






Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2020



Til	Ann Myhrer Østenby, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Fra	Meventus AS
Dato	29.01.2021
Rapportens tittel	Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2020
Rapportnr.	2021-001
Skrevet av	Håkon Sletsjøe, Kyle Brennan

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Håkon Sletsjøe Kyle Brennan	29.01.2021	 
Kontrollert av	Anne Haaland Simonsen	29.01.2021	

De presenterte resultatene er basert på informasjon som refereres til i dette dokumentet ved hjelp av kjente analysemetoder og industristandarder og betyr ikke at ikke noe informasjon kan endres. Alle estimater eller beregninger innebærer usikkerhet, og ingenting i dette dokumentet garanterer noen bestemt vindhastighet eller vindforhold. Meventus skal ikke være ansvarlig for fremtidig bruk av resultater i dette dokumentet, eller for direkte eller indirekte tap som kan skyldes mulige feil i dokumentet.

Innholdsfortegnelse

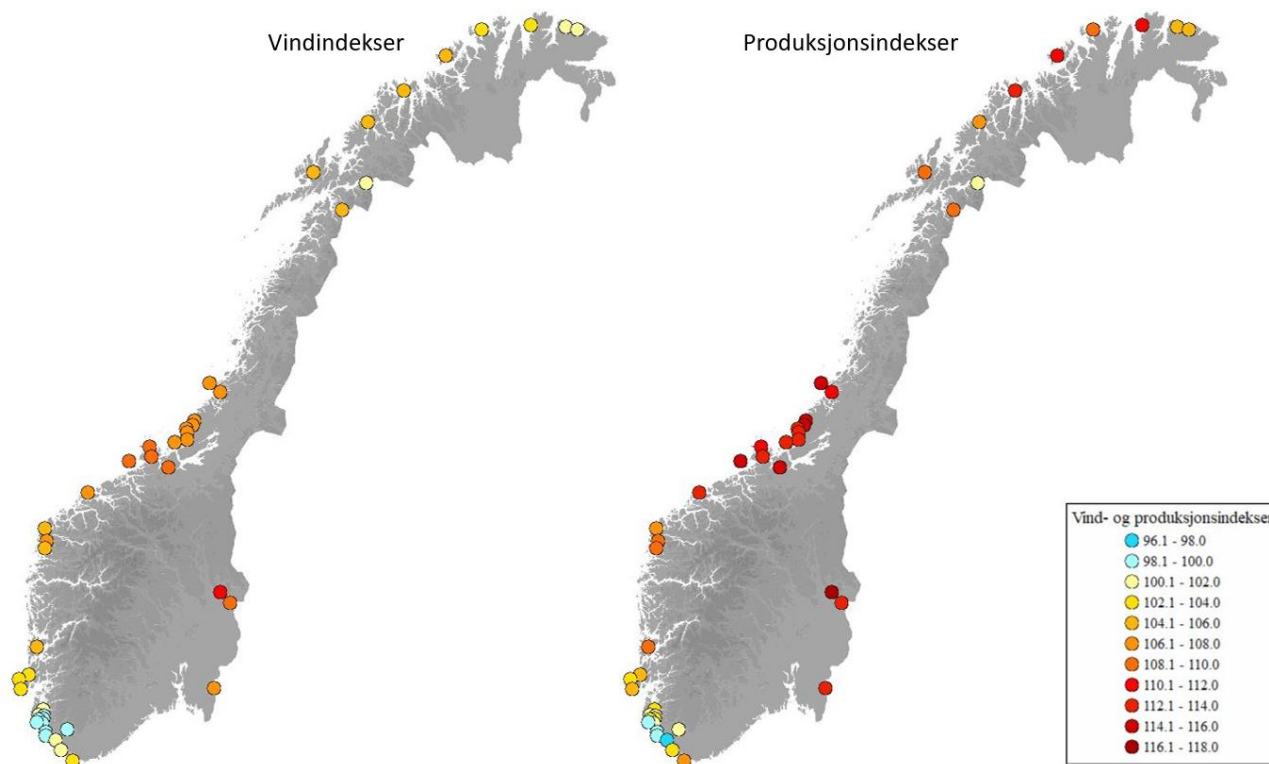
Innholdsfortegnelse	3
Sammendrag	4
1 Innledning.....	5
1.1 Endringer i vindkraftverkenes status fra fjorårets rapport	6
2 Datagrunnlag	7
2.1 Turbinposisjoner	7
2.2 Turbintyper og effektkurver	7
2.3 Terreng- og ruhetsdata.....	9
2.4 Meteorologiske referansedata	9
2.5 Historiske produksjonsdata	10
3 Beregningsmetode	11
3.1 Strømningsmodeller.....	11
3.2 Produksjonsmodeller	11
3.3 Skalering av WRF-data	12
3.4 Vind- og produksjonsserier	13
3.5 Verifikasjon av produksjonsmodell	13
4 Vind- og produksjonsindekser	15
5 Referanser.....	18
Appendiks A: Effektkurver for turbinene	19
Appendiks B: Valg av modelloppsett	21
Appendiks C: Modellverifikasjon	22

Sammendrag

På oppdrag fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har Meventus beregnet vind- og produksjonsindekser for året 2020 for samtlige vindkraftverk i Norge som har vært i normal drift eller under utbygging dette året.

Beregningsmetodikken som er benyttet i analysen tar hensyn til de lokale vindforholdene og tar høyde for relevante stedsspesifikke faktorer som påvirker produksjonen, som terreng, ruhet, retningsavhengige vaketap og luftens tetthet. Indeksene er beregnet basert på normalårsverdier fra en 15 års referanseperiode fra 2003 til 2017.

Store deler av landet har hatt vind- og produksjonsindekser over normalen i 2020. De laveste indeksverdiene er beregnet for vindkraftverkene på Sørvestlandet, mens indeksverdiene for vindkraftverkene i nordvestlige, østlige, og nordlige delene av landet har hatt vind- og produksjonsindekser godt over normalen, med verdier opp i 17.6 % over normalen. Kapasitetsvektet gjennomsnitt av produksjonsindeksene for 2020 er på 108.7 %. De beregnede vind- og produksjonsindeksene er presentert i Figur 1 under.



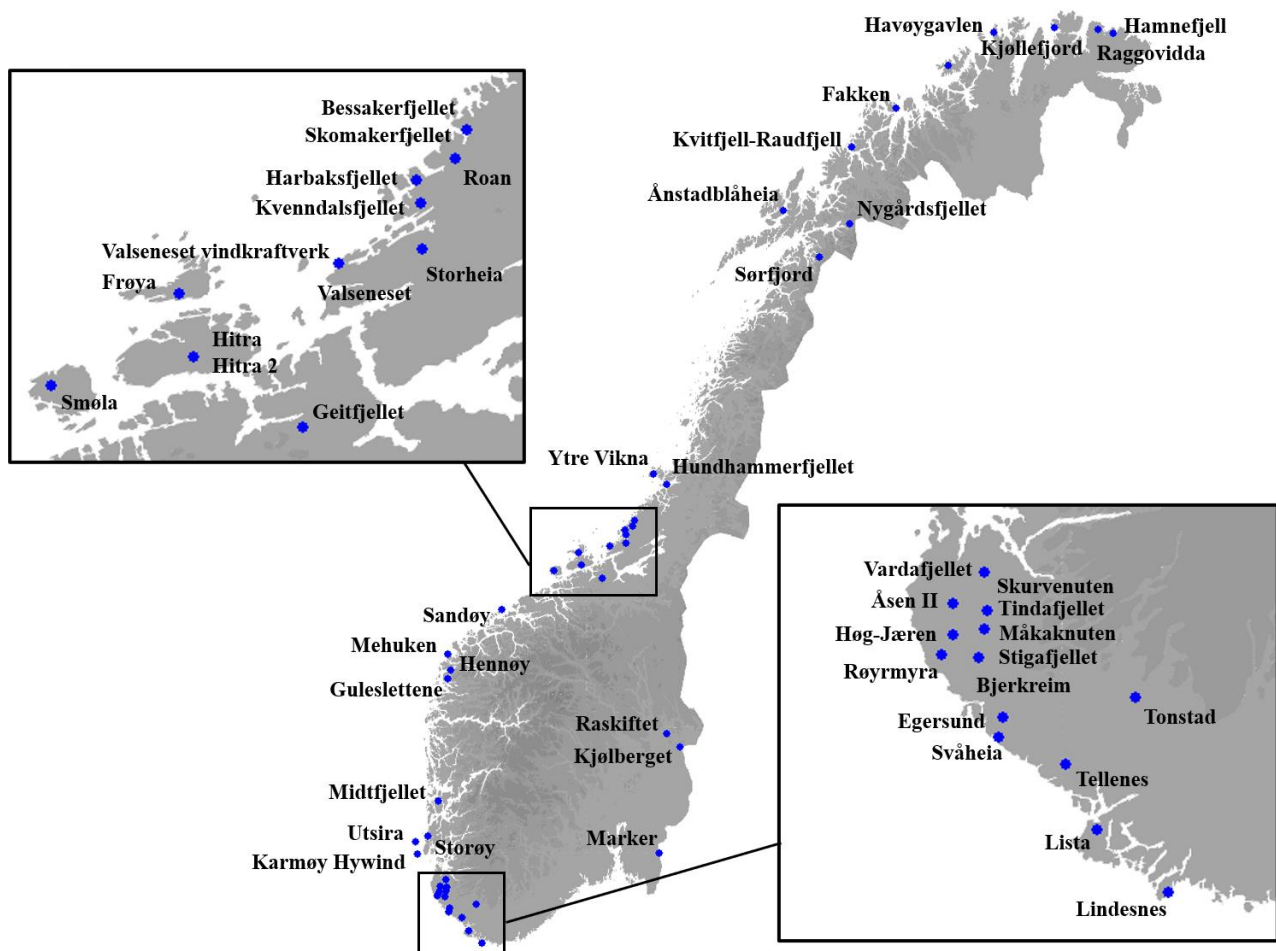
Figur 1 – Oversiktskart med beregnede indekser for samtlige norske vindparker som er inkludert i analysen

1 Innledning

På oppdrag fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har Meventus beregnet vind- og produksjonsindekser for året 2020 for samtlige vindkraftverk i Norge som har vært i normal drift eller under utbygging dette året. Formålet med arbeidet er å få en oversikt over hvordan energiproduksjonen i hvert av disse anleggene var i 2020 sammenlignet med normalårsverdier, informasjon som blir brukt direkte i NVEs arbeid med overvåking og rapportering av Norges vindkraftproduksjon. Perioden 2003 - 2017 er i samråd med NVE valgt som referanseperiode, og de gjennomsnittlige vindforholdene i denne perioden er brukt for beregning av normalverdier for middelvind og produksjon.

Metodikken som er benyttet i denne analysen hensyntar de lokale vindforholdene og tar høyde for relevante stedsspesifikke faktorer som påvirker produksjonen, som terreng, ruhet, retningsavhengige vaketap og luftens tetthet. Beregningsmetodikken er beskrevet i detalj i kapittel 3, mens de beregnede indeksverdiene er presentert og kommentert i kapittel 4.

En oversikt over vindkraftverkene som er inkludert i rapporten er presentert i Figur 2 under.



Figur 2 – Oversikt over vindkraftverkene som er inkludert i analysen

1.1 Endringer i vindkraftverkernes status fra fjorårets rapport

I løpet av 2020 er flere nye vindkraftverk bygget ut og satt i drift, mens noen er lagt ned, og andre har blitt oppgradert med ny effektkurve. Følgende endringer er registrert og hensyntatt i denne rapporten:

- På Hundhammerfjellet er 15 av 17 vindturbiner lagt ned, og 12 nye installert i det samme planområdet. Vindkraftanlegget består nå av 14 turbiner.
- Syv vindkraftverk inkludert i fjorårets rapport ble ferdigstilt i 2020. Dette inkluderer Bjerkreim, Kvitfjell, Skinansfjellet og Gravdal, Sørfjord, Tonstad, Raudfjell og Valsneset Vindkraftverk.
- Ni nye vindkraftverk ble idriftsatt i 2020. Dette inkluderer Frøya, Geitfjellet, Guleslettene, Harbaksfjellet, Hundhammerfjellet, Kvenndalsfjellet, Måkaknuten, Stigafjellet og Vardafjellet.
- Kjølberget vindkraftverk er fortsatt under utbygging ved utgangen av 2020 og er inkludert i denne rapporten.
- Effektkurven til turbinene i Sørfjord og Bjerkreim vindkraftverk er blitt oppgradert fra 4.2 MW til 4.3 MW.

