NVE

Varmepumper i energisystemet

Status og muligheter

60
2016

RAPPORT

Rapport nr 60-2016
Varmepumper i energisystemet

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Ingrid H. Magnussen

Forfattere: Torgeir Ericson, Audun Fidje, Jon Erling Fonneløp, Benedicte Langseth, Ingrid H. Magnussen, William W. Rode, Bernt Saugen

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: Kun elektronisk
Forsidefoto: Foto: Enova. Illustrasjon: Novap
ISBN 978-82-410-1513-7
ISSN 1501-2832

Sammendrag: Omlag halvparten av norske eneboliger har varmepumper, de fleste er luft-luft varmepumper. NVE beregner at varmepumper leverte 15 TWh varme i bygningsmassen i 2015, med et elforbruk på 6,5 TWh. Trendfremskrivinger mot 2030 viser en økning til 18-20 TWh varme i 2030. En teknisk-økonomisk modellering viser et potensial på ytterligere 8 TWh varme fra varmepumper.

Emneord: Varmepumper, fremskriving, TIMES-modell, teknologiutvikling, energisystem, effekt, effektuttak, lastflytting

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Juli 2016

Innhold

1 Dagens marked ... 9

1.1 Salgstall for varmepumper i Norge ... 9

1.2 Installert kapasitet i varmepumper ... 13

1.3 Energibidrag fra varmepumper ... 14

2 Valg av oppvarmingsteknologi i boliger ... 17

3 Dagens virkemidler ... 19

3.1 Støtte fra Enova ... 19

3.2 Energimerking av bygninger ... 20

3.3 Energikrav byggteknisk forskrift (TEK) ... 21

3.4 Virkemidler i Sverige ... 22

4 Teknologi og varmepumpeløsninger ... 24

4.1 Teknologibeskrivelse ... 24

4.2 Varmepumpers effektbelastning ... 26

4.3 Valg av varmepumpeløsning ... 26

4.4 Teknologisk utvikling ... 27

4.5 Kombinasjonsløsninger ... 28

5 Varmepumpenes bidrag i energi- og kraftsystemet ... 30

5.1 Ressurspotensial ... 30

5.2 Fremskrivinger ... 30

5.3 Sammenstilling og drøfting ... 38

6 Varmepumper og effektbelastning ... 40

6.1 Effektbelastning fra varmepumper på kalde dager - eksempler ... 42

6.2 Lastflytting med varmepumper ... 45

7 Referanser ... 48

Vedlegg ... 50

Vedlegg A – Teknologibeskrivelse varmepumpe ... 50

Vedlegg B – Eksempler på varmepumpeinstallasjoner ... 53

Vedlegg C – Potensial overflatevann og grunnvann ... 57

Vedlegg D – Forutsettinger i Excel-fremskrivingen ... 58

Vedlegg E – TIMES-modellen ... 59

Forord

Varmepumper har de siste 10 til 15 årene hatt en økende utbredelse og spiller i dag en viktig rolle i det norske energi- og kraftsystemet. Spesielt har den store økningen i installasjon av luft-luft varmepumper til husholdningene på begynnelsen av 2000-tallet bidratt til at varmepumper i dag har blitt en vanlig varmeløsning i eneboliger. Varmepumper med vannbårne systemer er langt mindre utbredt, men disse har også hatt en stor økning siden 2000 og er grunnet sin størrelse i all hovedsak benyttet i yrkesbygg.

NVE har i denne rapporten sett på varmepumpers bidrag i energi- og kraftsystemet i dag og hvilken rolle de kan komme til å spille frem mot 2030. Varmepumper leverer i dag rundt 15 TWh varme og trekker om lag 6,5 TWh elektrisitet årlig.

Utviklingen av varmepumper fremover vil avhenge av flere forhold som teknologi-utvikling, energi- og kraftmarked, energipolitikk, virkemiddelbruk og samfunnstrender. Økende andel lavenergiboliger, utfasing av oljefyr, utbredelse av smarte energimålere og mulighet for lastflytting vil ha innvirkning på valg av oppvarmingsteknologi.

Frem mot 2030 viser framskrivningene utført av NVE at varmebidraget fra varmepumper kan øke til 18-20 TWh med et økonomisk potensial på ytterligere 8 TWh.

Med tanke på fremtidige analyser av varmepumper og deres plass i energi- og kraftsystemet er NVE takknemlig for innspill på forutsetninger og antagelser som er benyttet i denne rapporten.

Oslo, juli 2016

Anne Vera Skrivarhaug
avdelingsdirektør

Birger Bergesen
seksjonssjef

Begrepsliste

Begreper	Forklaring
Energibruk	Bruk av alle typer energivarer (elektrisitet, fjernvarme, olje, gass, kull, bioenergi, bensin/diesel).
Elektrisitet	Elektrisk energi, kalles også elektrisk kraft, kraft, og strøm.
Effekt (elektrisk)	Elektrisk effekt er mottatt eller avgitt elektrisk energi per tidsenhet. Effekten blir målt i watt (W).
Effektuttak	Uttak av effekt i nettet på et gitt tidspunkt.
Effektfaktor **Varmefaktor** **COP**	Effektfaktor, varmefaktor eller COP angir utbyttet fra varmepumpen «Coefficient of Performance» angir utbyttet fra (varmefaktoren for) varmepumpen. COP er forholdet mellom avgitt effekt som varme, og tilført effekt.
Årsvarmefaktor **SCOP** **SPF**	"Seasonal Coefficient of Performance" eller «Seasonal performance factor". Den angir varmepumpens gjennomsnittlige COP over året, Også kalt årsvarmefaktor.
Omgivelsesvarme	Varmen som varmepumpen henter fra omgivelsene - «gratisvarme». Omgivelsesvarmen er lik energien varmepumpen leverer fratrukket energien brukt til å drive pumpen.
Bergvarme/ grunnvarme	Varme fra grunnfjellet som brukes til varmepumpe. Utvinnes ved hjelp av borehull som gjerne er 60 - 200 meter dype.
Jordvarme	Solenergi som er lagret i bakken og hentes ut på omtrent 1 meters dyp for å brukes i varmepumpe.
Overflatevann	Samlebegrep for sjøvann, innsjøer og elver.
Brukstid **(for varmepumpe)**	Brukstid = levert energi per år (kWh) / maksimalt effekt (kW) i varmepumpen. I praksis er dette det samme som varmepumpens driftstimer over året omregnet til antall timer pumpen ville vært i bruk ved maksimal effekt.
Virkningsgrad	Virkningsgrad er forholdet mellom avgitt effekt og tilført effekt i en maskin eller et system. Virkningsgrad er et enhetsløst tall med en verdi mellom 0 og 1 og skrives ofte i prosent.

Inverterstyrt varmepumpe	Inverteren kontrollerer hastigheten på kompressoren i ute-delen ved å hele tiden endre frekvensen. Flyten av kjølevæske i system justeres etter hvert som temperaturen endrer seg. Kalles også turtallsregulert og frekvensregulert varmepumpe.
AMS	«Avanserte måle- og styringssystemer». Innen 1.1.2019 får alle strømkunder installert AMS-målere for automatisk avlesing av strømbruken hver time.
Lastflytting	Flytting av effektlaster fra et tidspunkt til et annet.
Passivhus (passivbygg)	Et passivhus er et bygg som bruker lite energi sammenlignet med vanlige hus. Det brukes passive tiltak for å redusere energibehovet, slik som ekstra isolasjon, ekstra gode vinduer, ekstra god tetthet, og gjenvinning av varmen som slippes ut gjennom ventilasjonssystemet.
TEK	Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)

Sammendrag

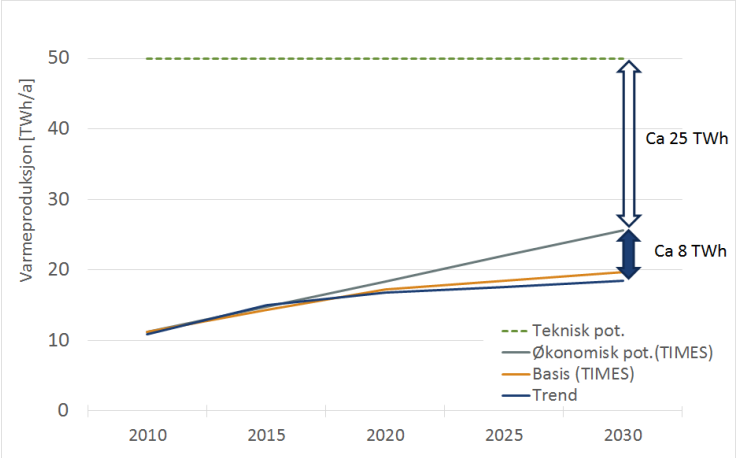
Varmepumpeteknologi bidrar til effektiv energiutnyttelse til varmeformål. NVE har i denne rapporten sett på varmepumpenes plass i energi- og kraftsystemet, beregnet dagens varmeproduksjon og kraftforbruk, og fremskrevet potensialet mot 2030.

Norge har en svært høy dekningsgrad av varmepumper i forhold til andre land i Europa, med ca 750 000 varmepumper i drift. De fleste er luft-luft varmepumper under 10 kW installert i husholdninger. Beregninger fra NVE viser at varmepumper i Norge samlet produserte 15 TWh varme i 2015. Over året trekker de ca 6,5 TWh elektrisitet, og henter ut omlag 8,5 TWh omgivelsesvarme. Installert kapasitet i varmepumper utgjør om lag 5,3 GW varmeeffekt.

Forbrukere er opptatt av komfort når de velger oppvarmingssystem, dette gjør varmepumper til en attraktiv løsning. Varmepumper er i de fleste tilfeller dyrere i anskaffelse enn helelektriske oppvarmingssystem, utbredelse av varmepumper påvirkes derfor av både økonomiske og regulatoriske virkemidler. Enova forvalter ulike tilskuddsordninger, energimerking fremmer bygninger med god energitilstand, og nybygg reguleres av byggteknisk forskrift.

Varmepumper muliggjør utnyttelse av lavtemperaturkilder som blant andre uteluft, overflatevann[1] og bergvarme til oppvarming av bygg og tappevann. De bidrar til redusert energibruk, men effektbelastningen på nettet avhenger av type varmepumpe og behovet for ekstra spisslast på kalde dager. Nye varmepumpeteknologier i samspill med lagringsløsninger, soltermisk eller solceller øker bruksområdene og utbyttet fra varmepumpesystemer.

Fremskriving basert på historisk salgsstatistikk for varmepumper estimerer 18 TWh varmeproduksjon og 8 TWh elforbruk i varmepumper i Norge i 2030. Modellering av energisystemet viser et teknisk-økonomisk potensial på ytterligere 8 TWh varmeproduksjon. Dagens utvikling vil altså ikke utløse hele det teknisk-økonomiske potensialet. Teknisk kan alt varmebehov i bygningsmassen dekkes av varmepumper, dette potensialet anslås å være i overkant av 50 TWh.



[1] Overflatevann er samlebetegnelse på sjøvann, innsjøer og elver

Varmepumpers belastning på kraftnettet avhenger av valgt varmepumpeteknologi. Dagens varmepumper reduserer effektbelastningen på en kald dag med om lag 1 GW i sammenlignet med bruk av panelovner. Dersom all elektrisk oppvarming ble erstattet med væske-vann varmepumper viser beregningene en reduksjon på ytterligere 2 GW effekt. Varmepumper tilkoblet vannbårne systemer har mulighet for energilagring som gjør lastflytting mulig. En stor del av dagens oljeforbruk i husholdninger bør kunne erstattes av væske-vann varmepumper.

Hvilken rolle varmepumper vil spille i fremtiden avhenger av adferdsmessige faktorer, teknologiutvikling og hvilke type varmepumper som tas i bruk. Lavere energibehov i nye bygg endrer behovet for oppvarmingsløsninger. Det er viktig å videreutvikle kunnskap om varmepumpers samspill med energi- og kraftsystemet.

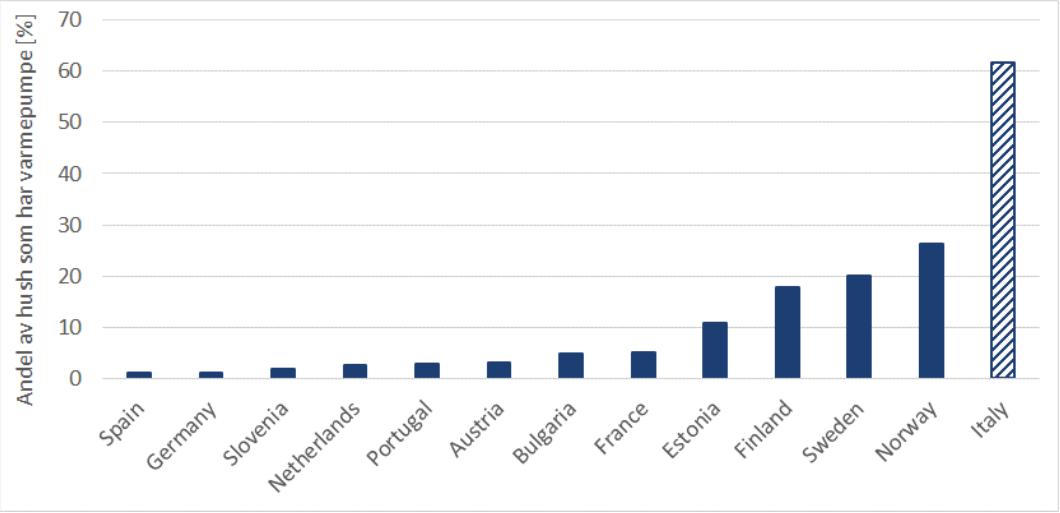
1 Dagens marked

Varmepumper har fått en stor utbredelse i Norge, med mer enn 750 000 installerte varmepumper. De fleste er luft-luft varmepumper med en varmeeffekt på under 10 kW, og er installert i husholdninger. Beregninger viser at varmepumpene produserte rundt 15 TWh varme i 2015. Installert kapasitet i varmepumper utgjør mer enn 5 GW varmeeffekt.

I dette kapitlet gir vi en oversikt over varmepumpemarkedet i Norge. Vi presenterer salgstall, med fordeling på ulike varmepumpeteknologier og sektorer. I tillegg anslår vi hvor mye effekt som er installert i varmepumper i Norge, og hvor mye varme de bidrar med i energisystemet.

1.1 Salgstall for varmepumper i Norge

Varmepumper har de siste ti årene hatt en sterk salgsutvikling og en rask utbredelse i Norge. Vi har mer enn 750 000 installerte varmepumper i Norge, de fleste av disse i husholdningene (NOVAP, 2015). Figur 1-1 viser at Norge har en dekning av varmepumper i husholdninger på om lag 27 %, som er høyt sammenlignet med andre land i Europa. Nesten halvparten av norske eneboliger har varmepumper, mens andelen er langt lavere i rekkehus og blokk.



Figur 1-1 Utbredelse av varmepumper i husholdninger i Europa, 2012, prosent[2]. Kilde: (Odyssee, 2015) (NOVAP, 2015)

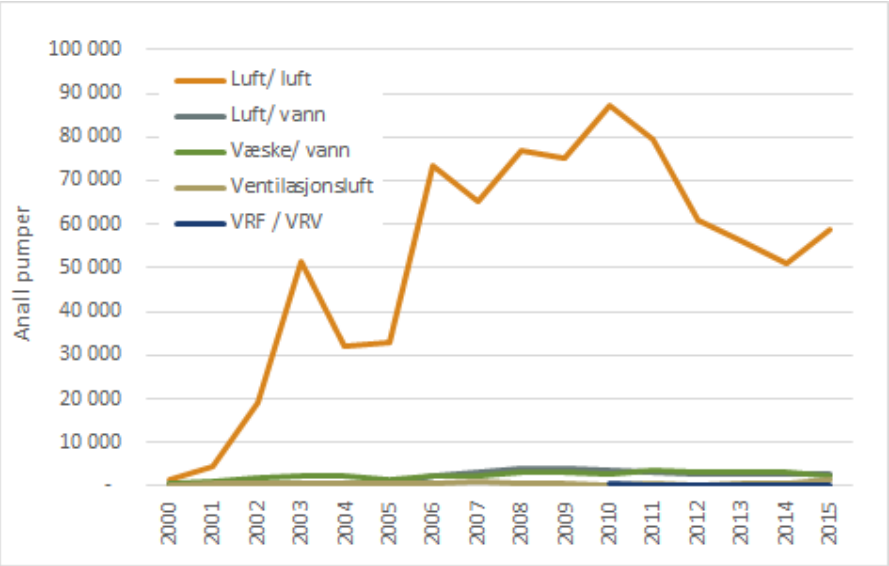
Selv om vi har en høyere dekning enn for eksempel Sverige og Finland, er det ikke gitt at energibidraget fra varmepumpene er høyere. Hvor mye pumpene produserer av varme

[2] For Italia inkluderer statistikken også husholdninger med luft-luft enheter som primært brukes til kjøling.

avhenger av hvilke pumpetyper som er installert, hvor stor varmeeffekt og virkningsgrad de har, og hvilken brukstid de har.

Det føres salgsstatistikk over salg av varmepumper i Norge. Norsk Varmepumpeforening (NOVAP, 2015) har gitt Prognosesenteret i oppdraget å samle inn statistikk fra importørene av varmepumper. 27 importører av varmepumper rapporterte inn tall til statistikken i 2014. NOVAP anslår at aktørene som innrapporterer sine tall dekker mer enn 90 % av de installerte varmepumpene i Norge. De resterende 10% er i stor grad væske-vann, større enn 20 kW. Det betyr at våre beregninger underestimerer noe for væske-vann varmepumper i yrkesbygg og boligblokker.

Statistikken deles i kategoriene luft-luft, luft-vann, væske-vann, ventilasjonsluft og VRF/VRV[3]. Figur 1-2 viser utvikling i salg av varmepumper i Norge siden 2000. Luft-luft varmepumper dominerer statistikken, disse utgjør om lag 90 % av det totale salgsvolumet. Av disse er mer enn 90 % solgt til husholdningene. De aller fleste luft-luft varmepumpene som selges har en effekt på mindre enn 10 kW. Salget av luft-luft varmepumper steg kraftig i 2003, da Enova lanserte et tilskudd til varmepumper (se kapittel 3.1). Salget av denne typen varmepumper har fortsatt å øke også etter Enova avviklet støtten til luft-luft varmepumper. I 2006 ble en ny støtteordning fra Enova etablert, med blant annet tilskudd til vannbårne varmepumpesystemer. Ordningen omfattet ikke støtte til luft-luft varmepumper.



