
RAPPORT

Muligheter for kraftproduksjon i forbindelse med bygging av vei og jernbane

OPPDRA GSGIVER

Nye Veier

EMNE

Rapport

DATO / REVISJON: 16. januar 2023 / 01

DOKUMENTKODE: 10246817-01-RiSol-RAP-001



Multiconsult

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.

RAPPORT

OPPDRAAG	Muligheter for kraftproduksjon i forbindelse med bygging av vei og jernbane	DOKUMENTKODE	10246817-01-RiSol-RAP-001
EMNE	Rapport	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Nye Veier, Bane NOR, Statens vegvesen	OPPDRAAGSLEDER	Øystein Holm
KONTAKTPERSON	Maarten Lohne Van Der Eynden	UTARBEIDET AV	Oda Andrea Hjelme, Øystein Holm
		ANSVARLIG ENHET	10105030 Seksjon Sol og smart grid

SAMMENDRAG

Multiconsult har fått i oppdrag å gjennomføre en litteraturstudie rundt potensialet for kraftproduksjon i forbindelse med infrastrukturbygging. Denne studien er en del av Nye Veiers prosjekt «Kunnskapsprogram om fossilfrie anleggsplasser». Utnyttelse av infrastrukturområder til elektrisitetsproduksjon vil øke nytten av infrastrukturinvesteringer når man allerede gjør arealbeslag. I tillegg vil elektrifisering av transportsektoren som et ledd for å nå klimamålene kreve større mengder elektrisk kraft der tilgangen på kraft kan bli begrensende. Det forventes en betydelig økning i kraftforbruket og Norge kan få kraftunderskudd allerede i 2027.

Rapportens fokus er på potensialet for kraftproduksjon fra sol- og vindkraft, der vannkraft og andre energikilder omtales i korthet. Solkraft er en moden teknologi. Noen spesielle fordeler med solkraft er at det kan installeres nærmest hvor som helst og at det kan installeres raskt. I Norge bygges solkraft først og fremst på bygninger, mens i våre naboland er også bakkemonterte solkraftverk godt kjent der det kan hentes mye kompetanse og erfaring. Utenfor Norge er også solkraft i forbindelse med vei og jernbane mer utbredt. Rapporten presenterer eksempler der solceller er installert på carport, i støyskjermer, som tak over eller på bakken langs vei og bane, og på bygg i tilknytning til vei og bane blant annet.

Vindkraft er også en moden teknologi der storskala horisontalakslede vindturbiner er mest utbredt. Vindkraft har skapt mye debatt i Norge blant annet fordi det er arealkrevende og fordi turbinene er synlige over store avstander. For å skape minst mulig debatt kan vindkraft bygges i industrialiserte områder der det ikke kommer i konflikt med naturvern og der man samtidig unngår tett bebodde områder. Av eksemplene som finnes på vindkraft i tilknytning til vei og bane er de fleste større vindturbiner som er en del av en vindpark. Det finnes også eksempler på små vindturbiner som monteres på bygg og konstruksjoner med varierende suksess.

Områder langs vei og bane er attraktive for fornybar kraftproduksjon av flere grunner som enkel tilgang på arealene, tilgang på strøm- og signalnett, offentlig eierskap, mangel på konkurranse om arealene og lite skygge. I tillegg fører ikke kraftproduksjon på allerede beslaglagt areal og på eksisterende struktur til ytterligere tap av miljøverdi. Lokalt produsert energi kan også bidra til å dekke elektrisitetsbehovet knyttet til vei og bane i anleggs- og driftsfasen.

Rapporten peker på noen barrierer for utnyttelse av infrastruktur til fornybar kraftproduksjon. Per i dag stilles det vanligvis ingen krav om tiltak for klimagassreduksjoner eller om å vurdere løsninger for egenproduksjon av strøm i transportvirksomhetenes prosjekter. Miljøtiltak gjøres først og fremst dersom det er kostnadsbesparende eller dersom det er pålagt. Tydelige klimakrav vil gi forutsigbarhet til å investere i klimavennlige løsninger som fornybar kraftproduksjon. Kraftproduksjon skal ikke påvirke funksjonen eller sikkerheten til vei og bane. Produksjonsanlegg som sol- og vindkraft trenger normalt lite vedlikehold, og produksjonsanlegg bør etableres slik at nødvendig drift og vedlikehold av vei og bane kan gjennomføres som normalt. Rapporten peker på aspekter knyttet til sikkerhet som bør vurderes i hvert enkelt prosjekt og avkrefter noen bekymringer ved samlokasjon av kraftproduksjon og vei og bane.

Utenfor Norge pågår flere prosjekter for kartlegging av synergier for samlokasjon av kraftproduksjon og infrastruktur. Rapporten foreslår noen punkter for videre arbeid som kartlegging av effekt- og energibehov for vei og bane i anlegg- og driftsfasen, kartlegging av kraftproduksjonspotensialet for blant annet sol- og vindkraft, standardisere design for integrering av fornybar kraft i vei- og bane infrastruktur, tilpasning av konstruksjonskrav samt krav om å vurdere kraftproduksjon i regulerings- eller kommuneplanen.

01	16.01.2023	Endringer etter tilbakemelding fra Nye veier, Bane NOR og Statens vegvesen	O. Hjelme, Ø. Holm	O. Hjelme	Ø. Holm
00	16.12.2022	Utkast til kommentar	O. Hjelme, Ø. Holm	Ø. Holm	Ø. Holm
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn for rapporten	5
1.2	Rapportens oppbygning	5
2	Alternativer for kraftproduksjon i forbindelse med infrastruktur	6
2.1	Solkraft	6
2.1.1	Teknologi	6
2.1.2	Energiproduksjon fra solkraft	8
2.1.3	Solkraft på infrastruktur	8
2.2	Vindkraft	9
2.2.1	Teknologi	10
2.2.2	Energiproduksjon fra vindkraft	13
2.2.3	Vindkraft på infrastruktur	16
2.2.4	Alternativ vindkraftteknologi	16
2.3	Vannkraft	18
2.3.1	Vei- og bane i tilknytning til vannkraftdammer	18
2.3.2	Små bekke- og elvekraftverk	18
2.3.3	Mini vannkraftanlegg i overvannsanlegg	19
2.4	Andre energikilder	21
2.4.1	Bølge- og tidevannsenergi	21
2.4.2	Bioenergi	21
2.4.3	Gjenvinning av energi fra passerende kjøretøy	22
3	Erfaringer med kraftproduksjon i forbindelse med infrastruktur	23
3.1	Solkraft	23
3.1.1	Solceller langs vei og på veistrukturer	23
3.1.2	Solceller ved jernbane	29
3.2	Vindkraft	32
3.2.1	Vindkraft langs vei	32
3.2.2	Vindkraft og jernbane	33
3.2.3	Vindkraft i havneområder	34
3.2.4	Vindkraft i urbane strøk	34
3.3	Vannkraft	35
3.3.1	Kraftproduksjon fra overvann	35
4	Fordeler og ulemper ved infrastrukturintegret kraftproduksjon	36
4.1	Elektrisitetsbehov	36
4.1.1	Anleggsfasen	36
4.1.2	Driftsfasen	36
4.2	Tilgjengelige arealer	37
4.2.1	Anleggsplasser	37
4.2.2	Strukturer langs vei	38
4.2.3	Landarealer	38
4.2.4	Byggegrenser	38
4.3	Tilgang til strømnnett	39
4.4	Klima og miljø	40
4.5	Økonomi	40
5	Barrierer	42
5.1	Politiske mål og fokus	42
5.2	Drift og vedlikehold	42
5.3	Sikkerhet	43
5.4	Reguleringsplan	45
5.5	Regulatoriske forhold	45
5.6	Eierstrukturer	46
6	Videre arbeid	47
7	Vedlegg	49
8	Referanser	50

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for rapporten

Utslipp fra transportsektoren utgjør nærmere 33 % av Norges samlede klimagassutslipp [1]. Ambisjonen i Nasjonal transportplan om å halvere utslippene fra transportsektoren innen 2030 vil være et viktig bidrag for å nå forpliktelsene i Norges klimaavtale med EU om å redusere klimagassutslipp med 40 % sammenlignet med 2005-nivået, og for å nå Norges forsterkede mål om å redusere utslippene med minst 55 % i den samme perioden. I Statnetts kortsiktige markedsanalyse 2022-27 fra november 2022 [2] forventes en betydelig økning i kraftforbruket og Norge kan få kraftunderskudd i 2027.

Multiconsult har fått i oppdrag å gjennomføre en litteraturstudie rundt potensialet for kraftproduksjon i forbindelse med infrastrukturbygging. Denne studien er en del av Nye Veiers prosjekt «Kunnskapsprogram om fossilfrie anleggsplasser». Utnyttelse av infrastrukturområder til elektrisitetsproduksjon vil øke nytten av infrastrukturinvesteringer når man allerede gjør arealbeslag. I tillegg vil elektrifisering av transportsektoren som et ledd for å nå klimamålene kreve større mengder elektrisk kraft der tilgangen på kraft kan bli begrensende.

I samråd med oppdragsgiver er sol- og vindkraft prioritert i rapporten, mens mindre aktuelle energiformer kun omtales kort. Rapportens fokus er på elektrisitetsproduksjon og muligheter for produksjon av termisk energi er ikke en del av i rapporten.

1.2 Rapportens oppbygning

I kapittel 2 presenteres ulike energikilder og teknologier for å utnytte disse for kraftproduksjon.

Kapittel 3 gjengir erfaringer med aktuelle løsninger for kraftproduksjon i tilknytning til infrastruktur (hovedsakelig vei- og baneanlegg) fra ulike prosjekter i Europa.

Kapittel 4 drøfter fordeler og ulemper ved å kombinere infrastruktur og kraftproduksjon.

Kapittel 5 presenterer noen barrierer og i kapittel 6 listes forslag til videre arbeid.

2 Alternativer for kraftproduksjon i forbindelse med infrastruktur

Denne rapporten har hovedfokus på solkraft og vindkraft og andre energiformer omtales i korthet. Det er flere fordeler ved å kombinere ulike kilder til kraftproduksjon. Vindkraft har typisk en produksjonsprofil med høyere produksjon i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret, mens hovedandelen av solenergien kommer i sommerhalvåret.

2.1 Solkraft

Det norske solkraftmarkedet opplever for tiden stor vekst. Ved inngangen av oktober var det installert 102 MWp¹ i 2022, hvorav 30 MWp er på eneboliger, 1 MWp bakkemontert og resten på næringsbygg. Den totale produksjonskapasiteten for solkraft i Norge har dermed nådd rett over 300 MWp [3].

2.1.1 Teknologi

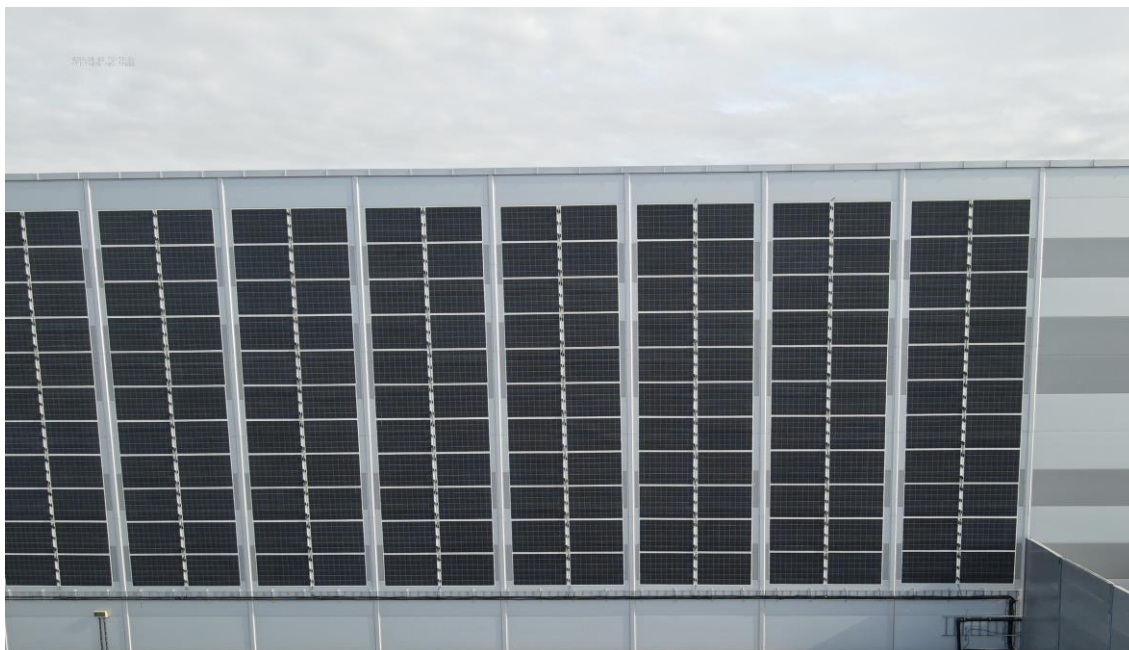
Det finnes to hovedtyper solceller; krystallinsk produkter (mono- og multikrystallinsk) og tynnfilm produkter. Krystallinske produkter er tradisjonelle paneler med «celler» man typisk monterer på takflater. For disse produktene oppnås typisk de høyeste virkningsgradene til lavest pris. Tynnfilm produkter har større mulighet for tilpasning og arkitektonisk uttrykk med tanke på fargevalg, men har lavere virkningsgrader. Begge løsningene kan integreres i strukturer og erstatte bygningsmaterialet. Solcellemoduler har typisk virkningsgrad fra 15 til 22 %.

Solceller kan monteres utenpå en allerede etablert struktur eller integreres og erstatte bygningsmaterialet til en struktur. Solcellemoduler monteres normalt med skrueskruer, men lar seg også lime til ulike typer bærestrukturer og overflater, eller stabiliseres med ballast. Solceller mellom to lag glass kan benyttes som sikkerhetsglass. Figur 1 og Figur 2 viser eksempler på utenpåliggende og integrerte solcelleanlegg i bygg.



Figur 1: Ballastert solcelleanlegg på tak (venstre) og bygningsintegrerte solceller (høyre) på Sofienberg skole. Foto: Multiconsult.

¹ Ettersom kraftproduksjonen for en solcelle varierer med innstrålt solenergi, temperatur og strålingsspektrum, har man definert en standard målemetode for effekten til solceller. Betegnelsen Wp er altså et mål på solcellepanelets ytelse under STC (standard testbetingelser). Et anlegg som leverer 20 kW under STC har en installert effekt på 20 kWp.



Figur 2: Pålimte solceller på fasaden av Coop sitt sentrallager på Gardermoen. Foto: Solcellespesialisten.

I Norge bygges solkraft først og fremst på bygninger, mens i våre naboland er også bakkemonterte solkraftverk godt kjent der det kan hentes mye kompetanse og erfaring. For å fundamenterer stativer for bakkemonterte solkraftverk benyttes gjerne peling eller jordskruer, mens ballast kan brukes. Figur 3 viser et eksempel på et bakkemontert kraftverk på ROAF fundamentert med jordskruer. I landskap som er lett tilgjengelig for tungt maskineri og landskap som ikke er for kupert er det blitt mer og mer vanlig å automatisere fundamenteringen med boremaskiner som plasserer jordskruer basert på GPS-koordinater. I Norge har vi flere områder med mye stein og fjell. Her kan kjente fundamenteringsteknikker fra fjellbransjen anvendes som forboring og lim. For områder med lav integritet i jordsmonnet eller høye vindlaster kan det bli nødvendig å støpe et fundament for pælen. Dette er en dyrere og mer tidkrevende prosess. En annen teknikk er ballasterte systemer der man unngår penetrasjon av underlaget, for eksempel ved bruk av nettingkasser (gabion) fylt med lokalt tilgjengelige steiner.



Figur 3: Bakkemonterte solceller på ROAF. Foto: Multiconsult.

Et alternativ til fastmonterte montasjesystemer er en «tracking»-montasjestruktur. Disse følger solens gang gjennom dagen og året, ved rotasjon om en eller to akser. Bakkemonterte solkraftverk

Rapport

spesielt på sørlige breddegrader benytter ofte «Horizontal Single Axis Tracker (HSAT)», montert med rotasjonsaksen i en nord-sør gående retning. Modulene kan dermed følge solens gang fra øst til vest. Lønnsomheten til en solcelleinstallasjon er spesielt avhengig av solinnstrålingen, effektiviteten til solcellepanelene, størrelsen på solcelleanlegget og strømpris.