I henhold til avtale med NVE, er følgende naboprojekter gruppert i rapporteringsarbeidet.

- Kvitfjell og Raudfjell vurderes samlet som Kvitfjell-Raudfjell
- Bjerkreim, Skinansfjellet og Gravdal vurderes samlet som Bjerkreim.

Prosjekter som ikke var fullt utbygd innen utgangen av 2020 er vurdert ut fra parkens planlagte totalkapasitet.

2 Datagrunnlag

2.1 Turbinposisjoner

Turbinposisjonene i hvert av vindkraftverkene som inngår i rapporten ble hentet fra NVEs nettside og offentlige databaser (OMS/OSM) som er tilgjengelige i programvaren WindPRO. Samtlige posisjoner er bekreftet ved bruk av satellittbilder for å sikre at de antatte posisjonene samsvarer med det som faktisk er bygget.

2.2 Turbintyper og effektkurver

Informasjon om hvilken turbintype og navhøyde som er benyttet i hvert av anleggene ble hentet fra NVEs database om utbygde vindkraftverk (NVE, 2021), fra forrige årsrapport (NVE, 2020) eller fra offentlig tilgjengelige data fra de respektive anleggenes nettsider. En oversikt over turbintypene som ligger til grunn i beregningene for hvert av vindkraftverkene er presentert i Tabell 1 og Tabell 2.

Tabell 1 – Oversikt over nye vindkraftverk inkludert i denne rapporten (ikke inkludert i fjorårets rapport)

Vindkraftverk	Antall turbiner	Idriftsatt	Turbintype(r)
Frøya	14	2020	Vestas V136 – 4.2 MW
Geitfjellet	43	2020	Vestas V136 – 4.2 MW
Guleslettene	47	2020	Vestas V136 – 4.2 MW
Harbaksfjellet	30	2020	Vestas V117 – 4.2 MW
Hundhammerfjellet	1	2009	Enercon E70 – 2.0 MW
	1	2009	Enercon E70 – 2.3 MW
	12	2020	Vestas V136 – 4.2 MW
Kjølberget	13	2020*	Vestas V150 – 4.3 MW
Kvenndalsfjellet	27	2020	Vestas V117 – 4.2 MW
Måkaknuten	22	2020	SiemensGamesa SWT-DD-130 – 4.3MW
Stigafjellet	7	2020	SiemensGamesa SWT-DD-130 – 4.3MW
Vardafjellet	7	2020	Vestas V117 – 4.3 MW

*ikke ferdigstilt i 2020

Tabell 2 – Oversikt over vindkraftverk inkludert i denne rapporten (og inkludert i fjorårets rapport)

Vindkraftverk	Antall turbiner	Idriftsatt	Turbintype(r)
Bessakerfjellet	25	2008	Enercon E70 – 2.3 MW
Bjerkreim	70	2020	SiemensGamesa SWT-DD-130 – 4.3 MW
Egersund	33	2017	Senvion 3.4M114
Fakken	18	2012	Vestas V90 – 3.0 MW
Hamnefjell	15	2017	Vestas V112 – 3.45 MW
Havøygavlen	15	2002	Nordex N80 – 2.5 MW
	1	2011	Siemens SWT101 – 3.0 MW
Hennøy	12	2019	Vestas V136 – 4.2 MW
Hitra	24	2004	Siemens SWT82 – 2.3 MW
Hitra 2	26	2019	Vestas V117 3.6 MW
Høg-Jæren	32	2012	Siemens SWT93 – 2.3 MW
Karmøy Hywind	1	2009	Siemens SWT82 – 2.3 MW
Kjøllefjord	17	2006	Siemens SWT82 – 2.3 MW
Kvitfjell-Raudfjell	67	2020	SiemensGamesa SWT-DD-130 – 4.2 MW
Lindesnes	2	2019	Vestas V112 – 3.6 MW
Lista	31	2012	Siemens SWT93 – 2.3 MW
Marker	15	2019	Vestas V136 – 3.6 MW
Mehuken	11	2015	Enercon E70 – 2.3 MW
Midtfjellet	34	2012	Nordex N90 – 2.5 MW
	10	2013	Nordex N100 – 2.5 MW
	11	2018	Nordex N117 – 3.6 MW
Nygårdsfjellet	14	2011	Siemens SWT93 – 2.3 MW
Raggovidda	15	2014	Siemens SWT101 – 3.0 MW
Raskiftet	31	2018	Vestas V126 – 3.6 MW
Roan	71	2018	Vestas V117 – 3.6 MW
Røyrmøya	3	2015	Enercon E48 – 0.8 MW
Sandøy	5	1999	NEG Micon NM48 -0.75MW
Skomakerfjellet	4	2015	Vestas V112 – 3.3 MW
Skurvenuten	2	2018	Vestas V117 – 3.45 MW
Smøla	20	2002	Bonus 76 – 2.0 MW
	48	2005	Siemens SWT82 – 2.3 MW
Storheia	80	2019	Vestas V117 – 3.6 MW
Storøy	2	2018	Enercon E115 – 3.2 MW
Svåheia	7	2018	Vestas V126 – 3.6 MW
Sørfjord	23	2020	SiemensGamesa SWT-DD-130 – 4.2 MW
Tellenes	50	2017	Siemens SWT113 – 3.2 MW
Tindafjellet	3	2018	Vestas V117 – 3.45 MW
Tonstad	51	2020	SiemensGamesa SWT-DD-142 – 4.1 MW
Utsira	2	2010	Enercon E40 – 0.6 MW
Valsneset	5	2006	Enercon E70 – 2.3 MW
Valsneset vindkraftverk	3	2020	Vestas V117 – 4.2 MW
Ytre Vikna	17	2012	Enercon E70 – 2.3 MW
Ånstadblåheia	14	2018	Vestas V126 – 3.6 MW
Åsen II	2	2012	Enercon E48 – 0.8 MW

Spesifikke effektkurver er hentet fra WindPRO's WTG (Wind Turbine Generator) database.

En fullstendig liste over effektkurvene som er benyttet for hver spesifikk turbin type er presentert i Appendiks A.

2.3 Terreng- og ruhetsdata

For terrengbeskrivelse i hvert av områdene ble det benyttet høykvalitets høydedata (DTM data med 10 m oppløsning eller 10 m høydekoter). For ruhetsbeskrivelse ble det i WindSim benyttet ruhetsdata basert på N50 datasettet fra Statens Kartverk, mens det for vindkraftverkene modellert med WASP ble benyttet ruhetsbeskrivelse fra datasettet Corine 2012¹. Ruhetsverdiene som ble benyttet for hver respektive terrengtype for de to datasettene er presentert i Tabell 3.

Tabell 3 – Oversikt over ruhetslengder benyttet i beregningene

Type område	Ruhetslengde [m]	
	WindSim	WASP
Hav/innsjø	0.0001	0.00
Åpent Område	0.03	0.03
Dyrket mark	0.05	0.06
Myr	0.1	0.02
Bebyggelse	0.4	0.4
Skog	0.8	0.5

2.4 Meteorologiske referansedata

De meteorologiske referansedataene (hindcast) som er benyttet for denne analysen er EMD-WRF globale mesoskala data², levert av det danske selskapet EMD International A/S (leverandør av programvaren WindPRO). WRF (Weather Research and Forecasting model) er et veletablert mesoskala numerisk værvarslingssystem designet for både atmosfærisk forskning og operasjonelle prognoseapplikasjoner. Gjennom WindPRO kan dette datasettet genereres for ønsket område og produseres ved bruk av WRF-modellen og grensebetingelser fra et utvalg av meteorologiske referansedata med tidsoppløsning på 1 time og romlig oppløsning på 3 x 3 km.

Grensebetingelsene for WRF-modellen er for denne analysen hentet fra det meteorologiske referansedatasettet CFSR/CFSv2 (Climate Forecast System Reanalysis data)³.

For denne analysen ble det lastet ned en historisk mesoskala (WRF) tidsserie for perioden fra 2003 og ut 2020 for et representativt sted innenfor hvert av vindkraftverkene. Det aktuelle datasettet

¹ http://help.emd.dk/mediawiki/index.php?title=Corine_2012

² <https://www.emd.dk/windpro/mesoscale-data/emd-wrf-meso-scale-on-demand-service/>

³ <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2>

inkluderer vindhastighet og vindretning for 5 ulike høyder mellom 10 og 200 meter, samt temperatur og lufttrykk som ble benyttet for beregning av lufttettheten for hvert tidssteg.

2.5 Historiske produksjonsdata

Produksjonsdata for hele referanseperioden fra hvert av vindkraftverkene ble gjort tilgjengelig av NVE for bruk i denne analysen. Dataene ble benyttet for kalibrering av produksjonsmodellen og for verifikasjon av resultatene. De timesoppløste aggregerte produksjonsverdiene (totalproduksjon for hvert vindkraftverk) var registrert av Statnett på inmatingspunktet.

Det påpekes at enkelte vindkraftverk ikke var ferdigstilt før slutten eller ved utgangen av 2020, og den oppgitte produksjonen for de aktuelle vindkraftverkene vil da ikke reflektere anleggenes fulle kapasitet.

3 Beregningsmetode

Modelleringsmetodikken som er benyttet for beregning av vind- og produksjonsindekser er konsekvent for samtlige vindkraftprosjekter som inngår i denne analysen, uavhengig av anleggenes størrelse. Dette sikrer sammenlignbare resultater og er viktig for å kunne kartlegge eventuelle geografiske mønstre i resultatene.

Metodikken som er benyttet hensyntar de lokale vindforholdene og tar høyde for relevante stedsspesifikke faktorer som påvirker produksjonen, som terreng, ruhet, retningsavhengige vaketap og luftens tetthet.

Kort oppsummert er følgende fremgangsmåte benyttet:

- **Strømningsmodell:** En tilpasset strømningsmodell er satt opp for hvert område.
- **Produksjonsmodell:** Basert på turbinposisjonene med tilhørende effektkurver og parametere for vakemodellering er samlede effektkurver for alle mulige kombinasjoner av vindhastighet, vindretningssektorer og variasjon i lufttetthet beregnet for hvert av anleggene.
- **Skalering av WRF-data:** Parkspesifikke skaleringsfaktorer for justering av inngangsdata fra WRF til forventet nivå er beregnet. Dette er gjort ved en sammenligning av parkens beregnede produksjon basert på WRF-data og historiske produksjonsdata fra NVE/Statnett.
- **Vind- og produksjonsserier:** De resulterende kalibreringsfaktorene og effektkurvene (for samlet produksjon for hvert vindkraftanlegg) for hver kombinasjon av vindhastighet, vindretning og lufttetthet er deretter benyttet direkte på oppdatert tidsserier fra WRF.

Fremgangsmåten som er benyttet er beskrevet nærmere i de følgende underkapitlene.

3.1 Strømningsmodeller

Avhengig av størrelse og terrengforhold for hvert av de individuelle vindkraftanleggene er en av følgende beregningsmetodikker benyttet for modellering av strømningsforholdene:

- WindSim CFD-modell (Computational Fluid Dynamics) med høy oppløsning
- WindSim CFD-modell med moderat oppløsning
- WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) lineær strømningsmodell

Hvilken type strømningsmodell som er benyttet for hvert av de aktuelle vindkraftanleggene er presentert i Appendiks B. Valg av strømningsmodeller er avklart med NVE.

3.2 Produksjonsmodeller

Et WindPRO-prosjekt er satt opp for hvert enkelt vindkraftanlegg. WindPRO-prosjektene inneholder detaljerte høyde- og ruhetsdata for området innenfor og rundt anleggene, turbinposisjoner, tilhørende effektkurve(r) og langtidskorrigerede vinddata. For små prosjekter hvor det er benyttet en

lineær WASP-modell er denne modellen satt opp direkte i WindPRO. For større parker hvor strømningsforholdene er beregnet med en WindSim CFD-strømningsmodell er relevante data hentet inn i WindPRO-prosjektet ved bruk av en WindSim FLOWRES eksportfil.

