

Systemteori förr och nu – system i en
föränderlig värld

Brändö, Åland 13-14 maj 2013

Pohjoismaiden sähkömarkkinoiden ja
sähköntuotannon malli VTT-EMM

Stokastinen dynaaminen ohjelmointi

Eero Tamminen

Veikko Kekkonen

Göran Koreneff

Tiina Koljonen

Energiatalousryhmä, Energiajärjestelmät, VTT

Mallin käyttötarkoitus

Mallin käyttötarkoitus: Sähkömarkkinoiden spot-hinnan kehityksen ennustaminen keskipitkällä-pitkällä aikavälillä (1 kk -).

Politiikka-analyysit: Eri tekijöiden vaikutus hintaan

Keskeisten satunnaistekijöiden stokastiikan aito kuvaus:
Veden valuma altaisiin ja jokiin sekä kysyntä.

Yksinkertainen, transparentti ja nopea malli:
aggregointi, diskretointi ja approksimaatiot.

Dynaamisen ohjelmoinnin tilan laajentaminen

Teoriaa (määritelmiä)

Dynaaminen stokastinen päätösprosessi:

- Aika: diskreetti muuttuja $t = 1, \dots, T$.
- Tilamuuttujat: vektori $x(t)$.
- Stokastiset muuttujat, satunnaissuureiden vektori $S(t)$, realisaatiot $s(t)$.
- Päätösmuuttujat vektori $u(t)$.

$x(t)$, $s(t)$ ja $u(t)$ ovat reaalikomponenttisia vektoreita a.o. avaruuksissa.

Jatkossa aika t merkitään alaindeksiksi.

Dynaaminen stokastinen päätösprosessi, additiiviset kustannukset

The dynamic equation $x_t = \Phi(x_{t-1}, S_t, u_t)$, for all $t = 1, \dots, T$,

Given initial state $x_0 = q_0$, and

The constraints $u_t \in \Omega_t(x_{t-1}, S_t)$, for all $t = 1, \dots, T$.

The objective function $\min_u E_S \left\{ \sum_{t=1}^T c_t(x_t, S_t, u_t) \right\}$.

Pohjoismaiden sähköntuotanto Nord-Pool markkinoiden ohjaamana

- Päätösprosessin aika-askel t on viikko, viikko jaetaan edelleen tunteihin.
- Päätösmuuttujat: Sähkön tuotanto (jokivoima, säädettävä allasvesivoima, ohijuoksutus, lämpövoima), kaikki kokonaismääriä viikossa ja tunnissa.
- Stokastiset muuttujat: Veden valuma, kysynnän vuositason muutos (viikoittain).
- Tilamuuttujat: Altaiden sisältö, kysynnän taso vuosienergialla mitattuna.
- Dynaamiset yhtälöt ovat lineaariset: altaiden sisällön kehitys, kysynnän vuositason kehitys.

Pohjoismaiden sähköntuotanto Nord-Pool markkinoiden ohjaamana

- Rajoitukset: vesivoiman tuotantokapasiteetit, allaskapasiteetti, veden virtaamia koskevat rajoitukset, kaikki rajoitukset on arvioitava koko tuotantojärjestelmän tasolla.
- Kysyntä on tyydytettävä
- Lämpövoima tasapainottaa tuotannon ja kulutuksen
- Kustannukset: Lämpövoiman muuttuvat tuotantokustannukset. Vesivoiman muuttuvat kustannukset = 0.

Mallin perusoletuksia:

- Pohjoismaiden sähkömarkkinoiden päätösprosessi johtaa muuttuvien kokonaiskustannusten suhteen optimaaliseen tuotantoon.
- Markkinat allokoivat kysynnän joka tunti kulloinkin käytössä oleville voimalaitoksille siten, että odotettavissa olevat kustannukset päätöshetkestä tarkastelukauden loppuun saavat minimin.
- Sähkön kunkin tunnin spot-hinta on odotettavissa olevien tuotantokustannusten derivaatta a.o. tunnin kysynnän suhteen (marginaalihinta).

