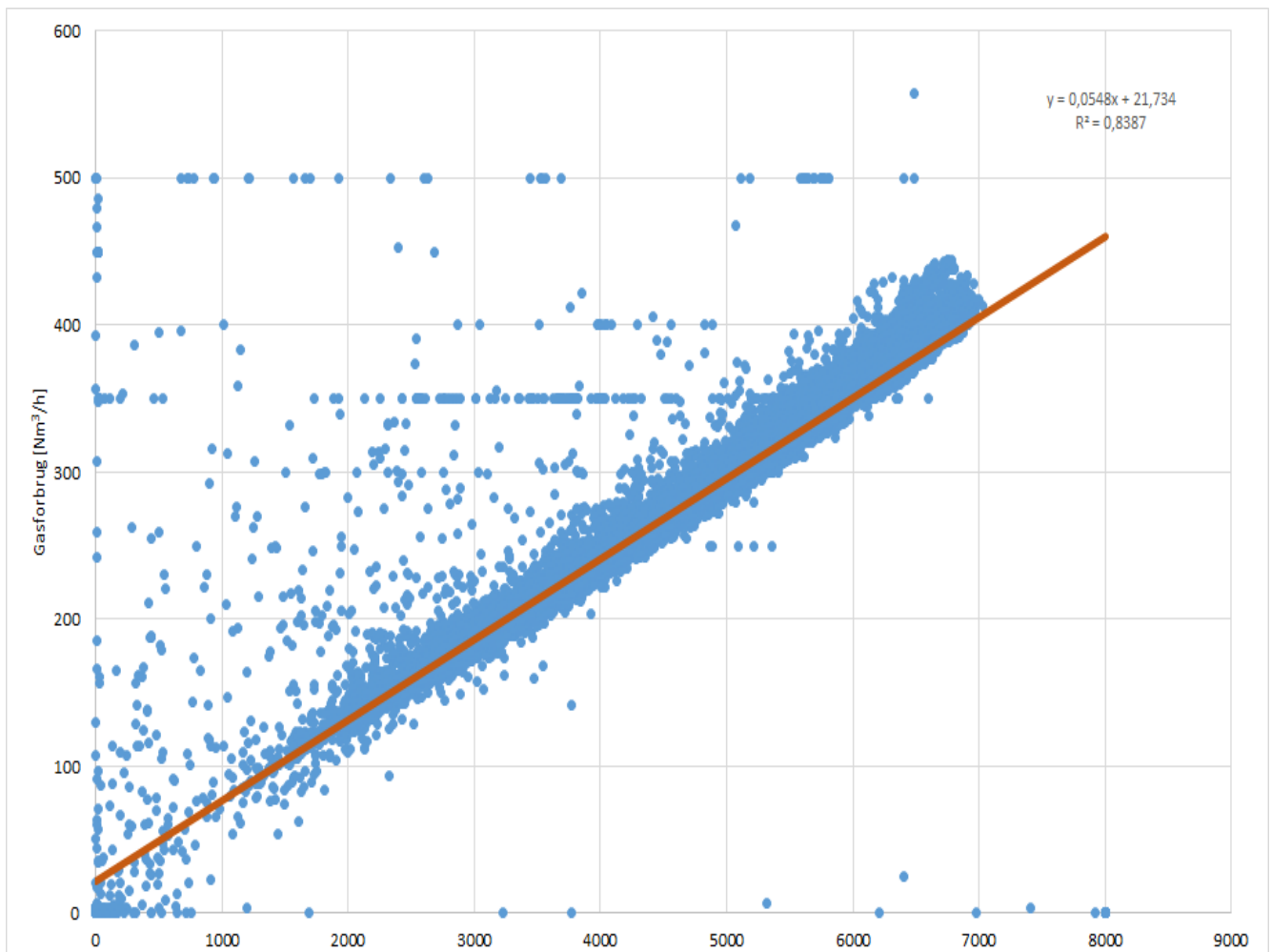




**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



ENERGINØGLETAL FOR ENERGIEFFEKTIVITET OG ENERGIFLEKSIBILITET

VEJLEDNING

Marts 2020

Indholdsfortegnelse

	Side
1 Indledning	2
1.1 Operative energinøgletal	4
1.2 Parametre for operative energinøgletal	7
1.2.1 Tørring	7
1.2.2 Inddampning	10
1.2.3 Destillation	12
1.2.4 Brænding	14
1.2.5 Smeltning	15
1.2.6 Procesvarme	16
1.2.7 Rumvarme	16
1.2.8 Belysning	17
1.2.9 Ventilation	17
1.2.10 Køling	18
1.2.11 Trykluft	22
1.3 Procedure for opstilling og anvendelse af operative energinøgletal	23
2 Multipel regressionsanalyse	26
2.1 Indsamling og krav til data	30
2.2 Analyse af resultater	31
2.3 Præsentation af energinøgletal	31
2.4 Opdatering af regressionsanalyser	32
3 Eksempler	33
3.1 Eksempel 1	33
3.1.1 Elforbruget	33
3.1.2 Gasforbruget	33
3.2 Eksempel 2	36
3.2.1 Energinøgletal for det samlede gasforbrug	36
3.2.2 Energinøgletal for hver produktionslinje	38
3.3 Eksempel 3	40
3.4 Eksempel 4	43
Bilag 1 - Multipel regression	47

1 Indledning

Erfaringen viser, at der genereres energinøgletal på mange niveauer i danske virksomheder. Energinøgletallene opstilles ofte ud fra det som virksomhederne umiddelbart synes giver mening, og i høj grad også efter de ressourcer der er til rådighed til at opstille og sidenhen analysere tallene. I mange tilfælde giver energinøgletallene ikke den store mening, men er udelukkende genereret med det formål at opfylde virksomhedens egne interne krav til at følge op på energiforbruget eller krav fra en standard, f.eks. ISO50001, som virksomheden har tilsluttet sig.

Der opereres generelt med følgende typer energinøgletal: totale nøgletal, produktrelaterede nøgletal, procesrelaterede nøgletal og operative nøgletal (regression).

Totale energinøgletal er nøgletal, der er udregnet ved at dividere det totale el- og varmeforbrug med den totale producerede mængde. Disse nøgletal kan være velegnede ved budgetlægning for de kommende års produktionsomkostninger. Men nøgletallene er ikke anvendelige til energistyring, da f.eks. alle produkter tillægges lige stor energiintensitet. Desuden er det så godt som umuligt at identificere årsagerne til variationer i energinøgletallene, da forbruget normalt dækker over et komplekst system af mange energiforbrugende anlæg, og som nævnt måske også over produktion af flere produkttyper.

Produktrelaterede energinøgletal er nøgletal, der er udregnet på basis af el- og varmeforbruget til de produktionsanlæg, der anvendes til produktion af et givet produkt. De samlede energiforbrug divideres med den producerede mængde for at beregne nøgletallene. Produktrelaterede energinøgletal er sådan set udmærkede i forbindelse med energistyring. I praksis er det dog ofte således, at virksomhedernes produktionsanlæg anvendes til produktion af forskellige produkter og selv om der er tale om samme slutprodukt kan der nogle gange optræde variationer i råvarer eller andre parametre, der har indflydelse på energiforbruget, og som forstyrrer præcisionen af energinøgletallene.

Procesrelaterede energinøgletal er nøgletal, der er udregnet på basis af el- og varmeforbruget til hvert enkelt procesanlæg divideret med produktionsmængden. Procesrelaterede energinøgletal er ganske udmærkede i forbindelse med energistyring, men har den samme svaghed som de produktrelaterede nøgletal at der ikke korrigeres for parametre der har indflydelse på energiforbruget, således at nøgletallene bliver entydige. Hermed menes, at energinøgletallene skal korrigeres for parametre som f.eks. produktionsvolumen, produktsammensætning, råvarer, udetemperatur etc., som har indflydelse på energiforbruget, men ikke på effektiviteten.

Operative energinøgletal er nøgletal, der svarer til procesrelaterede energinøgletal, men er korrigeret for de parametre der har indflydelse på energiforbruget for et givet procesanlæg (eller kompleks af anlæg), men ikke på energieffektiviteten. Det kræver en vis indsigt i de produktionsprocesser der anvendes for at kunne gennemskue, hvilke parametre der har (væsentlig) indflydelse på energiforbruget for en given proces, og ofte en del arbejde med at identificere og kvantificere de enkelte parametre. Desuden skal der foretages en vurdering af mulighederne for og omkostningerne ved at registrere de forskellige parametre. Endelig kræver det en vis indsigt i statistik og anvendelse af f.eks. MS Excel at opstille operative energinøgletal. Til gengæld er det muligt at skabe det bedst tænkelige udgangspunkt for en præcis analyse af de faktiske energiforbrug, der er forbundet med drift af et givet procesanlæg eller et komplet processystem.

De fire typer energinøgletal er vist nærmere i nedenstående tabel.

Energinøgletal	Enhed	Anvendelighed
Totale nøgletal	Totalt energiforbrug pr. enhed	<ul style="list-style-type: none"> • Lette at opstille • Viser ikke energieffektivitet • Vildledende resultater
Produktrelateret nøgletal	Energiforbrug pr. produceret enhed af hvert produkt	<ul style="list-style-type: none"> • Forholdsvis lette at opstille • Upræcise resultater • Medtager ikke grundlast og produktionsvariable
Procesrelaterede nøgletal	Energiforbrug for et procesanlæg pr. produceret enhed	<ul style="list-style-type: none"> • Lette at opstille • Upræcise resultater • Medtager ikke grundlast og produktionsvariable
Operative nøgletal	Energiforbrug pr. produceret enhed justeret for variable	<ul style="list-style-type: none"> • Kan være besværligt at opstille • Rimelig præcise resultater • Medtager grundlast og produktionsvariable • Mulighed for at sammenholde aktuelt og forventet forbrug • Skal jævnlig ajourføres

Tabel 1.1 Energinøgletal.

I langt de fleste tilfælde anvender virksomhederne energinøgletal, der angiver de specifikke forbrug for el og varme, og energinøgletallene ses ofte over f.eks. den seneste 12 måneders periode. Da nøgletallene ikke er korrigeret for produktionsmængde og –sammensætning eller andre parametre, der har væsentlig indflydelse på energiforbruget, er energinøgletallene i mange tilfælde reelt uden værdi som styringsredskab. Energinøgletallene skal være uafhængige af produktionsmængde, sammensætning, råvarer etc. så de viser udviklingen i energieffektiviteten og dermed giver værdi.

For at give værdi skal energinøgletallet kunne beregne og kvantificere energieffektiviteten af den eller de processer, som nøgletallet beskriver. Det betyder, at det skal være muligt at beregne energinøgletallet relativt let og umiddelbart muligt at se om energieffektiviteten forbedres. Det kan f.eks. ske ved at energinøgletallet sammenligner den aktuelle energieffektivitet med den forventede effektivitet under de aktuelle omstændigheder (produktionsmængde, temperaturer etc.). De energinøgletal der beregnes skal være rimelig præcise, hvilket stiller krav til datagrundlaget i forhold til samtidighed, validitet, indsamlingsfrekvens etc..

Der bør kun opstilles energinøgletal for den eller de processer der er vigtige at følge, så der ikke anvendes unødige ressourcer og generering af energinøgletal ikke fremstår som tidsspilde. Værdien ligger som oftest i at energiforbruget for en given proces er højt, men værdien kan også ligge i at det er vigtigt at kende energiforbruget, så produktet kan prissættes præcist med udgangspunkt i energiomkostningerne og de øvrige variable produktionsomkostninger.

Desuden skal energinøgletallet give ideer til ændringer, der kan øge processens eller produktionslinjens effektivitet. Det kan f.eks. være at energinøgletallet viser, at udetemperaturen eller tørstofindholdet har stor betydning for energiforbruget, og at der derfor iværksættes undersøgelser af om påvirkningen fra disse parametre kan reduceres så energiforbruget mindskes.

Endelig skal energinøgletallet være let at kommunikere, dvs. det skal være indlysende, let forståeligt og veldokumenteret.

1.1 Operative energinøgletal

I det følgende er der beskrevet en vejledning i hvordan operative energinøgletal opstilles, herunder et forslag til en metodisk tilgang til identifikation af de parametre der bør indgå ved udarbejdelsen af nøgletallene.

Dette projekt er primært målrettet industrivirksomheder med egentlig produktion, da det er her der findes den største energiintensitet og dermed den største interesse for at følge energiforbruget og mulighederne for effektivisering tæt. Det er dog således, at energiforbruget i f.eks. engros- og detailhandel er ret stort som følge af det store antal enheder.

De overordnede energinøgletal, dvs. energiforbruget pr. produceret enhed, beregnes på baggrund af registreringer af de totale energiforbrug. Fælles for alle virksomhedstyper er, at det totale energiforbrug, dvs. det totale el- og varmemeforbrug eller begge dele, afhænger af f.eks.:

1. Produktionsmængde
2. Produktsammensætning

og ydre forhold som:

3. Variationer i råvarer
4. Udetemperatur

Det giver således i langt de fleste tilfælde ikke mening blot at sammenholde energiforbruget med den totale producerede mængde. Det kræver en nærmere analyse i hvert enkelt tilfælde med udgangspunkt i de faktiske produktionsforløb.

Når der er tale om større produktionsanlæg, hvor der f.eks. produceres forskellige produkter i adskilte produktionsafsnit, kan energiforbruget og dermed energinøgletallene med fordel opdeles, så de gælder specifikt for hvert produktionsafsnit. Det giver en betydelig højere indsigt og bedre mulighed for at følge forbruget. Desuden bør de overordnede energinøgletal altid beregnes for både el- og varmemeforbruget, og i nogle tilfælde bør der ligeledes beregnes et samlet energinøgletal.

De overordnede energinøgletal kan vise virksomhedens energieffektivitet totalt set, men ikke hvilke processer eller produkter der gør, at effektiviteten ændres med mindre der er tale om en meget enkel produktion.

De overordnede energinøgletal kan for produktionsvirksomheder opgøres som:

- kWh_{el} pr. m³, ton, enhed
- kWh_{brændsel} pr. m³, ton, enhed

I langt de fleste tilfælde er der behov for korrigerede energinøgletallene for udefrakommende parametre som produkttype, udetemperatur, variationer i råvarer og andre parametre, der har indflydelse på energiforbruget, men ikke på energieffektiviteten. Der er i nedenstående tabel vist hvilke parametre der kan have væsentlig indflydelse på energiforbruget uden at påvirke effektiviteten.

Branche	Nøgletal	Korrektionsfaktorer
Indvinding af grus og sten	kWh_{el}/m^3 $kWh_{brændsel}/m^3$	produkttype
Slagterier	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Fiskeindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Mejerier	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Bagerier, brødfabriker mv.	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Fremstilling af færdige foderblandinger	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Fremstilling af sukker	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Øvrige anden fødevarerindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype
Drikkevareindustri	$kWh_{el}/hl_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/hl_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Tobaksindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp., luftfugtighed _{ude}
Tekstilindustri	$kWh_{el}/m^2_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^2_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Beklædningsindustri samt læder- og fodtøjsindustri	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$	produkttype
Træindustri	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Papirindustri	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype
Trykkerier mv.	$kWh_{el}/m^2_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^2_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af industrigasser	kWh_{el}/m^3	produkttype
Fremstilling af enzymer mv.	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Øvrig fremstilling af basiskemikalier	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af maling og sæbe mv.	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Medicinalindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp., luftfugtighed _{ude}
Plast- og gummiindustri	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Glasindustri og keramisk industri	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype
Fremstilling af cement	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype
Fremstilling af teglsten mv.	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype
Fremstilling af asfalt og tagpap	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/m^2_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/m^2_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Fremstilling af stenuld	$kWh_{el}/m^3_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{\text{færdigvare}}$	råvarer, produkttype
Øvrige betonindustri og teglværker	$kWh_{el}/m^2_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/m^2_{\text{færdigvare}}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af metal	$kWh_{el}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{\text{færdigvare}}$	produkttype
Metalvareindustri	kWh_{el}/ton $kWh_{brændsel}/\text{ton}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af computere og kommunikationsudstyr mv.	kWh_{el}/m^2 $kWh_{brændsel}/m^2$	udetemp.