Turbinenes vaketap er modellert i WindPRO ved bruk av N.O.Jensen-modellen med en standard vakereduksjonskonstant for landbaserte vindkraftprosjekter.

Det resulterende WindPRO-prosjektet er benyttet for beregning av effektkurver for vindkraftverkens samlede produksjon for alle mulige kombinasjoner av vindhastighet, vindretning og lufttetthet. Disse effektkurvene er frembragt basert på en syntetisk tidsserie som inneholder alle kombinasjoner av 36 vindretningssektorer, vindhastigheter fra 0 til 40 m/s, og et spekter av tetthetsverdier (fra 1.050 til 1.475 kg/m³, i intervaller på 0.025) som kan forventes for hvert område.

3.3 Skalering av WRF-data

En historisk WRF-tidsserie med høy oppløsning (som beskrevet i seksjon 2.4) er benyttet som inngangsdata for produksjonsmodellene som er satt opp for hvert enkelt vindkraftverk. Ettersom vindhastigheten fra WRF-modellene ikke alltid samsvarer helt med det som forventes i området, er WRF-dataene skalert før bruk i produksjonsberegningene. WRF-data beregnet i 100 m høyde over bakken er benyttet, og dataene er justert til aktuell navhøyde ved bruk av strømningsmodellen.

Skaleringen er gjennomført ved beregning av tidsvarierende produksjonsverdier for hvert av vindkraftanleggene basert på tidsserier med vindhastighet, vindretning og lufttetthet (basert på temperatur og lufttrykk) fra WRF-datasettet. Disse tidsseriene ble sammenlignet med de historiske produksjonsdataene fra NVE/Statnett for beregning av egnet skaleringsfaktor. Produksjonen på timesbasis vil ofte variere mye fra time til time, basert på variasjon i vindforhold i de enkelte turbinposisjonene og eventuelle tekniske problemer. For å redusere resultatenes sensitivitet til statusen på de individuelle turbinene ble produksjonen samlet til daglige produksjonsverdier for skalering. Dette gjorde det også lettere å ekskludere data med tekniske problemer.

For å sikre en best mulig tilpassing av WRF-dataene til de faktiske forholdene i hvert område, ble følgende perioder ekskludert i kalibreringsprosessen:

- Vinterdata (f.o.m. desember t.o.m. februar) for å redusere påvirkning fra eventuelle isingsperioder. For prosjekter uten tilstrekkelig data er utvalgte data i disse periodene inkludert.
- Oppstartsperioder for nye vindturbiner.
- Perioder hvor turbinene tydelig ikke produserer optimalt.

For prosjekter hvor det er gjennomført en stegvis utbygging ble kalibreringen utført basert på data fra det oppsettet som har vært gjeldende lengst. Dette for å maksimere mengden data som var tilgjengelig for tilpassingen.

For nye prosjekter med lite historiske produksjonsdata tilgjengelig er skaleringsfaktoren delvis basert på faktorer benyttet for lignende prosjekter og en erfaringsbasert vurdering.

3.4 Vind- og produksjonsserier

Korrigerte timesoppløste tidsserier for vindhastighet, vindretning og lufttetthet ble beregnet for hvert av prosjektene basert på de historiske WRF-dataene og de respektive skaleringsfaktorene. Lufttettheten for hvert tidssteg ble beregnet basert på modellert temperatur og lufttrykk i 100 m høyde. Lufttettheten ble i denne prosessen avrundet til nærmeste 0.025 for å tilpasses nivåene i de genererte parkspesifikke effektkurvene. Vindhastigheten ble samtidig korrigert for endringen i lufttetthet i henhold til IEC 61400-12-1 (IEC, 2005) ved hjelp av ligningen under (1).

$$V_{korr} = V_{mod} \left(\frac{\rho_{mod}}{\rho_{avr}} \right)^{1/3} \quad (1)$$

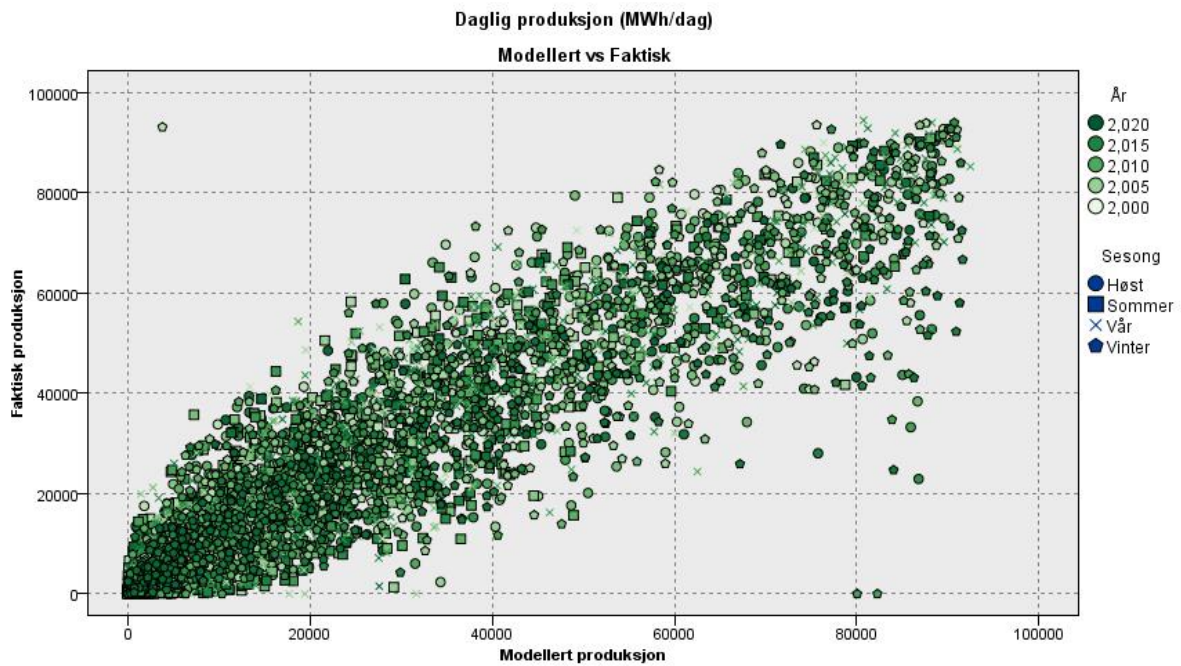
Lufttettheten ρ_{mod} er den modellerte lufttettheten som benyttes for å justere den modellerte vindhastigheten V_{mod} til den vindhastigheten V_{korr} som med nærmeste avrundede lufttetthet (ρ_{avr}) vil representere den samme vindenergien.

De korrigerte tidsseriene ble videre benyttet i kombinasjon med aktuell effektkurve for parkens samlede produksjon for beregning av tidsserie med forventet produksjon, inkludert vaketap, for tidsperioden fra 2003 og frem til dagens dato. Figurer som viser modellert produksjon sammenlignet med faktisk produksjon for hvert av vindkraftverkene er inkludert i Appendiks C.

Denne produksjonen ble samlet til årlige verdier for beregning av vind- og produksjonsindekser. For vindkraftanlegg som var under bygging i 2020, som f.eks. Geitfjellet og Harbaksfjellet, var det anleggets planlagte totalkapasitet som ble lagt til grunn for beregning av indeksene, uansett om hele anlegget ble idriftsatt i 2020 eller ikke.

3.5 Verifikasjon av produksjonsmodell

De modellerte tidsseriene med produksjonsdata ble sammenlignet med de faktiske produksjonsdataene for å sikre at modellen klarer å gjenspeile de faktiske forholdene. En sammenligning mellom modellert og faktisk produksjon for et av vindkraftverkene i analysen er vist i Figur 3. Markørene i figuren er fargelagt med hensyn på årstallet, mens formen på markørene angir hvilken sesong datapunktet gjelder for.



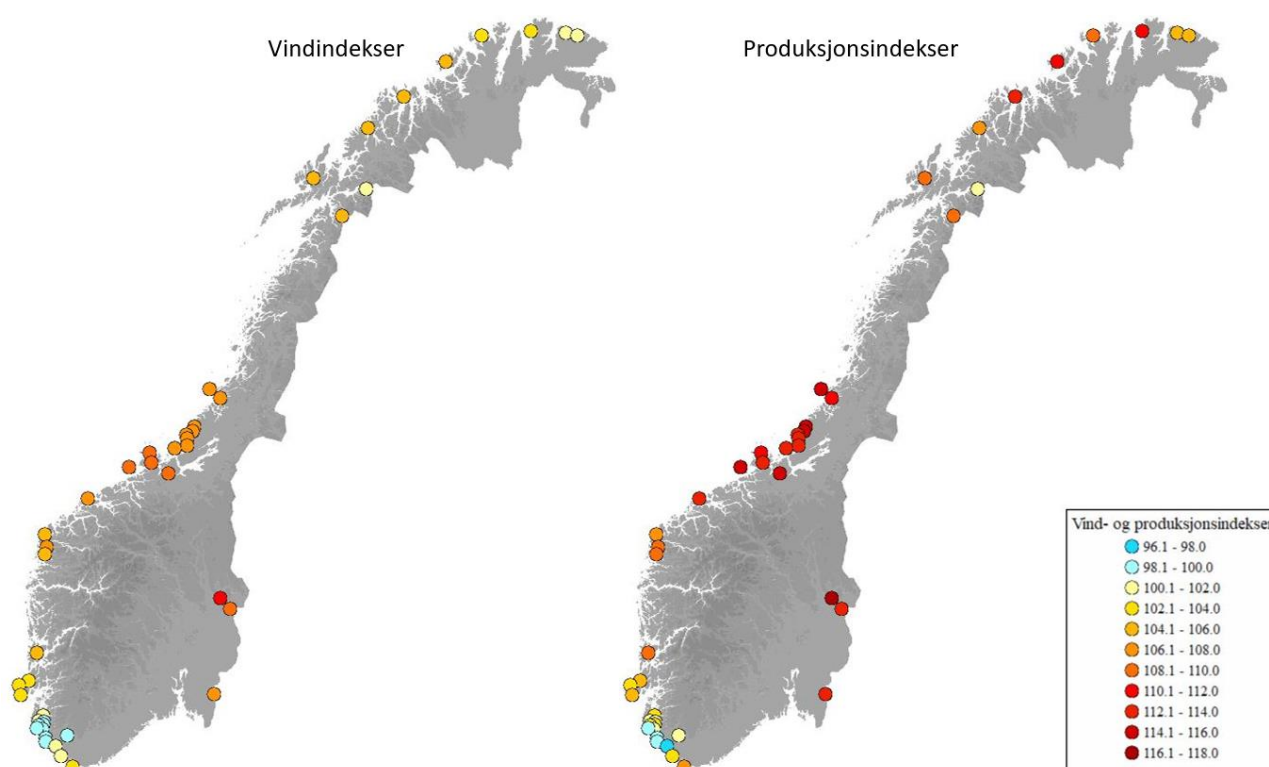
Figur 3 – Eksempel på verifikasjonsplot. Figuren viser sammenligning mellom modellert produksjon og faktisk produksjon for et av vindkraftverkene i analysen.

Verifikasjonsplot for produksjonen i 2020 er presentert i Appendiks C for samtlige inkluderte vindkraftverk med tilgjengelige produksjonsdata.

4 Vind- og produksjonsindekser

Vind- og produksjonsindekser for 2020 ble beregnet basert på en 15 års referanseperiode, f.o.m. 2003 t.o.m. 2017.

Beregnete vind- og produksjonsindekser for samtlige vindkraftverk i Norge som var i normal drift i 2020 er markert geografisk på kartene i Figur 4 under og presentert i Tabell 4 (neste side). Tabellen viser også årlig standardavvik i produksjonsindeksen for hvert av anleggene, basert på produksjonsindekser beregnet for perioden 2003–2020. Denne verdien gir en indikasjon på årlig variasjon i produksjonen for hvert av vindkraftverkene.



Figur 4 – Oversiktskart med beregnede indekser for samtlige norske vindparker som er inkludert i analysen

Vind- og produksjonsindeksene følger generelt det samme mønsteret. Resultatene viser at for 41 av 51 vindparker i Norge var vindindeksene over normalen i 2020, mens for de resterende 10 vindparkene var 2020 et lavvindsår. I tillegg hadde 47 av 51 vindparker en produksjonsindeks over normalen i 2020 med kun 4 vindparker som produserte under gjennomsnittet.