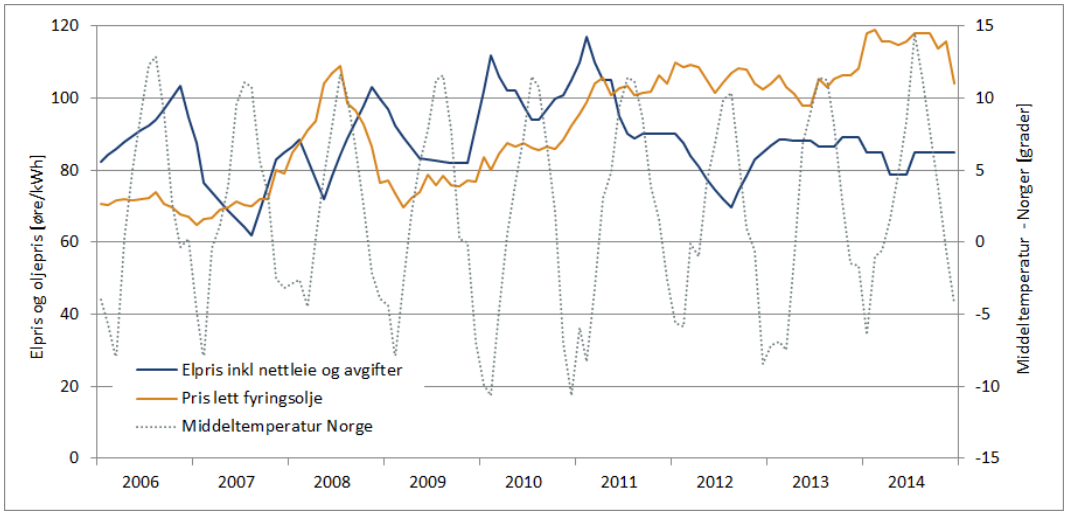
Figur 1-2 Utvikling i salg av varmepumper i Norge 2000-2015, Kilde NOVAP

I årene etter 2010 har salget av luft-luft varmepumper blitt redusert, noe som sannsynligvis skyldes synkende elektrisitetspriser for husholdningene, kombinert med milde utetemperaturer. I 2010 var det uvanlig lange kuldeperioder både ved inngangen og utgangen av året, mens de påfølgende årene ikke hadde like kalde og lange vintre. Kraftpriser og temperaturer vises i Figur 1-3. Elprisen til sluttbruker (husholdningene) har

[3] VRF/VRV er luft/luft varmepumper med en noe mer avansert styring/regulering.

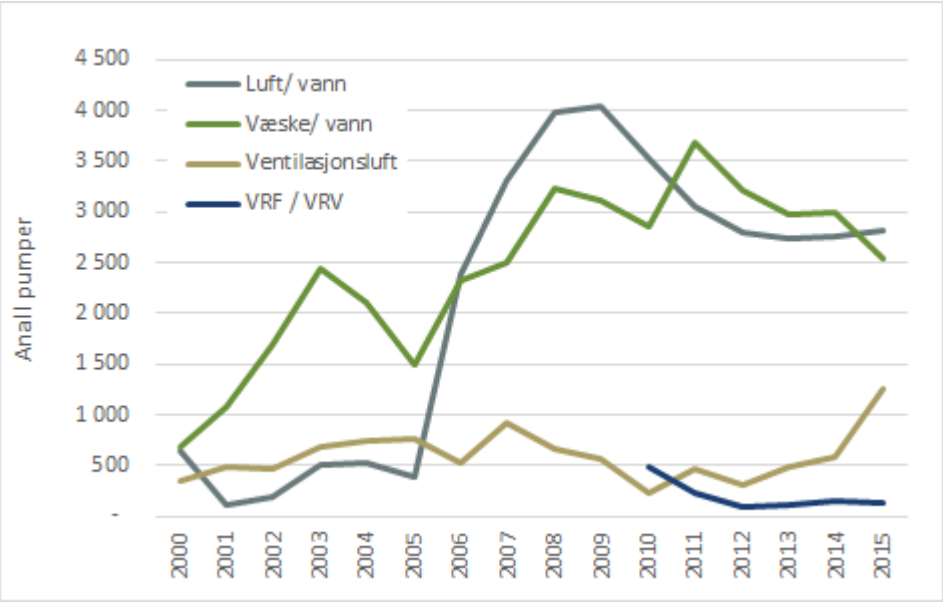
steget fra rundt 50-60 øre på begynnelsen av 2000-tallet, til rundt 80 øre i 2014. Først steg prisen med en kraftig topp i 2003 som følge av tørrår. Deretter sank den før den igjen begynte å stige fra 2005, med en ny topp den kalde vinteren 2010. Etter 2010 har den igjen sunket, men ligger høyere enn i 2000.

Prisen på fyringsolje har også steget siden 2009, noe som har ført til en overgang fra bruk av olje i oppvarming, til mer bruk av elektrisitet. En studie utført av SSB for NVE viser blant annet en tydelig nedgang de siste ti årene i oljebasert oppvarming (SSB, 2014).



Figur 1-3 Utvikling i elpris, oljepris og middeltemperatur Norge 2006-2014. Kilde: (Nordpool, 2015), (eKlima, 2015), (SSB, 2015)

Som vist i Figur 1-2 hadde luft-luft varmepumper en markant vekst i 2003 og en salgstopp i 2010, mens de andre pumpetypene hadde en helt annen utvikling. I Figur 1-4 er luft-luft pumpene fjernet for å tydeliggjøre utviklingen til de andre pumpene. Disse pumpene selges i stor grad til mer profesjonelle aktører eller større boligprosjekter. Væske-vann har hatt en sterk utvikling de siste ti årene, med en økning i det årlige salget fra om lag 1000 pumper i år 2000 til drøyt 3000 de siste årene. Luft-vann varmepumper viser også en sterk utvikling. Over 70 % av væske-vann og luft-vann varmepumpene som selges er relativt små, med lavere effekt enn 10 kW.



Figur 1-4 Utvikling i salg av varmepumper (ekskludert luft-luft) i Norge 2000-2015, Kilde: (NOVAP, 2015)

Tabell 1-1 viser hvordan NOVAP anslår fordeling av salg av ulike pumpetyper på de ulike sektorene.

Tabell 1-1 Anslått fordeling av varmepumpesalg på ulike sektorer. Kilde: (NOVAP, 2015).

Type varmepumpe	Husholdning	Tjenesteytende	Industri
Luft/luft	93 %	7 %	-
Luft/vann	83 %	17 %	-
Væske/vann	84 %	15 %	1 %
Ventilasjonsluft	68 %	32 %	-
VRV/VRF	-	100 %	-

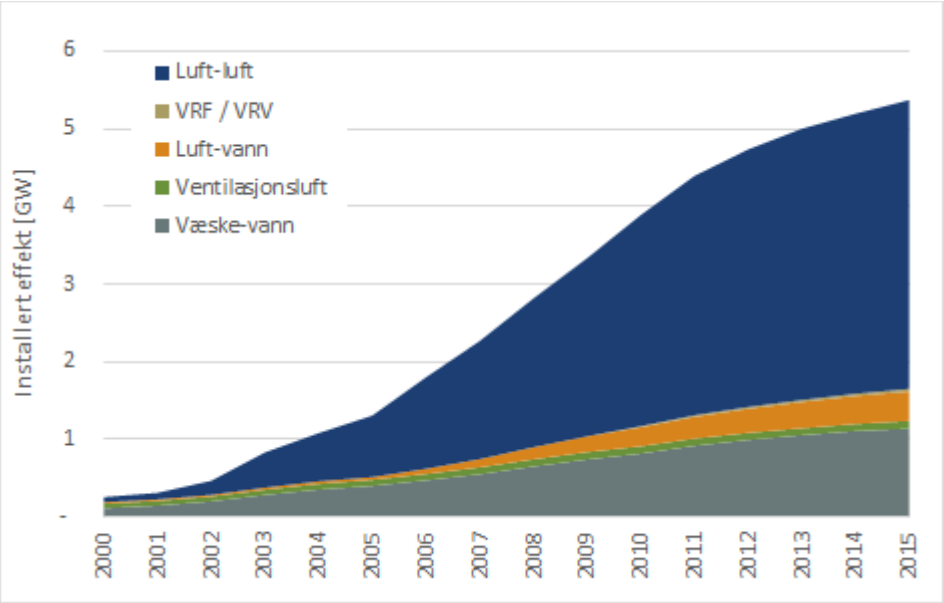
De fleste varmepumpene som selges er i effektklassen under 10 kW. Dette gjelder særlig luft-luft varmepumpene, hvor det i snitt de siste fire årene ble solgt om lag 60 000 pumper hvert år, se Tabell 1-2

Tabell 1-2 Salgstall varmepumper i ulike effektklasser, gjennomsnitt 2010-2015 [Antall/år]. Kilde: (NOVAP, 2015)

kW	Luft-luft	Luft-vann	Ventilasjonsluft	VRF/VRV	Væske-vann
< 10 kW	64 488	2 162	483	76	2 260
10-20 kW	1 002	622	24	61	467
21-50 kW	44	77	46	58	157
51-100 kW	31	45	4	10	88
101-500 kW	27	41	1	0	54
501-1000 kW	-	2	-	-	14
>1000 kW	-	-	-	-	4

1.2 Installert kapasitet i varmepumper

Installert kapasitet fra varmepumper tilsvarer i dag om lag 5,4 GW varmeeffekt. Til sammenligning er installert kapasitet i vannkraftproduksjon i Norge ca 31 GW. Som vist i Figur 1-5 representerer luft-luft varmepumper størst installert effekt. Væske-vann varmepumper er den nest største gruppen.

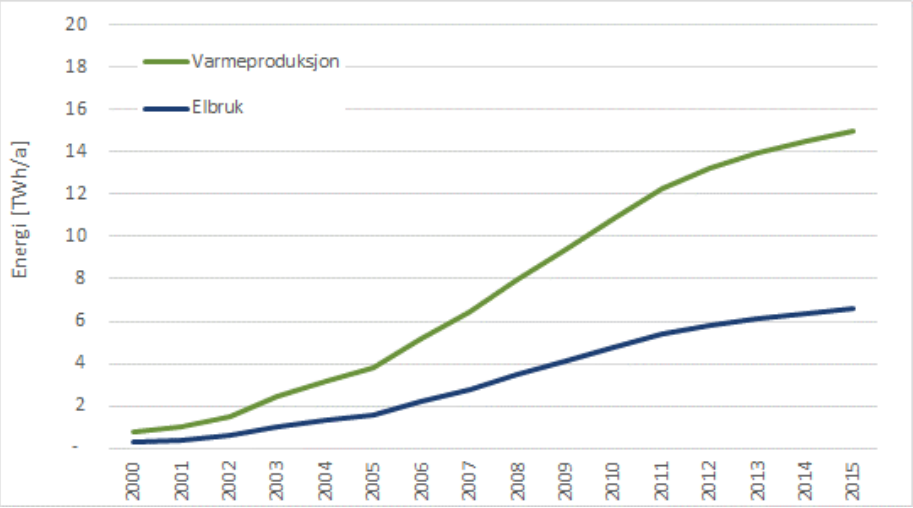


Figur 1-5 Installert effekt i varmepumper. Kilde NOVAP/NVE

1.3 Energibidrag fra varmepumper

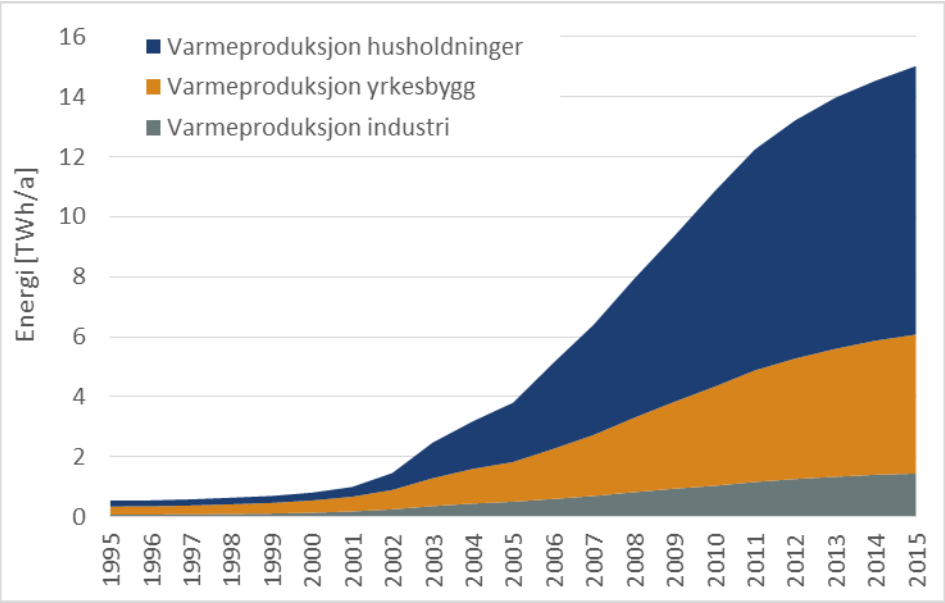
NVE har beregnet energibidraget fra varmepumper fra slutten av 80-tallet til i dag. Beregningene baserer seg på salgsstatistikk fra NOVAP, og er vist i Figur 1-6. Av figuren ser vi at varmepumpene produserte omlag 15 TWh varme 2015. Over året brukte de rundt 6,5 TWh elektrisitet, og hentet mer enn 8,5 TWh omgivelsesvarme. Omgivelsesvarmen er «gratisvarmen» som varmepumpen henter fra omgivelsene. Omgivelsesvarmen er dermed lik det totale varmebidraget levert fra pumpen, minus energien som går med til å drive pumpen.

Som vi ser av Figur 1-6 er det totale bidraget fra omgivelsesvarme større enn mengden elektrisitet som går til å drive varmepumpene. Størrelsen på andelen fra omgivelsesvarme avhenger av hvilke pumpetyper som installeres, og hvor god effektfaktor de har. Jo bedre effektfaktor, jo mer omgivelsesvarme klarer de å utnytte i forhold til mengden elektrisitet som går med for å drifte pumpene. Væske-vann varmepumper har for eksempel høyere effektfaktor enn luft-luft varmepumper, og vil dermed med samme mengde elektrisitet utnytte mer omgivelsesvarme enn en luft-luft varmepumpe.

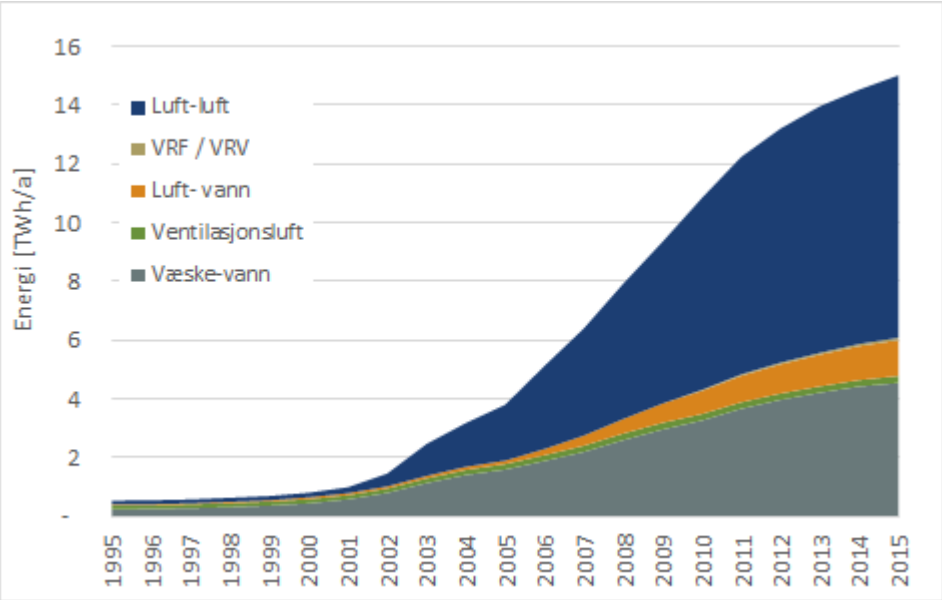


Figur 1-6 Varmebidrag fra varmepumper. Kilde: NOVAP og NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015)

Figur 1-7 og Figur 1-8 viser hvordan varmeproduksjonen fordeler seg på ulike sektorer og varmepumpeteknologier. Her ser vi at luft-luft og væske-vann bidrar med mest varmeproduksjon totalt for Norge, og at det er omtrent lik varmeproduksjon i husholdningene og yrkesbygg. Dette er beregnet gitt forutsetninger om pumpenes egenskaper og driftstid som er vist i Tabell 1-3.



Figur 1-7 Varmeproduksjon fordelt på sektor Kilde: (NOVAP, 2015) og (NVE, 2015)



Figur 1-8 Varmeproduksjon fordelt på teknologi. Kilde: (NOVAP, 2015) og (NVE, 2015)

Tabell 1-3 Forutsetninger lagt til grunn i denne rapport ved beregning av energibidrag fra varmepumper

	Luft-luft	Luft-vann	Væske-vann	Vent.luft	VRF/ VRV
Levetid [År]	10	15	20	15	10
Brukstid[4] [Timer]	2400	3200	4000	2400	2400
Effekt [kW] Snitt	5,4	13,5	21,7	13,3	21,4
Effekt husholdn. [kW]	5	6	7	5	5
Effekt yrkesbygg [kW]	11	45	130	35	29
Effekt industri [kW]	-	-	1200	-	-
SPF[5]					
SPF – husholdn.	2,0	2,4	2,9	2,0	2,0
SPF – yrkesbygg	2,0	2,4	3,0	2,0	2,0
SPF – industri	-	-	3,5	-	-

Forutsetningene er hovedsakelig basert NVEs kostandsrapport (NVE, 2015).

[4] Brukstid = levert varme per år (kWh) / maksimalt effekt (W)

(Pumpens driftstimer over året, oversatt til antall timer pumpen er i drift ved maksimal effekt)

[5] SPF = seasonal performance factor. I denne utregningen er SPF satt som varmepumpesystemets SPF. Det vil si at virkningsgraden tar høyde for både pumpens virkningsgrad, og distribusjonssystemets virkningsgrad.

2 Valg av oppvarmingsteknologi i boliger

Ulike studier gjennomført i Norge viser at husholdningene blant annet er opptatt av komfort, automatikk og transaksjonskostnader når de velger oppvarmingssystem. Dette gjør at varmepumper kan være en attraktiv løsning. Kunden er også opptatt av miljø og økonomi, men komfortkravet synes dominerende.

