

MARI TUOMAALA ja TUIJA VIRTANEN

# Energiatehokkuuden mittaamisen haasteet johtamisen näkökulmasta prosessiteollisuudessa

## TIIVISTELMÄ

Imastonmuutoksen johdosta yrityksissä on entistä enemmän havahduttu kiinnittämään huomiota energiatehokkuuteen sekä sen mittaamiseen ja johtamiseen. Yritykset pyrkivät tehostamaan energianhallintajärjestelmiään ja hiilidioksidipäästöjen seurantaan sekä tunnistamaan ja priorisoimaan niihin liittyviä parannustoimenpiteitä. Asia on erityisen ajankohtainen energiaintensiivisessä teollisuudessa.

Energiatehokkuuden mittaaminen on yrityksen johdon, teknisen henkilöstön ja laitosten operattorien konkreettinen energianhallinnan työkalu. Energiatehokkuuden mittaamisen konseptuaaliset haasteet tunnetaan suhteellisen hyvin teknillisessä kirjallisuudessa, mutta energiatehokkuuden operatiivista johtamista on tutkittu vähän. Tämä artikkeli tuo lisätietoa energiatehokkuuden mittarin käytöstä operatiivisen johtamisen työvälineenä.

Artikkelissa esitettävien tutkimustulosten perusteella energiatehokkuuden johtamisen haasteet liittyvät läheisesti sen mittaamiseen haasteisiin. Tutkimus osoittaa, että energiatehokkuuden mittari ei täytä kaikkia hyvän suorituksen mittarin tunnuspiirteitä. Työntekijät eivät esimerkiksi tiedä riittävän hyvin, miten mittarin arvoon vaikutetaan. Myös mittarin käyttöön johtamisen työkaluna liittyy merkittäviä haasteita. Niitä ovat kyky ilmaista strategiset energiatehokkuuteen liittyvät tavoitteet mitattavassa muodossa ja muodostaa organisaation eri tasoille sopivia mittaristoja. Tutkimuksen havainnot tukevat teknisessä, energiatehokkuuden mittaamista kuvaavassa kirjallisuudessa esitettyjä havaintoja ja antavat vahvistusta sille, että mittarien kehitystyötä on jatkettava.

**MARI TUOMAALA**, TkT, tutkimuspäällikkö

Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu, Energiatekniikan laitos • e-mail: mari.tuomaala@tkk.fi

**TUIJA VIRTANEN**, KTT, yliassistentti

Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu, Laskentatoimen laitos • e-mail: tuija.virtanen@aalto.fi

## Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen empiirinen evidenssi perustuu prosessiteollisuuden yrityksessä Borealis Polymers Oy tehtyyn case -tutkimukseen (Pentti, 2009). Borealis Group toimii kolmessa maanosassa ja työllistää 5500 henkilöä. Vuonna 2008 Borealisen primäärienergiankulutus oli 15100 GWh. (Borealis, 2010) Tutkimuksessa analysoitiin case-yrityksen energiatehokkuuden mittausjärjestelmää ja haastateltiin työntekijöitä johdosta operaattoreihin, yhteensä 22 henkilöä.

## Energiatehokkuuden mittarit

Prosessiteollisuudessa energiatehokkuus mitataan yleensä ominaisenergiankulutuksena (yhtälöt 1 ja 2). Luku ilmaisee energiankäytön suhteessa tuotannon määrään [MWh/t]. Toinen tyypillinen energiatehokkuusmittari on ominaisenergiankulutusluvusta jalostettu dimensioton energiatehokkuusindeksi (yhtälö 3).

Energiatehokkuus paranee, kun 1) sama määrä tuotetta tuotetaan pienemmällä energiamäärällä, 2) suurempi määrä tuotetta tuotetaan samalla energiamäärällä tai 3) suhteessa suurempi määrä tuotetta tuotetaan kasvaneella energiamäärällä (ts. osoittaja [MWh] kasvaa vähemmän kuin nimittäjä [t]) (EC, 2009; ks. yhtälö 1).

Ominaisenergiankulutus (specific energy consumption, SEC) (EC, 2009) lasketaan seuraavasti:

(1)

$$\text{Ominaisenergiankulutus} = \frac{\text{Energiankulutus}}{\text{Tuotannon määrä}}$$

missä energiatehokkuuden yksikkö on esim. MWh/t tai GJ/t.

