

ENERGINØGLETAL FOR ENERGIEFFEKTIVITET OG ENERGIFLEKSIBILITET

VEJLEDNING OG VÆRKTØJER

Marts 2020

Indholdsfortegnelse

	Side
1 Sammenfatning	3
2 Baggrund	4
3 Energinøgletal	5
3.1 Operative energinøgletal	7
3.2 Parametre for operative energinøgletal	12
3.2.1 Tørring	12
3.2.2 Inddampning	15
3.2.3 Destillation	17
3.2.4 Brænding	19
3.2.5 Smeltning	20
3.2.6 Procesvarme	21
3.2.7 Rumvarme	21
3.2.8 Belysning	22
3.2.9 Ventilation	22
3.2.10 Køling	23
3.2.11 Trykluft	27
3.3 Procedure for opstilling og anvendelse af operative energinøgletal	28
4 Værktøj til generering af operationelle energinøgletal	31
4.1 Multipel regressionsanalyse	31
4.2 Indsamling og krav til data	35
4.3 Energifleksibilitet	36
4.4 Analyse af resultater	37
4.5 Præsentation af energinøgletal	37
4.6 Opdatering af regressionsanalyser	38
5 Beregningsværktøjer	38
5.1 Beregningsværktøj i Labview	38
5.2 Beregningsværktøj i MS Excel	39
5.3 EnPI	40
6 Cases	40
6.1 LeoPharma A/S	41
6.1.1 Produktionsprocessen	41
6.1.2 Fermenteringsanlægget	41
6.2 Haldor Topsøe A/S	47

6.2.1	Produktionsprocessen	47
6.2.2	Spraytørrerne	47
4.2.3	Nøgletalsanalyse	47
6.3	RC Plast A/S	52
4.3.1	Produktionsprocessen	52
4.3.2	Nøgletalsanalyse	53
4.3.3	Regressionsanalyse	54
6.4	Primo Danmark A/S	67
4.4.1	Beskrivelse af produktionen	67
4.4.2	Konklusion	75
7	Formidling	80
7.1	Artikler etc.	80
7.2	Temadage og -møder	80
7.3	Undervisning	80
8	Eksempler	81
8.1	Eksempel 1	81
6.1.1	Gasforbruget til ovn	81
6.1.2	Gasforbrug til hele virksomheden	86
6.1.3	Elforbruget til ovnene	89
6.1.4	Elforbruget til hele virksomheden	93
8.2	Eksempel 2	96
8.2.1	Energinøgletal for det samlede gasforbrug	96
8.2.2	Energinøgletal for hver produktionslinje	98
8.3	Eksempel 3	100
8.4	Eksempel 4	103
	Bilag 1 - Multipel regression	107
	Referencer	110

1 Sammenfatning

Nærværende projekt har haft til formål at udvikle værktøjer, som industri- og erhvervsvirksomheder samt energirådgivere kan benytte ved dannelse af operationelle nøgletal. Ved operationelle nøgletal forstås nøgletal af en sådan kvalitet, at de bl.a. kan benyttes til at identificere årsager til faldende energieffektivitet samt skabe troværdig dokumentation af effekten af energibesparelsetiltag. Resultaterne kan bringes i anvendelse i en række sammenhænge:

- Certificeret energiledelse efter standarden ISO50001, i hvilken der stilles krav til at energiledelsessystemet skal indeholde energinøgletal, som er tilstrækkeligt præcise til at energiforbruget kan følges
- Indberetning af effekten af energibesparende tiltag fra virksomheder og energiselskaber. Det har gennem de seneste 10 år været muligt at indberette energibesparelser på baggrund af virksomhedernes energinøgletal. Der er imidlertid ikke en fastlagt en specifik metode til, hvordan energibesparelser på baggrund af energinøgletal, skal opgøres
- Industrivirksomhedernes driftsansvarlige har behov for værktøjet med henblik på at kunne identificere energisparemuligheder og dokumentere af effekten heraf.

Værktøjerne indeholder forslag til, hvordan nøgletal genereres og korrigeres, så de bliver entydige på processer og brancher.

Der er udviklet et beregningsværktøj med tilhørende vejledning, der kan anvendes til at opstille, bearbejde og korrigere energinøgletal for en række gængse produktionskategorier som f.eks. kemisk industri, medicinalindustri, plastindustri og supermarkeder med tilhørende proceskategorier som f.eks. opvarmning, inddampning, destillation, tørring, køling og trykluft.

De udviklede værktøjer er løbende testet hos de medvirkende virksomheder, der har stillet energi- og produktionsdata til rådighed. Virksomhederne repræsenterer til sammen et bredt udsnit af alment forekommende industrielle procesteknologier, som f.eks. opvarmning, tørring og køling.

Projektets resultater viser med al tydelighed, at det er muligt at opstille gavnlige operative energinøgletal for produktionsvirksomheder med komplicerede produktionsprocesser uden urimeligt besvær. På den måde er det muligt for virksomhederne løbende at følge og kontrollere de faktiske energiforbrug op mod de forventede forbrug, og derved analysere om energieffektiviteten fastholdes og/eller forbedres.

Resultaterne fra projektet er formidlet til danske virksomheder, energirådgivere og leverandører gennem artikler og deltagelse i temadage.

Projektets målgruppe er hovedsagelig de energiansvarlige i industri- og erhvervsvirksomheder samt energirådgivere.

Projektet er finansieret af ELFORSK programmet med projektnr. 350-035, og er udført af følgende projektdeltagere i perioden 1. april 2018 til 1. marts 2020.

Søren Draborg	+45 72202028	Teknologisk Institut
Claus M. Hvenegaard	+45 72202525	Teknologisk Institut
Erik Gudbjerg	+45 40647903	YourEnergy ApS
Preben Buhl	+45 31222161	LeoPharma A/S
Jan Ove Jensen	+45 22496612	Haldor Topsøe A/S
Michael K. Nielsen	+45 75225277	RC Plast A/S

Ronni Sørensen
Claus Götke

+45 22341170
+45 51176182

Primo Danmark A/S
Aura A/S

2 Baggrund

Erfaringen er at mange industrivirksomheder i dag ikke anvender energinøgletal til styring af deres energiforbrug. Hos de industrivirksomheder, der anvender energinøgletal er nøgletallene så overordnede, at de ikke giver mulighed for at følge energiforbruget tilstrækkeligt præcist. Desuden korrigeres energinøgletallene ofte ikke for parametre, som f.eks. ændringer i produktionsmængde og/eller produktionssammensætning, der påvirker nøgletallene. I de få tilfælde, hvor nøgletal anvendes i industrien ses ofte et nøgletal, som f.eks. kWh/produceret ton uagtet at energiforbruget afhænger af en række produktionstekniske parametre, hvilket betyder at styring sker på et helt forkert grundlag.

Det betyder reelt, at mange virksomheder energimæssigt reelt styrer i blinde, og at udslag i energiforbruget ikke opdages, og at der ikke reageres på det.

Det er derfor af stor betydning for virksomhedens optimeringsmuligheder, at de oplyses om operationelle nøgletal og at de variable, der efterfølgende anvendes vælges på et oplyst grundlag. Der er tidligere set på anvendelsen af nøgletal baseret på lineær regression, men erfaringen er at metoden langt fra anvendt i industrien.

I dette projekt er det bl.a. undersøgt hvilke variable, der er relevante for fastlæggelse af energinøgletal til specifikke udvalgte brancher og processer med udgangspunkt i deltagelse fra fire udvalgte virksomheder indenfor industriel produktion, som har stillet deres energiforbrug til rådighed.

I dette projekt er der udviklet værktøjer, som industrivirksomheder kan anvende til at danne valide operationelle energinøgletal. Ved operationelle nøgletal forstås nøgletal af en sådan kvalitet, at de bl.a. kan benyttes til at identificere årsagerne til ændringer i energieffektivitet. Værktøjerne indeholder bl.a. forslag til, hvorledes operationelle energinøgletal skabes til specifikke processer og brancher og hvordan de efterfølgende korrigeres for ændringer i produktionsmængde og –sammensætning samt ved ændrede procesparametre, således at nøgletallene bliver entydige og reelt kan anvendes til kontrol og opfølgning på energiforbrug.

Indenfor energieffektivitet, herunder opstilling af energinøgletal, findes der bl.a. følgende standarder, der relaterer sig til beregning og anvendelse af energinøgletal:

ISO50001	Energiledelse, drift
ISO50004	Energiledelse, implementering
ISO50006	Energiledelsessystemer - Måling af energipræstation ved hjælp af baseline for energi (EnB) og indikatorer for energipræstation (EnPI) - Generelle principper og vejledning
ISO50015	Energiledelse, måling & verifikation af energieffektivitet
ISO17747	Beregning af energibesparelser

3 Energinøgletal

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 også 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 for 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 besværlige at opstille • Rimelig præcise resultater • Medtager grundlast og produktionsvariable • Mulighed for at sammenholde aktuelt og forventet forbrug • Skal jævnlig ajourføres

Tabel 3.1 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 være let at kommunikere, dvs. det skal være indlysende, let forståeligt og veldokumenteret.

Endelig 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. I den forbindelse kan det i nogle tilfælde være gavnligt at udvikle en matematisk model, der kan simulere energiforbruget ud fra de procesparametre der har indflydelse på forbruget. Det kan f.eks. være produktionsflow, lufttemperaturer, tryk, fugtighed, råvarer og produkttype. Modellen kan beregne energiforbruget ud fra teoretiske og empiriske sammenhænge, og dette forbrug kan sammenholdes med det faktiske forbrug. Desuden kan modellen anvendes til at forudses konsekvensen af procesændringer, og derved hjælpe de proces- og energiansvarlige med at identificere muligheder for at øge produktionskapacitet og energieffektivitet.

Det skal overvejes om der bør udarbejdes energinøgletal modrettet de forskellige personalegruppers behov, for at gøre energinøgletallene relevante og vedkommende for de modtagerne. Det kan f.eks. være:

Ledelsen, der har behov for få, enkle nøgletal der kan være målrettet planlægning på lang sigt, og som måske viser om virksomhedens forpligtigelser eller eventuel lovgivning er overholdt. Disse nøgletal vil ofte blive opgjort over længere perioder, f.eks. kvartalsvis, da ledelsen ikke har behov for at følge energiforbruget tæt.

Den energiansvarlige, der har behov for at kunne følge energiforbrug og -nøgletal så tæt, at der kan gives ind, hvis der opstår uhensigtsmæssigheder. Desuden har den energiansvarlige ansvaret for at levere målbare resultater i forhold til energieffektivisering til ledelsen. Derfor har den energiansvarlige normalt brug for at have adgang til alle de energinøgletal, der udarbejdes til de øvrige personalegrupper.

Produktionslederne, der har behov for at få letforståelige energinøgletal for de anlæg hver enkelt produktionsleder har ansvaret for inklusiv eventuel forklaring på afvigende forbrug.

Drifts- og vedligeholdelsespersonalet, der har behov for at få energinøgletal for de anlæg hver enkelt operatør har ansvaret for. Energinøgletallene skal genereres med så kort frekvens, så det er muligt at opdage uhensigtsmæssig drift og muliggøre energieffektiv styring af anlæggene og den læring der ligger i dette. Det betyder, at det ofte vil være hensigtsmæssigt, hvis energinøgletallene f.eks. vises på en CTS skærm i produktionsområdet.

De procesansvarlige, der skal designe eller optimere anlæg og/eller processer har behov for at kende energieffektiviteten af den nuværende drift og for kunne ændringerne i energieffektivitet, når driftsparametre eller anlæg ændres.

Eksterne aktører, der har behov for at kende energieffektiviteten set over en længere periode, - ofte set over 2-3 år. Det er f.eks. myndigheder, brancheorganisationer, EnMS auditorer og kunder.

3.1 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. I tidligere undersøgelser

/1/ er det opgjort, at industrien bruger 47,4% af det samlede energiforbrug, mens landbrug og fiskeri bruger 18,5% og privat handel og service bruger 34,1% af erhvervslivets energiforbrug. Den energimæssigt største branche er landbrug med 11,7%.

I landbruget anvendes langt størstedelen af energiforbruget til arbejdskørsel og til opvarmning af stalde. Der er endnu ikke tradition for at følge op energiforbruget i landbrugets bedrifter, og det antages at dette ikke står lige for. Derfor er mulighederne for at opstille operative energinøgletal i landbruget ikke analyseret nærmere.

Dernæst er energiforbruget i henholdsvis engros- og detailhandel 8,1% og 6,2%. Dette energiforbrug anvendes primært til opvarmning samt belysning, køling og ventilation. I modsætning til landbruget er energiforbruget ligesom andre økonomiske parametre i fokus, hvilket har været tilfældet i en lang årrække. Erfaringen er dog at de nøgletal der p.t. udfærdiges ikke giver et tilstrækkeligt nuanceret indblik i energiforbruget til at det er muligt at agere på baggrund heraf. Det skyldes, at energinøgletallene som oftest beregnes ud fra energiforbrug pr. m² bygningsareal, hvilket betyder at en parameter som f.eks. udetemperatur ikke inddrages.

Nedenstående er der vist en tabel over energiforbruget i de 40 forskellige brancher i industrien.

Branche	NR117 branchekode	Energifor- brug [TJ]	Sektorens energifor- brug [%]	Samlet energifor- brug [%]
Indvinding af grus og sten	080090	3.342	3,5	1,7
Slagterier	100010	4.044	4,3	2,0
Fiskeindustri	100020	1.753	1,9	0,9
Mejerier	100030	5.771	6,1	2,9
Bagerier, brødfabrikker mv.	100040	2.718	2,9	1,4
Fremstilling af færdige foderblandinger	100050	2.134	2,3	1,1
Fremstilling af sukker		3.351	3,6	1,7
Øvrige anden fødevarerindustri		3.934	4,2	2,0
Drikkevarerindustri	110000	2.065	2,2	1,0
Tobaksindustri	120000	96	0,1	0,0
Tekstilindustri	130000	802	0,9	0,4
Beklædningsindustri samt læder- og fodtøjsindustri	140000 +150000	109	0,1	0,1
Træindustri	160000	4.197	4,5	2,1
Papirindustri	170000	2.683	2,8	1,3
Trykkerier mv.	180000	803	0,9	0,4
Fremstilling af industrigasser	200010	464	0,5	0,2
Fremstilling af enzymer mv.		2.116	2,2	1,1
Øvrig fremstilling af basiskemikalier		1.557	1,7	0,8
Fremstilling af maling og sæbe mv.	200020	4.484	4,8	2,3
Medicinalindustri	210000	3.170	3,4	1,6
Plast- og gummiindustri	220000	2.820	3,0	1,4
Glasindustri og keramisk industri	230010	1.909	2,0	1,0
Fremstilling af cement	230020	10.359	11,0	5,2
Fremstilling af teglsten mv.		1.444	1,5	0,7
Fremstilling af asfalt og tagpap		1.708	1,8	0,9
Fremstilling af stenudd		2.044	2,2	1,0
Øvrige betonindustri og teglværker		3.294	3,5	1,7
Fremstilling af metal	240000	3.041	3,2	1,5
Metalvarerindustri	250000	4.621	4,9	2,3
Fremstilling af computere og kommunikationsudstyr mv.	260010	476	0,5	0,2
Fremstilling af andet elektronisk udstyr, elektriske motorer mv. samt ledninger og kabler	260020+270010+270020	1.073	1,1	0,5
Fremstilling af husholdningsapparater, lamper mv.	270030	248	0,3	0,1

Fremstilling af motorer, vindmøller og pumper	280010	3.145	3,3	1,6
Fremstilling af andre maskiner	280020	2.916	3,1	1,5
Fremstilling af motorkøretøjer og dele hertil	290000	613	0,7	0,3
Fremstilling af skibe og andre transportmidler	300000	267	0,3	0,1
Møbelindustri	310000	2.516	2,7	1,3
Fremstilling af medicinske instrumenter mv.	320010	254	0,3	0,1
Legetøj og anden fremstillingsvirksomhed	320020	622	0,7	0,3
Reparation og installation af maskiner og udstyr	330000	1.207	1,3	0,6
Samlet		94.168	100	47,4

Tabel 3.1.1 Oversigt over brancherne inden for industri og deres energiforbrug i 2012 /1/.

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 varmeforbrug 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 varmeforbruget, 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	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Fiskeindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Mejerier	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Bagerier, brødfabrikker mv.	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Fremstilling af færdige foderblandinger	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Fremstilling af sukker	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Øvrige anden fødevarerindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype
Drikkevareindustri	$kWh_{el}/hl_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/hl_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Tobaksindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp., luftfugtighed _{ude}
Tekstilindustri	$kWh_{el}/m^2_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^2_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Beklædningsindustri samt læder- og fodtøjsindustri	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$	produkttype
Træindustri	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Papirindustri	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$	råvarer, produkttype
Trykkerier mv.	$kWh_{el}/m^2_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^2_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af industrigasser	kWh_{el}/m^3	produkttype
Fremstilling af enzymer mv.	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Øvrig fremstilling af basiskemikalier	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af maling og sæbe mv.	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Medicinalindustri	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp., luftfugtighed _{ude}
Plast- og gummiindustri	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Glasindustri og keramisk industri	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype
Fremstilling af cement	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype
Fremstilling af teglsten mv.	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	råvarer, produkttype
Fremstilling af asfalt og tagpap	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{el}/m^2_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/m^2_{færdigvare}$	råvarer, produkttype, udetemp.
Fremstilling af stenuld	$kWh_{el}/m^3_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^3_{færdigvare}$	råvarer, produkttype
Øvrige betonindustri og teglværker	$kWh_{el}/m^2_{færdigvare}$, $kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/m^2_{færdigvare}$, $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	produkttype, udetemp.
Fremstilling af metal	$kWh_{el}/\text{ton}_{færdigvare}$ $kWh_{brændsel}/\text{ton}_{færdigvare}$	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 3.1.2 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 3.1.3 Anlægsspecifikke energinøgletal.

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

3.2 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.

3.2.1 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 at 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 korrigerer 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

3.2.2 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 korrigere 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 korrigere 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 korrigere 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 korrigere 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 korrigere energiforbruget for:

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

5. Antallet og længden af driftsstop

3.2.3 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

3.2.4 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

3.2.5 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, varmefylde 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.

3.2.6 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

3.2.7 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.

3.2.8 Belysning

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

3.2.9 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.

3.2.10 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.

3.2.1.1 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 indfryses. 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 3.2.1 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 transportere (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

3.2.1.2 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 undlade den løbende

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

3.2.11 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.

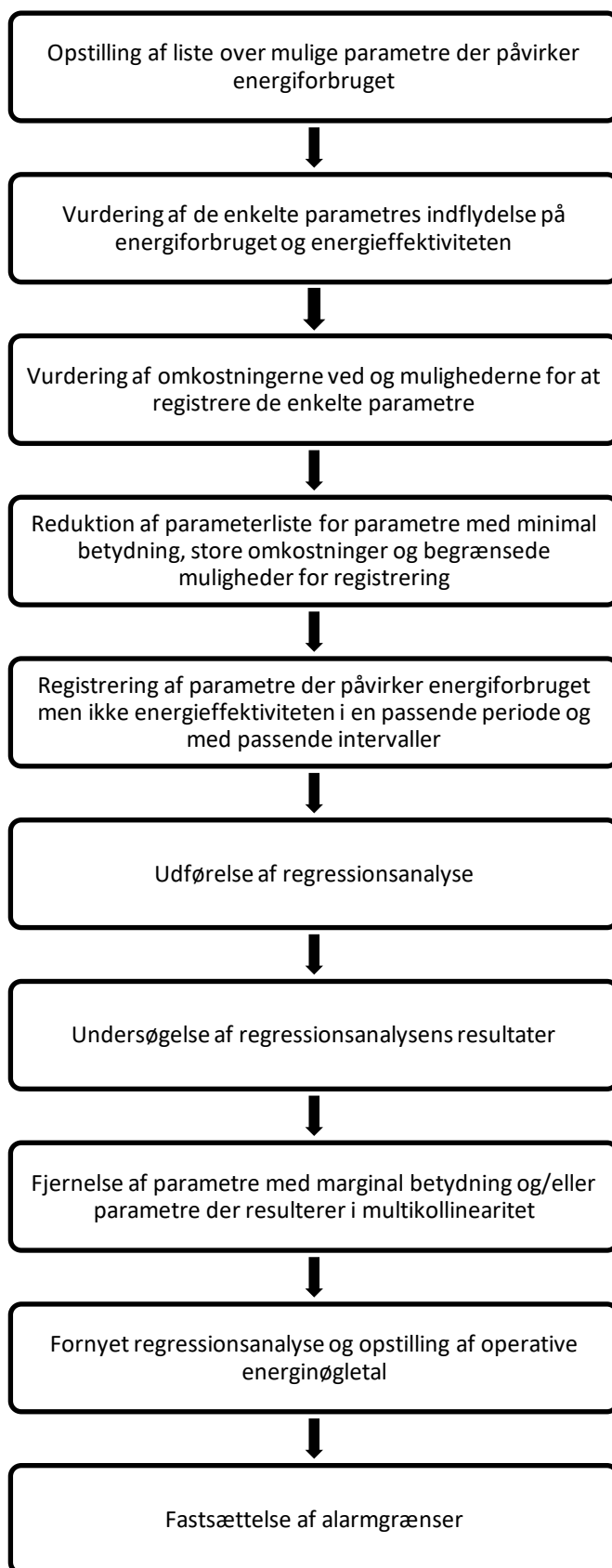
På baggrund af ovenstående er det således at korrigere energiforbruget for:

1. Trykluftproduktionen

3.3 Procedure for opstilling og anvendelse af operative energinøgletal

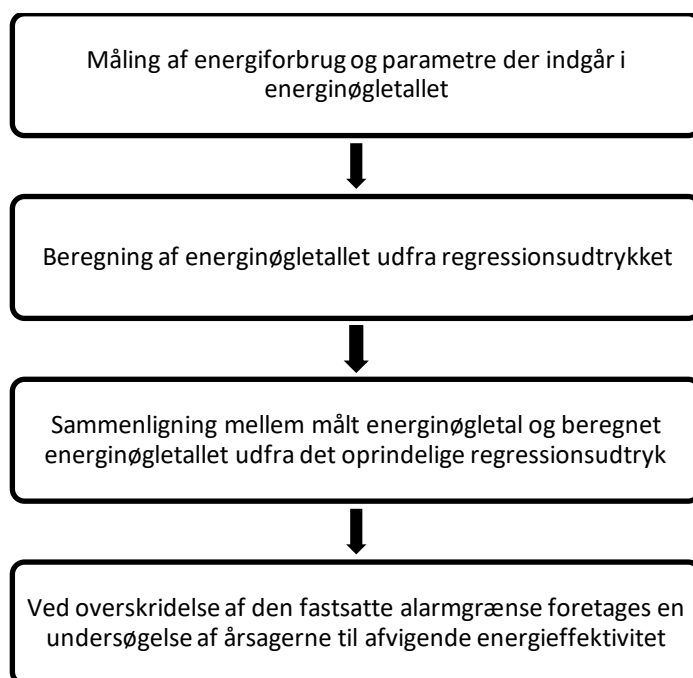
Det er helt nødvendigt at der er en indgående teknisk forståelse af de processer og sammenhænge for hvilke der skal opstilles energinøgletal. Som vist i nedenstående figur skal der indledningsvis opstilles en liste over parametre, der forudses at påvirke et givet energiforbrug i væsentligt omfang. I 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 3.3.1 Opstilling af parametre for operative energinøgletal.

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



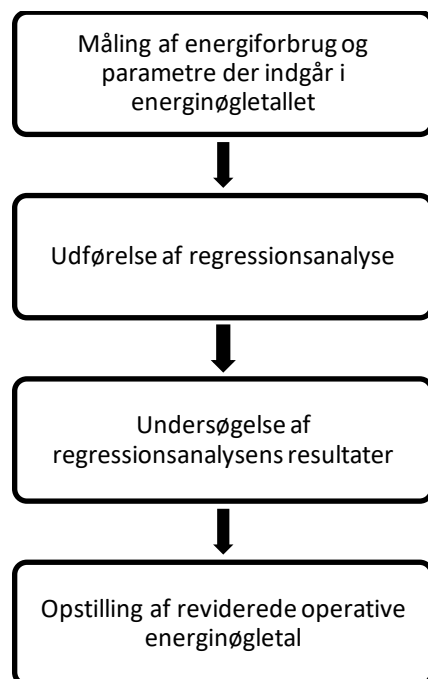
Figur 3.3.2 Anvendelse af operative energinøgletal.

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 4.1 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 nøgletallene med passende mellemrum ajourføres, så effekten af opnåede energieffektiviseringstiltag etc. indregnes. Den nedenstående figur illustrerer denne aktivitet.

¹ Se bilag 1 Følsomhedsanalyse



Figur 3.3.3 Revision af operative energinøgletal.

4 Værktøj til generering af operationelle energinøgletal

4.1 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 som 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 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 4.1.1 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 4.1.2 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 4.1.3 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 de effektiviseringsforbedringer 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.

4.2 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.

4.3 Energifleksibilitet

Fremtidens energimarked bliver formentlig i en vis udstrækning fleksibelt, idet elforsyningen forudses baseret på vedvarende energikilder som vindkraft og solceller. Det betyder, at virksomhedernes produktion kan komme til at variere efter udbuddet af elektricitet, såfremt der er tilstrækkeligt høje prissignaler eller den enkelte virksomheds adgang til elektricitet reguleres.

Alt andet lige vil begrænsninger i adgang til energiforsyning medføre forringet energieffektivitet, da det er velkendt at den højeste energieffektivitet opnås, når produktionsanlæg drives ved maksimal belastning. Derfor er energifleksibilitet kun at foretrække, hvis der er mangel på energi i en periode eller hvis den energi der er til rådighed i en given periode er baseret på fossile brændsler og ikke vedvarende energi fra eksempelvis vindkraft.

I mange tilfælde er det ikke praktisk muligt eller ønskeligt at begrænse, eller helt afbryde, et produktionsforløb for at tilpasse energiforbruget til udbuddet. Det skyldes, at det ofte vil medføre produktionstab i form af produktion, der ellers kunne være solgt. Hvis produktionen afbrydes helt vil det i mange tilfælde medføre at produktionen umiddelbart før og efter afbrydelsen skal kasseres, da produkterne bliver fejlbehæftede som følge af afbrydelsen. Det giver produktionstab, forøgede råvareomkostninger og et forøget energiforbrug, idet den kasserede produktion indeholder råvarer og forbrugt energi.

Der findes nogle få processer, hvor fleksibilitet med fordel kan anvendes. Disse processer er alle kendetegnede ved at være termiske processer, dvs. at processerne enten tilfører køling eller varme. Der kan eksempelvis være tale om køle-/frysehuse, smelteprocesser, ovnprocesser (f.eks. cementproduktion) og visse tørreprocesser. Igen er det dog således, at energiforbruget af det samlede procesforløb øges som følge af f.eks. øget varme-/kuldetab fra procesudstyret, mens kapaciteten er nedsat (eller udstyret er afbrudt) og at effektiviteten dermed forringes. Hvis produktionen har været nedsat eller helt afbrudt i en periode, er der i mange tilfælde behov for at tilføre ekstra meget energi indtil produktionen, temperaturen etc. igen er tilbage ved udgangspunktet.