Fremstilling af andet elektronisk udstyr, elektriske motorer mv. samt ledninger og kabler	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Fremstilling af husholdningsapparater, lamper mv.	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Fremstilling af motorer, vindmøller og pumper	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Fremstilling af andre maskiner	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Fremstilling af motorkøretøjer og dele hertil	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Fremstilling af skibe og andre transportmidler	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Møbelindustri	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Fremstilling af medicinske instrumenter mv.	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.
Legetøj og anden fremstillingsvirksomhed		
Reparation og installation af maskiner og udstyr	kWh _{el} /m ² kWh _{brændsel} /m ²	udetemp.

Tabel 1.1.1 Overordnede energinøgletal.

Udover totale energinøgletal for det samlede energiforbrug kan det være af stor værdi at udregne energinøgletal for udvalgte produktionsprocesser eller -udstyr (køleanlæg, trykluftanlæg etc.), der ligeledes korrigeres til operative energinøgletal.

Branche	Anlægstype
Indvinding af grus og sten	-
Slagterier	køleanlæg tørreanlæg
Fiskeindustri	køleanlæg tørreanlæg destillationsanlæg
Mejerier	køleanlæg inddampningsanlæg tørreanlæg
Bagerier, brødfabrikker mv.	-
Fremstilling af færdige foderblandinger	tørreanlæg
Fremstilling af sukker	inddampningsanlæg tørreanlæg
Øvrige anden fødevarerindustri	tørreanlæg inddampningsanlæg destillationsanlæg
Drikkevarerindustri	køleanlæg tørreanlæg destillationsanlæg
Tobaksindustri	tørreanlæg
Tekstilindustri	tørreanlæg
Beklædningsindustri samt læder- og fodtøjsindustri	-
Træindustri	tørreanlæg
Papirindustri	tørreanlæg
Trykkerier mv.	-
Fremstilling af industrigasser	køleanlæg destillationsanlæg
Fremstilling af enzymer mv.	køleanlæg inddampningsanlæg tørreanlæg

Øvrig fremstilling af basiskemikalier	køleanlæg tørreanlæg destillationsanlæg
Fremstilling af maling og sæbe mv.	inddampningsanlæg destillationsanlæg
Medicinalindustri	køleanlæg inddampningsanlæg destillationsanlæg
Plast- og gummiindustri	køleanlæg
Glasindustri og keramisk industri	tørreanlæg smelteovn brændingsovn
Fremstilling af cement	brændingsovn
Fremstilling af teglsten mv.	tørreanlæg brændingsovn
Fremstilling af asfalt og tagpap	-
Fremstilling af stenudd	smelteovn
Øvrige betonindustri og teglværker	tørreanlæg kalcineringsovn
Fremstilling af metal	ovnanlæg
Metalvareindustri	-
Fremstilling af computere og kommunikationsudstyr mv.	-
Fremstilling af andet elektronisk udstyr, elektriske motorer mv. samt ledninger og kabler	-
Fremstilling af husholdningsapparater, lamper mv.	-
Fremstilling af motorer, vindmøller og pumper	-
Fremstilling af andre maskiner	-
Fremstilling af motorkøretøjer og dele hertil	-
Fremstilling af skibe og andre transportmidler	-
Møbelindustri	tørrestuer
Fremstilling af medicinske instrumenter mv.	-
Legetøj og anden fremstillingsvirksomhed	-
Reparation og installation af maskiner og udstyr	-

Tabel 1.1.2 Anlægsspecifikke energinøgletal.

De anlægsspecifikke energinøgletal skal korrigeres med de parametre, der er beskrevet i kapitel 3.2, så nøgletallene er operative energinøgletal.

1.2 Parametre for operative energinøgletal

I det følgende er der vist bruttolister over parametre, der kan have indflydelse på energiforbruget til forskellige enhedsoperationer, men ikke på energieffektiviteten. Listerne kan anvendes som inspiration, når der skal opstilles operative energinøgletal. Hvilke parametre der i det konkrete tilfælde skal korrigeres for afhænger af det/de produkter der produceres og de teknologier der anvendes.

1.2.1 Tørring

Energiforbruget til et tørreanlæg bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Produktets startvandindhold
4. Produktets slutvandindhold
5. Produktets starttemperatur
6. Produktets sluttemperatur

7. Udeluftens temperatur
8. Udeluftens fugtighed
9. Tørremediets afgangstemperatur
10. Tørremediets afgangsfugtighed
11. Antallet og længden af produktionsstop

Ad 1

Produkttypen, dvs. produktets karakter og udformning, har stor betydning for energiforbruget ved tørring. Det er f.eks. langt lettere og mindre energikrævende at tørre små emner end store emner fordi tørretiden afhænger af emnestørrelse. Det er derfor helt nødvendigt at der skelnes mellem forskellige produkttyper ved udarbejdelsen af operative nøgletal. Det der normalt en god antagelse, at emnestørrelsen for et givet produkt konstant er den samme.

Ad 2

Produktmængden gennem en tørrer har stor betydning for energiforbruget, idet øget mængde ofte vil medføre et lavere energiforbrug pr. enhed. Derfor skal de operative energinøgletal korrigeres for produktmængden.

Ad 3

Startvandindholdet i produktet har selvsagt altafgørende betydning for energiforbruget til en tørreproces. Selv små procentvise variationer medfører betydelige variationer i energiforbruget. I visse industrielle tørreprocesser er vandindholdet næsten konstant. Det gælder f.eks. ved produktion af mælkepulver, idet den forudgående inddampning sikrer at vandindholdet i koncentratet der sendes til tørring er næsten konstant. I andre tilfælde kan vandindholdet variere som følge af produktet har ligget ubeskyttet udendørs, at råvaren (f.eks. træ, korn eller grønt) varierer efter årstiden eller at den forudgående behandling af produktet varierer. Hvis startvandindholdet varierer bør det måles, så der kan korrigeres for dette ved udarbejdelsen af de operative nøgletal. Vandindholdet kan være lidt svært at måle, og det vil f.eks. tit være nødvendigt at udtage en prøve med en passende sekvens, der tørres i et tørreskab.

Ad 4

Slutvandindholdet har også en vis betydning for tørreprocessens energiforbrug, men denne betydning er mest af alt indirekte, idet stigende krav om lavt slutvandindhold medfører gradvis længere tørretid, hvilket jf. pkt. 2 medfører højere energiforbrug. Derfor bør slutvandindholdet også være i fokus ifm. energieffektivisering, så produkterne ikke overtørres med unødigt energiforbrug til følge. Slutvandindholdet måles som regel ved at udtage en prøve med en passende sekvens, der tørres i et tørreskab.

Ad 5

Produktets starttemperatur har i langt de fleste tilfælde lille betydning for tørreprocessens energiforbrug, da den andel af energien der medgår til opvarmning af produktet til tørretemperatur er få procent af det samlede energiforbrug. Det er normalt ikke nødvendigt at korrigere energiforbruget og dermed de operative energinøgletal for produktets starttemperatur.

Ad 6

Produktets sluttemperatur har i langt de fleste tilfælde ligesom starttemperaturen kun lille betydning for tørreprocessens energiforbrug. Derfor er det normalt ikke nødvendigt at korrigere energiforbruget og dermed de operative energinøgletal for produktets sluttemperatur.

Ad 7

Udeluftens temperatur har naturligvis betydning for tørreprocessens energiforbrug, idet energiforbruget til opvarmning af friskluft til tørringen stiger proportionalt med temperaturforskellen mellem udeluften og afkastluften. Det betyder også, at hvis temperaturforskellen ikke er stor, dvs. mindre end f.eks. 200°C, har udetemperaturen betydning, men hvis der er tale om en højtemperaturproces ved f.eks. 800°C har udeluftens temperatur kun lille betydning. Udeluftens temperatur er nem at måle og det foreslås derfor at inddrage denne ved korrektionen af energiforbruget.

Ad 8

Udeluftens fugtighed har betydning ved tørreprocesser der forløber ved lav temperatur, - f.eks. 50°C. Det kan f.eks. være ved tørring af korn, grønt og træ i tørrestuer. Hvis der er tale om lavtemperaturtørring bør udeluftens fugtighed inddrages ved korrektion af energiforbruget.

Ad 9

Tørremediets afgangstemperatur er ofte den parameter der styres efter ved en tørreproces, idet er ofte er sammenhæng mellem afgangstemperaturen og den ønskede restfugtighed i produktet. Derfor er det en parameter der allerede følges tæt. Da afgangstemperaturen såvidt muligt holdes konstant og så lav som mulig har afgangstemperaturen vil det normalt ikke være nødvendigt at inddrage afgangstemperaturen ved korrektionen af energiforbruget, når de operative nøgletal beregnes.

Ad 10

Tørremediets afgangsfugtighed har stor betydning for tørreprocessens energiforbrug, idet des højere fugtighed der kan tillades i afkastluften des bedre udnyttes luftens tørreevne. Afgangsfugtigheden måles normalt og er en styrende parameter (det er tørremediets afgangstemperatur), hvorfor det ikke er nødvendigt at korrigere for tørremediets afgangstemperatur.

Ad 11

Driftsstop og længden heraf har indflydelse på energiforbruget, idet produktet bliver nedkølet som følge af varmetab fra procesanlægget indtil processen genoptages. Derfor er der et ekstra varmeforbrug til at genopvarme produktet, der afhænger af hvor længe processen har været standset. Energiforbruget skal korrigeres for antallet og varigheden af produktionsstop.

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigere energiforbruget for:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Startvæskeindhold
4. Slutvæskeindhold
5. Udelufttemperatur

6. Udeluftens fugtindhold hvis $\Delta T_{\text{tørring-ude}} < 50^{\circ}\text{C}$
7. Antallet og længden af driftsstop

1.2.2 Inddampning

Energiforbruget til en inddampningsanlæg bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Produktmængde
2. Produktets starttørstofindhold
3. Produktets sluttørstofindhold
4. Produktets starttemperatur
5. Produktets sluttemperatur
6. Varmekildens temperatur
7. Kondensatortemperatur
8. Antallet og længden af produktionsstop

Ad 1

Produktmængden gennem et inddampningsanlæg har stor betydning for energiforbruget, idet øget mængde ofte vil medføre et lavere energiforbrug pr. enhed. Derfor skal de operative energinøgletal korrigeres for produktmængden.

Ad 2

Starttørstofindholdet i produktet har selvsagt altafgørende betydning for energiforbruget til en inddampningsproces. Selv små procentvise variationer medfører betydelige variationer i energiforbruget. I mange industrielle inddampningsprocesser varierer tørstofindholdet en del, og det er derfor vigtigt at registrere denne parameter løbende og at korrigere de operative energinøgletal. Starttørstofindholdet overvåges allerede i forbindelse med f.eks. inddampning af mælk ved produktion af mælkepulver, idet landmændene afregnes bl.a. afregnes efter denne parameter. Men i mange tilfælde er der ikke registrering af starttørstofindholdet, da det er en parameter der er svær at måle præcist. Tørstofindholdet kan i nogle tilfælde måles ved at montere en viskositets- eller en ledningsevne måler i føderøret, herved bestemme tørstofindholdet indirekte. Men det vil tit være nødvendigt at udtage en prøve med en passende sekvens, der tørres i et tørreskab for at bestemme tørstofindholdet.

Ad 3

Sluttørstofindholdet har også stor betydning for inddampningsprocessens energiforbrug, og det er således helt nødvendigt at indregne denne parameter ved korrektion af de operative energinøgletal. I nogle tilfælde overvåges sluttørstofindholdet indirekte med en viskositets- eller en ledningsevne måler i afgangsrøret fra inddampningsanlægget, eller i andre tilfælde ved at registrere effektoptaget til omrøreren i tanken for inddampet produkt (højere tørstofindhold \rightarrow viskositet \rightarrow højere effektoptag). Hvis det ikke er muligt at montere en måler, der kan give et nogenlunde præcist resultat er det nødvendigt at udtage en prøve med en passende sekvens, der tørres i et tørreskab for at fastslå sluttørstofindholdet.

Ad 4

Produktets starttemperatur har en vis betydning for inddampningsprocessens energiforbrug, da den andel af energien der medgår til opvarmning af produktet til inddampningstemperatur (i

første kolonne) kan udgøre nogle procent af det samlede energiforbrug. Men i langt de fleste tilfælde er starttemperaturen relativt konstant. Hvis starttemperaturen varierer (falder) er det normalt fordi inddampningsanlæggets varmeveksler til forvarmning af produktet er tilsmudset. Det er således en faktor der har indflydelse på energieffektiviteten, men på energiforbruget, og derfor skal de operative energinøgletal ikke korrigeres for denne parameter.

Ad 5

Produktets sluttemperatur er i langt de fleste tilfælde næsten konstant over året, hvorfor det ikke er nødvendigt at korrigeres for denne parameter.

Ad 6

Varmekildens temperatur (tryk) har ikke direkte indflydelse på energiforbruget til inddampning, men jo højere temperatur (tryk) der kræves i inddampningsanlæggets første trin jo dårligere risikeres det at effektiviteten af varmforsyningsanlægget bliver. I mange tilfælde er inddampningsanlægget reguleret så varmekildens temperatur holdes konstant af hensyn til det/de produkter der inddampes. Det er i de fleste tilfælde ikke nødvendigt at korrigeres de operative nøgletal for varmekildens temperatur.

Ad 7

Inddampningsanlæggets kondenseringstemperaturen har stor betydning for energiforbruget, idet jo lavere kondenseringstemperatur der kan opnås jo lavere bliver energiforbruget pr. enhed. Kondenseringstemperaturen afhænger i mange tilfælde af udetemperaturen, idet varmen fra inddampningsanlægget bortledes til det fri gennem et køletårn. I disse tilfælde vil kondenseringstemperaturen ofte variere i området 30-50°C alt efter årstiden. Det er nødvendigt at korrigeres de operative energinøgletal for kondenseringstemperaturen. Desuden skal temperaturdifferensen i kondensatoren følge nøje for at sikre at den ikke bliver tilsmudset ligesom tilstanden af køletårnet (eller anden kølekilde) bør følge tæt.

I de tilfælde hvor varmen udnyttes i f.eks. et varmepumpeanlæg er kondenseringstemperaturen normalt ret konstant, og det er i disse tilfælde således ikke nødvendigt at korrigeres de operative nøgletal.

Ad 8

Driftsstop og længden heraf har indflydelse på energiforbruget, idet produktet bliver nedkølet som følge af varmetab fra procesanlægget indtil processen genoptages. Derfor er der et ekstra varmeforbrug til at genopvarme produktet, der afhænger af hvor længe processen har været standset. Desuden må det forudses et ekstra energibehov til inddampningsanlægget indtil anlægget igen kører stabilt. Energiforbruget skal korrigeres for antallet og varigheden af produktionsstop.

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigeres energiforbruget for:

1. Produktmængde
2. Starttørstofindhold
3. Sluttørstofindhold
4. Kondenseringstemperatur

5. Antallet og længden af driftsstop

1.2.3 Destillation

Energiforbruget til en destillationsanlæg bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Produktmængde
2. Produkttype
3. Produktets startkoncentration
4. Produktets slutkoncentration
5. Produktets starttemperatur
6. Produktets sluttemperatur
7. Varmekildens temperatur
8. Kondensatortemperatur
9. Reflux'graden
10. Antallet og længden af produktionsstop

Ad 1

Produktmængden gennem et destillationsanlæg har betydning for energiforbruget, idet øget mængde ofte vil medføre et lavere energiforbrug pr. enhed. Desuden er det af afgørende betydning for energiforbruget (og dermed for energinøgletallene), at reflux'graden holdes konstant på et minimum justeret efter fødemængden. Det er nødvendigt at korrigere de operative energinøgletal for produktmængden, - efter at det er sikret at reflux'graden for destillationsanlægget konstant holdes på et minimum.

Ad 2

Produkttypen har stor betydning for energiforbruget til destillation, idet des større forskel der er mellem kogepunktet på de komponenter der skal destilleres jo nemmere og mindre energikrævende er det at destillere (lavere reflux'grad). Derfor er det nødvendigt at korrigere de operative energinøgletal for produkttypen.