Teollisuusprosessit käyttävät yleensä energiaa eri muodoissa: polttoaineina, höyrynä ja sähköinä. Tällöin loppuenergiankäyttöä kuvaava mittari SEC saa muodon (EC, 2009):

(2)

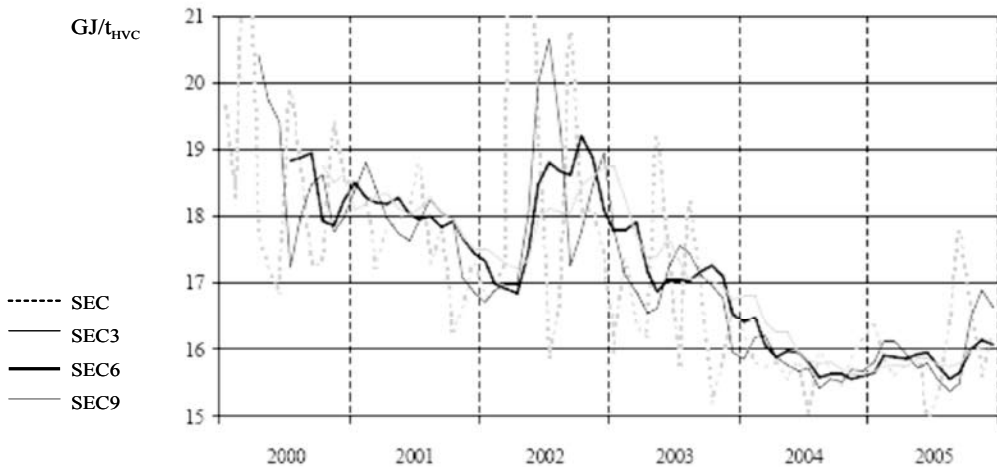
$$\text{Ominaisenergian-} \\ \text{kulutus} = \frac{E_{\text{sähkö}} + E_{\text{lämpö}} + E_{\text{polttoaineet}}}{\text{Tuotannon määrä}}$$

missä  $E_{\text{polttoaineet}}$  on polttoaineen kulutus,  $E_{\text{lämpö}}$  on lämmön kulutus ja  $E_{\text{sähkö}}$  on sähkön kulutus. Osatekijöistä yhteenlaskettua lukua ei voida kuitenkaan purkaa alkuperäisiin osiin ilman alkuperäistä dataa. Polttoaineilla, lämmöllä ja sähköllä on erilainen energian arvo (exergia). Yhteenlaskun mahdollistamiseksi kaikki loppuenergia tulisi muuttaa primäärienergiaksi, jona se on ennen jalostusta. Tämä voidaan tehdä olettamalla jokaiselle energijakeelle tuotantohyötysuhde. Sähköntuotannolle käytetään esim. hyötysuhdetta 40 % ja lämmöntuotannolle hyötysuhdetta 90 %. Todellisuudessa muuntokertoimet ovat tapauskohtaisia eli ne vaihtelevat käyttökohteittain.

Kuvassa 1 esitetään erään teollisuusprosessin ominaisenergiankulutus (SEC) kuuden vuoden ajanjaksolla. Energiankulutus kattaa sähkön kulutuksen, lämmön kulutuksen ja polttoaineiden käytön. Kuvasta voidaan havaita, että ominaisenergiankulutus vaihtelee ajan funktiona. Suurin ja tunnetuin vaikuttava yksittäinen tekijä on kapasiteetin käyttöaste.

Energiatehokkuus ilmaistaan yleensä termodynaamis-fysikaalisella mittarilla [GJ/t; MWh/t]. Sama tieto voidaan ilmaista myös esimerkiksi CO<sub>2</sub> -päästönä [t<sub>CO2</sub>/t], jolloin mittari korostaa ympäristö- tai ilmastonäkökulmaa. Tuotannon määrä voidaan muuttaa sen taloudelliseksi arvoksi [GJ/EUR] tai energiankulutus voidaan ilmaista energiakustannuksen avulla [EUR/t], jolloin mittari ilmaisee taloudellista näkökulmaa.

