda päikest püüdva sirmi paigaldamist hoone kohale, mis pikendaks otsese päikesevalguse kasutamist hoones. Samuti võib kaaluda aatriumi või talveaia rajamist hoone lõunapoolsesse sisehoovi, mida samuti saab ühildada päikest püüdvate, koondavate ja juhtivate elementidega. Sellist lahendust saab ühildada ka loomuliku ventilatsiooni elementidega, parandades nii hoone sisekliima kvaliteeti. Nutikalt rajatud sisehaljastus ning sellega kombineeritud ventilatsioonisüsteem rikastab õhku niiskusega ja ioniseerib hapnikku, muutes selle organismile paremini omastatavaks. Meid ümbritsev rohelus tõstab elukeskkonna kvaliteeti, kompenseerides põhjamaist pikka talve ning vähendades laste ja personali stressiohtu. Hoone energiavajaduse katteks vajamineva tuule- ja päikesetehnoloogiate investeeringu maht on toodud käesoleva töö lisas nr 5.

5.6. NÄIDE 6. HOOLDEKODU

Munitsipaalobjektide korral, nagu seda on hooldekodu, tuleb kõik ehitusarvestused teha mitte soetushinna alusel, vaid hoone eluea kogumaksumuse alusel. Oluline pole „hinna ja kvaliteedi suhe“ hoone rajamisel (see on number, mida otsustusprotsessis ei peaks kasutama), vaid reaalne raha hulk, mis kogukond objekti olemasolu eest kokkuvõttes maksab. Igale munitsipaalhoonele tuleb koostada eluea maksumuse analüüs ja viia säästumeetmeid ellu sellest lähtuvalt.

Näitena kasutatav Liiva 32 hooldekodu asub Tartu põhjaservas, otse jõeorgu viival seljandikul. Maapinna kõrgus langeb edelasuunas 60 meetrilt 31 meetrini, mille tulemusel naudib hoone heldelt päikesevalgust kogu põhjamaise päeva jooksul. Päikesekiirguse püüdmist vähendab paraku hoone arhitektuur. Hoone on rajatud T-tähe kujuliselt, selle esimene tiib pikeneb kirde-edela suunal ja teine tiib sellega risti loode-kagu suunal. Lisaks päikeseenergiale võib kaaluda ka hoonega integreeritud vertikaaltuulikute kasutamist kui need ei hakka varjutama päikesepaneele. Hoone energiavajaduse katteks vajamineva tuule- ja päikesetehnoloogiate investeeringu maht on toodud käesoleva töö lisas nr 5.

Soovitavtav on renoveerida hoone vastavalt nn pluss-energiamaja põhimõtetele, kuna see tagab hoone väikseima kogukulu 50 aastase perioodi jooksul. Hoone tuleb renoveerida vastavalt netonullenergiahoone (Vabariigi Valitsus, 30.08.2012) standardile, luues samal ajal lokaalseid tootmisvõimsusi mahus, mis tagab positiivse energiabilansi. Hinnanguliselt võiks see olla ca 10…20% suurem hoone kogu tarbimisvõimsusest, kuid lõplik tootmisvõimsus tuleb selgitada hoone elutsüklianalüüsi käigus. Elutsüklianalüüs peab hindama hoone ehitamist, renoveerimist, hooldust ja kommunaalkulusid (rahalises, energia- ja keskkonnakoormuse ühikutes), kuid ka võrgutasusid jm kaudseid kulusid, leides optimaalse tasakaalu täna teada oleva informatsiooni alusel.

5.7. NÄIDE 7. VEEKESKUS

Näitena kasutatav veekeskus Aura on üks vähestest Tartu objektidest, mis on olnud avatud elektriturul alates selle osalisest avamisest 2010. a. Aastase elektrienergiatarbega, mis ületab 2 MWh (Lääts, 2013) on tegemist linna ühe suurima elektritarbijaga. Kui me soovime selle elektrivajaduse katta toodanguga päikesepaneelidest, vajame me ligikaudu 2 hektarit paneelipinda, mis linnakeskkonnas kipub olema ebareaalne (isegi kui mitte arvestada miljonitesse eurodesse ulatuvat investeeringumahtu). Ilmselt pole lahendus mitte tuule- ja päiksetehnoloogiate kasutamises, vaid veekeskuse integreerimises ühega Tartus asuvatest biokütust kasutavatest soojus- või koostootmisjaamadest ning neis toodetud soojuse kasutamises veekeskuse tehnoloogilistes protsessides elektri asemel. See võib ühtlasi tähendada uue veekeskuse rajamist Luunjasse (Tartu vald) või FI linnaossa (Aardla katlamaja lähedusse). Koostootmisjaama ja veekeskuse koostöö on ka energiatootjale kasulik (vt peatükk 1.1.3), kuna annab sellele stabiilse soojuskoormuse, mis ka soojematel kuudel tagab koostootmisprotsessi tõhususe. Paraku väljub selline lahendus käesoleva töö raamidest ja siinkohal täpsemat käsitlust ei leia. Kui aga uus veekeskus rajatakse, siis tuleks kaaluda selle rajamist liginullenergiahoonena, rakendades selles mittetehnoloogilistes protsessides päikese otsekasutust hoone kütmisel, ventileerimisel ja jahutamisel.

