

---

RAPPORT

# Lyseparken næringsområde

---

OPPDRAKSGIVER

ABO Plan og Arkitektur

EMNE

Kartlegging av energiresurser

DATO / REVISJON: 24. mai 2017 / 00

DOKUMENTKODE: 617221-RIEn-RAP-001

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

OPPDRAG	<b>Lyseparken næringsområde</b>	DOKUMENTKODE	617221-RIEn-RAP-001
EMNE	Kartlegging av energiresurser	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	<b>ABO Plan og Arkitektur</b>	OPPDRAGSLEDER	Marte Wigen Nilsson
KONTAKTPERSON	Sjur Frimann Hjeltnes	UTARBEIDET AV	Marte Wigen Nilsson Hanne Liland Bottolfsen Helge Davidsen Bernt Øyvind Pettersen
		ANSVARLIG ENHET	2263 Bergen Bygningsforvaltning og bygningfysikk

## SAMMENDRAG

Foreliggende rapport omhandler kartlegging av energiresurser i Lyseparken næringsområde. Det er gjort vurderinger av potensialet for å benytte solenergi, vindenergi og termiske energiforsyningsløsninger basert på hhv. uteluft, vann og geobrønner for å dekke energibehovet i næringsområdet.

Evalueringer viser relativt gode solenergiressurser i næringsområdet. Det observeres noen skyggevirksomheter mot sør og øst, men total innstråling er såpass god at utnyttelse av solenergi absolutt bør vurderes. Både solceller og solfangere kan være gode løsninger, avhengig av hvilke bygningstyper som etableres i næringsområdet.

Grunnet moderate vindressurser vurderes potensialet for å utnytte vindenergi i næringsparken som begrenset. Konvensjonelle vindturbiner på omkringliggende høyder vurderes som lite gunstig grunnet lave vindhastigheter og problematikk med skyggekast. Småskala vindkraft på bygningene har erfaringsmessig lav ytelse, men nøyaktig produksjon kan ikke estimeres uten vindmålinger i området. Ønsket om høye vindhastigheter og produksjon i bebygde områder er ikke forenelig med komfortkriterier for mennesker som skal ferdes i området. Det finnes likevel innovative løsninger for vindkraft, som vindturbiner på lyktestolper, som kan være gunstig å benytte i Lyseparken.

Av termiske energiresurser vurderes både uteluft, Vindalsvatnet og geobrønner som potensielt gode løsninger. Forholdene i Lyseparken muliggjør etablering av et geotermisk energisystem for oppvarming og kjøling med en effekt i nedre/ midtre nivå sammenlignet med hva som normalt måles i Energibrønner i Norge.

Utnyttelse av Vindalsvatnet som energikilde fremstår som den klart mest interessante løsningen. Beregninger på vannvolum, temperatur, vanntilførsel og fordamping viser at Vindalsvatnet kan dekke hele oppvarming- og kjølebehovet til en bygningsmasse tilsvarende 600 000 m<sup>2</sup> kontorbygg. Det må utføres en biologisk konsekvensanalyse for biologisk mangfold i vannet dersom det skal benyttes som en energiresurs.

00	24.05.2017	Utsendt	MWN/HLB/HD/BØP	MWN/HD	MWN
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>5</b>
1.1	Om prosjektet .....	5
<b>2</b>	<b>Evaluering av solenergiressurser og temperatur .....</b>	<b>5</b>
2.1	Klimadata .....	6
2.2	Horisont .....	7
2.3	Vurdering av innstråling.....	8
2.3.1	Orientering mot sør .....	8
2.3.2	Potensial øst-vest orientering .....	9
2.4	Forventet kraftproduksjon.....	9
2.5	Temperatur .....	11
2.5.1	Normalår.....	11
2.5.2	Målestasjoner .....	12
2.6	Oppsummering solenergi og temperatur .....	14
<b>3</b>	<b>Evaluering av vindressurser .....</b>	<b>14</b>
3.1	Potensielt areal og samlet produksjon .....	15
3.2	Vindressurs .....	15
3.2.1	NVE vindatlas .....	15
3.2.2	Dominerende vindretning og målte hastigheter.....	16
3.2.3	Forventet vindhastighet i planområdet .....	17
3.2.4	Fullasttimer .....	18
3.3	Verneområder og kulturminner .....	18
3.4	Støy, skyggekast og iskast .....	18
3.5	Vindkraft i næringsområdet.....	19
3.5.1	Lokale forhold og vindkomfort.....	19
3.5.2	Tilgjengelige løsninger .....	20
3.5.3	Produksjonsestimater .....	22
3.6	Oppsummering vindressurser.....	23
<b>4</b>	<b>Evaluering av termiske energiresurser .....</b>	<b>24</b>
4.1	Uteluft som energikilde .....	24
4.1.1	Eksempler på energidekning med luft som energikilde.....	26
4.2	Vindalsvatnet som energikilde.....	28
4.2.1	Naturgitte forutsetninger .....	28
4.2.2	Varig vern .....	30
4.2.3	Energi- og effektutnyttelse .....	30
4.2.4	Konklusjon termisk energi fra Vindalsvatnet .....	33
4.3	Geotermisk energi .....	34
4.3.1	Naturgitte forutsetninger .....	34
4.3.2	Energidekning med geotermiske energibrønner. ....	37
4.3.3	Konklusjon geotermisk energi.....	37
4.4	Konklusjon termisk energi .....	37
<b>5</b>	<b>Oppsummering og overordnet anbefaling.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg.....</b>	<b>39</b>



## 1 Innledning

Foreliggende rapport omhandler kartleggingen av tilgjengelige energiresurser for utbyggingen Lyseparken næringsområde. Energiresursene som er kartlagt er solenergi, vind og termisk energi i form av uteluft, Vindalsvatnet og geobrønner.

### 1.1 Om prosjektet

Lyseparken næringsområde ligger langs nye E39 som bygges ut mellom Svegatjørn i Os og Rådal i Bergen. Området er eid av Os kommune og er i dag ikke utbygd. Totalt areal for Lyseparken er 719 daa, hvor ca. 540 daa er planlagt å benytte til næring- og boligformål. Tomten består av et område i nord og et i sør med størrelse på hhv. 300 daa og 200 daa. Næringsarealer er planlagt oppført «klyngevis» for å skape et samspill mellom ulike aktører. Prosjektet har et høyt ambisjonsnivå innen energi. Det er ønskelig at tilgjengelige energiresurser i området utnyttes slik at området i størst mulig grad blir selvforsynt med energi. Målet er å skape et attraktivt næringsområde for både lokale og globale bedrifter.



Figur 1 Illustrasjon Lyseparken næringsområde

## 2 Evaluering av solenergiressurser og temperatur

Bruk av solenergi for å dekke deler av det elektriske og/eller termiske energibehovet er forenelig med den høye energiambisjonen som er forespeilet for Lyseparken næringsområde. Multiconsult har gjort en analyse av tilgjengelige solenergiressurser i området som kan benyttes for å estimere ytelsen til både solceller og solfangere.

Solceller er i utgangspunktet godt egnet både i boligbygg og i kontor- og næringsbygg. De fleste av dagens bygg har store elektriske laster i form av belysning og utstyr som representerer en stor del av byggenes energibehov. Særlig boligbygg og hoteller har i tillegg store termiske energibehov i form av tappevann. I slike bygg kan det være gunstig å installere termiske solfangere for oppvarming av varmt vann. Solfangere produserer flere kWh per m<sup>2</sup> enn solceller og bør ofte prioriteres i denne type bygg.

## 2.1 Klimadata

Solenergiressursene i Norge er lite kartlagt, og det finnes få målestasjoner som måler solinnstråling. Dette vanskeliggjør med sikkerhet å anslå energimengden et solenergianlegg kan produsere. Det finnes ingen målestasjoner for solenergi i umiddelbar nærhet til Lyseparken næringsområde. De nærmeste stasjonene ligger på Florida og på Flesland.

Da det ikke er en egen målestasjon for solinnstråling og temperatur for næringsområdet er det hentet værstatistikk fra nærliggende målestasjoner og programvarer som generer værdata.

Det er hentet værstatistikk fra fem kilder: Meteonorm 7.0, Nasa-SSE, PVGIS, Geofysisk Institutt (Florida, Bergen) og målestasjon på Flesland, Bergen. Værstatistikkene er normalår for samtlige kilder, med unntak av målestasjonen på Flesland. For Flesland er oppgitte verdier basert på målinger for året 2016 da dette er det eneste fulle året målestasjonen har vært i drift. Årlig solinnstråling kan variere så mye som 10 – 15 % fra gjennomsnittsverdien for enkelte år. Derfor benyttes klimadata målt over flere år som grunnlag for produksjonsberegningene, såkalte normalår. Av denne grunn vil ikke Flesland benyttes for produksjonsberegningene, selv om innstrålingen på Flesland vurderes til å være mest lik Lyseparken.

Meteonorm er en software som kan brukes til å generere værstatistikk for steder hvor det ikke finnes lokale værstasjoner. Datasettet genereres ved interpolasjon mellom de nærmeste bakkestasjonene og eventuelt satellittdata. For Lyseparken vil det si at verdiene er interpolert basert på målestasjonen plassert på Florida, Bergen og i Lerwick, Storbritannia.

Nasa-SSE er en gratis tilgjengelig tjeneste på nettet. Værdataene i denne databasen er generert på bakgrunn av satellittdata (Meteosat, fra Den europeiske romfartsorganisasjon - ESA).

PVGIS er en gratis tilgjengelig tjeneste på nettet basert på resultatet fra et tidligere EU-prosjekt. Værdataene i denne databasen er generert på bakgrunn av satellittdata.

Data fra Geofysisk Institutt er gjennomsnittlig solinnstråling fra målinger utført fra 2003 til 2012 ved Florida, Bergen.

Tabell 1 Global innstråling

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.	År
<b>Meteonorm 7 (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	5,8	18,7	50,8	93,9	138,7	141,2	127,3	96,3	59,5	28,3	9,0	3,7	773,2
<b>Nasa (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	9,0	26,3	61,1	108,6	162,8	164,7	152,8	122,5	74,7	36,9	13,8	5,3	938,5
<b>PVGIS (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	6,9	20,2	53,9	97,5	137,3	157,2	141,7	103,2	61,8	27,7	9,7	4,3	821,5
<b>Geofysisk institutt (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	6,8	21,7	53,1	94,8	137,6	145,9	131,4	102,4	55,7	31,7	10,0	4,2	795,3
<b>Gjennomsnitt (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>7,1</b>	<b>21,7</b>	<b>54,7</b>	<b>98,7</b>	<b>144,1</b>	<b>152,3</b>	<b>138,3</b>	<b>106,1</b>	<b>62,9</b>	<b>31,2</b>	<b>10,6</b>	<b>4,4</b>	<b>832,1</b>
<b>Flesland – 2016 (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	8,9	24,9	58,9	114,7	156,6	159,6	107,3	88,4	66,5	46,9	10,6	3,4	<b>846,7</b>

For utførte produksjonsberegninger relatert til solenergi, er innstrålingsdata fra Meteonorm benyttet. Dette fordi Meteonorm produserer en syntetisk innstrålingsprofil konkret for Lyseparken, basert på koordinater midt i næringsområdet. Det presiseres at Meteonorm regnes for å være en konservativ kilde. Målinger har i tillegg vist over 10 % differanse mellom solinnstråling på Florida og på Flesland, se Tabell 2. Denne effekten vil sannsynligvis også oppleves i Lyseparken. Da dette ikke hensyntas i innstrålingsprofilene fra Meteonorm, vil resultater korrigeret med 10 og 20 % økning i solinnstråling også presenteres i innstrålingsestimatene. Det forventes at innstrålingen i Lyseparken næringsområde vil være 10-20 % høyere enn innstrålingsdataene fra Meteonorm.

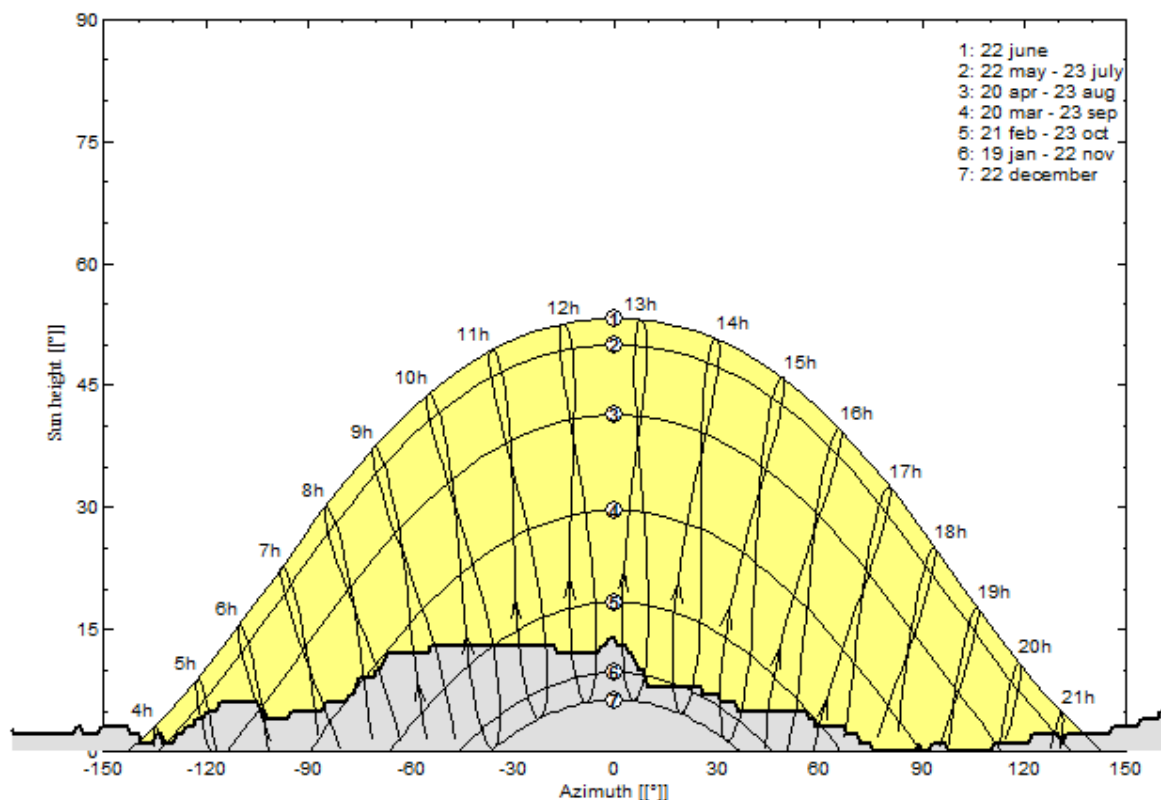
Tabell 2 Forskjell i innstråling Flesland og Florida (Ref. Meng-Chieh Yang, geofysisk institutt, Univeristetet i Bergen)

Global Radiation (kWh/m <sup>2</sup> )													
	2015					2016					Total		
	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	May		Jun	Jul
Flesland	105.4	69.0	33.4	11.4	3.7	7.4	25.4	59.8	115.5	158.2	158.0	108.3	855.4
Florida	84.6	64.8	30.0	9.8	2.8	5.8	23.2	55.2	102.4	150.4	147.2	93.7	769.8
Flesland higher than Florida	24.5%	6.4%	11.3%	16.7%	28.3%	28.3%	9.6%	8.3%	12.8%	5.2%	7.4%	15.6%	11.1%
Flesland	207.7		22.5		200.6		424.6						
Florida	179.4		18.4		180.7		391.2						
Flesland higher than Florida	15.8%		22.1%		11.0%		8.5%						

## 2.2 Horisont

Horisonten for prosjektet er basert på observasjoner og dronebilder fra befaring i Endalausmarka, data fra norgeskart.no, samt horisont hentet fra programvaren Meteonorm. Horisonten fremkommer ved å måle avstand til, og høyden på elementene som skjermer området mot solen.

Området ligger forholdsvis åpent mot vest og horisonten påvirkes i hovedsak av Tyssedalsfjellet mot nordøst, Skogafjellet mot sørøst, Ulvenfjellet mot sør og Søvikfjellet mot sørvest. Horisont benyttet i simuleringene er vist i Figur 2.



Figur 2 Horisont Endalausmarka

Dronebilder av horisont tatt på befaring i Endalausmarka er gjengitt i Figur 3 og Figur 4.



Figur 3 Horisont. Til venstre: I østlig retning. Til høyre: I vestlig retning



Figur 4 Horisont. Til venstre: i sørlig retning. Til høyre: i nordlig retning

## 2.3 Vurdering av innstråling

### 2.3.1 Orientering mot sør

Solceller/solfangere vil ha høyest produksjon med en orientering mot sør. Dette er uavhengig av eventuell horisont og nærliggende elementer som kan skape skygge. Tabell 3 viser forventet solinnstråling på moduler vendt mot sør i ulike vinkler.

Optimal vinkel sommer tilsvarer vinkel for å oppnå maksimal produksjon i månedene april til september. Optimal vinkel vinter er for månedene oktober til mars. Vinklene kan optimaliseres ved hjelp av programvaren PVsyst ved å velge om man ønsker å optimalisere vinkelen over året, om sommer eller om vinter. Vinklene som gir minst tap i forhold til optimal vinkel og orientering er benyttet i simuleringene.

