

FinZEB -HANKE



Lähes nollaenergiarakennusten käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla

TAUSTARAPORTTI 4

ENERGIAA SÄÄSTÄVÄT TEKNISET RATKAISUT

20.03.2015

Granlund Oy / Lassi Loisa, Erja Reinikainen, Anni Tyni

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Lähtökohdat energiansäästötoimenpiteille	4
2.1	Yleiset reunaehdot	4
2.2	Perustapaukset energiansäästötarkasteluissa	4
3	Rakennustekniset ratkaisut	5
3.1	Rakenteiden U-arvot	5
3.2	Ikkunoiden ominaisuudet	5
3.3	Rakennuksen tiiviys	6
3.4	Rakenteiden kylmäsiilat	7
4	Talotekniset ratkaisut	7
4.1	Lämmitysjärjestelmät	8
4.1.1	Lämmitysmuodot	8
4.1.2	Lämmönjakelun hyötysuhde	8
4.1.3	Lämmön talteenotto viemäriverdestä	8
4.2	Ilmanvaihtojärjestelmät	9
4.2.1	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto	9
4.2.2	Ilmanvaihdon sähkötehokkuus	10
4.2.3	Ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus	11
4.3	Valaistus	12
4.3.1	Energiatehokas valaistus	12
4.3.2	Valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus	13
5	Johtopäätökset	14

1 Johdanto

FInZEB-hankkeen Loppuraportin (Sisältö ja tulokset) lisäksi hankkeessa on laadittu useita teknisiä raportteja, jotka julkaistaan hankkeen www-sivuilla osana Taustaraporttia.

Tämä on Taustaraportin osa 4, Energiaa säästävät tekniset ratkaisut.

Taustaraportti koostuu seuraavista osaraporteista:

1	Kustannuslaskenta – asuinkerrostalo ja toimisto	Optiplan Oy
2	Pientalojen kustannuslaskenta ja E-luku	Insinööritoimisto Vesitaito Oy
3	Kustannuslaskenta – koulut ja päiväkodit	Granlund Oy
4	Energiaa säästävät tekniset ratkaisut	Granlund Oy
5	Laskentasäännöt	Granlund Oy
6	Aurinkosähkötarkastelut	Granlund Oy
7	Tulevaisuuden sää ja sisälämpötilatarkastelut	Granlund Oy
8	Pilottikohteiden kokemuksia	Granlund Oy
9	Energiantuotantoketjut – aineistoseelvitys	Granlund Oy
10	Valaistuksen laadullisten tekijöiden ja energialaskennan määrittely FInZEB-hankkeelle	Tampereen ammattikorkeakoulu

FInZEB-hankkeen keskeisiä tehtäviä oli laskennallisten tarkastelujen kautta selvittää teknisesti toimivia ja kustannusoptimaalisia ratkaisukokonaisuuksia, jotka ovat lähtökohtina ja vertailuaineistona määriteltäessä kansallisia lähes nollaenergiarakennuksen vaatimuksia Suomessa.

Tässä raportissa käsitellään rakennusten energiankäyttöä vähentäviä toimenpiteitä ja niihin liittyviä teknisiä ratkaisuja. Kullekin toimenpiteelle laskettiin säästövaikutus ja elinkaarikustannukset eri rakennustyypeissä, kuten hankkeen loppuraportissa on esitetty. Elinkaarikustannustarkastelujen tulokset on esitetty Taustaraporteissa 1 ja 2. Pientalojen osalta tarkastelu on esitetty Taustaraportissa 3.

2 Lähtökohdat energiansäästötoimenpiteille

2.1 Yleiset reunaehdot

Energiankäyttöä vähentävien toimenpiteiden ideoinnissa oli lähtökohdana toteutuskelpoisuus, toimivuus ja kustannustehokkuus. Teknologian kehittymistä on vaikea ennustaa, mutta todennäköisiä kehityssuuntia pyrittiin ennakoimaan mm. tarpeenmukaisten ohjausten, ilmanvaihtokoneiden sähkötehokkuuden, lämmöntalteenottoratkaisujen, ym. kehittymisen osalta.

Rakennusten käyttäjien vaatimukset kehittynevät siten, että laadukasta sisäilmastoa, asumismukavuutta, turvallisuutta ja terveellisyyttä arvostetaan nykyistä enemmän. Tulevaisuudessa energiankäyttöä halutaan seurata käyttäjäystävällisten laitteiden kautta ja talotekniikkaa halutaan hallita helppokäyttöisten älykkäiden ohjausratkaisujen avulla.

Energiaa säästävien toimenpiteiden reunaehtoina olivat seuraavat tekijät:

- sisäilman laadun hallinta ja erityisesti kesäajan sisälämpötilojen kehitys > toimenpiteet eivät saa johtaa jäähdytystarpeen lisääntymiseen asuinrakennuksissa,
- rakennusten rakennusfysikaalisen toiminnan muuttuminen > U-arvoja kiristämällä ei saa tuottaa potentiaalisia riskirakenteita,
- teknisten ratkaisujen reunaehdot varsinkin käytön ja ylläpidon osalta > ohjausten ja säätöjen tulee toimia luotettavasti, teknisten ratkaisujen monimutkaistuminen ei saa vaikeuttaa käyttöä
- rakentamisen kustannustehokkuuden säilyminen mahdollistaen kohtuuhintaisen, laadukkaan rakentamisen (huomioidaan rakennuksen elinkaari ja käyttöikä) > elinkaarikustannusten 20/30 vuoden jaksolla tulee pysyä hallinnassa,

2.2 Perustapaukset energiansäästötarkasteluissa

Kullekin rakennustyyppille määritettiin perusratkaisu, jolla esimerkkirakennus (tai –rakennukset) saavat rakennusluvan E-luvun juuri alittaessa rakennustyyppikohtaisen kynnyksarvon. Rakennusten arkkitehtuuri on tavanomaista nykyrakentamista vastaavaa, rakenteet D3/2012 vertailuarvojen mukaiset.