5.7.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: ODENWALDI KOOLI SPORDIKESKUS SAKSAMAAL

Arhitekt: plus+, Peter Hübner, Neckartenzlingen (Kaiser, 1996)

Eesmärgiks oli luua hästi sobituv hoone, mille rajamise ja käidukulud oleksid minimaalsed. Hoone klaasist väliskest, mida varjutavad juhitavad sirmid, toimib ühtlasi looduslikku valgust kasutava valgusallikana ja rakendab loomuliku ventilatsiooni hoone sisekliima tagamisel. Hoonesse juhitakse õhku läbi põranda maa-alustest eelsoojendist. Tänu erinevate ekspertide koostööle hoone kliima tagamisel oli võimalik vähendada tehnosüsteemide vajadust hoones.

5.8. NÄIDE 8. ERAMU ÜLDPINNAGA 130 M²

Kesk- ja Põhja-Euroopa energiasäästlikus arhitektuuris on märgata kahte suunda, mis eristuvad kõige selgemalt individuaalehituses ning pigem keskmiste ja väiksemate objektide juures. Esimene neist on nn targa maja kontseptsioon, mis on teostatud kaasaegseid info- ja kommunikatsioonitehnoloogiad rakendades ning üles ehitatud elukeskkonna maksimaalsele kontrollile ja juhtimisele. Selline hoone “teab”, millal see on asustatud ja millal mitte ning seadistab keskkonda selle teadmise põhjal, lülitades sisse ja välja kütte- ja ventilatsioonisüsteeme. Sellised süsteemid lubavad tekitada kasutajaprofiile, mis järgivad konkreetse inimese soove ja eelistusi. Tüüpiliselt on tegemist hoonetega, mille soojatarve on väga madal, jäädes näiteks passiivmajal alla 15 kWh/m²a, samal ajal kui elektritarve on ebaproportsionaalselt suur, küündides 100 kWh/m²a ja isegi enam. Teine silmapaistev omadus on hoonekarbi isolatsioonimaterjali suur hulk, mis näiteks penoplasti kasutamise korral tähendab hoonekarbi suurt salvestatud energiahulka (ja keskkonnakoormust, mis tuleneb selle materjali tootmisest).

Teist suunda võiks nimetada ökoehituseks, kuna see keskendub võimalikult madalale keskkonnamõjule kogu hoone eluea jooksul ja milles vaadeldakse nii kasutatud materjale, tarbitud energiat ja selle tulemusena mõjutatud keskkonda. Lisaks püütakse hinnata ka hoone utiliseerimisega kaasnevat. Kasutatavateks materjalide hulgas näeme tüüpiliselt puitu, klaasi, terast, alumiiniumi, vähem betooni ja plaste. Isolatsioonis kasutatakse looduslike materjali nagu mineraalsed villad, aga ka näiteks põhk. Oluline on mitte üksnes majakarbi hoolikas isoleerimine keskkonnast, vaid selle „avamine“ päikesevalgusele ja – soojusele. Sellised majad paiknevad eranditult suurte akendega päikeselise lõuna suunas ja põhjakülg on pigem suletud. Samuti kasutatakse konstruktsioonis kõrget suvepäikest varjutavaid sirme (millele tihti on paigaldatud päikesepaneelid) ja loomuliku ventilatsiooni. Sellist tüüpi konstruktsiooni puhul pole võimalik saavutada nullilähedast soojatarbimist, kuid seda püütakse kompenseerida lokaalse energiatootmisega päikesekollektorite ja fotoelektriliste paneelide abil. Ökoehitusega on võimalik luua madala energiatarbega maja, mille energiakulu jääb vahemiku 50…75 kWh/m²a.