2.1.2 Energiproduksjon fra solkraft

Mengden solinnstråling som treffer Norge årlig er enorm og er langt større enn det totale energiforbruket. Solkraft er en variabel energikilde hvor energiproduksjonen er avhengig av solinnstrålingen. Solinnstrålingen styrer åpenbart hvor mye energi som kan produseres på et gitt sted og tidspunkt. Hvor mye strøm som produseres er blant annet avhengig av solcelletype og aktuell modulvinkel i forhold til sola på det aktuelle tidspunktet. Sør-vendte solcelleanlegg produserer mest midt på dagen som følge av at modulene vinkles mer direkte mot solen midt på dagen. Øst-vest orienterte solcelleanlegg produserer mer om morgenen og om kvelden. Vertikale solcelleanlegg kan utnytte en lav solvinkel om morgenen og/eller kveld, eller lav vintersol. Trackere følger solens gang noe som avhengig av type tracker vil gi 15-45 % høyere årsproduksjon enn fast monterte solmoduler. I Norge har solcelleanlegg særlig gode driftsforhold tidlig om våren ved kaldt klart vær og kan gi et viktig produksjonsbidrag til «vårknipa» i det norske kraftsystemet før snøsmeltingen kommer i gang i fjellet senere på våren.

Potensialet for strømproduksjon i de ulike prisområdene i Norge hentet fra rapporten «Markedsrapport: Norsk solkraft 2022 – innenlands og eksport» er vist i Tabell 1. Disse beregningene er gjort med solcellemoduler på tak og fasade, men produksjonsestimatene vil være tilsvarende for andre strukturer med solceller. Det største potensialet er i Sør-Norge med mest stabile solforhold.

Tabell 1: Produksjonspotensial årlig for de ulike prisområdene beregnet i PVsyst. Valgt solcellemodul har en modulvirkningsgrad på 20,2%. Beregningene for skråtak er for tak med 25 grader helning. For flatt tak er beregningene gjort med øst-vest-vendte paneler med 10 graders helning. [4]

	Østlandet NO1 [kWh/m ²]	Sørlandet NO2 [kWh/m ²]	Midt-Norge NO3 [kWh/m ²]	Nord-Norge NO4 [kWh/m ²]	Vestlandet NO5 [kWh/m ²]
Sørvendt fasade	169	177	162	158	123
Østvendt fasade	125	130	115	117	95
Vestvendt fasade	126	131	115	117	97
Flatt tak	150	159	140	108	129
Skråtak mot sør	195	200	185	159	154
Skråtak mot øst	158	161	147	127	128
Skråtak mot vest	157	162	147	126	129

2.1.3 Solkraft på infrastruktur

Solkraft ifm. infrastruktur er en moden løsning, men potensialet er i liten grad utnyttet også utenlands. Derfor skal ENROAD prosjektet for «EU National Road Authorities» (NRA) utarbeide nøyaktige og brukervennlige verktøy for å bidra til at implementering av fornybar kraftproduksjon, deriblant solkraft, langs veiinfrastruktur blir mest mulig økonomisk og miljøvennlig i EU [5]. Solceller kan være et gunstig alternativ ifm. infrastruktur fordi det kan være mindre synlig, kan ta mindre plass

og det kan bygges raskere sammenlignet med for eksempel vindkraft. Noen mulige anvendelser i infrastruktur er listet under, og eksisterende eksempler presenteres i kapittel 3.1:

- Solceller på tak over parkering eller ladestasjoner
- Solceller nær inngangspartier av tunneler som kraftkilde til tunnelbelysning
- Solceller i støyskjermer (integreerte eller påmonterte)
- Solceller på veioverbygg
- Bakkemonterte solceller langs veistrekninger og veiskjæringer
- Solceller på bygninger i tilknytning til vei og bane
- Solceller på lysstolper

Mulige forankringsmetoder av solceller for ulike grunnforhold og ulike strukturer er oppsummert i Tabell 2. Mindre vanlige monteringsløsninger er kabel/wiremontasje, opplåsbare strukturer eller foldbare/uttrekkbare løsninger.

Tabell 2: Mulig forankring av solceller for ulike grunnforhold og ulike strukturer.

	Fundament	Forankring
Bakke	Fjell	Boring + støpesko
	Jord	Peling
	Steinete eller tildekte masser	Plugg-ankere ('Three System'), jordskruer e.l.
	Sand, løsmasser	Støpt fundament, gabion med stein, grus e.l.
Strukturer i infrastruktur	Rekkverk, autovern	Skrues/sveises til galvanisert stål
	Gjerde	Skrues/sveises til galvanisert stål
	Stolper	Skrues/sveises til galvanisert stål
	Bruer	Skrues/sveises til galvanisert stål, Bore og støpesko i betong
	Skilt	Skrues/sveises til galvanisert stål
	Støyskjerm	Skrues/sveises/limt til plater av metall, tre etc.
	Værskur, plattformtak	Skrues/sveises/limt til plater av metall, tre etc.
	Bygg	Kle tak eller fasade utenpå eller integrert

2.2 Vindkraft

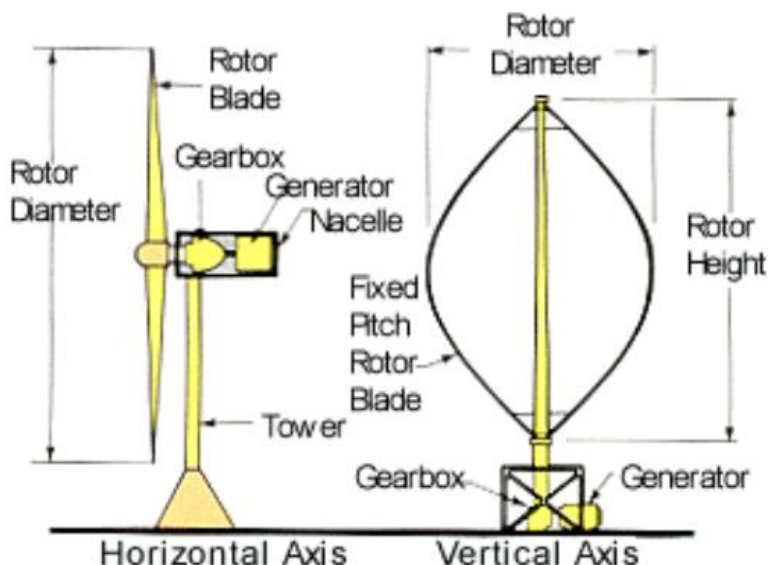
I Norge er det installert ca. 5,0 GW vindkraft med større vindturbiner [6]. Småskala vindkraft (typisk kapasitet opp til 20-50 kW) er foreløpig svært lite utberedt i Norge og det finnes ingen god oversikt over antall installasjoner. Figur 4 viser lokasjonen til utbygd vindkraft i Norge.



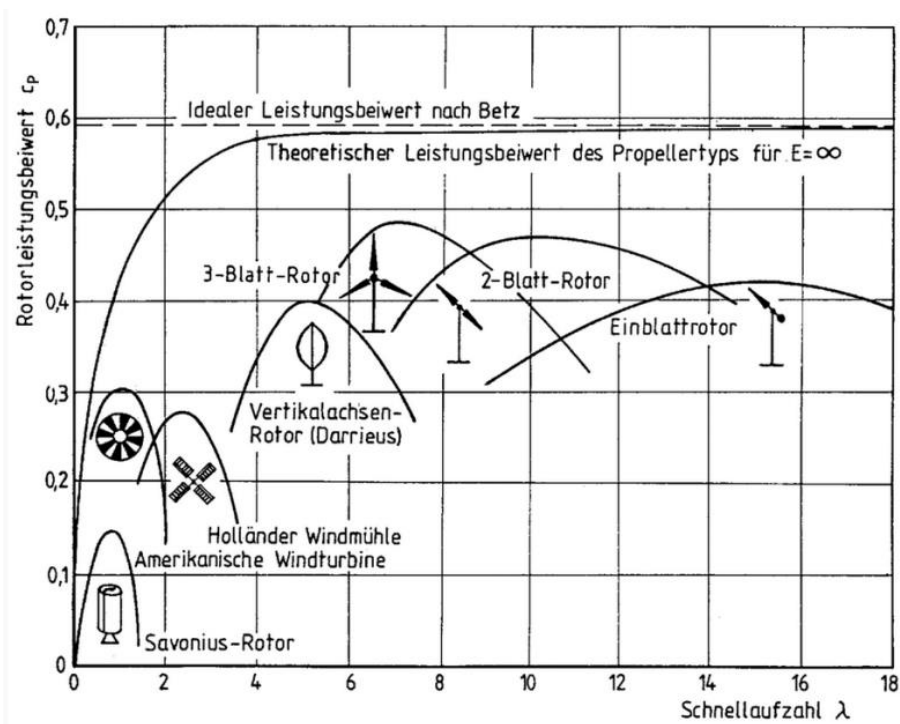
Figur 4: Utbygd vindkraft (mørk grønn) og vindkraft under utbygging (lys grønn) [7].

2.2.1 Teknologi

Det finnes en rekke ulike innretninger som omdanner vindenergi til strøm, men mest anvendt er store vindkraftturbiner med horisontal aksel. Slike turbiner finnes i alle størrelsesklasser. Turbiner med vertikal aksel finnes i ulike utforminger og er hittil dominert av små turbiner. Figur 5 viser en illustrasjon av vindturbiner med horisontal og vertikal aksel. Horisontalakslede turbiner har stort rotorareal med begrenset materialbruk og teknologien er svært velprøvd, men teknologien fungerer dårlig i svært turbulent eller svært sterk vind. Vertikalakslede turbiner er mindre effektive, men kan designes for å tåle tøffe forhold og sterk vind. Ulike konstruksjoner oppnår forskjellig virkningsgrad og maksimal tillatt vingespiss hastighet som Figur 6 viser.



Figur 5: Illustrasjon av vindturbiner med horisontal og vertikal akse [8].



Figur 6: Oppnådd virkningsgrad og maksimal tillatt vingespiss hastighet for ulike teknologier [8].

Små vindturbiner kan monteres på bygg og konstruksjoner. I Norge er det et visst marked for små turbiner til bruk på hytter og seilbåter i størrelsesorden under 1 kW. Figur 7 og Figur 8 viser noen eksempler på horisontal og vertikalakslede vindturbiner montert på tak. Markedet er karakterisert av at det er mange utforminger og mindre standardisert design av småskala vindturbiner som kan være et tegn på at dette markedet er umodent.



Figur 7: Eksempler på horisontal og vertikalakslede vindturbiner montert på tak [9].



Figur 8: Vindturbin integrert i bygg på Pearl River Tower i Guangzhou, Kina [8].

Tradisjonelle frittstående vindturbiner finnes i ulike størrelser. Figur 9 viser den enkeltstående vindturbinen på 225 kW på Byneset i Trondheim. Vindturbiner av denne størrelsen bygges typisk enkeltvis i tilknytning til gårdsdrift. Figur 10 viser en av vindturbinene i Storheia vindpark på 3,6 MW. Kostnaden for vindkraftverk avhenger blant annet av størrelsen i effekt, teknologi og nettilknytning. Et typisk nøkkeltall for anlegg med tradisjonelle vindturbiner med tre blader ligger på 10-12 MNOK/MW.



Figur 9: Enkeltstående vindturbin på Byneset i Trondheim. Vindturbinen er av typen Vestas V27 på 225 kW og er 32 m høy [10] [11].

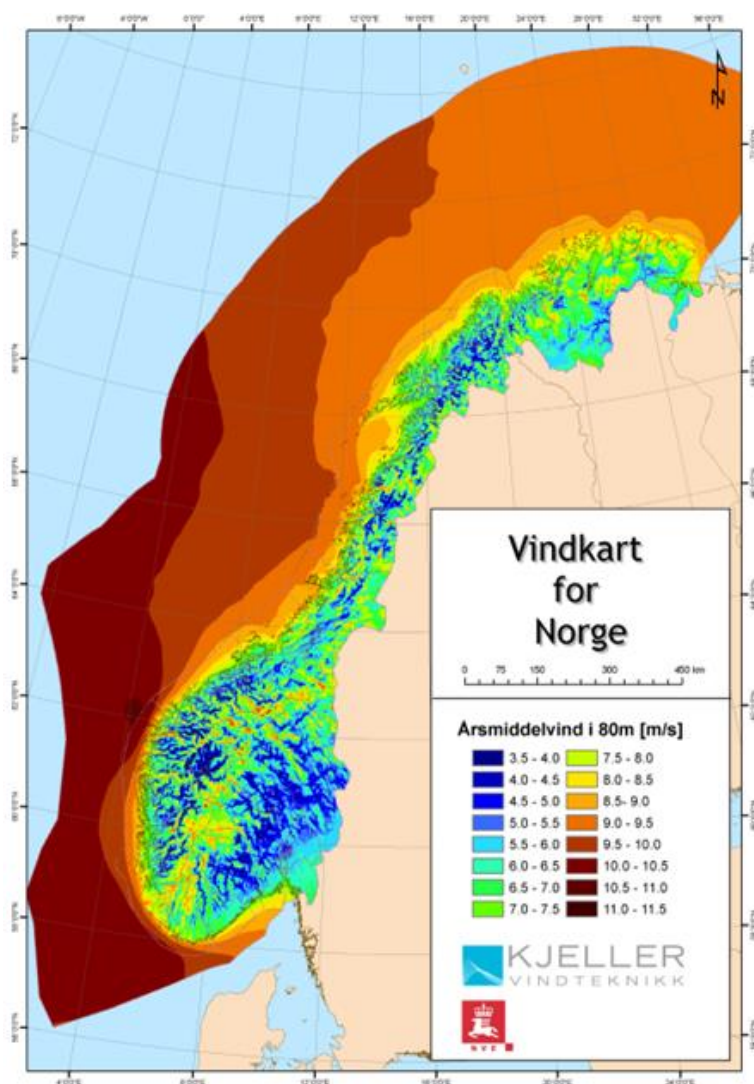


Figur 10: Vindturbin i Storheia vindpark i Åfjord kommune og Ørland kommune. Vindturbinen er av typen V117 på 3,6 MW og er 87 m høy [12] [13].

2.2.2 Energiproduksjon fra vindkraft

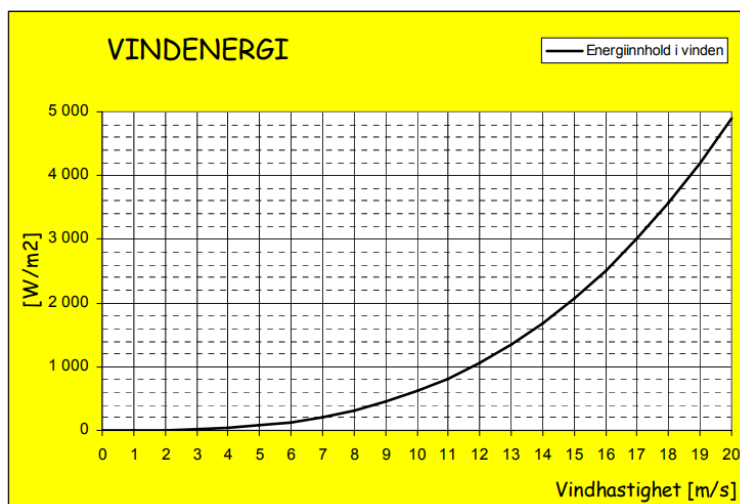
Effekten fra en vindturbin er hovedsakelig avhengig av tverrsnittet/arealet turbinen dekker, vindhastighet og gjennomsnittlig systemvirkningsgrad. Ressursen beregnes ut fra årsmiddel vindhastighet som varierer mye både med sted, høyde og år. I tillegg oppstår lokale variasjoner med

tanke på retning, hastighet, varighet, strømningsregime og kastevind (turbulens). Kjeller vindteknikk har utarbeidet et vindkart for Norge vist i Figur 11. Årsmiddelhastighet gir en pekepinn på hvor det blåser mye, men kan ikke brukes til å beregne forventet strømproduksjon eller til dimensjonering. Det er nødvendig med vindhastighet-varighetskurver over ett representativt år eller helst for flere år for å bestemme forventet strømproduksjon. I praksis betyr dette innhenting av måleverdier på aktuelle lokasjon for å fremskaffe tilstrekkelig godt datagrunnlag.