Mallin perusolettamukset merkitsevät mm. seuraavaa

- Vesivoiman tuotanto ajoitetaan optimaalisesti (vuosi-, viikko- ja tuntioptimointi).
- Lämpövoiman ajojärjestys on optimaalinen

Keskeinen optimointitehtävä

$$\min_u E_S \left\{ \sum_{t=1}^T C_t^W(u_t^W) \right\},$$

$$x_t = \Phi(x_{t-1}, S_t, u_t), \quad \text{for all } t = 1, \dots, T,$$

$$x_0 = q_0, \text{ and}$$

$$u_t \in \Omega_t(x_{t-1}, S_t), \quad \text{for all } t = 1, \dots, T.$$

Dynaamisen ohjelmoinnin arvofunktio

$G_t(y)$ = Expected minimum costs

from the beginning of step t

to the end of the horizon T (to the end of step T),

when the initial state at the beginning of step t is y .

Ratkaisu Bellmanin maksimiperiaatetta soveltamalla

Proceeding as usual in the derivation of the dynamic programming solution method, we obtain the recursive relation for the stochastic decision problem

$$G_t(y) = \sum_{i \in I(t)} \pi_t^i \min_w \{ C_t^W(w) + G_{t+1}[\Phi(y, s_t^i, w)] \},$$
$$w \in \Omega_t(y, s_t^i).$$

The decision vector u_t as an optimisation variable has been denoted by w .

By applying the recursion the value function $G_t(y)$ for all y can be computed, if the whole function one time step later $G_{t+1}(y)$ is known.

Tarvitaan funktio

$C_t(y)$ = Odotettavissa olevat optimaaliset tuotantokustannukset/
aikayksikkö, tunnilla t , pohjoismaiden koko markkina-alueella
tällöin käytettävissä olevalla lämpövoimalla, kun kokonais-
tuotantoteho on y , kaikilla tehoarvoilla $y \geq 0$.

Mallissa tarvitaan funktio $C_t(y)$ kaikille tunneille (alajaksoille) t .

Kustannusfunktion $C_t(y)$ laskenta.

Tunnilla t koko järjestelmässä käytettävissä oleva lämpövoima:

Tuotantoluokat $n = 1, \dots, N$.

Luokan n tuotantokustannus teho- ja aikayksikköä kohden on c_n .

Luokan n käytettävissä oleva tehokapasiteetti X_n on satunnaissuure, jonka jakautumafunktio on $\Phi_n(x)$ ja tiheysfunktio $f_n(x)$.

$$P(X_n \leq x) = \Phi_n(x)$$

Lämpövoiman määrittely mallissa

Luokka	Kustannus	Kapasiteetti
1	c_1	∞
n	c_n	$\Phi_n(x), f_n(x)$
N	c_N	$\Phi_N(x), f_N(x)$

Luokat laskevien tuotantokustannusten mukaisessa järjestyksessä, c_1 kallein. Luokan n määrittelee kustannus c_n , jakautuman tyyppi ja parametrit,

Lämpövoimaluokan kapasiteettijakautuman määrittely käytettävyyden perusteella

Luokan nimellinen kokonaisteho X

Yksikkökoko W tai yksiköiden lukumäärä r
($rW=X$, sovitetaan)

Käytettävyys b

Jakautuma on modifioitu binomijakautuma.

Parametrit ajan t funktioita

Lämpövoiman kustannusfunktion $C_t(y)$ laskenta

Ratkaistaan soveltamalla maksimiperiaatetta

Määritellään funktiot $Q_n(y), y \in (0, \infty)$

$Q_n(y) =$ odotettavissa olevat minimikustannukset aikayksikössä tuotettaessa kokonaisteho y tuotanto-luokilla $1, \dots, n$, kaikille $n = 1, \dots, N$.

Tällöin $Q_1(y) = c_1 y$

Rekursiokaava

Muut funktiot $Q_n(y)$, $n = 2, \dots, N$ lasketaan rekursiivisesti:

$$Q_n(y) = c_n \left[y - \int_0^y \Phi_n(x) dx \right] + \int_0^y Q_{n-1}(y-x) f_n(x) dx.$$

Koko systeemin kustannusfunktio $C_t(y) = C(y) = Q_N(y)$.