5.8.1. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: TERASSMAJA PROTOTÜÜP, LONDON, SUURBRITANNIA

Arhitekt: Bill Dunsten, London (Kaiser, 1996)

Kavandamine ja elluviimine: 1993-1995.a.

Igal majapidamise hingeks on oma isiklik „nutikas“ päikeseline terass, mida saab kasutada vastavalt aastaajale toiduainete kasvatamiseks, energia püüdmiseks või lisaruumina elutegevuseks. Klaasist terass (nn kasvuhoone) on täielikult automatiseeritud ning kastab, soojendab, jahutab ja tuulutab ennast ise. Selle töös ja tootmises on kasutatud madala kuluga isetoodetud materjale. Materjalide ja toidu kasvatamine ja omal käel tootmine on selle kodu igapäevaseks tegevuseks ja vaba-aja täiteks kahele põlvkonnale, kes selles elavad ja töötavad. Potipõllundus on kombineeritud vaba aja täiteks tehtava aiapidamisega, ühendades omavahel nii kaks äärelinnaliku eluviisi tüüpilist ajatäidet ja luues kestliku linnaelu. Terassmaja prototüüp on elanike endi ehitatud, madala eelarvega ja madala salvestatud energiahulgaga. Ehitamist finantseeriti 95% mahus kohalikust ehituskooperatiivist. Hoonesse on planeeritud integreerida ka päikesepaneelid kui nende hind ajajooksul taskukohaseks muutub. Energiatarve hoones on 63 kWh/m²a ja tänu päikseenergia ärakasutamisele on suudetud kokku hoida hinnanguliselt 23 kWh/m²a. Hoone tarbib sooja 20% võrra vähem kui näevad ette UK miinimumnõuded.

5.9. NÄIDE 9. KORRUSMAJA KAHE JA VIIE KORRUSEGA

Korrusmaja energiatõhususe parandamine on tihti problemaatiline, kuna hoone on orienteeritud pigem tänavajoone, mitte ilmakaarte järgi. Seetõttu ei on korterelamute fassaadid orienteeritud nii, et need ei aita krundile langevat päikest hoone soojendamiseks ja valgustamiseks ära kasutada. See on probleemne nii olemasolevate, ligi sajandivanustele elamutele kui ka uute värskelt ehitatud majadele. Hoonete energiatõhususe tõstmiseks peaks seda lähenemisviisi korrigeerima.

Kahekorruseline kuue korteriga elamu on kaasaegse energiatõhusa arhitektuuri „pailaps“. Tegemist on arendusega, milles saab kasutada ära kõiki individuaalhoone nõkse ja kavalusi nagu avarad terassid, lõunasse avatud aknad, õhu loomulik tsirkulatsioon, nutikad sirmid, mis kaitsevad ruume ülekuumenemise eest jne, kuid seda kõike suuremas, mastaapsemas vormis. See on ka suurepärane ruumiline maht avara kahekorruselise kontorihoone loomiseks.

Viiekorruseline energiatõhus hoone on kõike muud kui lihtne ülesanne. See on tarbija, mille tarbimise maht ja tihedus, samuti hoone välispinna ja ruumala omavaheline suhe ei soodusta energiatõhusaid lahendusi.

Kui hoone paikneb fassaadiga lõuna suunas, siis võib kaaluda fassaadi katmist *Trombe*'i seinaga, mis toimib topeltfassaadina, luues hoone ette õhupadja, mida saab kasutada loomuliku ventilatsiooni pakkumiseks. Võib kaaluda päikesepaneelide paigaldamist katusele, mis kataks üldise elektrikulu trepikodades ja keldrites.

5.9.1. LOBACHI KARPMAJAD (INSBRÜKI LÄHISTEL), AUSTRIA

Arhitektid: Baumschlager & Eberle, Lochau (Schittitch, 2003)

Viis korrusmaja, kokku 298 korteriga, mille mahu ja pindala suhe on energiatõhusa optimumi lähedane (0,2) ja mille soojustarve ei ületa 20 kWh/m²a. See oli neli korda madalam kui uute

kortermajade tüüpiline energiatarve Austrias. Hooned paiknevad üksteise suhtes maleruudustikuna, lubades sisehoovidesse päikest ja värsket õhku. Kõikide hoonete katustel paiknevad päikesekollektorid, sooja tarbevee, keskkütte ja ventilatsiooniõhu eelsoojendamiseks. Korterites paiknevad individuaalsed ventilatsiooni ja kütteseadmed on juhitud paari lihtsa nupuga. Külmaperioodiks varustab keskküttesüsteemi gaasiboiler, kuid tänu hoone heale välisele isolatsioonile, pole vajadus selle järele suur.