Som det fremgår av oversiktskartet i Figur 4 er det i midtre, nordlige og østlige deler av landet man finner de høyeste produksjonsindeksene for 2020, mens for vindkraftanleggene på Sørvestkysten var produksjonsindeksen for dette året generelt nær normalen.

Tabell 4 – Vind- og produksjonsindekser for samtlige vindkraftanlegg i Norge i normal drift i 2020.

Vindkraftanlegg	Vindindeks 2020 [%]	Produksjonsindeks 2020 [%]	Årlig standardavvik i produksjonsindeksene [%]
Bessakerfjellet	107.7	114.1	7.8
Bjerkreim	99.1	100.7	6.5
Egersund	98.7	98.4	6.8
Fakken	105.0	112.9	7.9
Frøya	108.3	111.1	8.1
Geitfjellet	109.0	115.9	8.2
Guleslettene	105.0	109.8	10.9
Hamnefjell	101.7	105.2	5.8
Harbaksfjellet	107.3	112.7	6.8
Havøygavlen	103.7	109.3	7.8
Hennøy	106.7	109.1	10.3
Hitra	108.9	116.9	11.3
Hitra 2	108.9	114.0	10.1
Hundhammerfjellet	107.7	111.8	7.4
Høg-Jæren	99.3	102.5	5.9
Karmøy Hywind	102.8	105.3	6.6
Kjølberget	108.2	113.1	6.6
Kjøllefjord	103.9	110.1	6.8
Kvenndalsfjellet	107.0	113.6	7.4
Kvitfjell-Raudfjell	105.3	107.5	6.6
Lindesnes	103.0	107.1	7.3
Lista	101.4	102.1	7.2
Marker	107.6	113.8	7.5
Mehuken	105.0	106.9	11.4
Midtfjellet	104.3	108.4	9.8
Måkaknuten	99.4	102.2	5.9
Nygårdsfjellet	101.7	101.2	6.6
Raggovidda	101.4	104.3	5.1
Raskiftet	110.5	117.6	7.7
Roan	107.7	114.3	7.7
Røyrmyna	99.3	99.4	6.8
Sandøy	106.3	112.1	13.3
Skomakerfjellet	107.8	114.3	8.1
Skurvenuten	99.4	101.6	7.8
Smøla	108.1	115.5	13.8
Stigafjellet	99.5	101.7	5.7
Storheia	106.6	113.1	7.2
Storøy	103.3	106.0	6.6
Svåheia	99.4	98.8	7.1
Sørfjord	105.7	108.1	7.8
Tellenes	100.3	97.9	6.2
Tindafjellet	99.4	101.2	7.2
Tonstad	99.7	100.7	5.9
Utsira	102.3	103.9	7.0
Valsneset	106.1	113.2	8.0
Valsneset vindkraftverk	106.1	111.2	6.8
Vardafjellet	101.5	102.5	7.9
Ytre Vikna	107.5	115.5	8.7
Ånstadblåheia	105.1	109.0	8.3
Åsen II	100.1	100.1	8.3

Den høyeste produksjonsindeksen er beregnet for vindkraftverket Raskiftet på 117.6 % av normalen, mens den laveste produksjonsindeksen er beregnet for Tellenes vindkraftverk på 97.9 % av normalen.

Standardavviket i produksjonsindeksen gir en indikasjon på hvor mye produksjonen vil kunne variere fra år til år. Som det fremgår av Tabell 4 varierer standardavviket mellom 5.1 % og 13.8 % for de 51 vindkraftverkene som inngår i analysen. Beregnet standardavvik er lavest for vindkraftverkene i Øst-Finnmark (Raggovidda og Hamnefjell), mens de høyeste verdiene er beregnet for vindkraftverkene på Nordvestlandet.

Gjennomsnittlig produksjonsindeks for 2020 er beregnet til 108.0 %, mens kapasitetsvektet gjennomsnitt av produksjonsindeksen ligger litt høyere på 108.7 %.

5 Referanser

- NVE, 2014 Vindkraft – produksjon i 2014, Rapport nr. 18 – 2015, Norges Vassdrags- og Energidirektorat
- NVE, 2018 Vindkraft – produksjon i 2017, Rapport nr. 10 – 2018, Norges Vassdrags- og Energidirektorat
- NVE, 2019 Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2018, MEV WS 2019-001, (<https://www.nve.no/media/7886/vind-og-produksjonsindekser-for-vindkraft-i-norge-2018.pdf>)
- NVE, 2020 Vind- og produksjonsindekser for vindkraft i Norge, 2019, MEV WS 2020-001, (<http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201307790/3075907>)
- NVE, 2021 NVEs nettside om utbygde vindkraftverk (01.2021) (<https://www.nve.no/energiforsyning/vindkraft/utbygde-vindkraftverk/>)
- IEC, 2005 IEC 61400-12-1:2005, Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 2005

Appendiks A: Effektkurver for turbinene

Tabell 5 – Oversikt over effektkurver benyttet i analysen (Del 1 av 2). Effekten er oppgitt i kW.

Vindhastighet [m/s]	Bonus	Enercon					NEG Micon	Senvion	Siemens / Siemens Gamesa							Vestas	
	B76 2.0MW	E40 0.6MW	E48 0.8MW	E70 2.0MW	E70 2.3MW	E92 2.35MW	NM48 0.75MW	3.4M114	SWT82 2.3MW	SWT93 2.3MW	SWT101 3.0MW	SWT113 3.2MW	SWT-DD- 130 4.2MW	SWT-DD- 130 4.3MW	SWT-DD- 142 4.1MW	V90 3.0MW	V136 3.6MW
2	0	0	0	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	2	5	18	18	30	0	23	0	0	50	63	30.9	30	40	0	43
4	0	15	25	56	56	98	20	140	75	103	132	171	195.2	190	245	77	184
5	55	41	60	127	127	208	53	327	161	221	272	355	453.4	449	556	190	421
6	190	80	110	240	240	384	97	601	294	401	485	628	813.6	811	992	353	778
7	378	136	180	400	400	637	155	988	478	652	783	1008	1302	1303	1583	581	1269
8	611	208	275	626	626	976	245	1502	721	981	1177	1503	1922	1927	2308	886	1901
9	902	295	400	892	892	1404	349	2105	1031	1408	1674	2074	2633	2647	3056	1273	2630
10	1242	405	555	1223	1223	1818	462	2721	1413	1892	2258	2601	3343	3376	3698	1710	3261
11	1609	508	671	1590	1590	2089	565	3208	1829	2241	2757	2949	3895	3961	4020	2145	3534
12	1901	571	750	1830	1900	2237	641	3400	2155	2299	2955	3114	4139	4231	4092	2544	3593
13	2000	600	790	1950	2080	2300	696	3400	2275	2300	2995	3173	4193	4292	4099	2837	3600
14	2000	600	810	2050	2230	2350	730	3400	2297	2300	3000	3192	4199	4299	4100	2965	3600
15	2000	600	810	2050	2300	2350	746	3400	2300	2300	3000	3198	4200	4300	4100	2995	3600
16	2000	600	810	2050	2310	2350	750	3400	2300	2300	3000	3199	4200	4300	4100	3000	3600
17	2000	600	810	2050	2310	2350	745	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4300	4100	3000	3600
18	2000	600	810	2050	2310	2350	735	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4300	4100	3000	3600
19	2000	600	810	2050	2310	2350	723	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4300	4100	3000	3600
20	2000	600	810	2050	2310	2350	712	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4300	4100	3000	3600
21	2000	600	810	2050	2310	2350	701	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4300	3553	3000	3600
22	2000	600	810	2050	2310	2350	694	3400	2300	2300	3000	3200	4200	4300	3007	3000	3600
23	2000	600	810	2050	2310	2350	693		2300	2300	3000	3168	4200	4300	2460	3000	3600
24	2000	600	810	2050	2310	2350	695		2300	2300	3000	3136	3528	3612	1913	3000	3600
25	2000	600	810	2050	2310	2350	701		2300	2300	3000	2844	2856	2924	1367	3000	3600
26												2489	2184	2236	820		
27												2133	1512	1548			
28												1778	840	860			
29												1422					
30												1067					
31												711					
32												356					

Tabell 6 - Oversikt over effektkurver benyttet i analysen (Del 2 av 2). Effekten er oppgitt i kW.

Vindhastighet [m/s]	Enercon	Nordex				Vestas									
	E115 3.2MW	N80 2.5MW	N90 2.5MW	N100 2.5MW	N117 3.6MW	V112 3.3MW	V112 3.45MW	V112 3.6MW	V117 3.45MW	V117 3.6MW	V117 4.2MW	V117 4.3MW	V126 3.6MW	V136 4.2MW	V150 4.3MW
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	49	1	9	3	15	6	7	7	22	22	12	19	36	57	81
3.5	94	24	43	46	70	52	53	53	78	78	65	75	102	133	172
4	155	60	87	101	146	121	123	123	150	150	140	147	183	225	285
4.5	236	105	140	171	241	204	208	208	237	237	230	233	281	338	424
5	339	160	208	256	355	303	309	309	340	340	336	336	401	479	596
5.5	468	225	292	356	489	417	427	427	466	466	460	461	546	650	808
6	628	302	390	472	646	553	567	567	617	617	610	611	721	856	1061
6.5	821	392	504	608	830	715	732	732	796	796	788	788	928	1100	1360
7	1036	496	635	765	1043	906	927	927	1006	1006	996	998	1169	1386	1711
7.5	1265	615	787	945	1287	1124	1149	1149	1247	1247	1236	1237	1441	1710	2106
8	1522	749	958	1148	1564	1371	1401	1401	1522	1522	1507	1509	1755	2077	2549
8.5	1816	896	1147	1372	1868	1650	1688	1687	1831	1830	1814	1815	2099	2472	3021
9	2125	1055	1353	1615	2188	1957	2006	2006	2178	2176	2155	2157	2470	2858	3470
9.5	2419	1222	1572	1877	2513	2287	2348	2348	2544	2541	2521	2523	2826	3212	3839
10	2677	1396	1802	2108	2824	2627	2693	2693	2905	2903	2892	2895	3142	3548	4099
10.5	2881	1573	2038	2282	3089	2925	3011	3010	3201	3209	3245	3247	3379	3834	4228
11	3030	1752	2232	2401	3288	3125	3252	3263	3374	3418	3556	3566	3517	4029	4287
11.5	3125	1931	2369	2473	3429	3239	3388	3441	3435	3543	3815	3838	3581	4140	4298
12	3177	2100	2455	2498	3523	3285	3436	3545	3448	3589	4008	4052	3597	4185	4300
12.5	3197	2237	2496	2500	3576	3297	3448	3587	3450	3599	4124	4192	3600	4197	4300
13	3200	2340	2500	2500	3598	3300	3450	3598	3450	3600	4178	4264	3600	4199	4300
13.5	3200	2416	2500	2500	3600	3300	3450	3599	3450	3600	4187	4281	3600	4200	4300
14	3200	2465	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4196	4294	3600	4200	4300
14.5	3200	2492	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4299	3600	4200	4300
15	3200	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4300
15.5	3200	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4300
16	3200	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4300
16.5	3200	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4300
17	3200	2500	2500	2500	3600	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4300
17.5	3271	2767	2608	2544	3724	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4296
18	3286	2833	2631	2553	3751	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4230
18.5	3301	2899	2654	2563	3778	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4102
19	3316	2965	2677	2572	3805	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	4003
19.5	3331	3031	2700	2581	3832	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	3895
20	3347	3097	2723	2590	3859	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	3770
20.5	3362	3163	2746	2599	3886	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	3607
21	3377	3229	2769	2608	3913	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	3408
21.5	3392	3295	2792	2618	3940	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	3180
22	3407	3360	2815	2627	3967	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	2917
22.5	3422	3426	2838	2636	3994	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	2645
23	3437	3492	2861	2645	4021	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	2363
23.5	3452	3558	2884	2654	4048	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	2070
24	3467	3624	2907	2664	4075	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	1782
24.5	3482	3690	2930	2673	4102	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	1561
25	3497	3756	2953	2682	4129	3300	3450	3600	3450	3600	4200	4300	3600	4200	
25.5	3513	3822	2976	2691	4156						4200	4300			
26	3528	3888	2999	2700	4183						4200	4300			
26.5	3543	3954	3022	2710	4210						4200	4300			
27	3558	4020	3045	2719	4237						4200	4300			
27.5	3573	4086	3068	2728	4264										
28	3588	4152	3091	2737	4291										