Simuleringene i PVsyst er kjørt med værstatistikk fra Meteonorm hvor innstråling på horisontalflate uten horisont er 773 kWh/m<sup>2</sup>år.

Tabell 3 Innstråling moduler vendt mot sør

Vinkel	Maks. innstråling [kWh/m <sup>2</sup> år]	Justert for konservative data i meteonorm [kWh/m <sup>2</sup> ]	
		+ 10 %	+ 20 %
Horisontal (0°)	710	780	850
Vertikal (90°)	520	570	630
Optimal vinkel sommer (32-36°)	810	890	970
Optimal vinkel vinter (65°)	710	780	850
Optimal vinkel over året (42-45°)	800	880	960

### 2.3.2 Potensial øst-vest orientering

Tabell 4 viser forventet innstråling med moduler mot øst og vest. Innstrålingen her er noe lavere enn direkte mot sør. Solcellemoduler orientert i stativer mot øst og vest kan være en godt egnet løsning på flate tak, da dette vil medføre en maksimal utnyttelse av tilgjengelig takareal. På flate tak vil solcellemoduler installert i rekker orientert mot sør måtte installeres med relativ stor avstand mellom rekkene. Dette for å unngå at rekkene internt skygger for hverandre. Denne problematikken unngås med øst-vest orientering.

Tabell 4 Innstråling moduler vent mot øst og vest

Vinkel	Maks. innstråling [kWh/m <sup>2</sup> år]		Justert for konservative data i meteonorm [kWh/m <sup>2</sup> ]			
	Øst	Vest	Øst		Vest	
			+ 10 %	+ 20 %	+ 10 %	+ 20 %
Vertikal (90°)	420	450	460	510	500	460
Optimal vinkel sommer (1 - 10°)	710	710	780	850	780	780
Optimal vinkel vinter (30-38°)	660	670	730	800	740	730
Optimal vinkel over året (4-15°)	700	700	770	840	780	770

## 2.4 Forventet kraftproduksjon

For å anslå potensiell kraftproduksjon fra solceller i Lyseparken er det utført simuleringer i programmet PVsyst v.6.61. Det er simulert med både konvensjonelle og høyeffektive solceller for orientering og vinkler gitt i kapittel 2.3. Simuleringene inkluderer i tillegg faktorer som refleksjon fra omgivelser, temperatur, vind, snø, modultap, tap i vekselrettere, tap i kabler osv.

I simuleringene er følgende moduler benyttet:

REC 260PE med virkningsgrad 15,76% og BenQ Solar PM096B00\_330 med virkningsgrad 20,34 %.

Tabell 5 og Tabell 6 viser potensiell kraftproduksjon for Lyseparken næringsområde med nevnte solcellemoduler. Resultat i parentes viser resultatet korrigert med hhv. 10 % og 20 % økning i solinnstråling.

Tabell 5 Potensiell kraftproduksjon per areal i Lyseparken. Resultat i parentes representerer (10/20%) økt innstråling

Orientering	REC [kWh/m <sup>2</sup> ]			BenQ [kWh/m <sup>2</sup> ]		
	Sør	Øst	Vest	Sør	Øst	Vest
Horisontalt (0°)	100 (110/120)	-	-	140 (150/160)	-	-
Vertikal (90°)	80 (85/90)	60 (70/75)	70 (75/80)	100 (110/120)	80 (90/100)	90 (95/100)
Optimal vinkel sommer	110 (120/140)	110 (120/130)	110 (120/130)	150 (170/180)	140 (150/160)	140 (150/160)
Optimal vinkel vinter	110 (120/130)	100 (110/120)	100 (110/120)	140 (150/160)	130 (140/150)	130 (140/150)
Optimal vinkel over året	120 (130/140)	110 (120/130)	110 (120/130)	150 (170/180)	140 (150/160)	140 (150/160)

Tabell 6 Spesifikk ytelse. Resultat i parentes representerer (10/20%) økt innstråling

Orientering	REC [kWh/kWp]			BenQ [kWh/kWp]		
	Sør	Øst	Vest	Sør	Øst	Vest
Horisontalt (0°)	640 (700/760)	-	-	660 (720/790)	-	-
Vertikal (90°)	470 (510/560)	380 (410/450)	400 (440/480)	480 (530/570)	390 (420/460)	410 (450/490)
Optimal vinkel sommer	700 (770/840)	650 (710/780)	650 (720/780)	750 (820/890)	660 (730/790)	660 (730/790)
Optimal vinkel vinter	650 (710/780)	610 (670/730)	610 (680/740)	660 (720/790)	620 (680/740)	630 (690/750)
Optimal vinkel over året	730 (800/870)	650 (710/770)	650 (710/780)	740 (810/890)	660 (720/790)	660 (720/790)

Med en forutsetning om at det kan installeres 100 000 m<sup>2</sup> solceller med optimal vinkel over året mot sør, vil en høyeffektiv solcelle medføre at det kan produseres 15-18 GWh årlig fra solcellene avhengig

av innstråling. Installert effekt vil da være ca. 20 MWp. Produksjon av varme fra eventuelle solfangere vil medføre en enda høyere energimengde som følge av høyere effektivitet.

## 2.5 Temperatur

Det er ikke utplassert egne temperaturmålere i Endalausmarka.

I følge Meteorologisk institutt (MET) er den nærmeste offisielle målestasjon for Endalusmarka/Lyseparken næringsområde plassert på Flesland, avstanden er på 13,1 km. Frem til 1960 var det plassert en målestasjon på Søfteland i Os som kun er ca. 3 km unna.

For evaluering av dimensjonerende temperaturer for Lyseparken vises det til Kapittel 4.1.

Dimensjonerende utetemperatur for området er vesentlig lavere enn målt minimumstemperatur, og benyttes kun for dimensjonering av oppvarmingssystem. Evalueringer av temperaturer i Kapittel 2.5 reflekterer mer den reelle situasjonen i Lyseparken.

### 2.5.1 Normalår

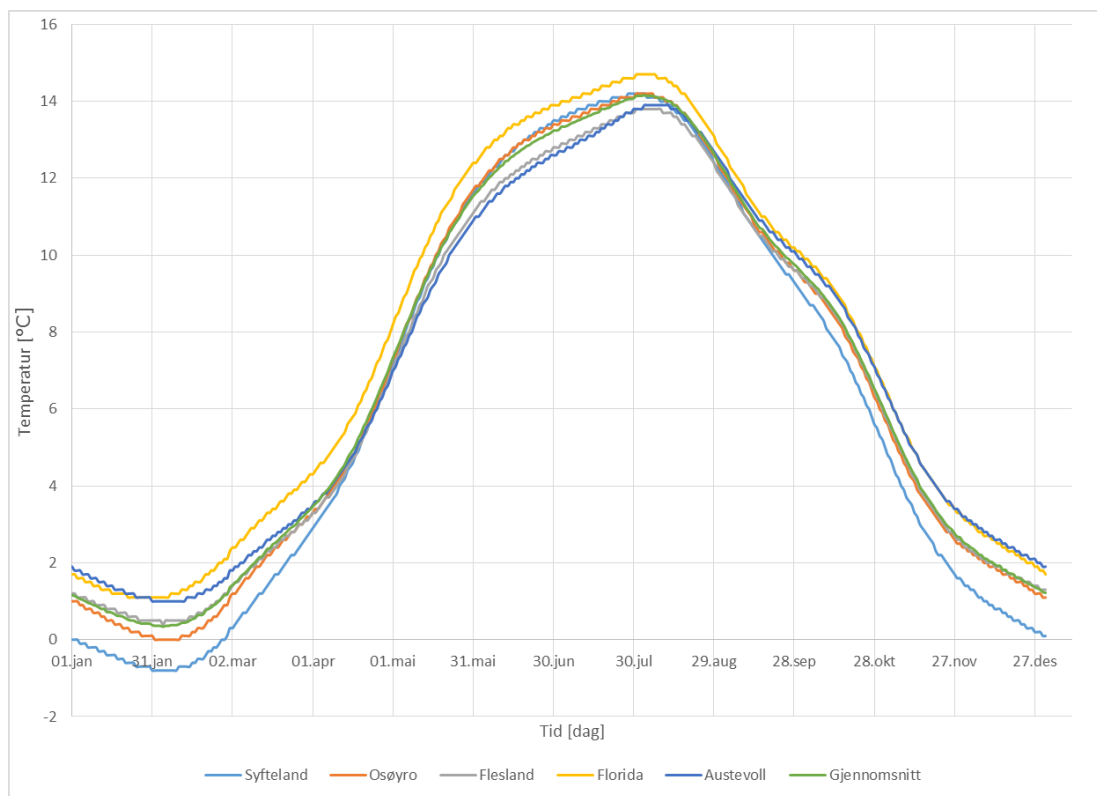
I Tabell 7 er normalverdier for de fire nærmeste målestasjonene presenter, i tillegg normalverdier for Osøyro hvor normalen er interpolert og Meteonorm. Alle tall er hentet fra eklime.no utarbeidet av MET.

Tabell 7 Lufttemperatur - normalår

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.	År
<b>Søfteland</b>	-0,4	-0,5	1,5	4,7	9,6	12,7	13,9	13,5	10,5	7,3	3	0,7	6,4
<b>Osøyro*</b>	0,5	0,3	2,2	4,9	9,7	12,7	13,8	13,6	10,7	7,9	3,8	1,7	6,8
<b>Flesland</b>	0,8	0,7	2,3	4,8	9,3	12,1	13,3	13,3	10,6	8	3,9	1,8	6,7
<b>Florida</b>	1,3	1,5	3,3	5,9	10,5	13,3	14,3	14,1	11,2	8,6	4,6	2,4	7,6
<b>Austevoll</b>	1,4	1,2	2,6	4,9	9,1	11,9	13,2	13,5	11	8,5	4,6	2,5	7,0
<b>Meteonorm 7**</b>	2,7	1,9	3,1	7	10	12,7	15,4	15,2	8,5	5,4	2	8,1	7,7
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>2,4</b>	<b>5,0</b>	<b>9,6</b>	<b>12,5</b>	<b>13,7</b>	<b>13,6</b>	<b>10,8</b>	<b>8,1</b>	<b>4,0</b>	<b>1,8</b>	<b>6,9</b>

\*interpolerte verdier \*\*2000-2009





Figur 5 Grafisk fremstilling - lufttemperatur normalår

Basert på normerte verdier for lufttemperatur er det verdiene for Flesland som ligger nærmest opp til normalverdiene for Søfteland med et avvik for årsverdien på 5 %. Det største avviket er verdiene oppgitt fra Meteonorm, etterfulgt av Florida.

### 2.5.2 Målestasjoner

Av dagens målestasjoner er det Flesland som ligger nærmest Lyseparken, etterfulgt av Florida og Austevoll. For Flesland og Florida foreligger det detaljerte måledata på dagsoppløsning for 10 år tilbake, mens det for Austevoll foreligger data fra 2013 – 2016. Der begrepet «normalår» ofte tar utgangspunkt i gjennomsnittlige data fra 30 år, vil man ved å evaluere temperaturen de siste 4-10 årene finne det vi her kaller et gjennomsnittså. Gjennomsnittsået avviker noe fra normalåret, da klimaet har forandret seg sammenlignet med de 30 årene som ligger til grunn for normalåret. Gjennomsnittsået vurderes som mer representativt for dagens vær-situasjon, men siden dataene er basert på færre år, er det også større sjans for årlige avvik.

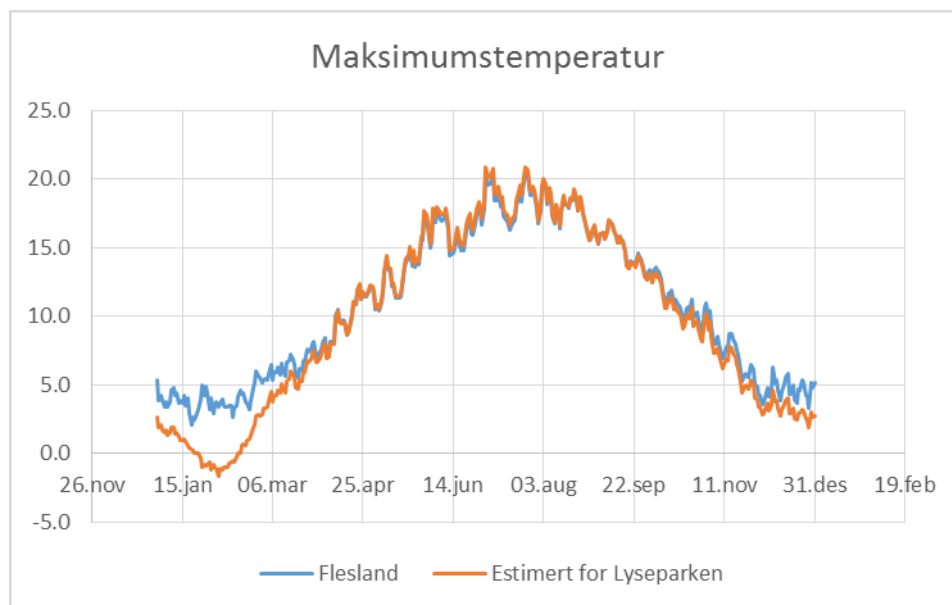
I forhold til lufttemperaturer for normalår, ligger den årlige gjennomsnittstemperaturen for de siste 10 årene på Flesland ca. 12 % høyere en temperaturen i normalår. For Florida er temperaturen ca. 10 % høyere. Dette indikerer at klimaet blir varmere. Det største avviket i prosent mellom normalår og målte verdier er for vintermånedene. Avviket for Austevoll på gjennomsnittstemperatur over året for de siste fire årene og normalåret er 18 %.

Tabell 8 Gjennomsnittlig temperatur siste 10 år

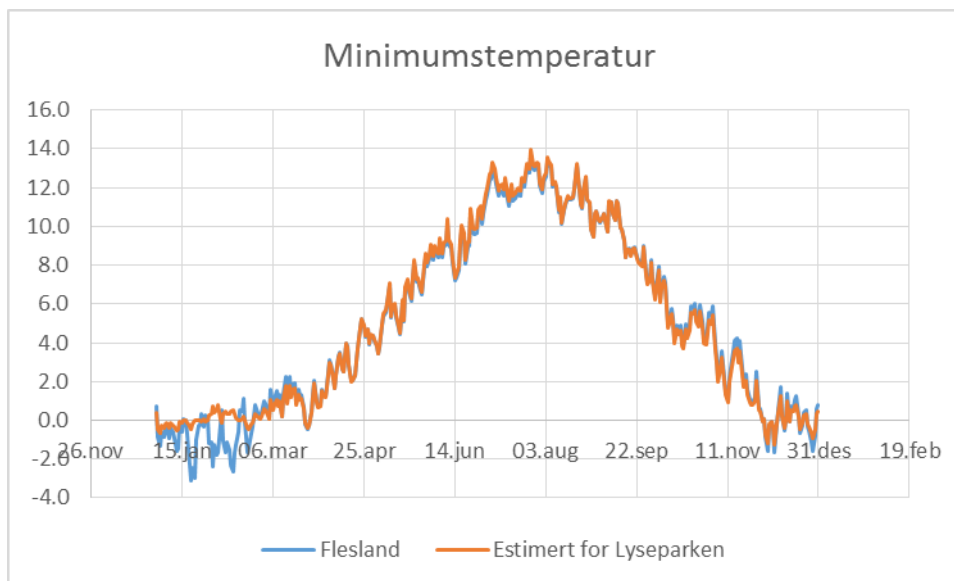
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.	År
<b>Flesland</b>	1,5	1,6	3,6	6,3	9,6	12,5	14,9	14,4	12,0	8,3	4,9	2,5	7,7
<b>Avvik fra normalår</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,3</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>
<b>Florida</b>	1,9	2,2	4,4	7,3	10,6	13,7	16,0	15,2	12,6	8,7	5,4	2,9	8,4
<b>Avvik fra normal</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>
<b>Austevoll*</b>	2,4	3,0	4,0	5,9	9,6	12,2	14,7	14,9	13,7	10,2	6,5	6,1	8,6
<b>Avvik fra normal</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>2,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>3,6</b>	<b>1,6</b>

\*2013 - 2016

Basert på verdiene for normalår er temperaturen over året ca. 5 % høyere på Flesland enn på Søfteland. Søfteland har høyere temperaturer enn Flesland på sommerstid og lavere temperaturer på vinteren. Figur 6 og Figur 7 viser kurver for forventet maksimum- og minimumstemperatur for Søfteland og Flesland. Figurene viser temperaturvariasjonen per døgn. Kurven for Søfteland er basert på avviket mellom målte temperaturer på Søfteland og Flesland i normalåret, og reflekterer det som vurderes som det mest nøyaktige estimatet på de gjennomsnittlige temperaturvariasjonene i Lyseparken. Det presiseres at det på årlig basis kan forekomme temperaturer både lavere og høyere enn presenterte verdier, da verdiene i Figur 6 og Figur 7 baseres på gjennomsnittstemperaturer.