5.9.2. RAHVUSVAHELINE KOGEMUS: STADLAU MAJUTUS, VIIN, AUSTRIA

Arhitektid: Arge-Martin Trebersburg, Georg Reinberg, Erich Raith, Viin (Kaiser, 1996)

Valmis: 1988-1991

Projekt paikneb Viini linna äärealal. Omaloodud majade miljöö on osa ka uute hoonete disainist. Kõik korterid on vaatega lõunasse. Koos kultuurimajaga moodustavad nad väikse kogukonna taastatud rannajoone ääres. Hooned on rangelt tsoneeritud. Põhjakaares asuvad kõik abiruumid ja trepid. Keskmises tsoonis on välistatud kõik bioklimaatilised häiringud ja see on vaatega lõunasse. Selles asuvad elu- ja puhkeruumid, sh magamistoad. Lõunatsoon sisaldab hoonega integreeritud klaasterasse, toimib üleminekukeskkonnana õuele ning suvel päikesevarju. Hoonetes kasutatakse otsest päikeseenergiat ning need on tugevalt soojustatud. Majad ehitati avaliku sektori poolt toetatud Viini ehitusprogrammi abil üüripindadeks.

6. TSITEERITUD TEOSED

Adler, M., 2013. *Väikeelamute renoveerimistoetuse andmed.* Tallinn: SA KredEx.

Elektrilevi OÜ, 2013. *Liitumine mikrotootjale.* [Online]
Available at: https://www.elektrilevi.ee/et/liitumine-mikrotootjale
[Accessed 25 november 2013].

Euroopa Komisjon, 2007. *Teatis Euroopa Ülemkogule ja Euroopa Parlamendile, KOM(2007) 1.* Brüssel: Eurropa Komisjon.

Euroopa Komisjon, 8.3.2011. *Konkurentsivõimeline vähese CO2-heitega majandus aastaks 2050 - edenemiskava. KOM(2011) 112.* Brüssel: Euroopa Komisjon.

Euroopa Parlament, 19.05.2010. *Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2010/31/EL, hoonete energiatõhususe kohta.* Brüssel: s.n.

Euroopa Parlament, 2009. *Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta (2009/28/EÜ).* Brüssel: Euroopa Parlament.

EuroStat, 2013. *Europe 2020 headline indicators.* [Online]
Available at:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/europe_2020_indicators/headline_indicators
[Accessed 25 november 2013].

Frei, C., 2008. What if...? Utility vision 2020. *Energy Policy,* Issue 36.

Geoffrey, C., 2012. Sunny uplands: alternative energy will no longer be alternative. *The Economist - The World 2013*, 21 november.

GWEC, 2013. *Global Wind Energy Council.* [Online]
Available at: http://www.gwec.net
[Accessed 25 11 2013].

Hodson, M. & Marvin, S., 2010. *World Cities and Climate Change.* USA: Open University Press.

Häberlin, H., 2012. *Photovoltaics System Design and Practice.* NY, USA: Wiley.

Kaiser, N., 1996. *Solar Energy in Architecture and Urban Planning.* Berliin: Prestel.

Ken, W., 2012. Solar Energy is ready. U.S. isn't. *Bloomberg Businessweek*, 25 oktoober.

Kikas, M., 2010. *Andmed keskmise aastase energiakulu arvestuse kohta Lõuna-Eestis.* Tartu: TREA.

Kõiv, T. A. & Rant, A., 2013. *Hoonete küte.* Tallinn: TTÜ kirjastus.

Lillipuu, A., 2013. *Tuule- ja päikeseenergia väiketootmine Eestis,* Tartu: Eesti Maaülikooli tehnikainstituut.

Lääts, T., 2013. *Andmed Aura tarbimise kohta.* Tartu: OÜ Tartu Veekeskus.

OECD, 1995. *Urban Energy Handbook.* Paris: CEDEX 16.

Pinn, M., Pinn, R. & Pinn, M., 2012. *Elekter päikesest ja tuulest.* Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast.

Randolph, J. & Tech, V., 2008. *Energy for Sustainability.* Washington: Island Press.

Renewable UK, 2010. *Publications.* [Online]
[Accessed 2013].

Riigikogu, 1.3.2013. *Elektrituruseadus.* Tallinn: Riigi Teataja.