Ominaisenergiankulutusluvusta muodostettu energiatehokkuusindeksi soveltuu prosessin energiankäytön pitkäaikaiseen seurantaan.



**KUVA 1. Petrokemiantehtaan ominaisenergiankulutus, SEC [GJ/t<sub>HVC</sub>] perustuen kuukausi-keskiarvoihin vuosina 2000...2005 sisältäen liukuvat keskiarvot edelliseltä 3 kuukaudelta (SEC3), 6 kuukaudelta (SEC6) ja 9 kuukaudelta (SEC 9)(Auvinen, 2008). HVC, High value chemicals, tarkoittaa kaikkia laitoksen tuottamia tuotteita yhteensä.**

Energiatehokkuusindeksi (energy efficiency index, EEI) (EC, 2009) esitetään seuraavasti:

$$(3) \quad EEI = \frac{SEC_{ref}}{SEC}$$

missä  $SEC_{ref}$  on referenssiprosessin energiankulutus, joka edustaa tavoiteltavaa arvoa. Vertailuarvo voi olla esimerkiksi laitoksen jonkin tietyn vuoden kulutusarvo. Se voi olla myös muu referenssikulutus, kuten BAT (best available technique) arvo.

### Energiatehokkuuden mittaaminen teknisestä näkökulmasta

Tekninen kirjallisuus käsittelee energiatehokkuuden mittaamisen haasteita liittyen teknisesti oikean informaation tuottamiseen. Tunnistettuja energiatehokkuuden mittaamisen haasteita ovat: erilaisten tuotteiden ja osavalmisteiden kategorisointi (nimittäjät, ks. yhtälö 1), energiankulutuksen laskenta-alueen määrittäminen

(energiatase), energian arvon huomioiminen, energian allokointi prosesseille ja tuotteille sekä vaikeus tunnistaa energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä (Ahtila et al., 2010). Mittaamisen haasteiden merkitys riippuu siitä seurataanko vain oman prosessin tehokkuutta vai halutaanko myös vertailla eri prosessien välisiä tunnuslukuja. Oman prosessin seurantaan merkittävimmin vaikuttava seikka on se, että tehokkuuden osatekijöitä on monia eikä niiden vaikutuksia täysin tunneta (ks. kuva 1). Energiatehokkuus esimerkiksi heikkenee, jos prosessin käyttöaste laskee markkinatilanteen tai tuotantokatkojen vuoksi. Lisäksi energiatehokkuuteen vaikuttavat mm. käytetyt raaka-aineet ja ympäristön lämpötila.

Muut luetellut mittaamisen haasteet vaikeuttavat etenkin eri prosesseista saatujen tunnuslukujen vertailua. Esimerkiksi eri tuotteiden valmistusenaikaisia energiatehokkuuslukuja ei voida vertailla, jos tuotteet ovat erilaisia (nimitäjän määrittämisen haaste) ja ne vaativat erilaisen valmistusprosessin. Tämä problematiikka

estää käytännössä myös sen, ettei tehdasalueen eri osaprosessien ominaiskulutuslukuja voida laskea yhteen. Mittauksen taseraja voidaan myös asettaa eri tavoin (taserajan määrittämisen haaste). Taserajan määrittämistä vaikeuttaa se, että laitoksen/prosessien rajat ovat usein epätas- mällisiä eikä mittauksia ole saatavissa. Myös eri energiamuodot tulisi muuntaa primääriener- giaksi ennen yhteenlaskua, koska niiden termo- dynaaminen arvo on erilainen (energian arvoon liittyvä haaste). Lisäksi erilaiset energian allo- koimiseen liittyvät kysymykset vaikeuttavat energiankulutuksen, kustannusten ja päästöjen jakamista tuotteille ja tuotantovaiheille (ener- gian allokointiin liittyvät haasteet). Tekijät yh- dessä aiheuttavat laskelmiin eroavaisuuksia ja epätarkkuuksia ja ne vaikeuttavat vertailua (benchmarking).