Figur 6 Forventet maksimumstemperatur for Flesland og Lyseparken



Figur 7 Forventet minimumstemperatur Flesland og Lyseparken

## 2.6 Oppsummering solenergi og temperatur

Solenergiressursene i Lyseparken næringsområde er relativt gode, med lite skygge fra horisont og omkringliggende terreng. Det observeres en teoretisk produksjon på 150 kWh/m<sup>2</sup> med en høyeffektiv solcelle mot sør, noe som vurderes som bra. Dette medfører en energimengde på 15-18 GWh ved å forutsette en solcelleutbygging på 100 000 m<sup>2</sup>. Vurderinger av innstråling hensyntatt horisont og omkringliggende terreng viser god innstråling med relativ små skyggetap særlig mot vest. Det observeres noe skyggetap mot sør og øst, men innstrålingen er fortsatt såpass høy at utnyttelse av solenergi absolutt bør vurderes videre.

Vurdering av temperaturnivåer viser at målte temperaturer på Søfteland og Flesland er relativt like. Flesland har 5 % høyere gjennomsnittlig normaltemperatur enn Søfteland, lavere sommertemperatur men høyere vintertemperatur. Temperaturprofiler for maksimum- og minimumstemperaturer for Lyseparken er utarbeidet basert på avvik mellom målte temperaturnivåer på Søfteland og Flesland i normalår og målt maksimum- og minimumstemperatur på Flesland de siste 10 årene. Dette vurderes som det mest nøyaktige estimatet, basert på tilgjengelig data. Oppsummering av estimerte temperaturnivåer for Lyseparken er gjengitt i Tabell 9.

Tabell 9 Temperaturnivåer estimert for Lyseparken

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
<b>Minimumstemperatur</b>	-0,7	-0,4	-0,4	1,2	7,4	7,4	11,7	9,5	7,2	3,7	0,5	-0,7
<b>Maksimumstemperatur</b>	1,8	2,8	6,9	12,1	17,6	18,3	20,8	19,2	17	11,7	9,6	4,6
<b>Middeltemperatur</b>	-1.0	-1.2	2.3	6.2	9.9	13.1	15.7	14.7	11.9	7.5	3.8	0.9

## 3 Evaluering av vindressurser

Multiconsult har utredet muligheten for å benytte vindenergi som en miljøvennlig og fremtidsrettet energiproduksjon ved Lyseparken næringsområde. Vindressursdata er hentet fra eksisterende kilder, eksempelvis tilgjengelige målemaster fra meteorologiske institutt samt NVE vindatlas. Eksisterende data gir grunnlag for å angi hvilke posisjoner innenfor området- og nært tilknyttet til - som best egnet for vindkraftproduksjon.

I det følgende er problemstillinger og muligheter for produksjon innenfor planområdet for Lyseparken belyst. Der er også sett på hvilke begrensninger og utfordringer som vil måtte håndteres ved konvensjonell vindkraftproduksjon på nærliggende høydedrag. Videre er det foretatt vurderinger av hvordan det lokale landskapet er utformet og om dette er til fordel eller ulempe for vindkraftproduksjon.

### 3.1 Potensielt areal og samlet produksjon

Det vil alltid være tap i et system som omformer energi fra en tilstand til en annen. For vindkraft finnes det flere forskjellige typer tap, eksempelvis elektriske tap, klimatiske tap slik som ising, tap av produksjonstid pga. av vedlikehold og vaketap. Med vaketap menes tap som skyldes at vinden som har passert et eller flere rotorblader/turbiner har lavere hastighet og er mer turbulent enn vind som ikke har passert noe rotorblader/turbiner. Dette medfører at vindturbinene ikke kan plasseres for tett dersom produksjonen ikke skal reduseres for mye.

I praksis betyr vaketap at konvensjonelle turbiner må plasseres med en avstand på minimum 5-6 ganger rotordiameter i fremtredende vindretning og 3-4 ganger på tvers av vinden. Dette vil i praksis si at avstanden mellom turbiner bør være i størrelsesorden 400-500 m og at det ikke er plass til mer enn en turbin per 150-200 dekar.

Tre høyder/fjell rundt Lyseparken planområde er vurdert for konvensjonell vindkraftproduksjon. Disse er illustrert i Vedlegg 1. Valgte området ligger på høyder over 200 m. Ut fra dette er potensiell produksjon for området estimert.

- Raunåsen nord for planområdet er på 500 daa, 2-3 turbiner – ca. 9 MW,
- Skogafjellet sør-øst for planområdet er på 150 daa, 1 turbin- 3,5 MW,
- Vardafjellet/Ulvenfjellet sør-vest for planområdet er på 2 200 daa, 11 turbiner - 38,5 MW.

### 3.2 Vindressurs

Vindressurs er det første som bør undersøkes for å avdekke potensialet for en vindkraftutbygging. En vindressurs med en årsmiddelvind ned mot 6,5 m/s vil normalt ikke være tilstrekkelig for å skape økonomisk overskudd i et prosjekt. Hvis de fleste andre kostnadsdrivende faktorene som infrastruktur, nett og tilgjengelig areal derimot er avklart, kan 6,5 m/s likevel være tilstrekkelig.

#### 3.2.1 NVE vindatlas

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har sammen med Kjeller Vindteknikk utarbeidet en landsomfattende kartlegging av vindressursene over fastlands-Norge og havområdene utenfor. Dette atlas er allment tilgjengelig. Vindatlas har en horisontal oppløsning på 1x1 km og gir en beregnet årsmiddelvind i relevante turbinhøyder. Der finnes også et atlas for estimert produksjon i fullstimer og iskast som vi vil se litt nærmere på her. Oppsummering av estimert årsmiddelvind for Lyseparken næringsområde og nærliggende høyder er gjengitt i Tabell 10.

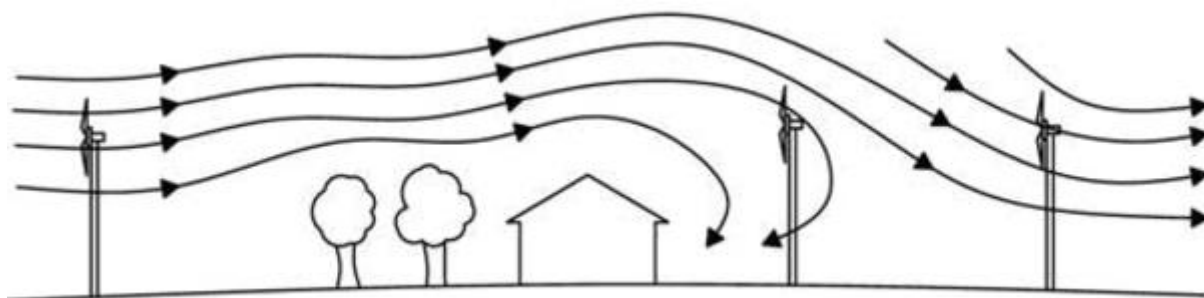
Tabell 10 Estimert årsmiddelvind ulike høyder

Høyde	Estimert årsmiddelvind (m/s)	
	Raunåsen, Skogafjell og selve planområdet	Vardafjell og Ulvenfjellet
50 m	5,5-6,5	6-6,5
80 m	6-6,5	6,5-7
120 m	6,5-7	7-7,5

Til sammenligning kan det nevnes at før Midtfjellet Vindpark gjorde en investeringsbeslutning utførte de vindmålinger i tidsrommet november 1997 - desember 1998. Resultatet fra målingene endte i en kalkulert middelvind på til 8,7 m/s på 80 meter.

Før en kan gå i gang med planlegging mot en investeringsbeslutning for vindkraftverk, må det gjennomføres fysiske målinger innenfor det relevante arealet - eller i umiddelbar nærhet til arealet. Dette innebærer at vindforholdene i typiske turbinhøyder måles gjennom minimum ett år. For Lyseparken bør det undersøkes om utstyr for vindmåling kan lånes av Norcowe og Bergen Kommune. Det kan også være formålstjenlig å foreslå klimamålinger i Lyseparken som en potensiell hoved-/bacheloroppgave for universitet/høgskole.

Vindforholdene i de nederste få hundre meter over bakken er særlig følsomme til landoverflatens egenskaper, ved at endringer i overflatens ruhet vil bidra til større eller mindre oppbremsing langs bakken – såkalt vindskjær, se Figur 8.



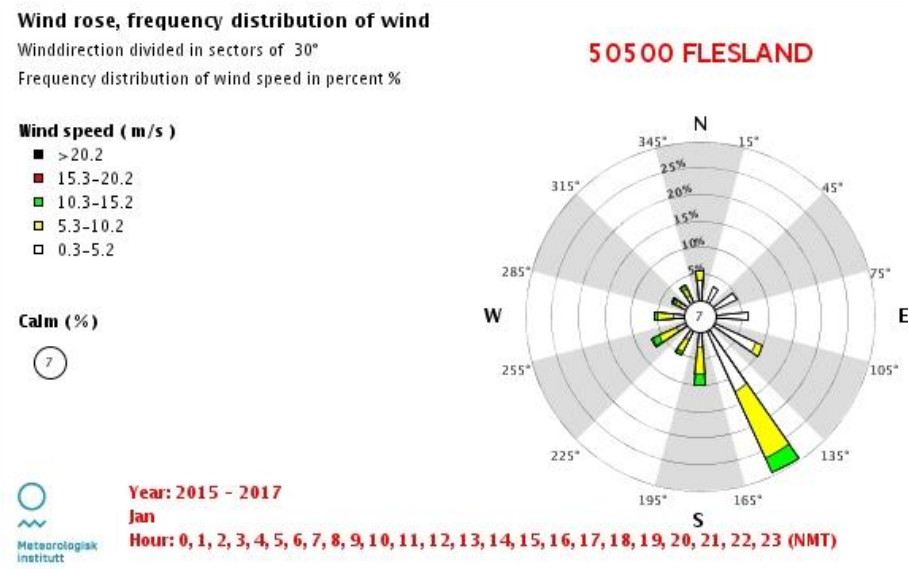
Figur 8 Turbulens som følge av objekter på bakken (Ref. Windlogger.eu)

Områdene rundt Lyseparken består av spredt skog og alle høydene som er vurdert er også dekket av skog. Skog er i seg selv ikke et eksklusjonskriterium da det teknisk er mulig å bygge ut vindkraft i skog, men skog vil bidra til reduksjon av vindhastighetene gjennom høyere ruhet og nedbremsing av vind langs bakken. Høydene angitt med 50, 80 og 120 meter er over det man kaller nullplansforskyvningen, dvs. at man må legge til en faktor til tallene som angir høyden over vegetasjonen. Hvis vegetasjonen består av en skog på 15 m skal man legge til en høyde på 12 m – dvs. at estimert vindhastighet på 80 m i realiteten da befinner seg på 92 m.

### 3.2.2 Dominerende vindretning og målte hastigheter

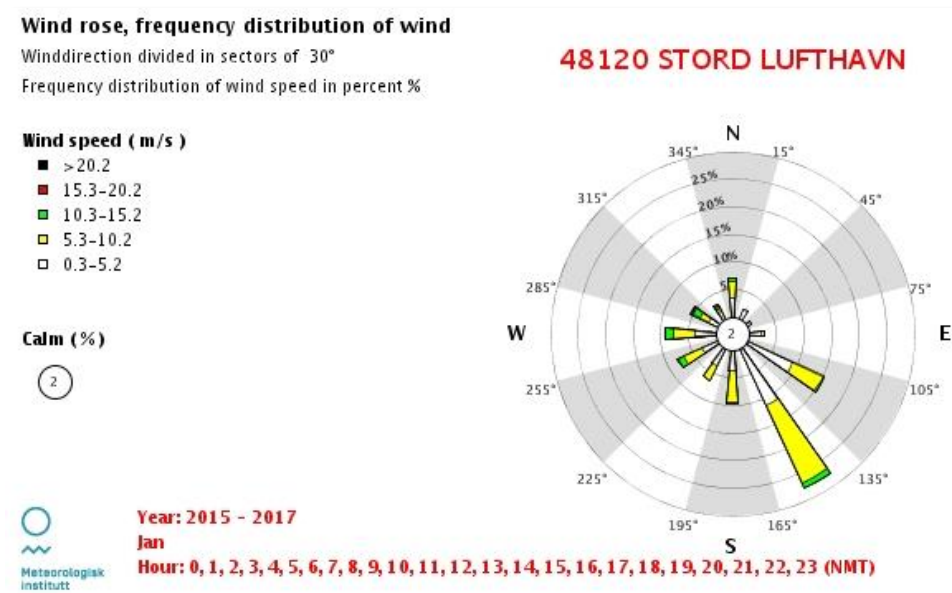
Det finnes ingen målemaster i tilknytning til området, og det er derfor ikke mulig å gi et godt bilde av vindressursen uten å sammenligne målinger og beregnede vindhastigheter fra andre kilder og målemaster.

Der er et begrenset antall målestasjoner i nærheten av planområdet som angir vindhastighet samt vindretning. De målestasjonene vurdert som mest relevant er Flesland samt Stord Lufthavn. Det er tatt ut vindroser og hastigheter med målinger fra de siste 2 år.



Figur 9 Vindrose for Flesland

Vindrosen for Flesland angir en dominerende vindretning fra sør-(sør)-øst. Middelvind i 10 meters høyde over bakkenivå er målt til 5,1 m/s.



Figur 10 Vindrose for Stord Lufthavn

Vindrosen for Stord Lufthavn angir også en dominerende vindretning fra sør-(sør)-øst. Middelvind i 10 meters høyde over bakkenivå er målt til 5,7 m/s.

### 3.2.3 Forventet vindhastighet i planområdet

Undersøkte områder for konvensjonell vindkraftproduksjon er delvis dekt av skog og en nullplansforskyving på ca. 10 m er følgelig forutsatt. Vindatletset angir da en vindhastighet på

5,5 - 6 m/s i en høyde av 60 m. Flesland lufthavn og Stord lufthavn ligger henholdsvis nord-vest og sør for planområdet – altså mer kystnært, og man kan følgelig anta at vindhastigheten i Lyseparken næringsområde ikke vil være over 5,7m/s.

Logs lov kan benyttes til å ekstrapolere seg til en vindhastighet i en gitt høyde hvis en gitt høyde og vindhastighet er kjent. Formelen er som følger:

$$v = v_{ref} \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{z_{ref}}{z_0}}$$

Hvor v er vindhastigheten for beregnet høyde, z er ønsket høyde.  $v_{ref}$  er referanse vindhastighet og  $z_{ref}$  er referanse høyde.  $z_0$  er en faktor som angir terrengets ruhet og er satt til 0.4 hvilket er en standardverdi for landsbyer, dyrkede områder med mange små hus, hekker og trerader samt skogsområder og områder med svært ujevnt terreng.

Med liberale verdier med en referansevindhastighet til 6 m/s i referansehøyde på 50 m, vil Logs lov gi en vindhastighet på 4 m/s i en høyde på 10 meter i Lyseparken. Med mer konservative tall på 5,5 m/s i en høyde på 60 m blir vindhastigheten 3,5 m/s.

Faktoren som angir terrengets ruhet vil også øke i områder med tett bebyggelse med flere høye bygninger - dette øker vindskjæret i planområdet og dra vindhastigheten ytterligere ned.

Den dominerende vindretningen er illustrert i Vedlegg 1 med kart over planområde og høydedrag.

### 3.2.4 Fullasttimer

Ut fra produksjonsatlasen til NVE ligger Raunåsen, Skogafjellet og arealet for Lyseparken i et område med estimert fullasttimer på 2200-2400 timer. Vardafjellet/Ulvenfjellet ligger i et område med estimert fullasttimer på 2400-2600 timer.

NVE har sammen med Kjeller sett på norsk vindkraftproduksjon i 2015 og sammenlignet dette med hva man har kunnet forvente med bakgrunn i vindatlasen og produksjonsatlasen. Brukstiden for vindkraft i Norge som helhet (snitt for alle anlegg) for 2015 var 3045 fullasttimer. Vindforholdene var gjennomgående gode over hele Norge i 2015, og for norske vindkraftverk sett under ett var produksjonsindeksen 13.1 % over forventet verdi. Den nasjonale produksjonsindeksen er basert på vindkraftverk som var i normal drift i 2015. I 2015 var ikke Midtfjellet Vindpark i normal drift og derfor kan vi ikke se nærmere på tallene for dette kraftverket. Dette kraftverket ligger innenfor et område med beregnet produksjon på 2600-2800 timer.

## 3.3 Verneområder og kulturminner

Innsynsløsningen *Naturbase* utviklet av Miljødirektoratet, er etablert for å gi grunnlag for bestemmelser til miljøforvaltningen i stat og fylke, til kommuneplanlegging og til arealforvaltning. *Naturbase* gir den offisielle oversikten over verneområder, statlig sikrede friluftslivsområder, kartlagte områder med utvalgte naturtyper og økologiske funksjonsområder for prioriterte arter, samt kartlagte kulturminner og kulturlandskap.

Ved bruk av *Naturbase* er der ikke avdekket verneområder, friluftsområder, kulturminner eller lignende som vil være til hinder for en eventuell vindkraftutbygging innenfor de vurderte områdene.