Ad 3

Startkoncentrationen af den/de flygtige komponenter i føden har selvsagt altafgørende betydning for energiforbruget til en destillationsproces. Selv mindre procentvise variationer medfører betydelige variationer i energiforbruget. Når der ses bort fra olieraffinering er det dog således, at startkoncentrationen ofte er rimelig konstant. Men i de tilfælde hvor startkoncentrationen varierer er det nødvendigt at korrigere energinøgletallene for denne parameter. Startkoncentrationen kan i nogle tilfælde måles ved at montere en viskositets- eller en ledningsevne måler i føderøret. Alternativt vil det være nødvendigt at udtage en prøve med en passende sekvens for at bestemme startkoncentrationen.

Ad 4

Slutkoncentrationen er afgørende betydning for energiforbruget, og det er derfor helt nødvendigt at korrigere de operative energinøgletal for slutkoncentrationen, hvis denne parameter varierer. Slutkoncentrationen kan ligesom startkoncentrationen i nogle tilfælde måles ved at montere en viskositets- eller en ledningsevne måler (i afgangsrøret). Alternativt vil det være nødvendigt at udtage en prøve med en passende sekvens for at bestemme koncentrationen.

Ad 5

Produktets (fødens) starttemperatur har en vis betydning for destillationsprocessens energiforbrug, da den andel af energien der medgår til opvarmning af produktet til fordampningstemperaturen på fødebunden kan udgøre nogle procent af det samlede energiforbrug. Men i langt de fleste tilfælde er starttemperaturen relativt konstant. Hvis starttemperaturen varierer (falder) er det normalt fordi destillationsanlæggets varmeveksler til forvarmning af produktet er tilsmudset. Det er således en faktor der har indflydelse på energieffektiviteten, men på energiforbruget, og derfor skal de operative energinøgletal normalt ikke korrigeres for denne parameter.

Ad 6

Produktets sluttemperatur er i langt de fleste tilfælde næsten konstant, hvorfor det ikke er nødvendigt at korrigeres for denne parameter.

Ad 7

Varmekildens temperatur er bestemmende for trykforholdene op gennem destillationskolonnen, idet højere temperatur giver mulighed for større koncentrationsforskelle op gennem kolonnen. Men reelt set er det temperaturen i kondensatoren der er bestemmende for varmekildens temperatur. Højere temperatur af varmekilden giver i nogle tilfælde dårligere virkningsgraden for det varmeproducerende anlæg (kedlen) og større tab fra distributionssystemet. Da trykforholdene op gennem kolonnen er meget konstante for et givet produkt, er energiforbruget reelt bestemt af kondenseringstemperaturen. Det er derfor ikke nødvendigt at korrigeres de operative energinøgletal for varmekildens temperatur.

Ad 8

Kondenseringstemperaturen har en betydning for energiforbruget til et destillationsanlæg i de tilfælde der destilleres meget flygtige væsker, dvs. væsker med lavt kogepunkt, hvor det er nødvendigt med en lav kondenseringstemperatur. I de tilfælde kan kondenseringstemperaturen være årstidsafhængig, og dermed påvirke reflux'graden. Så hvis det er nødvendigt at korrigeres reflux'graden som følge af variationer i kondenseringstemperaturen, er det nødvendigt at korrigeres de operative energinøgletal for kondenseringstemperaturen.

Ad 9

Reflux'graden har meget betydelig indflydelse på energiforbruget til destillation, men i udgangspunktet er reflux'graden bestemt af det produkt der skal destilleres (start- og slutkoncentration af den flygtige komponent) og den givne destillationskolonne samt i visse tilfælde kondenseringstemperaturen. Disse parametre indgår allerede som korrigerende faktorer ved udarbejdelsen af operative energinøgletal, se ovenstående. Reflux'graden skal altid holdes så lav som muligt i forhold til den ønskede slutkoncentration.

Ad 10

Driftsstop og længden heraf har indflydelse på energiforbruget, idet produktet bliver nedkølet som følge af varmetab fra anlægget indtil processen genoptages. Derfor er der et ekstra varmeforbrug til at genopvarme produktet, der afhænger af hvor længe processen har været standset. Desuden må det forudses et ekstra energibehov til destillationsanlægget (øget returnmængde og

reflux) indtil anlægget igen kører stabilt. Energiforbruget skal korrigeres for antallet og varigheden af produktionsstop.

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigere energiforbruget for:

1. Produktmængde
2. Produkttype
3. Produktets startkoncentration
4. Produktets slutkoncentration
5. Kondensatortemperatur
6. Antallet og længden af produktionsstop

1.2.4 Brænding

Energiforbruget til brænding (et ovnanlæg) bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Produktets startvandindhold
4. Produktets starttemperatur
5. Produktets sluttemperatur
6. Afkasttemperatur
7. Antallet og længden af produktionsstop

Ad 1

Produkttypen, dvs. produktets karakter og udformning, har stor betydning for energiforbruget ved brænding. Det er f.eks. langt lettere og mindre energikrævende at brænde små emner end store emner, fordi brændetiden afhænger af emnestørrelse. Selvom emnestørrelsen er den samme kan der være tale om forskellige produkttyper, f.eks. letbrændte tegl (gule) og hårdt brændte tegl (mørkerøde). Det er derfor helt nødvendigt at der skelnes mellem forskellige produkttyper ved udarbejdelsen af operative nøgletal. Det der normalt er en god antagelse, at emnestørrelsen for et givet produkt konstant er den samme.

Ad 2

Produktmængden gennem en ovn har stor betydning for energiforbruget, idet øget mængde vil medføre et lavere energiforbrug pr. enhed, da der er et næsten konstant grundlastforbrug. Derfor skal de operative energinøgletal korrigeres for produktmængden.

Ad 3

Startvandindholdet i produktet har selvsagt af stor betydning for energiforbruget i forbindelse med brænding, idet vandindholdet skal fjernes inden brænding kan finde sted. I nogle tilfælde er det op mod 50% af det samlede energiforbrug der medgår til den indledende tørring. Derfor kan variationer i startvandindholdet influere en del på energiforbruget. Det er dog ofte således, at startvandindholdet er produktspecifikt, så produktet har et vist relativt konstant startvandindhold alt efter hvilket produkt der er tale om.

Ad 4

Produktets starttemperatur har i langt de fleste tilfælde meget lille betydning for brændingsprocessens energiforbrug, da den andel af energien der medgår til opvarmning af produktet til tørre- og dernæst brændingstemperatur er minimalt set i forhold til det samlede energiforbrug. Det er normalt ikke nødvendigt at korrigere energiforbruget og dermed de operative energinøgletal for produktets starttemperatur.

Ad 5

Produktets sluttemperatur har i langt de fleste tilfælde ligesom starttemperaturen kun meget lille betydning for brændingsprocessens energiforbrug. Derfor er det normalt ikke nødvendigt at korrigere energiforbruget og dermed de operative energinøgletal for produktets sluttemperatur.

Ad 6

Afkasttemperaturen fra ovnen har betydning for energiforbruget til brændingen, men det er ikke en parameter der varierer i et sådan omfang, at det påvirker energinøgletallene. Det er derfor normalt ikke nødvendigt at inddrage denne parameter ved opstilling af de operative energinøgletal.

Ad 7

Driftsstop og længden heraf har indflydelse på energiforbruget, idet produktet bliver nedkølet som følge af varmetab fra procesanlægget indtil processen genoptages. Derfor er der et ekstra varmeforbrug til at genopvarme produktet, der afhænger af hvor længe processen har været standset. Energiforbruget skal korrigeres for antallet og varigheden af produktionsstop.

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigere energiforbruget for:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Startvandindhold
4. Antallet og længden af driftsstop

1.2.5 Smeltning

Energiforbruget til smeltning i et elektrisk og et brændselsfyret ovnanlæg bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Antallet og længden af produktionsstop

Ad 1

Produkttypen, dvs. produktets karakteristika som smeltevarme, varmeyfælde før og efter smeltning etc., har afgørende betydning for energiforbruget ved smeltning. I nogle tilfælde er det eksakt samme råmaterialer der anvendes ved hver smeltning, men i en række tilfælde varierer råmaterialerne en smule. Det er f.eks. tilfældet hvor der anvendes en større eller mindre andel af materiale, der blot skal gensmeltes sammen med nye råvarer. Det er også tilfældet når den

kemiske sammensætning af produktet varierer alt efter produkttype. Der er i de fleste tilfælde nødvendigt at korrigere de operative energinøgletal for produkttype (råvarer) der anvendes.

Ad 2

Produktmængden gennem en ovn har stor betydning for energiforbruget, idet øget mængde vil medføre et lavere energiforbrug pr. enhed, da der er et næsten konstant grundlastforbrug. Derfor skal de operative energinøgletal korrigeres for produktmængden.

Ad 3

Driftsstop og længden heraf har indflydelse på energiforbruget, idet produktet bliver nedkølet som følge af varmetab fra procesanlægget indtil processen genoptages. Derfor er der et ekstra varmeforbrug til at genopvarme produktet, der afhænger af hvor længe processen har været standset. Energiforbruget skal korrigeres for antallet og varigheden af produktionsstop.

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigere energiforbruget for både en elektrisk og en brændselsdrevet smelteproces for:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Antallet og længden af driftsstop

Det er i ovenstående antaget, at energiforbruget er justeret for variationer i brændværdi for kul, der anvendes ved drift af kupolovne.

1.2.6 Procesvarme

Procesvarme dækker over alle typer procesopvarmning, der ikke hører ind under de kategorier der er beskrevet ovenstående.

Procesopvarmning både ske ved direkte fyring og ved indirekte fyring med et kedelanlæg. Uanset hvad der er tilfældet ved en konkret proces bør fyringsanlægget energimæssigt behandles separat. Formålet med procesopvarmning er talrige, hvorfor nedenstående liste er til inspiration.

Energiforbruget til procesopvarmning kan bl.a. afhænge af følgende parametre i større eller mindre udstrækning, hvorfor det er nødvendigt at undersøge faktiske sammenhænge i det konkrete tilfælde:

1. Produkttype
2. Produktmængde
3. Produktets startvandindhold
4. Produktets slutvandindhold
5. Produktets starttemperatur
6. Produktets sluttemperatur
7. Afkasttemperatur
8. Antallet og længden af produktionsstop

1.2.7 Rumvarme

Energiforbruget til rumvarme bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Graddage

2. Rumtemperatur
3. Personantal og aktiviteter i bygningen

Ad 1

Rumvarmeforbruget afhænger betydeligt af antallet af graddage, dvs. hvor koldt det er udendørs i en given periode. En graddag er et udtryk for en forskel på 1°C mellem døgntemperaturen indendørs og den udendørs døgnmiddeltemperatur i et givent døgn. Graddagene kan hentes på internettet eller ved at abonnere på graddageoplysninger fra Teknologisk Institut. Rumvarmeforbruget skal altid korrigeres for graddageantallet.

Ad 2

Rumvarmeforbruget er ligeledes afhængigt af temperaturen indendørs, og afhængigheden er størst for nye og nyere bygninger med lavt forbrug. Hvis rumtemperaturen varieres og at dette er meningen bør det operative energinøgletal for rumvarmeforbruget korrigeres for rumtemperaturen.

Ad 3

Det har betydning for rumvarmeforbruget, hvis personantallet i bygningen varierer, idet der er varmeafgivelse både fra personerne og fra den aktivitet (udstyr, PC'er etc.) der foregår. Dette er en parameter, der meget vanskeligt lades sig håndtere.

Alle tre ovenstående parametre har så stor indflydelse på energiforbruget, at de bør inddrages i forbindelse med korrektion af det operative energinøgletal.

1.2.8 Belysning

Energiforbruget til belysning afhænger i praksis udelukkende af, hvor mange personer der er i bygningen.

1.2.9 Ventilation

Energiforbruget til ventilation bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Graddage
2. Indblæsningstemperaturen
3. Udsugningstemperaturen
4. Personantal i bygningen

Ad 1

Varmeforbruget til et ventilationsanlæg afhænger af antallet af graddage, dvs. hvor koldt det er udendørs i en given periode. Rumvarmeforbruget skal derfor altid korrigeres for graddageantallet.

Ad 2

Varmeforbruget til et ventilationsanlæg er afhængigt af indblæsningstemperaturen, idet forbruget stiger i takt med at indblæsningstemperaturen øges. Hvis indblæsningstemperaturen varieres og at dette er meningen bør det operative energinøgletal for varmeforbruget korrigeres for indblæsningstemperaturen.

Ad 3

Varmeforbruget til ventilationsanlæg falder i takt med at udsugningstemperaturen stiger, da mulighederne for varmegenvinding øges. Variationer i udsugningstemperaturen kan normalt tilskrives variationer i personantallet og/eller variationer i solindfald fra vinduer.

Ad 4

Det har betydning for både el- og varmeforbruget til ventilationsanlægget, hvis personantallet i bygningen varierer. Det skyldes, at ventilationsbehovet stiger i takt med at personantallet øges. Samtidig afgiver personer og deres aktiviteter (udstyr, PC'er etc.) varme, hvilket øger mulighederne for varmegenvinding. Dette er dog allerede inkluderet som en parameter ved opstilling af det operative energinøgletal for varmeforbruget.

Alle fire ovenstående parametre har så stor indflydelse på energiforbruget, at de bør inddrages i forbindelse med korrektion af det operative energinøgletal, idet elforbruget korrigeres for antallet af personer, mens varmeforbruget korrigeres for graddage samt indblæsnings- og udsugningstemperaturerne.

1.2.10 Køling

I forbindelse med køling er det nødvendigt at skelne mellem proceskøling og køling til luftkonditionering, da de parametre der har indflydelse på energiforbruget er vidt forskellige.

1.2.1.1 Proceskøling

Energiforbruget til proceskøling i forbindelse med f.eks. indfrysning eller et køle-/fryserum bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Produkttype (vandindhold, c_p)
2. Produktmængde/-flow
3. Produktstarttemperatur
4. Produktsluttemperatur
5. Udetemperaturen
6. Antallet og længden af driftsstop
7. Rumtemperaturen (køle-/fryserum)
8. Åbningstid af døre til køle-/frostrum

Ad 1

Selve produktet har stor betydning for energiforbruget (elforbruget), idet især produktets vandindhold har stor indflydelse som følge vands relativ høje frysevarme, hvis produktet skal indfrys. Udover frysevarmen har produktets c_p værdi før og efter en eventuel frysning betydning for energiforbruget. Hvis der udelukkende er tale om nedkøling afhænger energiforbruget af c_p værdien for produktet i ikke-frosset tilstand. Når først produktet har opnået en stabil temperatur og bringes ind i et køle-/fryserum har produkttypen ikke længere betydning. Der er nedenstående vist nogle typiske værdier for forskellige produkttyper.

Varetype	Vandindhold [%]	c_p tøet [kJ/(kg°C)]	c_p frosset [kJ/(kg°C)]	Frysevarme f_v [kJ/kg]
Kød	47-70	3,1	1,7	220
Grøntsager	74-91	3,9	2,0	300
Frugt	82-93	3,7	1,9	280
Fisk	73-85	3,2	1,7	250
Smør	14-15	1,4	1,1	53
Vand	100	4,2	2,1	336

Tabel 1.2.1 Typiske værdier for energiforbrug ved nedkøling af fødevarer.

Det ses, at energiforbruget ved nedkøling af grøntsager er relativt højt, hvilket skyldes det høje vandindhold. Hvis den aktuelle proceskøleproces indbefatter en væsentlig temperaturændring, herunder især indfrysning, er det helt nødvendigt at korrigere energiforbruget for produkttypen. I nogle tilfælde er produktets sammensætning (herunder vandindhold) er næsten konstant den samme for den pågældende produkttype. Men i andre tilfælde er det nødvendigt at antage en gennemsnitlig sammensætning ud fra (løbende) prøvetagning. Det kan med rimelighed antages at produkttypen ikke har betydning for energiforbruget til køle-/fryserum, da produktets temperaturændring ofte er ret begrænset.

Ad 2

Produktmængden gennem et anlæg til proceskøling har betydning for energiforbruget, idet øget mængde vil medføre et lavere energiforbrug pr. enhed, da der er et næsten konstant grundlastforbrug i form af tab til omgivelserne fra selve procesudstyret og fra de systemer, der distribuerer køling fra køleanlægget til udstyret. Derfor skal det operative energinøgletal korrigeres for produktmængden.

Hvis der er tale om et køle-/fryserum har produktmængden ikke betydning, da energiforbruget udelukkende er bestemt af tabene til omgivelserne.