Energiankulutusta ei tulisi tarkastella irral- laan prosessin käyttöön (operointiin) ja mate- riaalien käyttöön liittyvistä tekijöistä (Tuomaala, 2007). Kuten mainittu, prosessin käyttöasteen aleneminen, ml. katkot ja häiriöt alentavat pro- sessin energiatehokkuutta. Myös materiaalin käytön tehokkuudella on kytkeä energiatehok- kuuteen. Esimerkiksi materiaalin sisäinen puh- distus voi lisätä energiankulutusta. Teknisten kriteerien lisäksi on huomioitava ympäristönä- kökulma ja reaalitaloudessa luonnollisesti ta- lousnäkökulma. Energiatehokkuuden ympäris- tönäkökulma tarkoittaa etenkin tuotteiden val- mistuksen aiheuttamaa hiilidioksidipäästöä. Mitä suurempia kokonaisuuksia analysoidaan, sitä haasteellisemmaksi tulee energiatehokkuu- den tulkitseminen osana muita merkittäviä tun- nuslukuja.

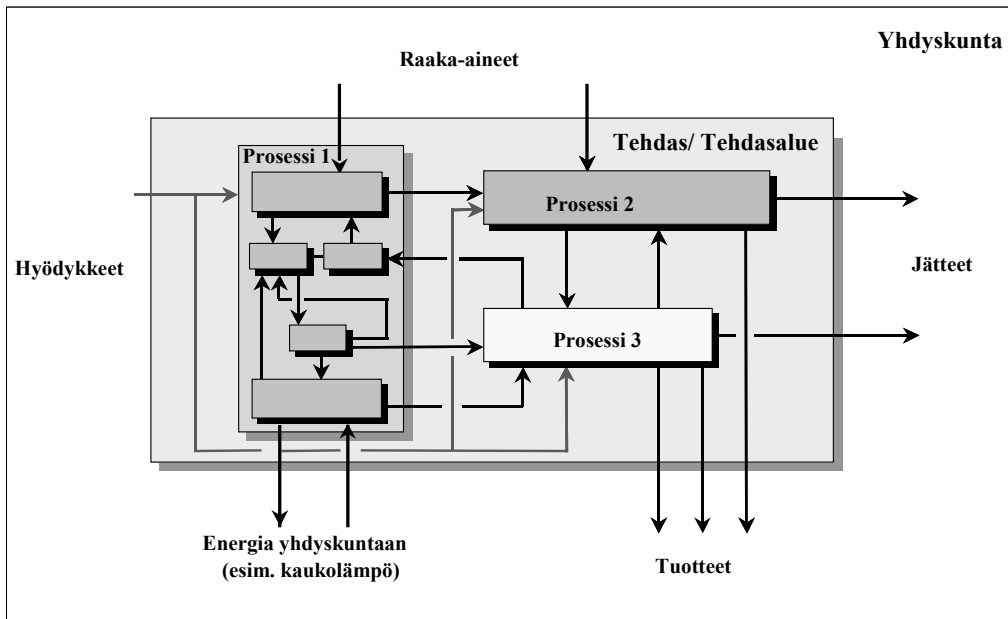
Energiatehokkuustiedon rakentaminen alkaa prosessitason mittaustiedoista. Nämä tie- dot ovat välittömimmin laitoksen operaattori- den käytössä. Prosessimittaustiedoista jaloste-

taan mittareita laitos/prosessi- ja tehdastason mittareiksi. Siirryttäessä tehdastason mittareihin törmätään teoreettiseen ongelmaan yhdistää erilaisten prosessien ominaisenergiankulutuslu- kuja. Lisäksi tuotantolaitokset ovat integroituja eli niiden välillä on lukuisia kytkentöjä. Kytken- nät ovat monimutkaisia ja vuorovaikutuksia voi olla jopa mahdoton tulkita (Siitonen, 2010). Tut- kimuksen empiriaosassa haastateltavat toivat esiin epäilyksensä siitä, että energiansäästö jos- sain kohteessa saattaa aiheuttaa energiankäytön kasvua jossain muussa kohteessa. Osien välillä voi olla usein myös eri omistajaintressejä. Kuva 2 havainnollistaa tällaista ympäristöä.