Dette kapitlet handler om private forbrukernes motivasjon for å velge varmepumper, og hvilke faktorer de vektlegger. Beslutningsprosessen for investeringer i næringsbygg vil være annerledes. Her er beslutningstakerne mer profesjonelle, man har gjerne lengre tidsperspektiv for nedbetaling av investeringer, og man legger større vekt på økonomien i investeringen.

Når en bruker står ovenfor valg om investering i oppvarmingsutstyr er det mange faktorer som spiller inn på brukerens valg. Brukerne må ta hensyn til fysiske rammer som bruksområde, varmebehov, ønsket temperaturnivå på varmesystemet (temperaturløft), tilgang til varmekilde (som f.eks. sjøvann), tilgjengelig teknologi, eksisterende varmesystem i bygget, investerings- og driftskostnader, energipriser, transaksjonskostnader og egne preferanser. Hvis bygget er nytt står brukeren noe friere, men en del av rammene gjelder fortsatt. I tillegg vil andre adferdsfaktorer spille inn, slik som oppfatning av komfort, tid og enkelhet.

Byggeiere som skal renovere oppvarmingssystemet sitt forholder seg til andre forhold enn de som bygger nytt. Ved renovasjon vil det eksisterende varmesystemet i bygget spille en viktig rolle, ettersom det har betydning på nivå for investeringskostnader. Dersom for eksempel bygget har oljekjel, vil infrastrukturen for vannbåren varme allerede være i bygget. Men likevel kan ikke byggeieren velge varmepumpe fritt. Bygg som har blitt varmet med vannbåren varme fra oljekjel her gjerne høytemperatur system med varmeavgivelse gjennom radiatorer. Eieren må da enten velge en varmepumpe som gir høy turtemperatur, eller investere i flere varmeavgivelsesenheter, og en varmepumpe med lavere turtemperatur.

Størrelsen på investeringen er også en viktig faktor, særlig for private husholdninger. Selv om en varmepumpe med vannbårent system kan være det mest lønnsomme over tid, kan valget være styrt av husholdningens tilgjengelige midler. For privatpersoner er det stor forskjell på en investering på 20 000 kr og en investering på 200 000 kr. Selv om den siste summen vil gi en varmepumpe og et varmesystem med god virkningsgrad og god lønnsomhet, er det ikke gitt at husholdningen har mulighet til å ta denne investeringen, og må dermed velge systemet som koster 20 000 kr.

En doktorgradsavhandling tar for seg hvordan aktørene rasjonaliserer sine valg med hensyn til energibruk og energieffektivisering. (Godbolt, 2014). I avhandlingen vises det hvordan myndighetene har forutsatt at markedsaktørene er opptatt av energikostnader og gjør økonomisk rasjonelle valg, mens aktørene i virkeligheten vektlegger helt andre aspekter, som transaksjonskostnader, tillit, moral og kollektivt ansvar.

Avhandlingen viser at forbrukerne er opptatt av viktigheten av klimatiltak, og at de derfor gjerne hadde skyldfølelse knyttet til energibruk. Men samtidig foretok de valg som var styrt av komfort og bekvemmelighet. De argumenterer for sin energibruk ut fra hva de har behov for, og en opplevd rettighet til tilgang på tilstrekkelig energi. Energieffektivisering

er således delvis i konflikt med deres oppfatning av hvilke behov de skal dekke, hva de fortjener og hva de er berettiget. De mener energieffektivisering er viktig, samtidig som de mener at deres effektivisering på noen områder gjør at de kan bruke mer på andre områder. Disse funnene kan støtte opp om folks villighet til å investere i varmepumpe, de opprettholder komfort, samtidig som de gjerne oppfatter at de gjør et klimatiltak.

En studie av kundens opplevelse av luft-luft varmepumper, gjennomført av SIFO (2015), viser at motivasjonen for valget av denne oppvarmingsløsningen gjerne var komfort i kombinasjon med økonomi. Miljø og bærekraftighet var noe de omtalte mer generelt, ikke direkte knyttet til sin anskaffelse. Komfort var det viktigste argumentet, med momenter som jevn temperatur, automatikk, luftkvalitet, usynlighet og barnesikkerhet. Studien viser også at økonomiske besparelser fort kan spises opp av endret praksis hos husholdningene. Dette kan for eksempel være økt temperatur, større oppvarmede arealer, oppvarming i flere av døgnets timer samt at teknologien brukes på uforutsette måter for eksempel til kjøling. SIFO viste også gjennom intervjuer med aktører i bransjen at pumpene gjerne monteres eller brukes feil, noe som reduserer effektfaktoren og dermed den økonomiske besparelsen.

3 Dagens virkemidler

Varmepumper krever i de fleste tilfeller en større investering enn helelektriske oppvarmingssystemer. Utbredelse av varmepumper påvirkes derfor av virkemidler. Enova forvalter ulike tilskuddsordninger, og gir støtte til væske-baserte varmepumpeløsninger. Energimerking fremmer bygninger med god energitilstand, og varmepumper bidrar til bedre oppvarmings- og energikarakter. Nybygg reguleres av byggteknisk forskrift (TEK10), hvor energiforsyningskravene gir insentiver for varmepumper.

I dette kapitlet beskriver vi kort de viktigste virkemidlene som påvirker salg og bruk av varmepumper i Norge. Virkemidlene kan deles i to områder. Støtteordninger som gir direkte tilskudd, og rammevilkår som indirekte påvirker valg av oppvarmingsteknologi.

Støtteordninger har stor innvirkning på utbredelsen av varmepumper. Norge er i en særstilling ved at en stor del av bygningsmassen har oppvarming og tappevann basert på direktevirkende elektrisitet. Dette har lave installasjonskostnader, fordi bygningen i alle tilfeller skal ha infrastruktur for elektrisitet. Investeringskostnadene ved varmekabler eller panelovner er derfor ikke så store. Felles for de fleste andre oppvarmingsløsninger, deriblant varmepumper, er at de representerer større investering enn helelektrisk oppvarming, og derfor framstår som dyre i anskaffelse. Støtteordninger kan derfor bidra til å dra i gang markedet for teknologier som varmepumpesystemer.

3.1 Støtte fra Enova

Enova hadde i 2003 en tilskuddsordning der husholdningene fikk 5000 kr for installasjon av luft-luft varmepumpe. Om lag 50 000 søkte om støtte. Dette bidro til økt oppmerksomhet om varmepumper og stimulerte markedet. Resultatet ble en sterk vekst i utbredelsen av varmepumper i Norge, langt over antall utbetalte tilskudd. I 2006 ble en ny støtteordning for energieffektiviseringstiltak etablert, med blant annet tilskudd til vannbårne varmepumpesystemer. Luft-luft varmepumper får ikke lenger Enova-støtte, da dette markedet blir ansett som modent og installasjonen kostnadseffektiv uten støtte. Noen kommuner gir fortsatt støtte til installasjon av luft-luft varmepumper. I perioden 2006-2011 ble det innvilget om lag 50 000 tilskudd til energieffektiviseringstiltak, hvorav om lag 25 000 for luft-vann varmepumper. Den kraftige veksten i salget i forbindelse med støtteordningene viser tydelig at tilskuddsordninger kan ha stor effekt.

Enova har nå nye støtteordninger for varmepumper, endret fra 15.januar 2015.

- Enova har opprettet et nytt program for støtte til privatpersoner. Støtte gjennom programmet «Enovatilskuddet» er nå rettighetsbasert, dvs at privatpersoner kan motta støtte uten først å søke om dette. Dette skal gi en forenklet støtteberegning, brukeren sender inn kvittering og får da støtte.
- Det er kun luft-vann og væske-vann varmepumper som støttes. For luft-vann varmepumpe gis opp til 25 % av dokumentert kostnad, maks kr 10 000. Maksbeløpet økes til kr 20 000 dersom varmepumpen har energimålere. Støtte til væske-vann varmepumpe gis også med opptil 25 % av dokumentert kostnad, maks kr 20.000. Maksbeløpet økes til kr 30 000 dersom varmepumpen har

energimålere. Dersom man samtidig fjerner oljekjel/-kamin og –tank dekkes 25 % av kostnadene for dette (inntil kr 10 000).

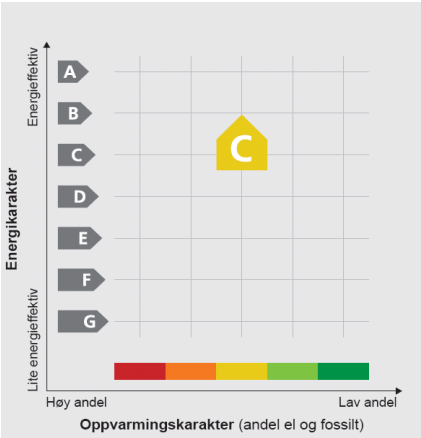
- Installasjon av soltermisk anlegg støttes også med kr 10.000 – noe som kan kombineres med væske-vann varmepumpe.
- Det gis også støtte til energirådgivning for bolig utført av Enova-godkjent energikonsulent. Støtten gis for 50 % av kostnaden, maks kr 5000. Dette kan påvirke utbredelsen av varmepumper da en energirådgiver ofte vil anbefale varmepumpe som en energieffektiv og kostnadseffektiv oppvarmingsteknologi.
- For sameier og borettslag (minst 10 enheter) har Enova ulike støtteprogram for kartlegging av energisparingspotensiale, oppgradering av eksisterende bygninger og installasjon av varmesentral. Støtteprogrammene krever søknad før tiltaket påbegynnes.
- For næringsbygg finnes også flere ulike støtteprogram som kan omfatte varmepumper, blant annet program for bygg og eiendom og program fornybar varme. Støttebeløpet er ikke fast, og det kreves søknad før tiltaket påbegynnes. Det gis støtte både til eksisterende bygg og til energieffektive nybygg.

3.2 Energimerking av bygninger

Kravet om energimerking av bygninger ble innført ved lov i Norge 01.07.2010. Det er et virkemiddel for å fremme salget av bygninger med god energitilstand, alle andre ulike forhold tatt i betraktning. Energimerket består av en energikarakter og en oppvarmingskarakter. Enova har ansvaret for energimerkeordningen, mens NVE fører tilsyn.

Ved bruk av varmepumpe benytter man seg av omgivelsesenergi for å minske behovet for levert (kjøpt) energi til bygget. Dette virker positivt inn på både energikarakter og oppvarmingskarakter i energimerke. For ambisiøse byggeiere som ønsker å markedsføre sine bygg som energivennlige betyr dette en mulighet for å få til en løsning som gir lavere energikostnader for potensiell eier, kjøper eller leietager, samtidig som de får et bedre energimerke.

Energikarakteren settes ut fra beregnet levert energi til systemgrense bygning. Ved energifleksible systemer som vannbårne systemer er det alltid distribusjons- og varmeavgivelsestap, og disse tar man hensyn til i beregningene. Spesielt tap fra varmeanlegget bidrar til at sluttkunden får mindre varmeenergi og -effekt levert der man vil ha det, når man vil ha det. Dette bidrar til dårligere energikarakter.



Figur 3-1 Energimerket består av energikarakter og oppvarmingskarakter. Kilde: NVE

På den annen side vil energifleksible systemer ha mange andre kvaliteter. Bruk av varmepumpe og termisk sol som utnytter omgivelsesvarme har årseffektfaktorer som langt overgår tap i distribusjon og avgivelse, og vil dermed bidra til bedre energikarakter. Eneregikarakteren vil da kunne flyttes lenger opp på den vertikale aksen i energimerket, se Figur 3-1.

Varmepumper har effektfaktorer som kan ligge i området 1,5 til 4,5. Det vil si at bruk av varmepumpe vil minske det beregnede behovet for levert energi og kan derfor medføre en bedre energikarakter sammenliknet med andre teknologier.

Varmepumper i energisentraler som forsyner et begrenset antall bygninger eller bygninger innen samme virksomhet, regnes innenfor systemgrense bygning. Ved å dele varmepumpe og energisentral vil disse bygningene dermed oppnå et bedre energimerke, samtidig som de reduserer investeringskostnadene. Dette gjelder der investeringen er gjort av foretak, sameie eller borettslag, og kan for eksempel være borettslag eller sykehus.

Oppvarmingskarakteren sier noe om hvor stor andel av energibehovet som kan dekkes av ikke-fossil og ikke-direktevirkende elektrisk varme. Også denne karakteren kan påvirkes positivt ved valg av varmepumpe. Hvor mye er avhengig av varmepumpeteknologi, en væske-vann varmepumpe vil gi en bedre oppvarmingskarakter enn en luft-luft varmepumpe. Som en tommelfingerregel vil dyrere teknologier gi høyst besparelse, men ofte til langt høyere investeringskostnader. Ved valg av bedre teknologi kan oppvarmingskarakteren flyttes mot høyre på den horisontale aksen i energimerket.

Det har vært en økende interesse for gode og robuste varmepumpesystemer som kan bidra til bedre energikarakter og lavere energibehov. Bygget kan da være mulig å leie ut eller selge til høyere pris med bedre energimerke.

3.3 Energikrav byggteknisk forskrift (TEK)

Utformingen av bygninger reguleres i forskrift om tekniske krav til byggverk, også kalt byggteknisk forskrift, eller TEK. Per i dag er det TEK10 som er gjeldende, den kom i revidert utgave 01.01.2016. Veileder til forskriften er ventet 01.07 2016. TEK10 setter blant annet krav til energiforsyning som gir insentiver til bruk av varmepumper i nybygg og til en viss grad i eksisterende bygg. De viktigste momentene i TEK 10 og andre reguleringer som påvirker valg av oppvarmingssystem:

- Det er ikke lenger tillatt å bruke fossilt brensel til oppvarming av nye bygg.
- Hver boenhet i småhus (dvs eneboliger, to- og firemannsboliger, rekkehus mm) skal ha egen skorstein, med unntak av boenheter med vannbåren varme eller som har varmebehov som ikke overskrider varmebehovet til passivhus.

- Andre bygg under 1000 kvadratmeter har ikke noen spesielle krav til energiforsyning,
- Bygg over 1000 kvadratmeter oppvarmet areal skal ha energifleksibelt varmesystem og det skal legges til rette for bruk av lavtemperatur varmeløsninger.
    - Energifleksibelt varmesystem gjør det mulig å dekke varmebehovet med ulike varmekilder. Kravet innebærer ikke at man har flere varmekilder tilgjengelig, men at man har en reell mulighet til å bytte varmekilde i fremtiden.
    - Netto varmebehov er i denne sammenheng både netto energibehov til varmt tappevann og til rom- og ventilasjonsoppvarming
    - Energifleksibelt trenger ikke å bety vannbårne distribusjonssystemer. For bygg som bygges etter passivhusstandardene NS3700 og NS3701 eller bedre, er det mulig å få til oppvarming med overtemperatur på ventilasjonsluften. Fravær av kulderas fra vinduer, fravær av kuldebroer og stor tetthet gjør dette mulig. Her kan også varmepumper dekke oppvarmings- og kjølebehovet.
- I et stortingsvedtak fra 10. mai 2016 ber Stortinget regjeringen om å skjerpe kravene til bygg over 1000 kvadratmeter slik at disse må dekke 60 % av netto varmebehov med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet. Dette er ikke innarbeidet i lovverket ennå.
- En kongelig resolusjon av 1998 pålegger alle statlige bygg over 500 kvadratmeter å ha vannbåren varme.
- Der det er gitt konsesjon til fjernvarme, kan det i de kommunale plan og bygningslovene stilles krav om tilknytningsplikt
    - Som alternativ kan lokale bygningsmyndigheter gi dispensasjon fra tilknytningsplikten der en mer «klimavennlig» løsning kan velges. I mange søknader som gjelder fritak fra tilknytningsplikt til fjernvarme fremheves varmepumpe som en del av en mulig løsning.

3.4 Virkemidler i Sverige

Sverige har sammenlignbare klimatiske forhold som Norge, og potensialet for varmepumper er derfor på samme nivå. Likevel er utbredelsen ulik i de to nabolandene. Sverige har større utbredelse av fjernvarme enn Norge, og i mindre grad oppvarming basert på direktevirkende el. Valget står derfor i mange områder i stor grad mellom fjernvarme og varmepumpe. Norge hadde i 2003 støtte til luft-luft varmepumper som ga stor utbredelse av dette. Den norske støtteordningen etter 2006 ga tilskudd til både luft-vann og væske-vannvarmepumper, men det er i all hovedsak luft-vann som har blitt installert som følge av støtten. I Sverige ble støtten i 2006-2010 fokusert på berg-, sjø- og jordvarmepumper. Dette har gitt et velfungerende marked for væske-vann varmepumper, og lavere priser for installasjon og komponenter enn det vi ser i Norge.

I en rapport fra Energimyndigheten 2011 sammenfattes barrierer og forutsetninger for varmepumper i Sverige. På sammen måte som i Norge utgjør miljøregler for byggetillatelser, effektkrav, økodesignkrav og EU-forordninger de vesentligste rammevilkårene for utbredelsen av varmepumper i Sverige. (Energimyndigheten, 2011)

Byggereglene som regulerer maksimal tillatt kjøpt energi til bygningsmassen favoriserer varmepumper framfor fjernvarme, men samtidig kan regler for maks tilført effekt legge begrensninger for flere varmepumper. Det påpekes også at kommende økodesignkrav vil være vanskelig å innfri for luft-luft varmepumpene som er i markedet, og enkelte pumper vil derfor falle ut av markedet.

I Sverige var det fra 2006 til 2010 en støtteordning for konvertering fra oppvarming med oljekjel eller fra direktevirkende elektrisitet til utnyttelse av fjernvarme, berg-, sjø- og jordvarmepumper og biobrenselbaserte vannbårne system (Energimyndigheten, 2011) (NVE, 2015). Støtten utgjorde 30 % av investeringskostnadene, oppad begrenset til SEK 30.000 pr bolig. Støttens formål var å fremme effektiv og miljøtilpasset energiutnyttelse og samtidig være teknologinøytral. Det ble bevilget støtte til 18 500 konverteringer, hvorav 34 % av søknadene og 21 % av tildelte midler gikk til varmepumpesystemer. Konvertering til fjernvarme sto for en betydelig større andel av utbetalt støtte. Fjernvarmekonvertering var særlig utbredt i nordlige deler av Sverige, grunnet god tilgang på spillvarme fra industri, mens høye fjernvarmepriser i Stockholmsområdet førte til større andel varmepumpekonverteringer.