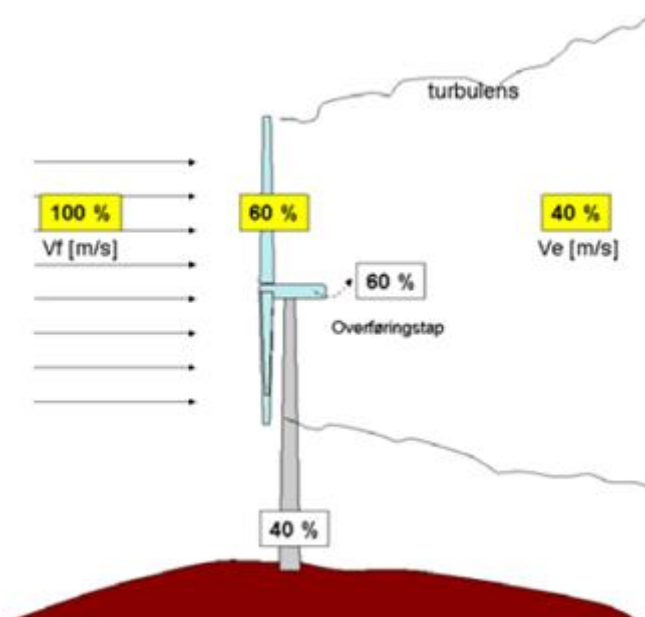
Figur 11: Vindkart for Norge utarbeidet av Kjeller vindteknikk [14].

Effektpotensialet i vind er gitt av vindhastigheten i tredje potens, så om vindhastigheten doubles ($2x$) vil effekten bli 8 (2^3) ganger så stor. Dette er illustrert i Figur 12. For å i det hele tatt oppnå en energiproduksjon fra vindturbiner er en i praksis avhengig av en minste vindhastighet i området på 4 m/s (lett bris). For at installasjonene skal gi best mulig energiutbytte bør hastigheten ligge stabilt på 8-12 m/s (frisk bris) gjennom store deler av året. Høy nok vindhastighet i by og bynære strøk og ifm infrastruktur kan være utfordrende å oppnå.



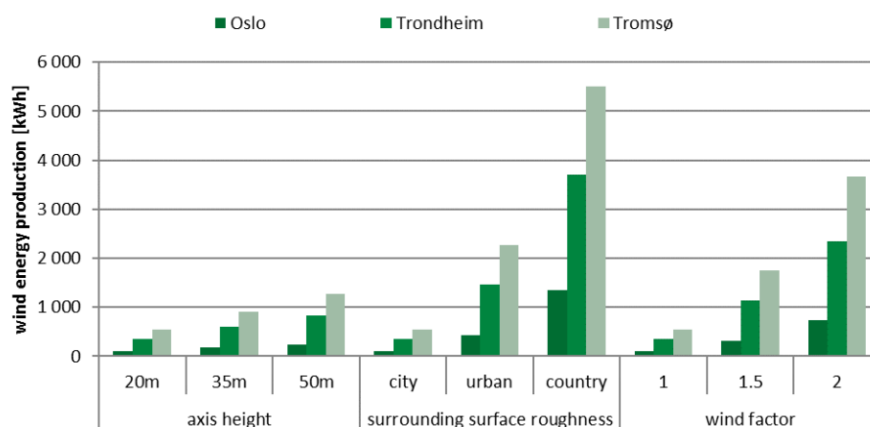
Figur 12: Effektpotensialet i vind er gitt av vindhastigheten i tredje potens [15].

Det er viktig med en god ressurskartlegging med vindmålinger i nærheten av stedet som vindturbinen vurderes installert. Det kan være store forskjeller i vindhastighet selv over små avstander. Det er spesielt viktig for små turbiner med lavere tårn siden vindhastigheten ofte er sterkt påvirket av blant annet terreng, jorddekke og bebyggelse. Maksimalt 60 % effekt kan teoretisk overføres til vingene (Betz's Lov) av en vindturbin. Strømningstap rundt vingene, tap i mekaniske overføringer etc. gjør at 20-25 % av effektpotensialet omdannes til strøm i små vindturbiner, og omkring 40 % av effektpotensialet omdannes til strøm i store turbiner i MW-klassen.



Figur 13: Maksimalt 60 % effekt kan teoretisk overføres til vingene (Betz's Lov) av en vindturbin. 40 % av effektpotensialet kan omdannes til strøm i store turbiner (MW-klassen). [15]

Årsproduksjonen for de fleste utbygde vindkraftverk i Norge med større vindturbiner ligger mellom 2500 og 3000 ekvivalente fullasttimer ('brukstid') [6]. Figur 14 viser produksjonspotensialet for små turbiner med ulik aksehøyde i tre byer i Norge med ulike vindforhold. Turbiner plassert i åpent landskap produserer betydelig mer strøm enn om samme turbiner plasseres i urbane byområder.



Figur 14: Produksjonspotensialet i Oslo, Trondheim og Tromsø for små vindturbiner for turbiner med ulik høyde [8].

2.2.3 Vindkraft på infrastruktur

Noen mulige anvendelser i infrastruktur er listet under, og eksisterende eksempler presenteres i kapittel 3.2. Vindturbiner må fastmonteres til et solid fundament og være eksponert for fri luftstrøm så høyt som mulig. Anvendelsene er avhengig av lokale forhold og kan være:

- Frittstående små- eller storskala vindturbiner med egne fundamenter langs vei eller jernbane.
- Små- eller storskala vindturbiner på tilgjengelig infrastruktur eller fundamenter.
- Små vindturbiner på tak på ulike typer bygg ifm. vei- eller banesystemet
- Små vindturbiner på strukturer som f.eks. lysstolper, bruer, skilt, støyskjerm og rekkverk.

2.2.4 Alternativ vindkraftteknologi

Markedet for småskala vindturbiner er karakterisert av at det er mange utforminger og det kommer fortsatt nye teknologier på markedet. Aeromine Technologies har kommet med en ny teknologi vist i Figur 15 uten bevegelige deler og som praktisk talt er stille. Energiomdanningen skjer som følge av trykkforskjeller (som oppstår som følge av vindhastighet) via en turbin med roterende blader som er plassert inne i konstruksjonen [16].



Figur 15: Vindturbin på tak fra Aeromine Technologies uten bevegelige blader [16].

Det spanske selskapet Vortex bladeless har utviklet en bladløs vindkraftgenerator med støtte fra EU kommisjonen. Løsningen består av en vertikal sylinder som beveges som følge av virvler (vortex) som dannes på baksiden av sylindren når det blåser. Slike virvelstrømmer alternerer naturlig og kan medføre at konstruksjoner begynner å svinge og kan medføre store påkjenninger på konstruksjoner hvis det oppstår harmoniske svingninger. Det er dette fenomenet de forsøker å utnytte potensialet til med denne vindkraftteknologien. Det fremgår ikke hvor stor effekt eller hvor mye energi den leverer, og teknologien vurderes som relativt umoden foreløpig. [17]



Figur 16: Vortex bladeless montert på infrastruktur [17].

2.3 Vannkraft

Kraftbransjen har bygget ut vannkraft i over 100 år. I praksis skiller man normalt mellom vei- eller baneutbygging og kraftverksutbygging, men det er ikke uvanlig at det føres vei over store vanddammer. I vei- og baneutbygging er vannkraft en mulighet i forbindelse med kryssing av vassdrag.

2.3.1 Vei- og bane i tilknytning til vannkraftdammer

Store vanddammer blir nødvendigvis kombinert med vei og eventuelt bane både for å sikre adkomst til damlegemet, men også for å etablere en kryssingsmulighet forbi det aktuelle vassdraget. Dette gjelder mange dammer i større elver og vannmagasin over hele verden. Et eksempel er kryssing av et vannkraftverk i Kongsvinger vist i Figur 17. Der vei eller bane skal krysse vanddammer kan dammen brukes istedenfor å bygge ny bro som vil gi økt samlet samfunnsnytte for prosjektet. I tillegg vil det for større dammer uansett måtte bygges anleggsvei. Å bruke dammen som kryssingsmulighet for vei eller bane vil kunne kreve noe ekstra sikring av dammen som følge av økt slitasje fra damkryssing og det vil kunne være økt fare for hærverk. Store dammer er primært vannkraftprosjekter med vei eller bane som bieffekt. I vei- og baneprosjekter vil derfor muligheten til å utnytte vannenergi hovedsakelig finnes der traséer krysser eller går langs mindre bekker og vassdrag hvor det er nødvendig å bygge rør, bro, eller overvann-/flomhåndtering for vannet.

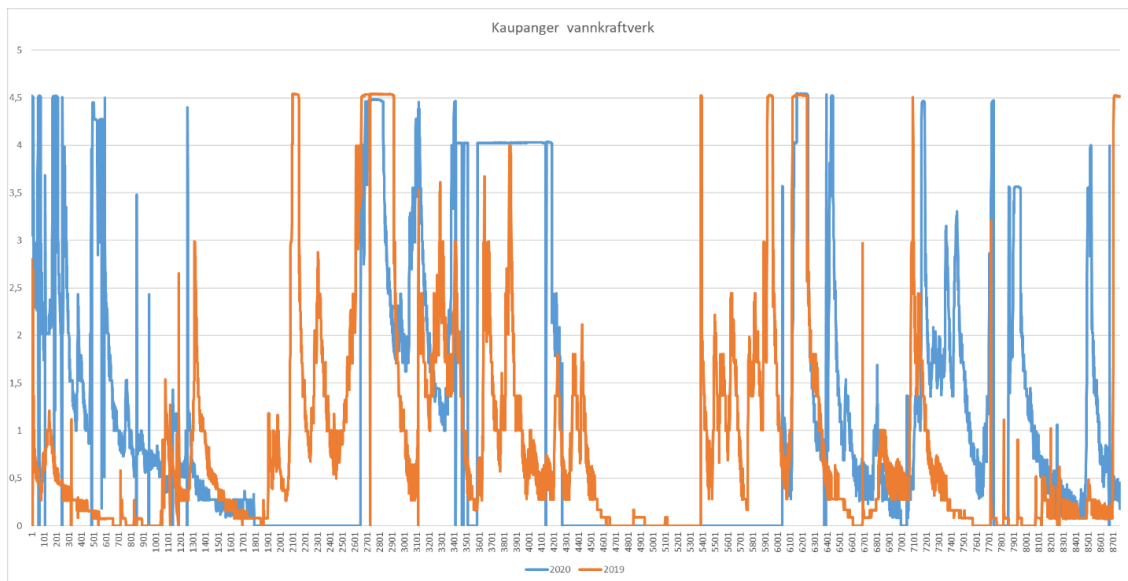


Figur 17: Vei over vannkraftverk i Glomma ved Kongsvinger [18].

2.3.2 Små bekke- og elvekraftverk

Potensialet for store damanlegg i norske vassdrag er langt på vei utnyttet og videre utbygging er omstridt av naturvern hensyn. Derfor avgrenses vurderingen av vannkraft i denne rapporten til småkraft og nærmere bestemt drøfte mulighetene for å integrere elvekraftverk i infrastruktur i vei- eller banelegemet i kryssingspunkt for bekker, små elver og eventuelt flomløp. Bekker og små elver krysser vei- og baner gjennom rør eller kulverter. Produksjonen i elvekraftverk varierer med sesong og nedbør i tillegg til topografien som vist for et elvekraftverk på Vestlandet i Figur 18. Svært ujevn produksjon medfører at slik energiproduksjon kun vil kunne gi et bidrag til energiforsyningen i kombinasjon med strøm fra kraftnettet eller andre energikilder. Et batterilager, eventuelt med reservekraftgenerator, kan også være aktuelt hvis forholdene med hensyn til vannføring og energibehov er gunstige på steder uten tilgang til strømmnett. Andre typer vassdrag på steder med jevnere vanntilslutt gir mulighet for mer kontinuerlig strømproduksjon. Slike vassdrag er i stor grad utbygget med kraftverk på de mest aktuelle stedene allerede, eller de er vernet mot utbygging av

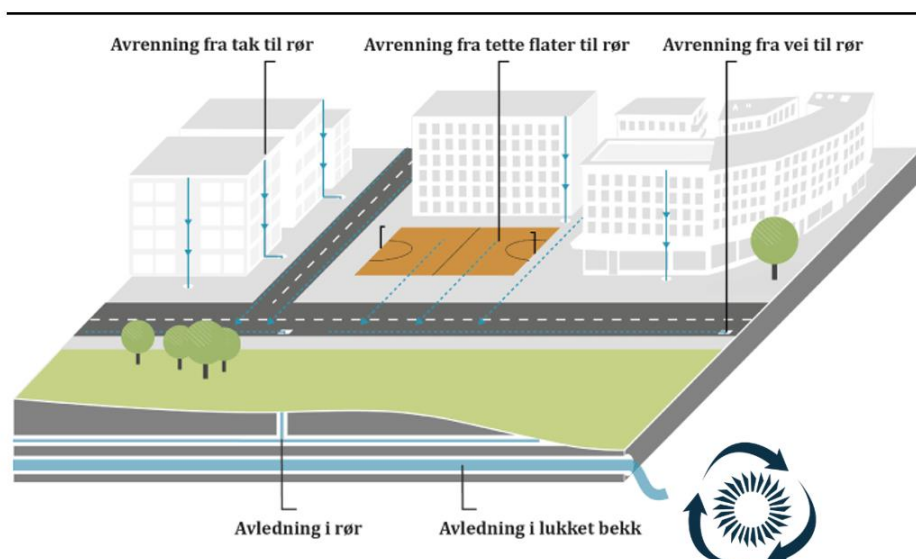
miljøhensyn. Potensialet for vannkraft i forbindelse med vei og bane vurderes derfor å være knyttet til vannhånderingsanleggene i vei- og baneprosjekter.



Figur 18: Kraftproduksjonen [MW] varierer med nedbøren i elvekraftverk på Vestlandet. Graf: Kaupanger Energi.

2.3.3 Mini vannkraftanlegg i overvannsanlegg

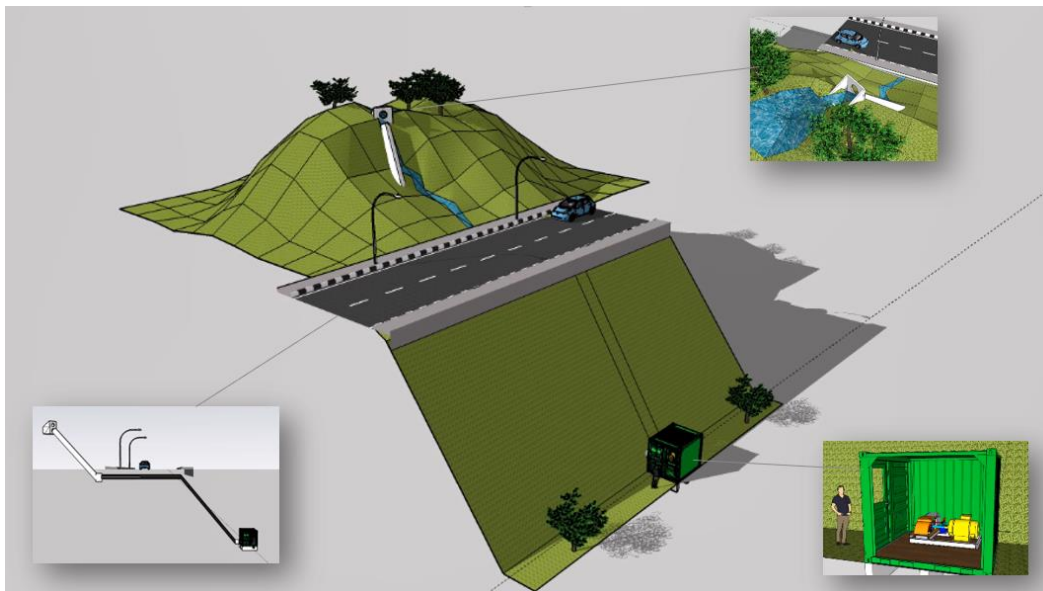
Norge utnytter i dag energien fra regnvann ved hjelp av vannkraft- og småkraftutbygging. Vi har i dag en omfattende infrastruktur som leder bekkefar og overvann gjennom utbygde områder og veganlegg. Her strømmer det daglig gjennom store mengder vann som i dag ikke blir utnyttet. Potensialet for utnyttelse av energi i vanngjennomstrømning i avrenningsanlegg er illustrert i Figur 19.



Figur 19: Det er potensiale i å utnytte energien i vanngjennomstrømning i avrenningsanlegg [19].