## **Energiatehokkuuden mittaaminen suorituksen arvioinnin näkökulmasta**

### **Hyvän suorituksen mittarin tunnuspiirteet**

Suorituksen arviointiin liittyvässä kirjallisuudes- sa tuodaan esiin hyvien mittareiden tunnuspiir- teitä. Luokitteluja on useita erilaisia ja niissä painotetaan hieman toisistaan poikkeavia näkö- kulmia (ks. esim. Merchant & Van der Stede, 2007; Laitinen, 1998; Partanen, 2007; Malmi et al., 2006). Kirjallisuuden mukaan: mittaritiedon keräämisestä aiheutuvan kustannuksen ja vai- van on oltava kohtuullinen; mittaritiedon on oltava oikea-aikaista, objektiivista, tarkkaa, va- lidia, luotettavaa; mittarin pitäisi auttaa ongel- mien identifioimisessa ja ratkaisussa; mittarista tulisi voida käyttää variaatioita organisaatioiden eri tasoilla; mittarille on kyettävä asettamaan tavoitearvoja ja mittari tulisi voida integroida palkkiojärjestelmään. Lisäksi mittauksen koh- teena olevan henkilön tulee voida vaikuttaa mittarin arvoon ja hänen on ymmärrettävä, mi- ten tavoitteita voidaan toteuttaa.



**KUVA 2.** Havainnollistava kuva tehdaslaitoksesta ja sen kytkennöistä. Nuolet kuvaavat energia- ja materiaalivirtoja. Laatikot havainnollistavat valmistusprosesseja tai niiden osia. Prosessit voivat olla joko saman konsernin eri liiketoimintayksiköitä tai ne voivat kuulua toisiin konserneihin.

Energian käyttöä kuvaava fysikaalinen mittaustieto on objektiivista, tarkkaa, validia ja luotettavaa huomioiden tekniset reunaehdot. Tämä tuli esiin myös tutkimuksen empiirisessä osuudessa, ts. myös työntekijät kokivat asian näin. Mittauksen rasitteena olivat viiveet, koska tieto energiatehokkuudesta oli saatavissa usein vasta jälkeenpäin. Lisäksi energiatehokkuuden seuranta oli kytketty vuosittain maksettavaan bonusjärjestelmään, joka ei tukenut tehostamista kaikkina ajanjaksoina. Empiirisen evidenssin perusteella myös energiatehokkuusmittarin vaikutettavuus-kriteeri täyttyi huonosti. Työntekijät kokivat, etteivät he tiedä miten mittarin lukuarvoon vaikutetaan. Energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen onkin lueteltu yhdeksi mittaamisen haasteeksi teknisestä näkökulmasta (ks. kuvat 1 ja 2).

Toimivan mittarin edellytyksenä on myös se, että sen tuottamaa tietoa voidaan käyttää ongelmien identifiointiin ja ratkaisuun. Kuvan 1 kulutuskäyrää tarkastelemalla voidaan ymmärtää, ettei syitä energiatehokkuuden muutoksiin ole helppo tulkita. Energiatehokkuusmittarin käyttöä ongelmanratkaisijana heikentää myös se, että siinä kulutustiedot (polttoaine, sähkö, lämpö) tiivistyvät yhdeksi tunnusluvuksi (yhtälö 2). Tämän jälkeen esimerkiksi tietoa muutoksen pääaiheuttajasta ei ole enää esillä. Haasteet kasvavat edelleen, kun pyritään tulkitsemaan koko tuotantolaitosta kuvaavia lukuja.

Suorituksen arvioinnin kirjallisuudessa keskustellaan myös taloudellisten (rahamääräisten) ja ei-rahamääräisten mittareiden ominaisuuksista. Taloudellisten mittareiden käyttöä puoltaa se, että niitä voidaan mitata suhteellisen

tarkasti, objektiivisesti ja oikea-aikaisesti. Ei-rahamääräisten mittareiden avulla pyritään ennakoidaan tulosta ja ne ovat taloudellisia mittareita välittömämmin työntekijöiden kontrolloitavissa. Niiden katsotaan olevan myös paremmin jäljitettävissä strategiaan eikä niihin vaikuta rahan arvon vaihtelu.