## 3.4 Støy, skyggekast og iskast

Utbygger og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) må forholde seg til retningslinjer for behandling av støy fastsatt av Klima- og miljødepartementet. I følge retningslinjene skal



vindkraftverket ikke påføre et område med bebyggelse en utendørs støy mer enn  $L_{den} = 55$  dB og ny bebyggelse kan ikke bygges der verdien er over  $L_{den} = 45$  dB. Verdiene i denne retningslinjen er ikke bindende og kan i enkelt tilfeller fravikes, for eksempel hvis det iverksettes avbøtende tiltak. En tommelfingerregel er at konvensjonelle storskala vindkraftverk vanligvis ikke bygges nærmere enn 0,8-1 km fra bebyggelse. Dette vil likevel kunne variere med terrenget og andre forhold.

En kartbetragtning viser at eksisterende bebyggelse ligger innenfor 1 km radius fra samtlige av de undersøkte utbyggingsområdene for vindturbiner. Støysonene er illustrert i Vedlegg 1.

Problemstillingen med skyggekast og iskast vil som for støy, være særlig relevant å vurdere nærmere. Skyggekast oppstår når vindturbiner står i synslinjen mellom sola og punktet turbinene betraktes fra. Dette kan være sjenerende mens fenomenet pågår. Det anbefales at skyggekastfølsomme bygninger, eksempelvis helårsboliger, ikke utsettes for teoretisk skyggekast i mer enn 30 timer per år eller 30 minutter per dag. Skyggekastberegninger vil normalt bestå av en vurdering av omfanget av teoretisk og sannsynlig skyggekast fra anlegget, og vil måtte utføres også i Lyseparken dersom vindkraft på omkringliggende høyder skal vurderes,

Iskast kan forekomme som følge av ising på turbinbladene og is fallende fra turbinhuset. Dette kan utgjøre en risiko for de som ferdes innenfor og i nærheten av planområdet. NVE/Kjellers Isingskart for Norge indikerer derimot en så lav isingsfaktor at det ikke anses som kritisk for en eventuell utbygging.

### 3.5 Vindkraft i næringsområdet

SINTEF har gjennom et forskningsprosjekt «Building Augmented Wind Turbines – BAWT» kartlagt løsninger for å integrere vindkraft i bygninger. Mens en konvensjonell turbin i dag er på ca. 3,5 MW, har studien tatt for seg små- og mikroturbiner, dvs. turbiner opp til 100 kW.

Studien har sett på turbiner montert på bygninger, turbiner integrert i designet av bygninger og løsninger hvor bygningen i seg selv er utformet for å forsterke produksjonen fra turbinene. Der finnes på verdensbasis utallige løsninger for alle alternativene men få av disse er testet ut i Norge. Da vindkraftproduksjon i Lyseparken undersøkes i en tidlig fase, er det mest interessant å se nærmere på integrerte turbiner og forsterkende bygningsløsninger. Turbiner montert på tak anses ikke som en integrert løsning, og er derfor ikke vurdert nærmere. Turbiner på tak vil i mange tilfeller også konkurrere om plass med utstyr for solenergiproduksjon. Utnyttelse av solenergi vurderes, i dagens marked, som en mer lønnsom form for fornybar energiproduksjon.

#### 3.5.1 Lokale forhold og vindkomfort

Lokale forhold som åsrygger, dalfører og åpne flater vil påvirke vindforholdene. Vinden vil forsterkes over topper og kan kanaliseres gjennom dalformasjoner i terrenget. Åpne flater med lite vegetasjon vil også gi høyere vindhastigheter nær bakken. Vegetasjon og bygninger bremser opp vinden og gir lavere hastigheter.

Lokale detaljer eller elementer på bygninger kan ha effekter på strømmingen. Høye vindhastigheter kan oppstå ved hushjørner, vind kan akselereres mellom bygninger eller brede gater og vind kan presses ned mellom bygninger av ulik høyde. Disse faktorene kan utnyttes for produksjon av vindkraft, men de påvirker også komforten, og i enkelte tilfeller sikkerheten, i områder rundt bygg.

Begrepet vindkomfort omhandler hvor ofte de mekaniske kreftene påført av vinden oppleves som plagsom for mennesker. Ideelt sett planlegges nye bygg med mål om å skape god vindkomfort både på planområdet og i nabolaget for øvrig - dvs. å redusere vinden. De mest benyttede komfortkriteriene brukt som industristandard for vindanalyser er i dag «Lawson komfort criteria».

Kriteriene definerer komfortklasser basert på maksimal timemidlet vindhastighet opplevd i kroppshøyde 95 % av året. Kriteriene definerer at det ikke bør være vind over 10 m/s i mer enn 5 % av året i områder hvor mennesker befinner seg.

Små- og microturbiner har normalt en cut-in vindhastighet på ca. 4 m/s. En turbin på 6 kW vil da normalt produsere ca. 120 W. I følge Lawson bør det ikke være mer vind en 4 m/s i områder hvor mennesker har lengre opphold som for eksempel i parker. De fleste turbiner vil derimot ikke ha en nominell produksjon før vindhastigheten når 14 m/s.

*Konklusjonen er at det er en motsetning mellom produksjon av vindkraft og vindkomfort for mennesker.*

### 3.5.2 Tilgjengelige løsninger

I det følgende presenteres kort noen løsninger som vurderes som mulige alternativer å jobbe videre med i Lyseparken. Alle løsningene er kombinasjoner av microturbiner – dvs. turbiner opp til 10 kW. Felles for løsningene er at de krever vind fra en bestemt retning. Om dette er tilfelle for planområdet, og hvor mye vind det faktisk er, kan kun avgjøres gjennom målinger.

Figur 11 viser vertikale vindturbiner på et kontorbygg i San Fransisco, USA. Turbinene er plassert på en langside av bygningen bak en skjerm, slik at vinden må passere i en gitt retning langs bygningen for å kunne produsere energi.



Figur 11: Vertikale vindturbiner integrert i bygning, kontorbygg

Figur 12 viser vertikale vindturbiner på et parkeringshus i Chicago, USA. Turbinene er plassert i hjørnet av parkeringshuset hvor vindhastigheten typisk er høyest. Hjørnet er åpent for å tillate luftstrøm gjennom turbinene og bygningen.



Figur 12: Vertikale vindturbiner i en vindforsterkende bygningsløsning, parkeringshus

Figur 13 viser vertikale vindturbiner på et leilighetskompleks i London. Hele komplekset er utformet som en vinge slik at vinden som passerer på langs av konstruksjonen akselererer på siden hvor turbinene befinner seg.



Figur 13: Vertikale vindturbiner i en vindforsterkende bygningsløsning, leilighetskompleks

Det disse tre løsningene har til felles er at de alle er montert på relativt høye bygninger – den laveste er parkeringshuset på 11 etasjer. Naturlig vil en høyere bygning være fordelaktig for vindkraft, men nøyaktig hvor høy den bør være er umulig å si på dette stadiet.

Der finnes også flere løsninger hvor vindturbiner i kombinasjon med solceller og batteri forsyner utendørsbelysning, som opplysning av gangveier og fortau. Utenfor terminalen til Posten Norge i Trondheim skal det plasseres syv autonome lysstolper som er utstyrt med en vindturbin, solceller og en batteripakke i bunn. Det estimeres at produksjonen vil samlet ligge på 6 000 kWh per år hvilket vil gi et overskudd som skal kunne brukes til å lade el-sykler. I Lyseparken kan denne løsningen benyttes, eksempelvis også for belysning av en eventuell helikopterplattform.



Figur 14: Lyktestolpe med vindturbin, solceller og batteripakke

På generell basis kan man si at det per i dag ikke finnes fullgode løsninger for hverken takmonterte, integrerte eller forsterkende bygningsløsninger. Det kan oppleves høy vind i høye bygninger, men sannsynligvis er dette mest turbulens – noe som ikke er gunstig for vindkraftproduksjon. Som en tommelfingerregel bør all vindkraft heves minst 9 m over alle hindringer i en radius på ca. 150 m, dette gjelder også bygningen den er montert på.

Bygningsmonterte turbiner krever også at selve bygningen blir tilpasset for støy og vibrasjoner. Flere løsninger medfører at turbinene blir montert i en sone uten tilgang for personopphold. Visse takmonterte turbiner har vist seg å fungere tilfredsstillende men ofte oppleves disse som støyende for beboere eller arbeidstakere.

### 3.5.3 Produksjonsestimater

Å finne produksjonsdata for bygningsintegrerte eller -forsterkende løsninger er vanskelig. Produsentene er ikke villig til å dele denne informasjonen. Grunnen til dette kan man mistenke er fordi produksjonen er mye lavere enn hva produsenten påstår turbinen er god for. Tallene man har greid å få tak i, antyder at turbinene ofte ikke greier å produsere mer enn 10 % av nominell effekt og en samlet kapasitetsfaktor ned mot 4 %.

En stor studie utført av Amerikanske NREL konkluderer at ingen undersøkte bygningsintegrerte vindturbiner når sine produksjonsestimat. En installasjon med installert ytelse på 7,2 kW produserte 5 500 kWh, en annen installasjon på 6 kW produserte 6 300 kWh.

En løsning som presentert i Figur 13 kan være aktuelt i utkanten av planområdet. Disse turbinene er 3 m brede og 5 m høye og for et høyhus på ca. 10 etasjer vil det da være plass til 2 turbiner med en samlet kapasitet på 12 kW. Dette kan være en mulighet for et eventuelt høyere hotellbygg i området. Med eksemplene over kan et realistisk produksjonstall for en slik installasjon være ca. 10 000 kWh.

Følgende forenklete formel gir en beregnet årlig produksjon i kWh for en standard horisontalakslet vindturbin.

$$E[\text{kWh}] = 2.09 \times \text{Diameter}^2 [\text{m}] \times \text{Vind}^3 [\text{m/s}]$$

Diameteren er diameteren på sveipt areal og vinden er årlig midlere vindhastighet oppgitt i turbinhøyde. Den faste faktoren er en omregning fra formelen for energi i vind:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

$\rho$  er lufttettheten,  $A$  er vindturbinenes sveipte areal og  $C_p$  er en kapasitetsfaktor for en vindturbin, denne er typisk på 30%. I tillegg er det antatt en Weibull-distribuert vindhastighet med faktor  $K=2$ .

Med formelen øverst kan vi forvente en produksjon avhengig av hastighet og bladlengde som vist i Tabell 11.

Tabell 11: Årlig produksjon for horisontalakslet vindturbin beregnet fra diameter på sveipt areal og årlig middelvind.

Diameter (m)	Årlig energiproduksjon (kWh)				
7	2770	6550	12 800	22 120	35 130
6	2030	4820	9410	16 250	25 810
5	1410	3340	6530	11 290	17 920
4	900	2140	4180	7220	11 470
3	510	1200	2350	4060	6450
2	230	540	1050	1810	2870
1	50	150	260	450	720
Vindhastighet (m/s)	3	4	5	6	7

Vindrosene presentert tidligere angir en vindhastighet ved 10 meters høyde på mellom 5,1 og 5,7 m/s mellom Flesland og Stord lufthavn. En turbin med diameter 7 meter på ca. 10 kW vil da produsere ca. 13 000 kWh i året.

### 3.6 Oppsummering vindressurser

Ingen av de undersøkte områdene peker seg ut som spesielt egnet for konvensjonell vindkraft med storskala vindturbiner. Lave vindhastigheter kombinert med bebyggelse rundt hele området reduserer mulighetene betraktelig. Samtlige høyder og planområdet er – i tillegg til å ha lave vindhastigheter – skjermet av Liafjellet som ligger sør for områdene. Den vestlige delen av Vardafjellet (Høgelikampen) vil gi utfordringer med støy og skyggekast, noe som medfører at kun noen få turbiner lengst oppe på fjellet vil kunne benyttes. Raunåsen medfører mindre problematikk med støy og skyggekast, men her forventes reduserte vindressurser.

I selve planområdet forventes det ytterligere reduserte vindhastigheter i nivå med bebyggelse, siden hele planområdet er skjermet av Skogafjellet. Et sikkert estimat på vindressursene i lave høyder i planområdet kan kun gjøres gjennom målinger. Vindhastigheten påvirkes sterkt av oppførte bygg.

Estimater basert på data fra tilgjengelige målestasjoner og vindkart indikerer en vindhastighet i planområdet på under 5,7 m/s. I kombinasjon med normal praksis for tilpasning av vindkomfort reduseres mulighetene for vindkraftproduksjon i planområdet ytterligere.

På grunn av størrelsen til små- og mikroturbiner produserer disse mindre enn store konvensjonelle vindturbiner. I tillegg er vindhastigheten redusert i de aktuelle høydene, på grunn av hindringer. Produsentene blir ofte kritisert for å overdrive effektiviteten til turbinene siden vindforhold må være

svært gunstige for å yte den kapasiteten de oppgis å ha. Gunstige vindforhold med stabil sterk vind fra én retning er ikke naturlig forenelig med et bebygget område. Andre bruksområder for vindkraft, som vindturbiner installert på lyktestolper skal nå testes ut i Norge, og kan være en løsning for Lyseparken.

## 4 Evaluering av termiske energiresurser

Lyseparken har med sin plassering tilgang på 3 ulike termiske energiresurser for forsyning av varme og kjøling:

- Uteluft
- Vindalsvatnet med kaldt vann med stabil temperatur
- Grunnvarme

Bruk og utnyttelse disse energikildene vil være forskjellig.

Uteluft kan først og fremst benyttes som en lokal energikilde for bygningsoppvarming med bruk av lokale varmepumper tilknyttet ett, eller noen få bygg. Større luft- varmepumper krever betydelig støydemping og vil være mest hensiktsmessig å benytte for enkeltbygg. Om sommeren kan varmepumpen benyttes som kjølemaskin for klimakjøling.

Kaldt vann fra Vindalsvatnet kan benyttes for direkte forsyning av frikjøling for ett eller flere større sentrale energianlegg. Vannet kan også benyttes som energikilde for bygningsoppvarming med varmepumpe. Med denne løsningen bør det etableres et rørsystem for sirkulasjon av kaldt vann frem til, og mellom, de aktuelle byggene. Overskuddsenergi kan da flyttes mellom byggene og utnyttes til mer energieffektiv bygningsoppvarming.

Bruk av termiske energibrønner for å utnytte grunnvarme kan benyttes både lokalt for ett eller noen få bygg, eller som ett eller flere større energisystem for forsyning av varme og kjøling til hele Lyseparken. Energidekning for varme og kjølebehov vil være avhengig hvordan energibrønnene dimensjoneres. Det er vanlig å dimensjonere en brønnpark for å dekke 80 – 90 % av oppvarmingsbehovet med bruk av varmepumper. Energibrønner vil da kunne dekke deler av byggenes kjølebehov direkte med bruk av kaldt vann fra brønnen. Det øvrige kjølebehovet må da dekkes med bruk av varmepumpene som kjølemaskiner, eller med separate kjølemaskiner. Overskuddsvarme fra kjølemaskinene kan utnyttes og overføres til andre bygg som har varmebehov f. eks. til oppvarming av varmt tappevann.

### 4.1 Uteluft som energikilde

Klima på Vestlandet er mildt og godt egnet for bruk av uteluft som fornybar energikilde for bygningsoppvarming med bruk av varmepumper.

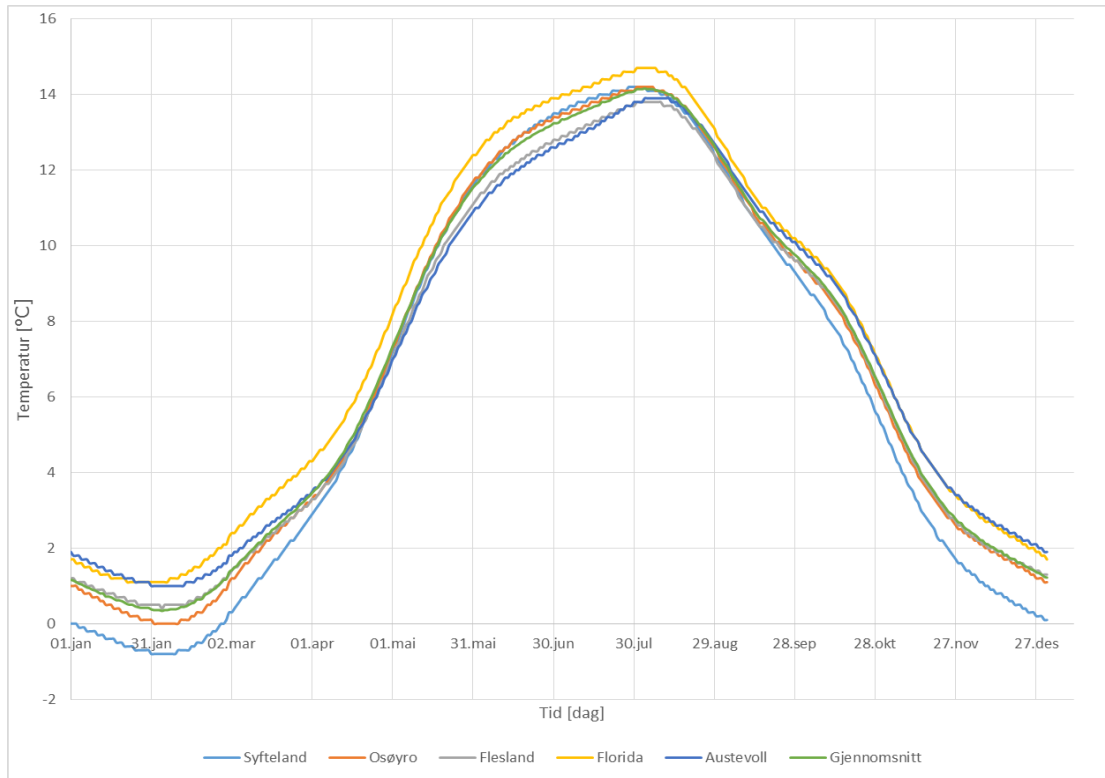
En luft-varmepumpe avgir imidlertid mindre varme ved synkende utetemperaturer og må ofte stoppes på de kaldeste dagene med størst varmebehov. En luft-varmepumpe vil derfor dekke en mindre andel av varmebehovet for bygningsoppvarming – i størrelsesorden 10 – 15 % mindre sammenlignet med en varmepumpe som benytter energibrønner eller kaldt vann fra Vindalsvatnet.