Saaremäe, I., 2013. *Tõraveres EMHI jaamas mõõdetud ilmastikuandmed.* Tartu: EMHI.

Schittitch, C., 2003. *Solar Architecture.* München: Detail.

Sotsiaalminister, 4.3.2002. *Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja müratasemе mõõtmise meetodid,* Tallinn: Riigi Teataja.

Stanicovic, S., Campell, N. & Harries, A., 2009. *Urban Wind Energy.* 1 ed. UK: Earthscan.

Šavel, V., 2007. *Elektrienergia tootmine taastuvatest energiaallikatest 2005-2007.* Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

TREA, 2011. *Tartu linna säästva elamumajanduse programm.* Tartu: TREA.

Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013. *Tuuleenergia Eestis.* [Online]
Available at: http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/
[Accessed 25 november 2013].

Uiga, J., 2013. *Energia hind lõpptarbijale.* Tallinn: Energiatalgud.

Vabariigi Valitsus, 2008. *Korraldus nr 35, Eesti eluasemevaldkonna arengukava 2008-2013.* Tallinn: Riigi Teataja.

Vabariigi Valitsus, 26. november 2010. *Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020, korraldus nr 452.* Tallinn: Riigi Teataja.

Vabariigi Valitsus, 26.02.2009. *Korraldus nr 74, elektrimajanduse arengukava aastani 2018.* Tallinn: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Vabariigi Valitsus, 30.08.2012. *Määrus nr 68: energiatõhususe miinimumnõuded.* Tallinn: Riigi Teataja.

Vabariigi Valitsus, 5.11.2007. *Korraldus nr 485, energiasäästu sihtprogramm 2007-2013.* Tallinn: Riigi Teataja.

7. LISAD

7.1. LISA 1. ASENDIPLAANID

Joonis L1. Päikesepaneelide kasutusalad

Joonis L2. Tuulegeneraatorite kasutusalad

Joonis L3. Tuulegeneraatorite sobivusalad maapinna kõrguste järgi

7.2. LISA 2. FOTOMONTAAŽID

7.3. LISA 3. TUULE- JA PÄIKESEENERGIA MIKROTOOTJAD ELEKTRILEVI VÕRGUS

7.4. LISA 4. TAOTLUSE MENETLEMINE JA OTSUSTUSPROTSESS

7.5. LISA 5. TUULEGENERAATORITE JA PÄIKESEPANEELIDE HINNAPAKKUMISED NÄIDISOBJEKTIDELE

Joonis L4. Fortuuna 32 hoone puhul on võimalik fassaadil olev metalli osa katta paneelidega