Ad 3

Produkttemperaturen ved tilgangen af køle-/fryseprocessen har afgørende betydning for energiforbruget, og det er nødvendigt at korrigere energinøgletallet for eventuelle variationer i starttemperaturen. Denne parameter vil dog i de fleste tilfælde være ret konstant, hvorfor korrektion ofte ikke er nødvendig. Tilsvarende har temperaturen ved indbringning i et køle-/fryserum have en vis betydning, men det vil ofte være svært registrere denne. I det fleste tilfælde er indbringningstemperaturen også nogenlunde konstant, så korrektion af det operative energinøgletal ikke er nødvendig.

Ad 4

Produkttemperaturen ved afgang af køle-/fryseprocessen har ligeledes afgørende betydning for energiforbruget, og det er nødvendigt at korrigere energinøgletallet for eventuelle variationer i sluttemperaturen. Denne parameter vil dog ligesom starttemperaturen i de fleste tilfælde være ret konstant, da køleprocessen i mange tilfælde bl.a. styres efter denne parameter. For et køle-/fryserum er situationen den, at produktets sluttemperatur er lig temperaturen i rummet, og produkttemperaturen har derfor kun indirekte indflydelse på energiforbruget.

Ad 5

Uanset om der er tale om en køleproces eller et køle-/fryserum har udetemperaturen stor indflydelse på energiforbruget. Det skyldes først og fremmest, at udetemperaturen er stor betydning for køleanlæggets driftskonditioner (kondenseringstemperaturen T_k), men også for kuldetabet fra køle-/fryserum, herunder tabet gennem døre og porte under åbning. Det er helt nødvendigt et korrigerende energiforbruget til et køleanlæg for udetemperaturen.

Ad 6

Hvis der er tale om proceskøling har antallet og længden af driftsstop indflydelse på energiforbruget, idet produktet bliver opvarmet som følge af kuldetab fra procesanlægget indtil processen genoptages. Derfor er der et ekstra kuldeforbrug til at nedkøle produktet, der afhænger af hvor længe processen har været standset. Energiforbruget skal korrigeres for antallet og varigheden af produktionsstop. Tilsvarende vil afbrydelse af kølingen til et køle-/fryserum medføre en temperaturstigning, der skal kompenseres med ekstra kulde når kølingen genoptages. Det er derfor nødvendigt at korrigeres for antallet og varigheden af driftsstop.

Ad 7

I forbindelse med køle-/frostrum har rumtemperaturen en vis betydning, idet energiforbruget stiger mere eller mindre proportionalt med rumtemperaturen reduceres. I langt de fleste tilfælde er det dog således at rumtemperaturen holdes konstant, og det er således ikke nødvendigt at korrigeres det operative energinøgletal for rumtemperaturen.

Ad 8

I forbindelse med køle-/frostrum har det stor betydning hvor ofte og i hvor lang tid døre/porte er åbne. Det er svært at registrere det eksakte tidsrum, hvor døre/porte er åbne, men i nogle tilfælde kan denne parameter kobles til f.eks. en registrering af produktionsmængden (køle-/fryserum på en produktionsvirksomhed) eller antallet af transporter (køle-/frysehus).

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigeres energiforbruget for:

1. Produkttype
2. Produktmængde/-flow
3. Udetemperaturen
4. Antallet og længden af produktionsstop
5. Åbningstid af døre/porte i køle-/fryserum

1.2.1.2 Luftkonditionering

Energiforbruget til køling i forbindelse med luftkonditionering bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Friskluftmængden
2. Friskluftens temperatur
3. Friskluftens fugtighed
4. Indblæsningstemperaturen
5. Rumtemperaturen
6. Varmebelastningen
7. Åbningstid af døre og vinduer

Ad 1

Energiforbruget til luftkonditionering afhænger alt andet lige direkte proportionalt med den friskluftmængde der tilføres. Friskluftmængden er i nogle tilfælde konstant, men i andre tilfælde er den afhængig af f.eks. antallet af personer i et lokale der ventileres. I andre tilfælde er der ikke nogen egentlig frisklufttilførsel, men udelukkende infiltration gennem utætheder i bygningskonstruktionerne. Hvis friskluftmængden varierer bør det operative energinøgletal korrigeres for luftmængden.

Ad 2

Udeluftens temperatur har indflydelse på energiforbruget til luftkonditionering både gennem energiforbruget der medgår til nedkøling af friskluften (i de tilfælde hvor der er ventilationsanlæg) og som følge af at behovet for luftkonditionering øges med stigende udetemperatur pga. øget kuldetab til omgivelserne. Derfor er det nødvendigt at korrigere det operative energinøgletal for udetemperaturen, hvilket er forholdsvis enkelt, idet udetemperaturen ofte allerede registreres.

Ad 3

Udeluftens fugtindhold har ofte stor betydning, da en del af fugten i friskluften udkondenseres når luften nedkøles inden indblæsning, hvis der er et egentligt ventilationsanlæg. Energiforbruget afhænger af fugtindholdet både før og efter nedkølingen. Fugtigheden i friskluften før og efter nedkøling overvåges pt. sjældent. I nogle tilfælde kan det antages, at fugtigheden efter nedkølingen svarer til en relativ luftfugtighed på ca. 80% ved dugpunktet for indblæsningstemperaturen, således at det kun er nødvendigt at registrere fugtigheden i udeluften. Indblæsningstemperaturen er en parameter der i langt de fleste tilfælde registreres løbende.

Ad 4

Indblæsningstemperaturen har direkte indflydelse på energiforbruget til luftkonditionering, idet denne parameter er bestemmende for køleanlæggets fordampningstemperatur, der har indflydelse på køleanlæggets effektivitet. Køleanlæggets effektivitet reduceres med faldende fordampningstemperatur. Desuden medfører lavere fordampningstemperatur forøget udkondensering af luftfugtighed, der igen medfører øget energiforbrug. Hvis der er tale om ventilationsanlæg er det normalt at indblæsningstemperaturen justeres efter behovet, mens airconditionings'units konstant har samme fordampningstemperatur.

Ad 5

Energiforbruget til luftkonditionering afhænger af rumtemperaturen, idet energiforbruget øges ved faldende rumtemperatur som følge af øget tab til omgivelserne og især fordi antallet af timer hvor luftkonditionering stiger. Hvis rumtemperaturen varieres er det nødvendigt at korrigere det operative energinøgletal for rumtemperaturen. Men i de fleste tilfælde holdes rumtemperaturen konstant og/eller styres på samme måde hele tiden.

Ad 6

Det har stor betydning for energiforbruget, hvis varmebelastningen som følge af variationer i personantal, aktiviteter eller andet der foregår i bygningen ændres. Dette er en parameter, der meget vanskeligt lades sig håndtere løbende. Det er ofte nødvendigt at untlade den løbende

korrektion af det operative energinøgletal, men i stedet opdatere modellen for nøgletallet når behovet som følge af varmebelastningen opstår.

Ad 7

I forbindelse med luftkonditionering har det stor betydning hvor ofte og i hvor lang tid døre/porte er åbne, idet luftkonditioneringen skal kompensere for (varm og fugtig) luft der trænger ind i bygningen gennem åbninger til det fri. Det er svært at registrere det eksakte tidsrum, hvor døre og vinduer er åbne for herved at kunne beregne den luftmængde der er forbundet hermed. I praksis ses det sjældent, at døre og vinduer er åbne når der er behov for luftkonditionering. Utilsigtet luftinfiltration gennem døre og utætheder i bygningen har derfor normalt et nogenlunde konstant niveau, hvorfor korrektion af det operative energinøgletal i de fleste tilfælde ikke er nødvendig.

På baggrund af ovenstående er det således nødvendigt i de fleste tilfælde at korrigere energiforbruget for:

Ventilationsanlæg

1. Luftmængden
2. Udetemperaturen
3. Udeluftens fugtighed

Alle anlæg

4. Varmebelastningen

1.2.11 Trykluft

Energiforbruget til trykluftanlæg bør i udgangspunktet korrigeres for følgende parametre:

1. Trykluftproduktionen
2. Indsugningsluftens temperatur

Ad 1

Energiforbruget til et givet trykluftanlæg afhænger i større eller mindre udstrækning af trykluftproduktionen uanset kompressortype og styring (omdrejningsregulering, last/aflast, on/off) af den leverede luftmængde. For at kunne opstille et nogenlunde præcist nøgletal for et trykluftanlæg er det nødvendigt at etablere både en flowmåler i hovedforsyningsrøret fra anlægget samt en energimåler. Det er nødvendigt at korrigere det operative energinøgletal for et trykluftanlæg for trykluftproduktionen.

Ad 2

Det er hidtil været praksis at antage, at energiforbruget til et trykluftanlæg stiger med ca. 1% for hver 3°C indsugningstemperaturen forøges. Der er imidlertid stillet spørgsmål ved denne antagelse, og under alle vil den korrektion der skulle foretages være ret begrænset (op til ca. 3-4%). Der vurderes, at der kan ses bort fra indsugningstemperaturen ved korrektion af det operative energinøgletal for trykluftanlæg.

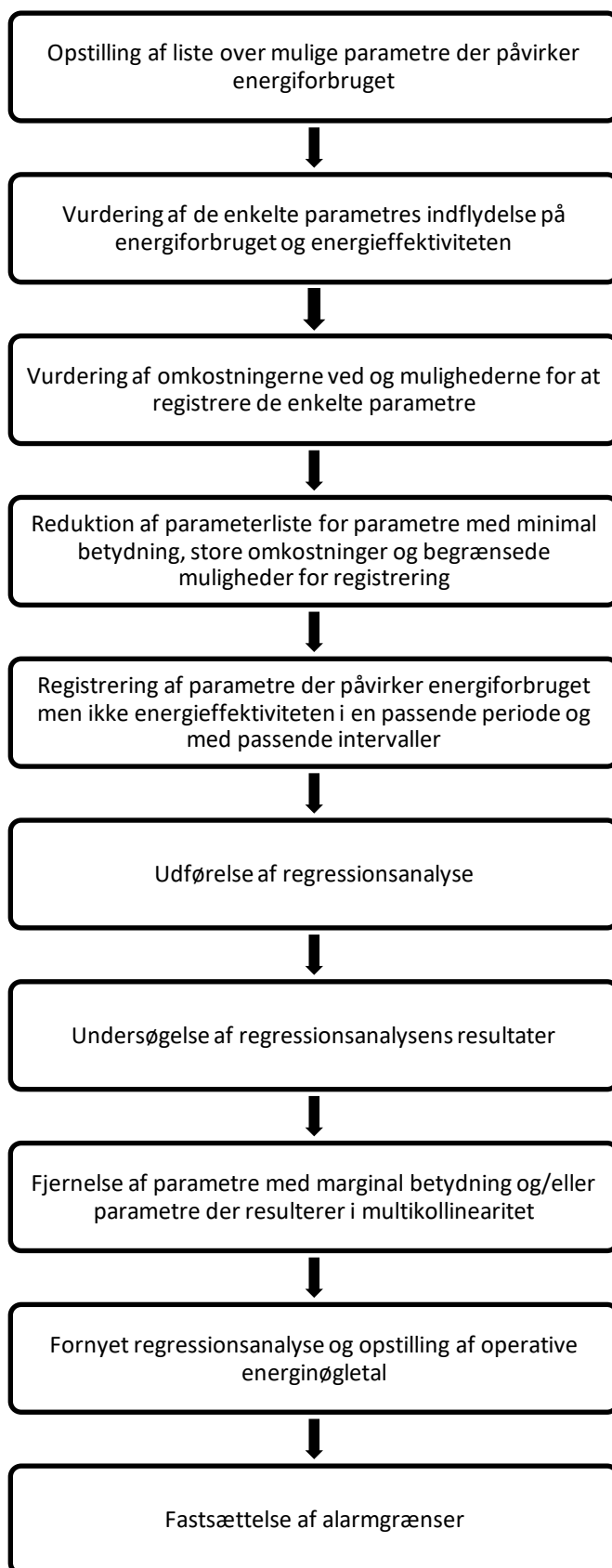
På baggrund af ovenstående er det således at korrigere energiforbruget for:

1. Trykluftproduktionen

1.3 Procedure for opstilling og anvendelse af operative energinøgletal

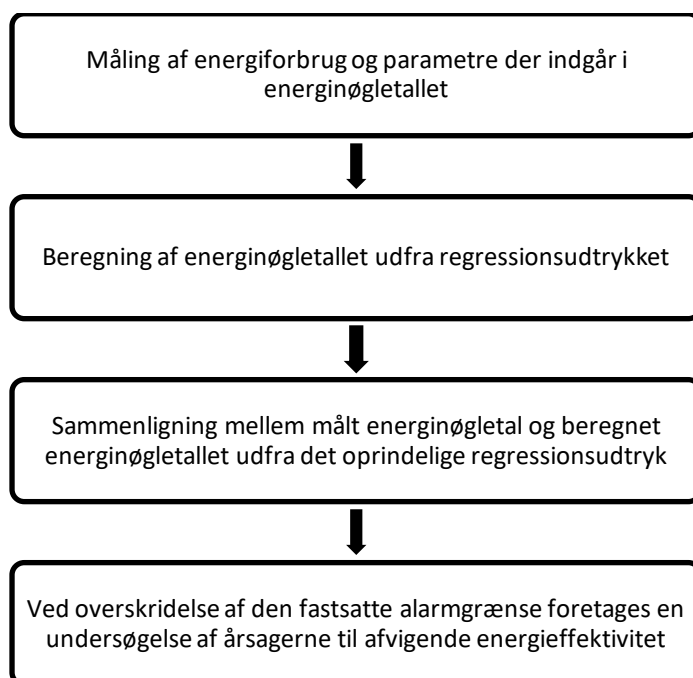
Det er helt nødvendigt at der er en indgående teknisk forståelse af de processer og sammenhænge for hvilke der skal opstilles energinøgletal. Som vist i nedenstående figur skal der indledningsvis opstilles en liste over parametre, der forudses at påvirke et givet energiforbrug i væsentligt omfang. I den forbindelse er det vigtigt at have en fornemmelse af, hvordan en given parameter påvirker forbruget og den enkelte parameter har indflydelse på (eller sammenhæng med) andre parametre. Når modellen for det operative energinøgletal er opstillet

Proceduren for opstilling af operative energinøgletal er vist nedenstående.



Figur 1.3.1 Opstilling af parametre for operative energinøgletal.

Den nedenstående figur illustrerer de aktiviteter der udføres i forbindelse med anvendelsen af de operative energinøgletal.



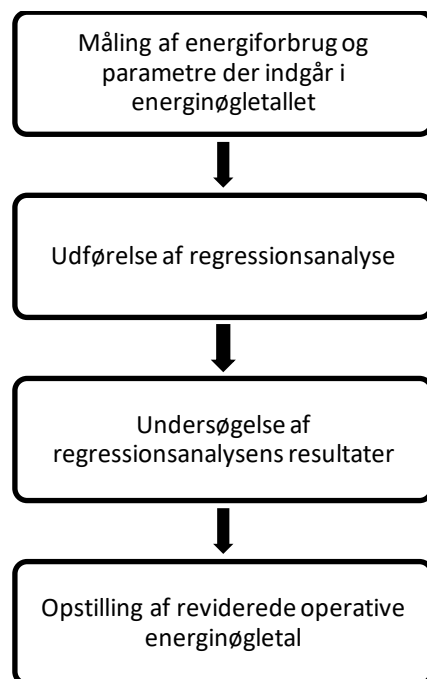
Figur 1.3.2 Anvendelse af operative energinøgletal.

Det er vigtigt at huske at en regressionsanalyse er blot en metode, - et værktøj, til at forstå og analysere sammenhænge mellem data for f.eks. produktion og energiforbrug. Analysemetoden kan ikke ukritisk anvendes til at fastslå sammenhænge, men skal kombineres med indsigt i den proces der analyseres. I nogle tilfælde er det set at procesparametre, der åbenlyst påvirker energiforbruget er sorteret fra fordi regressionsanalysen så viste bedre sammenhæng, f.eks. hvor tørstofindholdet i råvaren til en tørreproces blev taget ud som procesparameter. Når regressionsanalysens resultater undersøges skal denne undersøgelse kombineres med sund fornuft inden parametre der tilsyneladende er uden betydning eller resulterer i multikollinearitet¹ fjernes.