De udviklede metoder til opstilling af operative energinøgletal kan umiddelbart håndtere variationer i produktionsmængder etc., der opstår som følge af varierende adgang til elforsyning. Hvis

produktionsprocessen afbrydes helt før at produkterne er færdiggjort og produktionen genoptages på et senere tidspunkt, vil det give en del udfordringer i forhold til datagrundlaget, da det kan blive svært at parre f.eks. produktion, produktsammensætning og energiforbrug entydigt.

4.4 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 eksemplet i bilag 8.2, 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.

4.5 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 været 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.

4.6 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 i 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.

5 Beregningsværktøjer

5.1 Beregningsværktøj i Labview

Der er udviklet et beregningsværktøj baseret på multipel regressionsanalyse, der anvender data- og sorteringsfunktioner i LabView.

Der er udarbejdet en brugervejledning til værktøjet, der i tekst og billeder samt eksempler beskriver, hvordan det skal anvendes.

Beregningsværktøjet kan håndtere et datasæt af ubegrænset størrelse og op til 10 indgående antal variable (X -værdier), der sammenholdes med energiforbruget (Y -værdier). Det datasæt der er til rådighed lægges ind i brugerfladens input-område. Opstillingen af beregningsudtrykket for energiforbruget sker i tre trin.

Trin 1 – Indsæt data

Her importeres de data som ønskes analyseret. Datasættet indsættes f.eks. som en excel'fil, idet energiforbruget for den proces for hvilken der skal dannes energinøgletal skal stå i første kolonne (Y -data) og de parametre som energiforbruget afhænger af skal stå i de næste kolonner (X_1, X_2, X_3, \dots). Der er i alt plads til 10 parametre.

Trin 2 – Fjernelse uønskede data

I det andet trin er det muligt at fjerne rækker i datasættet, hvor energiforbruget, dvs. Y-værdien, ligger udenfor det interval som defineres i cellerne "Minimum input Y" og "Maximum input Y", dvs. der fjernes datarækker hvor energiforbruget er så lavt eller så højt, at det er formodet at være fejlbehæftet.

Desuden indstilles værdien i cellen "Cut off", således at værdier der ligger f.eks. mere end 5% fra det beregnede udtryk for energinøgletallet fjernes. Et "Cut off" på 5% er almindeligt, og svarer til et konfidensinterval på 95%.

Trin 3 – Fjerne indgående parametre

I det sidste og tredje trin kan én eller flere af de indgående parametre fjernes for at opnå et bedre beregningsudtryk.

5.2 Beregningsværktøj i MS Excel

Der er ligeledes udviklet et beregningsværktøj baseret på multipel regressionsanalyse, der anvender data- og sorteringsfunktioner i MS Excel samt regressionsfunktionen ligeledes i MS Excel.

Der er udarbejdet en brugervejledning til værktøjet, der i tekst og billeder samt eksempler beskriver, hvordan det skal anvendes.

Beregningsværktøjet kan håndtere et datasæt af ubegrænset størrelse og et ubegrænset antal variable, der sammenholdes med energiforbruget. Det datasæt der er til rådighed lægges ind i et fastlagt input'område. Herefter kan input'data behandles i nedenstående steps ved at "trykke" en knap i værktøjet, for at sikre at de data der indgår er reelle og troværdige. Når dette er foretaget udføres regressionsanalysen.

Fjernelse af tomme rækker, hvor eventuelle tomme rækker i input'filen fjernes, således de ikke påvirker resultatet af regressionsanalysen. Denne funktion er nødvendig og skal anvendes, når værktøjet bruges.

Fjernelse af data der ude af proportion, hvor data der øjensynlig er fejlbehæftede fjernes. Det kan f.eks. være datasæt for tidspunkter, hvor der reelt ikke har været produktion, men stadig er et energiforbrug. Brugeren definerer selv passende grænser i værktøjet for data, der eventuelt skal fjernes. Det er op til brugeren om der skal fjernes data i det givne tilfælde.

Lineær regressionsanalyse, hvor der udføres en regressionsanalyse på de sorterede data. Resultatet heraf vises i tal- og kurveform i værktøjet.

Fjernelse af outliers, hvor datasæt der afviger mere end 2 standardafvigelser fra det beregnede regressionsudtryk kan fjernes. Herefter kan regressionsanalysen foretages på ny ved at trykke på knappen for "udførelse af regressionsanalyse". Det er op til brugeren selv at bestemme om funktionen med at fjerne outliers skal anvendes. Der gøres opmærksom på, at det er formålstjenligt at analysere de outliers der måtte være (f.eks. ved at se på et plot af datasættene) inden de eventuelt fjernes, så det sikres at datasæt der fjernes er udtryk for en unormal driftssituation, f.eks. opstart efter et nedluk.

Det beregnede regressionsudtryk er herefter klar til at indgå som en del af energistyringen. Som beskrevet i kapitel 4.5 skal regressionsudtrykket opdateres med regelmæssige mellemrum, og dette arbejde vil beregningsværktøjet lette meget betydeligt.

Beregningsværktøjet er testet af på data fra de fire virksomheder, der har medvirket i projektet som case'virksomheder, se kapitel 6.

5.3 EnPI

EnPI er et regressionsanalysebaseret værktøj udviklet af US Department of Energy (DOE), der kan anvendes af virksomheder til at danne en normaliseret baseline for energiforbruget, vise fremskridt med i energieffektivitet og dokumentere effekten af energibesparelser. Endvidere kan værktøjet anvendes til at danne energinøgletal, der f.eks. tager hensyn til variationer i energiforbrug på grund af vejr, produktionsvariationer og andre variabler. Endelig kan EnPI beregne den kumulative forbedring og den årlig forbedring. Værktøjet tager udgangspunkt i følgende data:

- Energiforbrugsdata (separat efter energitype, som elektricitet, naturgas, køling etc.). Der er plads til tre energityper
- Variabler, der påvirker energiforbruget i et anlæg (f.eks. graddage, dugpunktstemperatur, produktudgang, produktets fugtindhold osv.)

Værktøjet er begrænset til at kunne rumme 1.000 datasæt, dvs. sammenhørende værdier for energiforbrug, produktionsmængde, tørstofindhold og andre variable.

Værktøjet identificerer de nøglevariable, der påvirker energieffektiviteten og beregner et modeleret forbrug baseret på de uafhængige variable, der er valgt til regressionen. På baggrund af de data der er lagt ind i værktøjet beregnes separate regressionsudtryk for el- og brændselsforbrug (og eventuelt f.eks. køleforbrug) som funktion af de variable.

Værktøjet er baseret på Microsoft Excel, og der kræves Windows 7 eller nyere Microsoft Office pakke. Når værktøjet er installeret figurerer det som en AddInn, og kan bringes til at stå permanent i menuen øverst i skærmbilledet.

Værktøjet er målrettet til at beregne parametre, der indgår i dokumentationen af virksomheders energieffektivitet m.v. i forhold til myndighederne i USA. Værktøjet er ofte ikke umiddelbart anvendeligt til at beregne operative energinøgletal med den ønskede detaljeringsgrad, da der kun er plads til 1.000 datasæt. Hvis der f.eks. kun er datasæt til rådighed på f.eks. daglig basis, dvs. 365 datasæt for ét år, kan værktøjet udmærket anvendes, såfremt det er muligt at abstrahere fra at der regnes i amerikanske enheder undtagen for elforbruget.

Det er ikke lykkedes at identificere andre værktøjer der anvendes specifikt til beregning af energinøgle end ovennævnte, der er målrettet industrielle virksomheder. Der findes dog en række kommercielle udbydere af totalløsninger på energiområdet, der tilbyder produkter hvor energiforbruget registreres og omsættes til bl.a. energinøgletal. Disse produkter henvender sig typisk til bygningssejere, hvorfor energinøgletallene som regel er beregnet på baggrund af m².

6 Cases

I dette projekt har virksomhederne LeoPharma, Haldor Topsøe, RC Plast og Primo Danmark indgået som projektpartnere med det primære formål, at stille nogle udvalgte produktionsprocesser til rådighed som cases for projektet.

6.1 LeoPharma A/S

6.1.1 Produktionsprocessen

På LeoPharma er der taget udgangspunkt i fermenteringsanlægget (gæringsanlægget) for produktion af Fucidin på basis af fusidinsyre. Fucidin er et antibiotikum, der anvendes mod infektion forårsaget af stafylokokker. Produktionen af Fucidin foregår i to sektioner:

- Fucidin - Fermentation and Purification
- Fucidin - Sterile

I denne case er der udelukkende set på energiforbrug og produktion i forbindelse med fermenteringen.

Fucidin fremstilles ved fermentering med svampen *Fusidium coccineum*, som er en naturligt forekommende svamp. Fermenteringen kan opdeles i følgende fire trin:

1. Sporer
2. Forkultur
3. Dyrkning (fermentering)
4. Filtrering

I podelaboratoriet opformerer sporer til svampedannelse, som derefter udvikles til anvendelse som podemateriale. Podematerialet anvendes til start af produktionen i forkulturtankene. Under fermenteringsprocessen i forkultur- og dyrkningstankene ledes atmosfærisk luft til fermenteringsvæsken fra kompressorstationen i kælderen. Til fermenteringen anvendes et næringssubstrat med kulhydrater, proteiner og uorganiske salte. Når en fermenteringstank er gæret færdig høstes den ved filtrering. Ved filtreringen skilles biomassen fra den vandige fase. Biomassen indeholder fusidinsyre, rester af næringsstoffer og cellerester, mens den vandige fase indeholder fusidinsyre og urenheder. Filtratet pumpes til en af to 100 m³ tanke beliggende syd for bygning F, hvor første trin i oprensningen foregår. Anlægget i bygning G og G1 har således forkulturtanke og fermenteringstanke med tilhørende centrifugalpumper, røreværker m.v..

Produktionen har fundet sted siden begyndelsen af 60'erne og anlægget er løbende blevet opdateret gennem udskiftning og ændringer af udstyr, installationer samt ændring af produktionsmetoder. De seneste opgraderinger fandt sted i 2010, i 2013 og i 2017, hvor en del gammelt udstyr blev fjernet eller opgraderet til dagens standard.

6.1.2 Fermenteringsanlægget

Fermenteringsanlægget består af i alt 6 forkulturtanke og 10 dyrkningstanke, der henholdsvis kan indeholde ca. 4 m³ og ca. 30 m³ medie. Desuden er der en række udendørs opstillede tanke med råvarer.

Dyrkningen i forkulturtankene tager i alt 6 døgn, hvoraf de sidste fire døgn anvendes til fermentering (opformering). Inden fermenteringen steriliseres dyrkningsvæsken inden den podes med kultur fra podningslaboratoriet. Steriliseringen foregår ved direkte dampinjektion i dyrkningsvæsken. Dyrkningsvæsken nedkøles inden den podes. De 6 forkulturtanke driftes i sekvens, så tankene er tidsmæssigt forskudt med ét døgn. Der anvendes en del damp til steriliseringen, og da tankene driftes i førnævnte sekvens er dampforbruget på døgnbasis ret konstant. Elforbruget til pumper, røreværker etc. er ligeledes nogenlunde konstant.

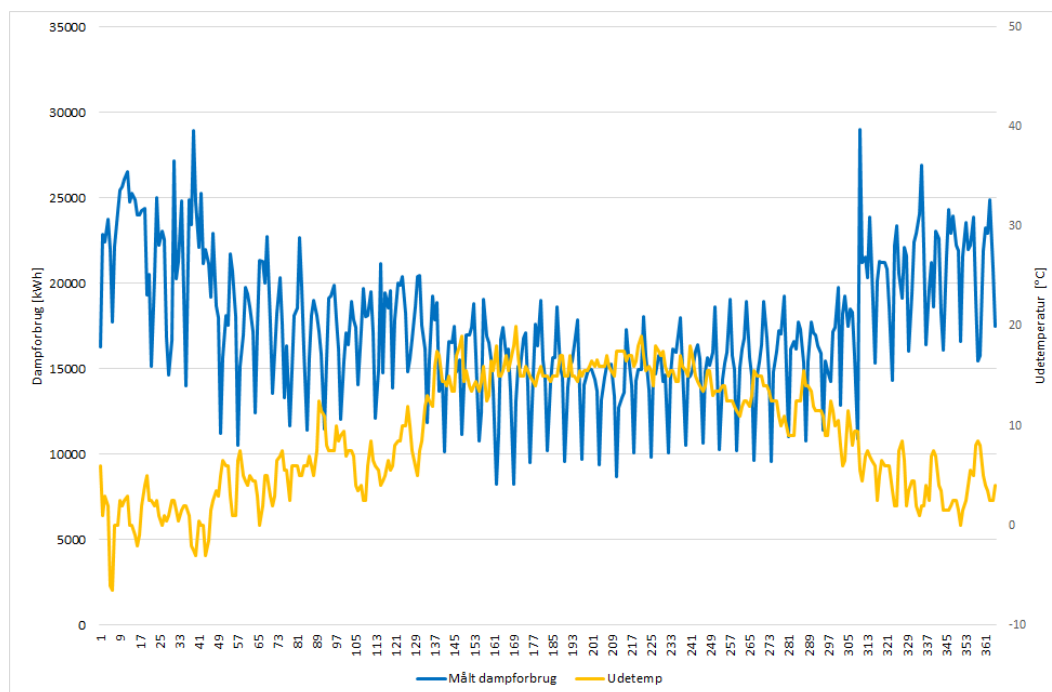
Dyrkningen (fermenteringen) i dyrkningstankene tager i alt 14 døgn, hvoraf de sidste 12 døgn anvendes til fermentering. Inden fermenteringen steriliseres dyrkningsvæsken (indeholder primært sukker, corn steep og vand) inden den tilføres væske fra en forkulturtank. Steriliseringen foregår ved direkte dampinjektion i dyrkningsvæsken. Dyrkningsvæsken nedkøles inden den tilføres forkulturvæske. De 10 fermenteringstanke driftes i sekvens, så de er tidsmæssigt forskudt med ét døgn. Der anvendes en del damp til steriliseringen, og da tankene driftes i førnævnte sekvens er dampforbruget på døgnbasis ret konstant. Der anvendes kun damp ved steriliseringen. Under det resterende procesforløb fjernes varme fra tankene (fermenteringen udvikler varme) gennem tankenes kølekapper. Tankene holdes ved en temperatur på 26-27°C, idet fucidinsvampen har vækstopimum ved denne temperatur. Elforbruget til pumper, røreværker etc. er ligeledes nogenlunde konstant.

Nedenstående analyser er gennemført på baggrund af produktions- og energiregistreringer der foretages i virksomhedens produktionsregistreringssystem (SAP) og energiregistreringssystem (MinEnergi). Der er fokuseret på sammenhængen mellem mængder af fermenteret og ultrafiltreret Fucidin, udetemperaturen og dampforbruget. Virksomheden registrerer produktions- og dampdata på døgnbasis.

Dato	Sterilisering		Ultrafiltrering		Udetemp	Damp
	D-tanke	F-tanke	D-tanke	F-tanke		
2017-01-01	0	0	0	2600	6	16267
2017-01-02	0	2600	26300	0	1	22893
2017-01-03	26300	2600	26300	0	3	22443
2017-01-04	26300	0	26300	2600	2	23732
2017-01-05	26300	2600	26300	2600	-6	21964
2017-01-06	26300	2600	26300	2600	-6,5	17771
2017-01-07	26300	2600	0	2600	0	22196
2017-01-08	0	0	0	2600	0	24224
2017-01-09	0	2600	26300	0	2,5	25438
2017-01-10	26300	0	26300	0	2	25662
2017-01-11	26300	0	26300	2600	2,5	26105
2017-01-12	26300	2600	0	2600	3	26520
2017-01-13	0	2600	0	2600	0	24752
2017-01-14	0	2600	0	2600	0	25252
2017-01-15	0	0	0	0	-1	24921
2017-01-16	0	2600	26300	0	-2	24035

Figur 6.1.1 Eksempel på mængder af fermenteret og ultrafiltreret Fucidin, udetemperaturen og dampforbruget.

I figur 6.1.2 ses dampforbruget i kWh og udetemperaturen i °C. Som det ses, er der en tydelig sammenhæng mellem dampforbruget og udetemperaturen. Det skyldes primært at en del af udendørstankene er opvarmet med damp via varmekapper. Endvidere at fermentatet cirkulerer til en udendørstank under filtreringen. Endelig er nogle af tankene er placeret i uopvarmede produktionslokaler, hvilket betyder at dampforbruget til sterilisering bliver højere ved lave udetemperaturer.



Figur 6.1.2 Dampforbrug og udetemperatur.

Først blev der foretaget en regressionsanalyse på hele datasættet. Til det formål blev det beregningsværktøj, der er udviklet i projektet anvendt (se figur 6.1.3), og resultatet af dette ses i figur 6.1.4.

Step 1: Import Data Paste data starting in cell F40. Each x column must have a heading in its corresponding cell in row 39. If a timestamp is not available create an id here instead. It's important that the cell is not empty	Step 2: Check for and remove empty rows / cells Pressing the "Remove empty rows" buttons removes the any row containing an empty cell.	Step 3 (Optional): Remove data out of range Define min and max for range for the Y values and remove the values outside that range.	Step 4: Perform linear regression Perform linear regression on the dataset.	Step 4: Remove outliers Removes any data that deviates more than two standard deviations.
Remove empty rows		Remove rows out of defined range (Optional)		Perform linear regression
Range Min Y <input type="text" value="0"/> Max Y <input type="text" value="10000000"/>				

Figur 6.1.3 Udsnit af beregningsværktøj.

RESUMEOUTPUT						
Regressionsstatistik						
Multipel R	0,845876					
R-kvadreret	0,715506					
Justeret R	0,711544					
Standardfej	2112,884					
Observationer	365					
ANOVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	5	4,03E+09	8,06E+08	180,578	1,12569E-95	
Residual	359	1,6E+09	4464277			
I alt	364	5,63E+09				
	Koefficienter	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	17693,14	381,5625	46,37023	1,2E-153	16942,76548	18443,52
X-variabel	0,105495	0,010401	10,14228	2,02E-21	0,085039203	0,12595
X-variabel	0,42051	0,100379	4,189214	3,53E-05	0,223104863	0,617915
X-variabel	0,07838	0,010068	7,784654	7,55E-14	0,0585791	0,09818
X-variabel	0,000395	0,109651	0,003603	0,997127	-0,215243903	0,216034
X-variabel	-465,749	19,03086	-24,4733	1,64E-78	-503,1747165	-428,323

Figur 6.1.4 Resultat af regressionsanalyse.

Signifikansen F (funktionen) skal være så tæt på nul som mulig, hvilket er tilfældet hér. Værdien er $1,12569 \cdot 10^{-95}$, hvilket betyder at udtrykket for funktionen er yderst signifikant. Det justerede R-kvadreret er 0,71, og denne værdi skal være så tæt på 1 som mulig. Endelig ses, at P-værdierne for de forskellige X-variabel er alle meget lave på nær X-variabel 4, som er mængden af produkt til ultrafiltrering fra F-tankene. Den X-variabel kunne i princippet fjernes.

Det blev herefter besluttet at fjerne outliers (eventuelle fejlmålinger), dvs. datasæt der ligger mere end to standardafvigelser fra det beregnede regressionsudtryk. Herefter er der udført en fornyet regressionsanalyse, se figur 6.1.5.

RESUMEOUTPUT						
Regressionsstatistik						
Multipel R	0,897204					
R-kvadreret	0,804974					
Justeret R	0,802115					
Standardfej	1647,083					
Observationer	347					
ANOVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	5	3,82E+09	7,64E+08	281,4977	1,1192E-118	
Residual	341	9,25E+08	2712883			
I alt	346	4,74E+09				
	Koefficienter	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	16918,65	309,9926	54,5776	1,4E-170	16308,91571	17528,39
X-variabel	0,11913	0,008437	14,11928	5,79E-36	0,102534274	0,135726
X-variabel	0,381921	0,080744	4,730009	3,29E-06	0,223101705	0,540741
X-variabel	0,089123	0,008046	11,07622	1,46E-24	0,073296033	0,104949
X-variabel	0,024373	0,088171	0,276428	0,782386	-0,149054632	0,197801
X-variabel	-441,91	15,69159	-28,1622	5,35E-91	-472,7742819	-411,045

Figur 6.1.5 Resultat af fornyet regressionsanalyse.

Hvis standardafvigelsen, som er forholdet mellem e_i og $S_{y,x}$, er mindre end to betyder det, at der er 95 % sandsynlighed for at værdien af det beregnede dampforbrug er korrekt. Figur 6.1.6 viser de datasæt der er fjernet som outliers.

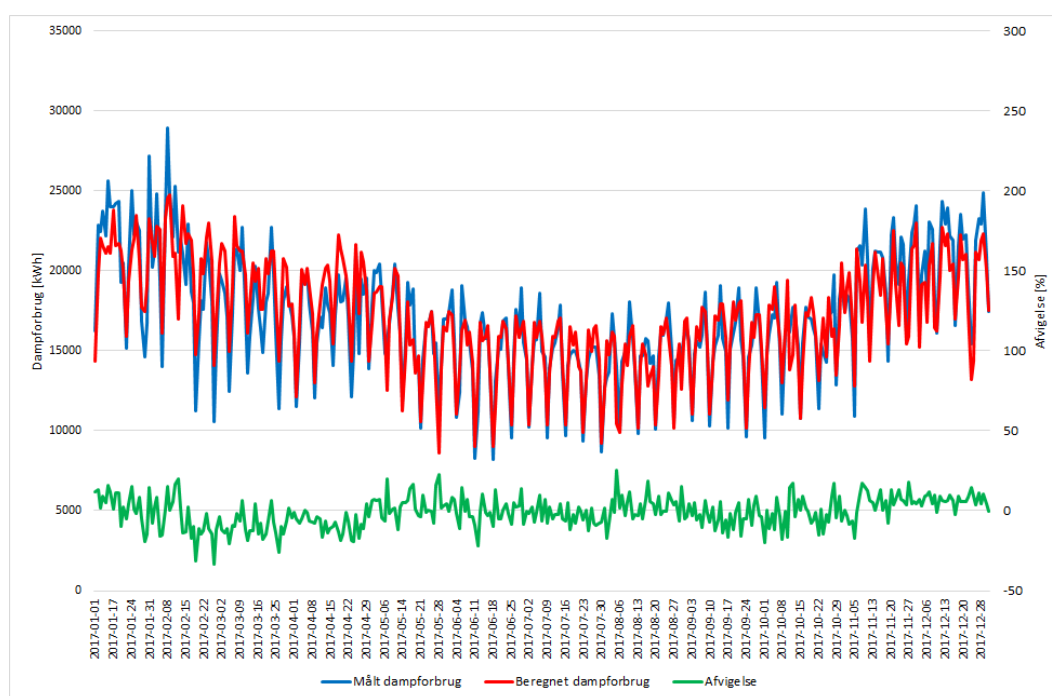
Y	ei	ei^2	ei/Sy,x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges	----->				Beregnet c	Afvigelse
16918,65	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	time	Målt damp	S-D	S-F	UF-D	UF-F	Udetemp		
14330,57	-1936,45	3749855	-1,17569	FALSK	2017-01-01	16267,02	0	0	0	2600	6	14330,57	11,9
19813,67	-3078,94	9479857	-1,86933	FALSK	2017-01-02	22892,6	0	2600	26300	0	1	19813,67	13,4
22062,97	-379,799	144247,5	-0,23059	FALSK	2017-01-03	22442,77	26300	2600	26300	0	3	22062,97	1,7
21575,26	-2156,43	4650199	-1,30924	FALSK	2017-01-04	23731,69	26300	0	26300	2600	2	21575,26	9,1
21108,14	-1087,38	1182389	-0,66018	FALSK	2017-01-07	22195,52	26300	2600	0	2600	0	21108,14	4,9
21511,89	-4149,8	17220855	-2,51949	SAND	2017-01-10	25661,69	26300	0	26300	0	2	21511,89	16,2

Figur 6.1.6 Datasæt der er fjernet som outliers.

Signifikans F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er $1,1192 \cdot 10^{-118}$, hvilket betyder at udtrykket for funktionen stadig er meget fint. Det justerede R-kvadrat er steget til 0,80 hvilket er nogenlunde tilfredsstillende, men ikke perfekt. Dette er illustreret med figur 6.1.7, hvor der ses store afvigelser mellem det målte og beregnede dampforbrug.

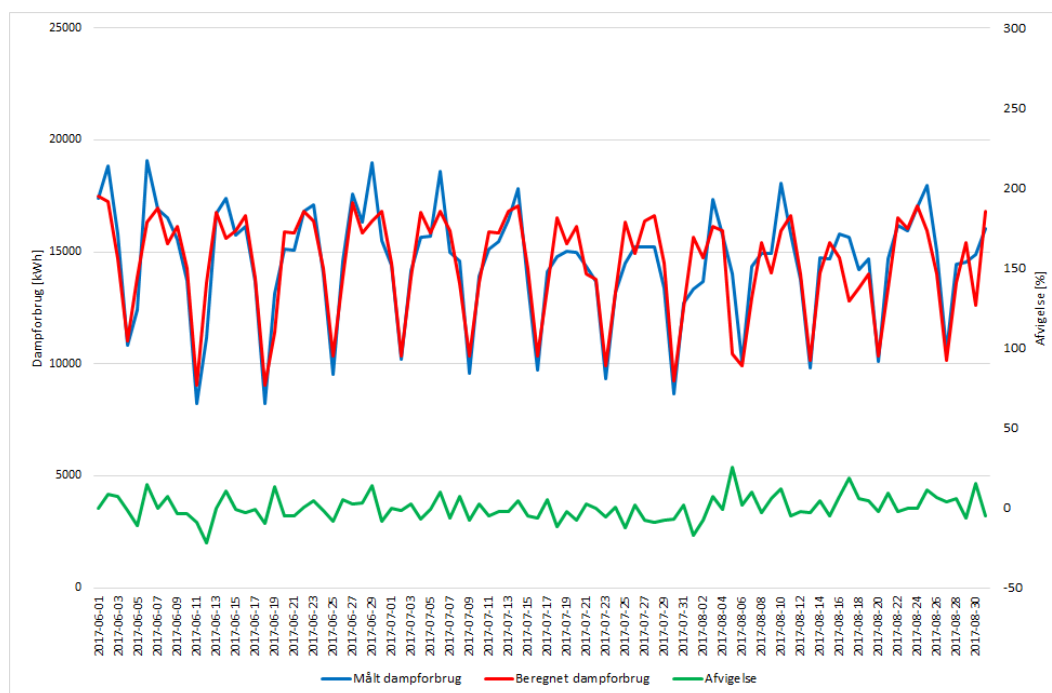
Udtrykket for sammenhængen mellem dampforbruget og de forskellige variable er således:

$$\text{Dampforbrug [kWh]} = (0,11913 \cdot \text{sterilisering D-tanke [l]}) + (0,381921 \cdot \text{sterilisering F-tanke [l]}) + (0,089123 \cdot \text{ultrafiltrering D-tanke [l]}) + (0,024373 \cdot \text{ultrafiltrering F-tanke [l]}) - (441,91 \cdot \text{udetemperatur [° C]}) + 16.918,65$$



Figur 6.1.7 Målt og beregnet dampforbrug samt afvigelse.