Appendiks B: Valg av modelloppsett

Tabell 7 under viser en oversikt over hvilken type strømningsmodell som er benyttet for hvert av vindkraftverkene som inngår i analysen. De tre ulike typene strømningsmodell er:

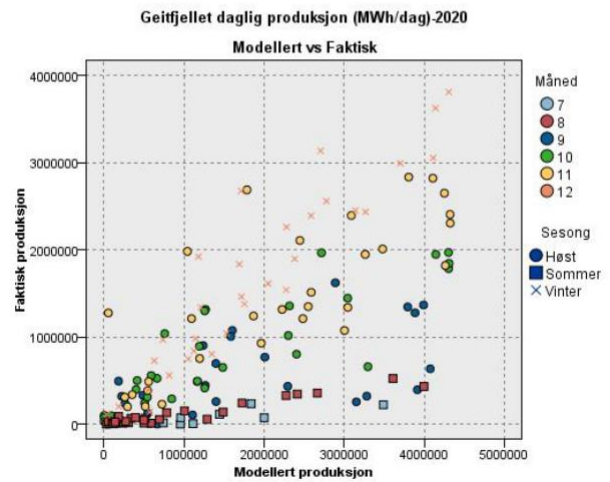
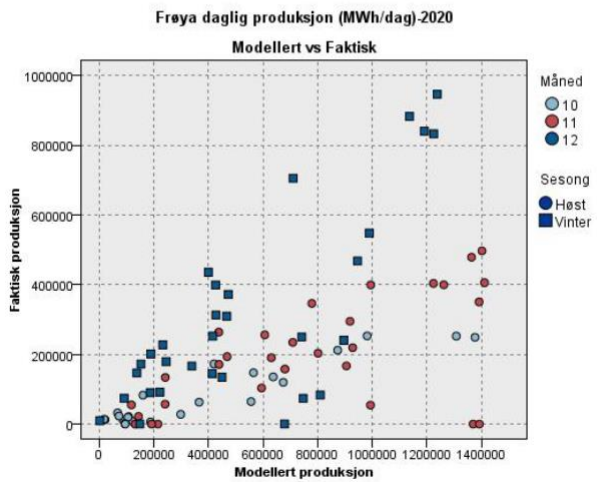
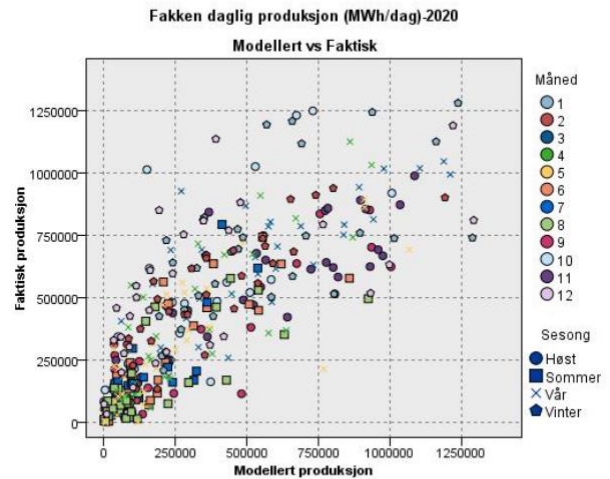
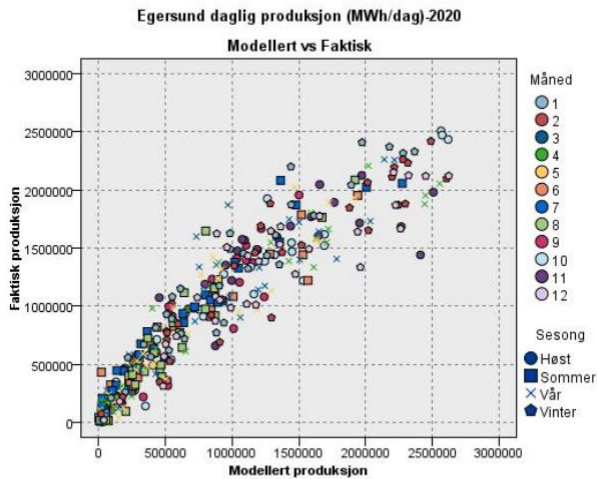
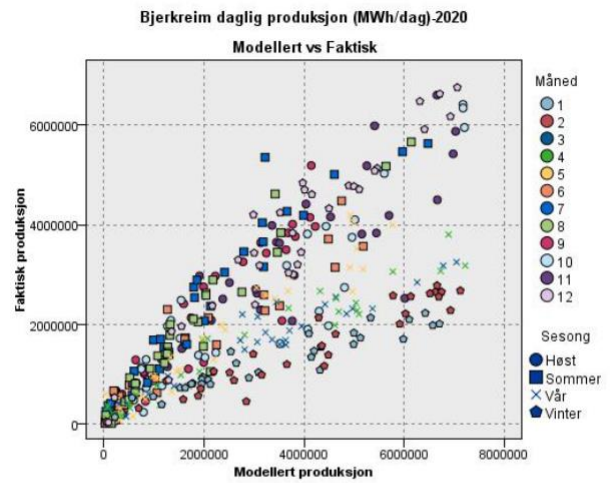
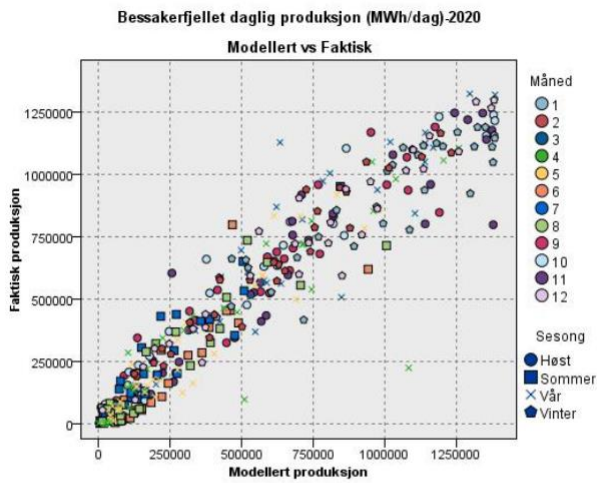
- WindSim CFD-modell med høy oppløsning (20x20 m) (H)
- WindSim CFD-modell med moderat oppløsning (50x50 m) (M)
- WASP lineær strømningsmodell (W)

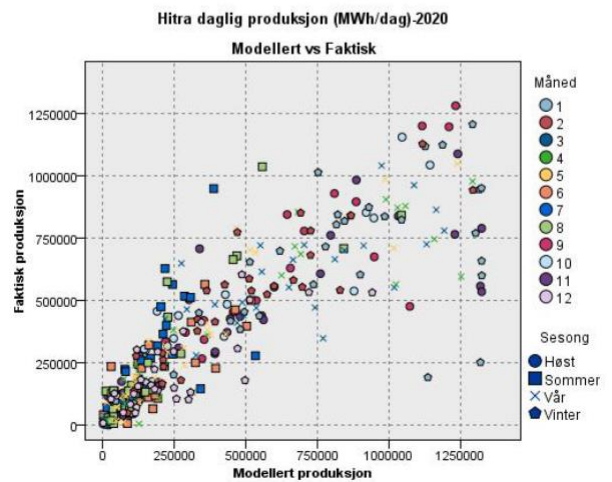
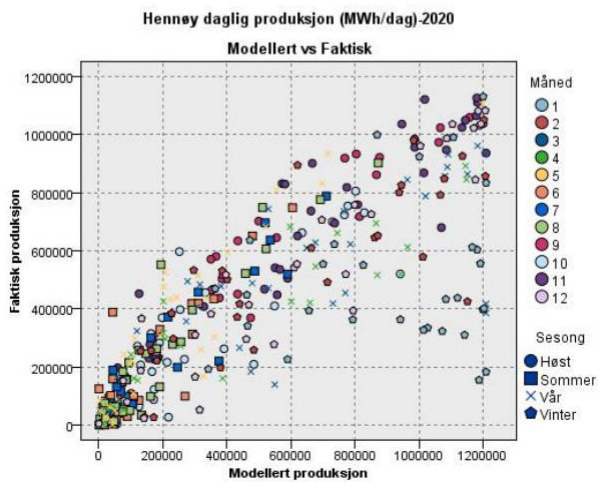
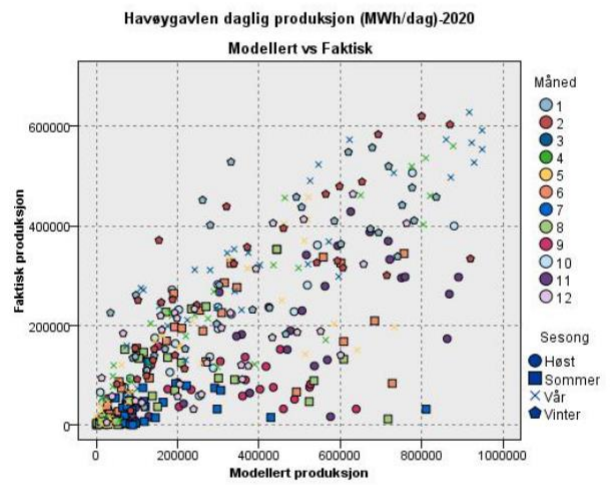
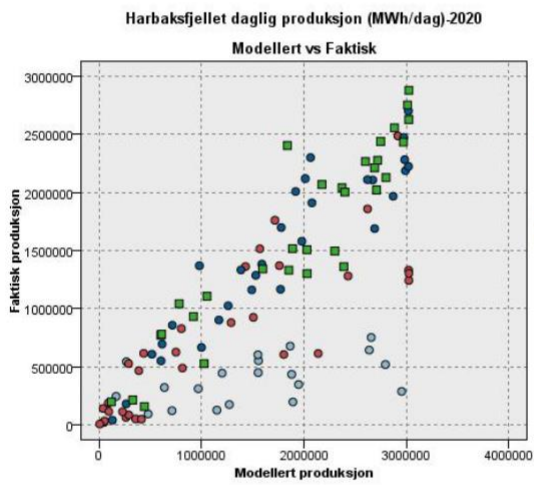
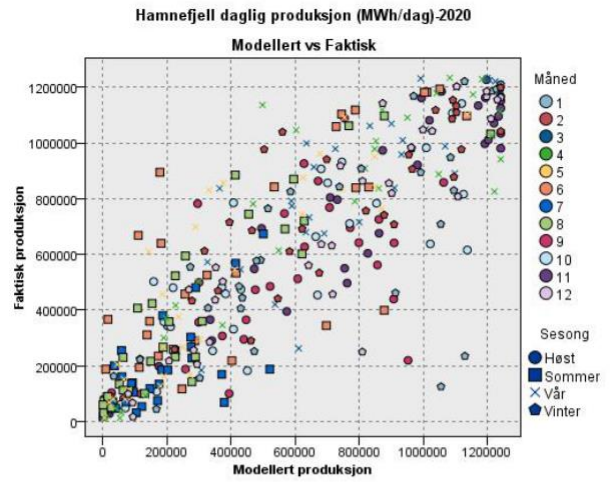
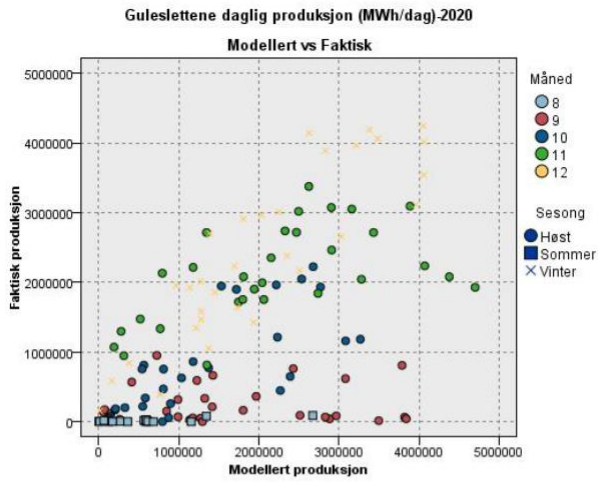
Valg av strømningsmodell er basert på en vurdering av anleggets størrelse, kompleksiteten i terrenget i det aktuelle området og terrengforskjellene mellom de ulike turbinposisjonene. Valg av strømningsmodeller er avklart med NVE.