Meteorologiske data for Lyseparkområdet fra NVE, se Vedlegg 2 gir følgende temperaturforhold:

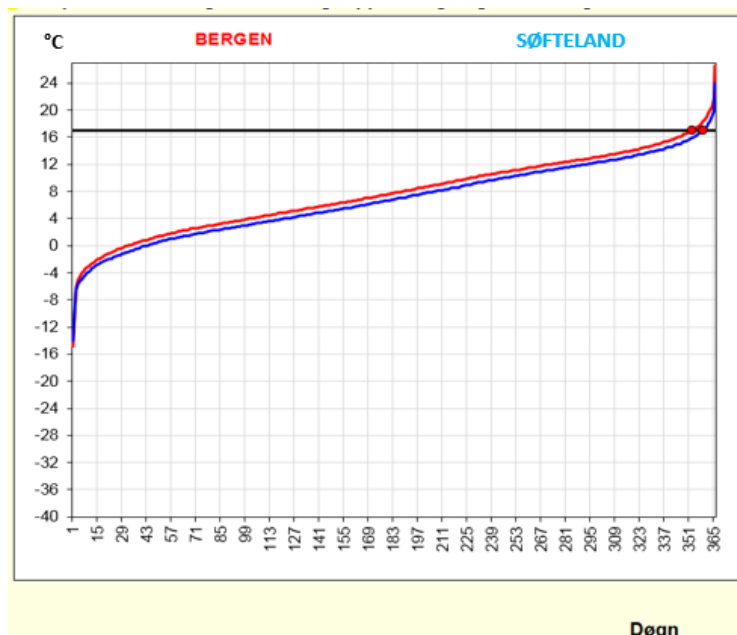
- Årstemperatur (gjennomsnitt): 6,7 °C
- Vintertemperatur (gjennomsnitt): 3,0 °C
- Dimensjonerende utetemperatur vinter: -14 °C (NBI Håndbok 33.)



Månedsmiddeltemperaturer hentet for et normalår (1960 – 1990) fra metrologiske data fra målestasjon på Søfteland og målinger fra Osøyro er vist i Figur 15. For mer inngående evalueringer av temperaturforholdene i området, se Kapittel 0.



Figur 15 Månedsmiddeltemperatur for normal år for Søfteland og Osøyro.



Figur 16 Temperaturvarighet Bergen og Søfteland, dimensjonerende. Kurve for Søfteland er simulert.



Figur 16 viser temperaturvarighetskurve for Bergen og Sjøfteland hvor kurven er hentet fra meteorologisk målestasjon med samme årsmiddeltemperatur og dimensjonerende utetemperatur for vinter som for Sjøfteland målestasjon, som ble nedlagt på 60- tallet.

Kurvene viser hvor mange døgn utetemperaturen er lik eller lavere enn en gitt temperatur.

Kurven for Bergen og Sjøfteland er tilnærmet sammenfallende, og kurven for Bergen kan benyttes ved vanlig dimensjonering og energiberegning av varmepumper. Ved dimensjonerende forhold om vinteren må det benyttes dimensjonerende utetemperatur for Sjøfteland– laveste tre døgn middel, DUT = -14°C.

Kurven viser at det kun er noen få dager i året at en luftvarmepumpe må stoppes på grunn av for lav utetemperatur.

Det forventes en betydelig temperaturstigning i Norge frem mot 2100. Prognoser utarbeidet i rapport «Klima i Norge 2100 - 2/2015» utgitt av Miljødirektoratet angir for Vestlandet en stigning i årstemperatur på mellom 2 og 5 °C avhengig av 5 ulike utslippsscenarioer for klimagass.

Oppvarmingsbehovet for bygninger vil tilsvarende reduseres. Bruk av luft-varmepumper blir derfor gunstigere og kan representere et kostnadseffektiv energisystem.

#### 4.1.1 Eksempler på energidekning med luft som energikilde.

En luft-varmepumpe vil ha en lavere energidekning ved de laveste utetemperaturene. En typisk varighetskurve for energidekning for en luft-varmepumpe er vist i Figur 17. Sammenlignet med varmepumper som benytter fjell og vann som energikilde, synker varmeeffekten fra en luft-varmepumpe betydelig ved de laveste utetemperaturen.

Lyseparken har en gjennomsnittlig vintertemperatur på ca. 3 °C. Dette medfører at en luft-varmepumpe med et naturlig kuldemedium som ammoniakk oppnå en virkningsgrad (COP) på ca. 3,0 ved en varmeavgivelse på 45 °C

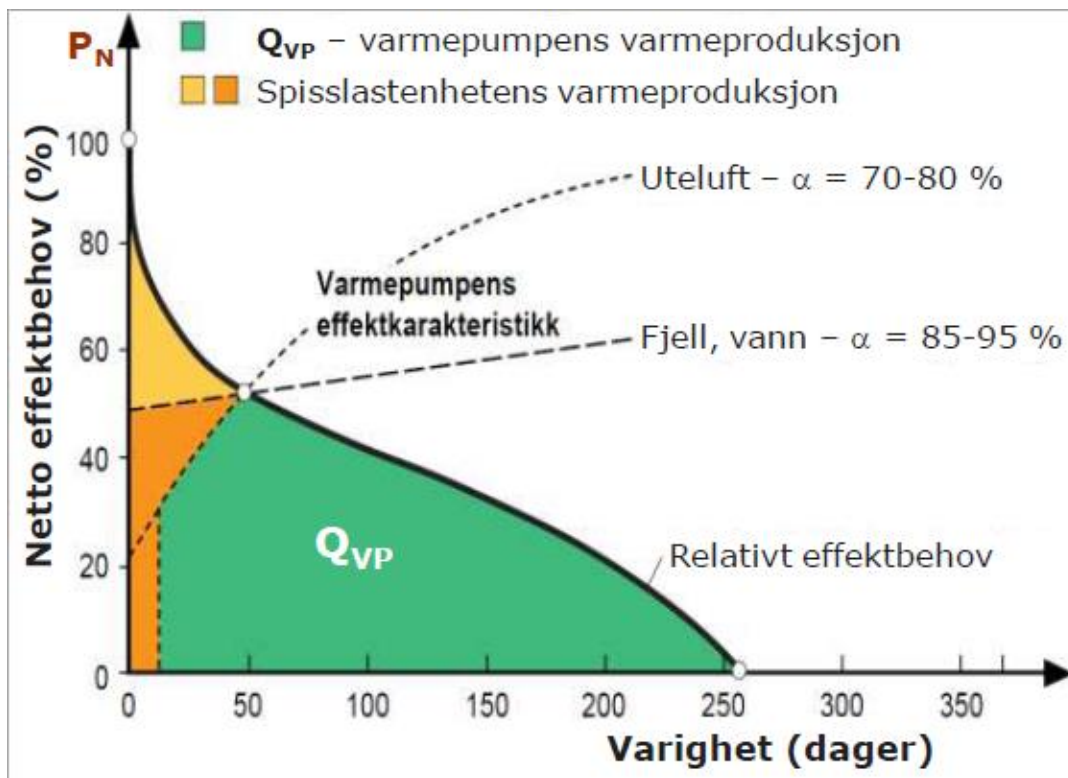
For et kontorbygg på 10.000 m<sup>2</sup> utført i passivhusstandard med et brutto oppvarmingsbehov på 40 W/m<sup>2</sup> og totalt 400 kW, vil en luft-varmepumpe på 100 kW dekke ca. 75 % av oppvarmingsbehovet. Oppvarmingsbehovet på et slikt type bygg er i størrelsesorden 20 kWh/m<sup>2</sup>. Varmepumpen vil ha en fysisk størrelse på ca. L x B x H= 3 x 3 x 2 m, der hele varmepumpen kan plasseres utendørs. Varmepumpen må støyavskjermes og kan plasseres på tak eller på bakkenivå.

Helårskjølebehov til f. eks. IT-kjøling, kan dekkes med direkte frikjøling med kald uteluft i den kalde årstiden. Alternativt kan behovet dekkes ved indirekte frikjøling med kjøling med kald uteluft av en kjølekrets med vann, som benyttes videre til IT-kjøling. I den varme årstiden må kjølebehovet dekkes med kjølemaskiner eller varmepumper benyttet som kjølemaskin.

I følge NBI håndbok 33 vil temperaturen i Lyseparken være høyere enn 18,2 °C ca. 250 timer pr. år og høyere enn 22,2 °C ca. 50 timer pr. år. Dersom disse temperaturen overskrides 5 timer pr. dag vil temperaturen være høyere enn 18,2 °C ca. 50 dager i året og høyere enn 22,2 °C ca. 10 dager i året.

Behovet for klimakjøling krever lite energi på årsbasis men kjølekapasiteten må være tilgjengelig på varme dager. Dette for å kunne opprettholde et effektivt og forsvarlig inneklima.

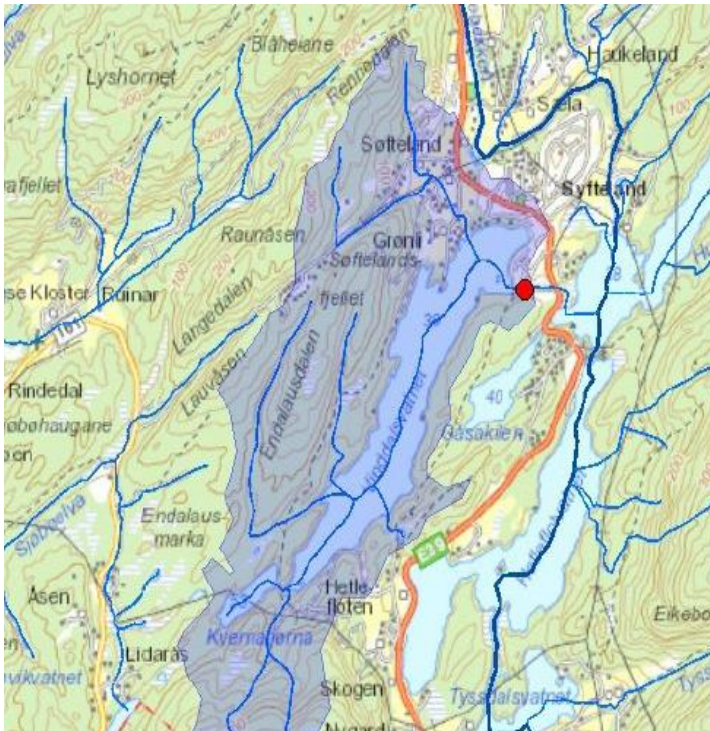
Uteluften kan benyttes til frikjøling av helårskjølebehov i den kalde årstiden opp til en utetemperatur på ca. 9 – 10 °C. Dette tilsvarer ca. 230 dager i året, se Figur 16. Kjølemaskiner må benyttes i økende grad ved stigende utetemperaturen. Uteluften er tilgjengelig i ubegrenset omfang til bygningsoppvarming med luftvarmepumper ned til en utetemperatur på ca. - 10 °C. Dette tilsvarer mer enn 360 dager i året, se Figur 16.



Figur 17 Prinsipiell effekt varighetskurve – klimaavhengige varmelaster. Varmekilde uteluft og fjell/ vann (Kilde: Foredrag Norsk Kjøleteknisk landsmøte 2012, Jørn Stene Sintef/ COWI).

## 4.2 Vindalsvatnet som energikilde

### 4.2.1 Naturgitte forutsetninger



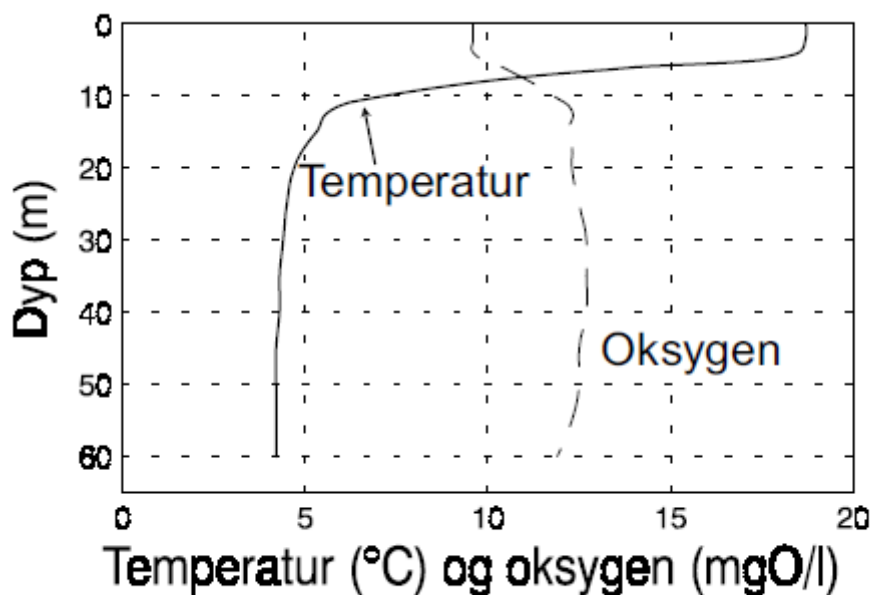
Vindalsvatnet ligger øst for Lyseparken:

- Areal vannet: 690.800 m<sup>2</sup>
- Maks. dybde 65 m
- Gjennomsnittlig dybde: ca. 25 m.
- Volum: 17.270.000 m<sup>3</sup>
- Nedslagsfelt nedbør: 4,4 km<sup>3</sup>
- Middelvannføring (61- 90): 62,3 l/(s\* km<sup>2</sup>)
- Middelvannføring totalt: 270 l/s
- Årlig utskiftning av vannvolumet: 49,3 %

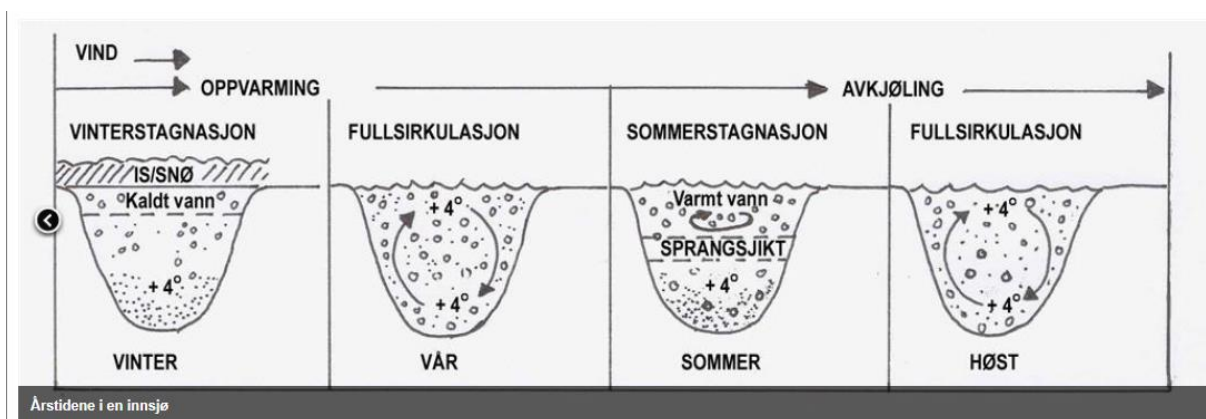
Figur 18 Vindalsvatnet øst for Lyseparken, Nedslagsområde for nedbør angitt med blått – Kilde: Nevina rapport, se Vedlegg 2.

For dybdekart over Vindalsvatnet se Vedlegg 3.

Temperaturforholdene i Vindalsvatnet er stabile under ca. 10 m og holder en jevn temperatur hele året på ca. 4 °C. I øvre vannlag vil vanntemperaturen variere i større grad med utetemperaturen, med et gjennomsnitt på ca. 10 °C. Det er målt høye oksygenverdier i de dypeste vannlagene. Dette indikerer at det ikke er stillestående vann men en betydelig gjennomstrømning av vann også i de dypeste delene av vannet. Dette vil være med på å bremse temperaturvariasjoner i vannet som følge av at vannet benyttes for oppvarming og kjøling av næringsområdet. Se Figur 19 som viser temperaturprofil og oksygenivå i Vindalsvatnet.