I figur 6.1.8 ses målte og beregnede dampforbrug samt afvigelserne mellem disse i en udvalgt periode på to måneder. Som det ses, er der nogenlunde overensstemmelse mellem de målte og beregnede forbrug.



Figur 6.1.8 Målt og beregnet dampforbrug samt afvigelse

Det som er væsentligt er at observere at afvigelserne mellem de målte og beregnede dampforbrug ikke stiger til et højere niveau. De både stiger og falder, men niveauet ændrer sig ikke. Endelig er der udført en regressionsanalyse, hvor X-variabel 4 ikke er anvendt. Som det ses i figur 6.1.9 medførte dette, at udtrykket for dampforbruget blev forbedret en smule.

RESUMEOUTPUT						
<i>Regressionsstatistik</i>						
Multipel R	0,908388					
R-kvadreret	0,825169					
Justeret R	0,823037					
Standardfejl	1482,437					
Observationer	333					
ANOVA						
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>	
Regression	4	3,4E+09	8,51E+08	387,0251	8,3927E-123	
Residual	328	7,21E+08	2197619			
I alt	332	4,12E+09				
	<i>Koefficient</i>	<i>Standardfej</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	16772,19	235,3959	71,25097	1,2E-201	16309,11336	17235,27
X-variabel	0,117306	0,007017	16,71689	8,28E-46	0,103501328	0,13111
X-variabel	0,325886	0,07065	4,612677	5,71E-06	0,186901381	0,46487
X-variabel	0,092424	0,006835	13,52169	2,04E-33	0,078977468	0,10587
X-variabel	-424,483	14,51567	-29,2431	2,18E-93	-453,039017	-395,928

Figur 6.1.9 Resultat af regressionsanalyse hvor X-variabel 4 er udeladt ved regressionsanalysen.

6.2 Haldor Topsøe A/S

6.2.1 Produktionsprocessen

På Haldor Topsøe er der udvalgt et spraytørringsanlæg som case for opstilling af energinøgletal. Spraytørringsanlægget består af to identiske spraytørrere, der tørrer produkt (Alumina) fra hver sin produktionslinje. Alumina er et finkornet keramisk pulver der er baseret på gibbsit, som er en lerart. Spraytørringsanlægget er uden sammenligning det mest energikrævende anlæg på fabrikken.

6.2.2 Spraytørrerne

De to spraytørrere indgår i hver sin produktionslinje, -linje A og linje B. Hver linje består foruden spraytørreren af et båndfilter samt et system til produktion af kaliumnitrat. El- og gasforbruget til spraytørrerne måles ikke separat, men måles i kombination med bl.a. fluidbed's til tørring af kaliumnitrat og andet udstyr til kaliumnitratproduktionen.

Det årlige naturgasforbrug til linje A og B er i alt ca. 2.800.000 Nm³, og det skønnes, at spraytørrernes gasforbrug er mindst 90% af det nævnte gasforbrug. Resten anvendes i de tilhørende fluid bed's.

Den installerede elektriske effekt af blæsere, pumper etc. direkte på/ved hver spraytørrer er ca. 120 kW, hvilket giver en optagen effekt på ca. 80 kW under drift. Det betyder, at det årlige elforbrug til hver spraytørrer er ca. 550 MWh.

Slammet, der skal spraytørres pumpes til en forstøver, der er anbragt i tørrerens øverste del. Tørreluften opvarmes til den ønskede tilgangstemperatur, ca. 450-500°C, i en gasfyret heater.

Tørreluften ledes til tørrekammeret gennem en luftfordeler placeret oven på kammeret. Tørrekammeret er forsynet med konisk bund. Det tørrede pulver tilbageholdes i et posefilter, hvorfra det udtages. Spraytørrerne er udlagt efter at skulle kunne tørre en fødemængde på ca. 5 ton/time med et tørstofindhold på ca. 20%, dvs. tørrerne har en vandfordampningskapacitet på ca. 4 ton/time og en pulverproduktion på ca. 1 ton/time. Restfugtindholdet i pulveret er ca. 2%. Den dimensionerende indfyrede varmeeffekt er 4.100 kW. Det dimensionerende specifikke energiforbrug til spraytørreren er ca. 3.760 kJ_{gas}/kg vandfordampning og ca. 66 kJ_{el}/kg vandfordampning.

Hele mængden af spraytørret produkt udskilles i et posefilter umiddelbart efter hver tørrer.

4.2.3 Nøgletalsanalyse

Der er gennemført en række registreringer af energiforbrug og produktion for begge spraytørrere, idet der udelukkende er set på gasforbruget og ikke på elforbruget. Haldor Topsøe registrerer nedenstående produktion- og energidata med en tidsopløsning på 15 minutter. Der er i første omgang fokuseret på sammenhængen mellem slurryflowet og gasforbruget til spraytørrerne (A og B). I det følgende er resultaterne for dataanalysen på tørrer A vist, idet resultaterne for tørrer B er som for tørrer A.

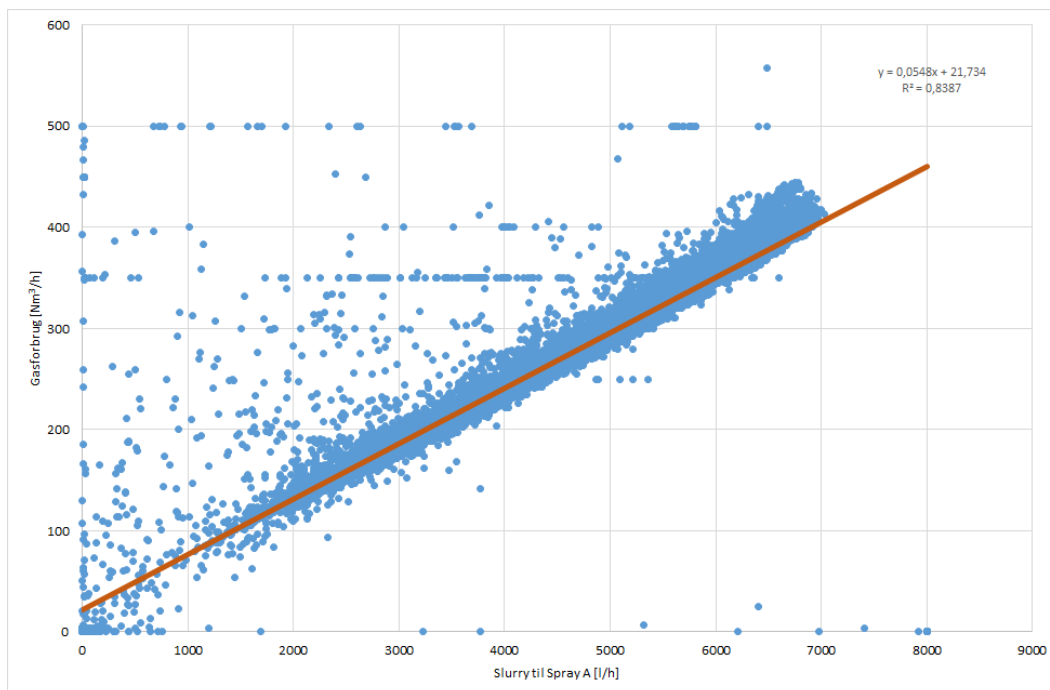
	Slurry til autoklave A	Slurry til spray A	Gas til spray A	Temp. ind i spray A	Temp. ud af spray A
	842_FT_131A/Value	842_FT_141A/Value	842_FT_134A/Value	842_TT_147A/Value	842_TT_146A/Value
	liter/h	liter/h	Nm ³ /h	°C	°C
01-01-2017 00:15	55,50573281	12,20560735	3,357571704	27,60931202	24,81128447
01-01-2017 00:45	62,1587143	13,06172	3,313352065	27,24896279	24,56491495
01-01-2017 01:15	56,99053462	12,59923442	3,201152012	26,5728176	24,37274644
01-01-2017 01:45	59,70485279	13,52422601	3,357250365	26,7175466	24,25447438
01-01-2017 02:15	58,77963396	10,5719863	3,281196353	26,40859755	24,06226477
01-01-2017 02:45	56,1559846	11,74292207	3,437552	26,5033612	23,93416945
01-01-2017 03:15	57,77253859	10,88529574	3,257624089	25,94704092	23,79637766
01-01-2017 03:45	58,73819593	10,96607479	3,149188602	25,81103165	23,57296366
01-01-2017 04:15	61,85158188	12,20810299	3,338995952	26,07138403	23,4100133
01-01-2017 04:45	60,57265663	12,20810393	3,101361781	26,01280926	23,36944995
01-01-2017 05:15	56,02028607	11,7374677	3,096891221	25,94090211	23,24866945
01-01-2017 05:45	59,21036634	11,34683419	3,095807794	26,01931516	23,14401138
01-01-2017 06:15	58,2563411	10,9727627	3,211299736	25,45686068	23,0065714
01-01-2017 06:45	56,85834357	13,43913324	3,194904872	25,4998043	22,83550337
01-01-2017 07:15	54,52072707	10,97546435	3,025936699	25,22472186	22,68381063
01-01-2017 07:45	58,25303236	10,49821	3,141879281	25,3192637	22,6200054

Figur 6.2.1 Eksempel på data for spraytørrer A.

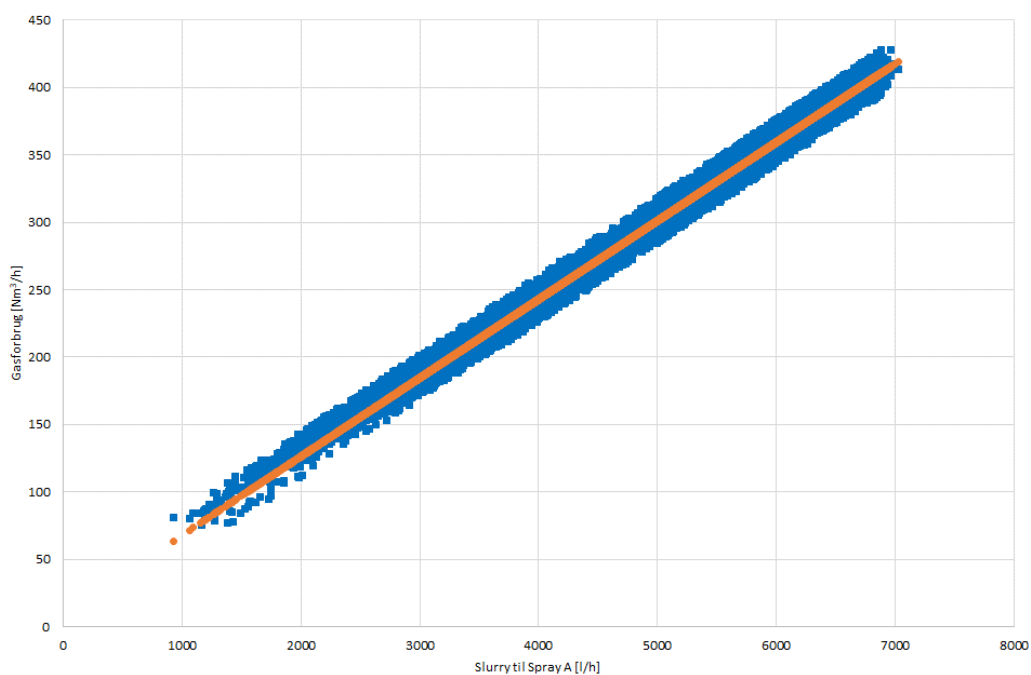
I figur 6.2.3 ses gasforbruget i Nm³ pr. time som funktion af slurryflowet i liter pr. time. Som det ses, er der en tydelig sammenhæng mellem gasforbruget og slurryflowet. Det ses dog også at der er mange fejlmålinger, hvor afvigelse er store. Endvidere var der en del rækker uden data. Endelig var der en del målinger, hvor der kørte en pilotflamme på gasbrænderen, mens produktionen stod stille. Dette gasforbrug (< 75 Nm³ pr. time) havde ikke noget med tørreprocessen at gøre. Det blev derfor besluttet at fjerne fejlmålingerne, dvs. tomme rækker og rækker med gasforbrug til pilotflammen, men uden produktion. Til det formål blev det udviklede beregningsværktøj anvendt. Hvis standardafvigelsen, som er forholdet mellem ei og Sy.x, er mindre end to betyder det, at der er 95 % sandsynlighed for at værdien af det beregnede dampforbrug er korrekt. Figur 6.2.2 viser de datasæt der er fjernet som outliers.

Y	ei	ei ²	ei/Sy.x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges	Beregnet ξ Afvigelse
9,832892	#VÆRDI!!	#VÆRDI!!	#VÆRDI!!	#VÆRDI!!	time	Målt gasfo	liter/h	
140,7601	-13,9747	195,2913	-1,86981	FALSK	02-01-2017 16:45	154,7348	2248,142	140,7601 9,031367
140,1129	-11,5703	133,8709	-1,5481	FALSK	02-01-2017 17:15	151,6832	2237,029	140,1129 7,627913
114,0335	-6,93172	48,04877	-0,92747	FALSK	02-01-2017 17:45	120,9653	1789,222	114,0335 5,730341
273,3779	-13,2918	176,6711	-1,77844	FALSK	02-01-2017 21:15	286,6697	4525,313	273,3779 4,636615
268,7688	1,833461	3,36158	0,245317	FALSK	02-01-2017 21:45	266,9353	4446,169	268,7688 -0,68686
265,3333	1,049506	1,101463	0,140424	FALSK	02-01-2017 22:15	264,2838	4387,179	265,3333 -0,39711

Figur 6.2.2 Datasæt der er fjernet som outliers.



Figur 6.2.3 Gasforbrug som funktion af slurryflow før "datavask".



Figur 6.2.4 Gasforbrug som funktion af slurryflow efter "datavask".

Der er udført en regressionsanalyse på baggrund af et datasæt, hvor tomme rækker og outliers er fjernet. Resultatet heraf ses i figur 6.2.5.

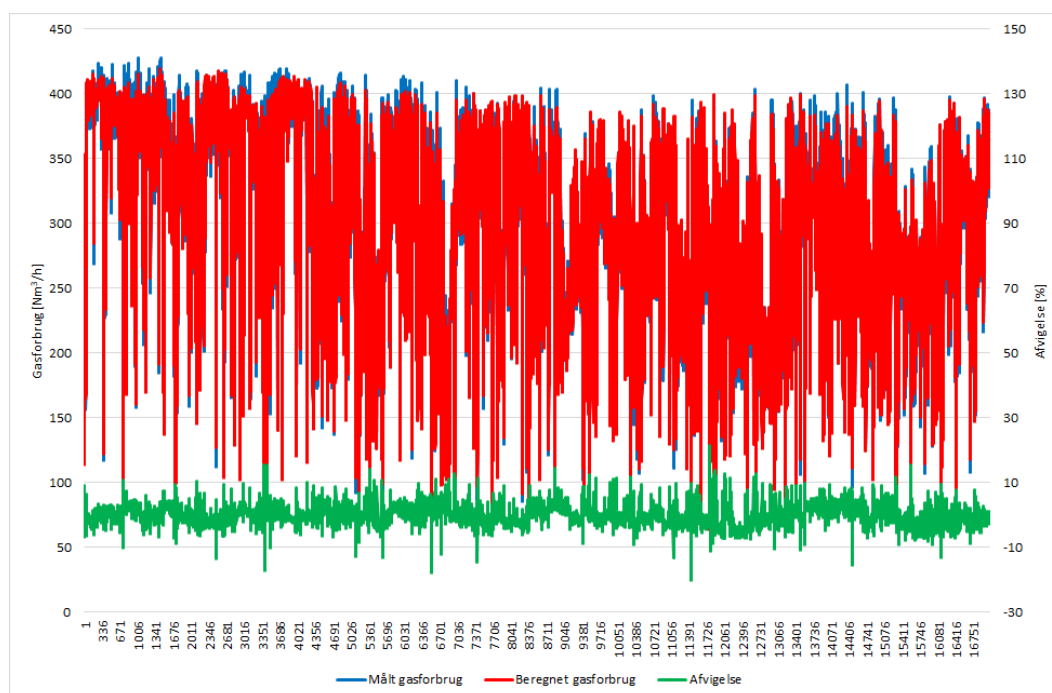
RESUMEOUTPUT						
Regressionsstatistik						
Multipel R	0,994971					
R-kvadreret	0,989968					
Justeret R-	0,989967					
Standardfej	7,473831					
Observationer	17063					
ANAVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	1	94042292	94042292	1683591	0	
Residual	17061	952995,9	55,85815			
I alt	17062	94995288				
	Koefficienter	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	9,832892	0,229747	42,79879	0	9,382564318	10,28322
X-variabel	0,058238	4,49E-05	1297,533	0	0,058149993	0,058326

Figur 6.2.5 Resultat af regressionsanalyse.

Signifikansen F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er nul hvilket betyder at udtrykket for funktionen er signifikant. Den justerede R-kvadreret er 0,99, og denne værdi skal være så tæt på 1,0 som muligt. P-værdien for X-variabel 1 som er slurryflowet og skæringen er begge nul. Udtrykket for sammenhængen mellem gasforbruget og slurryflowet er således for tørrer A:

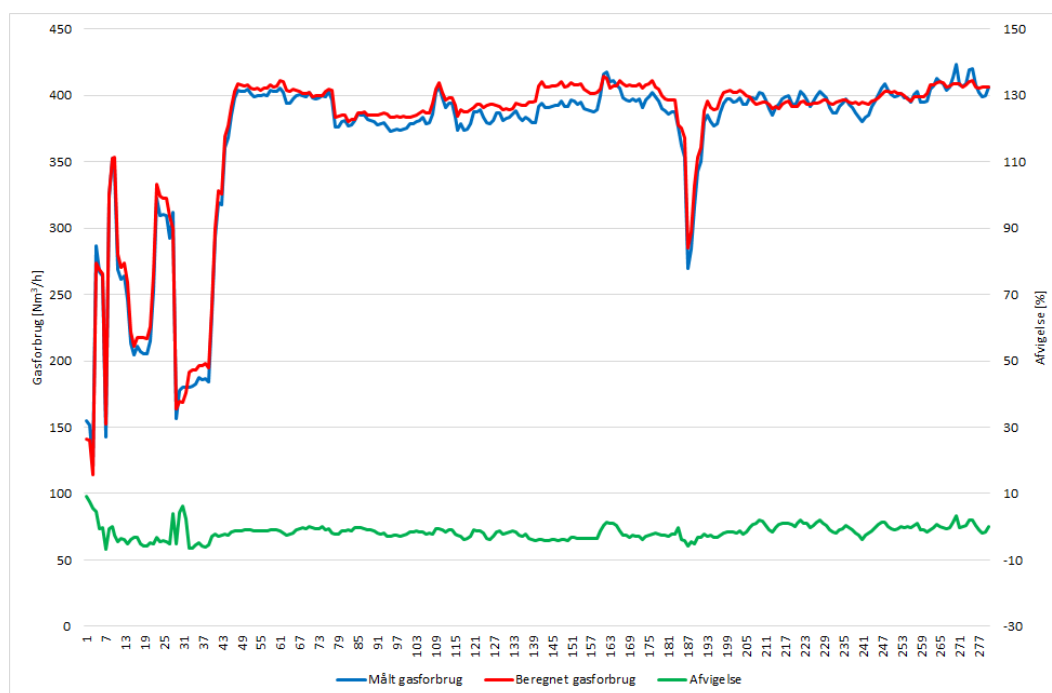
$$\text{Gasforbrug [Nm}^3\text{/h]} = (0,058238 \cdot \text{slurryflow [l/h]}) + 9,832892$$

I figur 6.2.6 ses de målte og beregnede gasforbrug samt afvigelse mellem disse.



Figur 6.2.6 Målt og beregnet gasforbrug samt afvigelse for tørrer A.

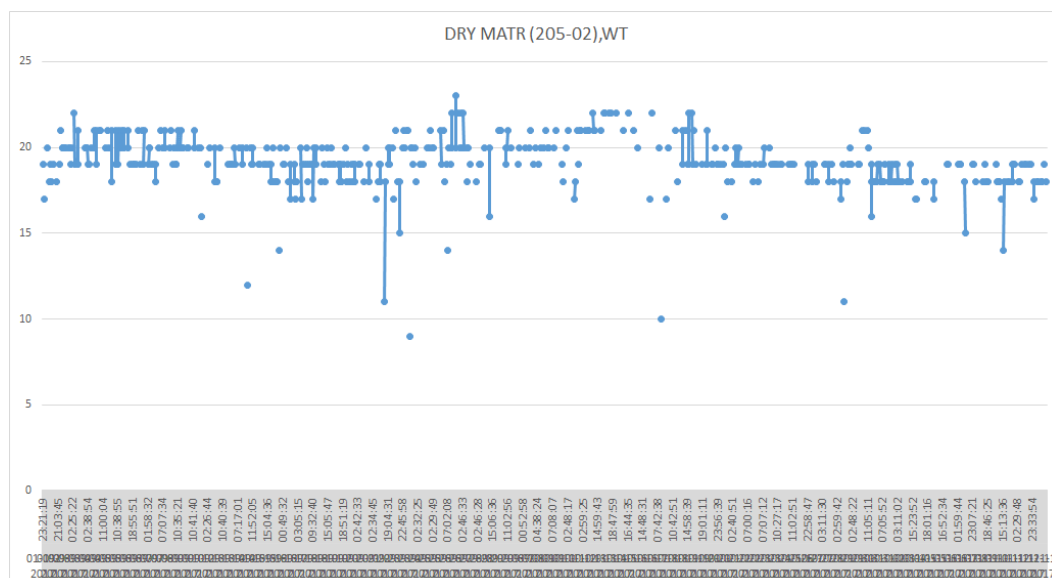
I figur 6.2.7 ses målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse i enkelt uge. Som det ses, er der god overensstemmelse mellem de målte og beregnede gasforbrug.



Figur 6.2.7 Målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse i enkelt uge for tørrer A.

En regressionsanalyse hvor differensen mellem temperaturen ind i og ud af spraytørreren blev medtaget gjorde ingen forskel på signifikansen F og det justerede R-kvadreret. P-værdien for temperaturdifferensen blev beregnet til 0,03, hvilket viser at den ikke skal medtages i udtrykket for gasforbruget.

En parameter som har betydning for gasforbruget er tørstofindholdet i slurrien. Tørstofindholdet registreres dog ikke med samme tidsopløsning som gasforbruget (15 minutter). Tidsopløsningen for registreringerne af tørstofindhold er ikke konstant, idet der udtages prøver på tidspunkter hvor det passer ind i personalets øvrige arbejde. Derfor er tidsopløsningen mellem få minutter til flere timer, hvorfor disse data desværre ikke kan anvendes i forbindelse med regressionsanalyserne. Haldor Topsøes registreringer viser dog at tørstofindholdet er rimelig konstant og ligger mellem 19 og 21 procent, se figur 6.2.8, hvilket alt andet lige betyder at det specifikke gasforbrug varierer indenfor ca. 10%. Fremadrettet burde virksomheden om muligt udtage prøver med fastsatte tidsrum, således at tørstofindholdet kan indgå i regressionsudtrykket.



Figur 6.2.8 Tørstofindhold i slurry til tørrer A.

6.3 RC Plast A/S

RC Plast er et danskejet aktieselskab, der siden 1984 har opbygget vigtig viden om, og effektive metoder til afhentning, miljørigtig håndtering, bearbejdning og genanvendelse af produktions-spild fra plastindustrien i Skandinavien, Europa og USA.

4.3.1 Produktionsprocessen

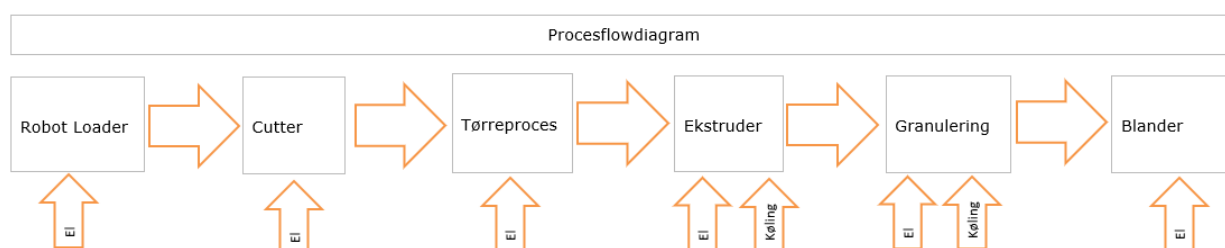
Materiale fra leverandørerne sorteres efter plasttype. Materialet er hovedsagelig rest-/spildprodukter fra hygiejneindustrien fra Skandinavien, Europa og USA.

Fabrikationsprocessen kan beskrives som vist med figur 6.3.1.

Materialet løftes op i Robot Loader og derefter i videre til Cutteren som skærer/klipper materialet op i mindre stykker. Det neddelte materiale føres op til tørreprocessen, hvor materialet neddeles yderligere samtidig med at eventuel vand i materialet fordampes ved hjælp af friktionsvarmen.

Materialet som nu er findelt og tørt ledes ind i ekstruderen, hvor det via snekkens friktionsvarme og varmelegemer varmes op til den ønskede temperatur og derefter ekstruderes til granulat. Granuleringen sker i et vandfyldt kammer, hvor det færdige materiale afkøles, så det ikke klumper.

Det færdige granulat bliver derefter tørret i en cyklontørrer og fyldt i sække.



Figur 6.3.1 Fabrikationsprocessen opstillet i flowdiagram.

RC Plast har energiledelse efter ISO50001 og har gennem de seneste 3 år arbejdet intensivt med registrering af energiforbrug. Virksomheden har nøgletal i kWh/kg for hvert af deres produkter.

4.3.2 Nøgletalsanalyse

I tæt dialog med RC Plast er de væsentlige faktorer som har indflydelse på energiforbruget identificeret. De er ud over selve procesenergiforbruget, fugtigheden i råvareprodukterne og udetemperaturen.

Materialets fugtighed har indflydelse på energiforbruget, da der skal bruges mere energi på udtørring inden det kan indgå i processen. Der måles ikke på materialets fugtighed i dag.

Udetemperaturen har indflydelse på energiforbruget, da frikølerne som køler kølevandet til ekstruderen kan klare kølingen uden at starte kølekompressorerne, når udetemperaturen er under 12°C. Ved en udetemperatur over 12°C kombineres frikølingen med kompressorkøling, hvilket betyder at energiforbruget vil stige i takt med at udetemperaturen stiger.

Figur 6.3.2 viser data for linje A. For at få indblik i, hvor stor indflydelse udetemperaturen har på energiforbruget, blev det besluttet kun at medtage data fra dage, hvor udetemperaturen overstiger 12°C.