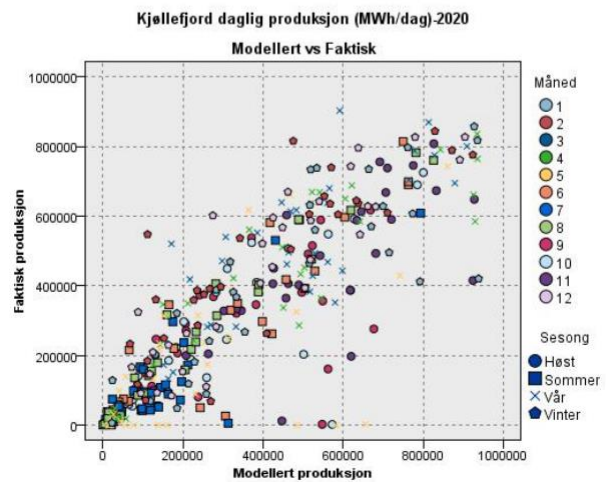
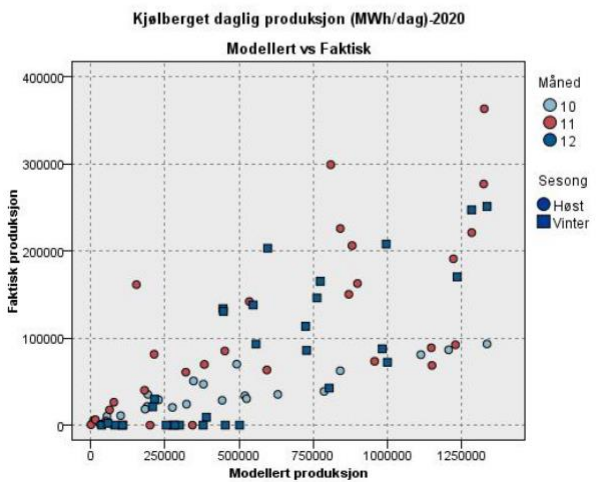
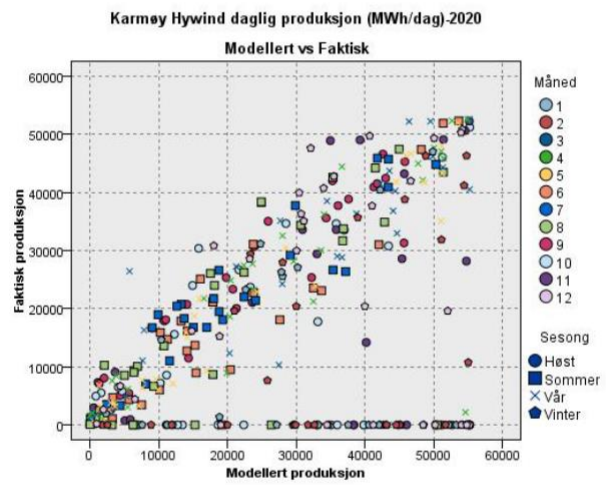
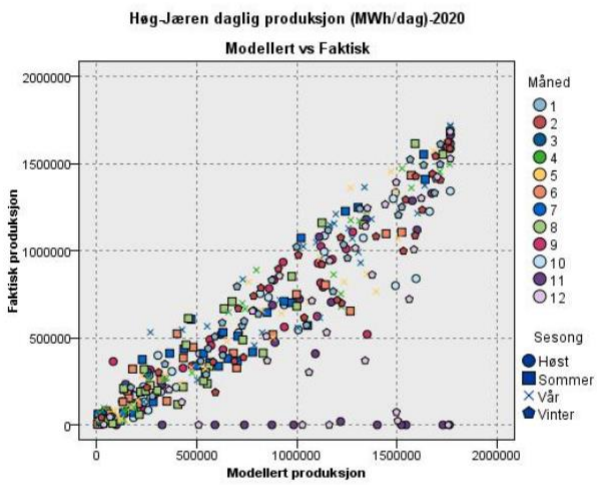
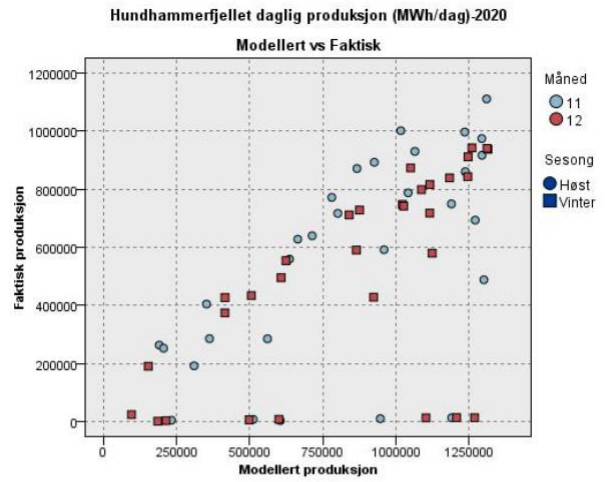
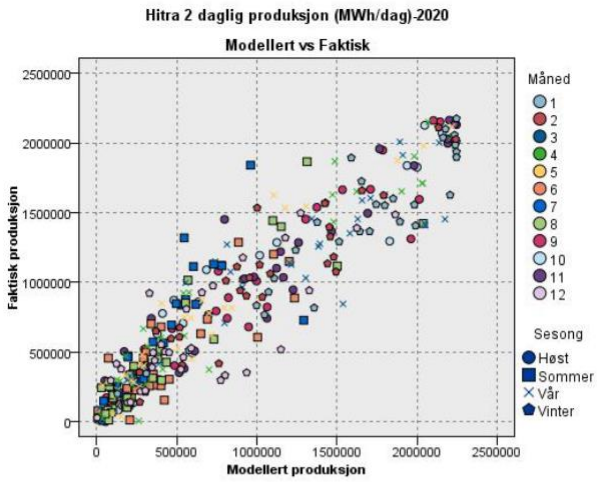
Tabell 7 – Oversikt over samtlige vindkraftverk inkludert i rapporten, med valgt type strømningsmodell

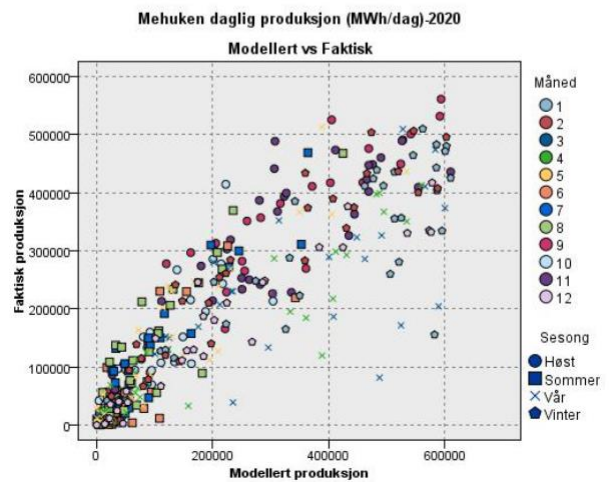
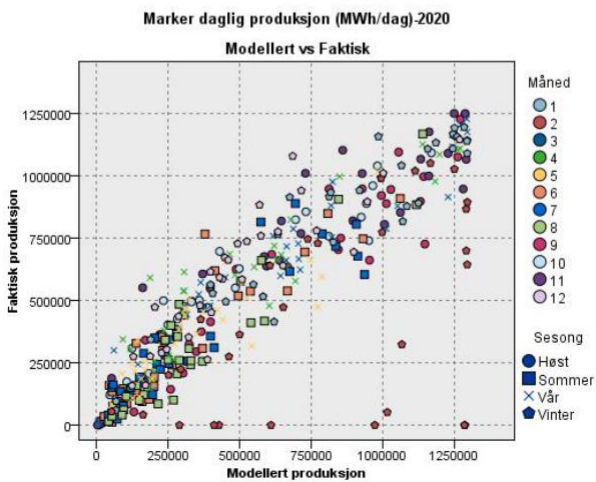
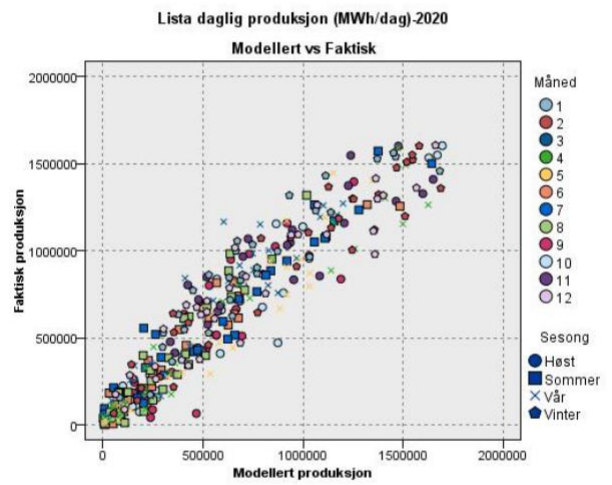
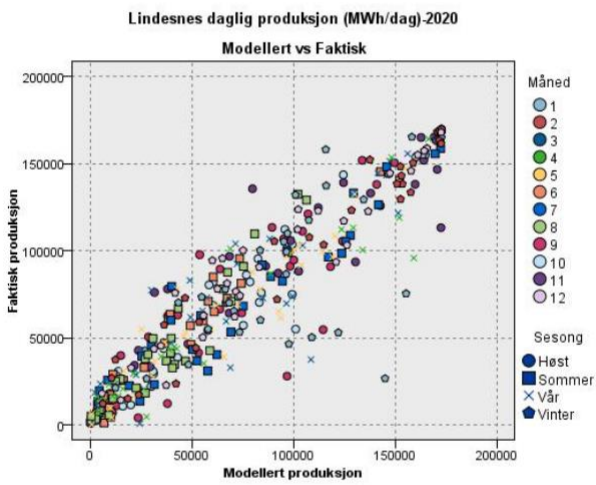
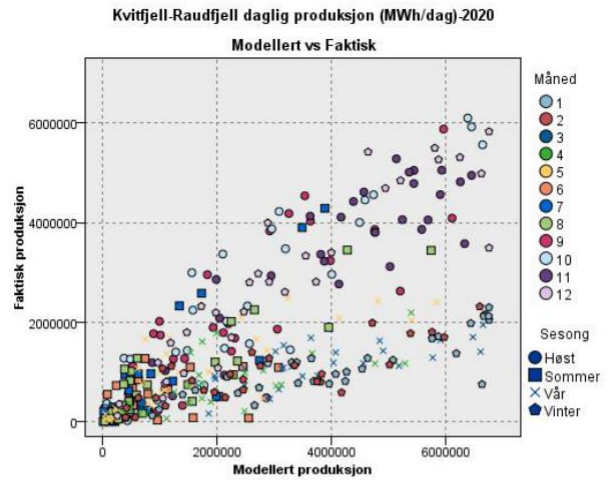
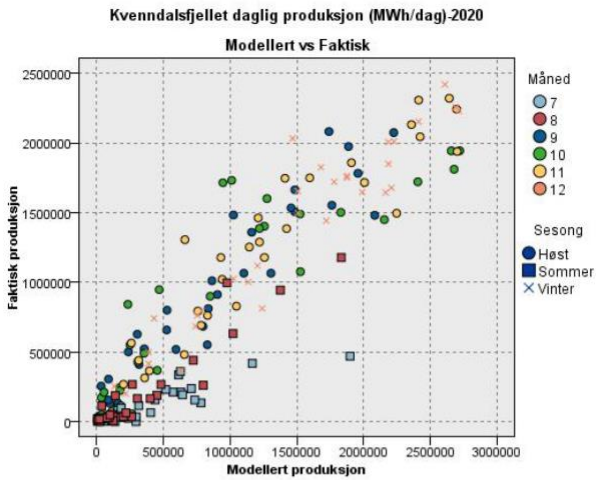
Vindkraftverk	Antall Turbiner	Valgt strømningsmodell	Vindkraftverk	Antall Turbiner	Valgt strømningsmodell
Bessakerfjellet	25	H	Nygårdsfjellet	14	M
Bjerkreim	70	H	Okla	5	W
Buheii	20	M	Raggovidda	15	M
Egersund	33	H	Raskiftet	31	H
Fakken	18	M	Roan	71	H
Frøya	14	M	Røyrmøya	3	W
Geitfjellet	43	H	Sandøy	5	W
Gismarvik	3	W	Skomakerfjellet	4	H
Guleslettene	47	H	Skurvenuten	2	W
Hamnefjell	15	H	Smøla	68	M
Harbaksfjellet	30	H	Stigafjellet	7	H
Havøygavlen	16	M	Stokkfjellet	23	M
Hennøy	12	M	Storheia	80	H
Hitra	24	H	Storøy	2	W
Hitra 2	26	H	Svåheia	7	W
Hundhammerfjellet	14	M	Sørfjord	23	M
Høg-Jæren	32	H	Sørmarkfjellet	40	M
Karmøy Hywind	1	W	Tellenes	50	H
Kjølberget	13	M	Tindafjellet	3	W
Kjøllefjord	17	H	Tonstad	51	H
Kvenndalsfjellet	27	H	Tysvær	9	W
Kvitfjell-Raudfjell	67	M	Utsira	2	W
Lindesnes	2	H	Valsneset	5	W
Lista	31	H	Valsneset vindkraftverk	3	W
Lutelandet	9	W	Vardafjellet	7	W
Marker	15	M	Ytre Vikna	17	M
Mehuken	11	W	Ånstadblåheia	14	M
Midtfjellet	55	M	Åsen II	2	W
Måkaknuten	22	H			