Joonis L5. Maja soojustamisel fassaadi ilmestamiseks saab kasutada paneele

Joonis L6. Tüüpiline kahekorruseline elumaja

Joonis L7. Fassaadi katmine paneelidega

Joonis L8. Päikesepiiraja päikesepaneelidest

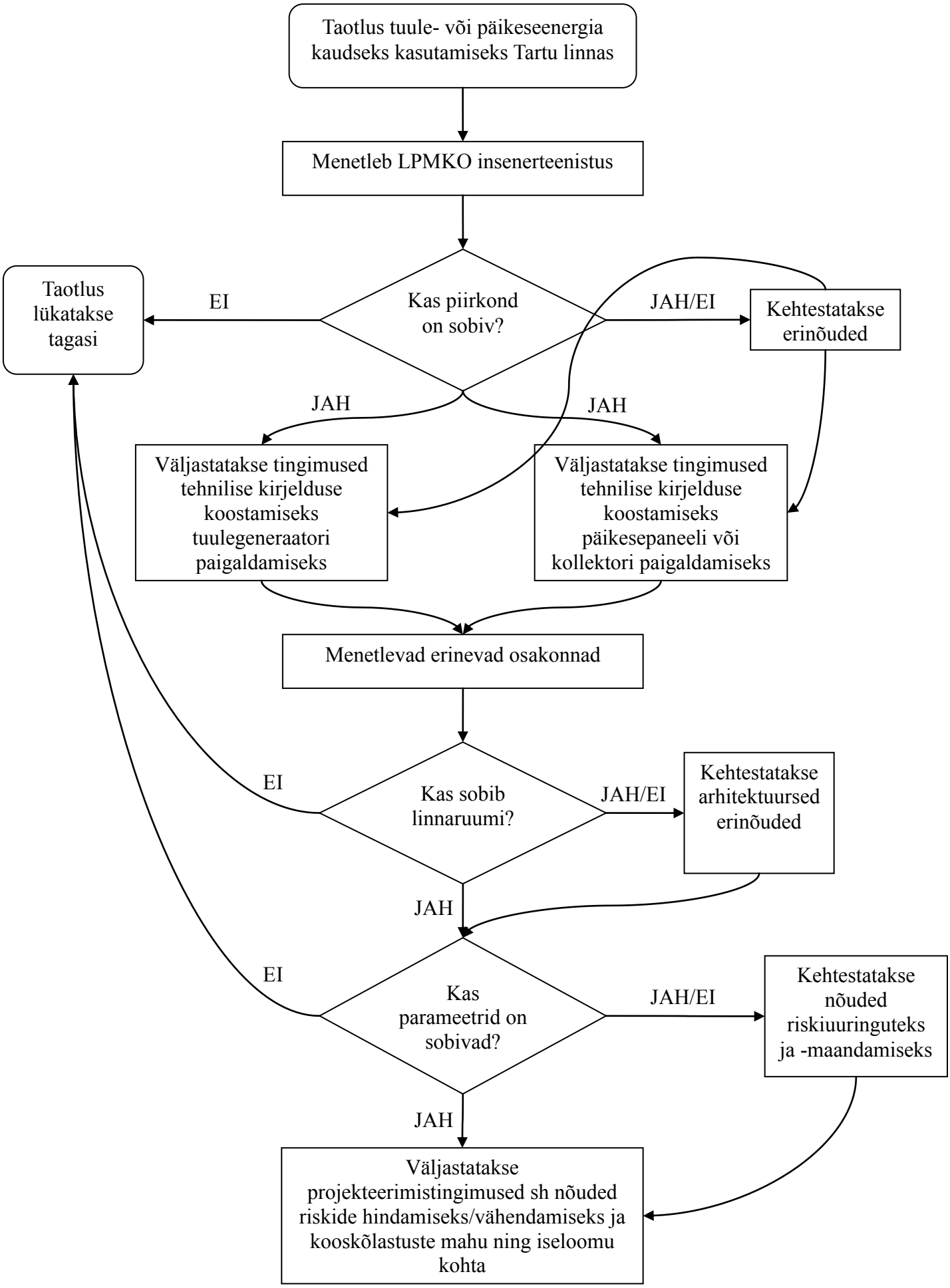
Joonis L9. Tänavamööbli katuse katmine päikesepaneelidega

Energiaallikas	Võimsus (kW)	Objekti aadress	Võrgulepingu sõlmimise aeg	Kredex
tuul	10	Keila, Harjumaa	aug.12	*
päike	4,2	Tabasalu Harku vald Harjumaa	sept.13	*
päike	9	Juminda küla Kuusalu Harjumaa	okt.12	*
päike	3	Saku, Harjumaa	nov.12	*
tuul	11	Igavere küla Raasiku vald Harjumaa	apr.13	*
tuul	11	Liivamäe küla Jõelähtme vald Harjumaa	veebr.13	*
päike	3,7	Linnaaluse küla Kehtna vald Raplamaa	jaan.13	
päike	3	Sulupere küla Rapla vald Raplamaa	okt.12	*
tuul	10,8	Igavere küla Raasiku vald Harjumaa	okt.12	
päike	2,5	Türi, Järvamaa	aug.12	*
päike	3,7	Kiiu, Kuusalu vald	veebr.13	*
päike	9	Kriilevälja, Paide vald, Järvamaa	sept.12	*
päike	3,7	Tallinn	nov.12	*
päike	2,5	Vääna-Jõesuu küla Harku vald	nov.12	
päike	3	Tallinn	jaan.13	*
päike	3	Valkse küla Keila vald Harju maakond	nov.12	
tuul	10	Viti Harku vald Harjumaa	juuli.13	
päike	9	Seidla küla Albu vald Järvamaa	mai.13	*
päike	3,7	Märjamaa Rapla maakond	veebr.13	*
päike	10	Tallinn	aug.13	*
päike	5,5	Iru küla Jõelähtme vald Harjumaa	märts.13	
päike	10	Kaberla Kuusalu vald Harjumaa	juuli.13	
päike	11	Ilmandu küla Harku vald Harjumaa	mai.13	
päike	3,7	Tallinn	juuli.13	*
päike	3,7	Krei küla Kose vald Harjumaa	aug.13	
päike	10	Tiskre küla Harku vald Harjumaa	juuni.13	
päike	3	Käesalu küla Keila vald Harjumaa	mai.13	
päike	6	Tallinn	juuli.13	*
päike	10,1	Patika küla Rae vald Harju maakond	juuni.13	*
päike	5,5	Pirgu küla Juuru vald Rapla maakond	juuni.13	
päike	3,7	Suurupi küla Harku vald Harju maakond	aug.13	
päike	2,5	Tallinn	aug.13	*
päike	5,5	Väätsa alvik Väätsa vald Järvamaa	juuli.13	
päike	4,2	Tallinn	aug.13	*
päike	2,5	Naage küla Harku vald Harjumaa	juuni.13	
päike	5,5	Tallinn	juuli.13	*
päike	8,3	Luige Kiili vald Harjumaa	juuli.13	
päike	5,5	Ilmandu küla Harku vald Harjumaa	juuni.13	
päike	10,8	Hageri küla Kohila vald Raplamaa	sept.13	*
päike	10,1	Alliku küla Saue vald Harjumaa	juuli.13	*
päike	10	Kose vald Kose alevik Harjumaa	sept.13	
päike	5	Koogimäe küla Kehtna vald Rapla maakond	sept.13	
päike	3,6	Salmistu küla Kuusalu vald Harju maakond	sept.13	
päike	3,3	Tallinn	sept.13	*
päike	10	Mäepealse küla Kuusalu vald Harju maakonc	sept.13	
päike	5,5	Kehra Anija vald Harjumaa	sept.13	
päike	6	Türi Järvamaa	aug.13	
päike	3	Kohila alev Kohila vald Rapla maakond	sept.13	