Marginaalikustannukset

$$F_n(y) = dQ_n(y) / dy, \text{ tällöin}$$

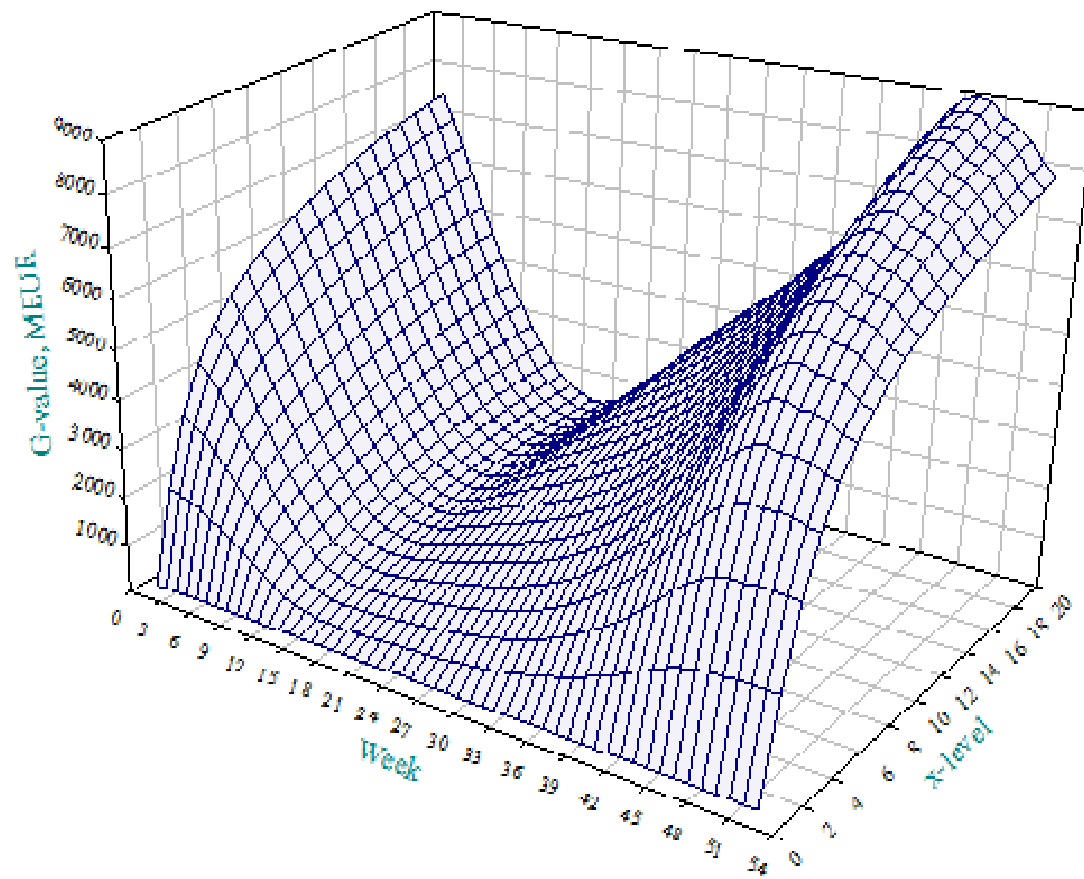
$$F_n(y) = c_1, \text{ ja yleisesti}$$

$$F_n(y) = c_n [1 - \Phi_n(y)] + \int_0^y F_{n-1}(y-x) f_n(x) dx$$

Kustannusfunktioiden ominaisuuksia

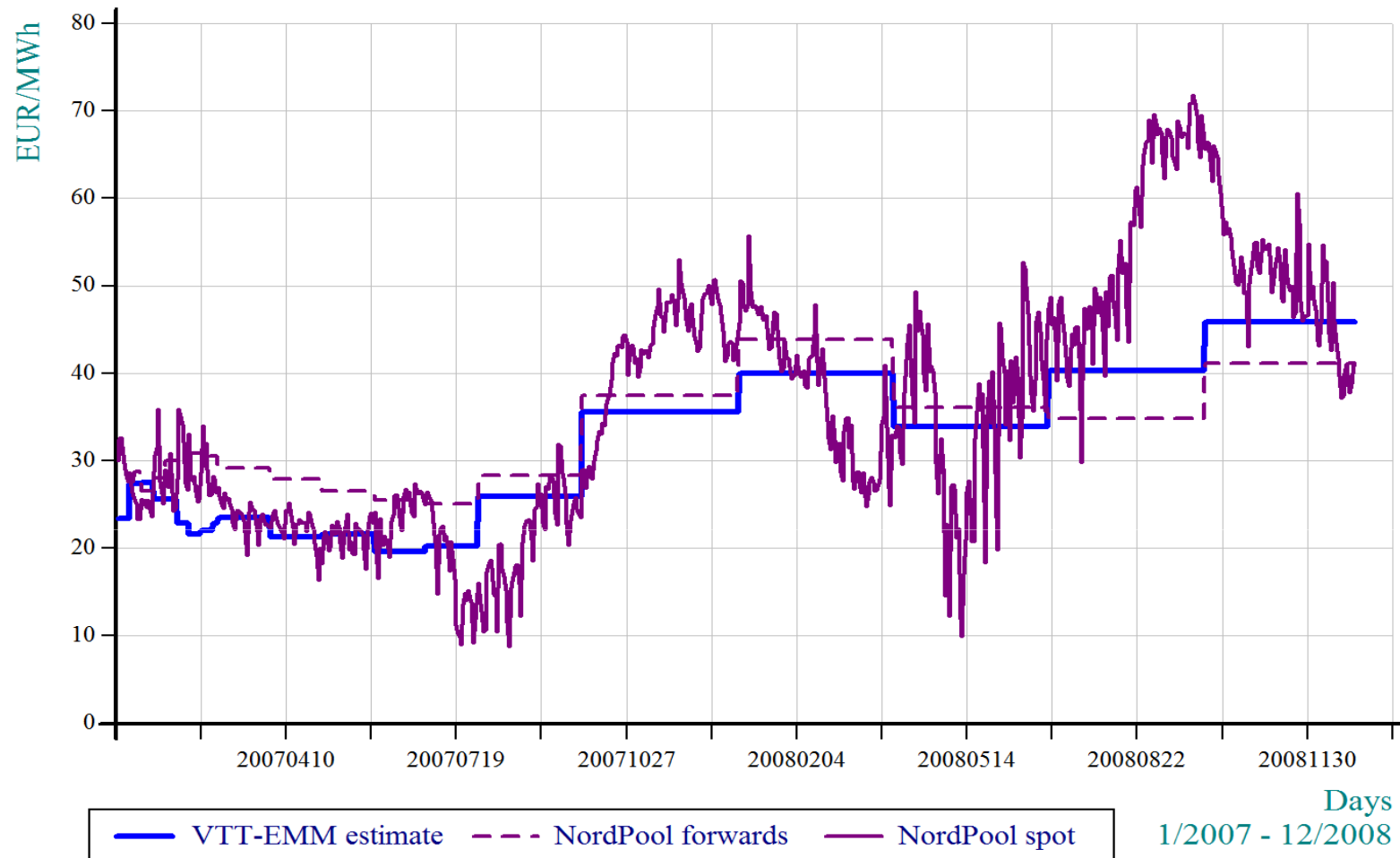
Kokonaiskustannusfunktio $Q_N(y) = C_t(y)$ on konvekksi ja marginaalikustannusten funktio $F_N(y)$ on ei-vähenevä.

Marginaalikustannusfunktioita $F_N(y)$ approksimoidaan mallissa askelfunktiolla, jolloin tehtävästä tulee lineaarisen ohjelmoinnin tehtävä.



20.11.2012 14:42:36 DE-Muser

Vesiarvotuntio: alaiden sisältämän veden arvo alaiden sisällön ja ajan funktiona



Hintaennuste vuosille 2007 - 2008

Mallin sovellutuksia

- VTT-EMM mallin tulosten vertailu muiden pohjoismaisten sähkömarkkinamallien antamien tulosten kanssa.