Kerrostalon ominaisuudet perustapauksessa:

- huoneistokohtainen ilmanvaihto, LTO hyötysuhde 69 %, levylämmönsiirtimet ohituskanavilla, sähköinen jälkilämmityspatteri
- tavanomainen LVI-tekniikka, ei jäähdytystä
- rakenteiden ilmanpitävyys $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$, rakennus on rakennettu huolellisesti ja vuotokohteiden estämiseen on kiinnitetty huomiota
- eristetty lämpimän käyttöveden kiertojohto
- sähköinen mukavuuslattialämmitys märkätiloissa (kylpyhuoneiden lattialämmityksen osuus noin 10 % koko rakennuksen tilalämmityksestä.)
- ilmanvaihdon SFP-luku $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Toimistorakennuksen ominaisuudet perustapauksessa

- keskitetty ilmanvaihto, LTO hyötysuhde 45 %, levylämmönsiirtimet ohituskanavilla
- tavanomainen LVI-tekniikka
- ilmanvaihdon jäähdytysjärjestelmä sekä osittain jäähdytyspalkeilla toteutettu tilakohtainen jäähdytysjärjestelmä kaikissa toimistohuoneissa
- neuvotteluhuoneissa, auditoriossa ilmanvaihdon ilmavirran säätö jäähdytystarpeen mukaan

- eristetty lämpimän käyttöveden kiertojohto
- jäähdytys vedenjäähdytyskoneilla
- ikkunan U-arvo 1,0 W/(m²K) ja g-arvo 47,6 %
- iv-järjestelmän SFP-luku 1,75 kW/(m³/s)

Muiden rakennustyyppien osalta perustapaukset ovat vastaavanlaiset.

3 Arkkitehtuuri

Tarkastelussa huomioitiin energiansäästömahdollisuudet kaikilla rakentamiseen liittyvillä osa-alueilla (rakenteet, talotekniikka, ohjaus), mutta arkkitehtuuriin liittyviin energiatehokkuustekijöihin (rakennuksen sijoittelu tontilla, suuntaus, muoto, aukotus) on vaikea ottaa kantaa yleisellä tasolla. Yleensä kaavamääräykset ja tonttiin liittyvät rajoitteet vaihtelevat ja ohjaavat suunnittelua. Myös rakennusvalvonnalla / rakennuttajalla / omistajalla / käyttäjällä on ennako-odotuksia ja mielipiteitä rakennuksen ilmeeseen liittyen. Suunnitteluprojekteissa voidaan arkkitehtonisia seikkoja optimoida tapauskohtaisesti jossakin määrin kulloinkin vallitsevien reunaehtojen puitteissa.

FInZEB-laskennoissa on tarkasteltu kustakin rakennustyyppistä joitakin esimerkkirakennuksia, jotka edustavat tyyppillistä nykyrakentamista. Laskentatulosten hajonta kuvaa arkkitehtuurin vaikutusta, sillä edellä mainitut suuntaus-, muoto- ja aukotustekijät vaihtelevat kohteittain.

4 Rakennustekniset ratkaisut

4.1 Rakenteiden U-arvot

Lähtökohtana FInZEB-tarkasteluissa oli nykymääräysten (D3/2012) mukainen U-arvojen taso. Nykyisessä liike- ja palvelurakentamisessa noudatetaan yleensä D3:n esittämiä vertailuarvoja. Niitä paremmilla U-arvoilla on pääsääntöisesti hyvin vähäinen vaikutus energiankulutukseen. Joissakin tapauksissa on tarkasteltu yläpohjan lisäeristämisen kannattavuutta ja todettu U-arvon alentamisen vaikuttavan marginaalisesti lämmitysenergian kulutukseen ja jonkin verran lisäävän jäähdytysenergian kulutusta.

Joidenkin poikkeuksellisten rakennusosien (savunpoistoluukut, nosto-ovet, ym.) osalta on vaikea löytää markkinoilta tuotteita, joiden U-arvot vastaisivat vertailuarvoja. Yleensä kuitenkin rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot (ns. perälauta-arvot) täyttyvät.

Vertailulaskelmia tehtiin myös ns. passiivirakenteilla, sillä passiivienergiarakentaminen on joskus mainittu välitavoitteeksi ennen lähes nollaenergiarakentamiseen siirtymistä.

Passiivirakenteet määriteltiin laskentatarkasteluissa seuraavasti:

- ulkoseinän U-arvo 0,14 W/(m²K)
- yläpohjan U-arvo 0,07 W/(m²K)
- alapohjan U-arvo 0,1 W/(m²K)

Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että passiivirakenteilla saavutettava säästövaikutus on asuinkerrostaloissa ja toimistorakennuksissa hyvin vähäinen. Nykymääräysten taso rakenteiden U-arvoissa on kustannusoptimaalinen eikä vertailuarvoja ole tarvetta tiukentaa. Tällöin rakennusfysikaaliset riskit eivät lisäänty nykyrakentamiseen verrattuna.

4.2 Ikkunoiden ominaisuudet

Ikkunoiden osalta rakennushankkeissa yleensä vertaillaan ikkunakoon sekä eri U-arvovaihtoehtojen ja auringonsuojaominaisuuksien energiansäästövaikutuksia ja kustannuksia.

Nykyistä ns. perustason ikkunaa (U-arvo 1,0 W/(m²K) ja kirkas lasi, jolloin g-arvo on noin 50%) parempia kustannuksiltaan kohtuullisia ratkaisuja on markkinoilla. Ikkunavaihtoehtoihin vaikuttaa oleellisesti se, halutaanko rakennukseen avattavat MSE-ikkunat vai kiinteät ikkunat (tai lasiseinät). U-arvoa tulisi tarkastella sekä lasiosalle että koko ikkunarakenteelle.