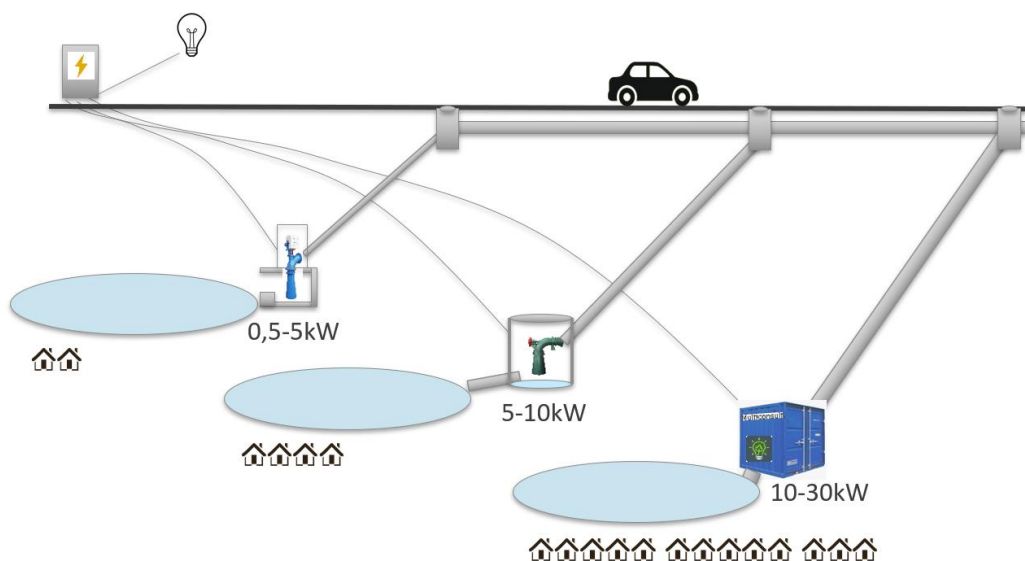
For å utnytte energipotensialet i overvannsanlegget lages det et innløp så høyt opppe som mulig i overvannsanlegget og det legges rør ned til en container med turbin og generator ved utløpet som illustrert i Figur 20. Høyden er spesielt viktig i et slikt anlegg siden energiproduksjonen er proporsjonal med fallhøyden. Røret fra overvannsanlegget til turbinen vil ha fullstrøm (uten luft) og

det meste av normalvannføringen vil gå i dette. Et nytt rør vil ta unna mer kapasitet enn et normalt overvannsrør, men eksisterende overvannsrør kan også benyttes. Man vil ha ett vannrør for normalvannføring (med fullstrøm til minikraftanlegg) og ett åpent rør (med selvføll) til flomsikring. Flomsikringsrøret kan da også eventuelt nedskaleres tilsvarende slik at den totale kapasiteten blir den samme som før.



Figur 20: Mini vannkraftverk for energiproduksjon ved vei [19].

Overvannshåndteringen er skalerbar og kan tilpasses tilgjengelig vann i rørene som illustrert i Figur 21. Med lavere vannføring kan installasjonen gjøres enkelt. Ved middels vannføring i rørene kan man sette inn en litt større turbin og bygge dette inn i en kum. Ved større vannføringer kan man bygge turbinen inn i et hus eller en container der man har alt av teknikk samlet. Dersom man tenker på en slik løsning allerede i prosjekteringen av slike anlegg utnytter man dette potensialet i mye større grad enn ved inngrep i eksisterende anlegg. I dag løses overvannet ved at man forsøker å spre ut vannet i mindre utløp. Alternativet til dette er å samle flere bekker til større felles utløp og dermed også lage et større potensial for energiproduksjon.



Figur 21: Skalerbare tekniske løsninger for ulike volumstrømmer [19].

2.4 Andre energikilder

2.4.1 Bølge- og tidevannsenergi

I rapporten «Ferjefri E39» [20] av Statens vegvesen er potensialet for å utnytte bølge- og tidevannsenergi vurdert i forbindelse med fjordkryssinger. Rapporten beskriver et betydelig potensial, men utnyttelse av dette forutsetter tilgang på moden og konkurransedyktig teknologi som enda ikke er tilgjengelig. I påvente av slik teknologi kan det være samfunnsnyttig å legge til rette så langt det er teknisk og økonomisk forsvarlig for fremtidig ettermontering av slike løsninger. Slik kan vei- og baneprosjekter i dag bidra til at slike teknologier utvikles og kan installeres til en lavere kostnad enn om man ikke tar slike fremtidshensyn i dag.

2.4.2 Bioenergi

Bioenergi finnes tilgjengelig lokalt i ulike kvaliteter. Skogsflis er den rimeligste energivaren og benyttes til varmemproduksjon til oppvarming av bygg og anlegg eller til varmedistribusjon i fjernvarmeanlegg, men kan også benyttes til kombinert kraft- og varmemproduksjon («Combined heat and power», CHP) for forsyning av enkeltbygg eller andre oppvarmingsbehov. Andre energiprodukter basert på biomasse som biopellets og biogass kan også benyttes i slike anlegg. Bioenergi er klimavennlig og oftest kortreist lokalprodusert energi.

Lokal kraft-varmemproduksjon

Kombinert kraft-varmemproduksjon (CHP) kan redusere behov for tilført elektrisk kraft og tilført energi til oppvarming. Et eksempel på en kraft-varmemaskin er vist i Figur 22. Slike anlegg omdanner typisk en energivare til høytemperaturvarme i en forbrenningsprosess. Varmen tilføres en kjel som produserer høytrykksdamp som driver en dampturbin koplet til en generator. Kjølevarme fra prosessen utnyttes til oppvarming (nær- og fjernvarme) og/eller dumpes som spillvarme til omgivelsene. Omkring 24 % av energien kan omdannes til elektrisk kraft, mens resten går over til varme.



Figur 22: Skruereinmating av skogsflis til kraft-varmemaskin på Høyskolen i Innlandet, avd. Evenstad. Anlegget eies og driftes av Statsbygg. Foto: Multiconsult

Det anbefales i utgangspunktet å dimensjonere og drifte et kraft-varmeanlegg med mål om å dekke varmebehovet med strømproduksjonen som biprodukt. Da vil mesteparten av energien kunne utnyttes, noe som gir høy systemvirkningsgrad på typisk 80-90 %. Denne formen for energiproduksjon kan ha synergier med solcelleanlegg om sommeren fordi slike kraft-varmeanlegg normalt har lengre driftsstans for nødvendig vedlikehold utenom fyringssesongen. Et større anlegg som driftes som en kraftgenerator med varme som biprodukt kan også være aktuelt i noen tilfeller. Det anbefales å utnytte så mye av varmen som mulig også fra et slikt anlegg, men typisk vil en betydelig varmemengde nødvendigvis dumpes til omgivelsene som spillvarme utenom fyringssesongen ved full drift i sommerhalvåret. Aktuelt brensel kan være ren biomasse, men brennbare avfallsfraksjoner kan også benyttes. Avhengig av type brensel vil kraft-varmeanlegg ha noe ulike krav til gassrensing, og vil ha ulike klimagassutslipp.

Biodrivstoff

Biogass er tilgjengelig i markedet og kan tiltransporteres både som gass under trykk og i flytende form. Det er relativt lavt volumetrisk energiinnhold i biomasse i forhold til biogass og særlig flytende biogass. Dersom forsyning av klimavennlig energi og drivstoff inngår i et veiprojekt, kan det være aktuelt å etablere en fyllstasjon for biogass tidlig i prosjektet slik at biogass kan være et reelt klimavennlig drivstoffalternativ for anleggsmaskiner i byggefasen, og eventuelt forsyne et midlertidig eller permanent kraft-varmeanlegg.

2.4.3 Gjenvinning av energi fra passerende kjøretøy

Det finnes eksempler på gjenvinning av energi fra passerende kjøretøy som f.eks. vindturbiner langs veien som roterer som følge av lufttrykket fra passerende biler eller med mekaniske, hydrauliske, elektromagnetiske eller andre innretninger som halvlederelementer (termoelektriske eller elektriske piezoelementer) bygget inn i fartsdumper eller andre deler av veien. Elektromagnetiske innretninger bygget inn i fartsdumper gir høyest energiutbytte av disse alternativene ifølge rapporten «Recent Developments in the Energy Harvesting Systems from Road Infrastructures» [21] som konkluderer med at alle disse alternativene fortsatt befinner seg på tidlig utforsknings- eller prototypstadium.

Virkningsgraden og energipotensialet for slik energigjenvinning er svært lavt og i praksis uegnet for energiproduksjon, men kan brukes til å forsyne frittstående LED-lys eller kommunikasjonsutstyr i forbindelse med skilting og lignende for eksempel ifm veiarbeid.

3 Erfaringer med kraftproduksjon i forbindelse med infrastruktur

I dette kapittelet beskrives eksisterende erfaringer med sol- og vindkraft ifm. infrastruktur. Gjennom prosjektet ENROAD utvikler SINTEF et verktøy for å finne den beste plasseringen av fornybar kraftproduksjon, energilagring og lading av biler langs veiene. Resultatene fra prosjektet var ikke å oppdrive i arbeidet med denne rapporten, men det anbefales å innhente resultater fra forskningsarbeidet. [22]

3.1 Solkraft

Noen spesielle fordeler med solkraft er at det kan installeres nærmest hvor som helst og at det kan installeres raskt. Solkraft ifm. infrastruktur er en moden løsning, men potensialet er i liten grad utnyttet. Utenfor Norge er solkraft i forbindelse med vei og jernbane mer utberedt. Blant annet ser tyske og østerrikske forskere på potensialet for solceller på vegoverbygg på den tyske motorveien (Autobahn) [23], det amerikanske prosjektet «The Ray Solar Highway Project» kartlegger egnede avkjørsler for solkraftutvikling [24] og på vegne av det tyske senteret for jernbanetraffikkforskning utforskes potensialet for å anvende solceller på jernbaneinfrastrukturer [25].

3.1.1 Solceller langs vei og på veistrukturer

Solkraft ifm. vei og jernbaneutbygging i Norge er lite utberedt, men det er utført en rekke potensialstudier. Norconsult har kartlagt potensialet for solkraftutbygging i veiprosjektet E136 i Ålesund og potensialet på døgnhvileplasser for lastebiler langs E18 for Statens vegvesen samt potensialet for E6 Kvål – Gyllan sør for Trondheim. Kartleggingene viste at det var godt samsvar mellom potensialet for strømproduksjon fra solkraft og strømforbruk. Prosjektene er fortsatt i tidligfase og det anbefales at de følges opp videre. [26] Multiconsult har utført en kartlegging av potensialet for solkraft langs Sotrasambandet. Potensialet for solkraft ble estimert til totalt 3,1 MWp med en samlet energiproduksjon på 2,2 GWh/år. Figur 23 og Figur 24 viser eksempler på arealer ved en rundkjøring og ved inngangen av en tunnel i Sotrasambandet som er pekt på som egnet for solkraft. [27]



Figur 23: Tilgjengelige arealer på totalt ca. 6 600 m² ved en rundkjøring vest for Vikafjellet i Sotrasambandet [27].



Figur 24: Tilgjengelig areal på ca. 4 200 m² ved inngangen til en tunnel ved Kolltveit i Sotrasambandet [27].

Carport og ladepark

Potensialet er stort for å bygge solcelleanlegg på parkeringsplasser og ladeparker nasjonalt og internasjonalt. Det er spesielt interessant når målet er null nye fossile biler på veien i Norge i 2025 som krever massiv utrulling av hurtigladdere. Frankrike krever solceller på alle store parkeringsplasser gjennom bestemmelsene som trer i kraft 1. juli 2023 [28], og lignende krav kan bli gjeldende i Norge. Et eksempel på carport med solceller er carporten på Asko Vestby vist i Figur 25. Solcelleanlegget har tosidige paneler slik at lys som reflekteres fra bakken (spesielt når det er snø) bidrar til økt strømproduksjon. Et annet eksempel er Inspira ladepark ved E6 i Sarpsborg som skal bygges slik at ladeparken ikke belaster strømmettet. Anlegget blir Norges første lynladeanlegg som lar seg drifte med vindkraft, solceller og store batterier uten å bruke strømmettet. [29]



Figur 25: Carport med elbillading på Asko i Vestby [30].

Tunnel

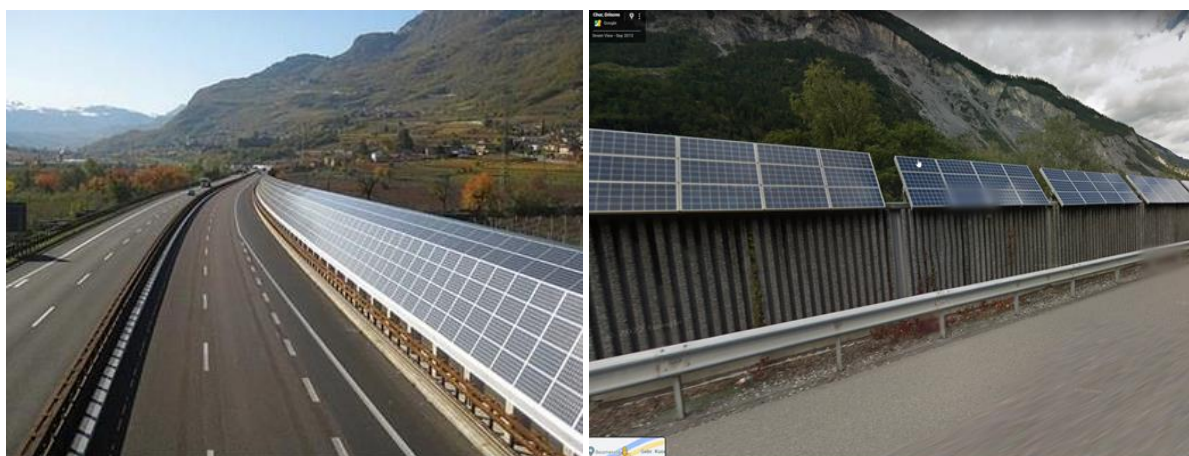
Solceller kan installeres på taket av en tunnel, i skjæringer ved tilnærmingen til tunnelen eller på eventuelt overskuddsareal i nærheten av tunnelen. I Kjördaltunnelen forsynes tunnelbelysningen av kraft fra solceller i veiskjæringen som vist i Figur 26. Det er et krav om tunnelbelysning i alle nye tunneler over 100 meter [31]. Likevel oppgis det i en NRK-artikkel fra 2019 at det finnes tolv tunneler i Rogaland og Hordaland på over 100 meter som fortsatt er mørke [32]. Solceller kan sikre strømforsyning til tunnelbelysning også der det er veldig kostbart å bygge ut tilstrekkelig kraftforsyning slik som i Kjördaltunnelen. For å sikre kraftforsyning også når sola ikke skinner er tunellen i tillegg utstyrt med et dieselaggregat med generator [33].



Figur 26: Tunnelbelysning med strøm fra solceller i Kjöldalstunnelen [33].

Støyskerm

Solceller kan integreres direkte i overflaten til en støyskerm eller monteres på støyskermen med for eksempel lim eller skruer. Solceller i støyskjermer er ikke noe nytt og ble gjort første gang allerede i 1989 på A13 motorveien i Sveits. Figur 27 og Figur 28 viser noen eksempler på solceller integrert i støyskjermer langs vei.



Figur 27: Integrerte solceller i støyskjermer langs A22 ved Brennero, Italia [34] og langs E43 ved Rhinen i Sveits (Google street view).



Figur 28: Solcelleanlegg integrert i støyskjermer fra DAS Energy [35].

Støyskjermer i bebygde områder kan med fordel fylle flere funksjoner. I et prosjekt under planlegging i Stavanger kommune er det laget en multifunksjonell støyskerm som i tillegg til å absorbere og skjerme mot støy også er en beplantet grønn vegg som gir ly for vind og produserer strøm med solceller. Strømmen fra støyskermene skal tilføres bygget og bidra til at barnehagen blir et plussenergibygg, altså som produserer mer energi enn det forbruker gjennom året.



Figur 29: Støyskerm som fyller flere funksjoner for 'Poppeltunet' som planlegges av Stavanger kommune. Illustrasjon: Multiconsult, LINK Arkitekter.

Lyktestolper

Solceller integrert i lyktestolper er en løsning som er mindre utberedt der strømproduksjonen fra solcellene kan brukes til å dekke strømforbruket i lyktestolpen. På grunn av små flater på lyktestolpen vil det være liten strømproduksjon, men strømforbruket i en lyktestolpe med LED er også lavt.



Figur 30: Solceller på lyktestolpe [36]

Vegoverbygg

Ved å installere solceller over veien unngår man noe av veistøvet og skitten som kan samles på solcellene. I tillegg til å bidra med strømproduksjon vil solcelleoverbygget redusere regn, snø og frost på veien. Ved å skjerme kjøretøyene for direkte sol vil også kjølebehovet og dermed energiforbruket reduseres. Tyske og østerrikske forskere ser på potensialet for solceller på vegoverbygg på den tyske motorveien (Autobahn). Potensialet er enormt og ved gitte antagelser er strømproduksjonen estimert til 47 TWh som vil dekke nesten 10 % av Tyskland sitt strømforbruk. [23]



Figur 31: Visualisering av vegoverbygg med solceller på den tyske motorveien (Autobahn) av LABOR3 Architektur GmbH [23].