4 Teknologi og varmepumpeløsninger

Varmepumper muliggjør utnyttelse av lavtemperaturkilder som blant andre uteluft, overflatevann[6] og bergvarme til oppvarming av bygg og tappevann. De gir effektiv energiutnyttelse og bidrar til redusert energibruk. Effektbelastningen varmepumpene utgjør på kraftnettet avhenger imidlertid av type varmepumpe og behovet for varme på kalde dager. Kombinasjon av ulike teknologier og lagringsløsninger vil øke bruksområdene og utbyttet fra varmepumpesystemer, samtidig som de kan redusere effektbelastning på nettet. Varmepumper har varierende investerings- og driftskostnader, avhengig av bygningens varmebehov og oppvarmingssystem.

I dette kapittelet beskrives teknologien i varmepumper, og ulike anvendelser i det norske energisystemet I en verden med stadig økende energibehov og globale utfordringer knyttet til utslipp av klimagasser er vi avhengige av en utvikling i retning effektiv bruk av energi. Varmepumpeteknologi bidrar til effektiv utnyttelse av energi til bygningsmassens to største energiposter, oppvarming av bygget og av tappevann. Varmepumpers anvendelse har et bredt spekter fra små enkeltstående luft-luft varmepumper til større varmepumper i industri og fjernvarmesystem.

4.1 Teknologibeskrivelse

Varmepumper bruker en liten andel elektrisk energi til å hente ut en større andel varmeenergi fra en kilde med lav temperatur. Varmepumpeteknologien hever temperaturen slik at varmen kan utnyttes til oppvarmingsformål (romoppvarming og tappevann). Med varmepumper kan en gjøre nytte av en rekke lavtemperatur fornybare energikilder som for eksempel omgivelsesvarme i uteluft, sjøvann, grunnvann, bergvarme og jordvarme eller overskuddsvarme (spillvarme) fra ventilasjonsluft, avløpsvann/kloakk, spillvann (gråvann) og kjølevann fra industri. Varmepumper brukes også til kjøling, frysing og produksjon av prosessdamp og varme for industri. Forholdet mellom avgitt energi og tilført energi til varmepumpen kalles for effektfaktoren eller varmefaktoren, og avhenger av både temperaturløftet og egenskapene til varmepumpen. For hver grad redusert temperaturløft regner man med 2-3 % høyere effektfaktor (Zijdemans, 2012). Årsvarmefaktor defineres som årlig varmeleveranse fra varmepumper dividert med årlig energi brukt for drift av kompressorer, pumper og vifter. For beskrivelse av varmepumpers virkemåte se Vedlegg A.

Konstruksjon og drift av varmepumpe er avhengig av den valgte varmekilden. Tabell 4-1 viser aktuelle varmekilder for Norge med temperaturvariasjon og tilgjengelighet.

[6] Overflatevann omfatter sjøvann, innsjøer og elver.

Tabell 4-1. Aktuelle varmekilder for varmepumper i Norge. Kilde: (NGI, 2011)

Varmekilde	Temperaturvariasjon [°C]		Tilgjengelighet
	Fra	Til	
Sjøvann	+2	15	God/begrenset (langs kysten, i fjorder)
Innsjøvann	+1	20	Begrenset
Elvevann	0	20	Begrenset
Grunnvann	+3	8	Begrenset
Fjell (berg)	-2	8	God
Jord	-5	10	Begrenset
Uteluft	-40	30	Ubegrenset
Ventilasjonsluft	+5	25	God
Gråvann	20	30	God
Kloakk	+2	15	Begrenset
Prosessvann	Over 10		Begrenset

Uteluft er den mest vanlige varmekilden for varmepumper i norske boliger på grunn av lave investeringskostnader. Samtidig er tilgjengelig varme i motfase med varmebehov, da de har kraftig redusert effektfaktor og ytelse på vinteren, når det er lave utetemperaturer. Uteluft som varmekilde for varmepumper er best egnet på Sørlandet og i kystklima med milde vintre.

Vannbaserte varmepumper medfører graving/boring, og har derfor høyere investeringskostnader enn luftbaserte varmepumper. Men de har en fordel i at vann har høy varmelagringskapasitet. Som varmekilde brukes det grunnvarme, overflatevann og jordvarme. Temperaturen til disse varmekildene varierer mindre over året, har tidsforsinkelse i forhold til uteluft og har høyere middeltemperatur i fyringssesongen. Denne typen varmepumper egner seg godt i regioner med kalde vintre. Årseffektfaktoren er dermed høyere enn for varmepumper basert på uteluft. I følge en rapport fra IEA (IEA, 2014) varierer effektfaktor for luftbaserte varmepumper i Sverige fra 1,8 til 4, mens varmepumper som bruker grunnvarme har effektfaktor mellom 2,8 og 6.

De fleste luft-luft-varmepumper kan reverseres og brukes til kjøling om sommeren (air-condition). Siden de fleste boliger i Norge ikke har kjøleanlegg i dag vil utstrakt bruk av luft-luft varmepumper til kjøling kunne medføre økt energibruk. For næringsbygg kan kjøling med varmepumper være mer effektivt enn konvensjonelle kjølemaskiner, og kan dermed bidra til redusert energibruk.

Varmepumper basert på overflatevann, grunnvarme og jordvarme kan brukes til passiv kjøling om sommeren. Overskuddsvarmen kan brukes til oppvarming av tappevann via varmepumpen. Bergvarme og jordvarme kan ha mulighet for å lagre overskuddsvarme, som kan bidra til å øke temperaturen til varmekilden og dermed effektiviteten til varmepumpa. Et slikt termisk lager gjør et energisystem mer fleksibelt og reduserer

etterspørselen etter kraft i perioder med høy belastning på kraftnettet. For større anlegg og brønnparker kan sesonglagring av varme være mulig, men virkningsgraden vil avhenge av bergart og grunnvannsgjennomstrømning.

4.2 Varmepumpers effektbelastning

Varmepumpeteknologi bruker elektrisk kraft til å hente ut energi fra en kilde med relativt lav temperatur (omgivelsesvarme) og løfter dette til utnyttbar varme. Varmereservoaret kan være uteluft, fjell, sjøvann og grunnvann. Mens oppvarming med direktevirkende elektrisitet (panelovner eller el-kjel) gir maksimalt 1 kWh varme pr kWh kraft man bruker, vil 1 kWh brukt i varmepumper gi i området 1,5 - 4,5 kWh varme, avhengig av type varmepumpe og årstid. Stor utbredelse av varmepumper i bygningsmassen vil derfor redusere energien brukt til oppvarming.

Effektbelastningen i kalde perioder avhenger derimot av valgt varmepumpeteknologi. Bergvarme, sjø- og grunnvann er varmekilder med stabil temperatur hele året. Varmepumper med slike varmekilder vil derfor gi godt utbytte også på kalde dager, og er derfor gunstige for å avlaste nettet. Luft-luft varmepumper henter energi fra uteluften, og når det er kaldt ute er det lite energi i uteluften, slik at luft-luft varmepumper gir redusert utbytte når varmebehovet er størst. En bygningsmasse med luft-luft varmepumper kan gi en stor belastning på kraftnettet på de kaldeste dagene dersom de har direktevirkende elektrisk oppvarming (panelovner og el-kjel) som spisslast. Men ettersom luft-luft varmepumper har lavere investeringskostnader, er de mer utbredt, spesielt i boliger.

En kraftig varmepumpe trekker mye effekt i startøyeblikket. Varmepumper som ikke har turtallsregulering, men kun slås av og på gjentatte ganger, kan derfor bidra til utfordrende effekttopper. For luft-luft varmepumper og luft-vann varmepumper har turtallsregulering (inverterstyring) de senere årene blitt mest utbredt, og denne teknologien gir jevnere belastning på strømnettet. Se vedlegg A for ytterligere forklaring.

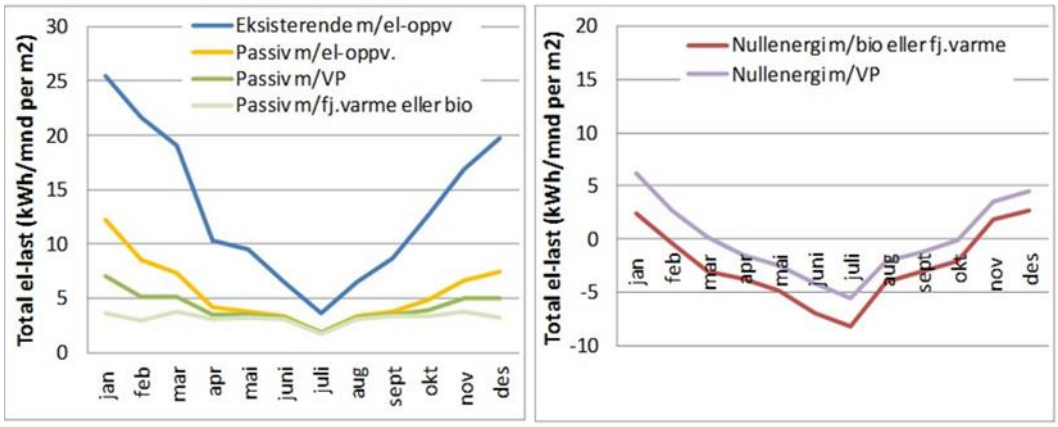
4.3 Valg av varmepumpeløsning

Valg av varmepumpesystemer for ulike deler av bygningsmassen vil avhenge av egenskaper ved det enkelte bygg. Rehabilitering av eksisterende bygg med stort oppvarmingsbehov vil ha andre krav enn systemløsningene i godt isolerte nybygg. Kontorbygg med kjølebehov og lite tappevannsforbruk vil ha andre krav enn hoteller og sykehus som har høyere tappevannsbehov. God systemvirkningsgrad avhenger av et gjennomtenkt og korrekt installert og driftet varmepumpesystem. Det er derfor viktig at både byggeiere, leverandører og montører er bevisst dette i hele rehabiliterings- eller byggeprosessen. I vedlegg F vises 6 eksempler på varmepumpeløsninger og priser for noen utvalgte bygg.

Hovedvekten av dagens bygningsmasse er bygget etter eldre byggeforskrifter, og har derfor større oppvarmingsbehov enn nye bygg. Varmepumpeløsninger vil derfor gi stor energibesparelse ved rehabilitering. Nybygg og bygg som er oppført etter passivhusstandard vil ha lavere oppvarmingsbehov. Likevel vil varmepumpeløsninger gi et bidrag til å redusere energibruken ytterligere.

Målinger gjort i bygg med energistandard fra ulike byggetekniske forskrifter sier noe om utvikling av energi- og effektbruk i nye versus eksisterende bygg. Figur 4-1 viser målinger som er gjort på elektrisitetsbruk i skolebygg. Målinger er gjort i 27 vanlige skolebygg, et passivbygg og et nullenergibygg. Deretter er kurvene justert for temperaturavhengig del av forbruket, slik at de viser forbruksprofiler ved samme utetemperaturprofil for gjennomsnittlige skolebygg, passiv skolebygg og nullenergi skolebygg. I disse beregningene ser man at både energi- og effektbehov er lavere i passiv- og nullenergibyggene, og de høyeste vintertoppene dempes dermed. Det er særlig oppvarmingsbehovet som reduseres i nye bygg med bedre standard. Det vil fremdeles være effektvariasjoner over døgnet, men forskjellene over året reduseres, ettersom oppvarmingsbehovet reduseres.

Av figurene ser vi at energibruken i de kalde periodene halveres i skolebygg bygget etter passivbyggstandard med elektrisk oppvarming sett i forhold til eksisterende bygg. Dersom bygget har oppvarming via varmepumpe eller fjernvarme reduseres elektrisitetsbruken ytterligere, til henholdsvis ca. 30 % og 15 % av dagens bygg i de kalde månedene. Nullenergibyggene har ifølge figuren et svært lavt energibehov i de kalde månedene, med kun 10-25 % av energibehovet i forhold til dagens bygg.



Figur 4-1 Måling av energibruk over året i skolebygg; eksisterende, passivbygg og lavenergibygg. Kilde: (K. B. Lindberg, 2013) og (K. B. Lindberg, 2015)

4.4 Teknologisk utvikling

Varmepumpers utbredelse og potensiale avhenger av faktorer som investeringskostnad, virkningsgrad, brukstid, støy, pålitelighet og vedlikeholdskostnader. Teknologien er i stadig utvikling, men noen temaer kan likevel nevnes.

Uteluft som varmekilde er godt egnet fordi dette er lett tilgjengelig og gir en billig installasjon, men ulempen er at varmekildens temperatur om vinteren er i motfase med varmebehovet. Det satses mye på utvikling av luft-varmepumper bedre egnet for kalde klima. Når utetemperaturen er så lav som 15 minusgrader kan nye varmepumper ha en effektfaktor på over 1,5, mens dagens varmepumper da har effektfaktor på nærmere 1,0.

Dersom dette bedres vil det kunne påvirke effektbruken, energibidrag og utbredelsen av varmepumper i Norge.

Støy er en viktig problemstilling ved luftdrevne varmepumper, særlig i tettbygde strøk og i blokker og borettslag. Støy kan derfor legge begrensning på utbredelse av varmepumper. Men både produsenter og installatører har fokus på problematikken for å utvikle produkter med mindre støy og sikre montering som reduserer støybelastningen.

Norge er i en særstilling internasjonalt ved at vi varmer tappevann med elektrisitet. De aller fleste norske bygninger har en varmtvannsbereder med akkumulatortank. Tanken representerer et varmelager som med relativt enkel styring kan utnyttes til effektutjevning i elektrisitetsnettet. Men varmtvannsberederen drives av direktevirkende el-kolbe. Her er det potensial for bruk av varmepumper med høyt temperaturløft spesialtilpasset tappevann. Valg av arbeidsmedium gjør at de kan gi store temperaturløft, og fortsatt ha god virkningsgrad. Slike pumper har fått stor utbredelse i Japan og øker i antall også i Sentral-Europa. De er spesielt interessante i bygninger som har et relativt stort tappevannsbehov i forhold til oppvarmingsbehov, og er dermed veldig relevante i nybygg, der oppvarmingsbehovet er lavt. Overgang til tappevannsvarmepumper i Norge vil gi en mer effektiv energiutnyttelse og redusere energibruken til varmt tappevann vesentlig.

Varmepumper gir mulighet for godt samspill med fjernvarmenettet. Både i Oslo, Sandvika, Ålesund, Sortland og flere andre steder brukes store varmepumper til produksjon av fjernvarme, med blant annet sjøvann og kloakk som varmekilde. I Europa drives nå fjernvarmesystemet flere steder i en kombinasjon med varmepumper i hver bygning. Dette muliggjør lavere temperatur på fjernvarmesystemet, noe som gir lavere varmetap og større mulighet for å hente spillvarme fra industri og næringsliv. Særlig i sommerhalvåret med lavt oppvarmingsbehov er det gunstig å bruke varmepumper i hver bygning framfor å holde hele fjernvarmesystemet på høy temperatur for kun å dekke tappevannsbehovet, noe som gir lav systemvirkningsgrad.

4.5 Kombinasjonsløsninger

Kombinasjon av ulike teknologier, for eksempel solenergi, varmepumper og bioenergi sammen med lagringsløsninger vil kunne redusere effektbelastning på nettet. Vi beskriver her noen ulike løsninger som er aktuelle i Norge.

4.5.1 Varmepumper og solceller

Varmepumper drives av elektrisitet, og kan tilknyttes lokal kraftproduksjon fra solceller. Når solcellene produserer elektrisitet kan denne benyttes til å dekke bygningens kraftbehov. Dersom varmepumpen er tilknyttet akkumulatortank for tappevann eller vannbåren romoppvarming kan varmepumpen styres slik at den produserer hver gang det er overskudd av kraft fra solcellene. Dermed kan energien lagres i form av varmtvann og effektuttaket fra nettet reduseres også i perioder av døgnet der solcellene ikke produsere kraft.

4.5.2 Termisk sol, grunnvarme og varmepumper

En kombinasjon av termiske solfangere, akkumulatortank og bergvarmepumpe gir mulighet for lagring av energi og utjevning av effektuttak. Når solfangerne produserer varmt vann vil dette brukes til oppvarming av bygget og av tappevann, og varmepumpen bidrar dersom solinnstrålingen ikke er sterk nok. I perioder der solfangerne produserer mer varmt vann enn bygningen tar ut kan varmen overføres til en energibrønn/borehull (bergvarme), og dermed gi energilagring ved at varmen lagret i grunnen kan hentes ut senere og brukes i varmepumpen. Dette vil dermed redusere effektuttaket fra el-nettet ytterligere sammenlignet med en bergvarmepumpe uten termiske solfangere. Ved større brønnparker kan dette muliggjøre sesonglagring fra sommer til vinter.

Dersom bygget har kjølebehov vil energibrønnene kunne benyttes til å kjøle bygningsmassen om sommeren og lagre overskuddsvarmen i energibrønnene for å øke utbyttet om vinteren. For større bygg trenger ikke solfangerne være plassert på tak, men kan også være nedgravde jordsløyfer/bakkesolfangere under for eksempel parkeringsplasser eller grøntarealer. Flere næringsbygg er de siste årene bygget med slike anlegg, og mindre anlegg for bolighus blir nå også tilgjengelig. Eksempler på slike anlegg i Norge er Ljan skole i Oslo og Powerhouse på Kjørbo i Bærum.

4.5.3 Varmepumper og bioenergi

Mange husholdninger med luft-luft varmepumpe benytter vedovn som tilleggsvarme på kalde dager. Vedovn krever manuell fyring, alternativt kan en automatisert pelletskamin kunne dekke mye av varmebehovet. Ved vannbåren oppvarming og luft-væske varmepumpe kan vedovn med vannkappe eller en pelletskjel være et supplement på kalde dager.

Væske-vann varmepumpe kan kombineres med bioenergi. Effektuttaket til en væske-vann varmepumpe vil i kalde perioder være mindre enn for luft-luft og luft-vann varmepumpe i tilsvarende bygg. Men både punktvarmeløsninger for biobrensel (vedovn eller pelletskamin) og vannbårne systemer (pelletskjel eller vedovn med vannkappe) vil kunne kombineres godt med væske-vann varmepumpe, og dermed ytterligere redusere behovet for økt effektuttak på kalde dager.

5 Varmepumpenes bidrag i energi- og kraftsystemet

NVE har fremskrevet varmeproduksjon fra varmepumper på bakgrunn av historisk utvikling og ved hjelp av TIMES-modellen. Resultatene viser en varmeproduksjon i 2030 på rundt 18-20 TWh. Det økonomisk lønnsomme potensialet er likevel betydelig større, omlag 26 TWh i 2030.