Figur 19 Temperatur- profil og oksygenprofiler måt i Vindalsvatnet 14.august 1995 ved innsjøens dypeste punkt.  
– Kilde Resipientundersøkelse av innsjøene i Osvassdragene i Os kommune 1995- Rådgivende Biologer AS



Figur 20 Viser typiske årstider i en innsjø mht. sirkulasjon og temperaturforhold i vannet. ( Hias )

Figur 20 Viser typiske mønster for sirkulasjon av vannet i en innsjø avhengig av årstid. Vår og høst er det full vannsirkulasjon med omrøring av vannmassene og utjevning av temperaturen ned mot 4 °C

Tilført regnvann medfører en årlig utskiftning av vannet på ca. 50 %. Hele vannvolumet kan derfor betraktes som et energimagasin for utnyttelse til oppvarming og kjøling, og tilsiget av regnvann vil også medvirke til å utjevne lokale variasjoner i uttak og tilførsel av energi til ulike tidspunkt.

Ved bruk til bygningsoppvarming med varmepumper vil vannet nedkjøles. For å kunne utnytte vannet på kalde dager, må vannet hentes opp fra det stabile temperatursjiktet på 4-5 °C og ikke i det nedkjølte overflatesjiktet.

Overflatevannet vil på kalde dager komme ned mot 0 °C og vil dermed ikke kunne utnyttes i en varmepumpe pga. frysing.

#### 4.2.2 Varig vern

Osvassdraget som Vindalsvatnet er en del av, er varig vernet og ligger i rød vernesone. Det er altså Osvassdraget, og ikke Vindalsvatnet alene som er vernet. Vindalsvatnet representerer kun en liten del av tilsiget til Osvassdraget. Hensikten med verneplanen er å sikre helhetlige nedbørsfelt med sin dynamikk og variasjon fra fjell til fjord. Vernet gjelder først og fremst mot kraftutbygging, men verneverdiene skal også tas hensyn til ved andre inngrep. Ved utnyttelse av Vindalsvatnet til energiformål må det derfor utarbeides en konsekvensanalyse for biologisk mangfold.

Vindalsvatnet har fiskearter som røye og stingsild, sannsynlig også aure og kanskje gjedde. Røye er en kaldtvannsort og kan bli påvirket av oppvarming av vannet.

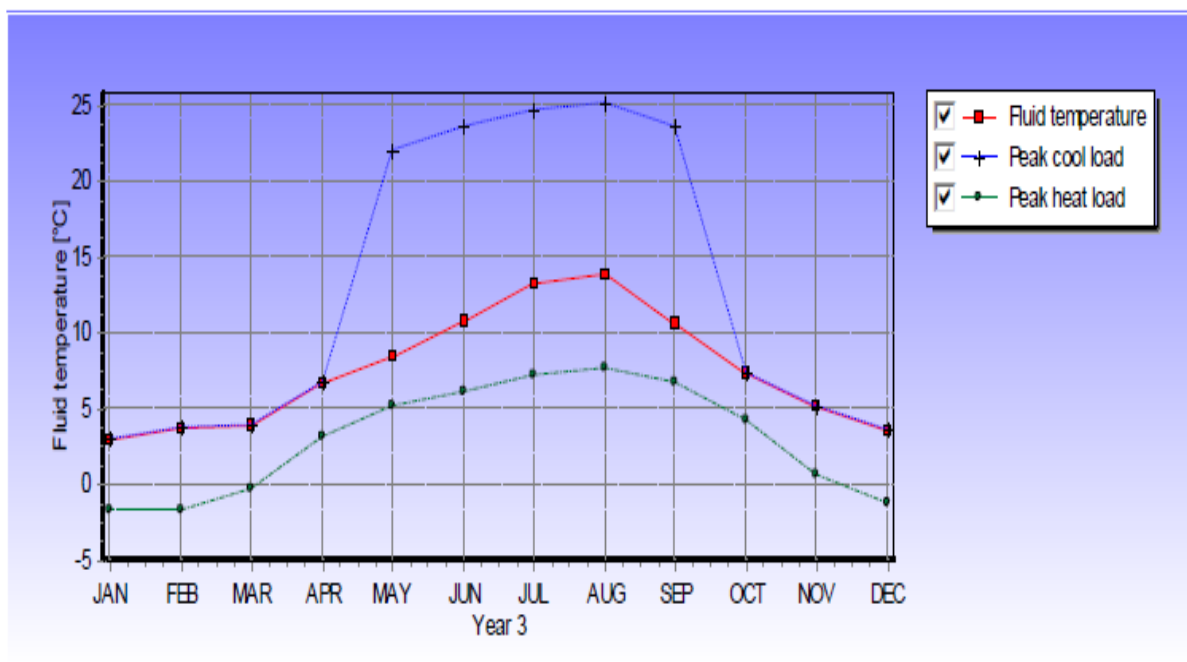
Utgangspunktet for bruk av Vindalsvatnet som en energiresurs, er at det over året er energibalansert ved at det tilføres like mye energi som det tas ut. Bruk og dimensjonering av energibrønner utføres på samme måte slik at det oppnås energibalansert uten av grunnen fryses ned.

#### 4.2.3 Energi- og effektutnyttelse

Bruk av Vindalsvatnet til energiformål vil medføre temperaturendringer i vannet og vil variere med behovet for uttak av energi til oppvarming eller tilførsel av energi ved kjøling. Hvor store temperaturvariasjoner som kan tolereres uten å påvirke det biologiske mangfoldet i vannet, må kartlegges og konsekvensutredes som en del av et fremtidig energiprojekt for Lyseparken.

Når omfang av og type utbygging er fastlagt må det utføres en analyse av alle byggenes energibalansert totalt i forhold til bruk og behov for oppvarming og kjøling. Dette vil danne grunnlag for en beregning av temperaturvariasjoner i Vindalsvatnet på årsbasis eller over en periode på 2 år.

I Figur 21 vises en analyse av energibalansen ved bruk av energibrønner for et større næringsbygg på 40.000 m<sup>2</sup> og ca. 56 000 m<sup>2</sup> boliger.



Figur 21 Energibalansert for uttak av varme til oppvarming, levering av overskuddsvarme fra kjøling og forløp av temperaturforholdene i en brønnpark (Kilde: Termisk responstest, dimensjonering av geo-energianlegg, Forprosjekt 2012 Horisont- Futurum Energi AS).

En analyse av energibalansen i Vindalsvatnet må beregnes på følgende grunnlag.

- Uttak av energi til bygningsoppvarming med varmepumper
- Levering av overskuddsenergi fra kjøling
- Varmemagasinerings i vannet.
- Varmeutveksling mellom Vindalsvatnet og omgivelsene i form av:
  - Gjennomstrømmet regnvann
  - Varmeutveksling mellom vann og luft
  - Fordampning fra vannet.

I denne fasen, før omfang av bygningsmassen i Lyseparken er fastlagt, kan kun magasinerings og varmeutveksling i Vindalsvatnet beregnes eller vurderes.

### **Varmemagasinerings**

Vindalsvatnet, med et vurdert vannvolum på 17.270.000 m<sup>3</sup>, kan magasinere en effekt (øyeblikksverdi) på **2300 kW** pr. °C temperaturheving.

Ved opptak av energi til varmepumpe for bygningsoppvarming kan varmeopptakssystemet dimensjoneres for en temperatursenkning på oppumpet vann på maks. 3 °C – fra 4 til 1 °C for å unngå frysing av vannet. Grensen for maksimalt opptak vil da være at hele vannvolumet i Vindalsvatnet i vintersesongen nedkjøles til + 1 °C, forutsatt at dette ikke medfører uakseptable forhold for dyre- og planteliv i vannet.

Ved kjøling kan kjølesystemet dimensjoneres for en temperaturheving fra ca. 5 °C til ca. 15 °C. Det vurderes imidlertid ikke som realistisk å heve vanntemperaturen til 15 °C i den varme årstiden. Energimengden til klimakjøling vil de varmeste dagene om sommeren utgjøre typisk kun ca. 7 % av energibehovet til helårskjøling i et moderne kontorbygg (tall hentet fra DnB-bygget i Solheimsviken Bergen). Effektbehovet til klimakjøling er imidlertid ca. 7.5 ganger høyere enn helårskjølebehovet for moderne kontorbygg.

Med en kjølesesong med behov for 100 % kapasitet i 20 døgn og et årlig energibehov til klimakjøling på 10 kWh/m<sup>2</sup>år i et moderne kontorbygg, kan Vindalsvatnet maksimalt motta kjøleenergi til sommerkjøling på ca. 20.000 MWh ved å forutsette en temperaturheving i vannet på 1 °C. Dette tilsvarer kjøling av 2 millioner m<sup>2</sup> kontorbygg, noe som igjen tilsvarer minst 3 ganger arealet som maksimalt kan etableres i Lyseparken.

For helårskjøling, som har betydelig mindre effektbehov men vesentlig større energibehov, kan Vindalsvatnet med 1°C temperaturheving dekke helårskjøling på 100 kWh/ m<sup>2</sup>år i 600.000 m<sup>2</sup> kontorbygg. På årsbasis kan dette økes betydelig fordi Vindalsvatnet kjøles ved opptak av energi til bygningsoppvarming og blir nedkjølt av regnvann og varmetap til omgivelsene.

Det bør kunne tas utgangspunkt i en temperaturøkning i vannet på 3 °C ved beregning av Vindalsvatnets varmemagasinerings.

*Maks. varmemagasinerings ved 3 °C temperaturendring i vannet: 60.000 MWh*

Dette kan tas ut til bygningsoppvarming og til kjøling.

**Varmeutveksling ved gjennomstrømning av regnvann.**

Med en årlig nedbørsmengde på 8 514 720 m<sup>3</sup>, vil en temperaturstigning på 3 °C medføre at ca. 30.000 MWh fjernes fra vannet. Dette vil variere med regnintensitet, strømning og temperaturforhold i vannet. Gitte estimat gir en grov vurdering av regnvannets betydning for energibalansen i vannet.

*Maks. kjøleeffekt av regnvann ved 3 °C temperaturstigning på regnvannet: 30.000 MWh*

**Varmeutveksling med uteluften.**

Vann har 4,2 ganger større varmekapasitet enn luft og temperaturen i vann vil svinge tilsvarende langsommere enn i luft.

Gjennomsnittlig temperaturer i Vindalsvatnet er oppgitt av NVE til:

- Årstemperatur (gjennomsnitt): 6,7 °C
- Vintertemperatur (gjennomsnitt): 3,0 °C
- Sommertemperatur (gjennomsnitt): 11,9 °C

Varmeutvekslingen mellom vannet og luften basert på en gjennomsnittlig vindhastighet på 3 m/s er: 24 W/m<sup>2</sup> °C og 16 641 kW pr. °C for hele vannflaten.

Om sommeren vil vannet være kaldere enn luften og motta varme. Om vinteren vil vannet være varmere enn luften og avgi varme.

Uten bruk av vannet til energiformål er vannet i temperaturløst over året. Ved bruk av vannet til kjøling om sommeren vil vannet kunne holde en høyere temperatur utover høsten og tidlig vinter i forhold til dagens forhold. Varmeavgivelse fra vannet til luften vil da bli større enn i dag og kan tas hensyn til ved en analyse av energibalansen i vannet.

Ved en økt temperaturdifferanse på 1 °C fra september og ut oktober vil vannet kunne avgi en energimengde på ca. 24.000 MWh eller ca. 12.000 MWh pr. mnd.

**Fordampning fra vannoverflaten**

Når fuktighetsinnholdet ved vannoverflaten er høyere enn fuktighetsinnholdet i luften over, vil det fordampe vann fra overflaten. (Egentlig forskjell i vanddamptrykk ved overflaten og i luften). Dersom vannet har blitt oppvarmet mer enn naturlige forhold tilsier på grunn av tilførsel av overskuddsenergi fra kjøling, vil vannet holde seg lenger varmt utover høsten.

Ved en økt temperaturdifferanse på 1 °C fra september vil vannet kunne fordampe en økt kjøleeffekt på ca. 65.000 MWh

Med en oppgitt vannfordampning for vest- og sørlandet på 285 mm pr. år (Vannressurser Universitetsforlaget 2002) medfører dette en samlet fordampet vannmengde på 196 878 kg og på 32 813 kg for 2 mnd.

Samlet nedkjølingseffekt på grunn av fordampning over året:

- Årlig fordampning: ca. 123.000 MWh
- Økt fordampning i september mnd: ca. 65.000 MWh
- Sum fordampning ca. 188.000 MWh



***Kjøleeffekt ved oppvarming med varmepumper av full utbygging av Lyseparken***

Dersom det forutsettes en full utbygging av Lyseparken på 600.000 m<sup>2</sup> næringsbygg med et oppvarmingsbehov på 20 kWh/m<sup>2</sup>, vil et varmepumpesystem med en COP faktor på 4 trekke ut en energimengde fra vannet på 7 650 MWh.

Ved full omrøring av vannmassene i vannet representerer dette en nedkjøling av vannet på ca. 0,4 °C

***Overslag årlig energibalanse ved full utbygging med 600.000 m<sup>2</sup>*****Varmetilførsel:**

Helårskjøling: 600.000 m <sup>2</sup> x 100 kWh/m <sup>2</sup> =	60.000 MWh
Klimakjøling: 600.000 m <sup>2</sup> x 10 kWh/m <sup>2</sup> =	6.000 MWh
Sum varmetilførsel:	66.000 MWh

**Varmeavgivelse:**

Varmeopptak til bygningsoppvarming:	7.650 MWh
Regnvann med maks. 3 °C:	30.000 MWh
Varme til uteluften	24.000 MWh
Fordampning av overflatevann	188.000 MWh
Sum varmeavgivelse	249.650 MWh

**4.2.4 Konklusjon termisk energi fra Vindalsvatnet**

Det kan hentes varmeenergi på minst 7.650 MWh til bygningsoppvarming av 600.000 m<sup>2</sup> yrkesbygg med energibehov som et moderne kontorbygg. Tilsvarende kan det tilføres minst 66.000 MWh for helårs- og klimakjøling.

Det er svært mange faktorer som vil påvirke energibalansen i vannet og vil kreve en omfattende regnemodell for å kunne analysere dette nøyaktig.

Ved utnyttelse av Vindalsvatnet for oppvarming og kjøling av Lyseparken næringsområde kan det være hensiktsmessig å etablere en målestasjon som måler temperaturprofilen fra den dypeste delen av vannet og opp til overflaten. Målingen kan tilknyttes et sentralt driftsovervåkingsanlegg og benyttes til å registrere temperaturutviklingen i vannet og regulere energisystemene slik at det ikke vil forekomme uakseptable lave eller høye temperaturer i vannet.

Det må også utføres en biologisk konsekvensanalyse for biologisk mangfold i vannet når vannet skal benyttes som en energiresurs.

### 4.3 Geotermisk energi

Grunnen som energikilde (geotermisk energi) kan utnyttes prinsipielt på følgende to måter.

#### 1. Lukket system med kollektorer

Boring av nødvendig antall energibrønner med en lukket plastkolektor med sirkulasjon av frostsikret vann. Kollektorene fungerer som varmeveksler mot det omliggende fjellvolumet.

Fornybar energi hentes ut fra fjellvolumet og tilføres vannet i kollektorsløyfene og løftes opp med bruk av en varmpumpe, til et tilstrekkelig temperaturnivå for bruk i et vannbårent varmeanlegg.

#### 2. Åpent system med oppumpet grunnvann

Grunnvann pumpes direkte opp og nedkjøles i varmpumpen for å overføre fornybar energi. Pumpes direkte ned i grunnvannet igjen.

Denne løsningen krever et større grunnvannsvolum og er ikke aktuelt for Lyseparken. Her vil Vindalsvatnet kunne utnyttes direkte som en alternativ løsning til energibrønner, se Kapittel 0.

Energibrønnene kan i tillegg til å forsyne varme også forsyne kjøling når temperaturen i brønnene er lav nok. Normalt ligger temperaturen i grunnen på 7 – 9 °C i de øvre 180 – 250 m.

Når temperaturen i energibrønnene ikke er tilstrekkelig lav for direkte frikjøling, kan varmpumpene kjøres som kjølemaskiner og gi nødvendig tilleggskjøling. Overskuddsenergi fra både frikjøling og kjøling med varmpumpene dumpes ned i energibrønnene som på den måten lades opp til å kunne levere varme om vinteren. Dette er en viktig forutsetning for at ikke energibrønnene skal fryse igjen ved opptak av varme.