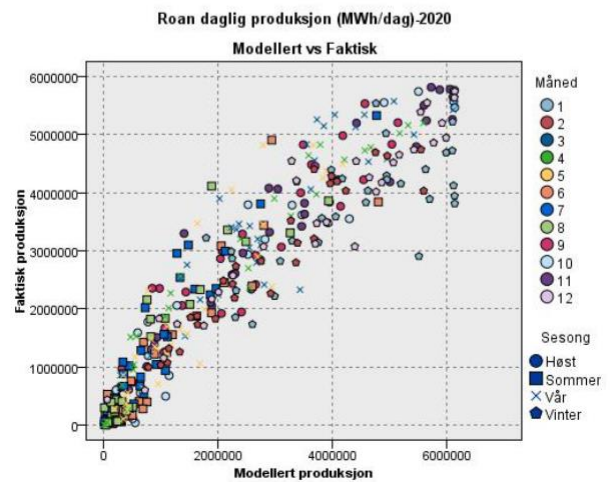
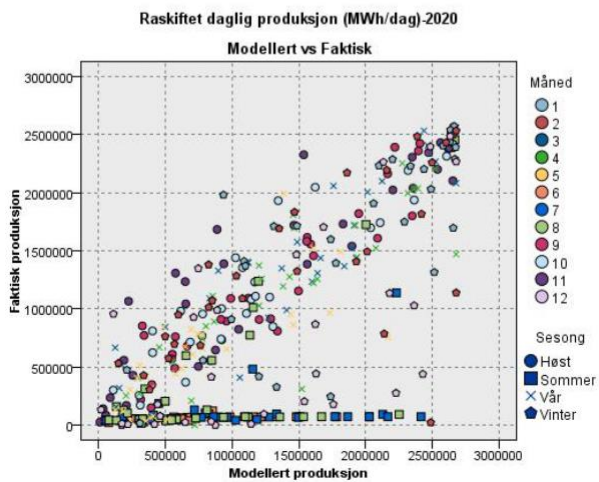
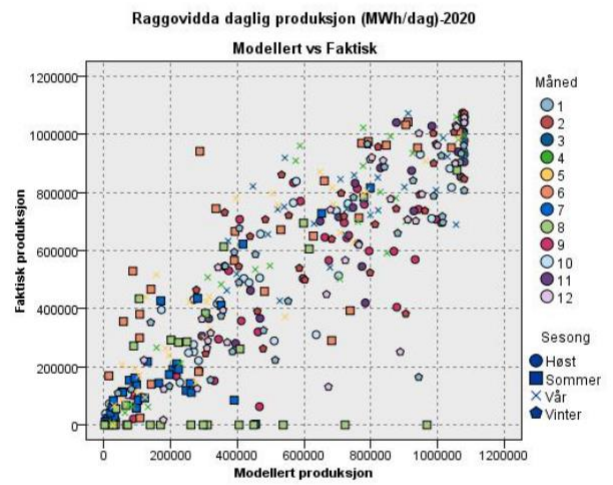
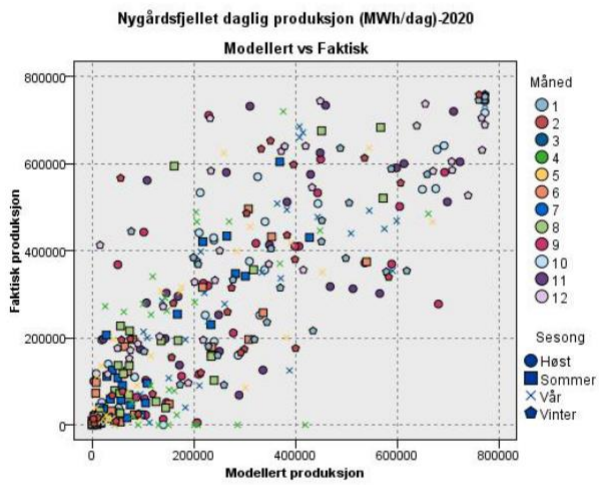
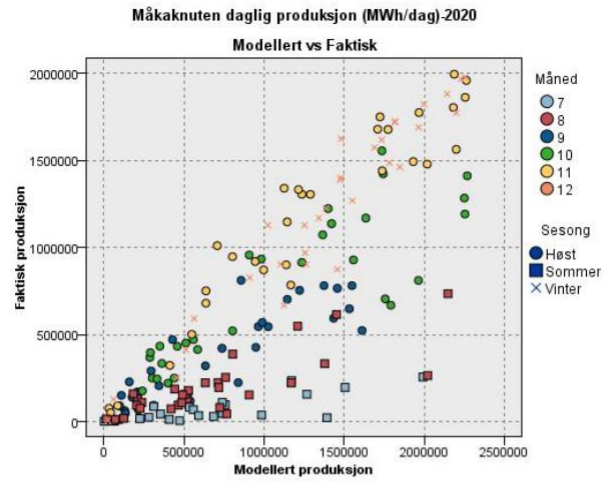
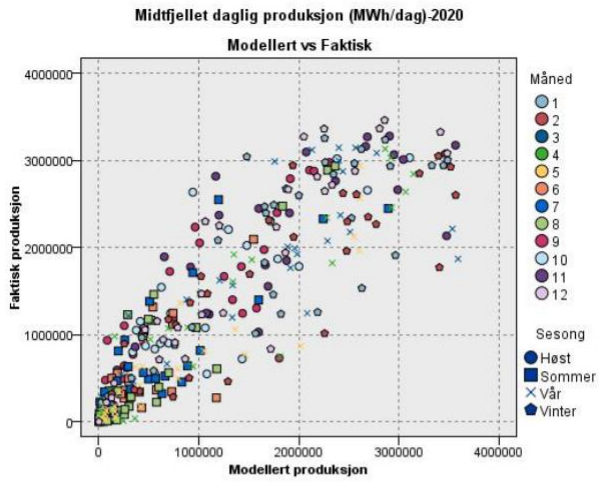
Appendiks C: Modellverifikasjon

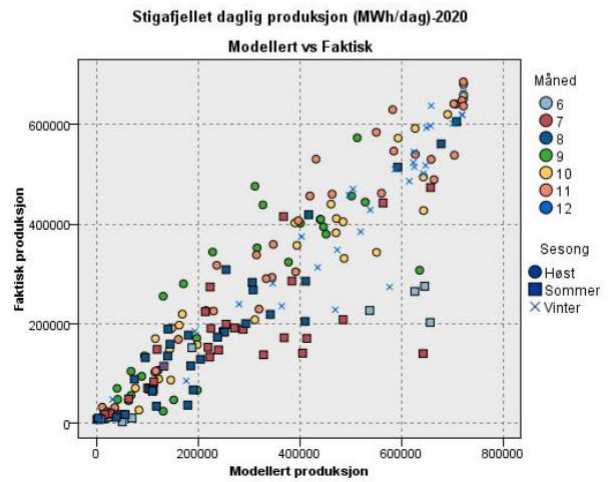
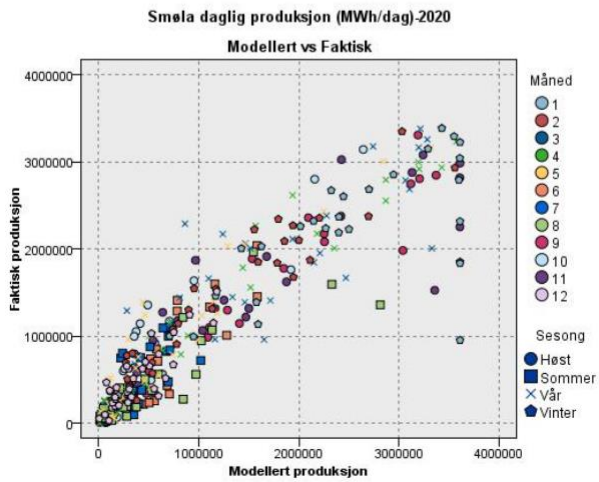
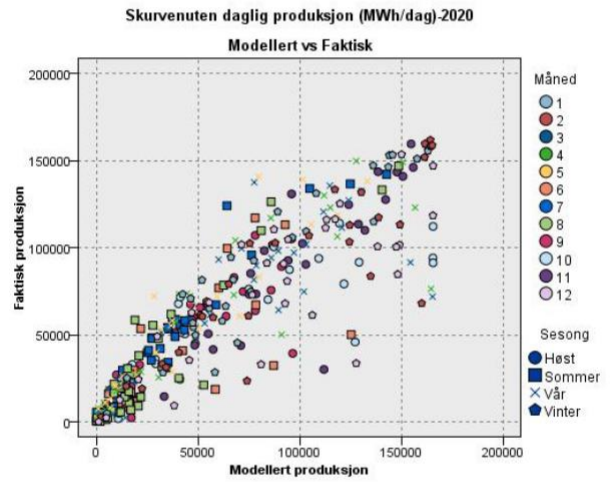
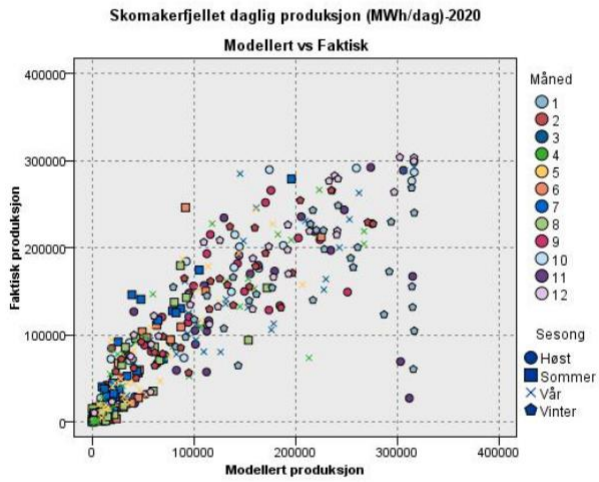
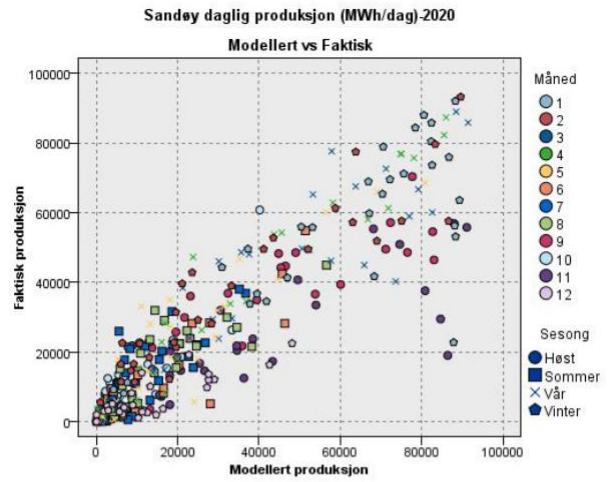
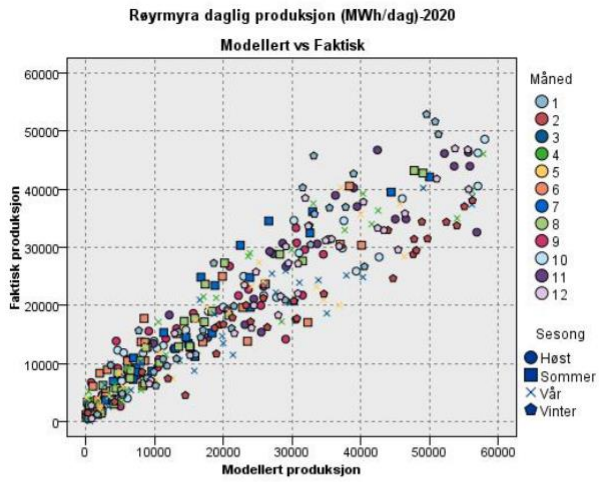