5.1 Ressurspotensial

Oppvarming av rom og tappevann i bygninger utgjør i dag godt over 50 TWh, og teoretisk sett kan alt dette dekkes av varmepumper. Kjøling kan også dekkes av varmepumper. NVEs beregninger i kapittel 1.3 viser at det i dag produseres mer enn 15 TWh varme fra varmepumper. Selv om ressursgrunnlaget for varme fra varmepumper er enormt, er likevel potensialet begrenset til behovet for varme. Varmebehovet er i hovedsak knyttet til oppvarming og varmt tappevann i bygningsmassen[7].

Arealet i bygningsmassen forventes å øke en del mot 2030. Men energibehovet vil ikke øke like mye, ettersom en del av bygningsmassen i 2030 vil være nybygg, og disse vil ha et lavere energibehov enn dagens bygningsmasse.

Asplan Viak har gjennomført en studie som viser potensialet for varme fra sjøvann på ca 55 TWh (Asplan Viak, 2011). NGI har gjort en tilsvarende studie for potensialet for varme fra grunnvann, og kommet til at dette er på 16 TWh (NGI, 2011). Disse to potensialene er dels overlappende med hverandre, da de begge tar utgangspunkt i oppvarmingsbehov i bygningsmassen. Se mer om disse i Vedlegg C. NVE har gjort fremskrivinger ved to ulike modeller. Disse er gjengitt i kapittel 5.2.

5.2 Fremskrivinger

Teknisk-økonomisk potensiale for energi fra varmepumper i bygningsmassen er kartlagt ved å gjøre fremskriving av potensialet mot 2020 og 2030 ved hjelp av to modeller:

- Fremskriving basert på historisk utvikling
    - Denne modellen er laget i Excel og fremskriver historisk utvikling. Parametere i modellen er i stor grad basert på historiske salgstall, samt en del forutsettinger om nysalg, utskifting, mv.
- Fremskriving i TIMES-modellen

[7] Vi gjør derfor en vurdering av energibehovet i bygninger (husholdninger og yrkesbygg/ tjenesteytende sektor) og fjernvarme. Vi ser bort fra potensial for oppvarming i industri, da industribyggene i hovedsak er dekket av beregningene for yrkesbygg.

- Dette er en optimeringsmodell som beskriver den økonomiske mest rasjonelle løsningen.

Modellene er bygget opp forskjellig og har ulike forutsetninger, noe som gir noe ulikt resultat. Sammen gir modellene et godt bilde av mulig og forventet utvikling av varmepumper. Noe av forskjellene mellom de to modellene er at TIMES modellerer hele energisystemet og forutsetter at aktørene (husholdninger og eiere av næringsbygg) handler økonomisk rasjonelt innenfor de ulike valgmuligheter av teknologi og kostnader som er lagt i modellen, mens fremskrivingen i Excel baseres på historikk. Den sistnevnte tar implisitt hensyn til tidligere adferdspreferanser, og kan dermed betraktes som en fremskriving av dagens adferd, gitt at viktige variabler som energipriser og temperaturer osv, ikke endres. De to modellene er nærmere beskrevet i vedlegg.

Fremskriving i de to modelltilnærmingene viser at varmepumper trolig vil stå for ca 18-20 TWh årlig varmeproduksjon i 2030. De vil årlig bruke rundt 8 TWh elektrisitet for å produsere denne varmen. Resultatene fra fremskrivingene er nærmere beskrevet i kapittel 5.2.1 og i kapittel 5.2.2

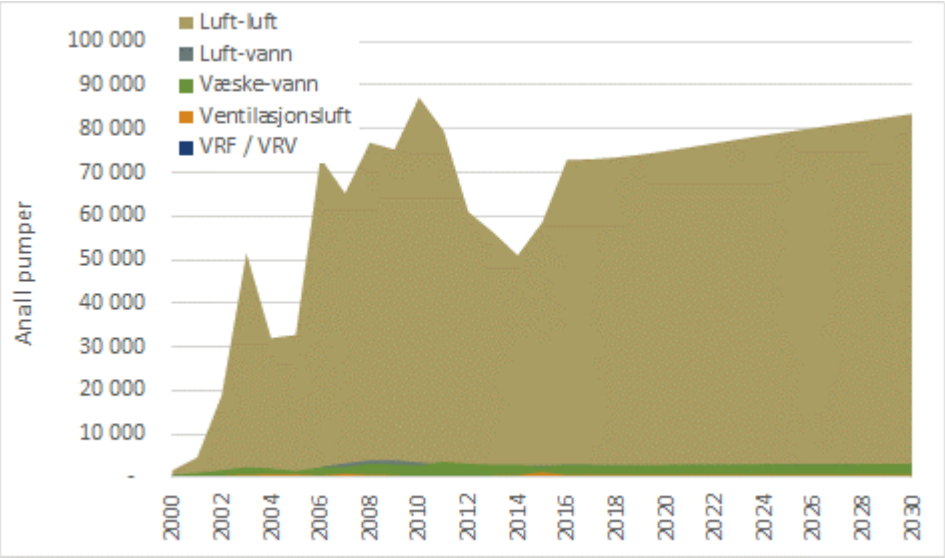
5.2.1 Fremskriving basert på historisk utvikling

Fremskrivingen basert på historisk utvikling er gjort i Excel. Forutsetninger for analysen er vist i Tabell 1-3 i kapittel 2 og er basert på ulike kilder, blant annet tall fra NOVAP (NOVAP, 2015), bransjen og fra NVEs kostandsrapport (NVE, 2015). Det fester seg noe usikkerhet til tallene, særlig knyttet til driftstid og effektfaktor.

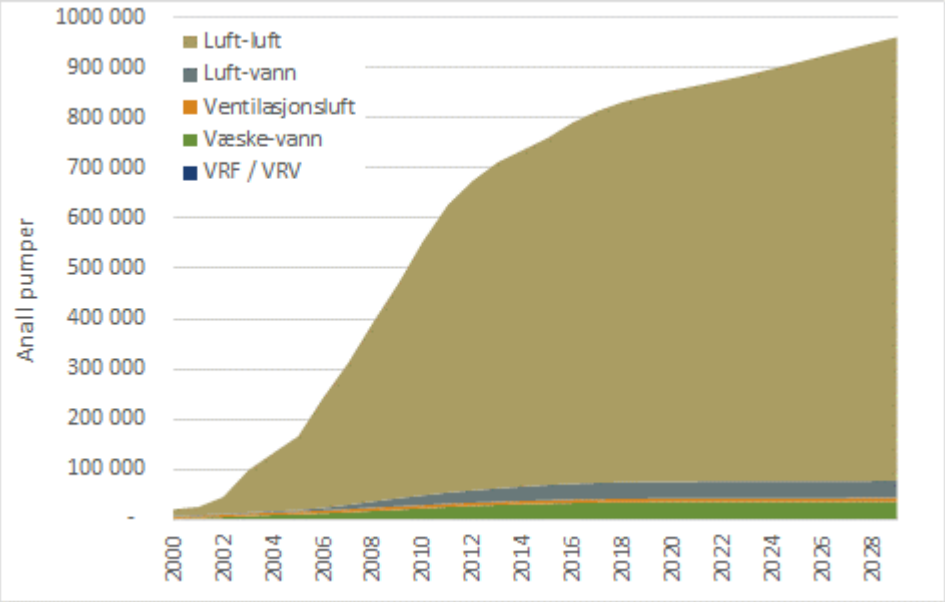
Fordeling av salg av varmepumper på sektorer er basert på statistikk fra NOVAP, som samler inn tall fra bransjeaktører. NOVAP anslår at aktørene som innrapporterer sine tall dekker mer enn 90 % av installerte varmepumper i Norge. Det er noe usikkert hva de resterende 10 % representerer, men det er grunn til å tro at mye av det er væske-vann varmepumper, større enn 20 kW. NOVAPs statistikk er relativt dekkende for salget av varmepumper i Norge, men kanskje noe underrepresentert på væske-vann varmepumper.

Statistikken deles i kategoriene luft-luft, luft-vann, væske-vann, ventilasjonsluft og VRF/VRV[8] varmepumper. Figur 5-1 viser fremskriving av salg av varmepumper i Norge. Det selges spesielt mye luft-luft varmepumper, disse utgjør om lag 90 % av det totale salgsvolumet. Fremskrivingen begynner for året 2016. Vi ser at salget gjør et hopp fra 2015 til 2016. Dette er fordi utgangsåret i fremskrivingen (2016) er basert på snitt av de 10 foregående årene i husholdningene, og de 5 foregående årene i yrkesbygg og industri. Så selv om salget var lavt i 2013-2015, vil utgangssalget i fremskrivingen i 2016 ligge høyere ettersom salget årene før var betydelig høyere. Figur 5-2 viser fremskriving av akkumulert antall installerte varmepumper i Norge fra 2000 til 2030.

[8] VRF/VRV er luft/luft varmepumper med en noe mer avansert styring/regulering.

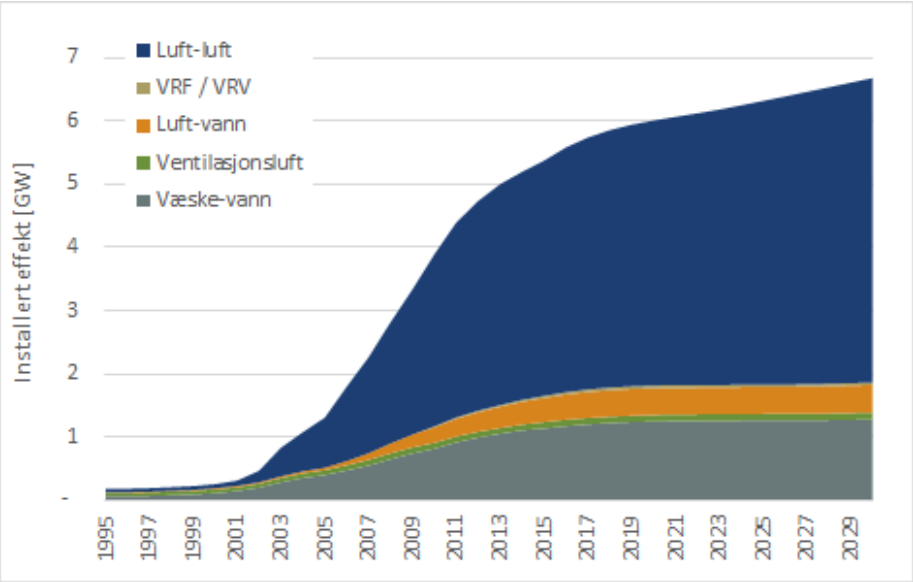


Figur 5-1 Fremskriving av salg varmepumper i Norge 2000-2030. Underlag: NOVAP, beregninge: NVE



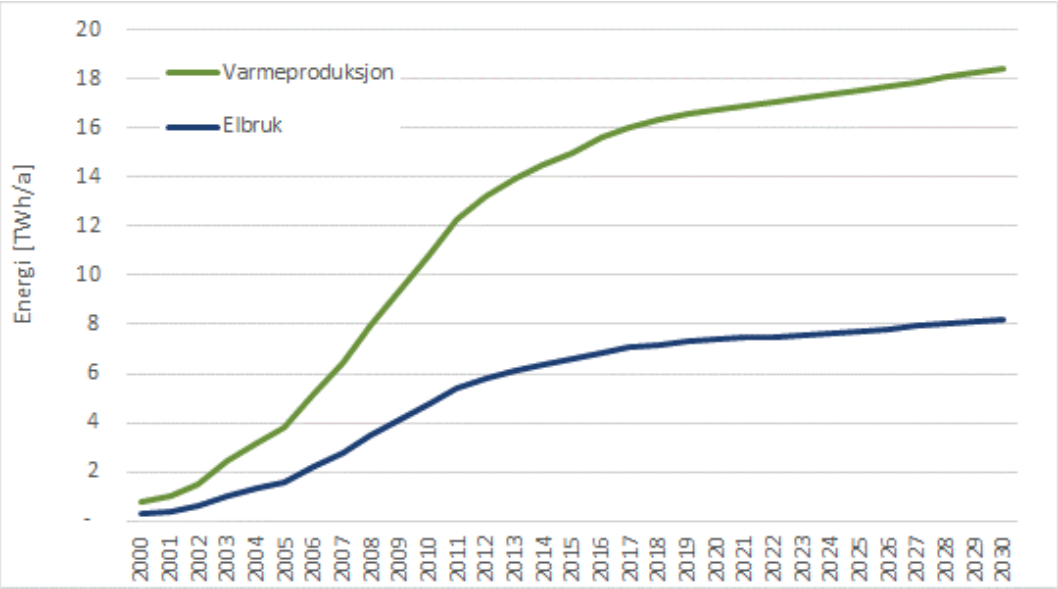
Figur 5-2 Installerte varmepumper i Norge, 2000 – 2030. Beregning: NVE

Installert effekt i varmepumper er i dag drøyt 5 GW varmeeffekt, og fremskrives til nesten 7 GW i 2030. Som vist i Figur 5-3 er det mest installert effekt i luft-luft varmepumper. De bidrar ikke med relativ like mye energiproduksjon over året, ettersom de har en lavere effektfaktor enn væske-vann og luft-vann varmepumper. Som vist i Figur 5-5 spiller også væske-vann og luft-vann en viktig rolle i varmeproduksjonen.



Figur 5-3 Fremskrevet installert effekt i varmepumper. Beregninger: NVE

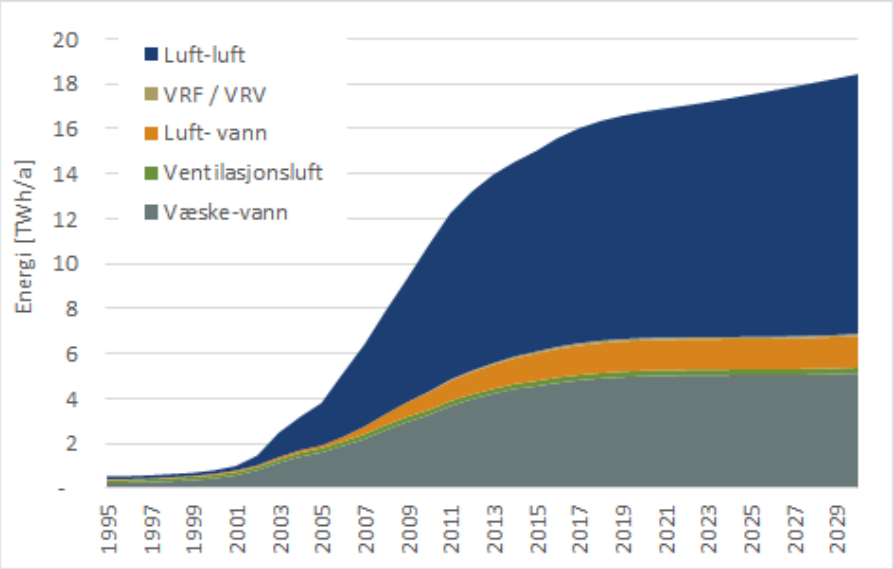
NVE har beregnet utviklingen for energibidraget fra varmepumper fra 2000 til 2030. Beregningene baserer seg på salgsstatistikk fra NOVAP, og er vist i Figur 5-4. Av figuren ser vi at varmepumpene vil bidra med rundt 18 TWh varme 2030. Over året bruker de om lag 8 TWh elektrisitet, og henter rundt 10 TWh omgivelsesvarme. Omgivelsesvarmen er lik det totale varmebidraget fra pumpen, minus elektrisiteten som går med til å drive pumpen.



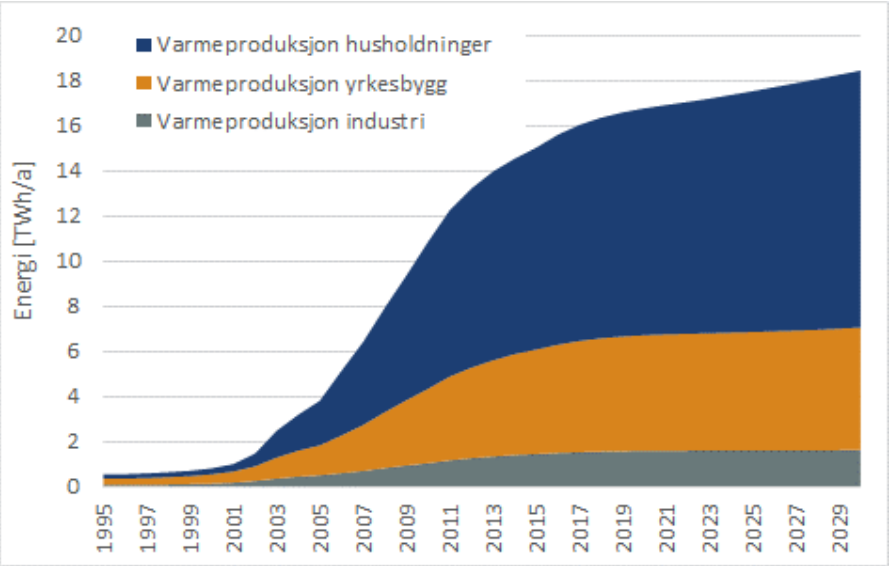
Figur 5-4 Varmebidrag fra varmepumper. Kilde: NOVAP og NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015)

Figur 5-5 og Figur 5-6 viser hvordan varmeproduksjonen fordeler seg på ulike varmepumpeteknologier og sektorer. Her ser vi at luft-luft og væske-vann bidrar med

mest varmeproduksjon, og at det er omtrent lik varmeproduksjon i husholdningene og yrkesbygg/industri.



Figur 5-5 Varmeproduksjon fordelt på pumpeteknologier. Kilde: NOVAPs statistikk (NOVAP, 2015) og NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015)



Figur 5-6 Varmeproduksjon fordelt på sektorer. Kilde: NOVAPs statistikk (NOVAP, 2015) og NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015)

5.2.2 Analyser ved hjelp av TIMES

Utnyttelsen av varmepumper i alminnelig forsyning er modellert i TIMES. Dette kapittelet gir en oversikt over TIMES modellen og de data som er lagt inn og som er relevante for analysen.

I TIMES er varmepumper lagt inn som tre ulike teknologier med tilhørende kostnader; luft-luft, luft-vann og vann-vann. Utnyttelsen av varmepumper er modellert under forutsetninger om blant annet hvor stor andel av varmtvann og romoppvarming som kan dekkes av varmepumper, andel av byggmassen som kan benytte varmepumper og størrelse på installert pumpe i ulike bygningskategorier.