I mange tilfælde beregnes energinøgletal ud fra lineære modeller, dvs. at f.eks. en øget produktion resulterer i et proportionalt øget energiforbrug. Men i andre tilfælde resulterer regressionsanalysen i et ikke-lineært udtryk, idet energiforbruget beskrives af et kurveformet forløb og der indgår mere end én parameter således at modellen er kompleks. Hvis regressionsanalysen giver en ikke-lineær model er det nødvendigt at definere et gyldighedsområde for modellen. I kapitel 2 er der et eksempel på en regressionsanalyse der giver en model for energiforbruget, hvor forbruget bliver negativt, hvis alle indgående parametre er nul, dvs. ingen produktion.

Det er en vigtig aktivitet for at sikre validiteten af de operative energinøgletal, at de med passende mellemrum ajourføres, så effekten af opnåede energieffektiviseringstiltag etc. indregnes. Den nedenstående figur illustrerer denne aktivitet.

¹ Se bilag 1 Følsomhedsanalyse



Figur 1.3.2 Revision af operative energinøgletal.

2 Multipel regressionsanalyse

Multipel regressionsanalyse kan anvendes som værktøj til at bestemme sammenhængen mellem energiforbrug og udvalgte parametre, der antages at påvirke energiforbruget men ikke energieffektiviteten. Det kan som tidligere f.eks. være parametre som produktionsmængde, råvare-sammensætning, udetemperatur og luftfugtighed. I MS Excel der er tilgængelig på de fleste PC'er findes der standard et værktøj til multipel regressionsanalyse. Med dette værktøj er det muligt at analysere sammenhængen mellem energiforbruget og et valgfrit antal parametre, der antages at have indflydelse på energiforbruget.

Når MS Excel åbnes og der trykkes på "Data" fanen vil der yderst til højre i menu'linjen de Add'Ins der er installeret på PC'en. Hvis der ikke vises et punkt der hedder Dataanalyse, er det nødvendigt at installere denne Add'In. Det gøres ved at tilgå punktet Options (under File eller MS knappen afhængig af version) og klikke på punktet Add'Ins, og så vælge Analysis ToolPak. Det skal kun gøres én gang, hvorefter denne Add'In er tilgængelig fremover på PC'en.

Herefter kan de målte og registrerede værdier for de parametre (de uafhængige variable som f.eks. produktion, fugtighed i råvare og udetemperatur) det er valgt at undersøge indtastes sammen med den afhængige variabel (energiforbruget). Herefter kan der udføres en multipel regressionsanalyse ved at åbne "Data" fanen og vælge "Dataanalyse" Add'In'en yderst til højre. Herved åbnes en drop-down menu, hvori Regression vælges. I regressions'menu vælges energiforbruget som input til Y-området og de kolonnerne med parametre vælges som input til X-området. Konfidensniveauet vælges som regel til 95% og ved at klikke på "outputområde" er det muligt at bestemme hvor resultaterne skal placeres, - f.eks. under de indtastede måledata. Til sidst klikkes på "OK" hvorved regressionsanalysen udføres.

Der er nedenstående vist et eksempel med udgangspunkt i et korntøringsanlæg, hvor der ønskes dannet et operativt energinøgletal mellem tøringsanlæggets olieforbrug og kornmængden der skal tørres. Det antages, at olieforbruget foruden kornmængden afhænger af startvandindholdet i kornet, udetemperaturen, udeluftens fugtighed og tøringsanlæggets starttemperatur, der alle er parametre som (måske) influerer på energiforbruget, men ikke påvirker tøringsanlæggets energieffektivitet. Der er data for 26 batches som vist i tabellen.

Produktmængde	Startvandindhold	Udelufttemperatur	Udeluftens fugtighed	Tørrekammerets starttemperatur	Olieforbrug
[kg]	[%]	[C]	[%]	[C]	[liter]
6800	20	15	82	15	33
6900	21	16	80	38	42
7250	20	13	78	35	34
6800	22	18	87	36	47
7500	19	17	86	17	30
7400	18	16	80	40	20
7450	21	11	70	40	41
7000	22	13	76	38	48
7200	20	14	76	37	31
6750	19	18	81	18	22
7050	19	16	79	36	22
6900	18	12	71	37	15
7350	19	12	72	37	33
7500	20	14	77	36	41
7150	21	15	78	15	46
7050	21	14	75	40	39
7100	20	17	79	39	35
7200	22	18	85	38	50
7350	19	18	84	38	35
6800	22	11	79	37	22
6900	19	13	71	36	15
7250	18	14	72	15	33
7050	19	18	71	37	35
7100	22	16	72	36	50
7500	19	14	80	36	41
7400	18	15	70	37	46

Tabel 2.1 Olieforbrug og driftsparametre for et korntøringsanlæg.

Når der udføres en regressionsanalyse på ovenstående data med produktmængde, startvandindhold, udelufttemperatur, udeluftfugtighed og starttemperatur som input'data (X'værdier) og olieforbruget som output'værdi (Y'værdier) fremkommer nedenstående resultat.

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,849520714
R-kvadrat	0,721685444
Justeret R-kvadrat	0,652106805
Standardfejl	6,2011699
Observationer	26

ANOVA					
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	5	1994,294453	398,8589	10,37223	5,10867E-05
Residual	20	769,0901626	38,45451		
Totalt	25	2763,384615			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>
Konstant	-245,0587044	51,04632157	-4,80071	0,000109	-351,5394653
X-variabel 1	0,02477754	0,00558448	4,436857	0,000253	0,013128519
X-variabel 2	6,924477437	1,059305544	6,536808	2,27E-06	4,714804794
X-variabel 3	2,330466227	0,704665026	3,307197	0,003518	0,860560741
X-variabel 4	-0,819784738	0,32419147	-2,52871	0,019969	-1,496036294
X-variabel 5	-0,192333268	0,154716645	-1,24313	0,228196	-0,515066535

Tabel 2.2 Resultat af regressionsanalyse for et korntørringsanlæg.

Fra koefficienterne i regressionsanalysen kan følgende udtryk for energiforbruget til korntørringsanlægget som funktion af de udvalgte parametre udledes:

$$\text{Olieforbrug} = -245 + (0,02 * \text{kornmængde}) + (6,9 * \text{startvandindhold}) + (2,3 * \text{udelufttemperatur}) + (-0,8 * \text{luftfugtighed}) + (-0,2 * \text{tørringsanlæggets starttemperatur})$$

Det ses, at der er beregnet en værdi for signifikans F på $5,1 \cdot 10^{-5}$. Signifikansen er et udtryk for at det beregnede udtryk ikke stemmer, og værdien skal gerne være lavere end 0,05 (5%). I dette tilfælde er signifikansen beregnet til 0,0051%, eller langt lavere end påkrævet. Derfor er det beregnede udtryk for olieforbruget meget signifikant, og dermed anvendeligt som operativt energinøgletal.

Desuden er der beregnet en værdi for R^2 (R-kvadrat). R-kvadrat er et udtryk for hvor godt det beregnede udtryk følger variationerne i olieforbruget. Hvis værdien er 1 er det beregnede udtryk helt perfekt. I dette tilfælde er R-kvadrat beregnet til 0,72, hvilket er acceptabelt.

Når der foretages en vurdering af de enkelte parametres indflydelse på energiforbruget, er det baseret på tre separate analyser:

1. Følsomhedsanalyse
2. ANAVA'analyse af variansen
3. Analyse af R'kvadreret eller R^2

De tre analyser er beskrevet nærmere i bilag 1.

Der foretages en følsomhedsanalyse ved at betragte de beregnede P-værdier for de udvalgte indgående parametre. P-værdien er et udtryk for hvor godt den pågældende parameter medvirker til at forklare ændringer i Y-værdien, dvs. olieforbruget i dette tilfælde. Hvis P-værdien er større end 0,05 (5%) er det normalt en fordel at udelade den pågældende parameter. Det ses, at P-værdien for parameter nr. 5, - tørringsanlæggets starttemperatur, er 0,23, dvs. betydeligt over 0,05. Derfor kan der måske opnås et mere præcist beregningsudtryk ved at udelade denne parameter fra regressionsanalysen.

Der er nedenstående vist en fornyet regressionsanalyse, hvor tørringsanlæggets starttemperatur er udeladt.

<i>Regressionsstatistik</i>					
Multipel-R		0,836767819			
R-kvadrat		0,700180383			
Justeret R-kvadrat		0,643071885			
Standardfejl		6,281177156			
Observationer		26			

ANOVA					
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	4	1934,8677	483,7169	12,26053	2,6842E-05
Residual	21	828,5169157	39,45319		
Totalt	25	2763,384615			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-kvot</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>
Konstant	-240,7554587	51,58589631	-4,66708	0,000132	-348,0342028
X-variabel 1	0,023373903	0,005539705	4,219341	0,000385	0,011853456
X-variabel 2	6,52113615	1,021403418	6,384486	2,5E-06	4,397011461
X-variabel 3	2,305325053	0,713462564	3,231179	0,004003	0,821598427
X-variabel 4	-0,719694951	0,318086013	-2,26258	0,034386	-1,381191027

Tabel 2.3 Resultat af justeret regressionsanalyse for et korntørringsanlæg.

$$\text{Olieforbrug} = -241 + (0,02 * \text{kornmængde}) + (6,5 * \text{startvandindhold}) + (2,3 * \text{udelufttemperatur}) \\ + (-0,7 * \text{luftfugtighed})$$

Det ses, at signifikansen F nu er beregnet til $2,7 \cdot 10^{-5}$ eller 0,0027%. Herved er det nye udtryk bedre end det oprindelige. Samtidig er P-værdien for alle de indgående variable (parametre) lavere end 0,05 (5%). Herved anses det beregnede udtryk for anvendeligt til beregning af et operativt energinøgletal for det pågældende korntørringsanlæg.

Beregningsudtrykket kan anvendes til at forudse det teoretiske energiforbrug på baggrund af kornmængden, startvandindholdet, udetemperaturen og luftfugtigheden. Hvis det faktiske energiforbrug ligger over det beregnede betyder det, at anlægget kører mindre effektivt end gennemsnitligt, og aktion kan være påkrævet hvis afvigelsen er stor. Tilsvarende er effektiviteten bedre end forventet hvis det faktiske energiforbrug er lavere end beregnet. Det er også i dette tilfælde en god ide at undersøge årsagen til afvigelsen, da det kan give ideer til effektiviseringsforbedringer. Der bør fastsættes en øvre og nedre alarmgrænse for hvornår et afvigende forbrug bør undersøges nærmere. Denne grænse kan f.eks. være $\pm 10\%$. Der bør med mellemrum udføres en ny regressionsanalyse, så det effektiviseringsstiltag der implementeres indregnes.

Det operative energinøgletal bør vises i et diagram som en kurve sammen med det faktiske forbrug, så det illustreres løbende om der sker effektiviseringsforbedringer.

Det er vigtigt at huske, at regressionsanalyser og anden form for statistisk databehandling er et værktøj, som kan hjælpe til at gennemskue sammenhænge, give et estimat over indgående variables betydning og hjælpe med at opstille en matematisk model. Det er helt nødvendigt at databehandlingen suppleres med indgående teknisk forståelse af den/de processer der undersøges, - både for at kunne vælge de rette indgående parametre, men også for at kunne gennemskue om en given parameter reelt har indflydelse eller kan udelades.

2.1 Indsamling og krav til data

Grundlæggende kan de data der anvendes til generering af energinøgletal indsamles enten manuelt, automatisk (elektronisk) eller som en kombination heraf. Det er klart at foretrække af data indsamles automatisk, - både fordi data på den måde kan indsamles med en frekvens og på tidspunkter, der passer til den proces der overvåges, men også fordi automatisk dataopsamling sikrer samtidighed af data og at data er valide (ingen fejlaflæsninger). De energinøgletal der beregnes er ikke bedre end de data der indsamles. Med udgangspunkt i den konkrete proces for hvilken der skal beregnes et energinøgletal, er det vigtigt at tage stilling til og sikre:

- Passende opsplitning af den givne proces i delprocesser, så der genereres data der giver god indsigt (ovn, pumpeanlæg, forbehandlingsanlæg)
- Passende indsamlingsfrekvens af data i forhold den givne proces
- Samtidighed af data
- At der som udgangspunkt kun anvendes målte data
- Validitet af data
- Passende tilgængelighed og lagring af data

Virksomhederne har som regel altid styr på både producerede mængder og energiforbrug, så der mangler som oftest ikke datagrundlag til generering af energinøgletal. Udfordringen er ofte derimod, at produktions- og energidata befinder sig i hvert sit system af historiske årsager, - det er ganske simpelt forskellige personer, der interesserer sig for produktion og energiforbrug. Det giver tit nogle praktiske udfordringer og et i udgangspunktet unødigt tidsforbrug med at samkøre produktions- og energidata. Desuden ses det ofte at registreringsfrekvensen og registreringstidspunkterne for produktion og energi er forskellige, så der skal bruges yderligere ressourcer på at "synkronisere" data.

En anden udfordring kan være produktionsdataene er registreret som f.eks. halvfabrikata og færdigvarer samt hjælpestoffer for én batch eller produktionsserie. I disse tilfælde er det nødvendigt at sortere produktionsdataene, så de rette produktionsdata kan sammenholdes med de rette energidata.

Inden en effektiv energistyring og generering af energinøgletal kan igangsættes er det vigtigt, at der tages stilling til hvilke produktions- og energidata der skal være tilgængelige, og hvordan de skal præsenteres. På baggrund heraf skal det besluttes med hvilke frekvens dataene skal indsamles. Endelig skal der udarbejdes et system, som nemt og hurtigt samler de ønskede data. Dette system bør som udgangspunkt på sigt være automatisk, således at data for produktion og energi hentes automatisk i underliggende systemer, og sammenstilles til operative energinøgletal.

Det ses ofte, at manuelt indsamlede data har en uforholdsmæssig lav indsamlingsfrekvens ganske simpelt fordi, at der er et betydeligt tidsforbrug forbundet med at indsamle data, - bl.a. på grund af ovenstående udfordringer. Men hvis data indsamles for sjældent giver energinøgletalene ikke mulighed for at reagere hurtigt på u hensigtsmæssigheder, dårlig indsigt i hvordan energiforbruget varierer og upræcise energinøgletal. Udfordringen er, at dataopsamlingsystemer er kostbare og at systemerne i sig selv ikke reducerer energiomkostningerne. Dataopsamlingsystemer er dog i de fleste tilfælde en forudsætning for at udføre energistyring på et så detaljeret niveau, at det muligt at opnå viden om energiforbrug og muligheder for at realisere energibesparelser. Det ses desværre stadig, at virksomheder beregner energinøgletal alene af den grund at det er nødvendigt i forhold til opretholdelse af certificering efter f.eks. ISO50001,

idet energinøgletallene ikke bibringer virksomheder indsigt i energiforbruget. Dermed er energinøgletallene i mange tilfælde værdiløse som styrings- og dokumentationsværktøj. Når der etableres nye energikrævende anlæg bør de som udgangspunkt altid forberedes for automatisk dataopsamling, dvs. de bør være udrustet med målere (energi, produktionsmængde, temperaturer etc.), så data kan overføres automatisk.

Hvis energinøgletallet for et givet anlæg afviger fra normalen bør de data der ligger til grund for nøgletallet altid kontrolleres for at sikre at datagrundlaget er i orden. Det kan f.eks være at en måler er aflæst forkert og de målere der er anvendt ikke er aflæst med tilstrækkelig samtidighed. Der kan også være at der er opstået en målerdefekt.

De indsamlede data bør gøres nemt tilgængelige for alle der kan have interesse heri, og data bør gemmes i passende lang tid.

Endelig er det vigtigt, at de målere, dvs. el- og gasmålere, vægte etc., der anvendes ved dataindsamlingen er troværdige og i øvrigt holdes serviceret. Unøjagtigheder i måledata kan underminere troværdigheden af energinøgletallene, og dermed den førte energistyring.