#### 4.3.1 **Naturgitte forutsetninger**

Mulig opptak av varme fra energibrønnene er avhengig av følgende forhold:

- Fjellgrunnens varmeledningsevne som varierer for ulike bergarter
- Grunnvannsnivå og gjennomstrømning av grunnvann i borehullene
- Løsmassemektighet da løsmasser har vesentlig dårligere varmeledningsevne enn fjell

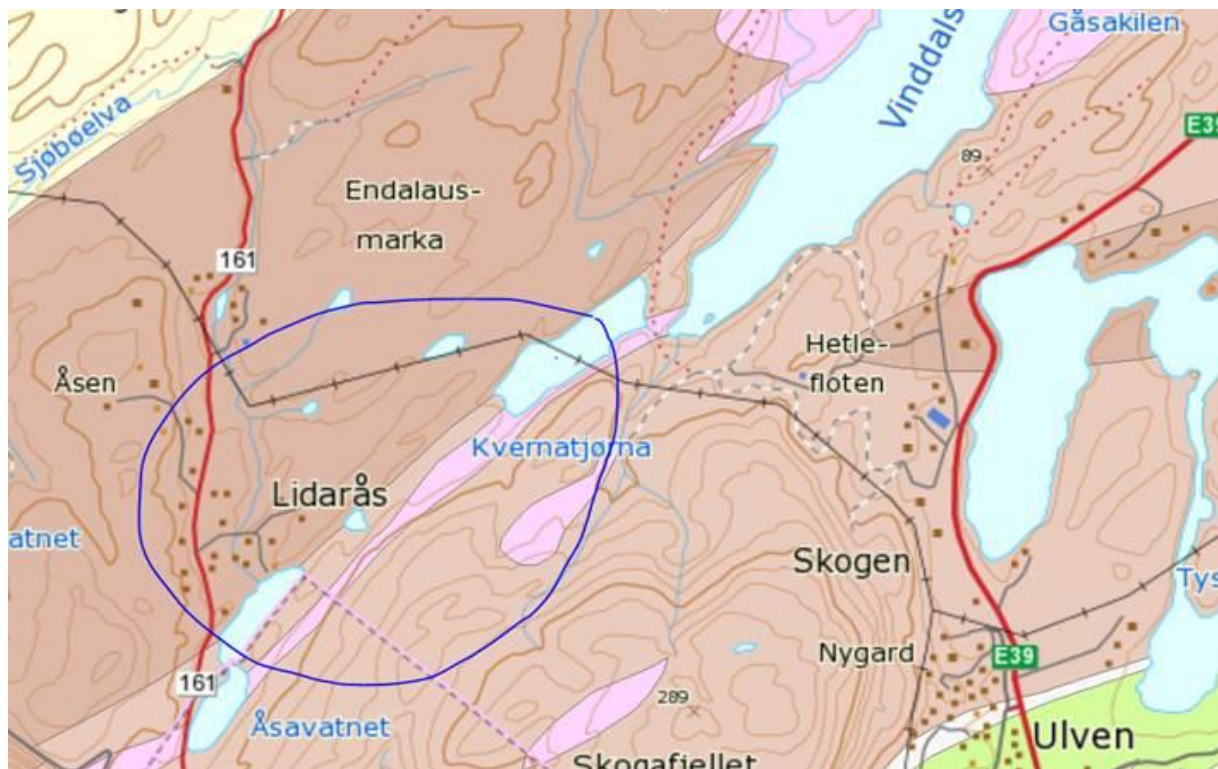
#### **Bergarter i Lyseparken**

Fjellgrunnens evne til å transportere energi varierer fra bergart til bergart. Høy varmeledningsevne gjør grunnen bedre egnet for etablering av geotermiske energianlegg.

Figur 22 viser et geologisk kart fra NGU's geologisk kartdatabase og viser bergartene i hele Lyseparken.

Følgende bergarter finnes i planområdet:

- Omdannet gabbro, stedvis amfiboit (brun) – 2,25 kcal/m time °C (2,62 W/m°C)
- Trondhemitt, tonalitt og kvartsdioritt (lys rosa) - 2,5 kcal/m time °C (2,91 W/m°C)
- Grønnstein (Gangkompleks/basaltisk lava med putestruktur (lysebrun) - 2,7 kcal/m time °C (3,14 W/m°C)



Figur 22 NGU geologisk kart for Lyseparken

Varmeledningsevne øker med kvartsinnholdet. I følge faglitteratur har det blitt målt at kvartsitt har en varmeledningsevne lik 4,05 kcal/m time °C (4,71 W/m°C) og pegmatittkvarts har en varmeledningsevne lik 7,25 kcal/m time °C (8,43 W/m°C)

Varmeledningsevnen til bergartene som finnes i Lyseparken, er i midtre/ nedre nivå i forhold til hva som normalt måles i Energibrønner i Norge (Futurum Energi AS – forprosjekt Horisont 2012).

#### **Grunnvannsnivå og gjennomstrømning av grunnvann**

Hovedsprekksystemet for fjellet i Lyseparken er steilstående og har retning SV-NØ, dvs. samme retning som Kvernatjørna og Vindalsvatnet.

For å oppnå effektive energibrønner er det viktig med mest mulig gjennomstrømning av grunnvann i borehullene. Det er da aktuelt å etablere skrå borehull med fall mot NV eller SØ slik at man går gjennom flest mulige sprekkeplan langs hovedsprekksystemet. Det er grunn til å tro at berggrunnen i området kan være oppsprukket siden Lyseparken ligger langs en forsenkning i enden av Kvernatjørna, som representerer en svakhetssone. Det er en fordel at borehullene plasseres hvor det er oppsprukket fjell

Det er ikke etablert noen grunnvannsbrønner i området i forbindelse med E39. Basert på kartstudie er det grunn til å forutsette at grunnvannsstanden i området ikke kan ligge vesentlig lavere enn Kvernatjørna på kote +53 som delvis skal fylles ut ved etablering av E39.

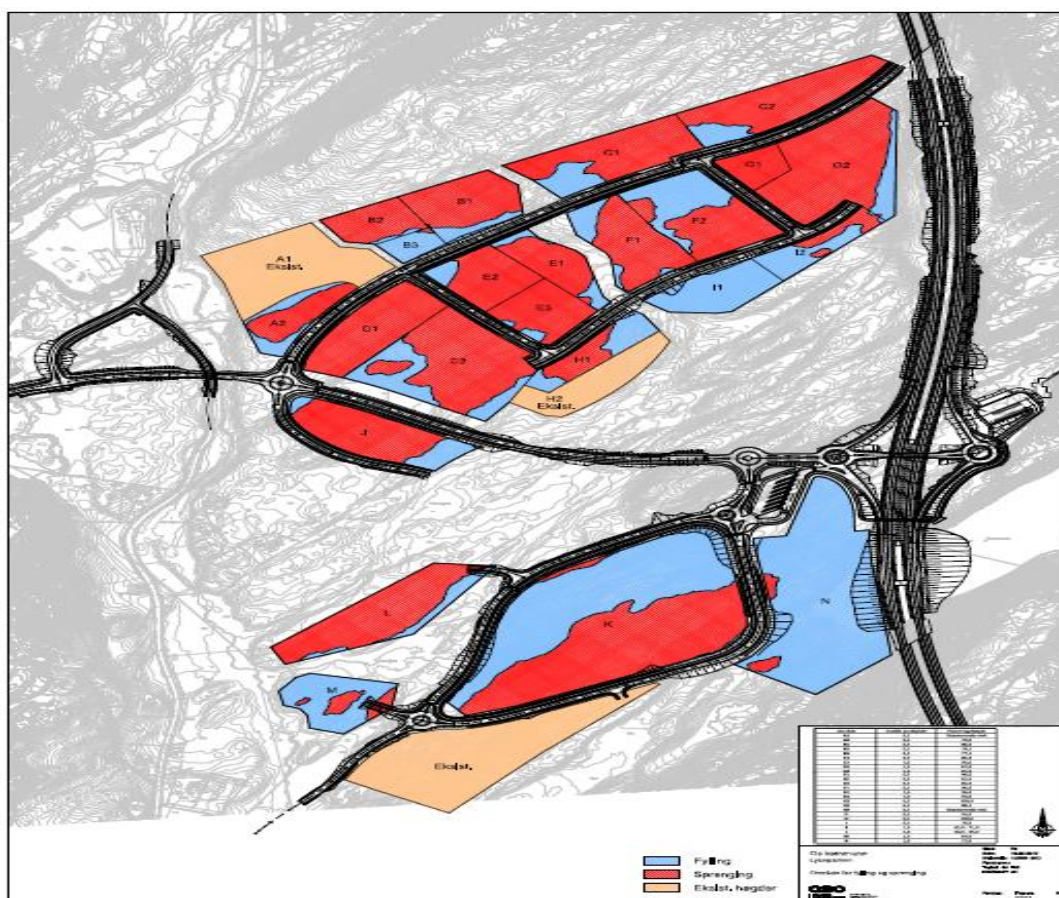
Den dominerende bergarten i selve utbyggingsområdet er omdannet gabbro, stedvis amfiboit med en varmeledningsevne på 2,62 W/m°C.

For energibrønner med en varmeledningsevne på 2,8 W/m°C og mye grunnvann i grunnen er det ved målinger oppnådd et varmeopptak på 34 W/m effektivt borehull med bruk av kollektor med enkel U-sløyfe. (Futurum Energi AS Horisont 2012)

Det er rimelig å forutsette at energibrønner etablert i Lyseparken kan oppnå et energioptak på 30 W/m effektiv borehull.

### Løsmassemektighet

Energibrønner må etableres i deler av området med liten overdekning til fjell. Løsmasser har lav varmeledningsevne, og medfører ekstra kostnader for en brønnpark da fôringsrør må benyttes. Figur 23 viser områder i Lyseparken som skal fylles opp med løsmasser (blått) og områder med fjell direkte i dagen (rødt).



Figur 23 Kart over områder med fylling og sprengning.

Plassering av energibrønner må tilpasses utbygging og utbyggingstakt for næringsparken. Det kan etableres en felles energisentral med brønnpark som forsyner hele området med varme og kjøling. Alternativt kan det etableres en eller flere brønnparker der brønnkretsen føres frem til hvert bygg eller delområder som en lavtemperaturkrets. Nødvendig temperaturheving for oppvarming, direkte bruk av frikjøling eller dumping av overskuddsenergi, må da gjøres i hvert bygg eller område med varmepumper.

### Termisk responstest

Endelig dimensjonering av brønnparken må utføres på grunnlag av en eller flere målinger av grunnens varmeledningsevne og varmemotstand ved en «Termisk responstest» hvor følgende målinger og analyser gjennomføres:

- Temperaturstigning i kollektorvæsken ved oppvarming av sirkulerende væske
- Fjellgrunnens effektive varmeledningsevne (W/m °C)
- Borehullets termiske motstand (°C/(W/m)) ved varmeuttak
- Borehullets termiske motstand (°C/(W/m)) ved frikjøling

Målt temperaturkurve sammenlignes med teoretisk beregnet temperaturkurve for kontroll av beregnede varmetekniske parametere.

#### 4.3.2 Energidekning med geotermiske energibrønner.

Normalt dimensjoneres en energibrønn for å dekke oppvarmingsbehovet. Dimensjonering for kjølebehovet vil normalt gi en større brønnpark.

Når å unngå nedfrysning av brønnene må brønnene plasseres med nødvendig innbyrdes avstand. En ofte benyttet avstand er et rektangel for hver brønn på 8 x 14 m.

Dersom det forutsettes en full utbygging av Lyseparken på 600.000 m<sup>2</sup> næringsbygg med et oppvarmingsbehov på 20 kWh/m<sup>2</sup> en oppvarmingseffekt på 40 W/m<sup>2</sup>, vil et varmepumpesystem med en COP-faktor på 4 trekke ut en energimengde fra energibrønnene på 7.650 MWh.

Varmepumpene må ha en varmeytelse på 6 MW. Brønnparken må dimensjoneres for et varmeopptak på ca. 4.3 MW og utføres med 714 brønner a 200 m effektiv lengde.

*Nødvendig areal for brønnpark: 80.000 m<sup>2</sup> – ca. 13% av maks. utbyggingsareal. Basert på tegning i Figur 23 er majoritet av utbyggingsarealet på fast grunn.*

#### 4.3.3 Konklusjon geotermisk energi

Forholdene i Lyseparken muliggjør etablering av et geotermisk energisystem for oppvarming og kjøling med en effekt i nedre/ midtre nivå sammenlignet med hva som normalt måles i Energibrønner i Norge (Futurum Energi AS – forprosjekt Horisont 2012).

Det er rimelig å forutsette at brønnparken kan dimensjoneres for et varmeopptak på 30 W/m effektivt borehull. Dette må verifiseres med «Termiske responstester».

Tilgjengelig effekt og energimengder er proporsjonalt med dybde på og antall energibrønner.

For en full utbygging på 600.000 m<sup>2</sup> er det nødvendig med en brønnpark i størrelsesorden 80.000 m<sup>2</sup>.

### 4.4 Overordnet konklusjon termisk energi

Evalueringer viser at både luteluft, Vindalsvatnet og geobrønner er egnede energikilder for termisk energi i lyseparken. Nøkkelpunkter for de ulike energikildene er gjengitt i Tabell 12.

Tabell 12 Oppsummering termiske energikilder

<b>Uteluft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antall dager i året med tilstrekkelig høy lufttemperatur for oppvarming med varmepumpe: <b>Over 360 dager</b></li> <li>• Antall dager med tilstrekkelig lav lufttemperatur for frikjøling: <b>230 dager</b></li> <li>• Dimensjon for komplett luft-varmepumpe plassert utendørs for kontorbygg på 10 000 m<sup>2</sup> (effekt på 100 kW, oppvarmingsbehov på 20 kWh/m<sup>2</sup>): <b>3x3x2 m</b></li> </ul>
<b>Vindalsvatnet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Med en utbygging på 600.000 m<sup>2</sup> næringsbygg med et oppvarmingsbehov på 20 kWh/m<sup>2</sup>, vil Vindalsvatnet kunne dekke hele oppvarmingsbehovet på <b>7 650 MWh</b> med en nedkjøling av vannet på ca. 0,4 °C*. Ved å tillate ytterligere nedkjøling kan mer energi hentes ut.</li> <li>• Med en utbygging på 600 000 m<sup>2</sup> næringsbygg kan Vindalsvatnet dekke hele behovet for helårs- og klimakjøling på <b>66.000 MWh</b> med en temperaturøkning i vannet på ca. 3 °C*.</li> </ul>
<b>Geobrønner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Det er rimelig å anta at en brønnpark i Lyseparken kan dimensjoneres for et varmeopptak på <b>30 W/m</b></li> <li>• For en utbygging på 600.000 m<sup>2</sup> næringsbygg er det nødvendig med en brønnpark i størrelsesorden <b>80.000 m<sup>2</sup></b>.</li> </ul>

\*Detaljert modell over temperaturvariasjoner i vannet må utarbeides i neste fase, når byggenes energibehov er fastsatt med sikkerhet.

## 5 Oppsummering og overordnet anbefaling

Foreliggende rapport omhandler kartlegging av energiresurser i Lyseparken næringsområde. Det er gjort vurderinger av potensialet for å benytte solenergi, vindenergi og termiske energiforsyningsløsninger basert på hhv. uteluft, vann og geobrønner for å dekke energibehovet i næringsområdet. Hvorvidt næringsområdet kan være selvforsynt på energi kan ikke avdekkes før sammensetning og utforming av bygninger er fastsatt. Foreliggende rapport vil likevel gi en indikasjon på potensialet i de ulike energiresursene.

Evalueringer av solenergiressurser viser relativt gode solenergiressurser i næringsområdet. Det observeres noen skyggevirksomheter mot sør og øst, men total innstråling både mot sør, vest og øst er likevel såpass gode at utnyttelse av solenergi absolutt bør vurderes. Eksempelvis viser simuleringer en spesifikk produksjon på 150 kWh/m<sup>2</sup> for høyeffektive solceller mot sør. Fordeling av termiske solfangere og solceller må vurderes videre når bygningstyper og forbruksprofiler kan fastsettes med større sikkerhet.

Det er gjort vurderinger av etablering av konvensjonell vindkraft i form av større vindturbiner på høyder rundt næringsparken. Resultatene viser relativt lave årsmiddelvindhastigheter noe som sannsynligvis vil medføre dårlig lønnsomhet i et eventuelt vindkraftverk. Samtidig vil denne løsningen medføre problematikk med skyggevirksomheter, noe som ikke er gunstig. Oppsummert anbefales det ikke at det etableres vindturbiner på nærliggende høyder. Videre er mulighetene for vindkraft på

bygninger i næringsparken vurdert. Nøyaktig potensiell produksjon fra slik småskala vindkraft kan først fastsettes etter vindmålinger i området. Estimerte vindhastigheter indikerer likevel at en vindturbin med diameter på 7 m vil kunne produsere ca. 13 000 kWh årlig i Lyseparken næringsområde. Erfaringsmessig er ytelsen til bygningsintegrerte vindturbiner lav, og ønsket om høye vindhastigheter og produksjon i bebygde områder er ikke forenelig med komfortkriterier for mennesker som skal ferdes i området. Det finnes likevel innovative løsninger for vindkraft, som vindturbiner på lyktestolper, som kan være gunstig å benytte i Lyseparken.