Ikkunoiden osalta pätevät seuraavat tekijät

- kustannusoptimi tällä hetkellä 3x ikkunassa on U-arvossa 0,8..0,9 W/(m²K)
- nelilasin ikkuna nostaa kustannuksia merkittävästi
- U-arvon ollessa alle 0,8 W/(m²K) ikkunoiden huurtumista esiintyy, mutta huurtumattomuuskäsittelyllä saadaan parannusta
- g-arvon parantaminen tekee ikkunasta harmaan tai vihertävän, mikä vaikuttaa jonkin verran rakennuksen väryykseen ja ilmeeseen
- erittäin hyvä g-arvo johtaa tummiin laseihin, mikä vähentää osaltaan valaistuksessa saavutettavaa päivänvalohyötyä
- jos on tiukka U- ja g-arvovaatimus ja lasin tulee olla karkaistu, laminoitu, turvalasi, palolasi, tiukat akustiset vaatimukset täyttävä, jne. niin lasirakenteen kustannukset nousevat
- asuin-, toimisto-, koulu-, sairaala- jne. rakennuksissa huippuun viedyn g-arvon omaava lasi ei tuo välttämättä lisähyötyä, sillä ikkunoissa on yleensä sälekaihtimet joka tapauksessa häikäisyn vuoksi
- auringonsuojalipat eivät yleensä ole merkittävä lisäinvestointi ja hyöty jäähdystarpeeseen voi olla huomattava

Nämä seikat huomioiden päädyttiin seuraaviin lähes nollaenergiarakennuksen ikkunavaihtoehtoihin:

- Ikkuna U= 0.8 W/(m²K) ja g = 39,4 %, avattavat 3-lasiset MSE-ikkunat, osa saattaa olla vaihtoehtoisesti kiinteitä 3-kertaisia lämpölaselementtejä
- Ikkuna U= 0.6 W/(m²K) ja g = 24,3 %, avattavat 3-lasiset MSE-ikkunat, osa saattaa olla vaihtoehtoisesti kiinteitä 3-kertaisia lämpölaselementtejä
- Ikkuna U= 0.45 W/(m²K) ja g= 24,3%, kiinteät 4-lasiset lämpölaselementit

Rakennustyypeittäin määritettiin näille tai osalle näistä energiansäästövaikutukset ja elinkaarikustannukset. Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että useissa tapauksissa ikkunoiden ominaisuuksien parantaminen D3/2012 perustasosta on kustannustehokasta.

Ikkunoiden määrä on suuri konsertti- ja kokoontumisrakennuksissa sekä ns. autokauppa-tyyppisissä liikerakennuksissa, jne. Tällöin kuitenkin rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskelman kautta pyritään hallitsemaan kokonaisuuden energiataloudellisuutta.

4.3 Rakennuksen tiiviys

Rakennuksen tiiviyn parantaminen on ollut merkittävimpiä keinoja vaikuttaa energiankulutukseen. Nykyrakentamisessa etenkin asuinrakennuksissa vaipan ilmanpitävyyteen kiinnitetään erityistä huomiota. Näissä tiiviys on jo melko hyvällä tasolla eikä kovin huomattavia parantamismahdollisuuksia ole enää toteutettavissa. Muiden rakennusten osalta kuitenkin on parannettavaa.

D3/2012 mukaan rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} vertailuarvo on 4 m³/h,m² (ja tasauslaskennassa 2 m³/h,m²). Mikäli tavoitellaan parempaa tiivyyttä, tulee rakennuksen tiiviys mitata. Asuinkerrostalossa mittauksen tulee kohdistua 20%:iin huoneistoista.

Nykyrakentamisessa päästään rakennuksen ilmanvuotoluvussa tasoon $n_{50}=0,5\dots0,6$ 1/h ja jopa sen alle. Nykyisiä mittaustuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida se, että n_{50} - ja q_{50} -tuloksia esitetään sekä asunto- tai tilakohtaisista mittauksista että rakennustason mittauksista.

Alhaisesta n_{50} -luvusta huolimatta monimuotoisissa ja muotokertoimeltaan (Av/V) epäedullisissa rakennuksissa q_{50} voi silti olla yli $4 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$.

Hyvän tiiviyn saavuttaminen riippuu jonkin verran julkisivun toteutustavasta, paras tiiviys saavutetaan yleensä sisäkuorielementillä. Ilmanpitävyys on kuitenkin ennen kaikkea työtap- ja ohjeistusasia eikä sen toteuttamisesta aiheudu juurikaan lisäkustannusta.

Tiiviyn mittaaminen ei ole pakollista tällä hetkellä, mutta sen tekeminen pakolliseksi voisi parantaa rakentamisen laatua jossakin määrin. Tiiviyn mittaavaatimuksen tulisi tulevaisuudessa ehkä olla asuinkerrostaloissa asuntokohtainen, rakennustaso ei riitä tuottamaan hyvää tulosta. Oleellista on, että tiiviysmittaus tehdään siten, että rakennuksen sisäiset vuodot eivät vaikuta tulokseen.

Nämä seikat huomioiden päädyttiin lähes nollaenergiarakennuksen tiiviyn osalta seuraaviin määrittelyihin:

- asuinkerrostaloissa huolellisella rakentamisella asuntokohtaisessa mittauksessa ilmanvuotoluvun n_{50} -luvun taso voi olla 0,4 1/h ja rakenteiden ilmanpitävyys $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$ on mahdollinen
- toimistorakennuksissa, kouluissa, jne. on mahdollista saavuttaa rakennuksen ilmanvuotoluku $n_{50} = 0,6$ 1/h kun rakennus on rakennettu huolellisesti ja vuotokohteiden estämiseen on kiinnitetty huomiota.