Bakkemontert

Bakkemonterte solcelleanlegg finnes det flere eksempler på verden over også langs vei og bane, og potensialet for ytterligere utbygging er stort. «The Ray Solar Highway Project» har kartlagt at de nedre 48 statene i USA har over 52 000 dekar arealer ved mellomstatlige avkjørsler som er egnet for solkraftutvikling, estimert til 36 TWh årlig [24]. Figur 32 viser et eksempel med solcelleanlegg ved avkjøring 13 nord på Massachusetts Turnpike (I-90) i Framingham, USA.



Figur 32: Solceller ved avkjøring 13 nord på Massachusetts Turnpike (I-90) i Framingham. [37]

Solceller integrert i veibanen

En annen interessant løsning som testes ut er å integrere solceller i veibanen. Wattway sin løsning vist i Figur 33 er blant annet testet i Frankrike, nær grensen mellom Alabama og Georgia i USA, i Kina og i Nederland. [38] Det kan være gode grunner til å gjøre dette i andre deler av verden uten vinterforholdene i Norge selv om løsningen er beheftet med flere ulemper. Integrasjon av solceller vil medføre skygge fra passerende kjøretøy, slitasje og tilsmussing av overflaten som reduserer ytelsen til solcellene. Solcellene er også vanskelig tilgjengelige når de er nedfelt i veibanen og adkomst krever stans eller omdirigering av trafikken.



Figur 33: Wattway sin løsning med solceller integrert i veibanen [38].

3.1.2 Solceller ved jernbane

TÜV Rheinland forsker på potensialet for å anvende solceller på jernbaneinfrastruktur på vegne av det tyske senteret for jernbanetraffikkforskning (DZSF) ved den tyske føderale jernbanemyndigheten. Forskningsprosjektet ser på tekniske krav for å kunne mate inn solstrømproduksjonen direkte til jernbanens enfase 15 kV kraftnett, og skal også bestemme hvor mye solceller kan øke fornybarandelen i det elektriske jernbanesystemet. [25]

Jernbaneoverbygg

I London er det bygd solceller som et tak over jernbanen over en bro i Blackfriars som vist til venstre i Figur 34. Prosjektet startet i 2011 og solcellene forsyner Blackfriars togstasjon med strøm [39]. I Belgia er det bygd solceller på tunneltaket over jernbanen som vist til høyre i Figur 34. Prosjektet er kjent som «Solar Tunnel» og var i 2011 det første prosjekt der jernbaneinfrastruktur ble brukt til å produsere fornybar kraft. Strømmen som produseres brukes til å forsyne infrastruktur langs veien med strøm, som signaler, lys og oppvarming av stasjoner [40].



Figur 34: Solceller på taket over høyhastighetstog i Blackfriars i London (venstre) [39] og solceller på taket over jernbanen i Antwerp i Belgia (høyre) [40].

Jernbanespor

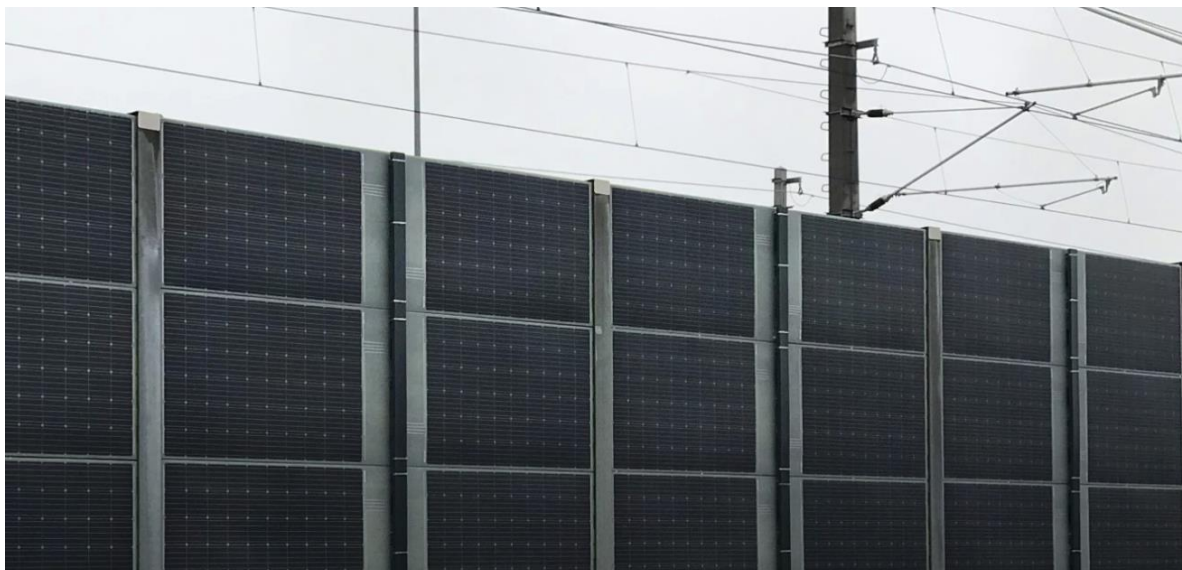
Solceller kan også legges i jernbanesporet. I 2018 annonserte Bankset Energy ambisiøse planer for sin løsning med solceller i jernbanesporet vist i Figur 35, men siden det har det vært stille fra Bankset Energy [41].



Figur 35: Løsning for solceller i jernbanesporet av Bankset Energy [41].

Støyskjem

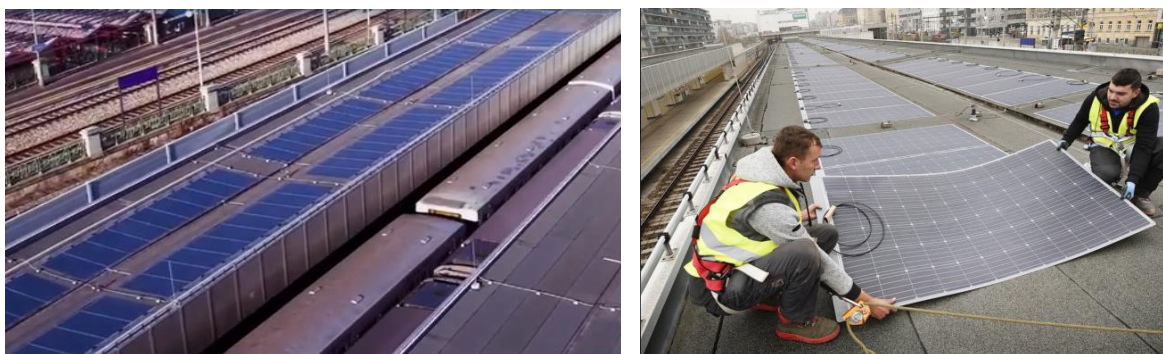
På samme måte som i støyskjermer langs vei kan solceller kan integreres direkte i overflaten til en støyskjem eller monteres på støyskjermen med for eksempel lim eller skruer. I Figur 36 fungerer solcellene som en skjerm mellom jernbanesporene. I Sør-Korea testes tosidige solcellepaneler i jernbanestøyskjermer gjennom et prosjekt støttet av «Korea Railroad Corporation» (Korail). Støyskjemene skal brukes på både høyhastighets- og konvensjonelle jernbaner og være tilpasset mot forurensning. [42]



Figur 36: Solceller i støyskjem plassert mellom jernbanesporene [35].

Stasjonsbygg

Det er et stort potensial i å integrere solceller i jernbanestasjoner. Solcellene kan eksempelvis bygges på tak som ordinære BAPV eller BIPV anlegg som vist til venstre i Figur 37. De kan også integreres i glass i vinduer som vist til høyre i Figur 37 eller i tak som vist i Figur 38.



Figur 37: Solcelleanlegg på taket på togstasjon i Wien [35].



Figur 38: Glassintegret solcelleanlegg i taket på togstasjoner. Foto: Deutsche Bahn AG.

Nye Drammen stasjon som bygges i 2024 planlegges med 4 500 m² solceller på plattformtakene og blir den første togstasjonen i Norge med solceller. Solcellene skal forsyne lys og varme på stasjonen, tekniske installasjoner, varme til sporvekslere og annet utstyr med strøm. I nyhetsartikkelen på Bane NOR sine sider om tiltaket står det at «Nå skal solcellepanel vurderes som løsning i alle nye anlegg som bygges av Bane NOR». [43]



Figur 39: Illustrasjon av planlagt solcelleanlegg på Drammen stasjon illustrert av Norconsult for Bane NOR [43].

Bakkemontert

Solceller kan også installeres på bakken i tilknytning til jernbanen. Ved bygging nærmere enn byggegrensen i Jernbaneloven på 30 meter må det søkes om tillatelse fra Bane NOR (se kapittel 4.2.4 om bygging innenfor byggegrensen).



Figur 40: Bakkemontert solcellepark i tilknytning til jernbanen [25].

3.2 Vindkraft

Vindkraft har skapt mye debatt i Norge blant annet fordi det er arealkrevende og turbinene er synlige over store avstander. Hensynsløs plassering av anleggsveier i tilknytning til vindkraftverk har også skapt konflikt. For å skape minst mulig debatt kan vindkraft bygges slik at man i større grad kan bruke allerede etablerte veier som anleggsveier og vindkraftverk kan bygges i industrialiserte områder der det ikke kommer i konflikt med naturvern og der man samtidig unngår tett bebodde områder.

3.2.1 Vindkraft langs vei

Av eksemplene som finnes på vindkraft i tilknytning til vei er de fleste større vindturbiner som er en del av en større vindpark. Et eksempel på dette er Causeymire vindpark i Halkirk Storbritannia vist i Figur 41 som ligger ved veien A9.



Figur 41: Causeymire vindpark ligger ved veien A9 i Halkirk Storbritannia [44]. Foto: Google maps.

I forbindelse med planlegging av ny E39 undersøkte Statens vegvesen i 2012 muligheter for energiproduksjon i forbindelse med fjordkryssinger. Det ble fremhevet synergier og potensial for

kostnadsreduksjoner særlig for turbiner som bygges inn, «Ducted Augmented wind turbine (DAWT)». Fordeler og ulemper som ble fremhevet er vist i Figur 42 [20].

Advantages	Challenges
<ul style="list-style-type: none"> - Reduction in costs if the bridge is used as tower or/and foundation for the turbines - Existing infrastructure can be used for transport and mounting of turbines - Construction machines and equipment being used for the bridge can be used for the wind turbine installations - Shared surveillance and control facilities - Utilization of existing electrical grid in connection with the bridge construction - Reduced visual noise compared to other wind turbines due to the bridge construction - For DAWTs, reinforcement of the bridge is not necessary, since they can be stopped at very high speeds 	<ul style="list-style-type: none"> - In most cases increased costs to reinforce bridge construction - Increased design and engineering costs - Increased visual noise compared to a stand-alone bridge - Because of the humid air, salt water droplets and road dust, it is probably necessary to have offshore wind turbines, which are more expensive

Figur 42: Fordeler og ulemper med integrasjon av vindturbiner i brokonstruksjoner [20].

3.2.2 Vindkraft og jernbane

Det nederlandske jernbaneselskapet Nederlandske Spoorwegen (NS) har driftet alle sine tog på 100 % vindkraft siden 2017 etter målrettet samarbeid med energiselskapet Eneco. Selskapet ble da det første jernbaneselskapet som driftes kun på fornybar energi. Vindkraftproduksjonen dekker energiforbruket til 5 500 togturer daglig [45]. Strømforbruket til jernbanen dekkes av strømproduksjon fra Eneco sine vindkraftverk i Nederland, Belgia, Finland og Sverige i tillegg til fornybarkontrakter fordi vindkraftproduksjonen varierer [46].



Figur 43: Den nederlandske jernbanen driftes på 100 % vindkraft [46].

3.2.3 Vindkraft i havneområder

Elektrifisering av kjøretøy og skipsfart vil kreve store investeringer i kraftnettet. Norske havner ligger typisk i områder langs kysten med mye vind der det også er utbygd infrastruktur og det er tilgjengelige arealer. Vindturbiner vil også i mindre grad oppfattes som visuell forurensning i samspill med kraner i havneområder. Etablering av vindkraft i havneområder kan forsyne havtransport med fornybar strøm, men det er også mulig å legge ladestasjoner for kjøretøy som godstransport og personbiler til havnene. På Hirtshals havn i Danmark er det satt opp fire vindturbiner som skal forsyne havnekraner, biler og skip med fornybar strøm som vist i Figur 44. [47]



Figur 44: Hirtshals havn i Danmark der det er satt opp fire vindturbiner som skal forsyne havnekraner, biler og skip med fornybar strøm. Foto: Hirtshals havn.

3.2.4 Vindkraft i urbane strøk

Som nevnt i kapittel 2.2 er urbane områder og byer mindre egnet for vindkraft enn åpne og høyereliggende områder. SINTEF har studert vindkraft på bygg og identifisert styrker og svakheter for vindkraft i urbane strøk som vist i Figur 45.

<p>Strengths: Relatively simple technology Easy to install on existing buildings Wind might also be available during periods without sunshine (no production from PV) High wind velocities give high energy gains Low noise production</p>	<p>Weaknesses: Energy production depends on wind availability Wind velocity in urban settings are often too low for high power outputs Energy production must match demand or a battery is needed (or direct connection with grid) Positioning on buildings requires analysis of local wind conditions A velocity control is needed for very high wind velocities Safety is not always given</p>
<p>Opportunities: Emerging technology Increasing environmental awareness increases interest in renewable energy systems</p>	<p>Threats: No standards for electrical connection developed Wind resource in the built environment are poorly understood</p>

Figur 45: SWOT-analyse av vindkraft i urbane strøk [8].

3.3 Vannkraft

3.3.1 Kraftproduksjon fra overvann

I prosjektet Rv. 555 Sotrasambandet har Multiconsult utført en analyse av området for å avdekke mulig potensial for å tilkoble et mini vannkraftanlegg. Det er funnet to områder som er aktuelle; ved Straume og ved Kolltveit som brukes som eksempler på utnyttelse av overvann til strømproduksjon. Ved Straume er det et mindre vann (Stovevatnet) som skal fylles igjen og området skal fortettes. Infrastrukturen bygges da opp med avrenning av regnvann via et overvannsanlegg. Vannføringen/tilsiget i anlegget er moderat på 28 l/s mens høyden imidlertid er god på 24 meter. Det er mulig å installere en mindre turbin på 6 kW i en liten 6-fots container ved utløpet ved Sterkervika. Årlig produksjon estimeres til 37 562 kWh/år og dette vil da være akkurat lønnsomt. Ved Kolltveit er det også et litt større vassdrag som kan utnyttes for å etablere et lite minikraftverk. Utløpet er imidlertid ikke regulert for dette. Vannføringen/tilsiget i anlegget er god på 44 l/s og høyden er også god på 39 meter. Det er mulig å installere en turbin på 15 kW i en liten 6-fots container ved utløpet ved Kolltveitosen. Årlig produksjon estimeres til 93 835 kWh/år og dette vil da være lønnsomt, selv med litt større kostnader for etablering. [19]

4 Fordeler og ulemper ved infrastrukturintegret kraftproduksjon

Samlokasjon av infrastruktur og kraftproduksjon har flere fordeler:

- Lokalt produsert energi kan bidra til å dekke elektrisetsbehovet knyttet til vei og bane i anleggsfasen og i driftsfasen
- Ny kraftproduksjon kan bygges på allerede beslaglagte arealer
- Eksisterende infrastruktur har ofte tilknytning eller nærhet til kraftnett
- Kraftproduksjon på allerede beslaglagt areal og på eksisterende struktur fører ikke til ytterligere tap av miljøverdi
- Det kan være samfunnsøkonomisk å bygge kraftproduksjon på offentlig beslaglagte arealer
- Etablert vei og bane kan benyttes for adkomst til ny kraftproduksjon

4.1 Elektrisetsbehov

Utbygging av kraft må sees i sammenheng med kraftbehovet ifm. infrastruktur for å sikre at kraften brukes der den produseres. Det er behov for elektrisk kraft både ved bygging av infrastruktur og ved drift som for eksempel til veibelysning. I tillegg krever overgangen av bilparken til nullutslipp større mengder elektrisitet, både effekt og energi. I rapporten «Strømforbruk mot 2040» forventer NVE at årlig strømforbruk til transport (veitransport, fly, sjøfart og tog/T-bane) øker fra 1 TWh i 2018 til 9 TWh i 2040 [48].