Ulike varmepumper kan bare dekke deler av oppvarmingsbehovet i et enkelt bygg. For eksempel vil mulighetene en luft-luft pumpe har til å dekke behovet være begrenset av plassering, rominndeling, etc. Dekningsgrad på for eksempel 0,4 betyr at en varmepumpe ikke kan dekke mer enn 40 % av oppvarmingsbehovet over året og 40 % av effekten til oppvarming i et hvert tidssteg. I tillegg vil det være geografiske begrensinger for at bygninger kan ta ulike pumper i bruk. F.eks vil det være begrensninger på muligheten til å installere en luft-luft pumpe i en boligblokk, eller å ta i bruk brønnboring til en vann-vann pumpe i sentrum av en by. En utbredelsesgrad på 0,6 for en varmepumpe betyr at 60 % av byggene kan installere denne typen pumpe. For eksisterende enfamiliehus har vi antatt at bare bygg over 200 m^2 kan bruke væske-vann-varmepumper til kostnaden angitt i Tabell 5-2[9].

Tabell 5-1 Forutsetninger dekningsgrad og utbredelse i TIMES

Type	Dekningsgrad			Utbredelsesgrad		
varmepumpe	Luft-luft	Luft-vann	Væske-vann	Luft-luft	Luft-vann	Væske-vann
Eksisterende enfamiliehus	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	0,2
Nye enfamiliehus	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	0,2
Eksisterende flerfamiliehus	-	0,7	0,8	0	0,6	0,7
Nye flerfamiliehus	-	0,8	0,9	0	0,6	0,7
Næringsbygg	-	0,8	0,9	0	0,8	0,7

Modellen benytter kostnader fra NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015). For væske-vann varmepumper er det brukt kostnader til en grunnvarme (bergvarme) pumpe. Kostnader for brønnboring og for selve pumpen blir representert som to ulike teknologier, da levetiden for brønnhullet og pumpen er svært forskjellig. Næringsbygg og flerfamiliehus er antatt å benytte pumper med kapasitet 150 kW_v mens enfamiliehus bruker 3,8 kW_v på

[9] En større del av oppvarmingsbehovet i enfamiliehus vil kunne dekkes med væske-vann varmepumper hvis det legges til en teknologi med høyere investeringskostnad, men det er ikke gjort i dette arbeidet.

luft-luft eller 10 kW_v på luft-vann og vann-vann pumper. Tabell 5-2 viser data som er benyttet.

Tabell 5-2 Kostander lagt inn i TIMES

	Luft-luft	Luft-vann		Væske-vann	Brønnboring
Kapasitet [kW_v]	3,8	10	150	150	
Effektfaktor	2	2,4	2,7	2,9	
Brukstid [timer/år]	2 400	3 200	3 200	4 000	
Investeringskostnader [kr/kW_v]	6 467	10 298	6 694	5 965	7 955
Faste driftskostnader [kr/kW_v]	30	40	40	40	0
Variable kostn eks brensel [øre/kWh_v]	0	1,5	1,5	1,5	0
Levetid [år]	15	15	15	20	50

I modellens optimering vil varmepumper konkurrere med annet oppvarmingsutstyr for å forsyne byggets behov for oppvarming og varmtvann.

Analyser i TIMES - resultater

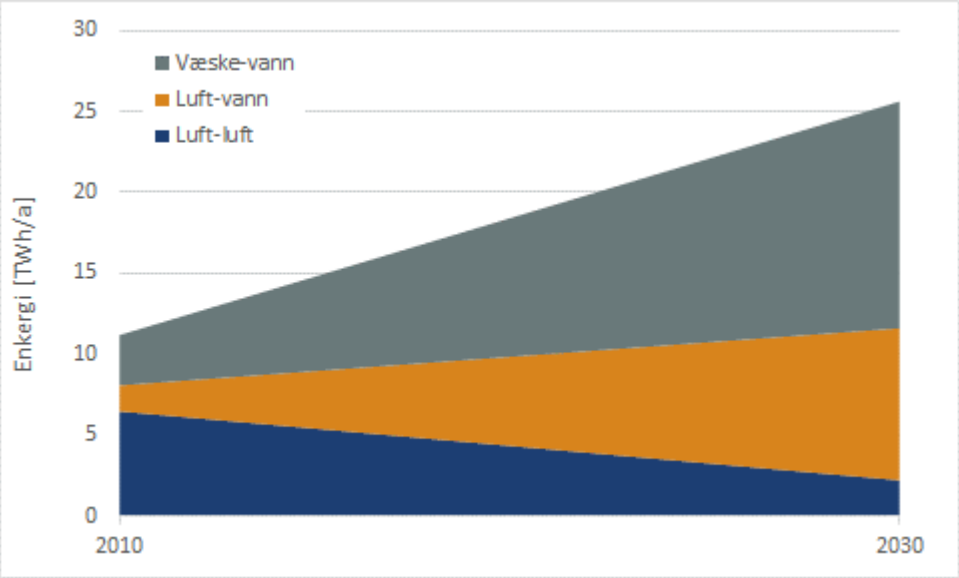
Vi bruker TIMES til to ulike analyser. I den ene analysen gjøre vi en teknisk-økonomisk modellering som minimerer totale energisystemkostnader over analyseperioden. I en slik analyse vil teknologier kunne skiftes ut relativt raskt dersom dette er det økonomisk mest lønnsomme. Resultatene kan i en slik analyse gi større endringer av teknologier fra år til år enn det man som regel kan forvente i virkeligheten. Den andre analysen er lik som den første, men vi har i tillegg lagt til begrensninger på maksimal og minimal endring i antall pumper fra et år til det neste for de ulike teknologiene. Dette skal i større grad representerer atferd man ser i markedet. For varmepumpene har vi benyttet rater for endring fra et år til det neste som er hentet fra statistikk i årene 2013-2014. Disse ratene ligger mellom 3 prosent og 7 prosent avhengig av pumpetype.

Tabellen under viser resultater i form av mengde varme produsert fra varmepumper i 2030 for de to analysene.

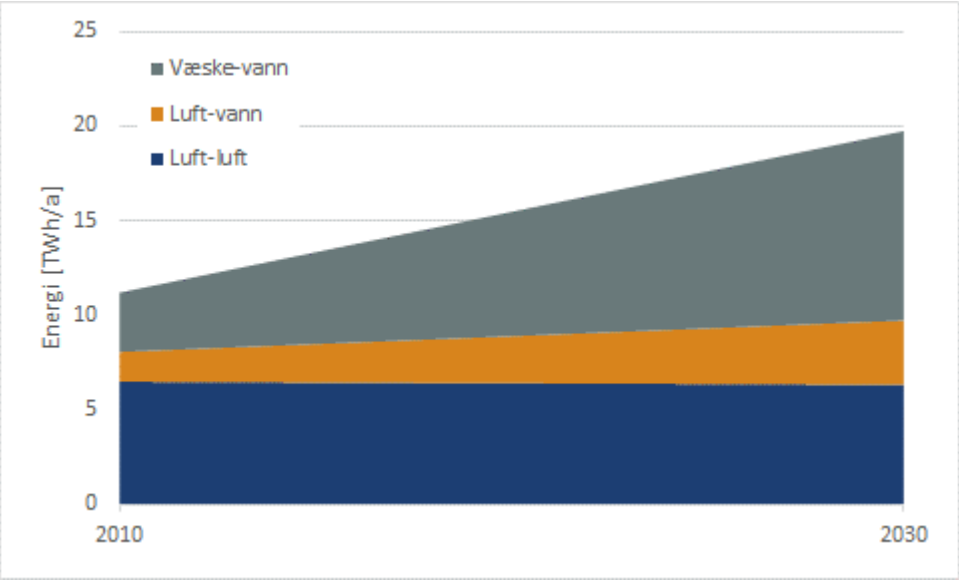
Tabell 5-3 Resultater fra TIMES-modellen

	Kostnadsminimering	Kostnadsminimering med begrensning på investeringstakt
Varmeproduksjon fra varmepumper i 2030	26 TWh	20 TWh

Vi finner at analysen uten begrensning på investeringer i varmepumper gir en årlig varmeproduksjon fra varmepumper i 2030 på ca 26 TWh. Når vi legger restriksjoner på investeringer blir produksjonen på om lag 20 TWh. Vi regner analysen med restriksjoner som den mest sannsynlige utviklingen mot 2030, men forskjellen på 6 TWh mellom resultatene antyder at det vil være kostnadseffektivt å bygge ut mer enn 20 TWh. Figur 5-7 og Figur 5-8 viser fordeling av type varmepumper i de to analysene.



Figur 5-7 Utvikling for ulike teknologier i analyse med kostnadsminimering



Figur 5-8 Utvikling i analyse med kostnadsminimering og med begrensning på investeringstakt

Vi ser fra figurene at andelen med luft-luft pumper reduseres mot 2030 i analysen med kostnadsminimering (Figur 5-7) sammenlignet med analysen der vi i tillegg legger en begrensning på mulighetene for utskiftingstakt fra år til år (Figur 5-8). Tilsvarende øker andelene med luft-vann og væske-vann i den førstnevnte analysen. Resultatene tyder på at varmepumper som forsyner vannbårne systemer er de mest kostnadseffektive når man ser over hele levetiden til pumpene sammenlignet med luft-luft pumper. Vi regner likevel med at en så kraftig reduksjon i andel varme produsert fra luft-luft pumper som vi ser i figur 5-7 ikke er et realistisk anslag på forventet utvikling. Antakelig vil man se en langt tregere utvikling i markedet slik Figur 5-8 skisserer.

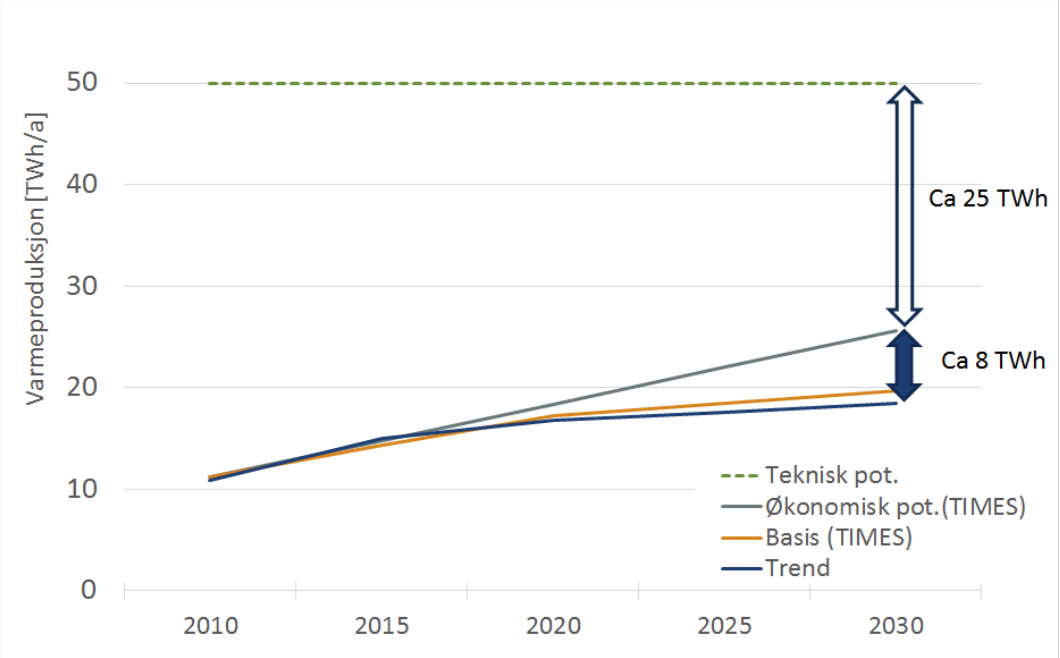
Sammenligner vi resultater fra analysen basert på historiske salgstall (Figur 5-4) med resultater fra TIMES modellen der vi benytter kostnadsminimering og begrensninger på utskiftingstakt (Figur 5-8) ser vi at de anslår omtrent samme mengde produsert varme i 2030, 18 og 20 TWh. Forskjellen er at fordelingen mellom teknologiene utvikler seg ulikt. Førstnevnte analyse fremskriver det som har vært den historiske trenden, og siden vi har hatt høye salgstall for luft-luft pumper, vil fremskrivingen reflektere dette. Støtteordninger og kampanjer for å fremme luft-luft pumper har bidratt til høy utbredelse av denne teknologien. Forbrukere og aktører er godt vant med denne teknologien og enkelheten i å erstatte allerede installerte luft-luft pumper med samme teknologi når levetiden er over kan bidra til en utvikling i tråd med trendfremskrivingen. På den annen side er det i dag ingen støtte til luft-luft pumper, isteden støttes vannbårne oppvarmingssystemer og luft-vann og væske-vann pumper. Dette kan bidra til en utvikling mer i tråd med TIMES analysen.

5.3 Sammenstilling og drøfting

Vi har i kapittel 5.2.1 og kapittel 5.2.2 vist to ulike fremskrivinger som viser en varmeproduksjon på henholdsvis 18 og 20 TWh i 2030. Disse fremskrivingene bygger på

en rekke forutsettinger, hvorav noen vil ha stor betydning for resultatet av fremskrivingene.

For begge fremskrivningene er noen av de viktigste forutsettingene effekt (kW), brukstid (timer/år) og effektfaktor. For TIMES modellen er også kostnader for alternative oppvarmingsteknologier, energipriser og avgifter faktorer som påvirker resultatene. I fremskrivning med TIMES modellen er det også tatt hensyn til at de eksisterende oppvarmingssystemene ikke kan skiftes ut mer enn på nivå med historisk utskifting fra år til år. For å finne et økonomisk potensial er TIMES modellen benyttet uten disse begrensningene. Dette gir dermed et potensial for varmepumper som minimerer totale systemkostnader frem mot 2030. I Figur 5-9 er de to fremskrivningene av varmepumper sammenstilt med det økonomiske potensialet, beregnet med TIMES modellen, og det tekniske potensialet for varmepumper. Figuren viser at det økonomiske potensialet for varmepumper er ca 8 TWh i 2030 utover det som er fremskrevet. Ressursgrunnlaget for varmepumper er langt større enn oppvarmingsbehovet i bygg. Hvis all oppvarming dekkes av varmepumper er det potensial for ytterligere 20 TWh varme fra varmepumper frem mot 2030. Analysene viser at for å oppnå potensialet på ytterlige 8 TWh ut over trendfremskrivningen mot 2030 så vil det være lønnsomt å fase inn en større andel varmepumper med vannbåren varme.



Figur 5-9 Potensial for varmepumper frem mot 2030 sammenlignet med framskrivningene.

6 Varmepumper og effektbelastning

Varmepumper har påvirkning på effektlasten i el-nettet i Norge. De representerer både et effektpådrag når de kobles inn, og en mulig avlasting dersom bruken styres. Varmepumper tilkoblet vannbårne systemer representerer en lagringsmulighet, og gir større mulighet for lastflytting.

I dette kapitlet ser vi på hvilken påvirkning varmepumper kan ha på effektbelastning i elektrisitetsnettet, på nasjonalt nivå. Elektrisitetsnettet dimensjoneres ut fra hvor stort effektuttak som forventes de kaldeste vinterdagene. Svært mye av lasten en kald vinterdag skyldes oppvarming. Varmepumper inngår i denne posten, da en del av oppvarming i Norge allerede er basert på varmepumper. Varmepumper kan i fremtiden bidra både til økning og reduksjon effektpådraget på kalde dager.

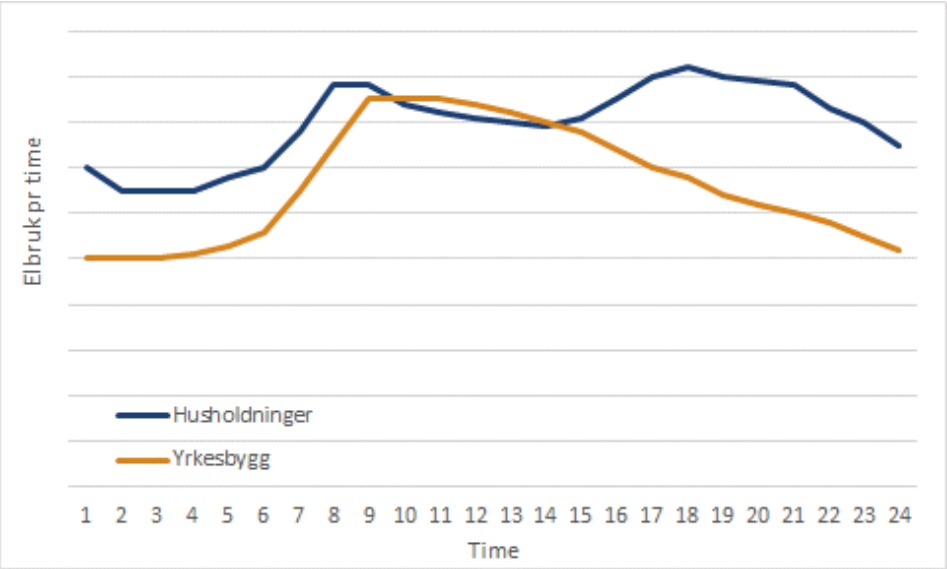
Viktige faktorer for varmepumpenes påvirkning på effektlaster vil blant annet være;

- Type varmepumpeteknologi som installeres
- Hvilke oppvarmingsformål de dekker, dvs romoppvarming og/eller tappevann
- Styringsteknologi
- Varmesystem i byggene, - luftbårent eller vannbårent.

Forrige effekttopp i sentralnettet var 21. januar 2016, mellom klokka åtte til ni om morgenen, med en målt effekt på 24,5 GWh/h. Om lag 15 GWh/h skyldes elektrisitetsbruk i bygninger i alminnelig forsyning, dvs i hovedsak husholdninger og yrkesbygg[10], fordelt med ca halvparten på hver av sektorene.

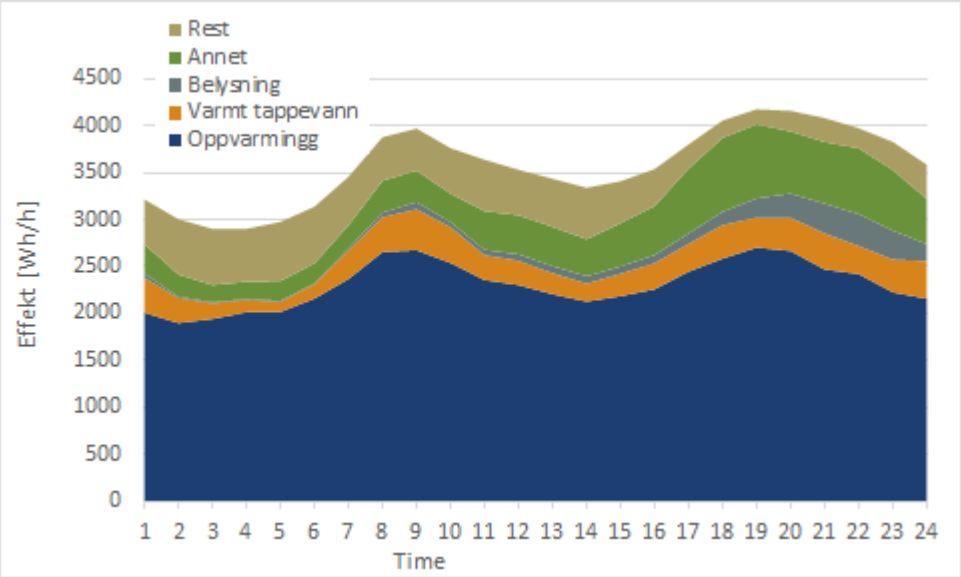
Den typiske døgnprofilen for husholdninger og yrkesbygg er vist i Figur 6-1. Begge sektorene bidrar til effekttoppen mellom kl 8 og 10.