- Koko järjestelmän CO₂-päästöjen muutoksen laskenta kun osa kivihiililauhdutuksista ottaa käyttöön tekniikan, joka poistaa ja varastoi päästöt.
- Polttoaineiden ja päästöoikeuksien hintojen vaihteluiden vaikutus sähkön hintaan ja tuotannon koostumukseen.

Mallin sovellutuksia

- Suomen koko kansantalouden, energiasektorin ja pohjoismaiden energiamarkkinoiden pitkän tähtäyksen kehityksen simulointi kytkemällä iteratiivisesti yhteen VTT-EMM markkinamalli, Suomen energiatalouden Times-malli (VTT) ja koko kansantalouden tasapainomalli VATTAGE (VATT ja VTT). Tutkittu EU:n ja Suomen erilaisten energia- ja ympäristöpolitiikkaskenaarioiden vaikutuksia markkinoihin, energiasektorilla ja koko kansantaloudessa.

Mallin sovellutuksia

- Suomen vaihtoehtoisten ydinvoimaohjelmien vaikutukset pohjoismaiden sähkömarkkinoihin. Laskettu suuri joukko erilaisia vaihtoehtoja vuosille 2009 - 2040

Nord-Pool systeemihinnan vuosikeskiarvo 2000-2040

Suomen eri ydinvoimaohjelmille