Tabellen renses for weekender og perioder, hvor der ikke er registreret produktion eller energiforbrug.

Linje A

Dato	Forbrug	Produktion	Graddage 12
4. april 2017	7.907	27433	0,1
5. april 2017	7.843	26858	0
6. april 2017	8.139	24981	0
7. april 2017	2.494	2283	0
9. april 2017	1.165	10384	0,1
10. april 2017	7.657	22757	0
11. april 2017	8.183	22143	0
12. april 2017	3.712	3337	0
18. april 2017	5.529	22063	0
19. april 2017	7.696	21549	0
20. april 2017	7.704	27152	0
21. april 2017	3.311	7525	0
24. april 2017	4.692	19781	0
25. april 2017	8.523	29215	0
26. april 2017	7.923	31965	0
27. april 2017	8.544	29612	0
28. april 2017	3.589	5363	0
2. maj 2017	4.997	18195	0,5
3. maj 2017	8.151	22797	1,5
4. maj 2017	7.783	27349	0,7
5. maj 2017	3.447	6833	0,7
8. maj 2017	5.731	25453	0
9. maj 2017	6.967	23859	0
10. maj 2017	6.448	11075	0
11. maj 2017	3.196	6659	0,5
14. maj 2017	1.775	11030	1,8
15. maj 2017	7.610	25904	1,5
16. maj 2017	7.371	20805	1,5
17. maj 2017	7.957	24384	4,6
18. maj 2017	7.111	21774	3,9
19. maj 2017	3.137	4481	2,4
22. maj 2017	6.324	26620	2,4
23. maj 2017	7.966	27363	2
24. maj 2017	5.567	12303	1,4
29. maj 2017	2.921	20912	0,4
30. maj 2017	6.227	30632	1,7
31. maj 2017	6.217	24031	0,5

Figur 6.3.2 Eksempel på produktion og graddage samt tilhørende elforbrug for proceslinje A.

4.3.3 Regressionsanalyse

RC Plast har tre ens proceslinjer, og der er udarbejdet en analyse for alle tre linjer for at generere nøgletal for hver linje. I beregningerne for linje A og C blev resultaterne næsten ens, så der er derfor kun medtaget eksemplet for linje A og B.

Linje A

Datasættet blev analyseret ved hjælp af regressionsanalyseværktøjet som er udviklet i forbindelse med projektet og resultaterne er vist i figur 6.3.3.

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,80829291
R-kvadreret	0,653337428
Justeret R-kvadreret	0,649800055
Standardfejl	1234,514743
Observationer	199

ANAVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>signifikans F</i>
Regression	2	562962175,1	281481087,6	184,6956466	8,14E-46
Residual	196	298709223,5	1524026,65		
I alt	198	861671398,6			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	2106,408546	240,8777185	8,744721427	1,01288E-15	1631,364	2581,453424
X-variabel 1	0,198633891	0,010337655	19,21459783	5,91286E-47	0,178247	0,219021208
X-variabel 2	55,42382127	50,83114578	1,090351603	0,276896945	-44,8224	155,6700192

Figur 6.3.3 Resultat af regressionsanalyse linje A.

I figur 6.3.3 ses resultaterne af analysen hvor R^2 -værdi er på 0,65 hvilket er acceptabelt, men ikke optimalt. Modellens nøjagtighed skal helst være så tæt på 1 som muligt. Der er valgt et konfidensniveau på 95%, hvilket samtidig betyder at der er valgt et signifikansniveau på 5%. Det betyder at P-værdien helst skal være under 0,05. For denne regression er X-variabel 1 signifikant, mens X-variabel 2 er insignifikant $> 0,05$.

Ovenstående betyder at der kan være værdier i tabellen som laver "støj" i beregningen, hvilket der er mulighed for at afhjælpe ved at bruge "Fjern outliers" i programmet. Inden der fjernes Outliers bør det altid diskuteres med virksomheden, hvorfor disse outliers er opstået. Outliers funktionen fjernede ved dette eksempel 11 linjer, hvorefter regressionen genberegnes med "Udfør lineær regression".

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,852691995
R-kvadreret	0,727083638
Justeret R-kvadreret	0,724133191
Standardfejl	1004,876267
Observationer	188

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>signifikans F</i>
Regression	2	497681739,1	248840869,6	246,4316765	6,8E-53
Residual	185	186808617,8	1009776,312		
I alt	187	684490356,9			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	2217,687567	206,517884	10,73847709	3,23212E-21	1810,255	2625,120493
X-variabel 1	0,196338093	0,008847842	22,19050562	4,95753E-54	0,178882	0,213793736
X-variabel 2	83,95370679	42,71940574	1,96523583	0,050883884	-0,32612	168,2335385

Figur 6.3.4 Regression hvor der er brugt outlier "filtret".

Den nye regression viste en optimering, idet at R^2 -værdien og P-værdierne steg, samt at signifikansen F blev mindre.

I dette eksempel er der lavet to udtryk for at vise, at resultaterne kan blive bedre ved at bruge Outliers og ikke outliers.

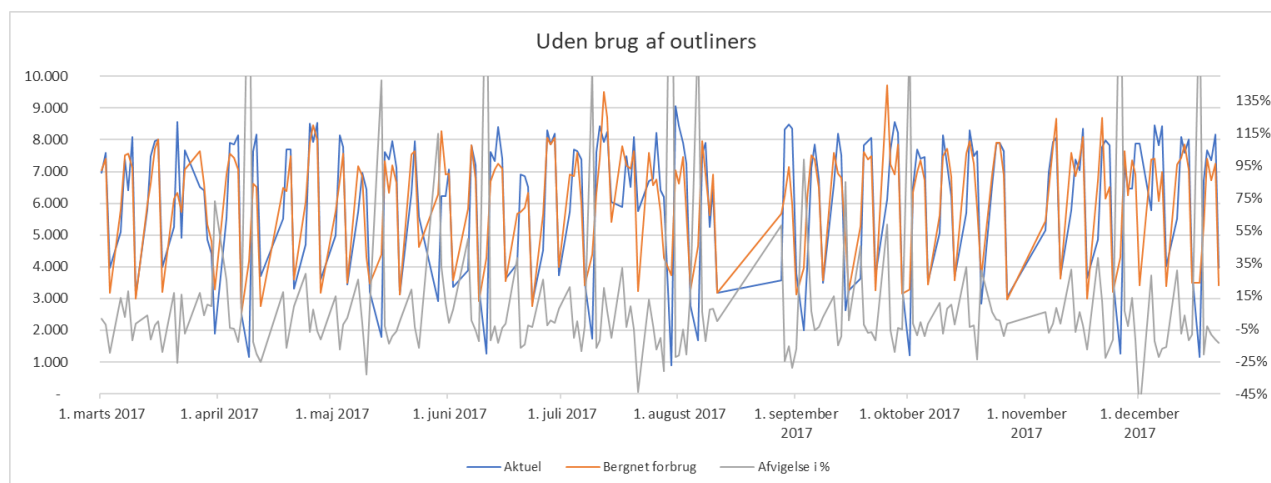
Scenarie for linje A uden brug af outliers

Energiforbrug [kWh/døgn] = (0,20 x Produktion [kg/døgn]) + (55,42 x Kølegraddage 12 [kølegraddag /dag]) + 2106,41

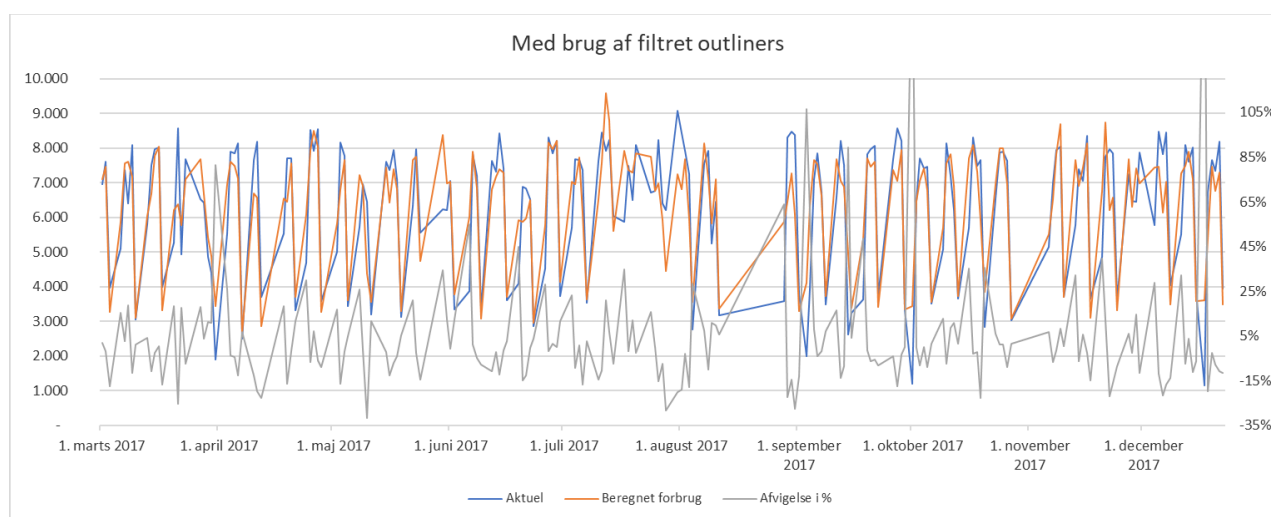
Scenarie for linje A med brug af outliers

Energiforbrug [kWh/døgn] = (0,20 x Produktion [kg/døgn]) + (83,96 x Kølegraddage 12 [kølegraddag /dag]) + 2217,69

Sammenhængen mellem scenarierne og de aktuelle forbrug er vist med figur 6.3.5 og figur 6.3.6, idet figur 6.3.5 viser sammenhængen før brug af outliers filtret og figur 6.3.6 viser sammenhængen efter brug af filtret.



Figur 6.3.5 Plot af linje A med aktuel og målt forbrug i samt afvigelse i forhold til det aktuelle forbrug uden brug af outliers filtret.



Figur 6.3.6 Plot af linje A med aktuel og beregnede forbrug, samt afvigelser i forhold til det aktuelle forbrug, med brug af outliers filtret.

Som det ses af figur 6.3.5 og figur 6.3.6, er der en bedre sammenhæng mellem det aktuelle og det beregnede forbrug, når outliers filtret anvendes. I dette eksempel er filtret kun anvendt én gang. Flere outliers kunne fjernes ved at anvende filterfunktionen flere gange.

Filterfunktionen outliers bør ikke anvendes uden der har været dialog med energi- og driftsfolk i virksomheden. Outlier funktionen kan fjerne data som giver et billede på mulig energioptimering af driften eller afsløre problemer med dataopsamling, som kan lede til misinformation af driftsfolkene og dermed ineffektiv drift. Endvidere kan driftsfolk have forskellig opfattelse af hvad god drift er.

Der er lavet regressionsanalyser for alle tre linjer, hvor linje A og C regressionen ligner meget hinanden, men linje B har en anden profil.

Resultaterne for linje C ses i figur 6.3.7 og figur 6.3.8.

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,79260979
R-kvadreret	0,62823028
Justeret R-kvadreret	0,623777948
Standardfejl	1296,156696
Observationer	170

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	2	474106967,1	2,37E+08	141,1014011	1,31184E-36
Residual	167	280563704,1	1680022		
I alt	169	754670671,2			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	2033,612484	229,9568749	8,843452	1,26951E-15	1579,615305	2487,61
X-variabel 1	0,201970273	0,012067499	16,73671	1,50163E-37	0,17814576	0,225795
X-variabel 2	97,54373638	59,29930643	1,644939	0,101863396	-19,52916208	214,6166

Figur 6.3.7 Regression af data fra linje C uden brug af outliers filtret.

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,827327846
R-kvadreret	0,684471365
Justeret R-kvadreret	0,680502451
Standardfejl	1140,248719
Observationer	162

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	2	448448747,4	2,24E+08	172,4581146	1,49136E-40
Residual	159	206726575,3	1300167		
I alt	161	655175322,8			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	2197,087821	205,9582143	10,66764	2,23024E-20	1790,321128	2603,855
X-variabel 1	0,199137357	0,01076163	18,50439	1,68931E-41	0,177883178	0,220392
X-variabel 2	94,96119741	53,09379513	1,788555	0,075590479	-9,898846899	199,8212

Figur 6.3.8 Regression af data fra linje C med brug af outliers filtret.

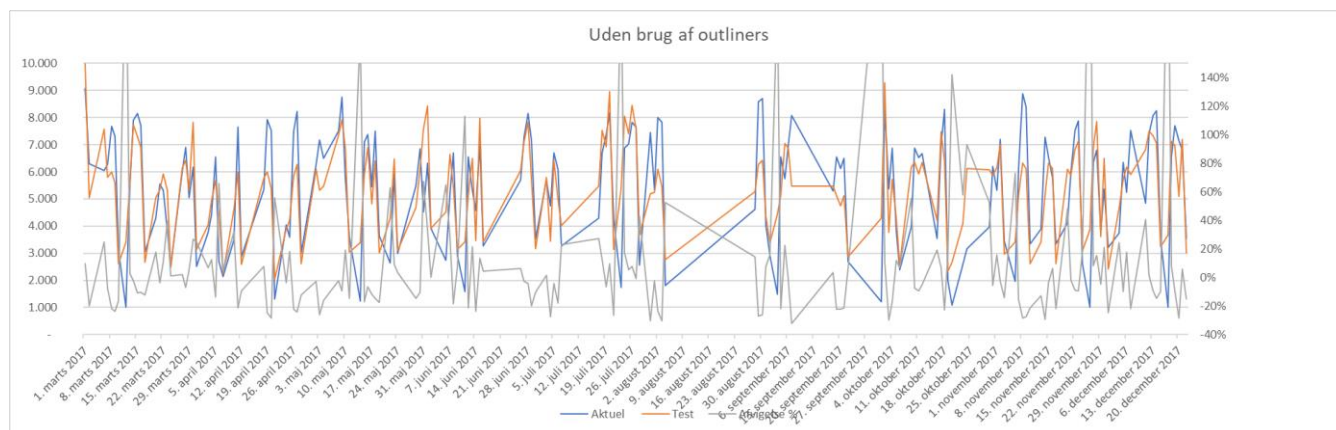
Scenarie for linje C uden brug af outliers

Energiforbrug [kWh/døgn] = (0,2020 x Produktion [kg/døgn]) + (97,54 x Kølegraddage 12 [kølegraddag /dag]) + 2033,61

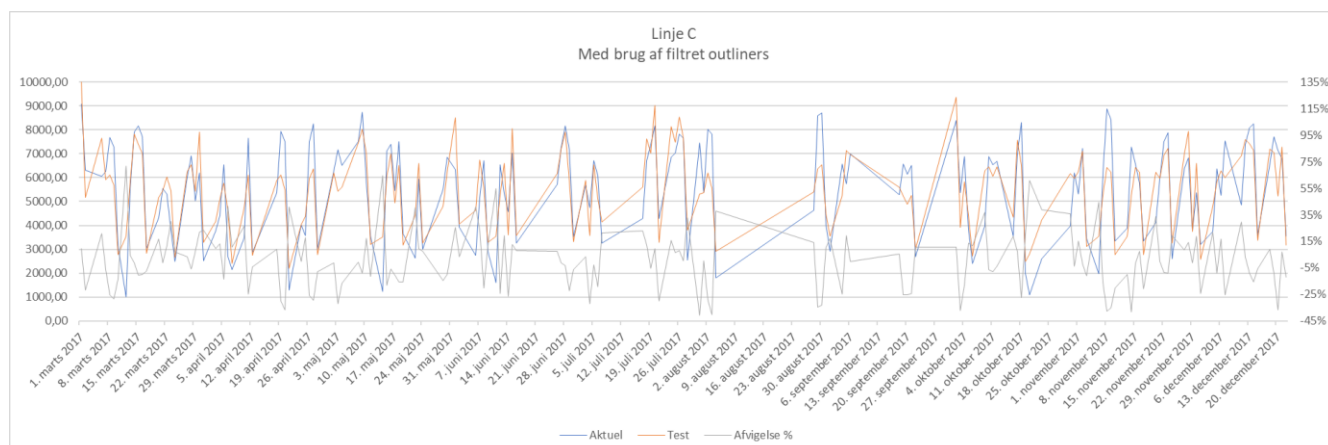
Scenarie for linje C med brug af outliers

Energiforbrug [kWh/døgn] = (0,1991 x Produktion [kg/døgn]) + (94,96 x Kølegraddage 12 [kølegraddag /dag]) + 2197,09

Resultaterne er illustreret i figur 6.3.9 og figur 6.3.10.



Figur 6.3.9 Linje C plot af aktuel og beregnet forbrug samt den potentielle afvigelse uden brug af outliers filtret.



Figur 6.3.10 Linje C plot af aktuel og beregnet forbrug samt den potentielle afvigelse med brug af outliers filtret.

Regression af linje B

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,82197115
R-kvadreret	0,675636572
Justeret R-kvadreret	0,672204154
Standardfejl	1224,251629
Observationer	192

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	2	590044073,8	295022036,9	196,8398729	6,20173E-47
Residual	189	283271697,7	1498792,051		
I alt	191	873315771,5			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	1963,758689	238,1222689	8,246850234	2,6977E-14	1494,039873	2433,477505
X-variabel 1	0,201516802	0,010160773	19,83282114	4,60942E-48	0,18147371	0,221559894
X-variabel 2	-125,7781807	50,89634328	-2,471261639	0,014348903	-226,176057	-25,38030442

Figur 6.3.11 Regression af data fra linje B uden brug af outliers filtret.

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,846671339
R-kvadreret	0,716852357
Justeret R-kvadreret	0,713688696
Standardfejl	1036,800014
Observationer	182

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	2	487146724,6	243573362,3	226,589511	9,01901E-50
Residual	179	192416814,2	1074954,27		
I alt	181	679563538,9			

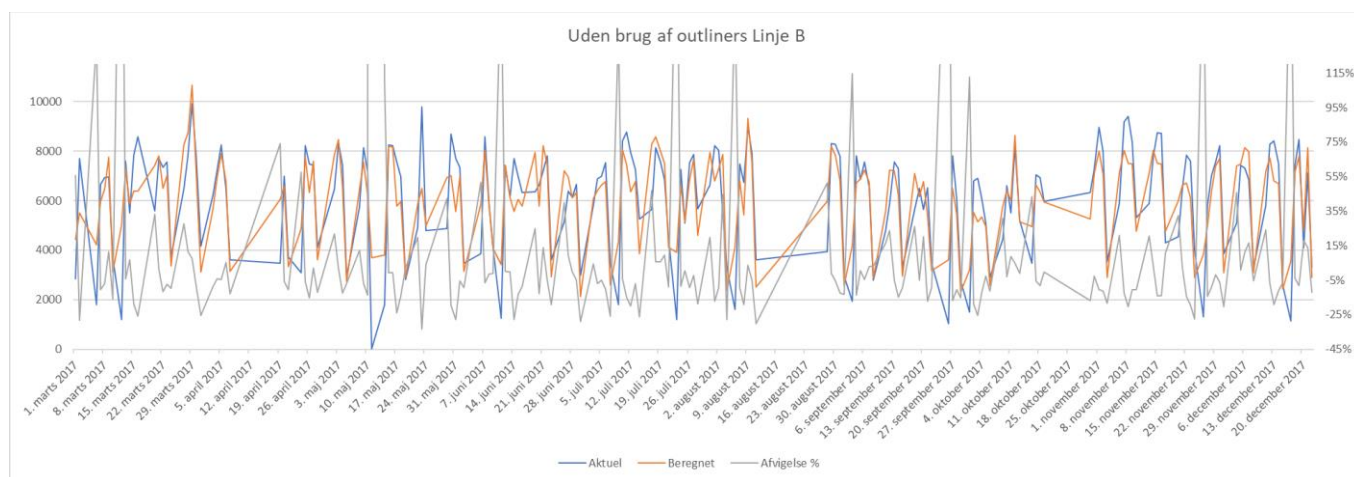
	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	2349,043441	209,2925296	11,22373285	1,789E-22	1936,045354	2762,041527
X-variabel 1	0,188591953	0,008862088	21,28075877	6,6132E-51	0,171104347	0,206079559
X-variabel 2	-116,8579413	43,96118058	-2,658207531	0,008567203	-203,6067778	-30,10910476

Figur 6.3.12 Regression af data fra linje B, hvor ved brug af outliers filtret.

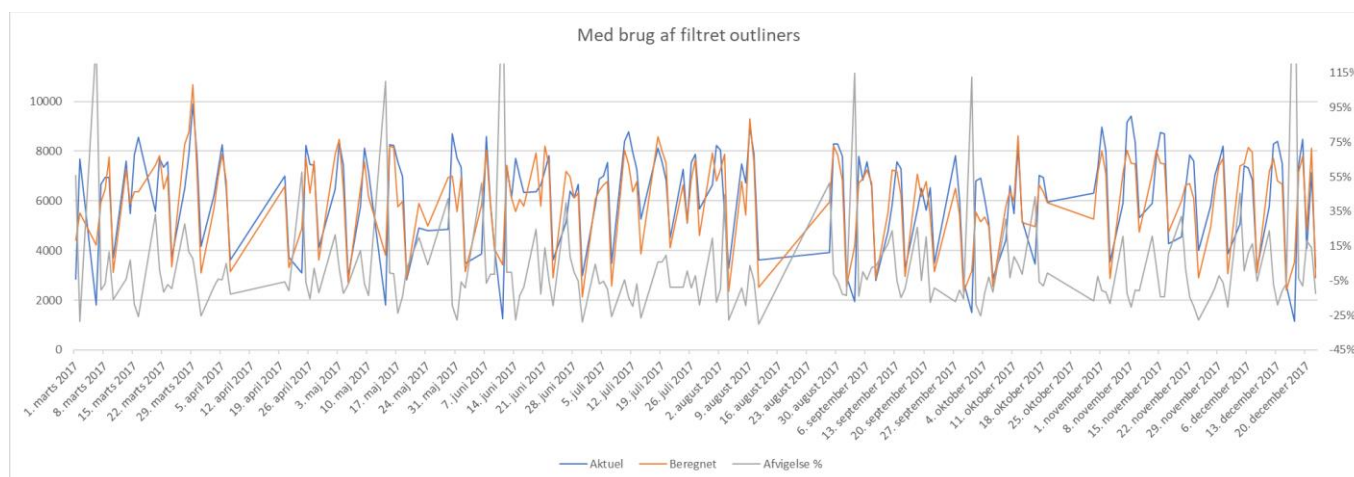
Ovenstående to analyser af linje B er udført med og uden fjernelse af outliers for at forbedre modellen. Af figurer 6.3.11 og 6.3.12 ses, at P værdien er $<0,05$ og den justerede R2 er $>0,67$, hvilket ikke er specielt godt men brugbart i en model. Det der gør at modellen ikke vil give retvisende resultater er, at koefficienten til X-variabel 2 (kølegraddage) er negativ. Dette kan skyldes flere forhold:

1. Datasættet er ikke spredt ud over hele x-aksen, men ligger i et mindre interval, som vist på figur 6.3.13. Hvis modellen ikke er lineær gælder modellen kun i det interval, hvor der findes data
2. Yderligere forhold der kan føre til ovenstående resultat kan være dårlig datakvalitet, eller at der taget variabler med i modellen, som ikke påvirker energiforbruget.

Da koefficienten er negativ vil det i princippet sige, at jo varmere det er og jo hårdere kølekompressorerne skal køre des lavere bliver energiforbruget. Dette er indlysende ikke korrekt, da energiforbruget bør stige ved øget kompressordrift. Vi kan derfor udlede, at denne regression ikke er retvisende.



Figur 6.3.14 Linje B plot af aktuel- og beregnet forbrug samt den potentielle forskel uden brug af outliers filtret.



Figur 6.3.15 Plot af aktuel- og beregnet forbrug med brug af outliers filtret.

I figur 6.3.15 kan det ses, at der stadig er mange outliers (høje procentuelle afvigelser) ligesom det ses med figur 6.3.14. Afvigelserne stadig er væsentlige hvilket kan betyde, at de data, som er til rådighed ikke er optimale. Det kan også skyldes, at der er forhold i produktionen, som bør undersøges nærmere. Virksomheden mente, at der var en forklaring på nogle af afvigelserne, som skyldes ændring i produktionen eller meget høje vandprocenter, men der var alligevel for mange afvigelser til, at de mente, analysen var retvisende.

Analysen af sammenhængen mellem energiforbrug, produktion og kølegraddage (udetemperatur > 12°C) på dagsniveau har derfor vist sig ikke at være retvisende og brugbar. Selv om enkelte regressioner på linjerne havde P-værdier, som lå inden for 0,05, var der store afvigelser mellem det beregnede og aflæste forbrug.

Efter aftale med RC Plast blev der udført nye analyser med baggrund i månedsværdier og ikke dagsværdier, da de mente, at variationen i produktionen og vejrdata var for store. Analysen på månedsniveau viste de samme tendenser som i analysen med dagsværdier, altså med negativ koefficient og store afvigelser mellem det aflæste forbrug og det beregnede forbrug.

Efter yderligere samtale med virksomheden blev der lavet yderligere en analyse, men nu blev det aftalt at udelukke kølegraddagene. Dette med en begrundelse i, at kompressorerne kobles ind løbende efter at kølevandet har været igennem frikølerne, så alt efter hvor varmt kølevandet er (afhænger af det produkt som produceres) ikke altid får kompressorerne til at starte, når udetemperaturen er over 12°C. Samtidig kan vores opfattelse af at kølekompressorerne/udetemperaturen har en væsentlig indflydelse på energiforbruget vise sig ikke være korrekt i forhold til energiforbruget til ekstruderne.

Nedenstående er vist resultaterne af de nye beregninger, hvor kun produktionsmængden og det tilhørende energiforbrug er vist.

I alle tre analyser kan det ses, at P-værdierne er særdeles signifikante (< 0,05) og Justeret R-kvadreret er tæt på 1. De efterfølgende beregninger af energiforbruget er lavet ud fra resultaterne fra Resumeoutputtet:

Beregnet forbrug = (Produktion x (koefficient X-variabel 1) + koefficient Skæring

Linje A

Måned data		
Måned	Aflæst forbrug [kWh]	Produktion
Marts	132.414	436.427
April	110.146	358.601
maj	116.903	392.459
Juni	128.117	403.175
Juli	149.979	473.161
August	87.163	254.454
September	128.251	425.664
Oktober	129.129	427.787
November	125.434	435.730
December	110.517	329.690

Figur 6.3.16 Sammenhæng mellem produktion og aflæst energiforbrug.

RESUMEOUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,962488493
R-kvadreret	0,9263841
Justeret R-kvadreret	0,917182112
Standardfejl	4836,449197
Observationer	10

ANOVA

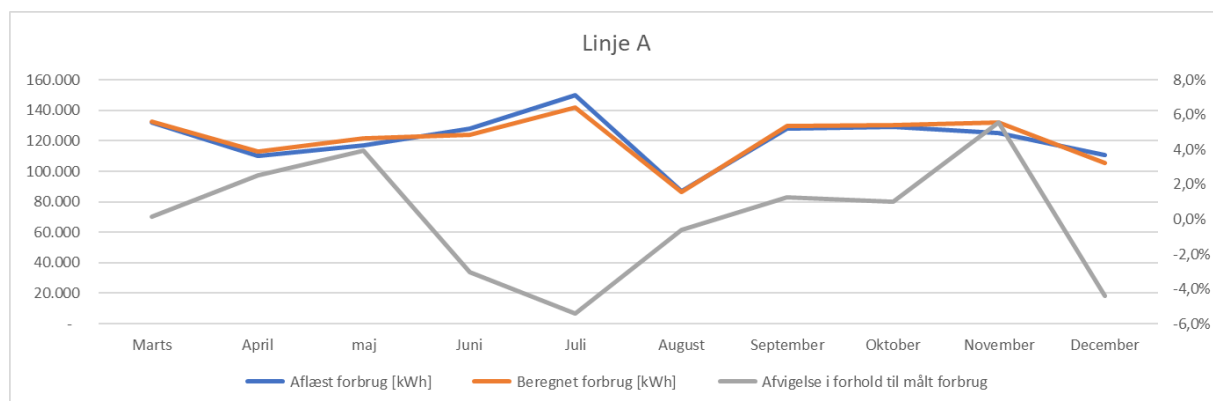
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	1	2354847099	2354847099	100,6721754	8,27849E-06
Residual	8	187129926,7	23391240,83		
I alt	9	2541977026			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	22344,65683	10030,09547	2,227761131	0,056493963	-784,784805	45474,09846
X-variabel 1	0,252621042	0,025177627	10,03355248	8,27849E-06	0,19456133	0,310680754

Figur 6.3.17 Resultat af regressionsanalysen for linje A.

Måned	Aflæst forbrug [kWh]	Beregnet forbrug [kWh]	Afvigelse i forhold til målt forbrug
Marts	132.414	132.595	0,1%
April	110.146	112.935	2,5%
maj	116.903	121.488	3,9%
Juni	128.117	124.195	-3,1%
Juli	149.979	141.875	-5,4%
August	87.163	86.625	-0,6%
September	128.251	129.876	1,3%
Oktober	129.129	130.413	1,0%
November	125.434	132.419	5,6%
December	110.517	105.631	-4,4%

Figur 6.3.18 Resultat af beregning af beregnet forbrug ud fra regressionsligningen samt afvigelserne mellem det aflæste og beregnede forbrug for linje A.



Figur 6.3.19 Graf af beregnet og aflæst forbrug samt afvigelserne mellem det beregnede og aflæste forbrug linje A.

Linje B

Måned data		
Måned	Aflæst forbrug [kWh]	Produktion
Marts	134.280	459.039
April	72.858	233.260
maj	112.856	391.396
Juni	128.077	465.023
Juli	135.499	487.255
August	88.001	329.039
September	109.625	373.551
Oktober	96.244	315.902
November	153.145	493.422
December	97.961	342.179

Figur 6.3.20 Sammenhæng mellem produktion og aflæst energiforbrug linje B.

RESUMEOUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,974122186
R-kvadreret	0,948914033
Justeret R-kvadreret	0,942528287
Standardfejl	5954,536627
Observationer	10

ANOVA

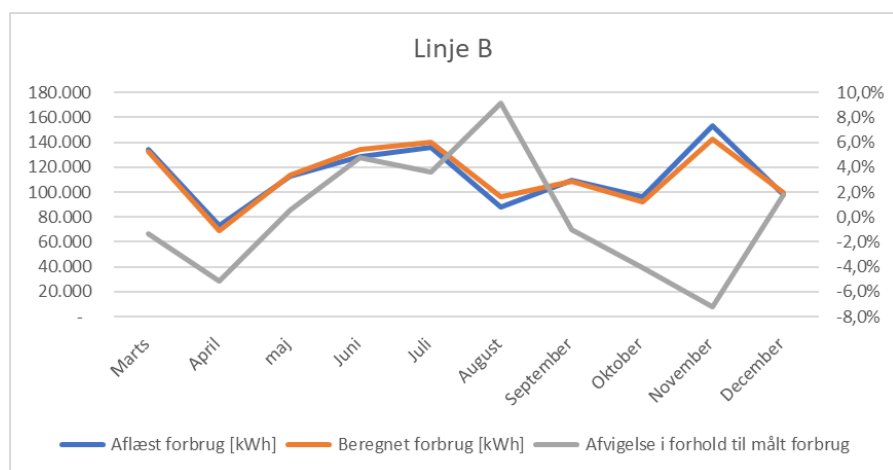
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	1	5268793475	5268793475	148,5987765	1,90168E-06
Residual	8	283652051,6	35456506,44		
I alt	9	5552445526			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	3663,654033	9153,118208	0,400262943	0,699438494	-17443,4744	24770,78247
X-variabel 1	0,280691757	0,023026188	12,19010978	1,90168E-06	0,227593273	0,333790241

Figur 6.3.21 Resultat af regressionsanalysen for linje B.

Måned	Aflæst forbrug [kWh]	Beregnet forbrug [kWh]	Afvigelse i forhold til målt forbrug
Marts	134.280	132.512	-1,3%
April	72.858	69.138	-5,1%
maj	112.856	113.525	0,6%
Juni	128.077	134.192	4,8%
Juli	135.499	140.432	3,6%
August	88.001	96.022	9,1%
September	109.625	108.516	-1,0%
Oktober	96.244	92.335	-4,1%
November	153.145	142.163	-7,2%
December	97.961	99.710	1,8%

Figur 6.3.22 Resultat af beregning af beregnet forbrug ud fra regressionsligningen samt afvigelserne mellem det aflæste og beregnede forbrug for linje B.



Figur 6.3.23 Graf af beregnet og aflæst forbrug samt afvigelserne mellem det beregnede og aflæste forbrug linje B.

Linje C

Månedss data		
Måned	Aflæst forbrug [kWh]	Produktion
Marts	127321	407950
April	82040	208261
Maj	106366	314621
Juni	87940	263659
Juli	98462	304280
August	48967	110243
September	58982	153186
Oktober	90018	295553
November	122953	368029
December	91007	284176

Figur 6.3.24 Sammenhæng mellem produktion og aflæst energiforbrug linje C.

RESUMEOUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,983281555
R-kvadreret	0,966842616
Justeret R-kvadreret	0,962697943
Standardfejl	4780,077944
Observationer	10

ANAVA

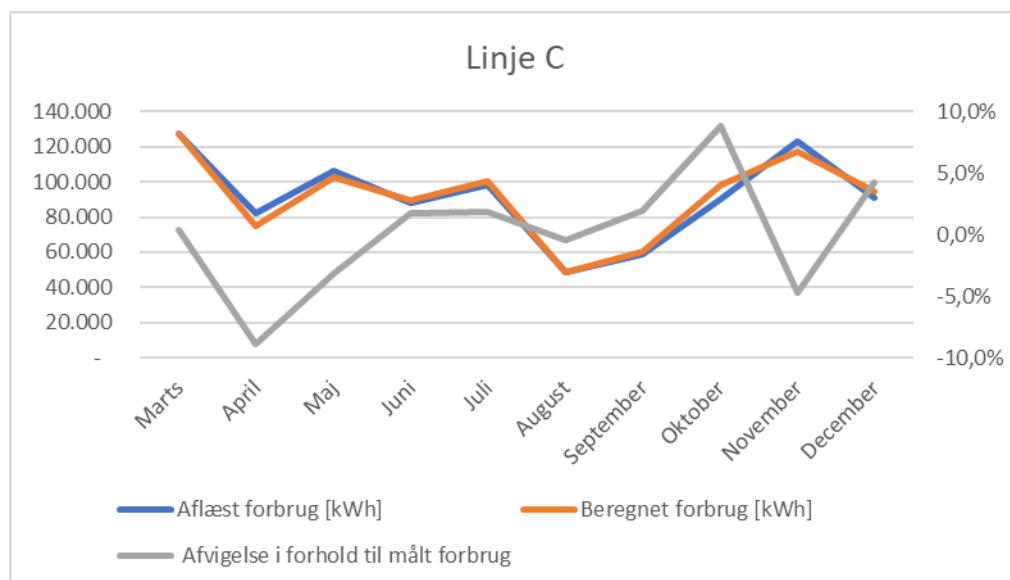
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	1	5330101361	5330101361	233,2735569	3,34982E-07
Residual	8	182793161,2	22849145,15		
I alt	9	5512894522			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	19482,38113	4945,743496	3,939221908	0,004300594	8077,476178	30887,28609
X-variabel 1	0,265403445	0,01737696	15,27329555	3,34982E-07	0,225332103	0,305474786

Figur 6.3.25 Resultat af regressionsanalysen for linje C.

Måned	Aflæst forbrug [kWh]	Beregnet forbrug [kWh]	Afvigelse i forhold til målt forbrug
Marts	127.321	127.754	0,3%
April	82.040	74.756	-8,9%
Maj	106.366	102.984	-3,2%
Juni	87.940	89.458	1,7%
Juli	98.462	100.239	1,8%
August	48.967	48.741	-0,5%
September	58.982	60.138	2,0%
Oktober	90.018	97.923	8,8%
November	122.953	117.159	-4,7%
December	91.007	94.904	4,3%

Figur 6.3.26 Resultat af beregning af beregnet forbrug ud fra regressionsligningen samt afvigelserne mellem det aflæste og beregnede forbrug for linje C.



Figur 6.3.27 Graf af beregnet og aflæst forbrug samt afvigelserne mellem det beregnede og aflæste forbrug linje C.

Den sidste analyse hos RC Plast A/S på energiforbrug og produceret mængde er særdeles anvendelig, da virksomheden arbejder med løbende energioptimering. De kan via denne regressionsanalyse se, om energiforbruget er som forventet og reagere, hvis afvigelsen bliver for stor.

6.4 Primo Danmark A/S

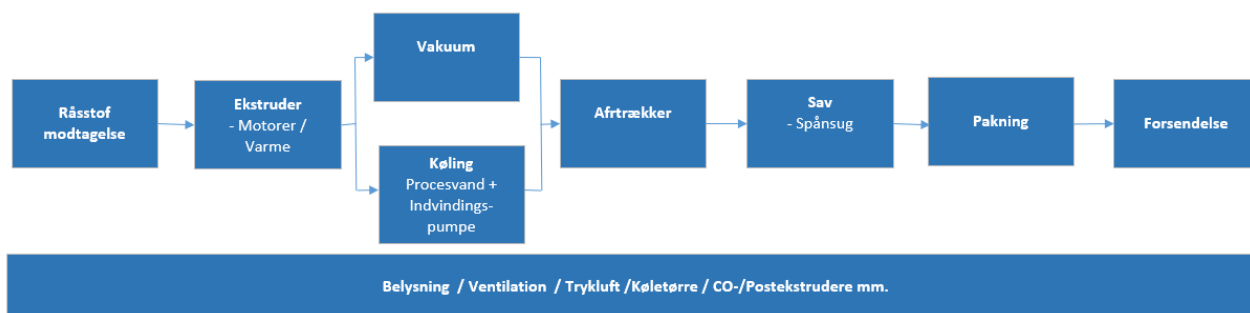
Primo Danmark er en virksomhed i Inter Primo gruppen, der har hovedsæde i København og kunder i Europa, Amerika og Asien. Produktionen af plast finder sted på 15 lokationer i 9 lande, og koncernen beskæftiger omkring 1.000 medarbejdere.

Primo blev grundlagt i 1959, og har specialiseret sig i at skræddersy profiler i plast til at løse kundernes behov. Primo Danmark er det ældste selskab i koncernen og beskæftiger ca. 150 medarbejdere.

4.4.1 Beskrivelse af produktionen

Primo Danmark producerer forskellige former for plastlister som f.eks. feje/fodlister og vindueslister. Processen kan kort beskrives således:

Råmateriale (granulat) ledes frem til ekstrudererne, hvor det ekstruderes til det ønskede produkt. Alt efter slutprodukt anvendes der forskellige råmaterialer (granulat), som har forskellige smeltetemperaturer. I processen kan der også være en Co-/postekstruder, som gør, at det færdige produkt kan bestå af forskellige materialer. Efter ekstruderingen køles det færdige produkt med vand og kortes op i passende længder.



Figur 6.4.1 Virksomhedens procesflow.

Ved projektets opstart blev der afholdt en workshop med den energi- og den kvalitetsansvarlige. Formålet var at skabe en fælles forståelse af metoden til at udarbejde energimodeller ved hjælp af regressionsanalyse samt at finde frem til relevante parametre (drivere), der kunne have indflydelse på energiforbruget.

Et af resultaterne fra denne workshop var, at bearbejdningstemperaturen og mængden af råvarer til ekstruderen havde en indflydelse på energiforbruget.

Primo Danmark begyndte derefter at samle data til energimodellen. I nedenstående tabel ses et eksempel på indsamlede data for produktionen, hvor venstre kolonne er bearbejdings-/smeltetemperaturen på råvaren, og derefter mængden af råvarer forbrugt på de enkelte linjer.

Det registrerede energiforbrug [kWh/mdr] som bruges i regressionen, er målinger fra hovedmålerne, hvorfra der er fratrukket fællesforbrug, som ikke umiddelbart har noget med processen at gøre. Dette er f.eks. belysning, som dækker hele fabrikken og kompressorer.

Temperatur	jan-18			
140-160	19.336,82	73.294,12	1.154,00	
160-180	4.621,76	62.678,93	1.183,00	45.564,85
180-200	15.323,86	110.169,74	186.438,38	
200-220	69.211,23	10.531,00		
220-240	-	-		
240-270	-	985,00		
270-300	100,00	-		
Sum	108.593,67	257.658,78	188.775,38	45.564,85

Figur 6.4.2 Eks. produktionsdata for januar måned.

6.4.1.1 SP/VA linjen

Det var vigtigt, at der blev brugt data for et helt kalenderår, da dette afspejler en hel cyklus i forhold til årshjulet for produktionen og energiforbruget.

I nedenstående tabel er vist, hvilke data som var til rådighed for SP/VA linjen. Analysen blev udarbejdet for månederne februar-januar, da der var manglende data for januar 2018.

SP/VA	kWh	Forarbejdningstemperatur						
		140-160	160-180	180-200	200-220	220-240	240-270	270-300
Jan	-78.427	75.602	65.045	483.047	10.531		985	
Feb	179.431	109.685	52.728	236.928	9.541		1.060	
Mar	188.388	84.187	63.946	276.230	20.277	2.197	1.235	
Apr	191.747	83.495	67.861	311.660	16.323	-	744	
Maj	223.749	96.513	69.430	333.434	14.753	2.302	623	
Jun	206.037	97.979	64.513	270.718	28.709	44	2.921	
Jul	108.633	47.159	30.092	157.923	10.098		250	
Aug	179.396	60.803	56.368	279.853	17.653	1.574	377	
Sep	210.371	88.612	84.073	289.773	28.956		1.072	
Okt	211.248	73.225	71.092	396.658	17.729		471	
Nov	210.402	123.044	71.016	351.171	17.154		574	
Dec	94.593	78.243	51.071	203.978	1.425			
Jan	158.341	33.846	53.058	286.391	16.025	2.215	2.127	

Figur 6.4.3 Tabel med råvareforbrug, forarbejdningstemperatur og energiforbrug.

Det ses, at der i figur 6.4.3 ikke var et råvareforbrug i temperaturområdet 270-300 i 2018, så denne kolonne blev udelukket i beregningen.

Data for energiforbrug, mængde og temperatur blev indtastet i det udarbejdede analyseværktøj.

Resultatet for SP/VA er vist nedenfor i resumeoutput.

RESUME OUTPUT

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,969106153
R-kvadreret	0,939166736
Justeret R-kvadreret	0,866166819
Standardfejl	14994,78623
Observationer	12

ANOVA					
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>
Regression	6	17356100057	2892683343	12,86531243	0,006578036
Residual	5	1124218070	224843614		
I alt	11	18480318127			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	4319,700045	23415,06941	0,18448376	0,860883121	-55870,65205	64510,05214
X-variabel 1	0,686775963	0,245825906	2,793749343	0,038274996	0,054860355	1,318691572
X-variabel 2	-0,563318157	0,792196454	-0,711083916	0,508818971	-2,599723972	1,473087658
X-variabel 3	0,366322878	0,119625058	3,062258733	0,028029783	0,058816877	0,673828878
X-variabel 4	2,926242416	1,132140854	2,58469819	0,049151463	0,015981701	5,836503131
X-variabel 5	7,383105475	4,976405262	1,48362223	0,198023998	-5,409151499	20,17536245
X-variabel 6	-2,838119536	7,773986169	-0,365079057	0,7299865	-22,82178717	17,1455481

Figur 6.4.4 Resumeoutput for SP/VA linjen på baggrund af de kolonner, hvor der var et råvareforbrug.

Ved regressionsanalysen beregnes korrelationskoefficienten R^2 (Justeret R-kvadreret). Denne værdi skal ligge mellem 0 og 1, og for denne regression er den 0,86, hvilket vil sige, at den er brugbar. Signifikansen F, skal, ligesom P-værdien, være under 0,05 som valgte signifikansniveau, hvilket er opfyldt her.

P-værdierne skal være under 0,05 svarende til 5%, da konfidensniveauet er valgt til 95%. I ovenstående figur 6.4.4 ses det, at P-værdien for X-variablerne 2, 5 og 6 er højere end 0,05, hvilket betyder, at de ikke bør inkluderes i regressionsanalysen. Koefficienterne for X-variabel 2 og 6 er ligeledes negativ, hvilket i dette tilfælde vil betyde, at energiforbruget vil falde, hvis virksomheden producerede mere i disse temperaturintervaller. Hvis vi f.eks. tænker os til, at virksomheden får en ordre, hvor der skulle produceres mere i temperaturniveau 240-270 og mindre i 140-160, vil det betyde, at energiforbruget vil falde, hvilket indlysende er forkert.

Det er dog ikke muligt at udelukke X-variablerne 2, 5 og 6 ved en ny regressionsanalyse, da produktionen i de tilhørende temperaturintervaller samlet set udgør ca. 14% af den samlede producerede mængde. Da flere af variablerne er insignifikante kan det betyde, at de er højt korreleret, og det kan derfor vise sig, at der alligevel vil være en sammenhæng mellem variablerne og energiforbruget. Den eneste måde, hvorpå det er muligt at kontrollere dette, er ved at lave en regressionsanalyse på hver af variablerne.

140-160

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	107136,6053	35605,7841	3,008966323	0,013140797	27801,97436	186471,2362
X-variabel 1	0,945949203	0,441414711	2,142994287	0,057742727	-0,037584064	1,92948247

Figur 6.4.5a Regressionsanalyse med en parameter.

160-180

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	29381,82123	33324,92006	0,881677171	0,398647967	-44870,72789	103634,3703
X-variabel 1	2,461420839	0,531761374	4,628807125	0,000937882	1,27658266	3,646259017

Figur 6.4.5b Regressionsanalyse med en parameter.

180-200

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	32340,57403	33713,93104	0,959264406	0,360044097	-42778,74558	107459,8936
X-variabel 1	0,522650142	0,116465894	4,487581076	0,001165267	0,263147959	0,782152326

Figur 6.4.5c Regressionsanalyse med en parameter.

200-220

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	116591,7889	21440,85331	5,437833427	0,000285718	68818,59058	164364,9872
X-variabel 1	3,84224778	1,18478861	3,2429817	0,008824741	1,202374247	6,482121313

Figur 6.4.5c Regressionsanalyse med en parameter.

220-240

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	176065,5101	14993,93178	11,74245106	3,5817E-07	142656,9481	209474,072
X-variabel 1	5,947219682	12,41261335	0,47912712	0,642153087	-21,70980639	33,60424575

Figur 6.4.5d Regressionsanalyse med en parameter.

240-270

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	180012,8861	13227,19003	13,60930672	8,87231E-08	150540,8701	209484,9021
X-variabel 1	0,035495389	0,89439416	0,039686517	0,969124202	-1,957338988	2,028329767

Figur 6.4.5e Regressionsanalyse med en parameter.

Det ses, at ikke alle variabler er signifikante (P -værdi $< 0,05$), og dette bekræfter endnu en gang, at der ikke i dette tilfælde er sammenhæng mellem variablerne og energiforbruget.

6.4.1.2 RA linjen

På samme måde som for ovenstående linje SP/VA, er der udført en analyse af data fra linje RA for at se, om der kunne findes en sammenhæng mellem forarbejdningstemperaturen, produktionsmængden og energiforbruget på denne linje.

RA	kWh	Forarbejdningstemperatur						
		140-160	160-180	180-200	200-220	220-240	240-270	270-300
Jan	-42354	19336,81791	4621,76433	15323,85652	69211,23143	0	0	100
Feb	83102	23173,43875	7493,82347	14806,736	80247,2723	147	0	5347
Mar	70777	19788,42295	4070,195	10006,95	82397,29659	0	0	3270
Apr	68750	26278,08952	5970,9	14050,756	78885,34842	198	0	1808
Maj	75037	23538,38406	9279,68	11277,64368	82067,27474	118	25,2	0
Jun	72272	22131,932	6055,45383	5786,78048	80894,51143	0	0	0
Jul	37563	9212,075	4558,6	9012,12	44497,54424	149	0	0
Aug	77197	20679,023	4787,8765	14405,9	114486,2966	0	0	0
Sep	71272	21672,99344	6386,222783	12390,9735	84459,45617	181,5375	0	0
Okt	83448	19105,34802	5017,025894	15952,60286	114254,137	180,8325	0	0
Nov	80813	15933,90738	6661,900717	15744,06504	107003,2614	93,8025	0	0
Dec	42265	18252,30788	3061,356137	7689,184972	76513,65854	0	0	0
Jan	80044	19952,3	4565,6	12263,6	115230,2	0	0	0

Figur 6.4.6 Tabel med råvareforbrug, forarbejdningstemperatur og energiforbrug.

RESUMEOUTPUT

Regressionsstatistik

Multipel R	0,982885054
R-kvadreret	0,96606303
Justeret R-kvadreret	0,906673332
Standardfejl	4584,522221
Observationer	12

ANOVA

	fg	SK	MK	F	Signifikans F
Regression	7	2393208573	341886939	16,26650855	0,008566526
Residual	4	84071375,98	21017844		
I alt	11	2477279949			

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	-12298,06368	8914,183394	-1,379606312	0,239812705	-37047,80453	12451,67717
X-variabel 1	-0,292280185	0,50333824	-0,580683449	0,592597925	-1,689771179	1,105210808
X-variabel 2	5,106710686	1,501812591	3,40036481	0,02726816	0,937010469	9,276410903
X-variabel 3	-2,24547973	1,335721885	-1,681098255	0,168038227	-5,95403822	1,463078759
X-variabel 4	0,888431088	0,210223928	4,226117819	0,013411678	0,304755892	1,472106284
X-variabel 5	55,32856779	41,30890774	1,339385881	0,251484221	-59,3633469	170,0204825
X-variabel 6	-289,2834518	313,1682	-0,923731885	0,407905064	-1158,777768	580,2108641
X-variabel 7	3,931505102	1,420642755	2,76741291	0,050464586	-0,012831522	7,875841726

Figur 6.4.7 Resumeoutput af data for RA linje hvor alle kolonne er medtaget da der var råvareforbrug i alle temperaturniveauer.

I resultatet af analysen kan det ses, at flere af parametrene ikke har en signifikant betydning for energiforbruget (P-værdi < 0,05).

For at tjekke om denne regression også er højt korreleret, da flere af variablerne er insignifikante, blev der udført en regression for hver af variablerne. Nedenfor ses resultaterne for disse.

140-160

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	31032,62279	18411,46496	1,685505356	0,122790872	-9990,677606	72055,92319
X-variabel 1	1,961254854	0,902393279	2,173392578	0,054854636	-0,04940267	3,971912378

Figur 6.4.8a Regressionsanalyse med en parameter.

160-180

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	45625,81656	14501,03927	3,146382525	0,010396711	13315,48756	77936,14556
X-variabel 1	4,344516778	2,464618481	1,762754281	0,108418741	-1,146995416	9,836028972

Figur 6.4.8b Regressionsanalyse med en parameter.

180-200

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	35306,46207	13760,32096	2,565816756	0,028091512	4646,556334	65966,36781
X-variabel 1	2,921196079	1,113779457	2,62277784	0,025475978	0,439540797	5,40285136

Figur 6.4.8c Regressionsanalyse med en parameter.

200-220

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	22093,04101	13478,09375	1,639181431	0,132213114	-7938,02333	52124,10535
X-variabel 1	0,544258436	0,148699128	3,660131987	0,004388127	0,212936131	0,875580741

Figur 6.4.8d Regressionsanalyse med en parameter.

220-240

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	69172,69974	6794,984238	10,17996471	1,34949E-06	54032,53136	84312,86812
X-variabel 1	11,67190052	56,8567886	0,205285962	0,841467252	-115,0129192	138,3567202

Figur 6.4.8e Regressionsanalyse med en parameter.

240-270

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	69773	4721,208815	14,77863038	4,03294E-08	59253,49121	80292,50879
X-variabel 1	208,8888889	648,9979	0,321863736	0,754183162	-1237,168547	1654,946325

Figur 6.4.8f Regressionsanalyse med en parameter.

270-300

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	68444,60829	4975,819759	13,75544364	8,01325E-08	57357,79096	79531,42561
X-variabel 1	2,034024035	2,642374636	0,769771253	0,459232927	-3,853553553	7,921601622

Figur 6.4.8g Regressionsanalyse med en parameter.

Også her er der flere af variablerne, som er insignifikante ($P\text{-værdi} > 0,05$) hvilket fortæller os, at der heller ikke i de regressioner er en sammenhæng mellem energiforbruget, bearbejdnings-temperaturen og produktionsmængden.

6.4.1.3 STD/CON linjen

På linje STD/CON bliver der kun produceret emner ved én forarbejdningsstemperatur, så der er udarbejdet en analyse på nedenstående data.

STD/CON	kWh	Forarbejdningstemperatur
		160-180
Feb	50.950	45.548
Mar	46.494	33.600
Apr	43.795	45.165
Maj	57.400	53.878
Jun	50.521	41.218
Jul	31.570	24.900
Aug	52.336	44.222
Sep	46.583	50.645
Okt	54.437	48.270
Nov	51.536	52.522
Dec	35.597	30.587
Jan	28.537	41.493

Figur 6.4.9 Tabel med råvareforbrug, forarbejdningstemperatur og energiforbrug.

RESUMEOUTPUT

Regressionsstatistik	
Multipel R	0,706450447
R-kvadreret	0,499072234
Justeret R-kvadreret	0,448979458
Standardfejl	6874,072439
Observationer	12

ANAVA

	fg	SK	MK	F	Signifikans F
Regression	1	470778383,1	470778383	9,962958	0,010220885
Residual	10	472528718,9	47252871,9		
I alt	11	943307102			

	Koefficienter	Standardfejl	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	14639,92042	10073,48625	1,4533122	0,176787	-7805,205678	37085,04652
X-variabel 1	0,730551767	0,231449818	3,15641539	0,010221	0,214849435	1,246254099

Figur 6.4.10 Resumeoutput af data for STD/CON linjen.