Taloudellinen energiatehokkuusmittari muodostetaan termodynaamis-fysikaalisesta [esim. MWh/t] tunnusluvusta termodynaamis-taloudelliseksi tunnusluvuksi [MWh/EUR] tuotannon arvon avulla tai taloudellis-fysikaaliseksi tunnusluvuksi [EUR/t] energiakustannuksen avulla. Termodynaamis-taloudellisten lukujen käyttö tehdastason mittaamisessa on myös jossain määrin välttämätöntä. Niitä voidaan käyttää, kun eri laitoksien energiatehokkuuslukuja halutaan laskea yhteen. Taloudellis-fysikaalisen mittarin on katsottu lisäävän asian havainnollisuutta ja työntekijöiden ymmärrystä asian merkityksestä. Tästä esimerkkinä voisi olla hukka-energiavirran ilmaiseminen euromääräisenä. Energian hinnan vaihtelu tuo asiaan lisähaasteita.

### **Energiatehokkuus osana organisaation johtamista**

Mittarit ovat johdon työkaluja ja ne johdetaan organisaation strategiasta ja tavoitteista. Mitä paremmin strategiset tavoitteet saadaan mitattavaan muotoon, sitä voimakkaammin suoritusmittaus ohjaa strategian toteuttamista. Yritystason indikaattorit ovat yleensä mittareiden suunnittelun lähtökohta ja alemmille hierarkian tasoille tulisi löytää sellaisia mittareita, jotka tukevat tavoitteiden edistämistä (Epstein, 2008). Mittarit tulisi myös sovittaa vastaamaan organisaation päätöksenteon vastualueita. Mittareiden välisiä suhteita voidaan jäsentää muodostamalla mittariketjuja ja linkittämällä mittareita

toisiinsa moniulotteisiksi mittaristoiksi, esim. Balanced Scorecard. Tämä korostaa strategian viestittämistä organisaatiolle.

Kohdeyrityksessä ylempään johdon tunnusluvut oli kytketty seuraaviin näkökulmiin: talous, asiakkaat, prosessit sekä oppiminen ja kasvu. Alemmilla organisaatiotasolla (operaattori- ja laitostaso) seurattiin pääasiassa teknisiä energiatehokkuuden mittareita. Niitä olivat ominaisenergiankulutus, luotettavuus, hiilidioksidipäästöt ja soihdutuskuuden määrä. Teorian mukaan energiatehokkuutta kuvaava tieto tulisi jalostaa organisaation eri tasojen toiminnan ohjaukseen soveltuvaan muotoon. Tutkimus havainnollisti kuitenkin, että suoraviivaisen kytkennän muodostaminen johdon tavoitteiden ja organisaation alempien tasojen energiatehokkuusmittareiden välille on haasteellista. Mittaristojen rakentamisessa tulisi huomioida, että operaattoritasolla korostuvat laitteiden ja osaprosessien tehokas käyttö. Tiedon tuottaminen energiatehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä, alan parhaista käytännöistä sekä investointimahdollisuuksista on muun organisaation tehtävä.

Energiatehokkuuden merkitys tämän päivän prosessiteollisuuden yrityksissä on kasvanut, kuten oli myös kohdeyrityksessä. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa havaittiin kuitenkin, ettei energiatehokkuuden strategiasta merkittävyyttä oltu viestitty koko organisaatiossa riittävästi. Tämä näkyi siinä, etteivät kaikki työntekijät täysin tiedostaneet asian tärkeyttä ja ettei energiatehokkuus ollut esillä kaikkien työntekijäryhmien tulokorteissa.

Tavoitteiden asettaminen on oleellinen osa strategian toteuttamista. Tavoitetasot tulisi määrittää niin, että ne ovat saavutettavissa ja että työntekijöillä on mahdollisuus vaikuttaa niihin. Tavoitetasojen asettaminen ei-rahamääräisille tunnusluville (kuten ominaisenergian-

kulutus) voi kuitenkin olla hankalaa mittaustiedon puuttuessa ja benchmarking -informaation löytäminen voi olla vaikeaa. (Järvenpää et al. 2001, s.188)

Empirian perusteella energiatehokkuuden johtamisen suurimmat haasteet liittyivät tavoitetasojen asettamiseen. Työntekijät kokivat, etteivät he tienneet miten energiatehokkuusmittarin arvoon voidaan vaikuttaa. Tätä käsitystä voidaan vahvistaa teknisestä näkökulmasta. Tiedetään esimerkiksi, ettei vähimmäisenergiankulutuksen laskeminen tuotantoprosessien kaikille vaiheille ole aina mahdollista. Kohdeyrityksessä tuli esiin, että mittaus oli kohtuullisen uusi asia eikä vertailutietoa tavoitetaso asettamiseksi ollut saatavissa. Tavoitteiden asettamisen vaikeus lienee myös yksi syy siihen, miksi energiatehokkuus ei ollut vielä kaikkien teknisten työntekijäryhmien tulokorteissa.