2.2 Analyse af resultater

Som tidligere nævnt er det nødvendigt at de indsamlede data behandles af personer med god teknisk indsigt i den/de processer, som energinøgletallene repræsenterer. Det betyder, at tolkningen af både at den matematiske model, - typisk en regressionsanalyse, og tolkningen af energinøgletallet sker med baggrund i procesmæssig indsigt. Vigtigheden af dette kan illustreres med eksempel 2, hvor der er udført regressionsanalyser på en virksomhed, der producerer tre forskellige produkter på hver sin produktionslinje. Energiforbruget (gasforbruget) for de tre produktionslinjer er indbyrdes afhængigt som følge af intern varmegenvinding, så selv om produktionen og gasforbruget opgøres for hver linje giver det ikke mening af anvende disse data. I stedet giver det langt bedre mening at betragte virksomhedens samlede produktion under ét og udarbejde ét samlet energinøgletal for gasforbruget som funktion af produktionen af de tre produkter.

I de fleste tilfælde er modellen for energinøgletallet baseret på produktionen i en normalsituation. Det betyder som oftest, at modellen kun er præcis nok indenfor et givet spænd for produktionen. Hvis modellen undtagelsesvist anvendes udenfor det fastsatte gyldighedsområde bør der udtrykkelig gøres opmærksom på dette sammen med en specifik tolkning af konsekvensen for energinøgletallet.

Som udgangspunkt bør produktionsrelaterede energinøgletal beregnes i forhold til nettoproduktionen, dvs. at nøgletallet er beregnet ud fra den produktionsmængde, der resulterer i en salgbar vare. Herved er energinøgletallet korrigeret for den del af produktionen er fejlbehæftet og kasseres eller recirkuleres.

2.3 Præsentation af energinøgletal

Energinøgletallene skal bearbejdes så de præsenteres på den måde, der giver bedst mening for modtagerne i det konkrete tilfælde. Det lyder banalt, men det er desværre ikke altid tilfældet. Det kan være at energinøgletallet skal anvendes til at dokumentere om et fastsat energimål nås. Det kan også være at energinøgletallet skal anvendes til at følge det realiserede energiforbrug i forhold til det forventede energiforbrug.

I mange tilfælde genereres der kun overordnede energinøgletal, der f.eks. blot angiver kWh/ton-produkt for det totale procesforløb. Et sådan energinøgletal giver ingen indsigt i, hvor energiforbruget reelt anvendes. Det er nødvendigt at nedbryde energiforbruget og dermed nøgletallene i væsentlige delprocesser eller procesanlæg, for at kunne følge energiforbruget tilstrækkeligt tæt til at der f.eks. kan reageres på uregelmæssigheder og der kan skabes grundlag for ideer til energieffektivisering.

CUSUM, eller CUMulative SUM, er en metode til sekventiel analyse af data, der har været anvendt siden 1950'erne. Metoden anvendes primært til at fastslå ændringer i data på baggrund af en akkumuleret sammenligning mellem forventede værdier og faktiske værdier. Metoden kan bl.a. anvendes til at fastslå på en enkel måde, om et givet reduktionsmål opnås. Hvis CUSUM metoden anvendes beregnes det forventede energiforbrug for en given produktion eller lignende ud fra den udførte regressionsanalyse. Der udføres en beregning for hver fastsat periode, f.eks. for hver måned, i hele den periode der betragtes i forhold til energimålet. Det forventede forbrug kan betragtes som baseline for energiforbruget, da forbruget er beregnet ud fra de nuværende konditioner og uden ændringer i energieffektivitet. Det forventede energiforbrug fratrækkes det faktisk realiserede energiforbrug og summeres med den akkumulerede sum for de forrige beregninger. Ved at sammenholde den akkumulerede besparelse med det akkumulerede forventede forbrug er det muligt at fastslå om energimålet er nået.

En anden mulighed kan være løbende at følge det forventede energiforbrug sammenholdt med det realiserede forbrug for at se om en given periode har være bedre eller værre end forventet. Det kan præsentationsteknisk være en fordel at vise f.eks. det forventede og realiserede forbrug som løbende 12 måneder eller anden aftalt periode. Den løbende kontrol af realiseret forbrug op mod forventet forbrug er god til at opdage afvigelser i energiforbruget, og bør suppleres med alarmgrænser for hvornår en afvigelse skal undersøges nærmere.

Energinøgletal præsenteres ofte bedst som kurver i et diagram, da det på den måde er muligt at få et hurtigt overblik. Det kan f.eks. en kurve for det realiserede energiforbrug sammen med en kurve for det forventede, eller en kurve der viser det realiserede energinøgletal sammen med en (typisk vandret) kurve der viser energimålet.

2.4 Opdatering af regressionsanalyser

Regressionsanalysen for et operativt energinøgletal skal opdateres med et passende interval, så modellen tager højde for f.eks. forbedret energieffektivitet og ændringer produktion (mængder, produkter). Det anbefales, at regressionsanalysen opdateres mindst én gang årligt, og derudover når forudsætningerne for analysen ændres væsentligt. Det er vigtigt, at modellen for energinøgletallet er så præcis som muligt, og i øvrigt er uangribelig, så energinøgletallet til enhver tid fremstår troværdigt.

Der kan udføres en ny regressionsanalyse på de data, der ligger under værdierne for den oprindelige regressionsanalyse, så der fås et nyt ambitiøst regressionsudtryk.

3 Eksempler

3.1 Eksempel 1

Der er udarbejdet energinøgletal for el- og gasforbruget til ovn med det udviklede beregningsværktøj. Ovnene anvendes til opvarmning af råvarer inden bearbejdning.

Gasforbruget måles specifikt med en gasmåler der hører til ovnen, mens elforbruget til ovndriften måles sammen en tilsvarende ovn. Der er data på månedsbasis for perioden 2003-2018 til rådighed.

Ved udførelsen af regressionsanalysen er der fjernet outliers, dvs. værdier der er langt fra beregningsudtrykket, én gang.

3.1.1 Elforbruget

Resultatet af en regressionsanalyse på gasforbruget er vist nedenstående.

Regressionsstatistik						
Multipel R	0,925817					
R-kvadreret	0,857137					
Justeret R-	0,855584					
Standardfej	26230,13					
Observationer	94					
ANOVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	1	3,8E+11	3,8E+11	551,9742	1,19637E-40	
Residual	92	6,33E+10	6,88E+08			
I alt	93	4,43E+11				
	Koefficienter	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	95577,79	9506,717	10,05371	1,76E-16	76696,6336	114459
X-variabel	5,057854	0,215282	23,49413	1,2E-40	4,630286237	5,485422

Figur 3.1.1 Regressionsanalyse for elforbruget.

Det ses, at det samlede elforbrug for ovn 1 og ovn 2 kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Elforbrug [kWh]} = 95.578 + 5,057854 \cdot \text{råvaremængde [ton/mdr]}$$

Signifikansen F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er så godt som lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,85, hvilket er acceptabelt. P-værdien for X-variabel 1 og skæringen er begge nul, hvilket indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data.

3.1.2 Gasforbruget

Resultatet af en regressionsanalyse på gasforbruget på den ene af de to ovne er vist nedenstående.

Regressionsstatistik						
Multipel R	0,975564					
R-kvadreret	0,951726					
Justeret R-	0,951463					
Standardfej	87913,17					
Observationer	186					
ANOVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	1	2,8E+13	2,8E+13	3627,545	4,803E-123	
Residual	184	1,42E+12	7,73E+09			
I alt	185	2,95E+13				
	Koefficienter	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	181606,3	22489,48	8,075164	8,57E-14	137235,8618	225976,7
X-variabel	34,39017	0,570989	60,2291	4,8E-123	33,26363987	35,5167

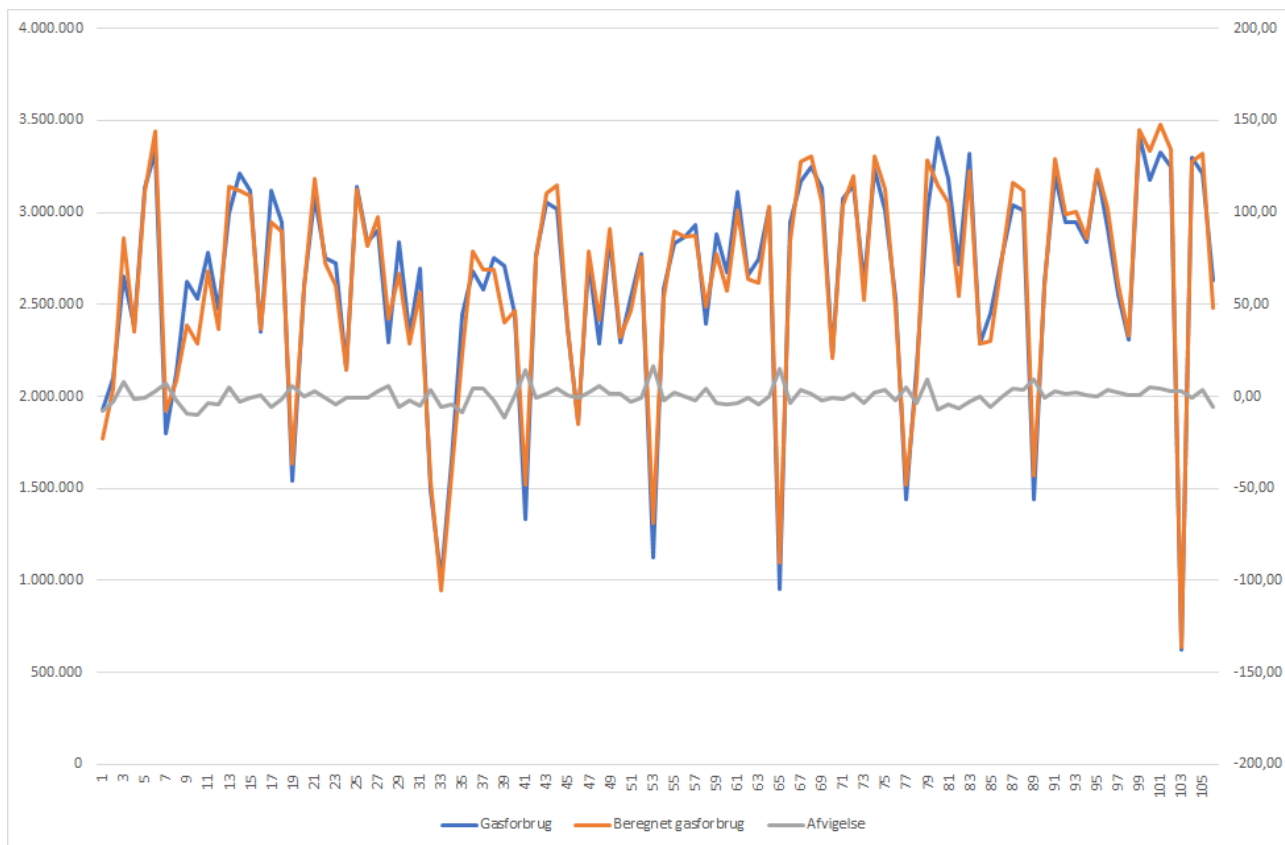
Figur 3.1.2 Regressionsanalyse for gasforbruget på én ovn.

Det ses, at gasforbruget kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Gasforbrug [m}^3\text{/mdr]} = 181.606 + 34,39017 \cdot \text{råvaremængde [ton/mdr]}$$

Signifikansen F er så godt som lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,95, hvilket er ret tæt på 1,0. P-værdien for X-variabel 1 og skæringen er begge nul, hvilket igen indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data.

Nedenstående figur viser det beregnede og det faktiske gasforbrug. Det ses, at der er meget fin overensstemmelse, idet den grå kurve viser den procentvise forskel mellem beregnet og faktisk målt forbrug.



Figur 3.1.3 Beregnet og faktisk målt gasforbrug til ovnen.

3.2 Eksempel 2

Der er udarbejdet energinøgletal for gasforbruget i en virksomhed, der producerer tre forskellige produkter. Produktionslinjerne er i en vis udstrækning integrerede i forhold til varmemeforbruget, idet spildvarme fra én produktionslinje kan udnyttes i en anden produktionslinje.

Gasforbruget opgøres specifikt for hver produktionslinje, og der er data på månedsbasis for perioden 2017-18 til rådighed.

Ved udførelsen af regressionsanalysen er der ikke fjernet outliers (værdier der afviger betydeligt fra regressionsudtrykket), idet det har været ønsket at kunne se data for hver eneste måned.

3.2.1 Energinøgletal for det samlede gasforbrug

Der er udført en regressionsanalyse på det samlede gasforbrug på virksomheden som funktion af produktionsmængden af hver af de tre produkter. Resultatet af regressionsanalysen er vist nedenstående.

Regression Statistics						
Multiple R	0,940809					
R Square	0,885123					
Adjusted R Square	0,867891					
Standard Error	169075					
Observations	24					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	3	4,41E+12	1,47E+12	51,36617	1,4E-09	
Residual	20	5,72E+11	2,86E+10			
Total	23	4,98E+12				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	1161380	177996,9	6,524722	2,33E-06	790085,3	1532675
X Variable 1	33,33935	51,12352	0,652133	0,52174	-73,3025	139,9811
X Variable 2	156,7989	35,05362	4,473116	0,000233	83,67835	229,9195
X Variable 3	2382,109	265,96	8,956644	1,95E-08	1827,326	2936,892

Figur 3.2.1 Resultat af regressionsanalyse på det samlede gasforbrug.

Signifikansen F er så godt som lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,94, hvilket er ret tæt på 1,0. P-værdien for X-variabel 2 og 3 samt skæringen er alle næsten nul, hvilket igen indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data. Det er kun P-værdien for variabel 1 der afviger fra nul. Der er derfor foretaget en ny beregning, hvor variabel 1 er udeladt af analysen, hvilket giver nedenstående resultat.

SUMMARY OUTPUT						
<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0,93951					
R Square	0,88268					
Adjusted R Square	0,871506					
Standard Error	166745,4					
Observations	24					
<i>ANOVA</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	2	4,39E+12	2,2E+12	78,99863	1,69206E-10	
Residual	21	5,84E+11	2,78E+10			
Total	23	4,98E+12				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	1204836	162779,1	7,401661	2,8E-07	866318,0312	1543353,335
X Variable 1	174,0092	22,75332	7,647643	1,68E-07	126,6911334	221,3273636
X Variable 2	2356,378	259,393	9,084204	1,01E-08	1816,941235	2895,815605

Figur 3.2.2 Resultat af ny regressionsanalyse på det samlede gasforbrug.

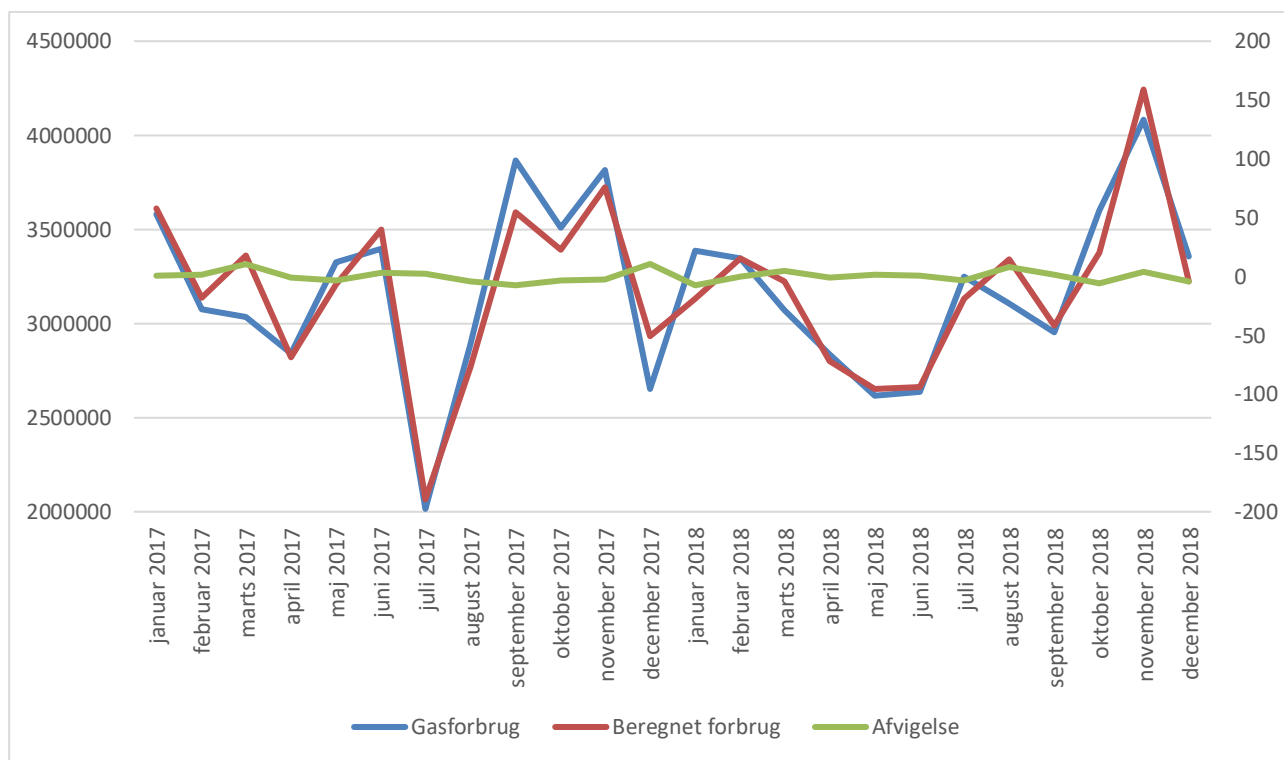
Det ses, at regressionsanalysen nu er endnu mere præcis end før, idet alle P-værdierne er lave uden at signifikansen F og den justerede R-kvadreret er ændret nævneværdigt.