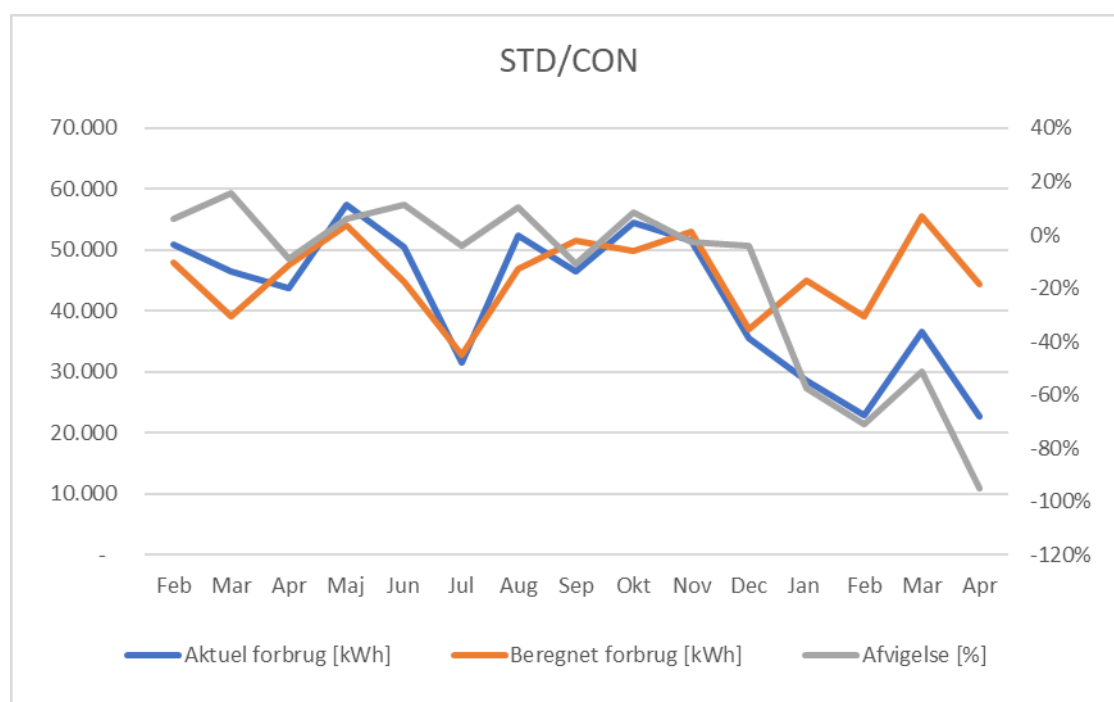
I resumeoutputet kan vi læse, at der er P-værdien er mindre end 0,05, hvilket er ok, og signifikanten (Signifikans F) er mindre end 0,05, som er det valgte signifikansniveau, hvilket også er ok. Korrelationskoefficienten R^2 (Justeret R-Kvadreret), som forklarer, hvor godt regressionsligningen forklarer variationen i Y, f.eks. energiforbruget. R^2 ligge altid mellem 0 og 1. En R^2 -værdi på 1 betyder, at regressionsligningen er helt perfekt.

Det er dog muligt for denne produktionslinje at udarbejde en regressionsligning, og i nedenstående er udtrykket vist. Det endelige udtryk for energiforbruget er:

$$\text{Energiforbrug [kWh/mdr.]} = (0,73055 \times 160-180 \text{ [kg/mdr.]}) + 14639,9$$

STD/con	kWh	160-180	Konstant	Aktuel forbrug	Beregnet forbrug	Dif	Afvigelse i forhold til det aktuelle forbrug
		0,730551767	14.639,92	kWh	kWh	kWh	%
Feb	50.950	45.548		50.950	47.915	3.035	6%
Mar	46.494	33.600		46.494	39.186	7.308	16%
Apr	43.795	45.165		43.795	47.635	-3.840	-9%
Maj	57.400	53.878		57.400	54.000	3.400	6%
Jun	50.521	41.218		50.521	44.752	5.769	11%
Jul	31.570	24.900		31.570	32.831	-1.261	-4%
Aug	52.336	44.222		52.336	46.946	5.390	10%
Sep	46.583	50.645		46.583	51.639	-5.056	-11%
Okt	54.437	48.270		54.437	49.904	4.533	8%
Nov	51.536	52.522		51.536	53.010	-1.474	-3%
Dec	35.597	30.587		35.597	36.985	-1.388	-4%
Jan	28.537	41.493		28.537	44.953	-16.416	-58%
Feb	22.845	33.448		22.845	39.075	-16.230	-71%
Mar	36.664	55.892		36.664	55.472	-18.808	-51%
Apr	22.764	40.770		22.764	44.425	-21.661	-95%

Figur 6.4.11 Tabel over råvareforbrug, energiforbrug ved de forskellige temperaturniveauer samt resultatet af beregnet forbrug ud fra regressionen og afvigelsen.



Figur 6.4.12 Graf over det aktuelle og beregnet energiforbrug og den procentuelle afvigelse mellem disse.

Ud fra grafen og tabellen kan det ses, at der er forholdsvis stor afvigelse mellem det beregnede og det aktuelle energiforbrug, og det kan skyldes at R^2 er forholdsvis langt fra 1, hvilket jo betyder, at hele regressionen ikke er så signifikant.

4.4.2 Konklusion

Det kan konkluderes, at det ikke er muligt ud fra de aktuelle data (mængde og bearbejdnings-temperatur) at opstille udtryk, som kan bruges til at beregne det forventede energiforbrug. Da det er undersøgt, om der er sammenhæng mellem bearbejdnings-temperaturen, mængde og

energiforbrug, og det ikke lykkedes, vil vi nu undersøge, om vi kan udelade bearbejdningstemperaturen. Måske er vores antagelse af, at temperaturen har stor indflydelse på energiforbruget forkert. Vi vil der for udarbejde en ny regression, men nu kun med mængde og energiforbrug.

SP/VA	kWh	Mængde
Feb	179.431	409.942
Mar	188.388	448.072
Apr	191.747	480.083
Maj	223.749	517.056
Jun	206.037	464.884
Jul	108.633	245.522
Aug	179.396	416.628
Sep	210.371	492.484
Okt	211.248	559.175
Nov	210.402	562.959
Dec	94.593	334.716
Jan	158.341	393.662
Feb	172.100	434.703
Mar	202.871	499.119
Apr	164.586	419.985

Figur 6.4.13 Tabel med det samlede råvareforbrug og energiforbrug.

RESUME OUTPUT						
<i>Regressionsstatistik</i>						
Multipel R		0,906589335				
R-kvadreret		0,821904223				
Justeret R-kvadreret		0,804094645				
Standardfejl		18141,84835				
Observationer		12				
ANOVA						
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>	
Regression	1	15189051512	15189051512	46,14956273	4,7796E-05	
Residual	10	3291266615	329126661,5			
I alt	11	18480318127				
	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfejl</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	504,473608	26964,3791	0,01870889	0,985441362	-59575,90708	60584,85429
X-variabel 1	0,404921648	0,059605619	6,793346946	4,7796E-05	0,272112053	0,537731242

Figur 6.4.14 Resumeoutput af data for SP/VA linje med en variabel.

I ovenstående Resumeoutput ses det, at P-værdien er mindre end 5 % (0,05), hvilket betyder, at alle parametrene kan inkluderes i ligningen.

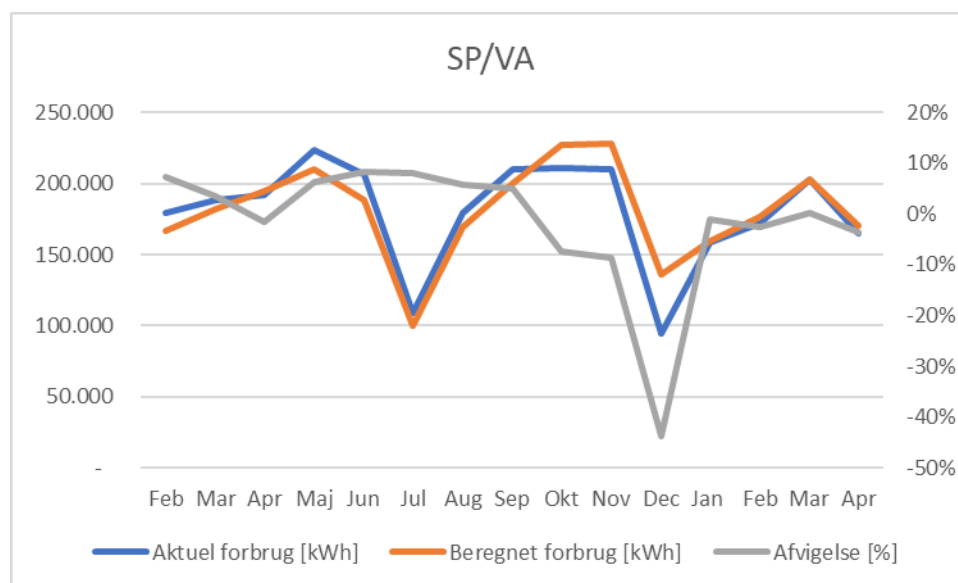
Ligningen for SP/VA er:

$$\text{Energiforbrug [kWh/mdr]} = 0,40492 \times \text{mængde} + 504,47$$

SP/VA	kWh	Mængde	Konstant	Nuværende forbrug	Beregnet forbrug	Dif	Afvigelse i forhold til det aktuelle forbrug
		0,40492165		kWh	kWh	kWh	%
Feb	179.431	409.942	504,47	179.431	166.499	12.932	7%
Mar	188.388	448.072	504,47	188.388	181.939	6.449	3%
Apr	191.747	480.083	504,47	191.747	194.900	-3.153	-2%
Maj	223.749	517.056	504,47	223.749	209.871	13.878	6%
Jun	206.037	464.884	504,47	206.037	188.746	17.291	8%
Jul	108.633	245.522	504,47	108.633	99.922	8.711	8%
Aug	179.396	416.628	504,47	179.396	169.206	10.190	6%
Sep	210.371	492.484	504,47	210.371	199.922	10.449	5%
Okt	211.248	559.175	504,47	211.248	226.926	-15.678	-7%
Nov	210.402	562.959	504,47	210.402	228.459	-18.057	-9%
Dec	94.593	334.716	504,47	94.593	136.038	-41.445	-44%
Jan	158.341	393.662	504,47	158.341	159.907	-1.566	-1%
Feb	172.100	434.703	504,47	172.100	176.525	-4.425	-3%
Mar	202.871	499.119	504,47	202.871	202.609	262	0%
Apr	164.586	419.985	504,47	164.586	170.566	-5.980	-4%

Figur 6.4.14 Tabel over råvareforbrug, energiforbrug ved de forskellige temperaturniveauer samt resultatet af beregnet forbrug ud fra regressionen og afvigelsen.

I ovenstående tabel er det beregnede forbrug beregnet ud fra ligningen samt differensen mellem det aktuelle og det beregnede forbrug, og afvigelsen i % i forhold til det aktuelle forbrug.



Figur 6.4.15 Graf over det aktuel og beregnet energiforbrug og den procentuelle afvigelse mellem disse.

Som det ses på grafen, er der sammenhæng mellem det aktuelle og det beregnede forbrug. Den sidste del af kurven (jan-apr), er de værdier, der er beregnet for 2018.

6.4.1.4 Linje RA

Med samme argumentation som for SP/VA blev der udarbejdet en ny regression for at se, om bearbejdningstemperaturen overhovedet har indflydelse på energiforbruget.

RA	kWh	Mængde
Feb	83.102	131.215
Mar	70.777	119.533
Apr	68.750	127.191
Maj	75.037	126.306
Jun	72.272	114.869
Jul	37.563	67.429
Aug	77.197	154.359
Sep	71.272	125.091
Okt	83.448	154.510
Nov	80.813	145.437
Dec	42.265	105.517
Jan	80.044	152.012
Feb	85.578	154.717
Mar	78.162	149.875
Apr	65.901	145.653

Figur 6.4.16 Tabel med det samlede råvareforbrug og energiforbrug for linje RA.

RESUME OUTPUT

Regressionsstatistik

Multipel R 0,873784
 R-kvadrere 0,763499
 Justeret R- 0,739849
 Standardfe 7654,271
 Observatio 12

ANAVA

	fg	SK	MK	F	ignifikans F
Regressior	1	1,89E+09	1,89E+09	32,28315	0,000203
Residual	10	5,86E+08	58587871		
I alt	11	2,48E+09			

	Koefficiente	standardfej.	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	2787,298	12070,63	0,230916	0,822036	-24107,8	29682,35
X-variabel 1	0,531086	0,093471	5,681827	0,000203	0,322819	0,739352

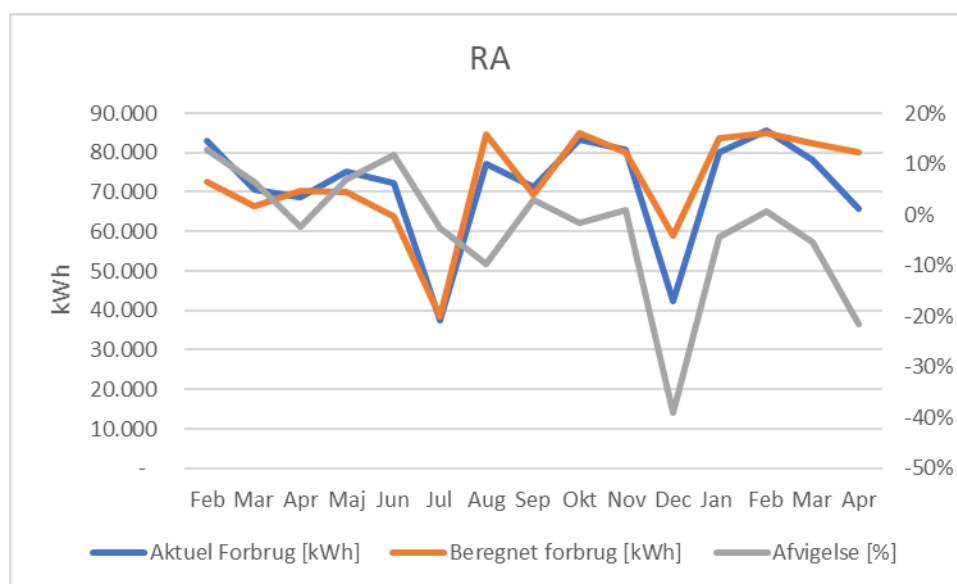
Figur 6.4.17 Resumeoutput af data for RA linje med en variabel.

I ovenstående resumeoutput for linje RA ses det, at P-værdien er mindre end 5% (0,05), hvilket betyder, at alle parametrene kan inkluderes i ligningen.

RA	kWh	Mængde	Konstant	Nuværende forbrug	Beregnet forbrug	Dif	Afvigelse i forhold til det aktuelle forbrug
		0,53109		kWh	kWh	kWh	%
Feb	83.102	131.215	2.787	83.102	72.474	10.628	13%
Mar	70.777	119.533	2.787	70.777	66.269	4.508	6%
Apr	68.750	127.191	2.787	68.750	70.337	-1.587	-2%
Maj	75.037	126.306	2.787	75.037	69.867	5.170	7%
Jun	72.272	114.869	2.787	72.272	63.792	8.480	12%
Jul	37.563	67.429	2.787	37.563	38.598	-1.035	-3%
Aug	77.197	154.359	2.787	77.197	84.765	-7.568	-10%
Sep	71.272	125.091	2.787	71.272	69.221	2.051	3%
Okt	83.448	154.510	2.787	83.448	84.845	-1.397	-2%
Nov	80.813	145.437	2.787	80.813	80.027	786	1%
Dec	42.265	105.517	2.787	42.265	58.826	-16.561	-39%
Jan	80.044	152.012	2.787	80.044	83.519	-3.475	-4%
Feb	85.578	154.717	2.787	85.578	84.955	623	1%
Mar	78.162	149.875	2.787	78.162	82.384	-4.222	-5%
Apr	65.901	145.653	2.787	65.901	80.141	-14.240	-22%

Figur 6.4.18 Tabel over det samlede bearbejdede råvareforbrug samt resultatet af beregnet forbrug og differensen mellem nuværende og beregnet forbrug.

I ovenstående tabel er det beregnede forbrug beregnet ud fra ligningen samt differensen mellem det aktuelle og det beregnede forbrug, og afvigelsen i % i forhold til det aktuelle forbrug.



Figur 6.4.19 Graf over det aktuelle og beregnede energiforbrug og den procentuelle afvigelse mellem disse.

Som det ses på grafen, er der sammenhæng mellem det aktuelle og det beregnede forbrug. Den sidste del af kurven (jan-apr), er de værdier, der er beregnet for 2018.

6.4.1.5 Konklusion linje STD/CON

Da der kun var en bearbejdningstemperatur på STD/CON linjen, svarer det til de to foregående analyser.

6.4.1.6 Samlet konklusion

Ud fra de regressioner som er blevet foretaget på de tre linjer kan det ses, at bearbejdningstemperaturen og tilhørende mængde ikke havde den indflydelse på energiforbruget, som vi forventede. Det skal dog bemærkes, at analyserne er foretaget på de foreliggende data og deres kvalitet. Det kan betyde, at den afgørende faktor er, at det er ekstrudermotoren, som har den største betydning, og ikke om materialet er 140°C eller 300°C, når det forarbejdes.

7 Formidling

7.1 Artikler etc.

Der er indsendt en artikel om projektet til fagbladet Ingeniøren, hvor den er offentliggjort i Ingeniørens specialmagasin GridTech. Artiklen beskriver de udfordringer der typisk er med energinøgletal i industrien og metoder til, hvordan der kan opstilles præcise, informative energinøgletal.

Det er planlagt at projektets resultater præsenteres på en ECEEE konference i Göteborg d. 16–18. juni 2020 af én af projektets deltagere.

7.2 Temadage og -møder

Projektet og dets resultater er præsenteret på ELFORSK informationsdag om elektrificering i industrien i november 2019. Temamødet var primært arrangeret små virksomheder, så de kunne få information om muligheder for at energieffektivisere i industrien. Der var ligeledes personer fra kommuner og erhvervscentre, der søgte viden om, hvordan virksomhederne kan hjælpes med den grønne omstilling.

Projektet stilles desuden til rådighed for de registrerede energisynskonsulenter gennem Registreringsordningen for Energisynskonsulenter.

7.3 Undervisning

Projektets resultater indgår i et tre-dages kursusforløb om energinøgletal (ENPI), der afholdes på Teknologisk Institut. På kurset erhverver deltagerne sig den nødvendige baggrundsforståelse for, hvad EnPI og regressionsanalyser er og hvilke fordele, der opnås ved at anvende metoden og der refereres til krav i energiledelsesstandarden DS/EN ISO 50001. Metoderne til generering af energinøgletal gennemgås teoretisk og suppleres med eksempler og praktiske øvelser. Kursusdeltagerne behandler egne registrerede data for at opnå fortrolighed med metoderne i dialog og diskussion mellem underviserne og den enkelte deltager.

Projektet, dvs. beregningsværktøjet og den tilhørende brugervejledning, samt vejledningen i opstilling af operative energinøgletal gennemgås og udleveres som en del af kursusmaterialet. Desuden kan kursusdeltagerne få udleveret selve projektrapporten hvis den ønskes.

8 Eksempler

8.1 Eksempel 1

Der er udarbejdet energinøgletal for gas- og elforbruget til en 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.

Der er endvidere udarbejdet energinøgletal for det samlede gas- og elforbrug på virksomheden.

Ved udførelsen af regressionsanalysen er der fjernet outliers én gang.

6.1.1 Gasforbruget til ovn

Virksomheden registrerer nedenstående data på månedsbasis.

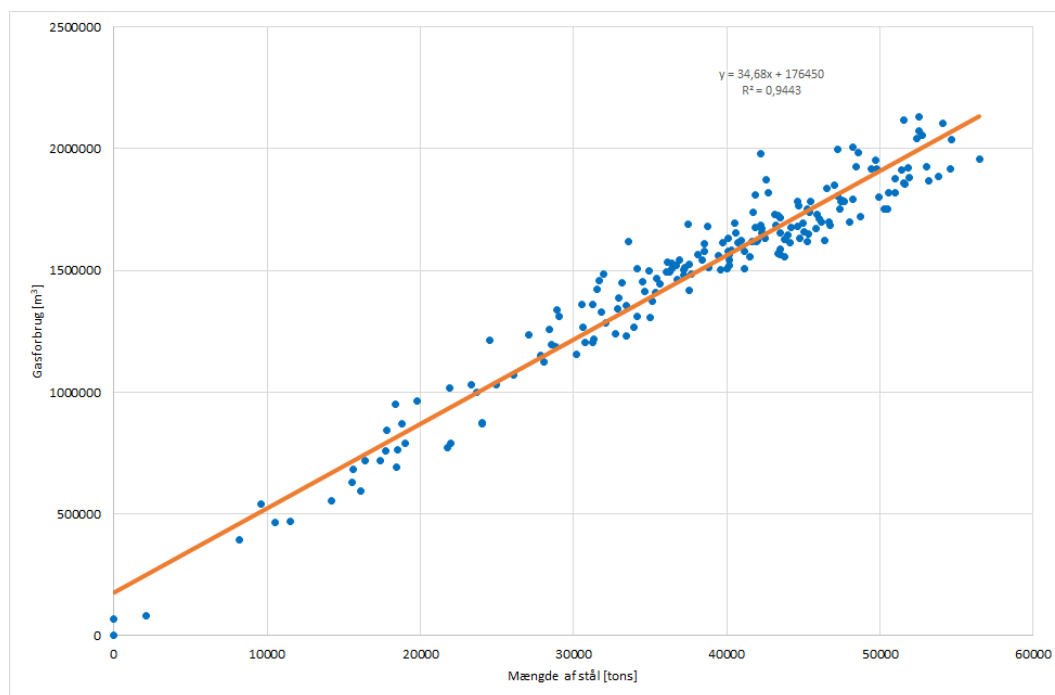
Der er i første omgang fokuseret på sammenhængen mellem mængder af stål og gasforbruget til ovnen.

Dato	Gasforbrug [m ³]	Mængder af stål [tons]
jan-03	1264991	33920
feb-03	1656303	43509
mar-03	1752761	45227
apr-03	1510671	38786
maj-03	1617013	41626
jun-03	1507582	41134
jul-03	683804	15601
aug-03	1785393	47673
sep-03	1794210	48200
okt-03	1921353	51809
nov-03	1804583	47271
dec-03	1577389	40106

Figur 8.1.1 Mængder af stål og gasforbruget til ovnen.

I figur 8.1.2 ses gasforbruget i m³ pr. måned som funktion af mængderne af stål.

Som det ses, er der en tydelig sammenhæng mellem gasforbruget og mængden af stål. Det ses dog også at der er en del målinger, hvor afvigelserne er store.



Figur 8.1.2 Gasforbrug pr. måned som funktion af mængden af stål.

Det blev derfor besluttet at fjerne store afvigelser/fejlmålinger (outliers). Til det formål blev værktøjet "Elimination of outliers" anvendt. Se figur 8.1.3.

Step 1: Import Data Paste data starting in cell F40. Each x column must have a heading in its corresponding cell in row 39. If a timestamp is not available create an id here instead. It's important that the cell is not empty	Step 2: Check for and remove empty rows / cells Pressing the "Remove empty rows" buttons removes the any row containing an empty cell.	Step 3 (Optional): Remove data out of range Define min and max for range for the Y values and remove the values outside that range.	Step 4: Perform linear regression Perform linear regression on the dataset.	Step 4: Remove outliers Removes any data that deviates more than two standard deviations.
Remove empty rows	Remove rows out of defined range (Optional)	Perform linear regression	Remove Outliers	
Range Min Y <input type="text" value="100000"/> Max Y <input type="text" value="10000000"/>				

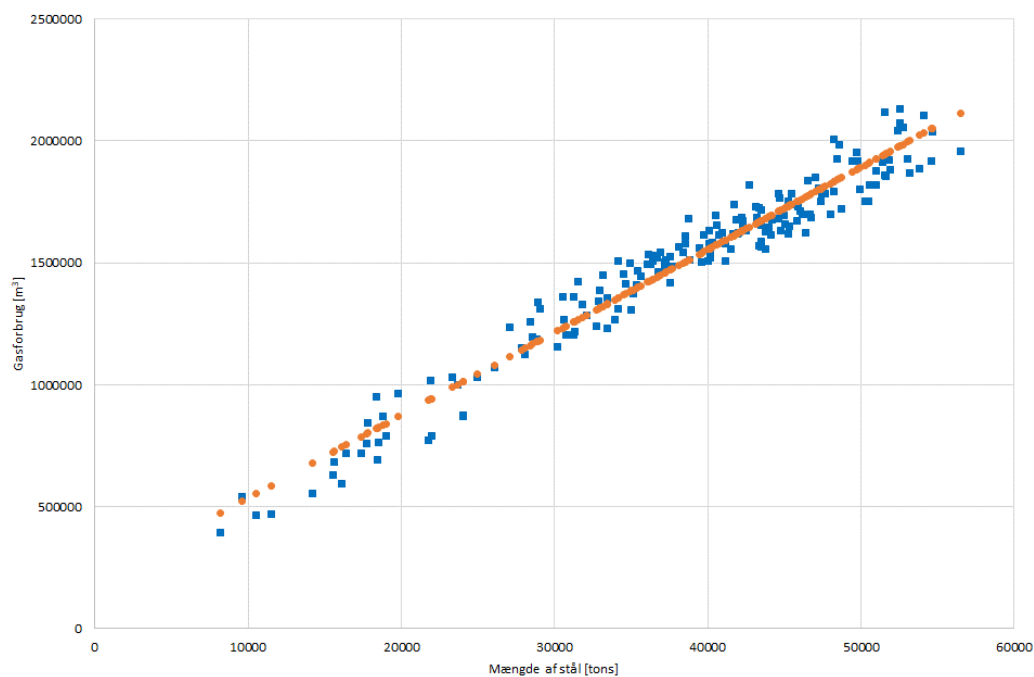
Figur 8.1.3 Værktøj "Elimination of outliers".

Værktøjet finder fejlmålinger (outliers) ved at beregne en afvigelse kaldet e_i mellem det målte og et beregnet gasforbrug. Det beregnede gasforbrug findes ved at foretage en regressionsanalyse (se figur 8.1.5 og 8.1.6). Denne afvigelse divideres med standardfejlen kaldet $Sy.x$.

Hvis standardafvigelsen, som er forholdet mellem e_i og $Sy.x$, er mindre end to betyder det, at der er 95 % sandsynlighed for at værdien af det beregnede gasforbrug er korrekt.