Energiatehokkuusindeksi, EEI (yhtälö 3) suhteuttaa ominaisenergiankulutuksen valittuun referenssiarvoon. Indeksien etuna on, että sen käyttö parantaa tavoitetaso hahmottamista. Samalla energiatehokkuusmittarin rooli ennustavan tiedon tuottajana paranee, kun työntekijät voisivat hahmottaa pitkän ajan muutoksia, mitä ominaisuutta yleensä tavoitellaankin ei-rahämääräisillä mittareilla.

Strategian toteuttaminen edellyttää myös henkilöstön sitoutumista asetettuihin tavoitteisiin. Henkilöstön osallistuminen suunnitteluprosessiin ja interaktiivinen keskustelu läpi organisaation edesauttaa sitoutumista. Tällöin työntekijät voivat myös itse löytää niitä mittareita, jotka heidän työssään kuvaavat seikkoja, joiden menestyksellinen hoitaminen auttaa koko yrityksen strategian toteutumista (Malmi et al., 2006). Sitoutumista voidaan pyrkiä tehostamaan myös kytkemällä palkitseminen mittareihin. Empiriassa havaittiin, että energiatehokkuuden kyt-

kemisessä palkitsemisjärjestelmään oli ongelmia, kun työntekijät lakkasivat yrittämästä, kun vuoden bonus oli menetetty.

## Pohdinta

Tutkimus tarjoaa poikkitieteellisen lähestymistavan energiatehokkuuden mittaamiseen ja johtamiseen. Samalla herätetään keskustelua energiatehokkuuden mittaamisen ja johtamisen monimuotoisuudesta.

Tutkimuksessa havaittiin, että energiatehokkuuden mittari ei täytä kaikkia hyvän mittarin tunnuspiirteitä. Niistä täytyvät ainoastaan tarkkuus, objektiivisuus, validius ja luotettavuus olettaen, että tekniset edellytykset mittaamiselle ovat olemassa. Huonoimmin kriteereistä täyttyvät oikea-aikaisuus ja vaikutettavuus. Oikea-aikaisuus koetaan haasteelliseksi siksi, että ajan tasalla olevaa tietoa tehokkuudesta ei ole käytävissä. Vaikutettavuus -kriteeri ei täyty, koska työntekijät eivät koe tietävänsä, miten energiatehokkuusmittarin arvoon voidaan vaikuttaa.

Tutkimus osoittaa, että myös energiatehokkuusmittarin käyttöön operatiivisen johtamisen työvälineenä liittyy haasteita. Haasteena on strategisten energiatehokkuustavoitteiden ilmaiseminen mitattavassa muodossa sekä organisaation eri tasoille sopivien mittaristojen muodostaminen. Energiatehokkuustavoitteiden asettaminen koetaan empiirisen tutkimuksen perusteella erityisen haasteelliseksi. Tätä tulosta voidaan vahvistaa teknisestä näkökulmasta, koska tiedetään, ettei energiatehokkuutta tukevien prosessin toimintaparametrien asettaminen ole ongelmaton. Teknisiä haasteita on myös energiatehokkuutta kuvaavan tiedon jalostamisessa organisaation eri tasojen toiminnan ohjaukseen soveltuvaan muotoon. Tekijöillä on lopulta kytkentä henkilöstön sitouttamiseen asetettuihin tavoitteisiin ja sellaisten, koko organisaatiota

koskevien toimintatapojen oppimiseen, jotka edistävät energiatehokkuuden toteuttamista.