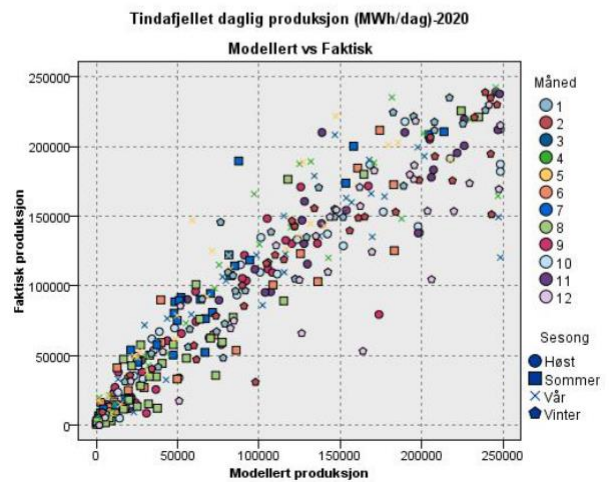
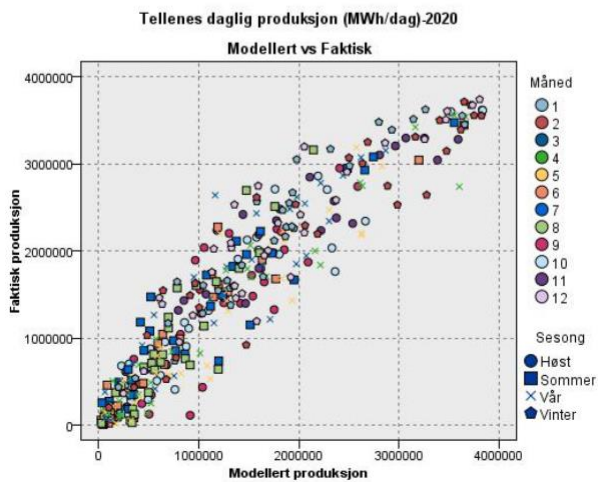
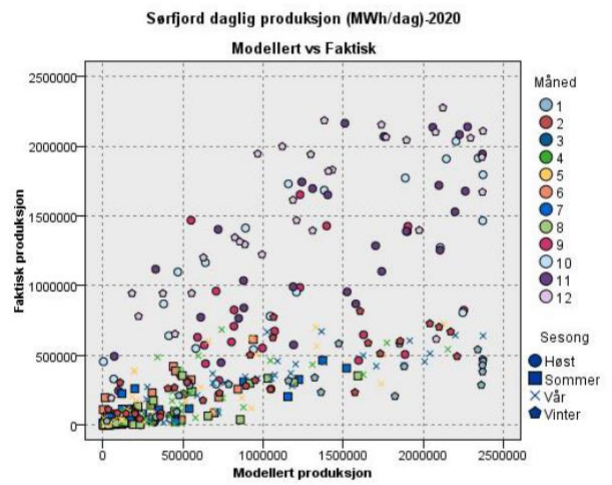
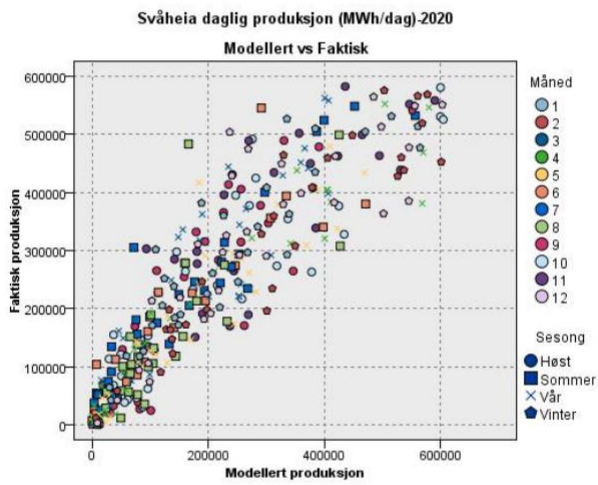
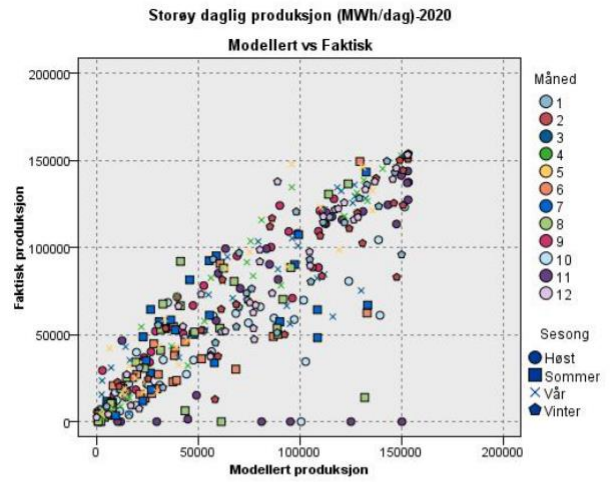
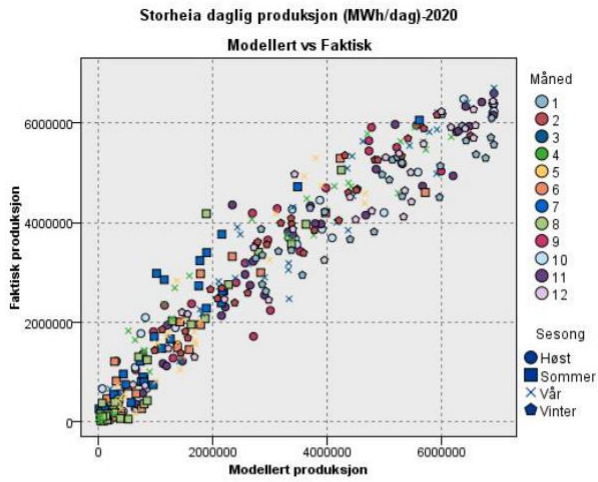




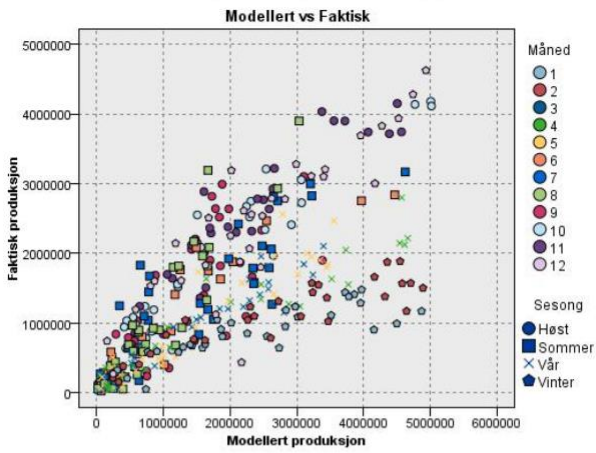




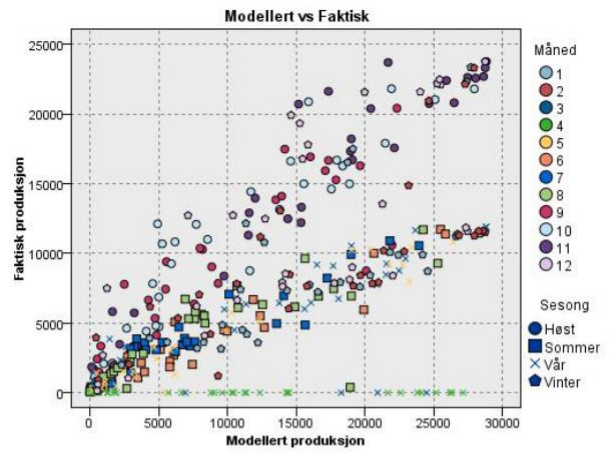




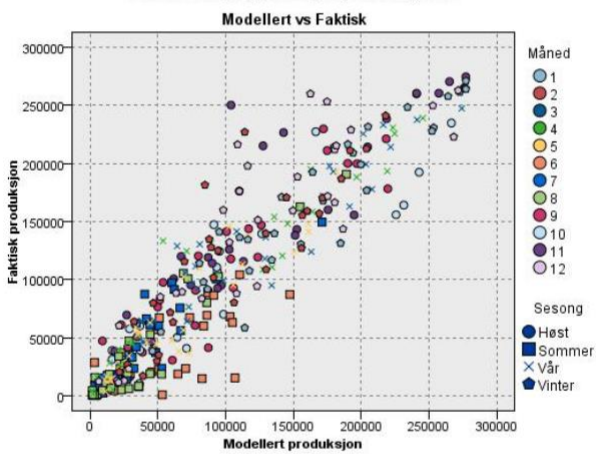
Tonstad daglig produksjon (MWh/dag)-2020



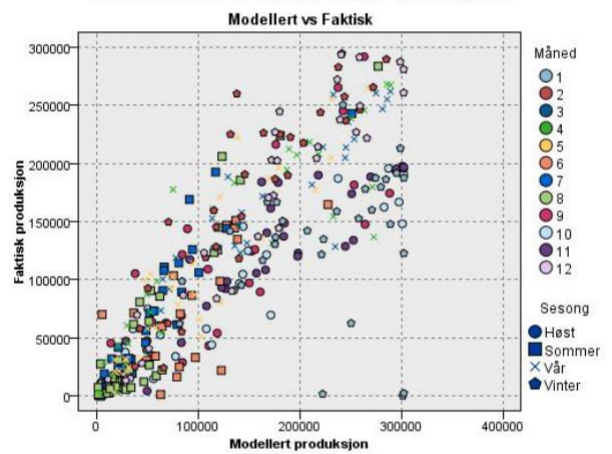
Utsira daglig produksjon (MWh/dag)-2020



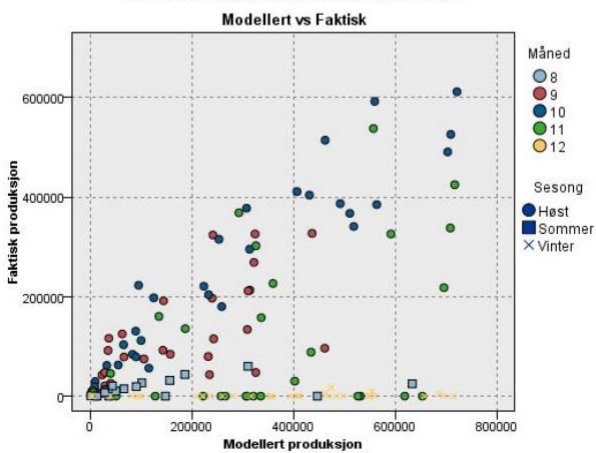
Valsneset daglig produksjon (MWh/dag)-2020



Valsneset vindkraftverk daglig produksjon (MWh/dag)-2020



Vardafjellet daglig produksjon (MWh/dag)-2020



Ytre Vikna daglig produksjon (MWh/dag)-2020