päike	9,9	Laiaküla küla Viimsi vald Harju maakond	sept.13	
tuul	10	Kääpa, Saare vald, Jõgevamaa	nov.12	
päike	6	Kõrveküla Tartu vald Tartmaa	sept.12	*
päike	9	Tartu linn Tartu maakond	jaan.13	*
päike	10	Ülenurme Tartumaa	nov.12	
päike	10	Tõravere, Nõo vald, Tartumaa	nov.12	*
päike	10	Keeri Nõo vald Tartumaa	juuli.13	
päike	10	Tartu linn Tartu maakond	veebr.13	*
päike	7,36	Soinaste Ülenurme Tartumaa	mai.13	
päike	9	Härma küla Meremäe vald Võrumaa	märts.13	*
päike	6	Luua Palamuse vald Jõgevamaa	sept.13	
päike	3	Palupõhja küla Puhja vald Tartumaa	aug.13	
päike	10	Lemmatsi küla Ülenurme vald Tartumaa	märts.13	*
päike	10	Lemmatsi küla Ülenurme vald Tartumaa	märts.13	
vesi	7,5	Noodasküla küla Lasva vald Võru maakond	apr.13	
päike	10	Põlva Põlva maakond	juuni.13	
päike	3,5	Tartu linn Tartu maakond	mai.13	*
päike	6,18	Partsi küla Põlva vald Põlvamaa	juuli.13	
päike	7,36	Soinaste Ülenurme Tartumaa	mai.13	*
päike	3	Lemmatsi küla Ülenurme vald Tartumaa	aug.13	
päike	3,6	Leevi küla Veriora vald Põlvamaa	juuli.13	
päike	10,1	Kõrveküla Tartumaa	juuni.13	
päike	10	Umbusi küla Põltsamaa vald Jõgevamaa	aug.13	
päike	10	Võisiku küla Põltsamaa vald Jõgevamaa	juuli.13	
päike	6,18	Vissi küla Nõo vald Tartumaa	aug.13	
päike	10,1	Räpina Põlvamaa	aug.13	
päike	10,1	Tartu linn Tartu maakond	juuli.13	*
päike	10	Pusi küla Alatskivi vald Tartumaa	aug.13	
päike	10,1	Lemmatsi küla Ülenurme vald Tartumaa	aug.13	
päike	6	Misso alevik, Võrumaa	juuli.13	*
päike	6	Rosma küla Põlva vald Põlvamaa	sept.13	
päike	5	Jõgeva Jõgevamaa	aug.13	
päike	4,2	Urvaste küla Urvaste vald Võrumaa	sept.13	
päike	10	Painküla küla Jõgeva vald Jõgevamaa	aug.13	
päike	5	Uhti küla Ülenurme vald Tartumaa	aug.13	
päike	10	Vana-Koiola küla Laheda vald Põlva maakon	sept.13	
päike	10,1	Iravere küla Torma vald Jõgeva maakond	sept.13	
päike	6	Haaslava küla Haaslava vald Tartumaa	sept.13	
päike	10	Maramaa küla Tartu vald Tartu maakond	sept.13	*
tuul	10,8	Kiduspe Kõrgessaare vald Hiiumaa	veebr.13	*
tuul	11	Selgase Mustjala vald Saaremaa	okt.12	
päike	10,8	Kiduspe Kõrgessaare vald Hiiumaa	veebr.13	
tuul	10	Kärbu küla, Audru vald, Pärnumaa	apr.13	*
tuul	10	Saulepa küla, Audruvald, Pärnmaa	apr.13	*
tuul	10	Nurme küla, Sauga vald, Pärnumaa	jaan.13	
tuul	11	Laadjala küla Kaarma vald Saare maakond	veebr.13	*
tuul	10,8	Peederga küla Leisi vald Saare maakon	veebr.13	*
tuul	10,8	Upa küla Kaarma vald Saare maakond	nov.12	
päike	9	Muratsi küla Kaarma vald Saare maakond	nov.12	
päike	10	Nautse küla Muhu vald Saaremaa	märts.13	