Det ses, at gasforbruget kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Gasforbrug [m}^3\text{/mdr]} = 1.204.836 + 174,0092 \cdot \text{produkt 2 [ton/mdr]} + 2.356,378 \cdot \text{produkt 3 [ton/mdr]}$$

Nedenstående figur viser det beregnede og det faktiske gasforbrug. Det ses, at der er meget fin overensstemmelse, idet den grå kurve viser den procentvise forskel mellem beregnet og faktisk målt forbrug.

Nedenstående figur viser det faktisk målte gasforbrug sammenholdt med det beregnede ud fra regressionsanalysen.



Figur 3.2.3 Målt og beregnet gasforbrug for hele virksomheden.

Det ses, at der som forventet er meget god sammenhæng mellem det faktisk målte gasforbrug og det beregnede forbrug.

3.2.2 Energinøgletal for hver produktionslinje

Dernæst er der udført regressionsanalyser, hvor hvert af de tre produkter er sammenholdt med gasforbruget til den pågældende produktionslinje. Resultaterne heraf ses nedenstående.

Regression Statistics						
Multiple R	0,584855					
R Square	0,342055					
Adjusted R Square	0,312149					
Standard Error	214154					
Observations	24					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	5,25E+11	5,25E+11	11,43746	0,002685	
Residual	22	1,01E+12	4,59E+10			
Total	23	1,53E+12				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	1038691	171818,2	6,045291	4,39E-06	682362,1	1395021
X Variable	144,1145	42,61307	3,381931	0,002685	55,74037	232,4886

Figur 3.2.4 Resultat af regressionsanalyse på produkt 1.

Regression Statistics						
Multiple R	0,760197					
R Square	0,5779					
Adjusted R Square	0,558713					
Standard Error	103085,4					
Observations	24					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	3,2E+11	3,2E+11	30,12032	1,63E-05	
Residual	22	2,34E+11	1,06E+10			
Total	23	5,54E+11				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	82411,97	81833,33	1,007071	0,324849	-87300	252123,9
X Variable	76,74175	13,98305	5,488198	1,63E-05	47,74268	105,7408

Figur 3.2.5 Resultat af regressionsanalyse på produkt 2.

Regression Statistics						
Multiple R	0,889194					
R Square	0,790666					
Adjusted R Square	0,781151					
Standard Error	144851					
Observations	24					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	1,74E+12	1,74E+12	83,09515	6,33E-09	
Residual	22	4,62E+11	2,1E+10			
Total	23	2,21E+12				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	203721,8	98446,03	2,069375	0,050457	-442,792	407886,3
X Variable	2041,868	223,9958	9,115654	6,33E-09	1577,329	2506,407

Figur 3.2.6 Resultat af regressionsanalyse på produkt 3.

Det ses, at ingen af regressionsudtrykkene for de enkelte produktioner er lige så præcise som udtrykket beregnet på baggrund af det samlede gasforbrug sammenholdt med produktionen fordelt på produkter. Og det er kun regressionsudtrykket for produkt 3 der er nogenlunde præcist.

Årsagen til at det i dette tilfælde er mest præcist at betragte virksomhedens gasforbrug under ét er, at gasforbruget for hver af de tre produktionslinjer afhænger af hinanden som følge af indbyrdes udnyttelse af spildvarme og mulighederne herfor (der afhænger af produktionsmængderne på de tre linjer).

3.3 Eksempel 3

Der er udarbejdet overordnede energinøgletal for det samlede el- og gasforbrug for en ordreproducerende virksomhed, der producerer en lang række forskellige produkter. Produkterne har varierende størrelse og form, men består i hovedsagen af samme råvarer. Derimod gennemgår produkterne forskellig behandling alt efter de produkttegenskaber, der ønskes for det enkelte produkt.

El- og gasforbruget er opgjort på månedsbasis i for perioden 2001-10. Der har ikke været produktionstal til rådighed for produktionsmængden af hvert enkelt produkt, men kun tal for den samlede produktion på månedsbasis.

Der er først udført en regressionsanalyse på elforbruget. Ved udførelsen af regressionsanalysen er der fjernet outliers én gang, hvorved én datalinje blev fjernet. Dette øgede signifikansen en del.

Regression Statistics						
Multiple R	0,616488					
R Square	0,380057					
Adjusted R Square	0,374522					
Standard Error	92912,8					
Observations	114					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	5,93E+11	5,93E+11	68,66175	2,83223E-13	
Residual	112	9,67E+11	8,63E+09			
Total	113	1,56E+12				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	160683,5	18946,43	8,480935	1,02E-13	123143,5537	198223,4182
X Variable	388,22	46,85117	8,286239	2,83E-13	295,3904236	481,0496172

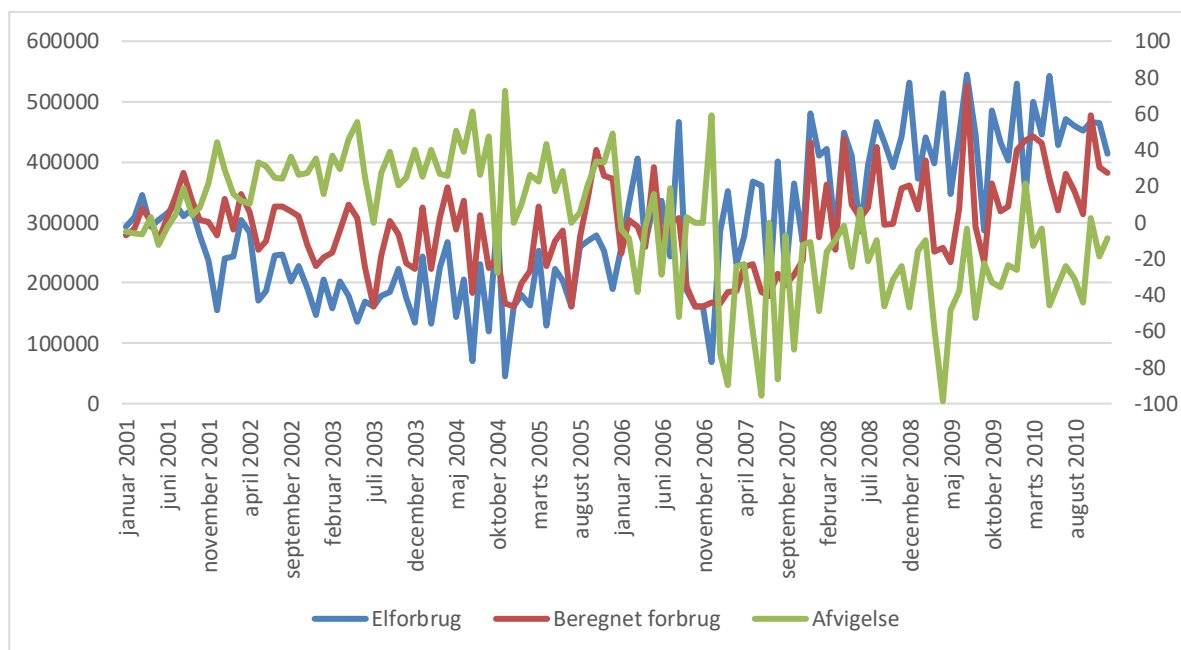
Figur 3.3.1 Resultat af regressionsanalyse på elforbruget.

Signifikansen F er så godt som lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,62, hvilket ikke er specielt godt. P-værdien for X-variablen samt skæringen er alle næsten nul, hvilket indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data.

Det ses, at elforbruget kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Elforbrug [kWh/mdr]} = 160.684 + 388,22 \cdot \text{produktion [ton/mdr]}$$

Det må dog konstateres, at der er en betydelig afvigelse mellem de beregnede værdier ud fra regressionsudtrykket og de faktisk målte værdier, hvilket da også ses at nedenstående diagram.



Figur 3.3.2 Beregnede elforbrug vs. målte elforbrug.

Herefter er der foretaget en tilsvarende analyse af gasforbruget. Der er ligeledes fjernet tomme rækker samt fjernet outliers én gang.

Regression Statistics						
Multiple R	0,800874					
R Square	0,6414					
Adjusted R Square	0,637918					
Standard Error	237269,3					
Observations	105					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	1	1,04E+13	1,04E+13	184,2279	1,12E-24	
Residual	103	5,8E+12	5,63E+10			
Total	104	1,62E+13				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	720120,8	51309,41	14,03487	1,19E-25	618360,7	821880,9
X Variable	1765,396	130,0662	13,57306	1,12E-24	1507,44	2023,351

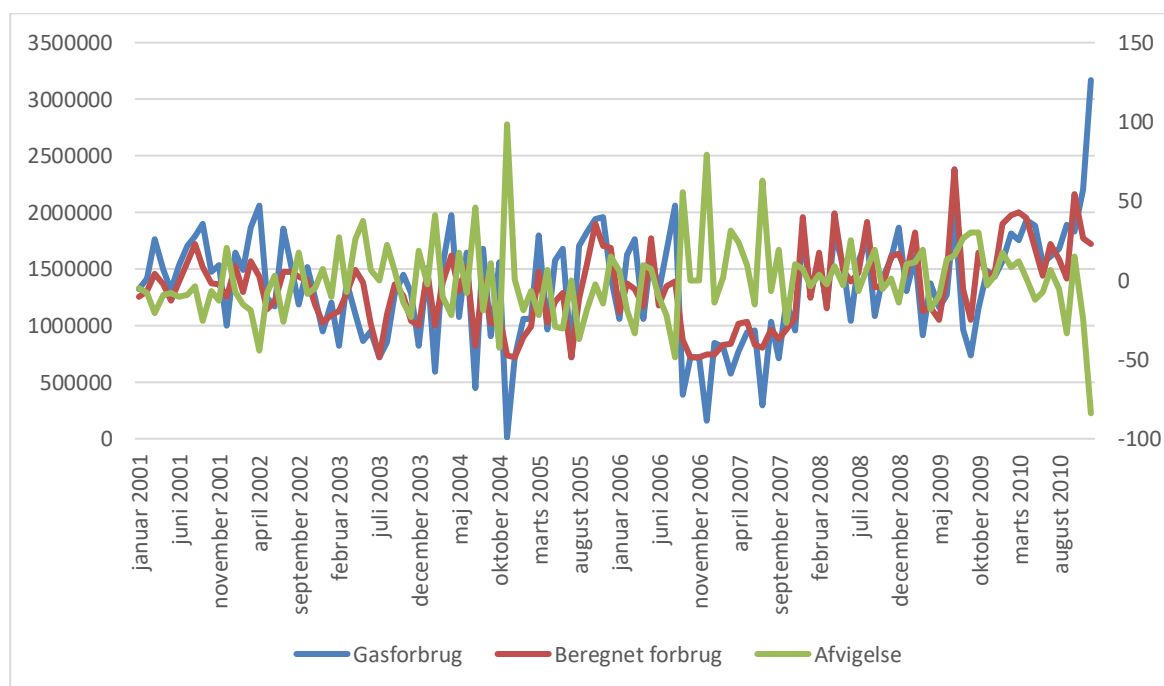
Figur 3.3.3 Resultat af regressionsanalyse på gasforbruget.

Signifikansen F er så godt som lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,80, hvilket desværre heller ikke er specielt godt. P-værdien for X-variablen samt skæringen er alle næsten nul, hvilket indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data.

Det ses, at gasforbruget kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Gasforbrug [m}^3\text{/mdr]} = 720.121 + 1.765,40 \cdot \text{produktion [ton/mdr]}$$

Det må dog konstateres, at der også for gasforbruget er en betydelig afvigelse mellem de beregnede værdier ud fra regressionsudtrykket og de faktisk målte værdier, se nedenstående diagram.



Figur 3.3.4 Beregnede gasforbrug vs. målte gasforbrug.

Det ses, at hverken det operative energinøgletal for elforbruget eller for gasforbruget er særligt præcist. Det skyldes i det konkrete tilfælde flere forhold, som bl.a. er at energiforbruget afhænger af produktionssammensætningen den enkelte måned. Hvis der skal opstilles mere præcise operative energinøgletal vil det derfor i dette tilfælde være nødvendigt at registrere mængderne af de enkelte produkter ud af den samlede produktion (med samme interval som el- og gasforbruget).

3.4 Eksempel 4

Der er udarbejdet energinøgletal for det samlede el- og gasforbrug for en virksomhed, der producerer seks forskellige produkter. Produkterne er i nedenstående regressionsanalyse benævnt X1-X6, hvor produkterne X1-X5 er de primære produkter og X6 er et biprodukt fra produktionen af de førnævnte produkter. Produktet X6 udgør mere end halvdelen af den samlede mængde målt i tons.

El- og gasforbruget samt fordelingen af produktionen på alle seks produkttyper er opgjort på månedsbasis i for perioden 2003-09.

Der er først udført en regressionsanalyse på elforbruget. Ved udførelsen af regressionsanalysen er der fjernet outliers én gang.

Regression Statistics						
Multiple R	0,833595					
R Square	0,69488					
Adjusted R Squ	0,670792					
Standard Error	108206,7					
Observations	83					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	6	2,03E+12	3,38E+11	28,84707	9,9E-18	
Residual	76	8,9E+11	1,17E+10			
Total	82	2,92E+12				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	572305	52000,36	11,00579	2,15E-17	468737,3	675872,7
X Variable 1	492,5848	160,3071	3,072757	0,002944	173,3055	811,8641
X Variable 2	332,2628	166,358	1,997276	0,049375	0,932178	663,5934
X Variable 3	499,612	155,1189	3,220833	0,001882	190,666	808,5581
X Variable 4	503,1282	290,433	1,732338	0,08727	-75,3192	1081,576
X Variable 5	349,4831	163,4544	2,138108	0,035722	23,93553	675,0307
X Variable 6	110,697	61,81003	1,790923	0,077287	-12,4083	233,8024

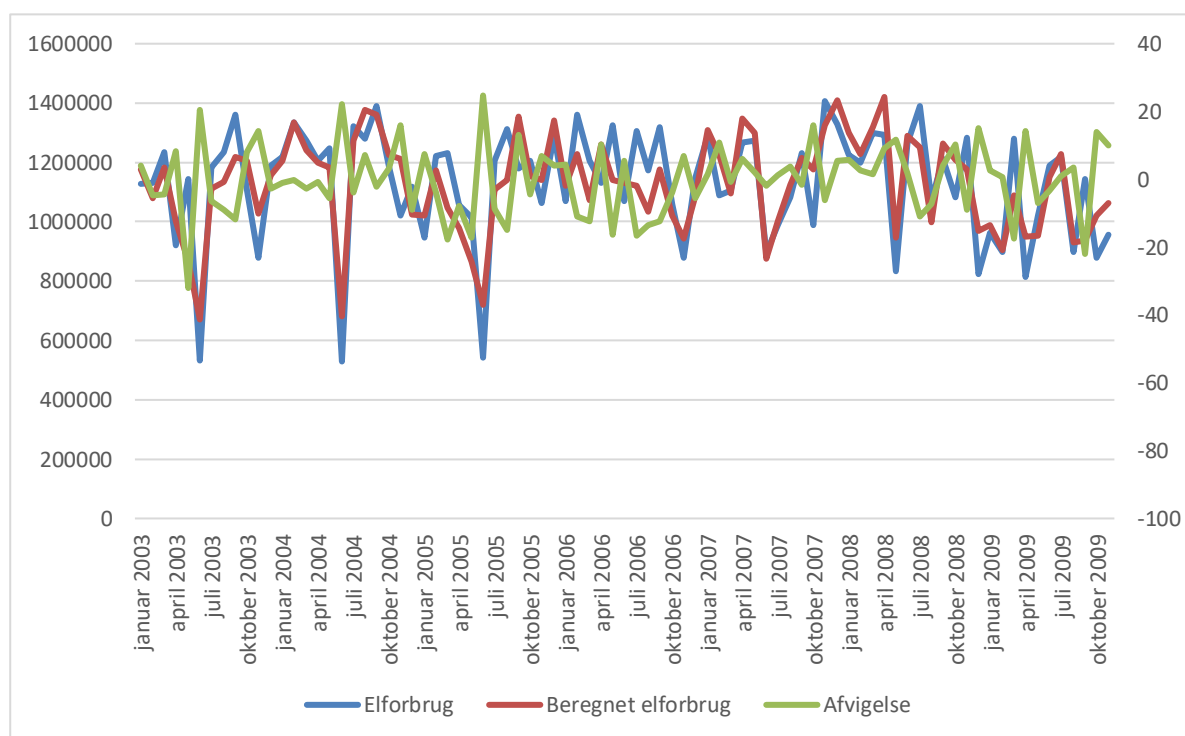
Figur 3.4.1 Resultat af regressionsanalyse på elforbruget.