4.4 Rakenteiden kylmäsiljat

Energialaskennassa kylmäsiltoja käsitellään yleensä D5-laskentaohjeiden mukaisesti.

Kun rakennuksen vaipan U-arvot ovat hyvät ja rakennedetaljit on huolellisesti suunniteltu ja toteutettu, ei rakenteissa ole merkittäviä kylmäsiltoja. Lämpökamerakuvauksin voidaan varmistua siitä, että rakenteiden liitokset on hyvin toteutettu. Tulevaisuudessa mahdollisesti vaadittava pakollinen tiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus rakennuksen vastaanottovaiheessa nähtiin FInZEB-työpajoissa hyväksi asiaksi.

Tällä perusteella arvioitiin, että lähes nollaenergiarakennuksessa

- kylmäsiljat -25 % D5-laskennan mukaisesta arvosta
- tämä on mahdollista kun laattojen ja kuorirakenteen välisiä eristämättömiä kontakteja on vähennetty sekä erityisesti ikkunan puitteet on suunniteltu niin, että ikkuna on lämmöneristeen sisäpuolella tai eriste ei katkea ikkunan puitteen kohdalla

5 Talotekniset ratkaisut

Suurimmat säästövaikutukset rakennuksen energiankulutukseen on saavutettavissa taloteknisten järjestelmien ominaisuuksia sekä ohjausta ja säätöä kehittämällä. Ecodesign-direktiivin vaatimukset kohdistuvat yksittäisiin laitteisiin / tuotteisiin ja tulevat parantamaan esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden, pumppujen, jne. ominaisuuksia ennen vuotta 2020. Laitteiden kehittyminen vähentää osaltaan energiankulutusta, mutta energiasimuloinnit osoittavat, että tarpeenmukainen ilmanvaihdon ja valaistuksen ohjaus ovat oleellisimpia keinoja rakennusten energiankäytön vähentämisessä.

Olosuhteiden hallinta ja kulloistakin tarvetta vastaavan toiminnan aikaansaaminen johtavat väistämättä lisääntyvään teknisten laitteiden määrään ja automaatioon. Älykkäät valaistuksen ja lvi-järjestelmien ohjausratkaisut, rakennusautomaatioon liitetyt helppokäyttöiset huonesäätimet, on-line-kulutustietoa välittävät järjestelmät kuten kotiäly-käyttöpäätteet, jne. tulevat olemaan keskeisessä asemassa nollaenergiarakennuksissa.

FInZEB-hankkeessa on pyritty mahdollisimman kattavasti kuulemaan järjestelmä- ja laitetoimittajia, jotta on voitu hahmottaa teknologian kehittymisen trendejä ilmanvaihdon, lämmityksen, jäähdytyksen ja valaistuksen osalta.

5.1 Lämmitysjärjestelmä

5.1.1 Lämmitysmuodot

FInZEB-hanke ei pyri ohjaamaan lämmitysmuodon valinnassa, ratkaisut tehdään hankekohtaisesti muista lähtökohdista. Pääosa asuinkerrostalo- ja palvelurakentamisesta tapahtuu tulevaisuudessakin kaukolämpöalueille tai erilaisten alue-energiaverkoston piiriin.

Laskennassa huomioitavat lämmitysmuodot ja niiden hyötysuhteet on kuvattu FInZEB-loppuraportissa.

FInZEB-laskennoissa on tarkasteltu eri rakennustyypeissä energiaa säästäviä toimenpiteitä, jotka voidaan toteuttaa mille tahansa lämmitysmuodolle.

5.1.2 Lämmönjakojärjestelmän hyötysuhde

Nykyrakentamisessa lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteen laskennallisena arvona käytetään yleensä D5:n ohjeiden mukaan määritettyä arvoa 85 %.

Hyvä lämmönjakelun hyötysuhde vähentää järjestelmähäviöitä ja rakennuksen ”hallitsematonta lämmitystä”. Häviöt tulevat pääsääntöisesti hyödyksi rakennuksessa, mutta olosuhteiden hallinnan kannalta niiden vähentäminen on tarkoituksenmukaista.

Johtopäätöksenä oli, että lämmönjakojärjestelmän hyötysuhde 95 % on saavutettavissa esimerkiksi seuraavasti:

- vesiradiaattorilämmitys matalalla veden lämpötilalla max. 50 °C,
- kun lämmitysverkoston toteutustapana on joko a) jakeluputkisto lattiassa eristettynä, ei kerrosten läpi meneviä runkojen pystynousuja vaan kerroskohtaiset / asuntokohtaiset jakotukit tai b) eristetyt pystynousut

Asuntorakentamisessa lattialämmitysratkaisu ja toimistorakentamisessa esimerkiksi säteilylämmitysjärjestelmä saavuttavat saman hyötysuhdetason.

5.1.3 Lämmön talteenotto viemäriverdestä

On ennakoitavissa, että viemäriveresien lämmöntalteenottoratkaisut kehittyvät ja yleistyvät. Jo nyt on markkinoilla laitteita, jolla voidaan ottaa talteen lämpöenergiaa pesu- tai huuhteluvesien lämmöstä ja siirtää lämpöä esim. käyttöveden esilämmitykseen tai maalämpöpumpun ensiöpiiriin lämmittämiseen. Järjestelmiä on käytössä mm. uimahalleissa ja kylpylöissä.

Perinteisesti lämmöntalteenoton kannattavuutta asuinrakennuksissa ja palvelurakennuksissa on rajoittanut se, että toteutukseen on vaadittu kaksoisviemärintijärjestelmä. Markkinoille tulleet uudet ratkaisut soveltuvat yksiviemärijärjestelmään, jolloin kaikki viemäriveredet voidaan ohjata sen kautta. Uusista järjestelmistä käyttökokemukset ovat toistaiseksi vielä vähäisiä.