[10] Vi setter i dette tilfellet likhetstegn mellom tjenesteytende sektor og yrkesbygg, ettersom energibruken i tjenesteytende sektor i hovedsak går til yrkesbygg



Figur 6-1 Illustrasjon av elektrisitetsbruk per time for husholdninger og yrkesbygg. Kilde NVE.

Figur 6-2 viser beregnet profil for husholdning en kald vinterdag. Vi ser av figuren at oppvarming og varmtvann utgjør store deler av effektuttaket, opp mot 75 % på en kald dag. I næringsbygg en den relative andel av til oppvarming en del lavere enn i husholdningene, men samtidig er samlet areal og energibruk i næringsbygg lavere enn i husholdningene, så samlet andel til oppvarming for husholdninger og næringsbygg vil ligge på 55-60 %. Vi estimerer at ca 8 GW skyldes oppvarming og 1,5 GW skyldes tappevann.



Figur 6-2 Beregnet lastprofil for husholdning en kald vinterdag. Kilde: (SINTEF, 2016)

6.1 Effektbelastning fra varmepumper på kalde dager - eksempler

Per i dag er det installert ca 5,3 GW varmeeffekt i varmepumper i Norge, med en fordeling på 4,9 GW på luft-luft, 0,4 GW på luft-vann og 1,2 GW på væske-vann. På en kald vinterdag vil lav utetemperatur endre pumpenes effektfaktor, og de vil ikke levere like mye varme. Tabell 6-1 viser hva som skjer i de ulike varmepumpetypene når effektfaktoren reduseres på kalde dager. Merk at regnestykkene i høyre kolonne er forenklede eksempler, for å illustrere hva som skjer i de ulike pumpetypene når det er kaldt ute. Regnestykkene viser verdier for en 10 kW varmepumpe, og vil ikke være representative for alle pumper.

Tabell 6-1 Endring i egenskapene for en 10 kW varmepumpe en kald vinterdag - påvirkning på effektuttak fra el-nettet

	Hva skjer en kald dag	Eksempel – kald dag
Luft - luft	Varmepumpen får redusert effektfaktoren betydelig. Trekker like mye el, men leverer mindre varme enn ved høyere utetemperatur. Bygget må bruke spisslast fra annen oppvarmingskilde, gjerne panelovn eller vedovn.	Pumpen har normalt varmeeffekt på 10 kW. Dersom varmepumpens effektfaktor på den kalde dagen reduseres til 1,1, vil varmepumpen trekke 5 kW el, og kun levere 5,5 kW varme. Husholdningen må spisse med 4,5 kW varme fra panelovn eller vedovn. Dersom husholdningen spisser med panelovner, vil den trekke 9,5 kW fra kraftnettet.
Luft - vann	Varmepumpen får redusert effektfaktoren betydelig på grunn av lavere varme i uteluften. Varmepumpen tar i bruk innebygget el-kolbe for å levere nok varme.	Pumpen har normalt varmeeffekt på 10 kW. Dersom effektfaktoren på den kalde dagen reduseres til 1,5 vil pumpen trekke 4 kW el, og kun leverer 6 kW varme. Varmepumpen aktiverer el-kolben, som trekker 4 kW ekstra fra nettet. Husholdningen vil totalt trekke 8 kW fra kraftnettet.
Væske - vann	Varmepumpen får redusert virkningsgraden noe på grunn av høyere turtemperatur[11] på vannet. Varmepumpen tar i bruk innebygget el-kolbe for å levere nok varme.	Pumpen har normalt varmeeffekt på 10 kW. Trekker 3 kW el, leverer 8 kW varme. Varmepumpen aktiverer el-kolben, som trekker 2 kW ekstra fra nettet. Husholdningen vil totalt trekke 5 kW fra kraftnettet.

[11] Ved kalde utetemperaturer må turtemperaturen på vannet økes, for at bygget skal få tilstrekkelig temperatur.

I Tabell 6-2 viser vi hvordan effektuttaket i hele nettet påvirkes av varmepumpene en kald dag, hvis alle pumpene kobles inn samtidig.

Tabell 6-2 Samlet effektuttak i el-nettet som følge av varmepumper

	Dagens situasjon
En normal dag	Varmepumpene leverer ca 5,5 GW varme og trekker i ytterste fall 2,5 GW el fra nettet, av dette: o Ca 0,5 GW el til væske-vann og luft-vann pumpene o Ca 2 GW el til luft-luft pumpene
En kald vinterdag	Varmepumpene leverer 5,5 GW varme, og trekker 3- 4,5 GW el fra nettet, av dette: Ca 1 GW el til væske-vann og luft-vann pumpene o Ca 2 GW el til luft-luft pumpene o Luft-luft varmepumpene må spisse med nærmere 2 GW, fra direkte el eller vedfyring.
Hvis eksisterende varmepumper i stedet hadde vært dekket av direktevirkende el	Hvis det som i dag dekkes av varmepumper i stedet hadde vært dekket ved direktevirkende el, ville belastning på nettet være 5,5 GW, altså nærmere 1 GW mer enn dagens situasjon.
Hvis eksisterende varmepumper byttes til væske-vann	Dersom alle installerte luft-luft varmepumper og luft-vann varmepumper byttes til væske-vann varmepumper, kan belastning på nettet reduseres med rundt 2 GW i forhold til dagens situasjon.
Hvis resterende oppvarming ble erstattet med varmepumper	Det trekkes rundt 8 GW el til oppvarming en kald dag. Av dette kan opp mot 3-4,5 GW være kunder med varmepumpe. Dersom resterende oppvarming dekkes med væske-vann varmepumper vil belastningen på nettet reduseres med rundt 2 GW i forhold til dagens situasjon.

Analysene viser at varmepumper i seg selv, uten lastflytting bidrar med lastreduksjoner på opp mot 1 GW på kalde dager. Dette er gitt at alle pumpene er koblet inn ***samtidig.*** Dersom absolutt alt varmeuttaket i bygninger dekkes av væske-vann varmepumper kan lastreduksjonen teoretisk bli ytterligere 3-4 GW.

6.2 Lastflytting med varmepumper

I tillegg til generell lastreduksjon som følge av varmepumpens virkningsgrad kan de bidra til lastflytting i topplasttimen. Varmelastene fra varmepumper kan i større eller mindre grad flyttes. Utkoblingsmulighet for varmelaster er direkte knytte til varmelagringsevne og evne til å avgi varme (varmeledningsevne). Varmemedium og bygningskonstruksjon vil derfor være viktig. En kombinasjon av høy varmelagringsevne og treg varmeavgivelse vil gjøre at en varmelast lettere kan skyves i tid uten at brukeren vil oppleve endring i varmen. Tabell 6-3 under viser dagens teoretisk flyttbare potensial.

Tabell 6-3 Teoretisk flyttbare laster relatert til varmepumper

	Dagens laster
Potensiale for lastflytting en kald vinterdag	Varmepumpene leverer 5,5 GW varme, og trekker i ytterste fall 3 – 5 GW el fra nettet, av dette: o 1 GW el til væske-pumpene kan teoretisk flyttes o 2 GW el til luft-luft pumpene kan teoretisk flyttes, men vil ha høyere terskel for aksept, ettersom flyttingen vil være mer merkbar. o Luft-luft varmepumpene må toppe med nærmere 2 GW spisslast. Dette kan erstattes av vedfyring, eller lastene i panelovner kan flyttes noe i tid.

Teoretisk sett kan altså opp til 3 GW varmepumpelast flyttes i topplasttimen i dag. Merk at dette er ***teoretisk***e potensialer, basert på at alle pumpene brukes samtidig. Vi har ikke drøftet hva som må til for at disse lastene skal kunne flyttes. Det vil typisk foreligge hindringer som kostnader, adferdsmessige barrierer, osv.

I tillegg bruker husholdningene ca 2 GW topplast på el eller ved for å dekke inn varmebehovet når luft-luft pumpene har lav effektfaktor. Dersom de dekker dette med panelovn kan det teoretisk sett flyttes. Dersom de per i dag dekker det med vedfyring representerer det ikke en effektutfordring for nettet, men kan bli en utfordring dersom de går over fra ved til elektrisitet.

En viktig driver for effektbelastningen i nettet er hvordan utfasing av oljefyring skjer i husholdninger og yrkesbygg. Oljefyr drives uten vesentlig bidrag fra elnettet, og representerer derfor stor fleksibilitet. Men ettersom forbruket av oljeprodukter nå er lavere enn de tidligere årene, er det grunn til å anta at noe av oljebruken allerede er faset over på fjernvarme, varmepumper eller direktevirkende elektrisitet.

Dersom oljeforbruket fases over på varmepumper kan fleksibilitet for flytting av laster i stor grad beholdes, avhengig av hvilken varmepumpeteknologi som velges. Oljekjel har vannbårent system, og dersom oljekjel erstattes med væske-vann varmepumpe vil fleksibiliteten i stor grad beholdes.

Dersom oljekjelen og radiatorer skrotes til fordel for luft-luft varmepumpe i kombinasjon med panelovn representerer det økt effektpådrag, samtidig som fleksibiliteten blir mindre. Parafinkaminer er punktvarmekilder uten vannbårent system. Dersom det erstattes av luft-luft varmepumpe og panelovn vil det også bety økt effektpådrag. Av økonomiske årsaker er det ofte dette som skjer. Eksempelvis vil en enebolig stå ovenfor en investering som er 5 ganger høyere for enn væske-vann varmepumpe i forhold til en luft-luft varmepumpe.

Generelt kan en si at hvis varmepumper erstatter oljekjel *kan* det gi en utfordring for effekt/fleksibilitet. Det samme gjelder hvis varmepumpe erstatter vedfyring. Mange installerer varmepumpe for komfort – det er en jevn og billig varme som ikke krever innsats. En del slutter derfor å fyre med ved etter at de har installert varmepumpe. Hvis varmepumper erstatter panelovner vil de gi en positiv virkning på effektuttak. For alle disse eksemplene vil en væske-vann varmepumpe gi en bedre virkning på effektuttak enn en luft-luft varmepumpe.

7 Referanser

Asplan Viak. 2011. *Grunnvarme i Norge - Kartlegging av økonomisk potensial.* s.l. : NVE, 2011. NVE Rapport nr 5/2011.

Comission, European. 2015. COMMISSION DECISION of 1 March 2013 establishing the guidelines for Member States on calculating renewable energy from heat pumps from different heat pump technologies pursuant to Article 5 of Directive 2009/28/EC. *Eur-Lex.* [Internett] 16 06 2015. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013D0114&from=EN.

eKlima. 2015. eKlima. *Måned.* [Internett] 2015. http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL.

Energimyndigheten. 2011. *Uppvärmningen i Sverige 2011, EI R20011:06.* s.l. : Energimyndigheten, 2011.

Godbolt, Åsne Lund. 2014. *Market, Money and Morals - The Ambiguous Shaping of Energy Consumption in Norwegian Households.* Trondheim : NTNU, 2014.

IEA. 2014. *Heating without global warming.* 2014.

K. B. Lindberg, G. L. Doorman, J. M. Chacon, D. Fischer. 2013. Hourly load modelling of non-residential building stock," in Proceedings of IEEE PowerTech Conference in Grenoble, France. June 2013.

K. B. Lindberg, J. M. Chacon, G. L. Doorman, and D. Fischer. 2015. Hourly Electricity Load Modeling of non-residential Passive Buildings in a Nordic Climate, in Proceedings of IIEEE PowerTech Conference in Eindhoven, NL. 2015.

NGI. 2011. *Energi fra overflatevann i Norge - kartlegging av økonomisk potensial, NVE Oppdragsrapport nr 9/2011.* s.l. : NVE, 2011. NVE Oppdragsrapport nr 9/2011.

Nordpool. 2015. Elspot prices monthly. [Internett] 2015. http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Monthly/?view=table.

NOVAP. 2015. *NOVAP's varmepumpestatistikk.* 2015.

NVE. 2015. *NVE Rapport 2/2015. Kostnader i energisektoren.* Oslo : NVE, 2015.

Odyssee. 2015. Odyssee database. *Odyssee database.* [Internett] 2015. http://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html.

2015. SIFO. *Heat pumps.* [Internett] 12 06 2015. http://www.sifo.no/page/Forskning//10060/78299.html.

SINTEF. 2016. *ElDek.* 16 06 2016.

SSB. 2014. *Oppvarming i boliger - Kartlegging av oppvarmingsutstyr og effektiviseringstiltak i husholdningene, Rapport Oppvarming i boliger - Kartlegging av oppvarmingsutstyr og effektiviseringstiltak i husholdningene 85/2014.* s.l. : NVE, 2014.

—. Sal av petroleumsprodukt. [Internett] https://www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=petroleumsalg&CMSSubjectArea=energi-og-industri&checked=true.

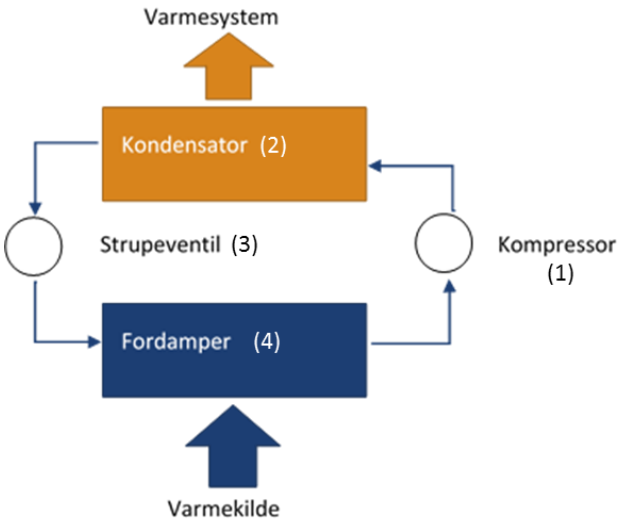
—. 2015. Sal av petroleumsprodukt. [Internett] 2015. https://www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=petroleumsalg&CMSSubjectArea=energi-og-industri&checked=true.

Zijdemans, D. 2012. *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer.* s.l. : Skarland Press., 2012.

Vedlegg

Vedlegg A – Teknologibeskrivelse varmepumpe

Hovedkomponenter i varmepumper er kompressor, kondensator, strupeventil og fordamper, se figuren under. Kompressoren (1) hever arbeidsmediets trykk, og dermed temperaturen, slik at den kan brukes til oppvarmingsformål. I kondensator (2) overføres varmen fra arbeidsmediet til varmeforbruker, samtidig som arbeidsmediet kondenseres fra gassform til væske. Strupeventil (3) senker trykket til arbeidsmediet slik at mediets temperatur og kokepunkt blir lavere enn varmekildetemperaturen. I fordamper (4) overføres varme fra varmekilde til arbeidsmediet som koker og går over til damp. De fleste varmepumper drives av elektrisk motor. Konstruksjon og drift av varmepumpe er avhengig av den valgte varmekilden.



Figur A-1 Prinsippskjema for en varmepumpe. (NVE, 2015)

Varmepumper kategoriseres ofte i forhold til varmekilde (uteluft, sjøvann, grunnvann, bergvarme osv.). Varmepumper kan ha direkte eller indirekte varmeopptakssystem. Med direkte system avkjøles varmekilden (for eksempel sjøvann eller grunnvann) direkte i varmepumpens fordamper. Ved indirekte varmeopptakssystem benyttes det en frostsikker væske som sirkulerer i et lukket rørsystem for å hente varmen fra varmekilden (bergvarme, ferskvann, sjøvann, jordvarme).

Uteluft er den mest vanlige varmekilden for boligvarmepumper i Norge på grunn av lave investeringskostnader. Samtidig er tilgjengelig varme i motfase med varmebehov, da de har kraftig redusert effektfaktor og ytelse på vinteren, når det er lave utetemperaturer. Uteluft som varmekilde for varmepumper er best egnet på Sørlandet og i kystklima med milde vintre.

Vannbaserte varmepumper medfører graving/boring, og har derfor høyere investeringskostnader enn luftbaserte varmepumper. Men de har en fordel i at vann har høy varmelagringskapasitet. Som varmekilde brukes det **grunnvarme, overflatevann, grunnvann og jordvarme**. Temperaturen til disse varmekildene varierer mindre over året, har tidsforsinkelse i forhold til uteluft og har høyere middeltemperatur i fyringssesongen. Denne typen varmepumper egner seg godt i regioner med kalde vintre. Årseffektfaktor er dermed høyere enn for varmepumper basert på uteluft. I følge en rapport fra IEA (IEA, 2014) varierer effektfaktor for luftbaserte varmepumper i Sverige fra 1,8 til 4, mens varmepumper som bruker grunnvarmen har effektfaktor mellom 2,8 og 6.

Grunnvanntemperaturen varierer normalt mellom 3-8 °C over året med høyeste temperaturer langs kysten og på Sørlandet. Sjøvannstemperatur ligger typisk mellom 3 og 15 °C ved 25 meters dyp og har 1-2 måneder tidsforsinkelse i forhold til utelufttemperatur. Saltinnhold er 30-35 % og frysepunkt er -2 °C. Innsjøer har ofte vintertemperatur på 2-3 °C og kan også brukes. På grunn av store lokale temperaturvariasjoner for overflatevann anbefales det å gjennomføre temperaturmålinger når en vurderer å installere store varmepumper.

For **jordvarmepumpe** graves kollektorslanger 1-1,5 meter ned i bakken. Temperaturvariasjonen på varmekilden er fra -3 til +10 °C. En kollektorslange er et 40 mm plastrør med maksimal lengde på 400 meter. Varmeuttaket er 15-30 W/m avhengig av jordsmonnet.

Temperaturen til en **bergvarmepumpe** varierer med bergtype, og er som regel mellom -3 og +8 °C over året. Dybden for borehull er avhengig av bergtemperatur, avstand til berg og installert effekt. Varmeeffektuttaket varierer fra 20 til 80 W/m avhengig av bergtype, temperatur og grunnvannsgjennomstrømning.