4.1.1 Anleggsfasen

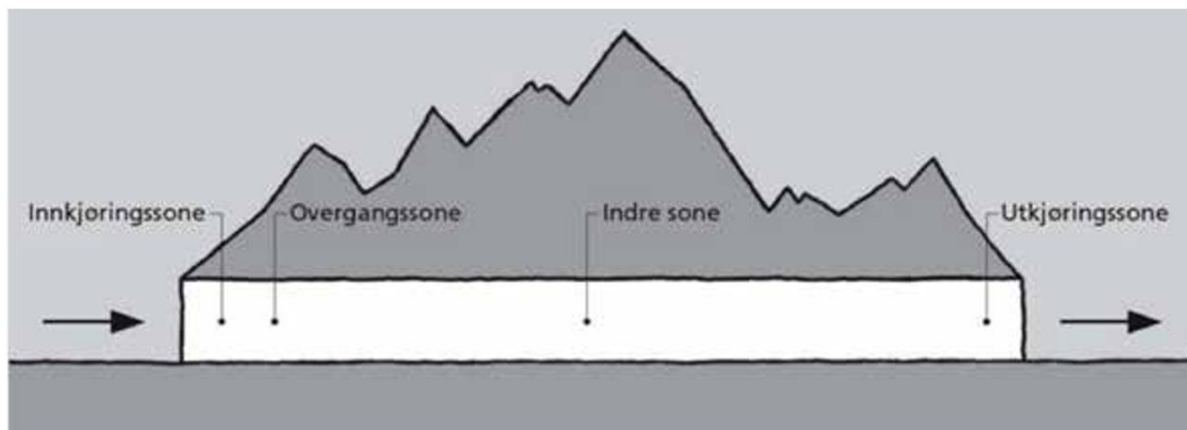
Effektbehov i anleggsfasen kan være betydelig sammenlignet med driftsfasen, og nettkapasiteten til byggeplassen kan være begrenset og kostbar å utvide. Effekt- og energibehovet øker betydelig ved krav om utslippsfri byggeplass og bruk av elektriske kjøretøy og anleggsmaskiner framfor fossil diesel. I slike tilfeller vil et batterilager kunne lades kontinuerlig med tilgjengelig effekt i kraftnettet, og samtidig levere tilstrekkelig effekt til byggeplassen. Batterikapasiteten må tilpasses effektbehovet på byggeplassen, og eventuelt i tillegg kunne starte en generator ved behov for ytterligere effekt. Det er flere drivstoffalternativer til fossil diesel, som biodiesel eller biogass eventuelt kan også nye alternativer som hydrogen eller flytende 'eFuel' som ammoniakk m.fl. vurderes for forsyning av utslippsfrie byggeplasser.

4.1.2 Driftsfasen

Å installere produksjonsutstyret nært brukerstedet gir flere fordeler som lavere kostnader til kabling og transformorkapasitet og lavere systemtap enn ved konvensjonell forsyning. I litteraturgrunnlaget for denne studien er det ikke noen konkrete normer eller standardverdier for effektbehov for vei- eller baneanlegg, og det er både store forskjeller mellom ulike veityper og strekninger, i tillegg til at både effekt- og energiforbruk er i endring som følge av innfasing av mer effektiv LED-lys. Det anbefales i videre arbeid å:

- Kartlegge målt effektforbruk for et tilstrekkelig stort utvalg av de ulike veitypene.
- Innhente gjeldende og eventuelt fremtidige designnormer og -krav som påvirker effekt- og energibruk både i bygge- og driftsfasen av vei- og baneanlegg. F.eks krav til smart trafikkavhengig lysdimming etc.
- Innhente gjeldende og fremtidige maksimumskrav til effekt- og energiforbruk for vei- og bane prosjekter.

Hovedformålet med vegbelysning er trafiksikkerhet. I tillegg er belysning nødvendig for blant annet framkommelighet, trivsel, trygghetsfølelse, kriminalitet og estetikk. Vegvesenet vurderer behovet for belysning slik at energiforbruket ikke blir høyere enn det som er nødvendig for å oppnå god trafiksikkerhet. For alle nye vegtunneler er det imidlertid et krav om belysning der tunnellengden er over 100 m [31]. Tunneler krever mest strøm til belysning når det er intenst dagslys og mindre når det er overskyet eller mørkt. Dette sammenfaller godt med strømproduksjon fra solkraft som er høyest når sola skinner sterkest. Figur 46 viser tunellsoneer der ulike krav om belysning gjelder.



Figur 46: Tunellsoneer hentet fra Statens vegvesens håndbok "Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning" [31].

4.2 Tilgjengelige arealer

Arealer tilknyttet infrastruktur omfatter både landarealer med buffersoner som er beslaglagt av det offentlige som følge av infrastrukturutbygging og arealene til strukturer og bebyggelse lang vei og bane. Slike områder er attraktive for fornybar kraftproduksjon av flere grunner, inkludert:

- Enkel tilgang til arealene (etablert vei eller jernbane kan brukes til adkomst av kraftproduksjonen)
- Tilgang på strøm- og signalnett
- Offentlig eierskap
- Mangel på konkurranse om arealene
- Lite skygge

4.2.1 Anleggsplasser

Arealene for anleggsplasser varierer med type veianlegg (type vei, tunnel, bru etc), grunnforhold, plassbehov for masser og maskiner med mer. Under anleggsperioden vil det normalt være begrensede muligheter for å utnytte samme areal til energiproduksjon uten å komme i konflikt med driften på anlegget. Om forholdene ligger til rette med gode vind- eller solforhold, kan det være aktuelt å tilrettelegge for dette, noe som f.eks kan innebære å:

- Velge en plassering som gir gunstige forhold for energiproduksjon (i tillegg til vanlige anleggshensyn).
- Utvide arealet regulert til anleggsområde for å få tilstrekkelige arealer tilgjengelig for ønsket energiproduksjon uten konflikt med anleggets arealbehov.
- Planlegge og legge til rette adkomstveier, bygg og fundamenter som skal bli stående permanent videre etter anleggsfasen optimalt for permanente installasjoner for energiproduksjon f.eks:

Rapport

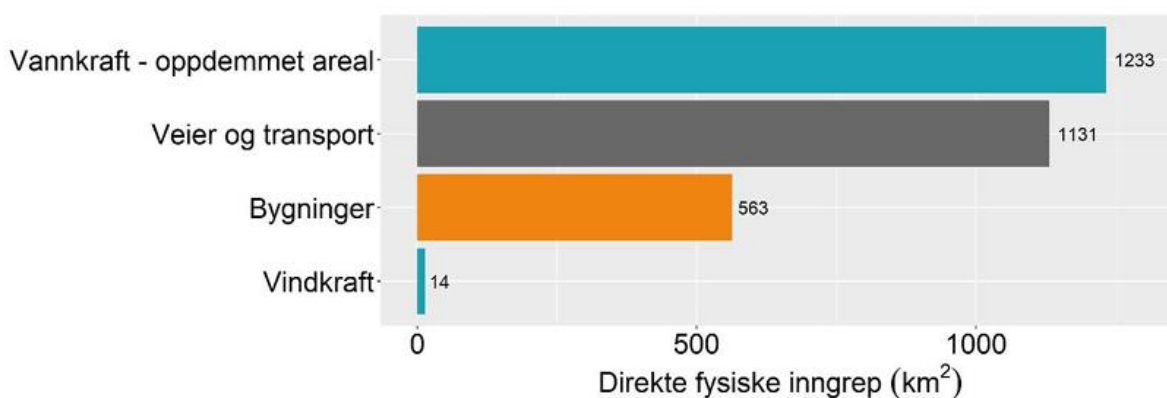
- Adkomstveier benyttes videre som adkomstvei til vindturbiner eller nettførsterkning.
 - Bygningsintegrerte solceller på tak og fasader av driftsbygg som plasseres og utformes for optimal solinnstrålingsutnyttelse.
 - Anleggsarealene gir gode forhold for bakkemonterte solkraftverk når anleggsfasen er over.
- Etablere energiproduksjon tidligst mulig i tråd med prosjektets mål om egenforsyning av energi.

4.2.2 *Strukturer langs vei*

Fornybar kraftproduksjon som solceller kan bygges på strukturer langs vei og bane. Dette er strukturer som bruer, tunneler, rekkverk og støyskjermer. Infrastruktur kan på den måten benyttes som fundament og kraftverk vil her kunne få en lavere investering enn tradisjonell utbygging med egen fundamentering (jfr. kapittel 2.1.3). For gamle veier som ble bygget da det ikke ble stilt krav om støyskjermer etableres bare støyskjermer dersom det pågår et veiprojekt. I slike tilfeller kan det etableres støyskjermer med solceller som både vil bidra med støyskjerming og kraftproduksjon.

4.2.3 *Landarealer*

Utnyttelse av infrastruktururområder til elektrisitetsproduksjon vil øke nytten av infrastrukturinvesteringer når man allerede gjør arealbeslag, og det er begrenset hva arealene kan brukes til blant annet grunnet sikkerhet og støy. Samlokasjon hindrer også at det bygges nytt som kan virke visuelt forstyrrende eksempelvis etablering av vindturbiner i kranområder istedenfor i urørt åpent landskap. Ifølge Naturvernforbundets arealrapport fra 2021 «Norges areal 2021» [49] representerer vei og transport 1 131 km² i direkte inngrep (fysisk nedbygging), 1 522 km² inkludert buffersoner. Veier er svært lite miljøvennlige med store andeler asfalt. Vei og transport kommer på andre plass rett etter vannkraften (1 233 km²) som tar opp mest areal i Norge ved direkte inngrep. Areal påvirket av direkte fysiske inngrep i Norge er vist i Figur 47.



Figur 47: Antall kvadratkilometer av Norges areal påvirket av direkte fysiske inngrep i naturen fordelt på fire kategorier [49].

4.2.4 *Byggegrenser*

Byggegrensen langs vei og bane er angitt i henholdsvis vegloven og jernbaneloven og skal ivareta blant annet drift og vedlikehold, arealbehov til framtidig utbedring og miljøet på eiendommene langs vei og bane. Eventuell utnyttelse av buffersonene til kraftproduksjon må forutsette at sikkerhetsmessige aspekter ivaretas og at nødvendig drift og vedlikehold av vei og bane lar seg gjennomføre. Muligheten for utnyttelse av deler av arealer innenfor byggegrensen bør derfor undersøkes nærmere.

Rapport

Vei

Innenfor byggegrensen lags veien skal det ikke plasseres bygninger, murer, støyskjermer, parkeringsplasser eller lignende. Byggegrensen kan være beskrevet i kommuneplanens arealdel eller reguleringsplanen for området. Dersom byggegrensen ikke er fastsatt i kommune- eller reguleringsplan der gjelder veglovens generelle byggegrenser som måles fra midten av veien [50]:

- 50 meter til riksvei
- 50 meter fra fylkesvei
- 15 meter fra kommunal vei
- 15 meter fra gang- og sykkelvei

Det er mulig å søke om dispensasjon for bygging innenfor denne byggegrensen, men dette gir ikke automatisk tillatelse for tiltaket eller plan- og bygningsloven. Statens vegvesen, fylkeskommunen eller kommunen behandler denne søknaden. For å søke om dispensasjon fra byggegrensen må [50]:

- Det må være forhold som gjør det uhensiktsmessig å bygge etter hovedregelen.
- Hensynet bak bestemmelsen det dispenseres fra må ikke bli vesentlig tilsidesatt.
- Samlet sett må fordelene ved en dispensasjon være klart større enn ulempene.

Jernbane

I henhold til jernbaneloven § 10 er det "forbudt uten tillatelse fra kjøreveiens eier å oppføre bygning, anlegg eller annen installasjon, foreta utgraving eller oppfylling med videre innen 30 meter regnet fra nærmeste spors midtlinje." [51] Det kan søkes om tillatelse fra Bane NOR i henhold til jernbaneloven § 10 dersom det skal utføres arbeid nærmere enn 30 meter fra jernbanen [52].

4.3 Tilgang til strømmnett

Mangel på kapasitet i eksisterende nett kan være en utfordring ved etablering av ny kraftproduksjon i flere deler av landet. En fordel ved å etablere kraftproduksjon i tilknytning til eksisterende infrastruktur er at det ofte er nærhet til kraftnett. Kraftproduksjonen bør dimensjoneres slik at det meste forbrukes lokalt for å i liten grad belaste strømmettet og fordi det er mest lønnsomt å produsere til eget forbruk. Der det ikke er tilgang på kraftnett eller det er begrensninger i eksisterende nett kan det være aktuelt med 'off-grid' dvs. ikke-nettilknyttede systemer.

For større produksjonsanlegg vil det ofte være nødvendig å koble seg til strømmettet. Hvilket spenningsnivå et produksjonsanlegg bør tilknyttes avhenger av størrelsen på kraftverket og av plassering ift. eksisterende overføringslinjer og trafostasjoner i nærheten. Mindre anlegg kobles helst til lavere spenning og større anlegg bør kobles inn på høyere spenninger. Det vil ofte være en grense på 10-15 MW ved tilkobling til distribusjonsnettet (typisk 22 kV). Dersom kraftverket er større bør det tilknyttes regionalnettet, og er det i størrelsesordenen rundt 100 MW og oppover bør tilknytningspunktet ligge nærme transmisjonsnettet.

Dersom lokal netteier ikke har tilgjengelig kapasitet eller tilstrekkelig sterkt nett i området kan det bli behov for utbygging. Dette vil typisk ta et par år for distribusjonsnettet, mens det for regional- og transmisjonsnettet må søkes anleggskonsesjon og kan ta 4-5 år. Det er derfor viktig å kontakte nettselskapet så tidlig som mulig for å kartlegge den beste løsningen og sette i gang med evt. utbedringer. Dersom kraftnettet må forsterkes vil netteier kunne kreve anleggsbidrag for å dekke hele eller deler av kostnadene ved nye nettilknytninger eller ved forsterkning av nettet til eksisterende kunder.

Rapport

4.4 Klima og miljø

I rapporten «Potensial for næringsutvikling, Mer ambisiøse klimakrav til anleggsbransjen» [53] beskriver Multiconsult og Norconsult potensialet for klimagassreduksjoner i anleggsbransjen. Tabell 3 viser at potensialet er stort for blant annet anleggsteknikk og arealbeslag. Innenfor anleggsteknikk peker rapporten på at prosjektenes direkte klimagassutslipp kan reduseres vesentlig ved elektrifisering av anleggsmaskiner.

Tabell 3: Potensial for utslippsreduksjoner ved strengere klimakrav hentet fra rapporten "Potensial for næringsutvikling" [53].

Potensial for utslippsreduksjoner ved strengere klimakrav	Planlegging/prosjektering	Entreprenørens arbeider	Leverandørens arbeider
Løsningsvalg , Valg av konsept, optimalisering og gjenbruk.	++++	++	++
Materialvalg Utvikling og bruk av klimasmarte materialer.	+	++++	++++
Anleggsteknikk Maskiner, arbeidsmetode og logistikk.	++	++++	+
Fremdrift Ulike løsnings konsekvens for total prosjektid.	+++	++++	+
Arealbeslag Beslag av permanent og midlertidige arealer, mm	++++	+++	+
Forskning, innovasjon, utvikling Materialer, tjenester, samarbeid og kompetanse.	++	++	++

Arealbruksendringer kan medføre klimapåvirkning på grunn av evnen biomasse har til å ta opp og lagre karbon. Når skog og annen vegetasjon fjernes og den fjernede vegetasjonen brennes eller brytes ned på andre måter slipper vegetasjonen ut karbonet som er lagret gjennom fotosyntesen. Skog og myr er de arealtypene som har de største karbonlagrene, men også jord lagrer karbon. Ved utbygging av vei, bane eller annen infrastruktur beslaglegges store arealer som vist i kapittel 4.2.3.

Elektrisitetsproduksjon fra fornybar energi som solkraft eller vindkraft istedenfor fossile energikilder spiller en vesentlig rolle i omstillingen til et mer klimavennlig samfunn. Det er likevel viktig å adressere klima- og miljøpåvirkningen disse anleggene medfører gjennom livsløpet, dvs. råvareuttak, produksjon, drift og vedlikehold samt avhending ved slutten av levetiden. Ved å bygge fornybar kraft på allerede nedbygget natur reduseres klimapåvirkningen knyttet til arealbruksendringer fordi man ikke bygger ned mer natur.