Asuinkerrostalojen osalta tarkasteltiin viemärivereden lämmöntalteenottoa seuraavin oletuksin:

- rakennuksessa kaksoisviemärinti, harmaat viemäriveredet omassa LTO-viemäriässä ja WC-vedet omassa viemäriässä
- kellarissa jätevesien LTO-laite, jonka läpi harmaat vedet menevät viemäriverkoston
- järjestelmällä saadaan otettua talteen energiamäärä, joka vastaa 50% lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeesta

Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että toistaiseksi viemäriveden lämmöntalteenotto ei ole kannattavaa. Se on kuitenkin todennäköisesti tulevaisuudessa yksi käytettävissä oleva keino haluttaessa parantaa rakennuksen E-lukua.

On kuitenkin huomioitava rakennuskohtaisen järjestelmän huoltonäkökohdat sekä mahdolliset riskitekijät järjestelmän vikatilanteissa. Lämmöntalteenotto suuremmissa kokonaisuuksissa viemärivesien puhdistamalla on ammattimaisten toimijoiden hallinnassa ja todennäköisesti hyötysuhteet pysyvät korkeampina.

5.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

5.2.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

Nykyisten rakentamismääräysten D3/2012 mukaisesti poistoilmasta on otettava talteen energiamäärä, joka vastaa vähintään 45% ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Energialaskennassa käytetään ilmanvaihdon lämmöntalteenoton suunnitteluarvojen mukaista vuosihyötysuhteen arvoa. Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa hyötysuhteen vertailuarvona käytetään 45%.

Tehokas lämmöntalteenotto on merkittävimpiä yksittäisiä keinoja lämmitysenergian kulutuksen vähentämiseksi kaikissa rakennustyypeissä. Nykyrakentamisessa pyritään siihen, että mahdollisimman vähän tiloja on varustettu pelkällä poistoilmanvaihdolla ja että lämmön talteenotto olisi mahdollisimman kattava ja tapahtuisi hyvällä hyötysuhteella. Useissa hankkeissa päädytäänkin mm. WC- ja sosiaalityötilojen ja porrashuoneiden varustamiseen lämmön talteenotolla varustetuilla tulo-poistokoneilla.

Käytännössä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lähes poikkeuksetta parempi kuin 45%. Nykyrakentamisessa käytetään pääsääntöisesti pyörivää lämmöntalteenottoa aina kun se on hygieniasyyt ja tekniset tilarajoitukset huomioon ottaen mahdollista. Nykyrakentamisessa ollaan tyypillisesti vuosihyötysuhteen tasolla 65% asuinkerrostaloissa ja tasolla 70-75% toimisto- ja liikerakennuksissa.

Vaikeimmin on toteutettavissa sairaalarakennusten hyvä lämmöntalteenotto, sillä voimassa olevat käytännöt rajaavat ratkaisuksi yleensä vesi-glykoli-järjestelmän (perinteinen tai Econet).

EU komission asetuksessa koskien ilmanvaihtokoneiden ekologista suunnittelua määritellään tulo-poistokoneille minimivaatimukset lämmön talteenoton hyötysuhteelle sekä sähkötehokkuutta kuvaavalle sfp-luvulle. Vaatimukset tulevat voimaan vaiheittain 2016 ja 2018. Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhteen on oltava vähintään 63 % v. 2016 ja 68 % v. 2018. Muun kuin nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhteen on oltava vähintään 67% v. 2016 ja 73% v. 2018.

FInZEB-hankkeessa syntyneen käsityksen mukaan lämmön talteenoton vertailuarvossa on selkeä tiukentamisen mahdollisuus.

Lämmön talteenoton osalta on huomioitava seuraavaa:

- asuinkerrostaloissa kosteus ja jäätymisvaara rajoittaa lto:n jälkeisen poistoilman lämpötilan plussan puolelle ja tästä johtuen pyörivän lämmöntalteenoton käyttö keskitetyissä iv-koneissa ei tule kyseeseen ja levysiiirtimin saavutettava max hyötysuhde on 75-78%
- toimistorakennuksissa keskiarvo 85% on mahdollinen, mikäli likaiset tilat ja ”erillispoistot” saadaan mahdollisimman hyvin talteenoton piiriin
- tapauskohtaisesti voi olla tarpeen tarkastella miten hyvä lto:n kannattaa olla, ettei se heikennä sfp-lukua kun painehäviö kasvaa (Ecodesign-direktiivi huolehtinee tästä)

Johtopäätöksenä oli, että ilmanvaihdon energiatehokas lämmöntalteenotto on toteutettavissa esimerkiksi seuraavilla vaihtoehdoilla:

- Asuinkerrostalot:
 - **LTO-vuosihyötysuhteen maksimi saavutettava taso on 78 %** asuntokohtaisilla koneilla, tekninen ratkaisu paksu pyörivä lto-kiekko, kone varustettu yleensä sähköisellä jälkilämmityspatterilla, mutta myös vesikiertoinen mahdollinen
 - **LTO-vuosihyötysuhteen normaalikäytännön mukainen taso on 59 %** keskitetyllä koneella, tekninen ratkaisu vastavirtalämmönsiirrin, koneessa jälkilämmitys yleensä kaukolämmöllä
 - **LTO-vuosihyötysuhteen maksimi saavutettava taso on 65 %** keskitetyllä koneella, tekninen ratkaisu vastavirtalämmönsiirrin, koneessa jälkilämmitys yleensä kaukolämmöllä
- Muut rakennukset:
 - **LTO-vuosihyötysuhteen normaalikäytännön mukainen taso on 72 %**, tekninen ratkaisu normaali pyörivä lto-siirrin
 - **LTO-vuosihyötysuhteen maksimi saavutettava taso on 81 %**, tekninen ratkaisu paksu, kosteutta siirtävä (hygroskooppinen) pyörivä lto-siirrin
 - todelliseen vuosihyötysuhteeseen vaikuttaa ratkaisevasti rakennuksen tyyppi sekä erikoistilojen määrä

Markkinoilla on jo joitakin teknisiä ratkaisuja, joilla nämä vaatimukset täyttyvät.

Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että ilmanvaihdon lämmöntalteenoton merkittävä parantaminen määräystasyksistä on kustannustehokas toimenpide.

5.2.2 Ilmanvaihdon sähkötehokkuus

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa pyritään optimoimaan konekoko ja palvelualueet siten, että voidaan määritellä konejako joka soveltuu mahdollisimman hyvin eri palvelualueisiin, mahdollisesti kerros- ja rakennuslohkokohtaisesti. Yleisenä pyrkimyksenä on, että kanavointimatkat ovat lyhyitä ja painehäviöt alhaisia.

D3/2012 mukaan koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (sfp-luku) saa olla korkeintaan 2,0 kW/(m³/s). Nykyisten suunnittelukäytäntöjen mukaan ilmanvaihdon suunnittelussa pyritään yleensä määräysten mukaiseen sfp-luvun arvoon tai hieman sen alle. Rajoitteena ovat yleensä konehuoneen mitoitus ja kuilutilat.

On huomioitava, että EU komission asetuksessa koskien ilmanvaihtokoneiden ekologista suunnittelua määritellään tulo-poistokoneille minimivaatimukset lämmön talteenoton hyötysuhteelle sekä sähkötehokkuutta kuvaavalle sfp-luvulle. Vaatimukset tulevat voimaan vaiheittain 2016 ja 2018. Jatkossa on kaksi erilaista sfp-luvun käsitettä: rakentamismääräyksissä vaatimus sfp-luvulle, joka kattaa koko ilmanvaihtojärjestelmän ja komission asetuksessa vaatimus sfp-luvulle, joka kattaa vain tulo-poistokoneen tietynlaisena peruskokoonpanona.

Ilmanvaihdon ominaissähkötehon osalta on huomioitava seuraavaa:

- asuinrakennuksissa alhainen sfp-luku johtaa asuntokohtaisiin koneisiin, jolloin kuilutilat jäävät pois ja kanavavedot ovat lyhyet, mutta E-luvun kannalta haittana on, että jälkilämmityspatterit ovat tällöin yleensä sähköllä
- palvelusektorilla / lähinnä toimisto-, koulu-, jne. rakentamisessa jopa sfp=1 kW/(m³/s) on mahdollinen, jos käytetään keskitettyä poistoa, jolloin poistopuolella ei ole juurikaan kanavointeja
- sfp:n vetäminen alas lisää tilakustannuksia (konehuoneet, kuilut, alakatot), joiden vaikutus hankkeessa voi olla huomattava

Johtopäätöksenä oli, että ilmanvaihdon hyvä sfp-luku on saavutettavissa esimerkiksi seuraavilla vaihtoehdoilla:

- Asuinkerrostalot:
 - **Ilmanvaihdon SFP 1,6 kW/(m³/s)** kanavien suunnittelussa on kiinnitetty huomiota painehäviöihin
 - **Ilmanvaihdon SFP minimi 1,5 kW/(m³/s)** kanavien suunnittelussa on kiinnitetty huomiota painehäviöihin
- Muut rakennukset:
 - **Ilmanvaihdon SFP 1,6 kW/(m³/s)** ilmanvaihtokoneet ovat yleensä yhden konekoon normaalia minimimitoitusta suurempia ja ainakin pääkanavat ovat hieman normaalia suurempia
 - **Ilmanvaihdon SFP minimi 1,5 kW/(m³/s)** ilmanvaihtokoneet ovat yleensä yhden konekoon normaalia minimimitoitusta suurempia ja kaikki kanavat ovat hyvin väljästi mitoitettuja eli ovat runsaasti normaalia minimimitoitusta suurempia

FInZEB-hankkeessa syntyneen käsityksen mukaan sfp-luvun vaatimustasossa ei ole merkittäviä tiukentamisen mahdollisuuksia, sillä tilantarpeen lisäyksestä aiheutuvat lisäkustannukset voivat olla korkeat ja toimenpiteen kustannustehokkuus muodostuu huonoksi.

Suunnittelun kannalta on oleellista määrittää, mille ilmavirralle (koneen teholle) sfp-lukuvaatimus kohdistuu. Etenkin tarpeenmukaisesti säätyvissä ilmanvaihtojärjestelmissä maksimi-ilmavirran käyttöaika voi olla hyvin lyhyt ja sille esitetty sfp-lukuvaatimus johtaa tarpeettoman suureen konekoon ja kanavien tilantarpeeseen. Yleisesti käytetty määrittely suunnitteluasiakirjoissa onkin, että sfp-luvun tulee olla tavoitearvon mukainen ”yleisimmin käytössä olevalla ilmamäärällä”. Suunnittelijan ratkaistavaksi jää, mitä tämä milloinkin tarkoittaa. Käytettäessä huippukuormituksella tai huippuhelteilä tehostettua ilmanvaihtoa ja normaalia suurempia ilmavirtoja, on tällöin sfp-luku tilapäisesti normaalitilannetta korkeampi.