Y	ei	ei^2	ei/Sy,x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges
#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	time	m3 gas	tons
1348121	83129,51	6,91E+09	0,945586	FALSK	jan-03	1264991	33920
1677888	21585,27	4,66E+08	0,245529	FALSK	feb-03	1656303	43509
1736970	-15790,3	2,49E+08	-0,17961	FALSK	mar-03	1752761	45227
1515463	4792,456	22967632	0,054514	FALSK	apr-03	1510671	38786
1613131	-3881,73	15067822	-0,04415	FALSK	maj-03	1617013	41626
1596211	88629,47	7,86E+09	1,008148	FALSK	jun-03	1507582	41134

Figur 8.1.4 Beregning af outliers.



Figur 8.1.5 Gasforbrug pr. måned som funktion af mængden af stål renset for outliers.

I figur 8.1.6 ses resultatet af regressionsanalysen.

RESUMEOUTPUT						
<i>Regressionsstatistik</i>						
Multipel R	0,975108					
R-kvadreret	0,950836					
Justeret R	0,950559					
Standardfej	83145,65					
Observationer	180					
ANOVA						
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>	
Regression	1	2,38E+13	2,38E+13	3442,512	2,207E-118	
Residual	178	1,23E+12	6,91E+09			
I alt	179	2,5E+13				
	<i>Koefficient</i>	<i>standardfej</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>
Skæring	196122,1	22935,9	8,550879	5,45E-15	150860,842	241383,4
X-variabel	33,94162	0,578489	58,67292	2,2E-118	32,80004027	35,0832

Figur 8.1.6 Resultat af regressionsanalyse.

Signifikans F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er meget tæt på nul hvilket betyder at udtrykket for funktionen er signifikant.

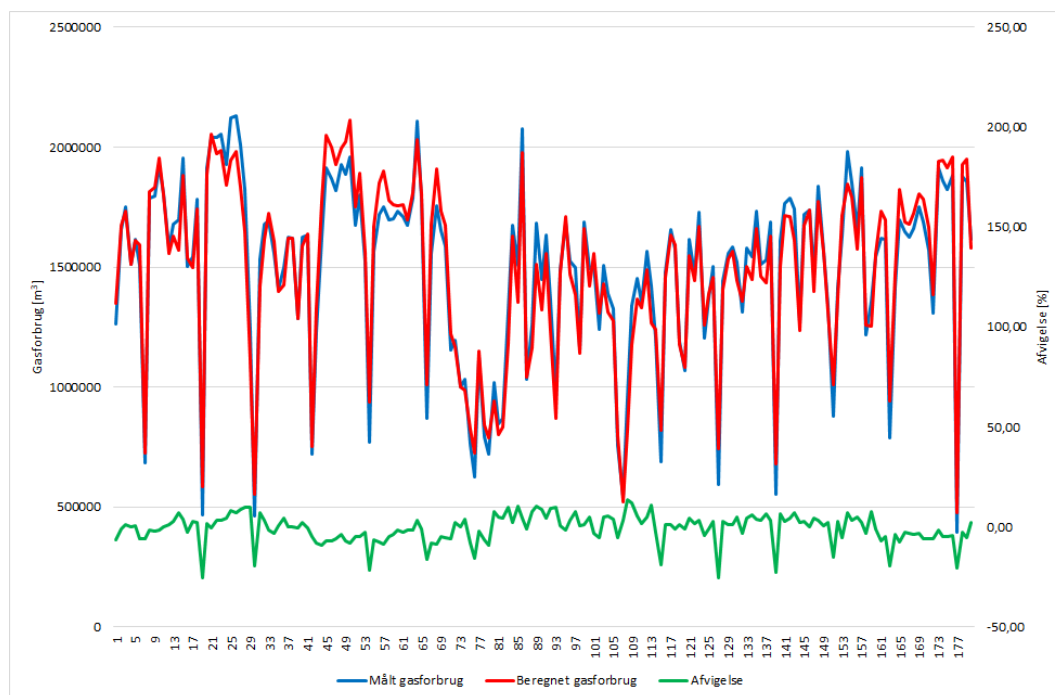
Justeret R-kvadreret er 0,95. Den værdi skal være så tæt på 1 som muligt.

P-værdien for X-variabel 1 som er mængden af stål og skæringen er begge meget tæt på nul, hvilket betyder at der ikke er nogen sandsynlighed for at de er nul.

Udtrykket for sammenhængen mellem gasforbruget og mængden af stål er således:

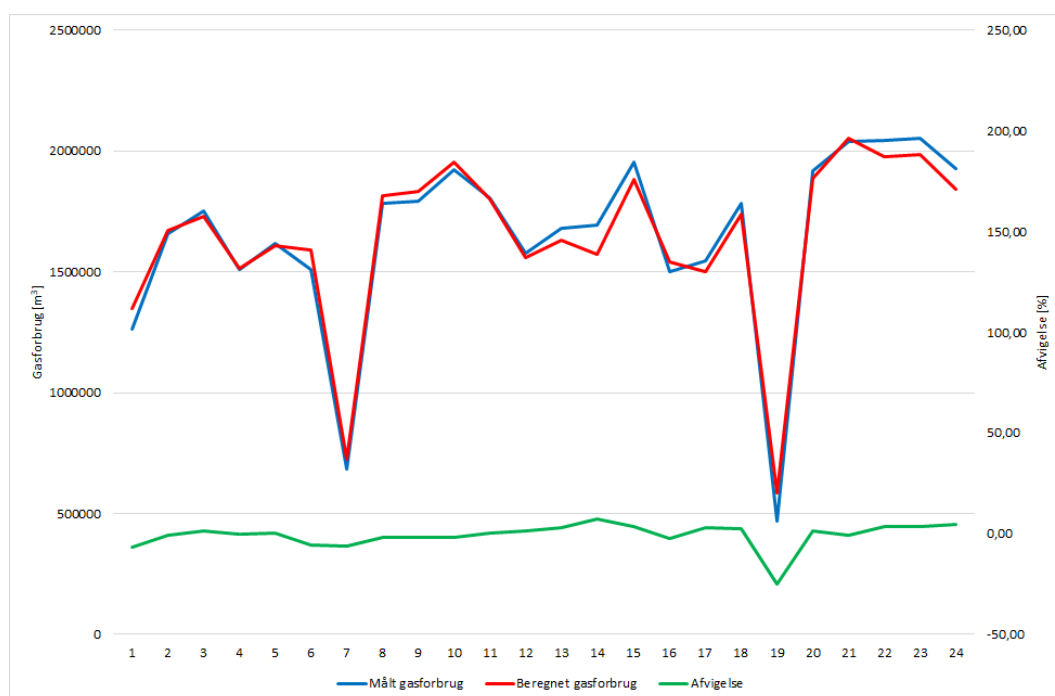
$$\text{Gasforbrug [m}^3\text{]} = (33,94162 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) + 196.122,1$$

I figur 8.1.7 ses de målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse.



Figur 8.1.7 Målt og beregnet gasforbrug samt afvigelse.

I figur 8.1.8 ses målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse i to år. Som det ses, er der god overensstemmelse mellem de målte og beregnede gasforbrug.



Figur 8.1.8 Målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse i to år.

6.1.2 Gasforbrug til hele virksomheden

På virksomheden registreres nedenstående data på månedsbasis.

Dato	Målt gasfo	Slab furna	Slab furna	Norm furn	Norm furn
jan-10	1.927.682	2.345	24.548	13.158	0
feb-10	2.103.986	3.675	29.025	14.536	0
mar-10	2.654.162	2.206	42.261	22.603	0
apr-10	2.379.945	4.093	34.153	16.848	0
maj-10	3.132.134	3.728	47.246	23.051	0
jun-10	3.337.140	4.343	52.529	25.487	0
jul-10	1.796.413	377	24.945	15.817	2.144
aug-10	2.127.394	2.414	28.435	13.075	4.636
sep-10	2.625.626	2.410	33.565	14.714	5.711
okt-10	2.534.207	2.584	31.938	12.896	6.674
nov-10	2.783.190	4.578	38.756	13.646	7.963
dec-10	2.476.463	3.020	33.130	13.932	6.014
jan-11	2.999.061	4.959	39.660	21.485	9.903
feb-11	3.215.159	5.672	42.627	18.016	9.671
mar-11	3.117.393	6.669	37.680	19.790	11.352
apr-11	2.353.835	3.188	30.839	12.601	9.928

Figur 8.1.9 Mængder af stål og gasforbruget til hele virksomheden.

Step 1: Import Data	Step 2: Check for and remove empty rows / cells	Step 3 (Optional): Remove data out of range	Step 4: Perform linear regression	Step 4: Remove outliers
Paste data starting in cell F40. Each x column must have a heading in its corresponding cell in row 39. If a timestamp is not available create an id here instead. It's important that the cell is not empty	Pressing the "Remove empty rows" buttons removes the any row containing an empty cell.	Define min and max for range for the Y values and remove the values outside that range.	Perform linear regression on the dataset.	Removes any data that deviates more than two standard deviations.
Remove empty rows	Remove rows out of defined range (Optional)	Perform linear regression	Remove Outliers	
Range Min Y <input type="text" value="150000"/> Max Y <input type="text" value="10000000"/>				

Figur 8.1.10 Værktøj "Elimination of outliers".

Y	ei	ei^2	ei/Sy,x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges	----->		
191606	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	time	Målt gasfo	Slab furna	Slab furna	Norm furn	Norm furn
1773363	-154319	2,38E+10	-1,37713	FALSK	jan-10	1.927.682	2.345	24.548	13.158	0
2043206	-60779,7	3,69E+09	-0,54239	FALSK	feb-10	2.103.986	3.675	29.025	14.536	0
2859360	205198,3	4,21E+10	1,831169	FALSK	mar-10	2.654.162	2.206	42.261	22.603	0
2352380	-27565	7,6E+08	-0,24599	FALSK	apr-10	2.379.945	4.093	34.153	16.848	0
3113340	-18793,7	3,53E+08	-0,16771	FALSK	maj-10	3.132.134	3.728	47.246	23.051	0
3439589	102448,6	1,05E+10	0,914241	FALSK	jun-10	3.337.140	4.343	52.529	25.487	0

Figur 8.1.11 Beregning af outliers.

RESUMEOUTPUT						
Regressionsstatistik						
Multipel R	0,986337					
R-kvadreret	0,97286					
Justeret R	0,971806					
Standardfej	112058,6					
Observationer	108					
ANOVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	4	4,64E+13	1,16E+13	923,0344	1,09481E-79	
Residual	103	1,29E+12	1,26E+10			
I alt	107	4,77E+13				
	Koefficienter	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	191606	41060,55	4,666424	9,25E-06	110172,0296	273039,9
X-variabel 1	29,04207	6,472723	4,486839	1,89E-05	16,20494754	41,87919
X-variabel 2	38,13788	2,07102	18,41502	2,33E-34	34,03050338	42,24526
X-variabel 3	43,88543	3,278405	13,38621	2,81E-24	37,38348869	50,38738
X-variabel 4	35,46947	4,893753	7,247907	8,03E-11	25,76386104	45,17507

Figur 8.1.12 Resultat af regressionsanalyse.

Signifikans F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er meget tæt på nul hvilket betyder at udtrykket for funktionen er signifikant.

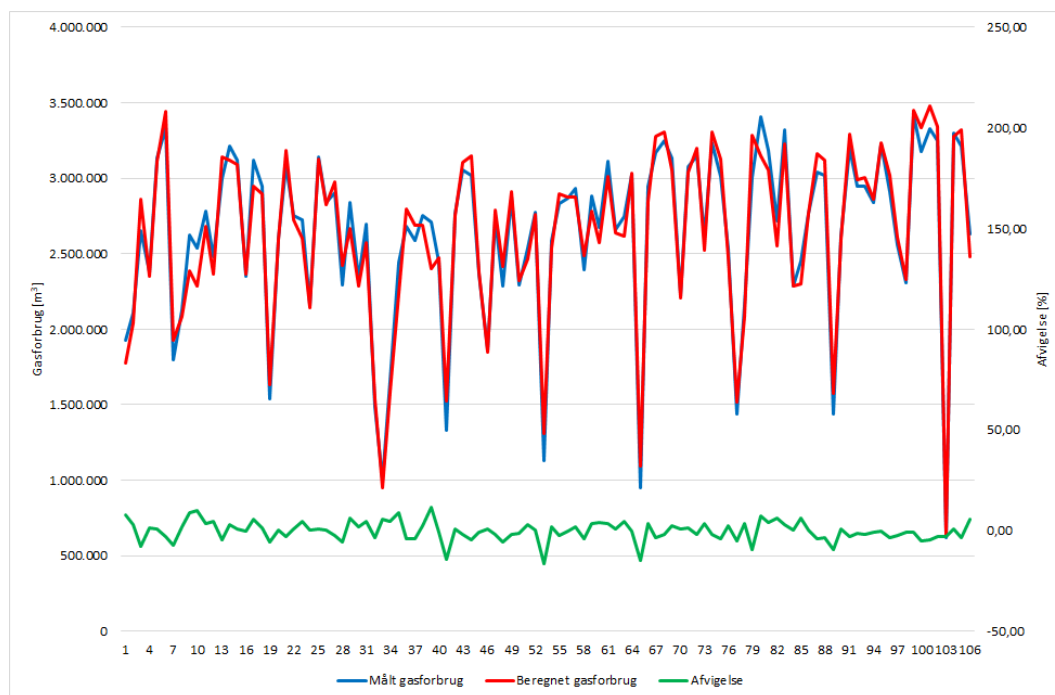
Justeret R-kvadreret er 0,97. Den værdi skal være så tæt på 1 som muligt.

P-værdierne for X-variabel 1 til 4 som er mængder af stål til ovnene og til normalisering samt skæringen er alle meget tæt på nul, hvilket betyder at der ikke er nogen sandsynlighed for at de er nul.

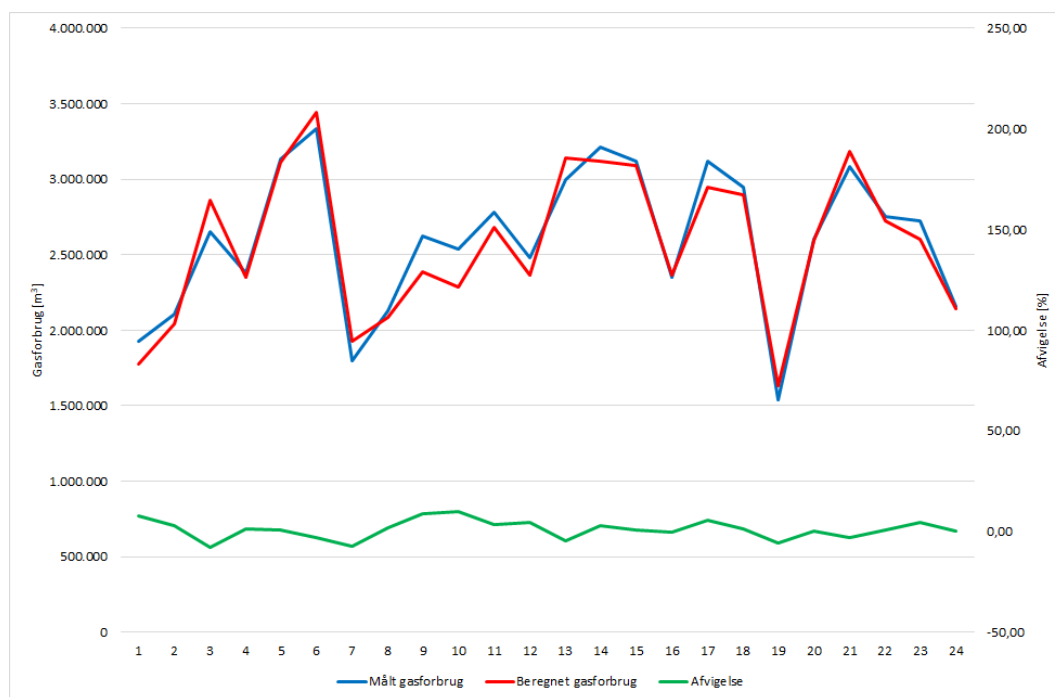
Udtrykket for sammenhængen mellem gasforbruget og mængder af stål er således:

$$\text{Gasforbrug [m}^3\text{]} = (29,04207 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) + (38,13788 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) \\ + (43,88543 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) + (35,46947 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) + 191.606$$

I figur 8.1.13 ses de målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse.



Figur 8.1.13 Målt og beregnet gasforbrug samt afvigelse.



Figur 8.1.14 Målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse i to år.

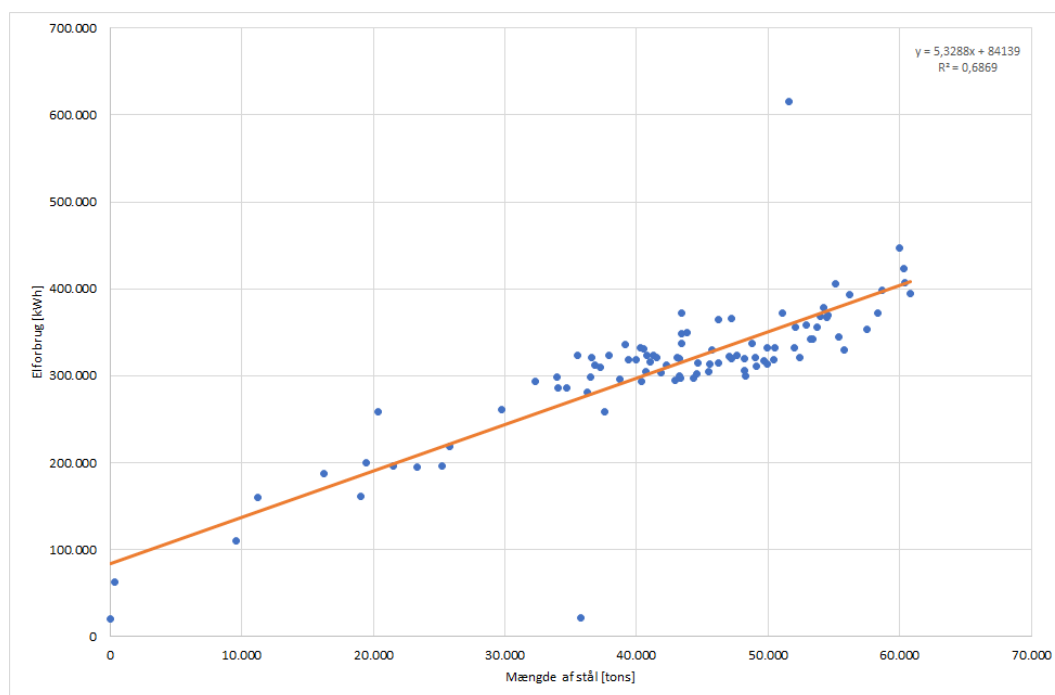
6.1.3 Elforbruget til ovnene

Virksomheden registrerer nedenstående data på månedsbasis.

Der er i første omgang fokuseret på sammenhængen mellem mængder af stål og elforbruget til virksomhedens to ovne.

Dato	Elforbrug	Tons stål
jan-03	1264991	33920
feb-03	1656303	43509
mar-03	1752761	45227
apr-03	1510671	38786
maj-03	1617013	41626
jun-03	1507582	41134
jul-03	683804	15601
aug-03	1785393	47673
sep-03	1794210	48200
okt-03	1921353	51809
nov-03	1804583	47271
dec-03	1577389	40106

Figur 8.1.15 Mængder af stål og elforbruget til de to ovne.



Figur 8.1.16 Elforbrug pr. måned som funktion af mængden af stål.

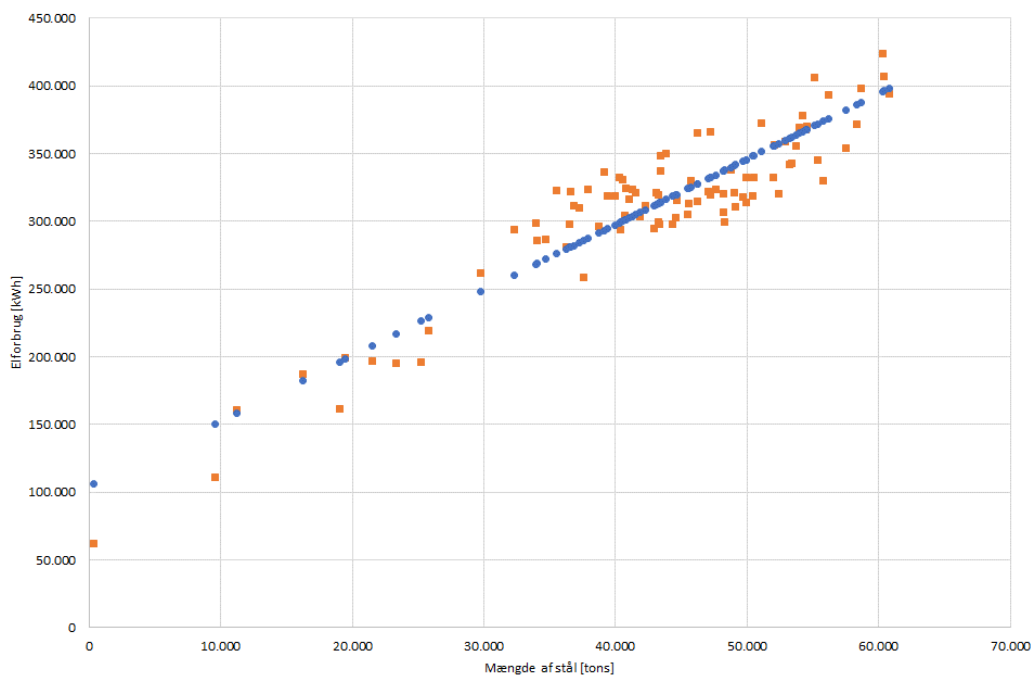
Step 1: Import Data Paste data starting in cell F40. Each x column must have a heading in its corresponding cell in row 39. If a timestamp is not available create an id here instead. It's important that the cell is not empty	Step 2: Check for and remove empty rows / cells Pressing the "Remove empty rows" buttons removes the any row containing an empty cell.	Step 3 (Optional): Remove data out of range Define min and max for range for the Y values and remove the values outside that range.	Step 4: Perform linear regression Perform linear regression on the dataset.	Step 4: Remove outliers Removes any data that deviates more than two standard deviations.
	Remove empty rows	Remove rows out of defined range (Optional)	Perform linear regression	Remove Outliers

Range
 Min Y: 50000
 Max Y: 10000000

Figur 8.1.17 Værktøj "Elimination of outliers".

Y	ei	ei^2	ei/Sy,x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges
#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	time	kWh	Tons
324671,5	9321,501	86890375	0,254649	FALSK	jan-11	315.350	44.619
343013,1	43463,08	1,89E+09	1,187342	FALSK	feb-11	299.550	48.299
323328,8	25428,76	6,47E+08	0,694673	FALSK	mar-11	297.900	44.349
271872,5	-13727,5	1,88E+08	-0,37501	FALSK	apr-11	285.600	34.026
332836,6	17836,57	3,18E+08	0,487267	FALSK	maj-11	315.000	46.257
339524,4	16324,39	2,66E+08	0,445956	FALSK	jun-11	323.200	47.599

Figur 8.1.18 Beregning af outliers.



Figur 8.1.19 Elforbrug pr. måned som funktion af mængden af stål renset for outliers.

RESUMEOUTPUT						
<i>Regressionsstatistik</i>						
Multipel R	0,925683					
R-kvadreret	0,856888					
Justeret R	0,855262					
Standardfej	23300,24					
Observationer	90					
ANOVA						
	<i>fg</i>	<i>SK</i>	<i>MK</i>	<i>F</i>	<i>Signifikans F</i>	
Regression	1	2,86E+11	2,86E+11	526,9043	6,47003E-39	
Residual	88	4,78E+10	5,43E+08			
I alt	89	3,34E+11				
	<i>Koefficientstandardfej</i>	<i>t-stat</i>	<i>P-værdi</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Øvre 95%</i>	
Skæring	104094,2	9352,72	11,12983	1,78E-18	85507,6362	122680,8
X-variabel	4,835445	0,210654	22,9544	6,47E-39	4,41681378	5,254077

Figur 8.1.20 Resultat af regressionsanalyse.

Signifikans F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er meget tæt på nul hvilket betyder at udtrykket for funktionen er signifikant.

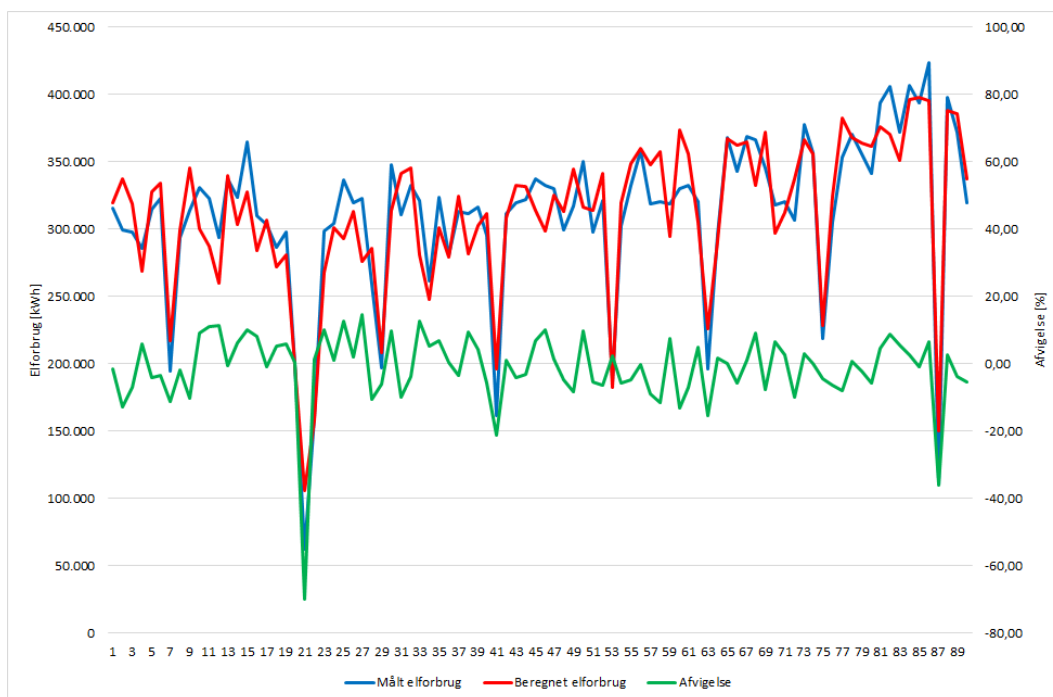
Justeret R-kvadreret er 0,85. Den værdi skal være så tæt på 1 som muligt.

P-værdien for X-variabel 1 som er mængden af stål og skæringen er begge meget tæt på nul, hvilket betyder at der ikke er nogen sandsynlighed for at de er nul.