4.5 Økonomi

Økonomien i et kraftutbyggingsprosjekt vil være avhengig av flere faktorer som blant annet alternativverdien til landarealer som benyttes, bruk av eksisterende eller nye strukturer for fundamentering, kraftressursene (vindressurser for vindturbiner og solinnstråling for solceller), valgt teknologi, størrelsen på anlegget og strømpris.

Det er begrenset hva arealene langs vei og bane kan brukes til blant annet grunnet sikkerhet og støy og ved å etablere kraftproduksjon på allerede etablerte fundamenter reduseres kostnaden for dette. Bygging av kraftproduksjon ifm. vei og bane vil derfor gi en merverdi for offentlige fellesarealer regulert for vei og bane.

Energiforbruk representerer 10-20 % av drifts- og vedlikeholdsbudsjett til et veisystem. Generelt øker energikostnadene mens det er ønskelig å redusere driftskostnadene. Energi utgjør samtidig kun 2 % av livsløpskostnadene for et veisystem, som kan medføre at energikostnadene oppfattes som løpende utgifter som det ikke er mulig å gjøre noe med. [54] Energiforbruket kan reduseres gjennom lokal kraftproduksjon fra for eksempel solkraft eller vindkraft.

Oftest måles vei- eller baneier på byggekostnader og ikke på levetidskostnader. Lønnsomheten ved kraftproduksjon, som har største delen av kostnadene i investeringsåret, lave driftskostnader og besparelser i form av sparte strømkostnader eller gevinst fra solgt strøm, bør beregnes over levetiden til prosjektet. For solkraftanlegg benyttes gjerne en ytelsesgaranti på 25-30 år, men teknisk levetid er mye lenger. 25-30 år brukes ofte som økonomisk levetid i lønnsomhetsberegninger. Vekselretter må man regne med at trenger utskiftning en gang i løpet av ytelsesgarantiperioden.

I solkraftprosjekter på bygg er det vanlig å designe solcelleanlegget for mest mulig egenforbruk av produsert solstrøm og det er også det som har vist å gi best lønnsomhet. Dersom kraften produseres der kraftforbruket er vil kraftproduksjonen også bidra til reduserte tap i kraftnettet som betyr reduserte kostnader for kraftnettet. For bakkemonterte solcelleanlegg selges overskuddsproduksjonen. Kraftproduksjon til eget forbruk vil bidra til å redusere vei- eller bane eier sine strømkostnader, mens salg av overskuddsproduksjon kan bidra med nye inntektsstrømmer.

Multiconsult har flere eksempler på lønnsomme solkraftprosjekter. I kartleggingen for solkraftpotensial langs Sotrasambandet utførte Multiconsult en lønnsomhetsvurdering på solceller ved inngangen av tunneler til å forsyne tunnellbelysningen med strøm. Avhengig av prosjektet så vil en tunnel kreve maksimalt 30 kW ved intenst dagslys. I eksempelet ble effekten til solcelleanlegget satt til 35,2 kWp med 30 kW vekselretterytelse. Investeringskostnaden til solcelleanlegget ble satt til 250 000 kr med en årlig drift og vedlikeholdskostnad på 0,2 % av investeringskostnaden. Solcelleanlegget produserte 27 000 kWh/år i år en med en lineær årlig degradering på 0,2 % (reduksjon i årsproduksjon). All produsert solstrøm ble forutsatt brukt lokalt. I lønnsomhetsberegningen ble den økonomiske levetiden til solcelleanlegget satt til 25 år med utskiftning av vekselretter etter 13 år. Med en diskonteringsrente på 4 % og en fast strømpris inkludert nettleie på 0,8 kr/kWh var solcelleanlegget lønnsomt med en netto nåverdi på 157 000 kr, nedbetalingstid på 12 år og internrente på 9,4 %. [27] Ved å forberede infrastrukturen for installasjon av lokal energiproduksjon kan investeringskostnaden bli vesentlig lavere, og for større produksjonsanlegg er det grunn til å forvente bedre lønnsomhet enn i eksempelet over.

5 Barrierer

5.1 Politiske mål og fokus

Kraftproduksjon kan etableres både ved nybygging eller etterinstalleres for eksempel i forbindelse med vedlikeholdsprosjekter. Tydelige klimakrav vil gi forutsigbarhet til å investere i klimavennlige løsninger. Nye veier har satt seg som mål å kutte klimagassutslipp med minst 50 % fra anleggsfasen og 75 % fra driftsfasen [55]. De andre transportvirksomhetene har satt seg lignende klimaambisjoner. I sjekklisten for klimatiltak i anleggsbransjen laget av Nye Veier og Zero [56] anbefales det blant annet å vurdere løsninger for egenproduksjon av strøm til drift av utstyr, men per i dag stilles det vanligvis ingen krav. Fokuset i offentlige anskaffelser er «mer for pengene» og tiltak for klimagassreduksjoner og miljøtiltak gjøres først og fremst dersom det er kostnadsbesparende eller dersom det er pålagt gjennom plandokumenter, tillatelser o.l. Fokuset bør endres fra «mer vei for pengene» til «bedre og grønnere infrastruktur for pengene» (Figur 48) som Multiconsult og Norconsult skriver i sin rapport for VIA – Vital Infrastruktur Arena [53].

Deler av dagens system for tildelinger motarbeider det grønne skiftet. Vi må vri fokus fra kun «mer vei for pengene» til «bedre og grønnere infrastruktur for pengene».

Figur 48: Sitat hentet fra rapporten "Potensial for næringsutvikling" [53]

5.2 Drift og vedlikehold

Produksjonsanlegg anbefales etablert slik at nødvendig drift og vedlikehold av vei og bane samt produksjonsanlegg kan gjennomføres som normalt. I vinterhalvåret måkes snøen fra veien og kraftproduksjonen bør plasseres slik at brøytebilen kommer fram. Solceller tåler noe mekanisk påkjenning og testes blant annet for snølast og «hagtest» ifm. produktsertifisering.

Kraftproduksjonen bør også planlegges slik at komponenter med ulik levetid kan skiftes ut. Eksempelvis har solcellemoduler normalt en ytelsesgaranti på minst 25 år og en teknisk levetid som kan være mer enn 40 år, mens vekselretteren normalt skiftes ut etter ca. 15 år. Dersom solceller etableres på eksisterende strukturer er anbefalingen at strukturens restlevetid tilsvarer levetiden til solcelleanlegget selv om solcelleanlegg også kan demonteres og flyttes.

Produksjonsanlegg som sol- og vindkraft trenger normalt lite vedlikehold og det anbefales generelt årlig inspeksjon i tillegg til at det ofte er fjernovervåking som oppdager om feil eller mangler oppstår. Det er også vanlig å ha en serviceavtale med en leverandør. Kraftproduksjonen bør etableres slik at det er tilkomst til anleggene uten at vei- eller bane må stenges for trafikk.

Det samles mest skitt på støyskjermer langs trafikkerte veier, spesielt om vinteren, og det er blant annet derfor viktig å kartlegge de best egnede strekningene for solceller på støyskjermer. Som et eksempel er det i Tyskland ikke vanlig å rengjøre solceller på støyskjermer da de ikke er regningssvarende. Det er av samme årsak heller ikke normalt å rengjøre solceller på bygg og overlate dette til regnvær i Nord-Europa. Vertikal monterte solceller har vist seg å akkumulere minimalt med skitt på støyskjermer i Australia.

5.3 Sikkerhet

Kraftproduksjonen skal ikke påvirke funksjonen eller sikkerheten til vei og bane. Dette kan blant annet tilrettelegges for ved riktig plassering av kraftproduksjonen. Her nevnes noen aspekter ved sikkerhet som bør hensyntas.

Plassering av kraftproduksjon

Buffersonen langs vei og bane er avsatt av hensyn til sikkerhet, drift og vedlikehold, arealbehov ved framtidig utbedring og miljøet på eiendommene langs veien. Plassering av kraftproduksjon kan derfor i utgangspunktet ikke bygges innenfor denne grensen. Eventuell utnyttelse av buffersonene til kraftproduksjon må forutsette at sikkerhetsmessige aspekter ivaretas. Sikkerhet i forhold til kollisjon ivaretas av rekkverk eller buffersoner på lik linje med vanlige støyskjermer uten solceller. Litteratur tilsier at solceller i støyskjermer ikke påvirker trafiksikkerheten til sjåførene og forårsaker ikke noen nevneverdig økning i lydrefleksjon. U.S. Department of Transportation (DOT) har publisert en rapport om erfaringer med støyskjermer med integrerte solceller i en rekke land [57]. De registrerte blant annet at solceller kan integreres på en trygg måte og uten at det går ut over skjermenes evne til å absorbere støy.

Refleksjon fra solcelleanlegg

En vanlig bekymring for solcelleanlegg er refleksjon fra solcellepanelene. Moderne monokrystallinske paneler har veldig lav refleksjonsgrad, ofte ikke mer 2%. Det er mindre enn refleksjonsgraden til vann og vinduer [58] som vist i Figur 49. Refleksjonen fra solcellepanelene er avhengig av vinkelen på innkommende sollys og refleksjonen øker med økende angrepvinkel med et knekkpunkt på rundt 60-70 grader. Det er standard med anti-reflekterende lag på solcellepanelene og noen teknologier har strukturer på glassoverflaten for økt absorpsjon av lys. Aluminiumsrammer er tilgjengelig i svart lakk for redusert refleksjon fra anlegget. Ved å plassere solceller i hensiktsmessig høyde og vinkel minimeres visuell distraksjon og gjenskin. Vertikalt monterte moduler har heller ikke medført gjenskin.



Figur 49: Refleksjon fra overflater. Solcellepaneler har veldig lav refleksjonsgrad, ofte ikke mer 2%. [59]

Forstyrrelser i elektronisk kommunikasjon

Trådløs elektronisk kommunikasjon som TV- og radiokringkasting, mobiltelefoni, bredbånd og radiolinjer kan påvirkes av vindkraft og solkraftanlegg. Elektronisk kommunikasjon kan påvirkes av et vindkraftverk når radiosignal treffer en vindturbin. Hvorvidt det blir forstyrrelser avhenger av fysisk størrelse på vindturbinen, plassering av vindturbinen og antall vindturbiner. NVE beskriver dette nærmere på sine nettsider. [60] Solcelleanlegg og tilknyttede vekselrettere kan medføre radiostøy. Ved plassering i nærheten av flyplass eller andre steder med krav til radiostøy må det gjøres målinger for å se om støynivået er akseptabelt.

Iskast fra vindturbiner

Det kan dannes is på vindturbine som kan falle ned eller bli kastet fra vindturbine. Dette kan medføre skader på folk, dyr, biler, bygninger og veier i nærheten av en vindturbin. NVE beskriver avbøtende tiltak som anti- og avisningssystemer, sikkerhetsavstand til vindturbinen, varsling i form av skilt, lyd og lyssignal på sine nettsider. Isen dannes ved bestemte sammensetninger av temperatur, fuktighet og vind og i Norge skjer isdannelsen typisk i perioden november til april. Isklumpene som faller ned vil hovedsakelig treffe bakken rett under vindturbinen, men dersom det blåser mye kan isklumpene transporteres lenger vekk fra turbinen før de treffer bakken. For å forhindre skader er det anbefalt å holde en anbefalt sikkerhetsavstand fra vindturbine der relevant sikkerhetsavstand vil variere mellom vindkraftverk. En generell anbefaling for sikkerhetsavstand er gitt ved formelen $d = (D + H) \times 1,5$ der d er sikkerhetsavstanden i meter, D er vindturbines rotordiameter og H er vindturbines tårnhøyde (Seiferts formel). Nyere studier viser at denne formelen angir en større avstand enn nødvendig og at maksimal kastelengde tilsvarer summen av turbinens tårnhøyde (H) og rotordiameter (D), $d = D + H$. [61]

Inngjerding og viltpassasjer

De fleste bakkemonterte solkraftverkene vil bli inngjerdet som et sikkerhetstiltak for både mennesker og dyreliv. Inngjerdingen vil hindre uønsket ferdsel av dyreliv og menneskelig aktivitet rundt solcelleanlegget. Der det er relevant må det vurderes viltpassasjer som kan innebære at utbyggingsområdet deles opp i flere delområder med hvert sitt gjerde eller å installere gjerder med midlertidige åpninger som kan benyttes i trekkesesongen.

5.4 Reguleringsplan

Arealer som vurderes utnyttet til kraftproduksjon vil være innenfor området regulert til vei eller jernbane, eller være innenfor arealer regulert til andre formål.

Innenfor område regulert til vei eller byggegrense

Dersom kraftproduksjon etableres innenfor et område regulert til vei eller bane vil behovet for å søke om dispensasjon fra reguleringsplanen avhenge av om kraftproduksjonen kan defineres som en del av vei- eller baneanlegget. Dersom kraftproduksjon fra for eksempel solceller forsyner vei- eller baneanlegget med strøm gjennom for eksempel belysning kan sannsynligvis kraftproduksjonen defineres som en del av vei- eller baneanlegget og man kan unngå behov for dispensasjon fra gjeldende plan. Dersom kraftproduksjonen derimot fungerer som et rent produksjonsanlegg med eksport av energi vil det sannsynligvis være behov for dispensasjon. Det vil også være behov for å søke om dispensasjon for bygging innenfor byggegrensen dersom den er fastsatt i reguleringsplan eller i bestemmelser til kommuneplanens arealdel. Der det ikke er regulert byggegrense må det søkes dispensasjon fra veiloven eller jernbaneloven som setter en standard byggegrense hvis et ikke fremkommer av reguleringsplanen.

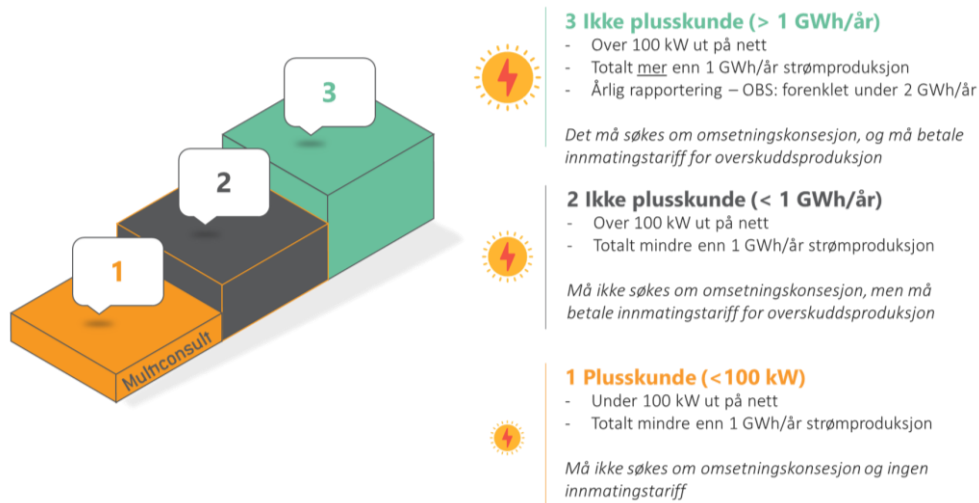
I tilfeller der det må søkes om dispensasjon søkes det til kommunen. Fylkesveiene eies av Fylkeskommunen og kan påvirke kommunen til å stille krav om at kraftproduksjon skal vurderes eller at det skal settes av arealer til kraftproduksjon på egnende strekninger. Når det skal bygges ny vei eller bane og det bestilles ny reguleringsplan for området kan det også stilles krav om at solkraft eller annen kraftproduksjon skal vurderes. Det kan eksempelvis etterspørres vurdering av mulighet for kraftproduksjon når Nye veier, Fylkeskommunen og andre instanser får kommuneplaner og reguleringsplaner på høring.

Utenfor område regulert til vei eller byggegrense

Vilkårene til å gi dispensasjon fra arealplan etter Plan- og bygningsloven anses som oppfylt dersom det foreligger en endelig anleggskonsesjon etter energiloven. Kommunen må likevel vurdere om det skal gis dispensasjon. Det er ikke reguleringsplikt for solkraftverk med konsesjon og kommunen kan derfor ikke pålegge utbygger å utarbeide et planforslag. Det kan likevel utarbeides en reguleringsplan noe som vil sikre en forsvarlig planavklaring og gjennomføring.