5.2.3 Ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus

Tehokkain tapa pienentää ilmanvaihdon kokonaisenergiankulutusta on toteuttaa se tarpeenmukaisena, eli ilmaa johdetaan tiloihin vain todetun käytön ja käyttöasteen mukaan. Joissakin rakennustyypeissä tiettyjen tilojen (luokat, ryhmätilat, neuvotteluhuoneet, taukotilat, jne.) käyttöaste vaihtelee paljon. Kun ilmanvaihdon sähkönkulutus on verrannollinen ilmavirran kolmanteen potenssiin, ja lämmönkulutus suoraan verrannollinen siihen, saadaan tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla energiankulutusta vähennettyä tehokkaasti.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon osalta on huomioitava seuraavaa:

- se on merkittävimpiä yksittäisiä toimenpiteitä vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen
- yhdenmukainen ja realistinen tarkastelu on oleellista, laskentasäännöt määriteltävä (profiilit, minimi-ilmavirrat, jne.) – ohjeistusta on tekeillä
- hankekohtaisesti on käytävä läpi miten E-lukutarkastelu ja todellisen energiankäytön kannalta tehdyt tarkastelut ohjaavat suunnittelua - todellinen hyöty todellisiin käyttöajoin ja kuormituksiin sekä todelliset kustannukset on laskettava aina tapauskohtaisesti

Johtopäätöksenä oli, että tarpeenmukainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavasti:

- Toimistorakennukset:
 - rakennuksen työ- ja oleskelutiloissa on hiilidioksidi- ja lämpötilaohjauksella toimiva ilmanvaihdon ilmavirtasäätö ilmavirtasäätimien avulla
 - keskimääräinen D3-standardikäytön käyttöajan mukainen ilmanvaihtomäärä on 0,7 dm³/s/m²
- Koulut:

- rakennuksen luokka-, ruokala-, liikunta-, jne. tiloissa on hiilidioksidi- ja lämpötilaohjauksella toimiva ilmanvaihdon ilmavirtasäätö ilmavirtasäätimien avulla
- Päiväkodit:
 - rakennuksen ryhmähuoneissa ja muissa jaksottain käytetyissä tiloissa on hiilidioksidi- ja lämpötilaohjauksella toimiva ilmanvaihdon ilmavirtasäätö ilmavirtasäätimien avulla

Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että tarpeenmukainen ilmanvaihto on yleensä liike- ja palvelurakennuksissa kustannustehokas toimenpide ja sen vaikutukset E-lukuun ovat merkittävät.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaus voidaan toteuttaa erilaisin tavoin. Läsnaolo-ohjaus on teknisesti (esim. valaistusohjaukseen integroituna) yksinkertainen ja toimiva ratkaisu tapauksissa, joissa huoneen kuormitus käyttöaikana on vakio. Tyyppiesimerkki on yksittäinen toimistohuone, jossa henkilö on tai ei ole. Muuttuvakuormitteisissa tiloissa ei pelkkä läsnäolon tunnistus johda optimaaliseen energiankäyttöön. Neuvotteluhuoneissa, seminaari- ja opetustiloissa voi henkilömäärä vaihdella kahdesta huoneen maksimikapasiteettiin asti. Tällöin säätöperusteena on yleensä ilman laatu ja/tai lämpötila). Ilmavirtojen säätö voidaan toteuttaa portaattomasti toimivana tilakohtaisilla ims-yksiköillä tai yksinkertaisemmin portaallisesti sulkupeltien avulla. Joskus tarpeenmukaisuus on mahdollista toteuttaa myös vyöhyke- tai konekohtaisesti kanaviston painesäädön ja puhaltimien taajuusmuuttajakäyttöjen avulla.

Yleinen kritiikki tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon liittyen kohdistuu järjestelmässä olevaan laitteiden määrään ja säädön monimutkaisuuteen, hallittavan tekniikan ja ylläpitokohteiden lisääntymiseen, toteutukseen liittyvien riskien kasvuun, käyttäjien osaamistason puutteeseen, jne. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toimimattomuudesta, korkeista kustannuksista, suunnittelussa ja urakoinnissa tapahtuneista virheistä, jne. on runsaasti huhuja. Hankalimmissa tapauksissa järjestelmän toimintakuntoon saattaminen on tapahtunut rakennuksen ollessa jo käytössä ja on vaatinut koko kahden vuoden takuuajan.

On selvää, että tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutus vaatii kaikilta hankkeen osapuolilta osaamista ja paneutumista asiaan. Etenkin toimintakokeiden sekä käyttöönottovaiheen testausten ja automatiikan virityksen merkitys on oleellinen.

5.3 Valaistus

5.3.1 Energiatehokas valaistus

Sisävalaistuksen osalta tavoitteiden mukaisen valaistustason saavuttamisella ja tarpeettoman ylimitoituksen välttämällä on merkittävä vaikutus kiinteistön sähkönkulutukseen erityisesti kun huomioidaan sähköenergian tuottamiseen liittyvät energiakertoimet. Erityisesti tarpeenmukainen valaistusohjaus ja käyttäjien vaikutusmahdollisuudet tilojen valaistukseen tulee määrittellä tavoitteita asetettaessa.

Valaistuksen osalta on huomioitava seuraavaa:

- energiatarkastelua rakennusluvan energiaselvitystä varten tehdään tilanteessa, jossa valaistussuunnittelua ei yleensä ole vielä aloitettu
- D3 standardikäytön valaistustehot ovat nykytekniikkaan nähden ylisuuria ja voivat johtaa virheellisiin mielikuviin todellisista tehoista
 - LEED-kohteissa toimistoissa on päästy 10 W/m²

- nykytekniikalla mahdollista päästä toimistoissa hyvälaatuisella valaistuksella tasoon $6,5 \text{ W/m}^2$, toistaiseksi hintaero tehon alentamisesta $10 > 6,5 \text{ W/m}^2$ on suuruusluokkaa 1:2
- tällä hetkellä ledien valotehokkuus kasvaa, laatu paranee ja hinta alenee vielä voimakkaasti ja valaistuksen ohjaustekniikka kehittyy voimakkaasti
- led-valaistus vaativat vähemmän huoltoa ja lampunvaihtoja kuin loisteputkivalaistus, mutta käyttöiän täytyessä koko valaisin on todennäköisesti uusittava

Valaistuksesta laadittiin FlnZEB-valaistusryhmän toimesta erillinen raportti (**Taustaraportti 10**), joka on julkaistu TAMK-julkaisusarjassa.