Klimaet i Lyseparken, og på Vestlandet forøvrig er mildt. Uteluft kan følgelig benyttes som energikilde for varmepumper. Ved kalde temperaturer vil likevel en luft-varmepumpe ha dårlig ytelse, og vil måtte stoppes på de kaldeste dagene. Analyser at dimensjonerende utetemperaturer i Lyseparken viser at en luft-varmepumpe vil kunne driftes for romoppvarming nesten hele året. Utetemperaturen vil være tilstrekkelig høy til at varmepumpen vil kunne være i drift over 360 dager i året. Når utetemperaturen er lavere enn 9-10 °C vil uteluft kunne benyttes for frikjøling av byggene. I Lyseparken er dette tilfellet ca. 230 dager i året. Når uteluften er høyere enn denne må kjølemaskiner benyttes.

Alternativt kan Vindalsvatnet benyttes som energikilde for oppvarming og kjøling. Analyser av vannvolum, temperatur, nedbør og utskifting viser at Vindalsvatnet er en svært godt egnet energiresurs. Det kan hentes ut varmeenergi på minst 7.650 MWh til bygningsoppvarming av 600.000 m<sup>2</sup> yrkesbygg med energibehov som et moderne kontorbygg. Tilsvarende kan det tilføres minst 66.000 MWh for helårs- og klimakjøling. Osvassdraget som Vindalsvatnet renner ut i er varig vernet. Det må derfor utføres en biologisk konsekvensanalyse for biologisk mangfold i vannet dersom vannet skal benyttes som en energiresurs.

Etablering av energibrønner er en tredje mulighet for å dekke det termiske energibehovet i næringsområdet. Forholdene i Lyseparken muliggjør etablering av et geotermisk energisystem for oppvarming og kjøling med en effekt i nedre/ midtre nivå sammenlignet med hva som normalt måles i Energibrønner i Norge. Det er rimelig å forutsette at brønnparken kan dimensjoneres for et varmeopptak på 30 W/m effektivt borehull. Dette medfører at for en full utbygging på 600.000 m<sup>2</sup> er det nødvendig med en brønnpark i størrelsesorden 80.000 m<sup>2</sup>.

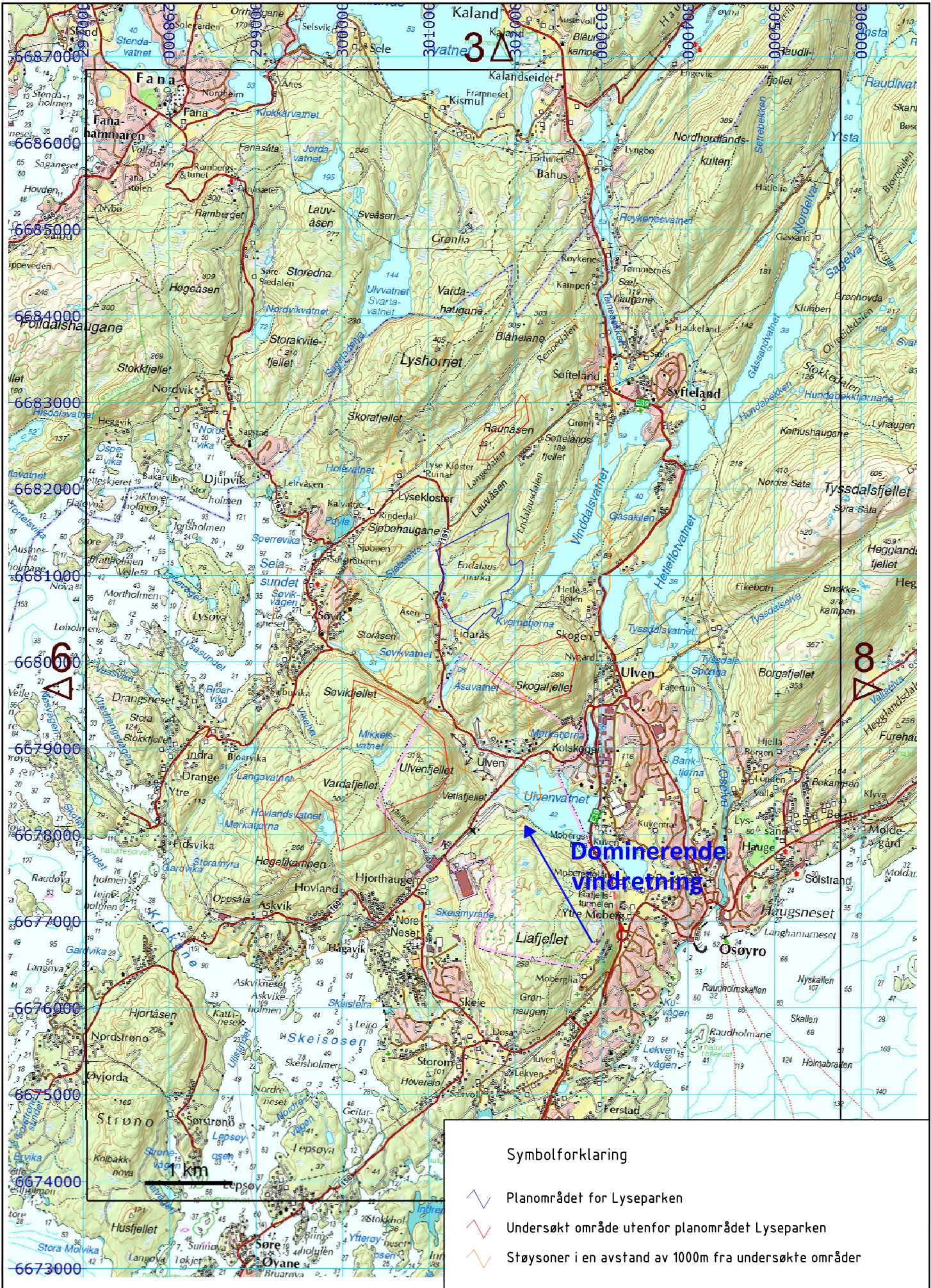
I videre planlegging av energiforsyning i Lyseparken anbefales det at solenergi medtas som en del av strategien. Både solceller og solfangere bør vurderes. Videre anbefales det at det fokuseres på å benytte Vindalsvatnet som energikilde. Etablering av vindkraft vurderes til å ha relativt lite potensiale i Lyseparken, men kan benyttes i mindre utstrekning, eksempelvis for lyktestolper.

## 6 Vedlegg

1. Kart over områder - Vindressurs, planområde, høydedrag og dominerende vindretning.
2. Nevina rapport fra NVE
3. Dybdekart Vindalsvatnet



G:\0617\617221\617221-03 ARBEIDSRÅDE\617221-RIEN-TEG-001.dwg. - Layout: (617221-RIEN-001). - Plottet av: bop. Date: 2017.04.27 kl 8:07



- Symbolforklaring**
- ▬ Planområdet for Lyseparken
  - ▬ Undersøkt område utenfor planområdet Lyseparken
  - ▬ Støysoner i en avstand av 1000m fra undersøkte områder

**Multiconsult**  
www.multiconsult.no

**ABO PLAN OG ARKITEKTUR AS**  
Lyseparken næringsområde  
Vindressurs og støysoner

Status	FORSTUDIE	Fag	RIEN	Original format	Dato	24.04.2017
Konstr./Tegnet	BOP	Kontrollert	LLE	Godkjent	TMH	Målestokk Custom
Oppdragsnr.	617221	Tegningsnr.	RIEn 001	Rev.		0



## Lavvannskart

Vassdragsnr.: 055.7B  
 Kommune: Os  
 Fylke: Hordaland  
 Vassdrag: OSELVA

Vannføringsindeks, se merknader

Middelvannføring (61-90) 62.3 l/(s\*km<sup>2</sup>)  
 Alminnelig lavvannføring 7.1 l/(s\*km<sup>2</sup>)  
 5-persentil (hele året) 7.2 l/(s\*km<sup>2</sup>)  
 5-persentil (1/5-30/9) 4.5 l/(s\*km<sup>2</sup>)  
 5-persentil (1/10-30/4) 14.1 l/(s\*km<sup>2</sup>)  
 Base flow 29.9 l/(s\*km<sup>2</sup>)  
 BFI 0.5

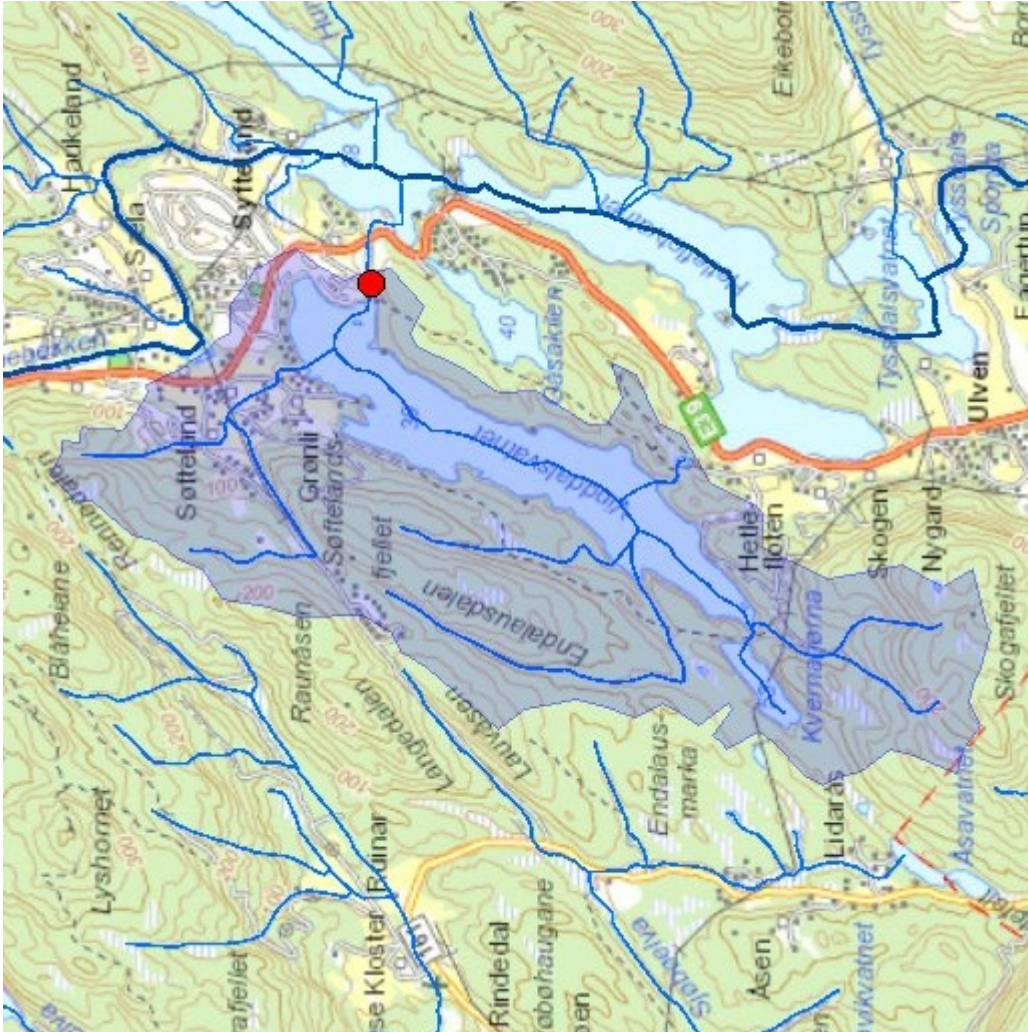
Klima

Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2111 mm
Sommernedbør	814 mm
Vinternedbør	1297 mm
Årstemperatur	6.7 °C
Sommertemperatur	11.9 °C
Vintertemperatur	3.0 °C
Temperatur Juli	13.6 °C
Temperatur August	13.5 °C

Feltparametere

Areal (A)	4.4 km <sup>2</sup>
Effektiv sjø (S <sub>eff</sub> )	15.7 %
Elvelengde (E <sub>L</sub> )	4.1 km
Elvegradient (E <sub>G</sub> )	23.2 m/km
Elvegradient <sub>1085</sub> (G <sub>1085</sub> )	19.0 m/km
Feltlengde(F <sub>L</sub> )	3.3 km
H <sub>min</sub>	39 moh.
H <sub>10</sub>	39 moh.
H <sub>20</sub>	44 moh.
H <sub>30</sub>	57 moh.
H <sub>40</sub>	67 moh.
H <sub>50</sub>	84 moh.
H <sub>60</sub>	104 moh.
H <sub>70</sub>	128 moh.
H <sub>80</sub>	151 moh.
H <sub>90</sub>	175 moh.
H <sub>max</sub>	287 moh.
Bre	0.0 %
Dyrket mark	2.5 %
Myr	1.6 %
Sjø	16.7 %
Skog	71.4 %
Snaufjell	0.0 %
Urban	2.8 %

1) Verdien er editert



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat



Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeks. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

# Flomberegning

Vassdragsnr.: 055.7B

Kommune: Os

Fylke: Hordaland

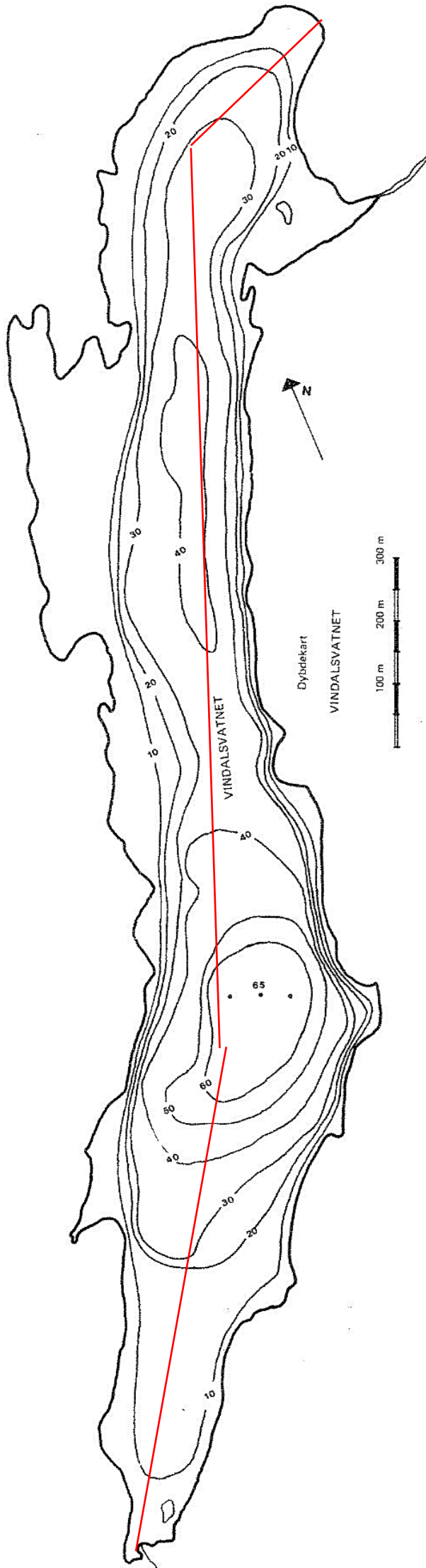
Vassdrag: OSELVA

Flomverdiene viser størrelsen på kulminasjonsflommer for ulike gjentakintervall. De er beregnet ved bruk av et formelverk som er utarbeidet for nedbørfelt under ca 50 km<sup>2</sup>. Feltparametere som inngår i formelverket er areal, effektiv sjøprosent og normalavrenning (l/s\*km<sup>2</sup>). For mer utypende beskrivelse av formelverket henvises det til NVE –Rapport 7/2015 «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt». Det pågår fortsatt forskning for å Det pågår fortsatt forskning for å bestemme klimapåslag for momentanflommer i små nedbørfelt. Frem til resultatene fra disse prosjektene foreligger anbefales et klimapåslag på 1.2 for døgnmiddelflom og 1.4 for kulminasjonsflom i små nedbørfelt.

OSELVA	
Areal (km <sup>2</sup> )	4.37
Klimafaktor	1.4

	Q <sup>M</sup>		Q <sup>5</sup>	Q <sup>10</sup>	Q <sup>20</sup>	Q <sup>50</sup>	Q <sup>100</sup>	Q <sup>200</sup>
	m <sup>3</sup> /s	l/(s*km <sup>2</sup> )						
Flomfrekvensfaktorer	-	-	1.20	1.45	1.74	2.21	2.66	3.22
95% intervall øvre grense (m <sup>3</sup> /s)	4.0	923.5	5.0	6.1	7.5	9.8	12.1	14.7
Flomverdier (m <sup>3</sup> /s)	2.3	522	2.7	3.3	4.0	5.0	6.1	7.3
95% intervall nedre grense (m <sup>3</sup> /s)	1.3	295	1.5	1.8	2.1	2.6	3.0	3.7
Flommer med klimapåslag (m <sup>3</sup> /s)	3.2	730.4	3.3	4.6	5.5	7.1	8.5	10.3

Beregningene er automatisk generert og kan inneholde feil. Det er generelt stor usikkerhet i denne typen beregninger. Resultatene må verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. Resultatene er ikke gyldig som grunnlag til flomberegninger for klassifiserte dammer.



Lengde: 2480 m  
Snitt dybde: 35 m