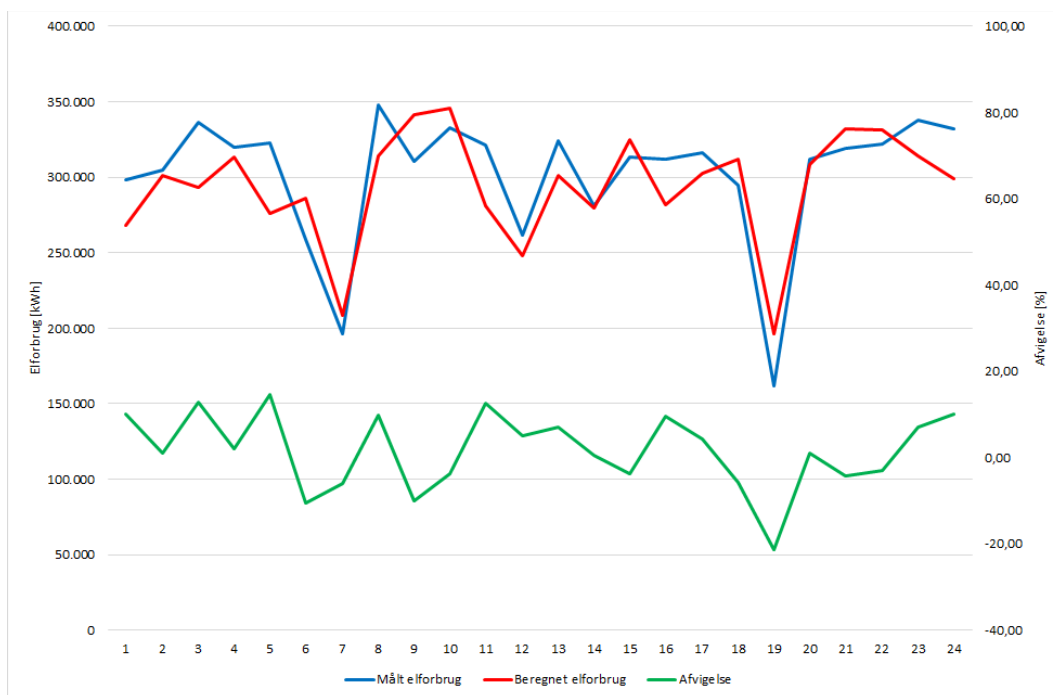
Udtrykket for sammenhængen mellem gasforbruget og mængden af stål er således:

$$\text{Elforbrug [m}^3\text{]} = (4,835445 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) + 104.094,4$$

I figur 8.1.21 ses de målte og beregnede elforbrug samt afvigelserne mellem disse.



Figur 8.1.21 Målt og beregnet elforbrug samt afvigelse.



Figur 8.1.22 Målte og beregnede elforbrug samt afvigelserne mellem disse i to år.

6.1.4 Elforbruget til hele virksomheden

Virksomheden registrerer nedenstående data på månedsbasis.

Dato	Elforbrug	Mængder stål til Slabsovn 1 og 2	Mængder stål til normaliseringsovne
jan-12	3.330.334	48.736	27.251
feb-12	3.222.849	41.261	26.566
mar-12	3.271.254	46.227	26.340
apr-12	2.859.688	37.256	20.455
maj-12	3.277.951	41.831	22.325
jun-12	2.729.188	34.696	19.067
jul-12	2.928.920	36.520	24.550
aug-12	2.198.057	19.489	14.915
sep-12	990.993	0	0
okt-12	1.453.983	380	0
nov-12	2.694.961	11.221	7.899
dec-12	3.741.628	20.329	15.198

Figur 8.1.23 Mængder af stål til ovnene samt til normaliseringsovne og elforbruget til hele virksomheden.

Y	ei	ei^2	ei/Sy,x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges	----->
1524206	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	time	Målt elfort	Mængder	Mængder stål til norr
4586237	1255903	1,58E+12	2,54174	SAND	jan-12	3.330.334	48.736	27251,37
4141939	919089,9	8,45E+11	1,860086	FALSK	feb-12	3.222.849	41.261	26566,17
4432163	1160909	1,35E+12	2,349488	SAND	mar-12	3.271.254	46.227	26339,78
3862223	1002535	1,01E+12	2,028964	SAND	apr-12	2.859.688	37.256	20454,66
4144676	866724,8	7,51E+11	1,754107	FALSK	maj-12	3.277.951	41.831	22325,01
3701702	972513,8	9,46E+11	1,968207	FALSK	jun-12	2.729.188	34.696	19067,49

Figur 8.1.24 Beregning af outliers.

RESUMEOUTPUT						
Regressionsstatistik						
Multipel R	0,855581					
R-kvadreret	0,732019					
Justeret R	0,725402					
Standardfej	494111,6					
Observationer	84					
ANAVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	2	5,4E+13	2,7E+13	110,6301	6,88995E-24	
Residual	81	1,98E+13	2,44E+11			
I alt	83	7,38E+13				
	Koefficient	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	1524206	193934,9	7,859373	1,42E-11	1138336,904	1910076
X-variabel	58,77298	6,72587	8,738347	2,62E-13	45,39061248	72,15536
X-variabel	7,253596	14,10485	0,514263	0,608469	-20,81062476	35,31782

Figur 8.1.25 Resultat af regressionsanalyse.

Y	ei	ei^2	ei/Sy,x	outlier	Timestamp	Y range	X ranges
1555348	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	#VÆRDI!	time	Målt elfort	Mængder stål til Slabsovn 1 og 2
4552620	1222286	1,49E+12	2,484874	SAND	jan-12	3.330.334	48.736
4092906	870057,2	7,57E+11	1,768802	FALSK	feb-12	3.222.849	41.261
4398316	1127062	1,27E+12	2,291286	SAND	mar-12	3.271.254	46.227
3846598	986910,1	9,74E+11	2,006361	SAND	apr-12	2.859.688	37.256
4127961	850010,3	7,23E+11	1,728048	FALSK	maj-12	3.277.951	41.831
3689158	959969,6	9,22E+11	1,951592	FALSK	jun-12	2.729.188	34.696

Figur 8.1.26 Beregning af outliers.

RESUMEOUTPUT						
Regressionsstatistik						
Multipel R	0,85507					
R-kvadreret	0,731144					
Justeret R-kvadreret	0,727865					
Standardfej	491890,5					
Observationer	84					
ANOVA						
	fg	SK	MK	F	Signifikans F	
Regression	1	5,4E+13	5,4E+13	222,996	4,17001E-25	
Residual	82	1,98E+13	2,42E+11			
I alt	83	7,38E+13				
	Koefficient	standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%
Skæring	1555348	183410,1	8,480167	7,79E-13	1190487,034	1920209
X-variabel	61,50016	4,118393	14,93305	4,17E-25	53,30736521	69,69296

Figur 8.1.27 Resultat af regressionsanalyse.

Signifikans F (funktionen) skal være så tæt på nul som muligt, hvilket er tilfældet hér. Den er meget tæt på nul hvilket betyder at udtrykket for funktionen er signifikant.

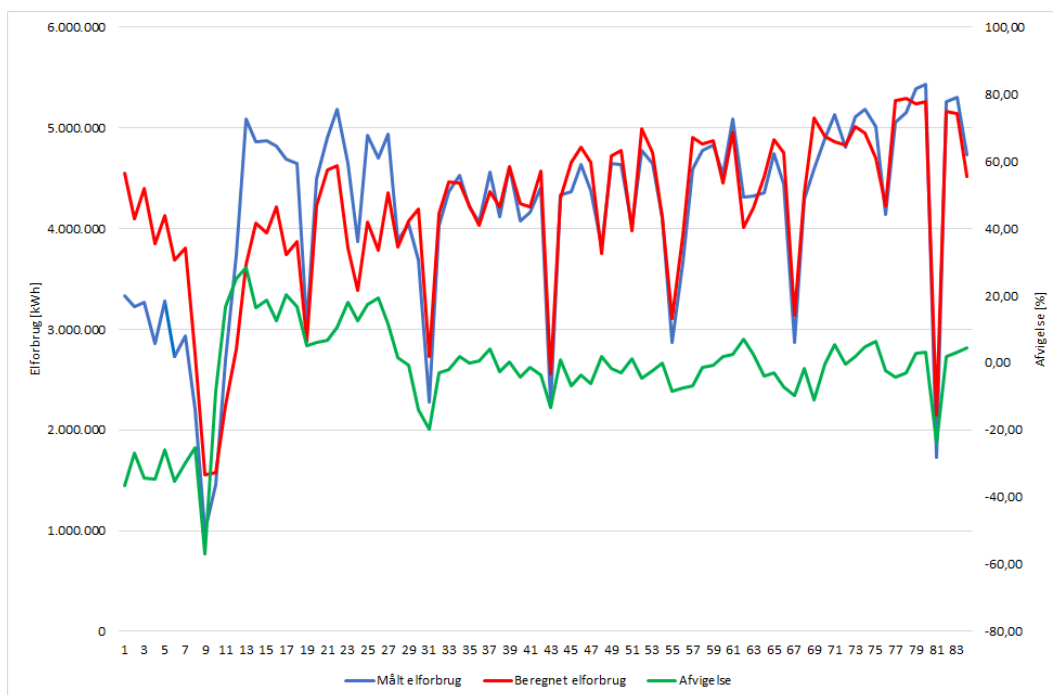
Justeret R-kvadreret er 0,73. Den værdi skal være så tæt på 1 som muligt.

P-værdien for X-variabel 1 som er mængden af stål og skæringen er begge meget tæt på nul, hvilket betyder at der ikke er nogen sandsynlighed for at de er nul.

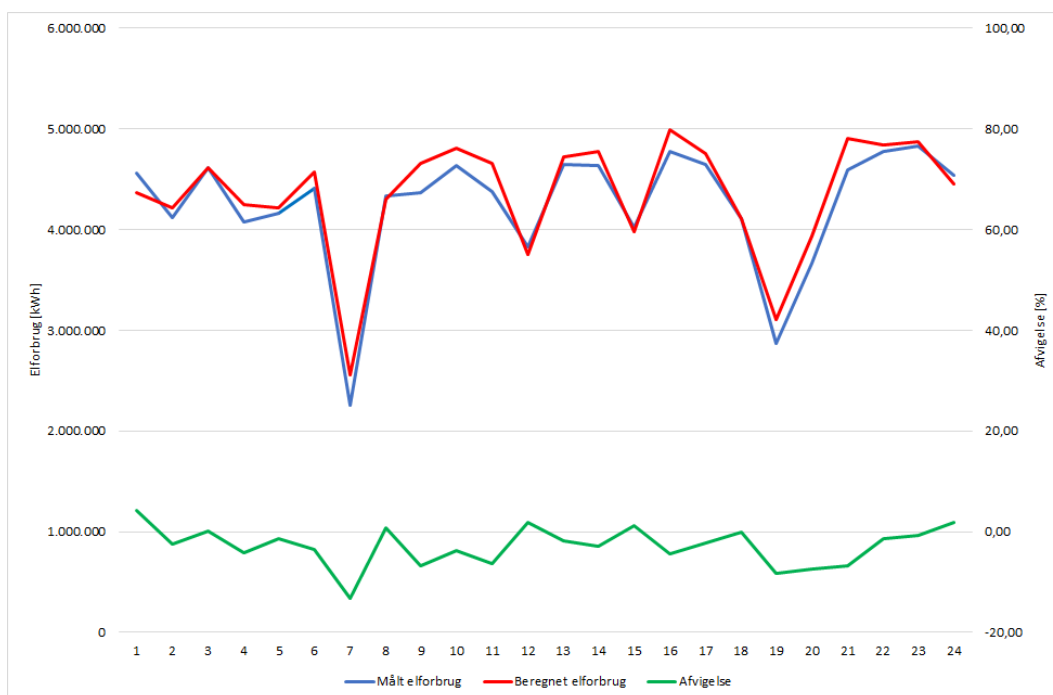
Udtrykket for sammenhængen mellem elforbruget og mængden af stål er således:

$$\text{Elforbrug [m}^3\text{]} = (61,50016 \cdot \text{mængde af stål [tons]}) + 1.555.348$$

I figur 8.1.28 ses de målte og beregnede gasforbrug samt afvigelserne mellem disse.



Figur 8.1.28 Målt og beregnet elforbrug samt afvigelse.



Figur 8.1.29 Målte og beregnede elforbrug samt afvigelserne mellem disse i to år.

8.2 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, idet det har været ønsket at kunne se data for hver eneste måned.

8.2.1 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 8.2.1 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 8.2.2 Resultat af ny regressionsanalyse på det samlede gasforbrug.

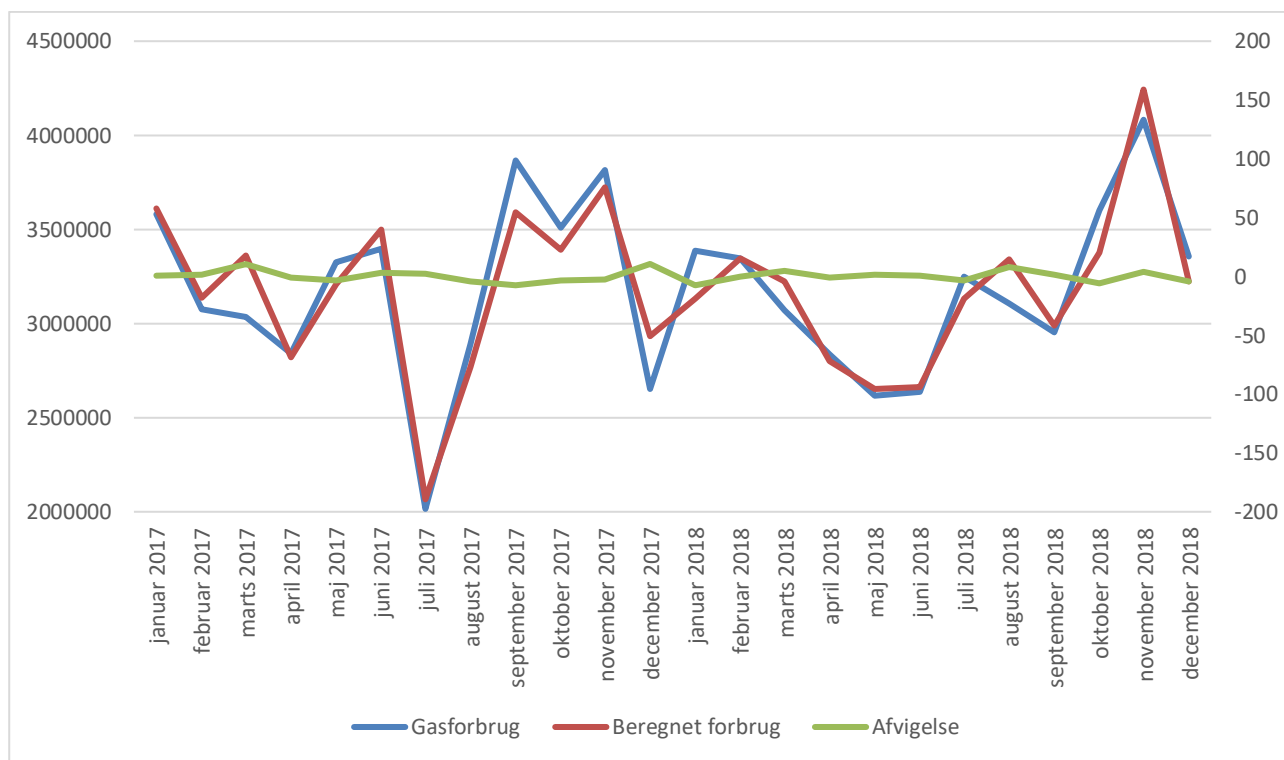
Det ses, at regressionsanalysen nu er endnu mere præcis end før, idet alle P-værdierne er lave uden at signifikansen F og den justerede R-kvadreret er ændret nævneværdigt.

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 8.2.3 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.

8.2.2 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 8.2.4 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 8.2.5 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 8.2.6 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).

8.3 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

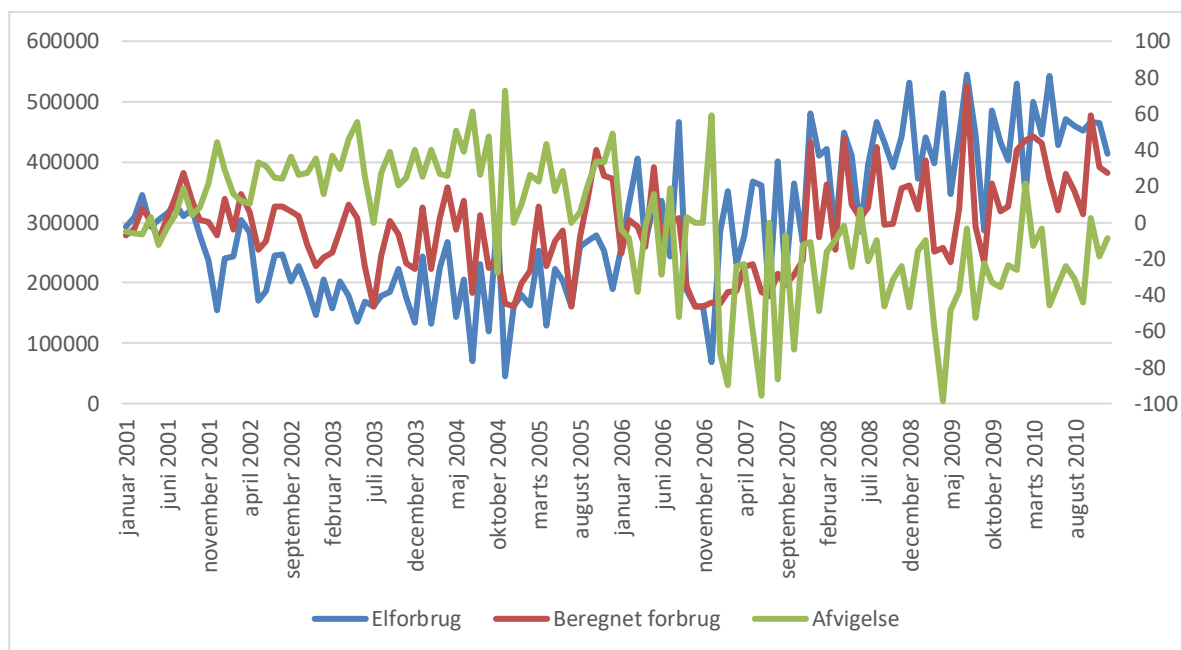
Figur 8.3.1 Resultat af regressionsanalyse på elforbruget.

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 8.3.2 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

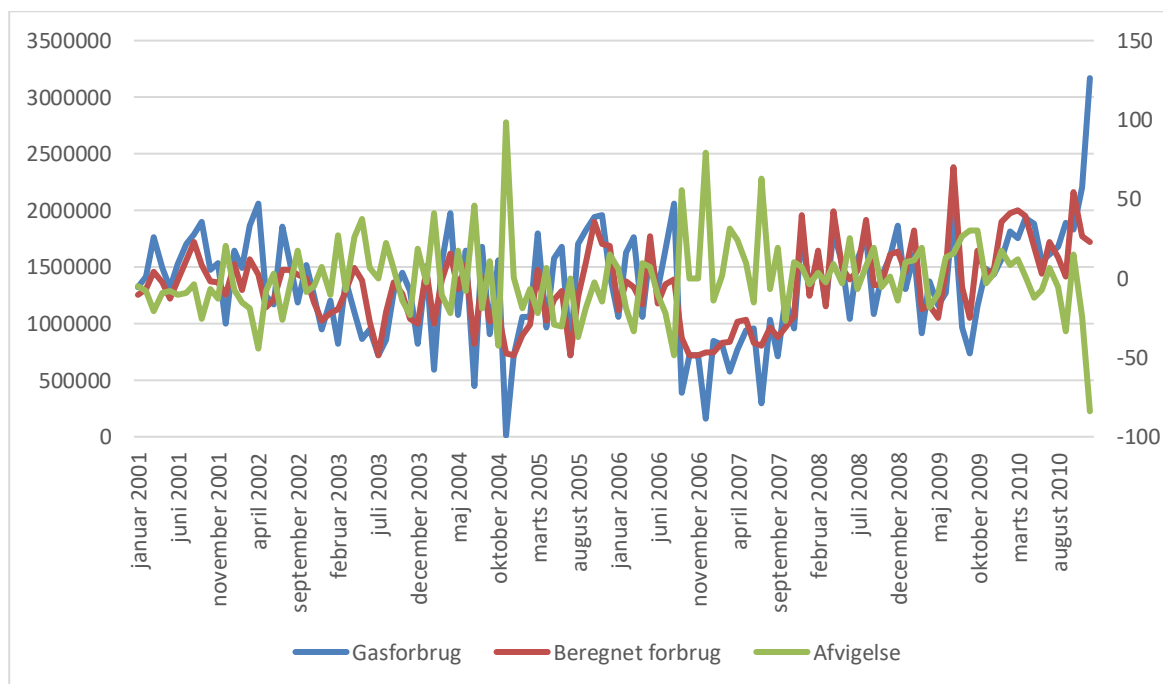
Figur 8.3.3 Resultat af regressionsanalyse på gasforbruget.

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 8.3.4 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).

8.4 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

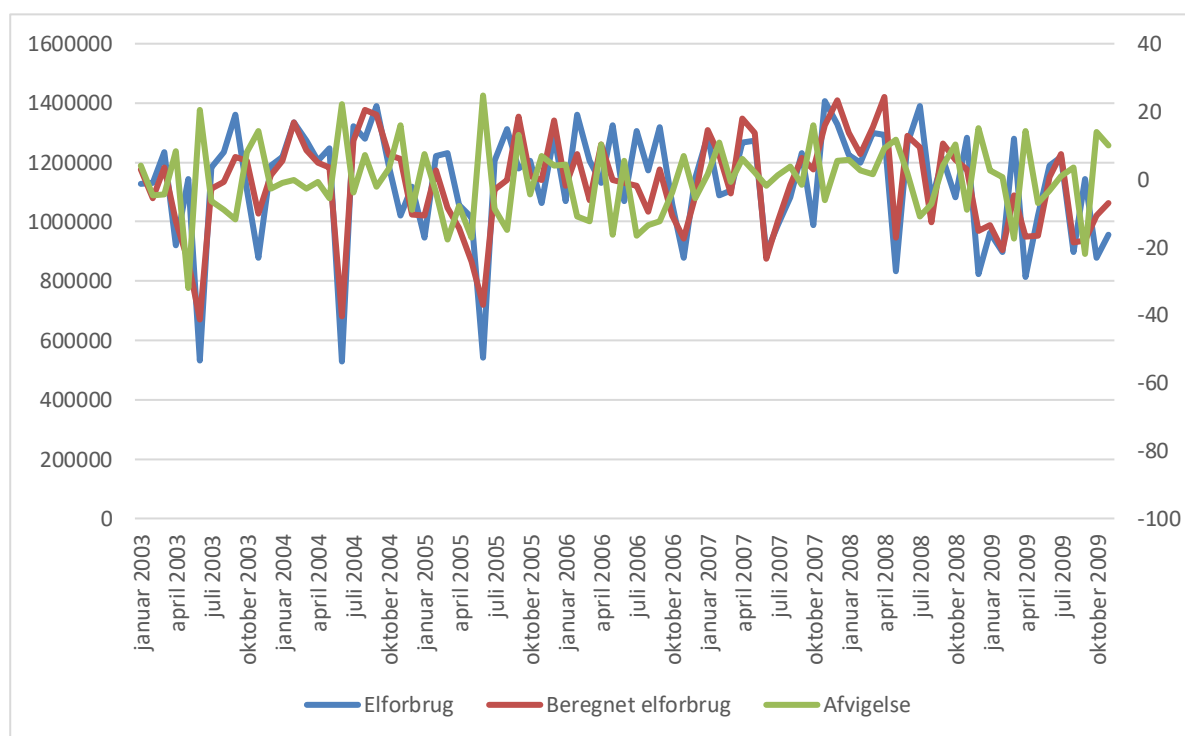
Figur 8.4.1 Resultat af regressionsanalyse på elforbruget.

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 8.4.2 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

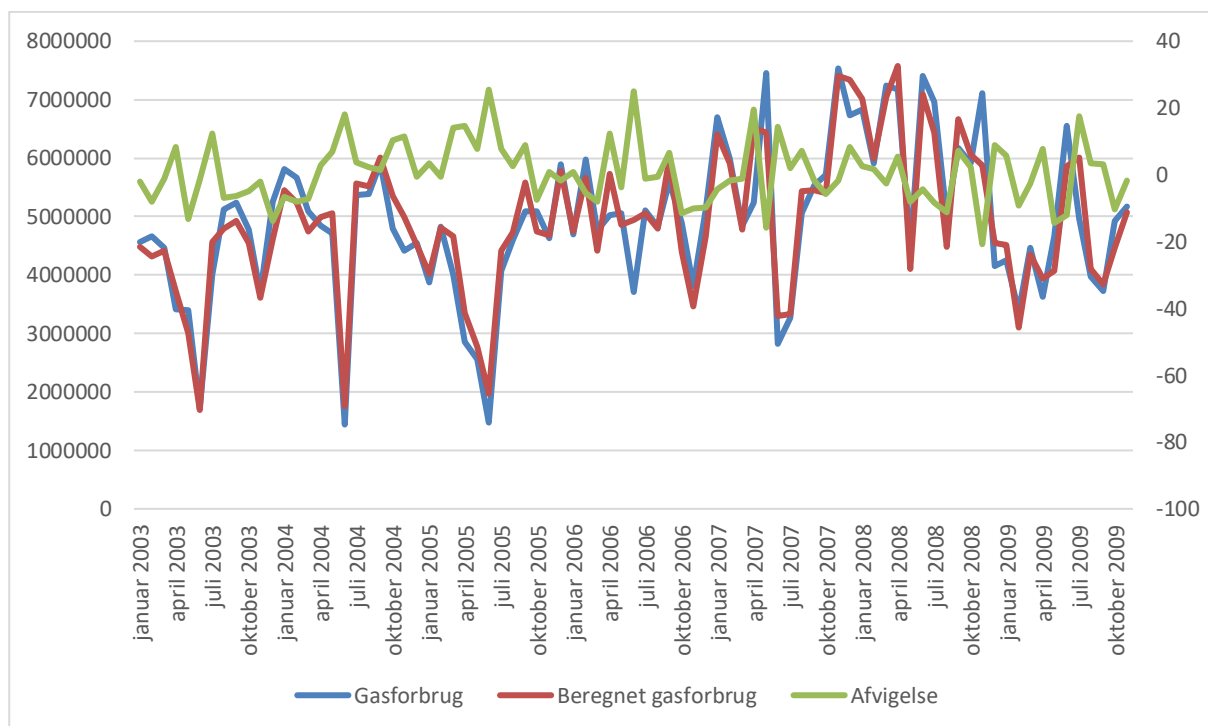
Figur 8.4.3 Resultat af regressionsanalyse på gasforbruget.

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 8.4.4 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 regressionsanalysen 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

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

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 kolinearitet, 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 R^2

Endelig skal der foretages en analyse af R^2 (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.

R^2 er så at sige variationen i energinøgletallet med udgangspunkt i de anvendte variable. Det betyder også, at hvis R^2 er høj så er alle relevante parametre formentlig inkluderet. Hvis R^2 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 besparelspotentiale ved forbedret driftsstyring.

Referencer

/1/ Kortlægning af energiforbrug i virksomheder, Energistyrelsen, januar 2015