Signifikansen F er lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,83, hvilket er ganske udmærket. P-værdien for X-variablene samt skæringen er alle næsten nul, hvilket indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data.

Det ses, at elforbruget kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Elforbrug [kWh/mdr]} = 572.305 + 492,58 \cdot \text{produktion X1 [ton/mdr]} + 332,26 \cdot \text{produktion X2 [ton/mdr]} + 499,61 \cdot \text{produktion X3 [ton/mdr]} + 503,13 \cdot \text{produktion X4 [ton/mdr]} + 349,48 \cdot \text{produktion X5 [ton/mdr]} + 110,70 \cdot \text{produktion X6 [ton/mdr]}$$

Som det ses af nedenstående diagram er der meget fin overensstemmelse mellem de målte og beregnede elforbrug, så regressionsudtrykket gengiver virkeligheden ret præcis og kan derfor med fordel anvendes til energistyring.



Figur 3.4.2 Beregnede elforbrug vs. målte elforbrug.

Herefter er der foretaget en tilsvarende analyse af gasforbruget. Der er ligeledes fjernet tomme rækker samt fjernet outliers én gang.

Regression Statistics						
Multiple R	0,960564					
R Square	0,922683					
Adjusted R Squ	0,916149					
Standard Error	365468,5					
Observations	78					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	6	1,13E+14	1,89E+13	141,2153	2E-37	
Residual	71	9,48E+12	1,34E+11			
Total	77	1,23E+14				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	1169700	180799	6,469616	1,09E-08	809197,2	1530203
X Variable 1	2885,538	576,1408	5,008389	3,86E-06	1736,745	4034,33
X Variable 2	4097,698	589,1464	6,955314	1,42E-09	2922,973	5272,422
X Variable 3	2139,139	546,4472	3,91463	0,000206	1049,554	3228,723
X Variable 4	2514,772	991,4392	2,536486	0,013398	537,8982	4491,645
X Variable 5	3151,465	583,6378	5,399693	8,41E-07	1987,724	4315,206
X Variable 6	659,7742	225,5857	2,924716	0,004625	209,9691	1109,579

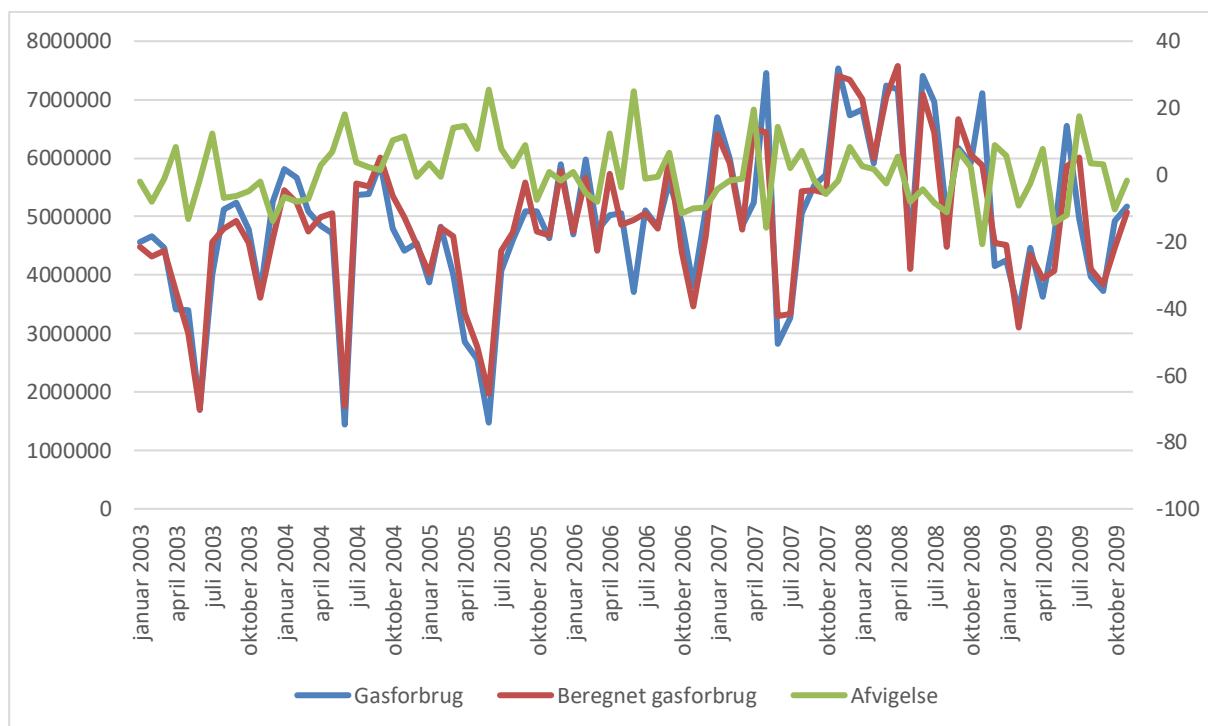
Figur 3.4.3 Resultat af regressionsanalyse på gasforbruget.

Signifikansen F er lig nul, hvilket betyder at udtrykket er meget signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,96, hvilket er ualmindelig godt. P-værdien for de X-variable samt skæringen er alle meget lave, hvilket indikerer meget godt overensstemmelse mellem beregningsudtrykket og de faktiske data.

Det ses, at gasforbruget kan beskrives med følgende udtryk:

$$\text{Gasforbrug [m}^3\text{/mdr]} = 1.169.700 + 2.885,54 \cdot \text{produktion X1 [ton/mdr]} + 4.097,70 \cdot \text{produktion X2 [ton/mdr]} + 2.139,14 \cdot \text{produktion X3 [ton/mdr]} + 2.514,77 \cdot \text{produktion X4 [ton/mdr]} + 3.151,47 \cdot \text{produktion X5 [ton/mdr]} + 659,77 \cdot \text{produktion X6 [ton/mdr]}$$

Det ses som for elforbruget er der er meget fin overensstemmelse mellem de faktisk målte gasforbrug og de beregnede værdier, se nedenstående diagram.



Figur 3.4.4 Beregnede gasforbrug vs. målte gasforbrug.

Som det ses af ovenstående er der fundet meget fin overensstemmelse mellem de operative energinøgletal for både el- og gasforbruget. Det skyldes primært, at der i modsætning til casen i eksempel 3 har været registreringer af mængderne af de enkelte produkter ud af den samlede produktion til rådighed. Dette eksempel illustrerer derfor vigtigheden af at opsplitte produktionen på produkter med mindre at alle produkter har ens eller næsten ens energiforbrug pr. enhed.

Bilag 1 - Multipel regression

Ved at udføre en multipel regressionsanalyse på samhörrende data er det muligt at finde ud af om der er en sammenhæng mellem data, og i givet fald hvor stor (signifikant) en sammenhæng der kan påvises. Der foretages tre analyser af resultatet af regressionsanalysen, når det skal vurderes hvor god sammenhængen der er mellem de data der betragtes:

1. Følsomhedsanalyse
2. ANAVA analyse
3. Analyse af R-kvadrat (R^2)

Ad 1 Følsomhedsanalyse

Som en del af regressionsanalysen udføres der en følsomhedsanalyse, der viser hvilke af de valgte parametre der har signifikant indflydelse på energiforbruget. Det er ofte således, at ikke alle de parametre der er valgt viser en signifikant, dvs. betydningsfuld, indflydelse på energiforbruget. Hvis sammenhængen ikke er signifikant på f.eks. et 5% niveau, er der mere end 5% chance for at den fundne sammenhæng skyldes tilfældigheder. Når regressionsanalysen udføres vælges der et konfidensniveau, - f.eks. 95%, hvilket betyder at der i dette tilfælde er valgt et signifikansniveau på 5%. Signifikansen af de enkelte, udvalgte parametre ses af kolonnen med P-værdierne i regressionsanalysens resultater. Nedenstående er der et eksempel på en regressionsanalyse for et korntørringsanlæg.

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,849520714
R-kvadrat	0,721685444
Justeret R-kvadrat	0,652106805
Standardfejl	6,2011699
Observationer	26

ANAVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	5	1994,294453	398,8589	10,37223	5,10867E-05
Residual	20	769,0901626	38,45451		
Totalt	25	2763,384615			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>
Konstant	-245,0587044	51,04632157	-4,80071	0,000109	-351,5394653
X-variabel 1	0,02477754	0,00558448	4,436857	0,000253	0,013128519
X-variabel 2	6,924477437	1,059305544	6,536808	2,27E-06	4,714804794
X-variabel 3	2,330466227	0,704665026	3,307197	0,003518	0,860560741
X-variabel 4	-0,819784738	0,32419147	-2,52871	0,019969	-1,496036294
X-variabel 5	-0,192333268	0,154716645	-1,24313	0,228196	-0,515066535

Det ses, at såvel konstanten (skæringspunktet med Y-aksen) og de fire første parametre har P-værdier der er lavere end 5% (0,05), mens den sidste og femte parameter har en P-værdi på 22,8% (0,228196). Det betyder, at denne parameter ikke har signifikant betydning og derfor ikke er velegnet til at beskrive energiforbruget. Derfor bør det undersøges om denne parameter

bør udgå, dvs. at der udføres en ny regressionsanalyse uden parameter fem for at se om resultaterne af regresionsanalysen forbedres, hvis denne parameter ikke medtages. Det kan ses på størrelsen af værdien for signifikansen F om beregningsudtrykket forbedres. Ved den ovenstående regressionsanalyse er F som det ses beregnet til $5,1 \cdot 10^{-5}$. Hvis den femte parameter ikke medtages bliver beregningsresultaterne som vist nedenstående.

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,836767819
R-kvadrat	0,700180383
Justeret R-kvadrat	0,643071885
Standardfejl	6,281177156
Observationer	26

ANAVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	4	1934,8677	483,7169	12,26053	2,6842E-05
Residual	21	828,5169157	39,45319		
Totalt	25	2763,384615			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-kvot</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>
Konstant	-240,7554587	51,58589631	-4,66708	0,000132	-348,0342028
X-variabel 1	0,023373903	0,005539705	4,219341	0,000385	0,011853456
X-variabel 2	6,52113615	1,021403418	6,384486	2,5E-06	4,397011461
X-variabel 3	2,305325053	0,713462564	3,231179	0,004003	0,821598427
X-variabel 4	-0,719694951	0,318086013	-2,26258	0,034386	-1,381191027

Herefter er signifikansen F beregnet til $2,7 \cdot 10^{-5}$, dvs. at beregningsudtrykket er blevet forbedret. Det ses desuden at parameter nummer 2 er den meste signifikante parameter blandt de udvalgte, idet den har den laveste P-værdi.

En lav signifikans F betyder således, at sammenhængen mellem de indgående parametre ikke er tilfældig, dvs. at den opstillede model er signifikant.

Hvis der derimod er en høj signifikans F er sammenhængen mellem de valgte parametre tilfældig, og modellen er ikke signifikant. Dog er det således at hvis modellen som helhed har en lav signifikans F, men at én eller flere af de indgående parametre har en høj P-værdi tyder der kolinearitets, se nedenstående.

Inden der fjernes en (eller flere) parametre er det vigtigt nøje at overveje om den givne parameter ud fra en teknisk vurdering skal medtages, da det er indlysende at den har signifikant indflydelse på energiforbruget. Det kan f.eks. være at tørstofindholdet i den indgående råvare i en tørreproces.

Hvis to eller flere af de udvalgte parametre afhænger af hinanden vil regressionsanalysens resultater vise, at to eller flere parametre er in-signifikante, dvs. har høj P-værdi. Dette kan ske på trods af, at der kan være tydelig sammenhæng mellem den enkelte parameter og energiforbruget. Dette fænomen kaldes multikollinearitet. Når to eller flere parametre er stærkt forbundne er det svært ved at skelne deres unikke effekter fra hinanden ved regressionsanalysen og dermed er det svært at beregne præcise koefficienter. Denne usikkerhed afspejles i høje

standardfejl og dermed brede konfidensintervaller for de involverede koefficienter. Dermed er den direkte konsekvens, at selv stærke effekter fremstår som insignifikante.

Hvis P-værdien for én eller flere parametre er høj, dvs. over f.eks. 5%, bør parametrene med høj P-værdi på skift tages ud af regressionsanalysen for at undersøge om de resterende parametres P-værdi stabiliseres på et passende niveau. Der udvælges den/de parametre der er størst indflydelse på energiforbruget til regressionsanalysen, dvs. har lavest P-værdi.

En høj P-værdi kan også indikere at der er besparelsesmuligheder ved bedre driftsstyring, hvor der fokuseres på den pågældende parameter.

Ad 2 ANAVA-analyse

En ANAVA analyse er så at sige en analyse på hele regressionsudtrykket, for at undersøge om det samlede beregningsudtryk er signifikant. Signifikansen F af regressionsudtrykket ses i tabellen ANAVA. Der tilstræbes en så lav værdi for signifikansen F som mulig, og den bør under alle omstændigheder ligesom P-værdierne være lavere end 5%, dvs. 0,05, for at beregningsudtrykket kan anses for anvendelig til beregning af et operativt energinøgletal.

Ad 3 Analyse af R²

Endelig skal der foretages en analyse af R² (R-kvadrat) for at vurdere hvor godt beregningsudtrykket fra regressionsanalysen forklarer variationerne i den beregnede parameter, - f.eks. energiforbruget. Værdien af R-kvadrat er altid mellem 0-1, hvor en værdi af R-kvadrat betyder at der beregnes et helt perfekt værdi af den beregnede parameter ud fra de uafhængige parametre. Hvis resultaterne af regressionsanalysen viser at signifikansen F og P-værdierne er signifikante bør R-kvadrat være over 0,6, svarende til en middelmådig sammenhæng mellem de indgående parametre. En R-kvadrat på over 0,9 betragtes som meget, meget tilfredsstillende. Det er i praksis aldrig muligt at opnå en værdi af R-kvadrat på 1, da det ville betyde en fuldstændig sammenhæng mellem de værdier der beregnes med regressionsudtrykket og de faktisk målte værdier.

Det er vigtigt, at validiteten af regressionsudtrykket ikke kun bedømmes ud fra R-kvadrat. Der er muligt at opnå en høj værdi af R-kvadrat uden af beregningsudtrykket er signifikant. Det er vigtigt, at såvel værdierne for signifikansen F og P-værdierne er under eksempelvis 5% samtidig med at værdien for R-kvadrat er passende høj.

R² er så at sige variationen i energinøgletallet med udgangspunkt i de anvendte variable. Det betyder også, at hvis R² er høj så er alle relevante parametre formentlig inkluderet. Hvis R² er lav så kan der det skyldes, at der er alle variable der skal inkluderes, men hvis de rigtige variable er medtaget så tyder det på at der er et besparelsespotentiale ved forbedret driftsstyring.