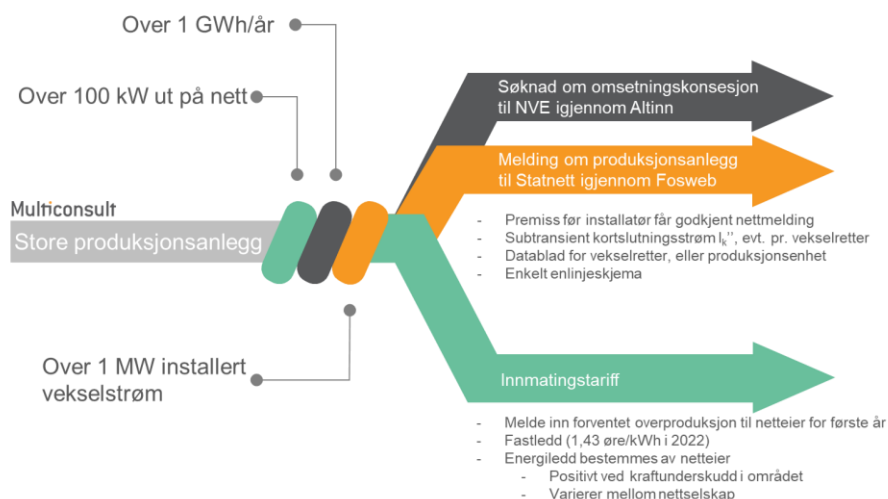
5.5 Regulatoriske forhold

De regulatoriske forholdene for produksjonsanlegg avhenger blant annet av størrelsen på anlegget. For solcelleanlegg gjelder plusskundeordningen dersom innmatet effekt i tilknytningspunktet ikke på noe tidspunkt overstiger 100 kW, nivå 1 i Figur 50. En plusskunde har fritak fra omsetningskonsesjon og innmatingstariff. Dersom eksportert energi overskrider 100 kW er sluttkunden ikke lenger en plusskunde og må betale innmatingstariff, nivå 2. Det må søkes om omsetningskonsesjon dersom årlig energiproduksjon er mer enn 1 GWh/år, nivå 3.



Figur 50: Regulatorisk forhold for solcelleanlegg. Illustrasjon: Multiconsult.

Regulatoriske forhold for store solcelleanlegg er vist i Figur 51. Ved installert effekt større enn eller lik 1 MW er det rapporteringsplikt til Statnett. Det må søkes om anleggskonsesjon dersom utbygger må etablere høyspenningsanlegg (spenning over 1 kV) for å få kraften ut på nettet.



Figur 51: Regulatoriske forhold for store produksjonsanlegg. Illustrasjon: Multiconsult.

5.6 Eierstrukturer

Som regel er det slik at veieier har strømavtalen som går til vegbelysning med mer. Normalt sett har Statens vegvesen eierskap for riks- og europaveiene i Norge, kommuneveier eies av kommunen og fylkesveier eies av Fylkeskommunen. Et produksjonsanlegg kan kjøpes og driftes av veieier eller det kan leases med ekstern finansiering. Ved leasing er det eier av produksjonsanlegget som investerer i og står for drift og vedlikehold. Vei- eller baneieier kan for eksempel tilbys en rimelig fastpris på strøm fra produksjonsanlegget.

Landarealer som bufferarealer eller andre arealer som eies av vei eller baneieier kan også gjøres tilgjengelige for private aktører som ønsker å bygge ut ny kraftproduksjon. I dag er mange aktører på utkikk etter egnede arealer til bakkemontert solkraft i Norge og arealer langs vei eller bane kan være attraktive. En solkraftutvikler vil typisk tilby arealeier en leieavtale som kompensasjon for bruk av eiendommen. Det kan derfor være fornuftig at vei- og banebransjen lager en strategi for håndtering av mulige henvendelser fra slike aktører.

6 Videre arbeid

- Kartlegge effekt- og energibehov
 - Målt effektforbruk for et tilstrekkelig stort utvalg av de ulike veitypene.
 - Innhente gjeldende og eventuelt fremtidige designnormer og -krav til som påvirker effekt- og energibruk både i bygge- og driftsfasen av vei- og baneanlegg. (F.eks. krav til smart trafikkavhengig lysdimming etc.)
 - Innhente gjeldende og fremtidige maksimumskrav til effekt- og energiforbruk for vei- og baneprosjekter.
- Kartlegge produksjonspotensialet
 - Kartlegging av hvilke områder langs vei og bane i Norge som er best egnet for solkraft eller annen fornybar kraftproduksjon og kvantifisere kraftpotensialet. Analysen kan gjennomføres i ArcGIS basert på detaljerte kartdata.
 - Gjennom prosjektet ENROAD utvikler SINTEF et verktøy for å finne den beste plasseringen av fornybar kraftproduksjon, energilagring og lading av biler langs veiene. Resultatene fra prosjektet var ikke å oppdrive i arbeidet med denne rapporten, men det anbefales å innhente resultater fra forskningsarbeidet.
- Standardisere design
 - For solkraft eller annen fornybar kraftproduksjon for integrering i vei- og bane infrastruktur.
- Tilpasse konstruksjonskrav
 - Etablere retningslinjer (i prosjektspesifikasjon, standard, norm, forskrift e.l.) som definerer krav om å legge til rette for installasjon av solkraft eller annen fornybar kraftproduksjon i nye vei- og baneprosjekter der det er egnet.
- Fjerne barrierer
 - Etablere en strategi for utbygging av kraftanlegg innenfor byggegrensen, eventuelt søke nødvendig dispensasjon fra regulatoriske krav som begrenser mulighetene.
 - Etablere en forretningsmodell som muliggjør rask og kostnadseffektiv utnyttelse av potensialet for kraftproduksjon.
 - Vei- og banebransjen lager en strategi for håndtering av mulige henvendelser fra private aktører som ønsker å utnytte arealer i nærhet av vei og bane.
- Kraftproduksjon inn i reguleringsplan og kommuneplan
 - Stille krav om at kraftproduksjon skal vurderes eller at det settes av arealer til kraftproduksjon på egnende strekninger i reguleringsplanen eller kommuneplanen når det skal bygges ny vei eller bane og det bestilles ny reguleringsplan.
 - Det kan etterspørres vurdering av mulighet for kraftproduksjon når Nye veier, Fylkeskommunen og andre instanser får kommuneplaner og reguleringsplaner på høring.
- Kartlegge økonomiske synergieffekter ved samlokasjon og utnyttning av infrastruktur til kraftproduksjon

Rapport

- Prosjektere og bygge konkrete anlegg (demo/pilot) for å tallfeste kostnadsreduksjon for investering og drift samt driftsinntekter fra strømsalg.

7 Vedlegg

«10217313-01-RIE-RAP-002_Rv01_Technical report Solar integration»

8 Referanser

- [1] «Klimagassutslipp fra transport i Norge,» Miljøstatus, 2021. [Internett]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-transport/>.
- [2] Statnett, «Kortsiktig Markedsanalyse 2022-27,» 2022.
- [3] T. K. Berentsen, «Solmarkedet tredobles,» Solenergiklyngen, 2022. [Internett].
- [4] Multiconsult, «Markedsrapport: Norsk solkraft 2022 - innenlands og eksport,» Solenergiklyngen.
- [5] ENROAD, «Supporting the implementation by NRAs of renewable energy technologies in the road infrastructure,» [Internett]. Available: <https://www.giteco.unican.es/proyectos/ENROAD/index.html>.
- [6] «Data for utbygde vindkraftverk i Norge,» NVE, 2022. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/data-for-utbygde-vindkraftverk-i-norge/>. [Funnet 12 12 2022].
- [7] «Finn vindkraftverk i kart,» NVE, [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kart/>.
- [8] M. Haase, «Building augmented wind turbines - BAWT,» SINTEF, 2015.
- [9] Ø. Holm, «Presentasjon Statsbygg,» Multiconsult, 2012.
- [10] «Trondheims eneste vindturbin blir forskningslab,» Adressa, [Internett]. Available: <https://www.adressa.no/okonomi/i/PyJbr0/tester-hvordan-det-er-a-kople-seg-av-stromnettet>.
- [11] «Vindturbin og mikronett på Øvre Langørjan på Byneset,» Norgesvel, [Internett]. Available: <https://www.norgesvel.no/fornybart-paa-garden/ovre-langorjan>.
- [12] I. L. Stranden, «Helt uavklart hva vindkraftdom vil bety for Norge,» NRK, 2021. [Internett]. Available: https://www.nrk.no/trondelag/helt-uavklart-hva-vindkraftdom-fra-hoyesterett-om-fosen-vind_-storheia-og-roan-vil-bety-for-norge-1.15686927.
- [13] «Storheia vindpark,» Wikipedia, [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/Storheia_vindpark.
- [14] KjellerVindteknikk, «Vindkart for Norge,» NVE, 2009.
- [15] T. Wigenstad, «ECO City. D.2.3.1.4 Bygningsintegreerte vindturbiner,» SINTEF Byggforsk AS, 2008.
- [16] R. Kennedy, «Rooftop wind energy innovation claims 50% more energy than solar at same cost,» PV Magazine, 2022. [Internett]. Available: <https://www.pv-magazine.com/2022/10/17/rooftop-wind-energy-innovation-claims-50-more-energy-than-solar-at-same-cost/>.
- [17] «New concept of affordable wind energy generators without blades,» VORTEX Bladeless, [Internett]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/726776/reporting>.
- [18] «Dam Kongsvinger,» FAS, [Internett]. Available: <https://www.fas.no/b/924/dam-kongsvinger>.
- [19] S. L. Norheim, «Innovasjon: MiniKraft i overvannsanlegg,» Multiconsult, 2020.
- [20] «Ferjefri E39, Subproject ENERGY,» Statens vegvesen, 2012.
- [21] N. Zabihi, «Recent Developments in the Energy Harvesting,» Lancaster University, 2020.
- [22] I. Rambæk, «Sol- og vindkraft skal forsyne veier i hele Europa med ladestrøm,» Gemini, [Internett]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/sol-og-vindkraft-skal-forsyne-veier-i-hele-europa-med-ladestrom/>.
- [23] «Solar panel covered Autobahn could speed German energy transition,» Recharge, [Internett]. Available: <https://www.rechargenews.com/transition/solar-panel-covered-autobahn-could-speed-german-energy-transition/2-1-854215>.
- [24] «National Mapping Tool for Highway Solar,» The Ray, [Internett]. Available: <https://theray.org/>.
- [25] «Investigation of PV potential on rail infrastructure,» pv Europe, 2022. [Internett]. Available: <https://www.pveurope.eu/planning/tuev-rheinland-investigation-pv-potential-rail-infrastructure>.
- [26] M. B. Høydal, Interviewee, *Potensialet for solkraft i veiprosjekter for Nye veier og Statens vegvesen (Norconsult)*. [Intervju]. 2022.
- [27] Ø. Holm, «RV 555 Sotrasambandet - Added Value Solar power Integration,» Multiconsult, 2020.
- [28] A. Lawson, «France to require all large car parks to be covered by solar panels,» The Guardian, 2022. [Internett]. Available: <https://www.theguardian.com/world/2022/nov/09/france-to-require-all-large-car-parks-to-be-covered-by-solar-panels>.

Rapport

- [29] K. Skogstad, «Målet er at ladeparken skal lage sin egen strøm,» TV2, [Internett]. Available: <https://www.tv2.no/broom/malet-er-at-ladeparken-skal-lage-sin-egen-strom/15327186/>.
- [30] J. Nilsen, «Disse solcellene fanger lyset fra begge sider. Nå lader de elbiler på Vestby.,» Teknisk ukeblad, 2016. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/disse-solcellene-fanger-lyset-fra-begge-sider-na-lader-de-elbiler-pa-vestby/347135>.
- [31] Vegdirektoratet, «Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning,» Statens vegvesen, 2021.
- [32] A. Berg, «Tolv tunneler på hovedveiene er mørklagte,» NRK, [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/vestland/riks--og-europaveier-i-norge-har-tunneler-uten-lys-1.14407586>.
- [33] «Europas første tunnel med solceller,» Stavanger Aftenblad, 2016. [Internett]. Available: <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/mLa5v/europas-foerste-tunnel-med-solceller>.
- [34] «Photovoltaic finish to road noise pollution,» World Highways, 2013. [Internett]. Available: <https://www.worldhighways.com/feature/photovoltaic-finish-road-noise-pollution>.
- [35] «DAS Energy,» [Internett]. Available: <https://das-energy.com/en/home>.
- [36] «Auroraslighting,» [Internett]. Available: <https://www.auroraslighting.com/>.
- [37] T. Hodges, «Renewable Roadsides,» United States Department of Transportation, 2019. [Internett]. Available: <https://highways.dot.gov/public-roads/winter-2019/renewable-roadsides>.
- [38] C. McFadden, «6 Examples of Solar Powered Roads That Could Be a Glimpse of the Future,» Interesting engineering, 2019. [Internett]. Available: <https://interestingengineering.com/science/6-examples-of-solar-powered-roads-that-could-be-a-glimpse-of-the-future>.
- [39] «WORK BEGINS TO CREATE WORLD'S LARGEST SOLAR BRIDGE AT BLACKFRIARS,» NetworkRail, [Internett]. Available: <https://www.networkrailmediacentre.co.uk/news/work-begins-to-create-worlds-largest-solar-bridge-at-blackfriars>.
- [40] «Railway Tunnel Infrastructure Is PV Bed,» Solarpedia, [Internett]. Available: https://www.solarpedia.com/13/400/6005/solar_tunnel_curving.html.
- [41] S. Enkhardt, «Solar for railways,» pv magazine, 2021. [Internett]. Available: <https://www.pv-magazine.com/2021/12/21/solar-for-railways/>.
- [42] E. Bellini, «South Korea tests photovoltaics on railroad noise barriers,» pv magazine, 2022. [Internett]. Available: <https://www.pv-magazine.com/2022/04/21/south-korea-tests-photovoltaics-on-railroad-noise-barriers/>.
- [43] «Drammen stasjon blir den første togstasjonen i Norge på solceller,» Bane NOR, 2020. [Internett]. Available: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2020/Drammen-stasjon-solceller/>.
- [44] «Causeymire wind farm is the most notherly site in the ventient energy portfolio,» Ventient Energy, [Internett]. Available: <https://www.ventientenergy.com/our-portfolio/causeymire/>.
- [45] A. D. Steffen, «Trains In The Netherlands Are 100% Powered By Wind,» Intelligent living, [Internett]. Available: <https://www.intelligentliving.co/trains-netherlands-wind/>.
- [46] A. Rathi, «One of the largest train companies in Europe now runs entirely on wind power,» Quartz, 2017. [Internett]. Available: <https://qz.com/882923/dutch-railways-one-of-the-largest-train-companies-in-europe-now-runs-entirely-on-wind-power>.
- [47] A. Jakobsen, «Norge kan få kortreist vindkraft fra industriområder – uten naturinngrep,» Teknisk Ukeblad, 2019. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/norge-kan-fa-kortreist-vindkraft-fra-industriomrader-uten-naturinngrep/479374>.
- [48] NVE, «Strømforbruk mot 2040,» NVE, 2019.
- [49] H. N. Støstad, «Norges areal 2021,» Naturvernforbundet, 2021.
- [50] S. vegvesen, «Dette må du tenke på,» Statens vegvesen, [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/langs-veien/soknad-om-dispensasjon-fra-byggegrenser/dette-ma-du-tenke-pa/>.
- [51] Lovdata, «Lov om anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m.»
- [52] BaneNOR, «Søknad om tiltak nær jernbane,» [Internett]. Available: <https://www.banenor.no/nabo/Soknad-om-tiltak-naer-jernbane/>.
- [53] VIA, «Potensial for næringsutvikling, Mer ambisiøse klimakrav til anleggsbransjen,» Multiconsult, Norcosult.
- [54] CEDR, «CEDR Energy efficiency in road operations and management,» 2016.
- [55] «CO2-fotavtrykk,» Nye Veier, [Internett]. Available: <https://www.nyeveier.no/om-oss/co2-fotavtrykk/>.

Rapport

- [56] «Sjekkliste klimatiltak i anleggsbransjen,» Nye Veier, Zero, 2020.
- [57] C. Poe, «Highway renewable energy : Photovoltaic Noise Barriers,» U.S.Department of Transportation, 2017.
- [58] M. Day, «Research and Analysis Demonstrate the Lack of Impacts of Glare from Photovoltaic Modules,» National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2018. [Internett]. Available: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/research-and-analysis-demonstrate-the-lack-of-impacts-of-glare-from-photovoltaic-modules.html>.
- [59] «Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT),» Sandia National Laboratories, 2015.
- [60] «Elektronisk kommunikasjon, Vindkraft,» NVE, 2022. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/elektronisk-kommunikasjon/>.
- [61] «Iskast fra vindturbiner,» NVE, 2022. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/iskast-fra-vindturbiner/>.
- [62] «Technical Report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers,» CEDR, 2017.