Interaktiivinen keskustelu ja vuorovaikutus organisaatiossa edistäisivät oppimista organisaation eri tasoilla. Yrityksissä tulisikin pyrkiä tunnistamaan organisaation eri tasojen erilaiset toimintamahdollisuudet ja -valtuudet sekä energiatehokkuuteen eniten vaikuttava taso. Olisi tärkeää, että tieto energiatehokkuuden mittaamisesta haasteineen olisi yritysten tiedossa laajemminkin. Tämä auttaisi työntekijöitä eri tasoilla motivoitumaan energiatehokkuuden parantamisesta, vaikka asia koettaisiinkin vaikeaksi. Johdon haaste on tietää, mistä tekijöistä koko tehtaan energiatehokkuusluvut koostuvat, koska lukuihin yhdistyy tietoja eri lähteistä. Operaattoritason haasteena on puolestaan tuntea energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Epätietoisuus johtaa helposti heidän turhautumiseensa. Operaattoreiden mittareihin tulisi sisällyttää vain niitä tekijöitä, joista he voivat olla vastuussa, kuten prosessin päälaitteet ja käyttöaste. Teknisten asiantuntijoiden käytössä tulisi olla benchmarking –informaatiota ja tietoa uusien tekniikoiden energiatehokkuutta edistävästä mahdollisuuksista.

## Jälkikirjoitus

Tutkimus Prosessi-integraatin liiketoimintajohdaminen (PI-Liito) toteutettiin osana Tekesin ClimBus tutkimusohjelmaa vuosina 2008–2010. Tutkimukseen osallistuivat Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu ja Aalto-yliopiston kauppar korkeakoulu. Tutkijat haluavat kiittää kohdeyrityksen Borealis Polymers Oy työntekijöitä ja erityisesti Matti Marttilaa hyvästä yhteistyöstä. Haastatteluaanjaksona yritys kärsi heikosta maailmanmarkkinatilanteesta, joka heijastui tuloksiin. Laman jälkeen tuotantomäärät

palasivat normaalille tasolle ja mittaus- ja palkitsemisperusteita parannettiin. Tutkimuksen energiatehokkuusinvestointeja koskeva osuus on julkaistu aiemmin tässä samassa lehdessä. ■

## Lähteet

- AHTILA P., HOLMBERG H., TUOMAALA M. & TURUNEN T.** (2010) Energy management. Kirja: Papermaking Part 2, Drying. Sarja: Karlsson M. (toim.) Papermaking Science and Technology, Paperi ja Puu Oy, Helsinki.
- AUVINEN, H.** (2008). Measuring energy and CO<sub>2</sub> efficiency in petrochemical industry by using energy balance analysis. Diplomityö. TKK, Espoo.
- BOREALIS** (2010) Borealis Company Profile. <http://www.borealisgroup.com/> Luettu: 5.2.2010
- EPSTEIN M.J.** (2008) M.J. Epstein, Making sustainability work: best practices in managing and measuring corporate social, environmental, and economic impacts, Greenleaf Publishing, Sheffield, England.
- EUROPEAN COMMISSION**, Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency, February 2009, Available at: [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ENE\\_Adopted\\_02-2009.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ENE_Adopted_02-2009.pdf), Accessed: September 29, 2010 Luettu: 10.2.2011.
- JÄRVENPÄÄ, M., PARTANEN, V. & TUOMELA, T.S.** (2001) Moderni taloushallinto – Haasteet ja mahdollisuudet. Edita Oyj. Helsinki.
- MALMI, T., PELTOLA, J. & TOIVANEN, J.** (2006) Balanced Scorecard: Rakenna ja sovelle tehokkaasti. Talentum, Helsinki.
- MERCHANT, K.A. & VAN DER STEDE W. A.** (2007) Management control systems: performance measurement, evaluation and incentives, Financial Times Prentice Hall, Harlow, England.
- LAITINEN, E.K.** (1998). Yritystoiminnan uudet mittarit. Kauppakaari OYJ. Helsinki.
- PARTANEN, V.** (2007) Talousviestintä johtamisen tukena. Economica nro 40, Talentum Media Oy, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- PENTTI, E.** (2009) Managing energy efficiency in the process industry with performance measurement and rewarding – case Borealis Polymers Oy. Pro Gradu -työ. HSE, Helsinki.
- SIITONEN, S.** (2010) Implications of energy efficiency improvement in CO<sub>2</sub> emissions in energy-intensive industry. Väitöskirja. Aalto –yliopiston teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- TUOMAALA, M.** (2007) Conceptual Approach to Process Integration Efficiency. Väitöskirja. TKK, Espoo.