tuul	10	Auksi küla Saarepeedi vald Viljandimaa	juuli.13	*
päike	3,68	Pärnu linn	mai.13	*
päike	10	Viljandi	juuni.13	
päike	10,1	Saulepi küla Varbla vald Pärnumaa	juuni.13	
päike	10	Päraküla Suure-Jaani vald Viljandimaa	aug.13	
päike	3	Pärnu linn	juuli.13	*
tuul	10	Pandivere, Väike-Maarja, Lääne-Virumaa	märts.13	*
tuul	10	Määri küla Väike-Maarja vald, Lääne-Viruma	mai.13	
päike	9	Kadrina Lääne-Virumaa	okt.12	*
päike	10	Kohtla-Järve Ida-Virumaa	veebr.13	
päike	10	Järveküla tee 75 Kohtla-Järve Ida-Virumaa	veebr.13	
tuul	10	Eisma küla Vihula vald Lääne-Virumaa	sept.13	
päike	10,8	Veltsi Rakvere vald Lääne-Virumaa	sept.13	
päike	9	Karula küla Vihula vald Lääne-Virumaa	sept.13	
päike	9	Mustoja küla Vihula vald Lääne-Viru maakon	sept.13	

Lisa 4. Taotluse menetlemine ja otsustusprotsess



Lisa 5.

Tuulegeneraatorite ja päikesepaneelide hinnapakkumised näidisobjektidele (Sonn, P. 2013)

Ettevõte	Lahendus	Päikese-paneelide/ tuulikute arv	Nimi-võimsus kW	Toodetav energia-hulk aastas, kWh/a	Hind €	Tasuvus-aeg aastates
			Eramu			
Firma 1	Päikeseenergia	64	15,68	15	37584	39,1
	Tuuleenergia	3	12	9-18	59040	61,4
	Tuule- ja päikeseenergia	32/1	7,84/4	7,5/3-7	38472	44,5
Firma 2	Päikeseenergia	61	15,86	15,1	26645	27,5
Firma 3	Päikeseenergia	63	15,86	15	24831	25,8
			Lasteaed			
Firma 1	Päikeseenergia	232	58	55	143600	40
Firma 4	Tuuleenergia	6	60	45-105	255600	53
Firma 2	Päikeseenergia	223	58	55	83500	24
Firma 3	Päikeseenergia	232	58	55	98000	28
			Gümnaasium			
Firma 1	Päikeseenergia	839	209,8	199,3	489700	38,3
Firma 4	Tuuleenergia	21	210	150-360	894600	54,7
Firma 2	Päikeseenergia	806	210	200	302400	23,6
Firma 3	Päikeseenergia	839	209,8	199,3	350600	27,4
			Hooldekodu			
Firma 1	Päikeseenergia	2215	553,8	526	1342707	39,8
Firma 4	Tuuleenergia	56	560	420-980	2385600	53,1
Firma 2	Päikeseenergia	2130	553,8	526	797800	23,6
Firma 3	Päikeseenergia	2215	553,8	526	933400	27,7
			Veekeskus			
Firma 1	Päikeseenergia	9172	2293	2178,4	5583300	39,9
Firma 4	Tuuleenergia	229	2290	1700-4000	9755400	53,4
Firma 2	Päikeseenergia	8820	2293,2	2178,5	3302000	23,6
Firma 3	Päikeseenergia	9172	2293	2178,4	3868400	27,7