Johtopäätöksenä oli, että tulevaisuudessa LED-valaistus voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavasti:

- Asuinkerrostalot:
 - **Valaistus 9 W/m^2** , kiinteä valaistusjärjestelmä (mm. keittiö, kylpyhuone, eteine) on toteutettu LED-valaisimilla loistevalaisimien sijaan
- Toimistorakennukset:
 - **Valaistus 7 W/m^2** , valaistusjärjestelmä on toteutettu pääosin LED-valaisimilla loistevalaisimien sijaan. Todellinen toteutunut valaistuksen neliötehon suunnitteluarvo LEED-kohteeseen, rajaa toimistokalusteiden sijoittelun muuntojoustavuutta vielä nykytekniikalla.
- Koulut:
 - **Valaistus $12...8 \text{ W/m}^2$** , luokkien, käytävien, aulojen, liikuntatilan, ruokalan, jne. valaistusjärjestelmä on toteutettu pääosin LED-valaisimilla loistevalaisimien sijaan.
- Päiväkodit:
 - **Valaistus $12...9 \text{ W/m}^2$** , ryhmätilojen, käytävien, toimisto- ja aputilojen, jne. valaistusjärjestelmä on toteutettu pääosin LED-valaisimilla loistevalaisimien sijaan.

Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että LED-valaistus on useissa rakennustyypeissä kustannustehokas toimenpide.

5.3.2 Valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus

Valaistuksen ohjaus on perinteisesti ratkaistu paikallisilla kytkimillä, jotka ohjaavat yksittäisiä valaisimia tai alueellisia valaisinryhmiä päälle ja pois. Toimisto- ja liikerakentamisessa perinteisesti kiinteistöautomaatiojärjestelmät ovat ohjanneet vähintäänkin osassa tiloja valaistusta rakennukseen määritellyn käyttöaikaohjelman mukaisesti. Toimistotiloissa valaistusta ohjataan nykyisin usein työpistekohtaisesti kytkimillä, vetonaruilla tai kaukosäätimillä. Tällöin valaisimien tarpeen mukainen ohjaus vaatii käyttäjiltä aktiivisuutta.

Läsnäoloilmaisimien käyttö valaistuksen ohjaukseen antaa merkittävät säästöt valaistusenergian kulutuksessa. Ilmaisimien sijoittelu tilassa tulee suorittaa harkitusti niin, että tilan käyttötavat ja kalustusvaihtoehdot tulee huomioida.

Tilojen keinovalon valotasoa voidaan ohjata vakiovalo-ohjauksin ikkunoiden läheisyydessä päivänvalon saatavuuden mukaan. Valotason muutos tulee toteuttaa hitaasti säätäen, jotta käyttäjät eivät kokisi muutosta häiritseväksi.

Väyläpohjainen järjestelmä säädettävillä valaisimilla yhdistettynä läsnäolo- ja vakiovalo-ohjaukseen vaatii eniten investointeja, mutta ko. ratkaisulla saavutetaan myös suurimmat energiankulutuksen säästöt. Väyläpohjainen järjestelmä vaatii monimutkaisempaa valaisinelektroniikkaa sekä ohjelmointilaitteita. Väyläratkaisussa valaisimien liitännälaitteita voidaan ohjata ryhmäohjauksen lisäksi myös yksilöllisesti, jolloin on mahdollista määritellä erilaisia valaistustilanteita.

Johtopäätöksenä oli, että tarpeenmukainen valaistus voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavasti:

- Toimistorakennukset:
 - toimiston työtiloissa ja kokoontumishuoneissa on liiketunnistimin ja valaisin- tai huonekohtaisin (kokoontumishuoneissa) kytkimin ohjattu valaistus
 - liiketunnistimet on integroitu valaisimiin, erillisiä tila- tai aluekohtaisia liiketunnistimia ei ole
 - valaistus on liitetty rakennusautomaation tietoväylään valaistusalueiden muodostamista varten
- Koulut:
 - luokissa ja muissa jaksoittain käytetyissä tiloissa (ruokala, liikunta, jne.) on liiketunnistimin ja valaisin- tai huonekohtaisin (kokoontumishuoneissa) kytkimin ohjattu valaistus ja ohjaus on toteutettu edellä kuvatulla tavalla
- Päiväkodit:
 - ryhmätiloissa ja muissa vaihtelevan käytön tiloissa on liiketunnistimin ja valaisin- tai huonekohtaisin (kokoontumishuoneissa) kytkimin ohjattu valaistus ja ohjaus on toteutettu edellä kuvatulla tavalla

Lopputuloksena elinkaarikustannustarkastelusta oli, että tarpeenmukainen valaistus on yleensä liike- ja palvelurakennuksissa kustannustehokas toimenpide ja sen vaikutukset E-lukuun ovat merkittävät.

6 Johtopäätökset

Useimmat kustannuksiltaan ja energiansäästövaikutuksiltaan perusteltavissa olevat ratkaisut ovat jo nykypäivänkin käytössä ainakin yksittäisinä ratkaisuin. Energiatohokkuuden merkitys lisääntyy, teknologiat kehittyvät ja uusia järjestelmäkokonaisuuksia ja laitteita tulee markkinoille ennen lähes nollaenergiarakentamisen määräysten voimaantuloa. Järjestelmien yhteensovittaminen ja tiedonsiirto sekä käyttäjäystävällisyys tulevat ratkaisemaan niiden käyttökelpoisuuden nzeb-markkinoilla.

Huippuenergiatohokkaan kohteen toteuttaminen vaatii panostusta läpi koko rakennusprosessin. Rakentamisen laadun ja talotekniikan merkitys kasvaa lähes nollaenergiarakentamiseen siirryttäessä. Energiatohokkaan kokonaisuuden aikaansaaminen edellyttää keskeisten osapuolien sitoutumista haastaviin tavoitteisiin sekä rakennuksen kokonaisvaltaista ja huolellista suunnittelua, toteutusta ja käyttöönottoa.