De fleste luft-luft-varmepumper kan reverseres og brukes til kjøling om sommeren (air-condition). Men kjøling er mer energikrevende enn varmeproduksjon, og effektfaktoren blir dermed lavere for kjøling enn oppvarming. Siden de fleste boliger i Norge ikke har kjøleanlegg i dag vil utstrakt bruk av luft-luft-varmepumper til kjøling kunne medføre økt energibruk. For næringsbygg er varmepumper mer effektive enn konvensjonelle kjølemaskiner, og kjøling med varmepumper kan bidra til redusert energibruk.

Varmepumper basert på **overflatevann, grunnvann, grunnvarme og jordvarme** kan brukes til passiv kjøling om sommeren. Overskuddsvarmen kan brukes til oppvarming av tappevann via varmepumpen. Bergvarme og jordvarme kan ha mulighet for å lagre overskuddsvarme, som kan bidra til å øke årsmiddeltemperatur til varmekilden og dermed effektiviteten til varmepumper. Et borehull for bergvarme kan benyttes til lagring av termisk energi, men virkningsgraden avhenger av bergart og vil reduseres dersom det er grunnvannsgjennomstrømning rundt borehullet. Et slikt termisk lager gjør et energisystem mer fleksibelt og reduserer etterspørselen etter kraft i topplasttimer.

En kraftig varmepumpe trekker mye effekt i startøyeblikket. Varmepumper som ikke har turtallsregulering, men kun slås av og på gjentatte ganger kan derfor bidra til utfordrende effekttopper. For luft-luft-varmepumper og luft-vann-varmepumper har turtallsregulering (inverterstyring) de senere årene blitt mest utbredt, og denne teknologien gir jevnere belastning på strømnettet. En inverter hjelper varmepumpen å bruke mindre energi. Inverteren kontrollerer hastigheten på kompressoren i ute-delen ved å hele tiden endre

frekvensen. Varmepumper med invertere justerer hele tiden flyten av kjølevæske i systemet etter hvert som temperaturen endrer seg. Dette reduserer energitap og kostnader, samtidig som dette bedre sikrer at temperaturen inne holdes komfortabel.

For væske-vann-varmepumper er direktedrevne asynkronmotorer dominerende. Dette skyldes at de internasjonale leverandørene ikke har inverterstyrte væske-vann-pumper tilpasset det norske 230 V nettet. Enkelte væske-vann varmepumper kan også leveres med turtallsregulering, men dette er pr i dag dyrere, og kompressorens virkningsgrad blir dårligere ved lave turtall, som gir redusert varmepumpeeffekt. Selv om turtallsregulering gir jevnere belastning for nettet må dette altså veies opp mot den reduserte virkningsgraden det medfører.

Vedlegg B – Eksempler på varmepumpeinstallasjoner

Valg av varmepumpesystemer for ulike deler av bygningsmassen vil avhenge av egenskaper ved det enkelte bygg. Her vises 6 case for ulike varmepumpeinstallasjoner med eksempler på kostnadsberegninger.

Når man skal vurdere om et bygg er egnet for installasjon av en varmepumpeløsning er det mange forhold å ta stilling til. Teknisk løsning er avhengig av bygg, klima, grunnforhold, dagens varmeløsning, estetikk, støy med mer. Kostnad og lønnsomhet er også avhengig av fremtidig strømpris, internrente samt mulig fremtidig betalingsvilje for effektreduksjon og lastflytting.

Generelt er det mulig å hente ut store energi- og effektbesparelser ved overgang til varmepumper. Privatøkonomisk vil noen av løsningene ha begrenset lønnsomhet med dagens kraftpriser og rammebetingelser. For eneboliger er markedet for varmepumper med vannbåren distribusjon lite og markedet fremstår som noe umodent. Det er i dag ingen effektprising av elektrisitet som gjenspeiler gevinsten av redusert fremtidig nettutbygging som kan oppnås ved effektreduksjon eller lastflytting.

For et varmepumpesystem beskriver effektdekningen hvor stor andel av byggets totale effektbehov varmepumpesystemet kan levere. Det er vanlig å installere varmepumpe som dekker 50 til 70 % av effektbehov på kalde dager, men det finnes også installasjoner med dekning opp mot 80 og 100 %. En større effektdekning vil gi bedre mulighet for avlastning av strømnettet på dager med høy effektbelastning, men kan også gi lavere systemvirkningsgrad over året.

For å illustrere potensialet til varmepumper presenterer vi her 6 ulike case for installasjon av varmepumpe. Nybygg og full renovering er styrt av teknisk byggeforskrift, for tiden TEK 10. Vi har derfor valgt å fokusere på eldre bygg, da mange av disse er bygget i henhold til TEK 67/87, og representerer store potensialer med hensyn til energi- og effektreduksjon. I regnestykkene har vi brukt data fra NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015), samt tall mottatt direkte fra bransjen. Grunnlagsdataene er dermed innhentet i 2014. Kostnadstallene for beregningene er vist i Tabell B-1. De 6 case'ne er ment som eksempler, og vil ikke reflektere kostnadene ved alle varmepumpeinstallasjoner. Det er brukt en nedbetalingstid på 15 år på investeringene, samt en kalkulasjonsrente på 4 %.

Case 1, Enebolig 200 m^2, byggeår 1970

- Varmepumpe erstatter oljefyr
- Kystklima med god virkningsgrad på luft-vann varmepumpe
- Effektdekning på 60 %, effektfaktor 2,4

Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	32 000
Investering	kr	130 000
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	33 216
Årlig kost med varmepumpe	kr	26 208
Besparelse per år	kr	7 008

For sikre en høy effektfaktor på varmepumpen økes radiatorarealet ved å sette inn en viftekonvektor sentralt i huset. Det er god økonomi i prosjektet. Elektrisitetsbruken halveres og effektbruken kaldeste dag reduseres med ca 30 % i forhold til elektrisk oppvarming

Case 2, Blokk på 10 leiligheter, byggeår 1970

Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	96 000
Investering	kr	195 000
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	91 287
Årlig kost med varmepumpe	kr	68 241
Besparelse per år	kr	23 045

- Varmepumpe erstatter oljefyr
- Kystklima med god virkningsgrad på luft-vann varmepumpe
- Effektdekning på 60 %, effektfaktor 2,2

Dersom det er ikke ønskelig å endre radiatoranlegget, må varmepumpen levere høy temperatur på kalde dager, noe som fører til redusert effektfaktor. Det er god økonomi i prosjektet. Elektrisitetsbruken halveres mens effektbehovet kaldeste dag ikke reduseres, da det må dekkes av spisslast, i dette tilfellet elektrisitet.

Case 3, Enebolig 200 m^2, byggeår 1970

Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	32 000
Investering	kr	241 830
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	33 216
Årlig kost med varmepumpe	kr	32 973
Besparelse per år	kr	242

- Varmepumpe erstatter oljefyr
- Bergvarmepumpe
- Effektdekning på 100 %, effektfaktor 2,9

Som case 1, men med bergvarme i stedet for luft-luft varmepumpe. Det er valgt å dimensjonere for 100 % effektdekning da dette har lav tilleggskostnad og tar høyde for en mulig fremtidig effektprising som gir god avkastning på denne ekstra investeringen. Det er god økonomi i prosjektet. Elektrisitetsbruken reduseres med to tredjedeler og effektbehovet kaldeste dag reduseres tilsvarende med to tredjedeler i forhold til ren elektrisk oppvarming.

Case 4, Enebolig 200 m^2, byggeår 1970

Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	32 000
Investering	kr	200 000
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	25 296
Årlig kost med varmepumpe	kr	32 504
Besparelse per år	kr	-7 208

- Varmepumpe erstatter panelovner
- Kystklima med god virkningsgrad på luft-vann varmepumpe
- Effektdekning på 60 %, effektfaktor 2,4

Som case 1, men på grunn høye kostnader til å oppgradere til vannbårent anlegg så er ikke prosjektet lønnsomt med dagens rammebetingelser.

Case 5, Enebolig 200 m^2, byggeår 1970

Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	32 000
Investering	kr	311 830
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	25 296
Årlig kost med varmepumpe	kr	39 269
Besparelse per år	kr	-13 973

- Varmepumpe erstatter panelovner
- Bergvarmepumpe
- Effektdekning på 100 %, effektfaktor 2,9

Case 5 er en enebolig fra 1970 som case 3 med tillegg for investering i vannbårent anlegg. Elektrisitetsbruken reduseres med to tredjedeler og effektbehovet kaldeste dag reduseres tilsvarende med to tredjedeler i forhold til ren elektrisk oppvarming. Prosjektet er ikke lønnsomt.

Case 6, Enebolig 200 m^2, byggeår 1970

- Varmepumpe erstatter panelovner
- Bergvarmepumpe
- Effektdekning på 100 %, effektfaktor 2,9

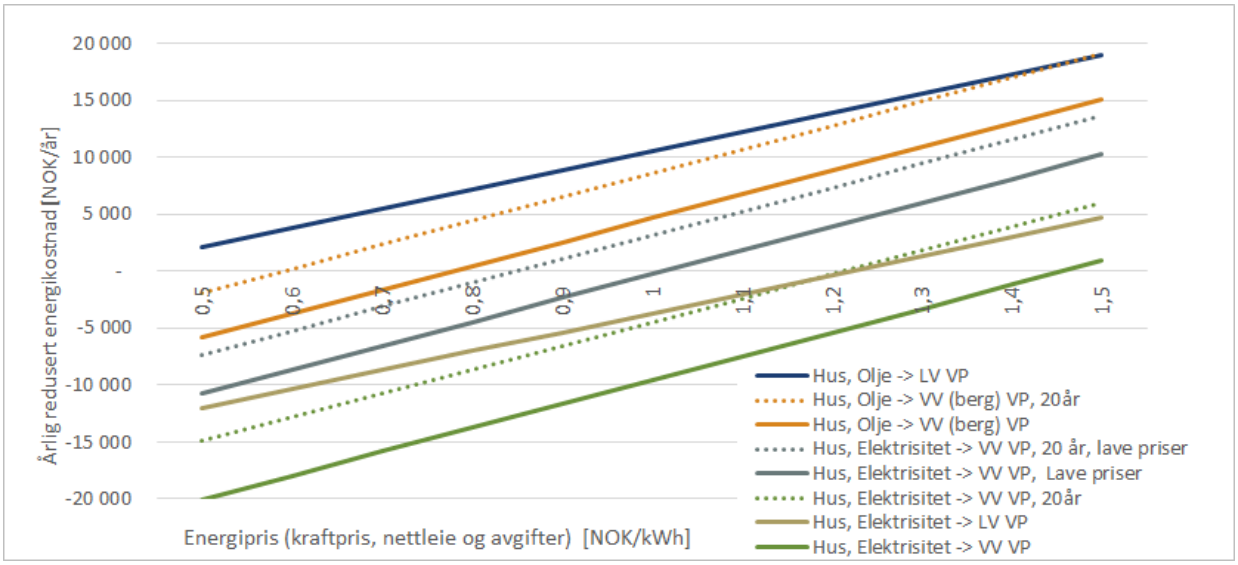
Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	32 000
Investering	kr	208 281
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	25 296
Årlig kost med varmepumpe	kr	29 956
Besparelse per år	kr	-4 660

Case 6 er som case 5, men lavere investeringskostnader på varmepumpe og tilhørende anlegg. Investeringsnivået er lavere i andre markeder, eksempelvis Sverige. Det svenske markedet har hatt insentiver for bergvarmepumper i mange år og installasjonsvolumet er 10 ganger høyere enn i Norge. Det er interessant å se hva prosjektøkonomien er ved lavere kostnader. Prosjektet er lønnsomt med lavere investeringskostnader.

Lønnsomheten i de ulike casene er sterkt avhengig av hvilken elektrisitetspris aktørene står ovenfor. Vi har derfor valgt å vise årlig besparelse som funksjon av samlet elektrisitetspris i Figur B-1. Med samlet elektrisitetspris mener vi nettleie, energiledd og avgifter.

Vi har dessuten i figuren regnet på 20 års tilbakebetaling på prosjektene med vannbåren varme, i tillegg til 15 år, da vi mener 20 år kan være vel så riktig levetid for et vannbårent anlegg. Av figuren ser vi at ved en energipris på 1 krone er prosjektene med overgang fra olje til varmepumpe og vannbåren varme lønnsomme, samt overgang fra elektrisitet til vannbåren varme hvis en bruker 20 år som nedbetalingstid.

Varmepumpeteknologien er under kontinuerlig forbedring og årsvarmefaktoren blir stadig bedre. Moderne inverterstyrte varmepumper vil kunne gi 100 % effektdekning og dermed redusere effektbehovet med 60 til 80 % på dimensjonerende kalde dager.



Figur B-1 Årlig besparelse som funksjon av el-pris. LV VP = luft-vann varmepumpe, VV VP = væske-vann varmepumpe. Kilde: NVE

Tabell B-1 Kostnader ved utvalgte varmepumpescenarier

Utvalgte varmepumpescenarier		Oljefyr til varmepumpe			Elektrisk til varmepumpe		
	Enheter	1) Luft til væske VP Bolighus Tek 69/87	2) Luft til væske VP Boligblokk Tek 69/87	3) Bergvarmepumpe Bolighus Tek 69/87	4) Luft til væske VP Bolighus Tek 69/87	5) Bergvarmepumpe Bolighus Tek 69/87	6) Bergvarmepumpe Bolighus Tek 69/87 Fungerende marked
Investering Varmepumpe	kr/kW$_v$	10 000	6 500	11 183	10 000	11 183	7 828
Investering borehull	kr/kW$_v$			10 000		10 000	7 000
Investering vannbårent anlegg	kr/m2				500	500	300
Oppgradering radiatorer/viftekonvektor	kr/m2	150		150			
Investering	kr	130 000	195 000	241 830	200 000	311 830	208 281
Kapittalkostnad per år for varmepumpeløsning	kr /år	11 692	17 539	21 750	17 988	28 046	18 733
Driftskostnader per år varmepumpe	kr /år	2 500	10 000	2 500	2 500	2 500	2 500
Investering i elektrisk oppvarming (50 år)	kr/m2	450	250	450			
Investering elektrisk oppvarming	kr	90 000	175 000	90 000			
Kapitalkostnad elektrisk oppvarming		7 920	15 400	7 920	-	-	-
Fullast timer	timer	3 200	3 200	3 200	3 200	3 200	3 200
Effektfaktor (SCOP)		2,4	2,2	2,9	2,4	2,9	2,9
Dimensjonerende effekt	kW	10	30	10	10	10	10
Effektdekning	%	60	50	100	60	100	100
Energidekning	%	90	85	100	90	100	100
Bolig areal	m2	200	700	200	200	200	200
Rente	%	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %
Levetid på varmepumpe	år	15	15	15	15	15	15
Kraftpris	kr/kWh	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Årlig varmebehov rom og varmt vann	kWh	32 000	96 000	32 000	32 000	32 000	32 000
Energibruk elektrisk	kWh	32 000	96 000	32 000	32 000	32 000	32 000
El-bruk varmepumpe og spisslast	kWh	15 200	51 491	11 034	15 200	11 034	11 034
Elbruk etter oppgradering	%	48 %	54 %	34 %	48 %	34 %	34 %
Effektbruk kaldeste dag etter oppgradering	%	71 %	100 %	34 %	71 %	34 %	34 %
Årlig kost ved elektrisk oppvarming	kr	33 216	91 287	33 216	25 296	25 296	25 296
Årlig kost med varmepumpe	kr	26 208	68 241	32 973	32 504	39 269	29 956
Besparelse per år	**kr**	**7 008**	**23 045**	**242**	**-7 208**	**-13 973**	**-4 660**

Vedlegg C – Potensial overflatevann og grunnvann

Det er tidligere gjennomført to store beregninger av potensial, relatert til grunnvarme og overflatevann.

- Asplan Viak (Asplan Viak, 2011) har beregnet potensialet for oppvarming basert på varme fra **grunnvann** til å være ca 53 TWh, samt 2 TWh til kjøling i 2030. Grunnvarme er i rapporten i hovedsak delt i to kategorier: Lukket anlegg, dvs energibrønn i fjell med lukket kollektorslangesystem og åpent system med direkte bruk av oppumpet grunnvann. Rapporten tar i beregningen hensyn til oppvarmingsbehovet i bygninger, geografisk passering av bygninger, samt geologi i ulike områder.
- NGI (NGI, 2011) har beregnet potensialet for **overflatevann** til 14,0 TWh/år til oppvarming og 1,6 TWh/år til kjøling. Overflatevann er i denne sammenheng sjøvann, innsjøer, elver. Rapporten konkluderte med at bruk av varmepumper ved utnyttelse av overflatevann er best egnet for større bygninger dvs. næringsbygg og industribygg For eneboliger og mindre bygninger er potensialet for utnyttelse av overflatevann langt mindre. De beregnet dessuten at etablering av fjernvarmesystemer tilknyttet sjøvannsbaserte varmepumpeanlegg vil gjøre at det totale potensialet øker til 20,8 TWh. Analysen tok utgangspunkt i både bygningspotensiale og ressurstilgang. Det totale oppvarmings- og kjølebehovet i 2030 ble antatt likt dagens behov.

Vedlegg D – Forutsettinger i Excel-fremskrivingen

Dette vedlegget beskriver forutsettinger gjort i fremskrivingen som er laget i Excel, og som fremskriver historisk utvikling.

Levetider og SPF er basert på NVEs kostnadsrapport (NVE, 2015). Det antas at varmepumpene har en begrenset levetid, og at de følger en Weibull-fordeling i utfasingen. Ved en levetid på for eksempel 10 år vil en weibull-fordeling fase ut litt flere *etter* 10 år enn før 10 år. Vi forutsetter videre at 90 % av de ødelagte pumpene i husholdningene erstattes, ved at boligeier kjøper ny. Nysalget er dermed lik registrert salg minus erstatningssalg.

Fremskriving antall:

- Husholdninger: Salg per år fremskrives med prosentsats basert på hvor stor andel av gjenstående boliger som har kjøpt varmepumpe de siste 10 år. (Ca 4 % av gjenstående boliger)
- Yrkesbygg: Salg per år fremskrives med samme rate som snitt av totalsalg siste 5 år * yrkesbyggs andel av totalsalg.
- Industri: Salg per år fremskrives med:

  Samme rate som snitt av totalsalg siste 5 år * Industris andel av totalsalg.
- Antall pumper i drift beregnes som akkumulert salg minus ødelagte pumper

Fremskriving effekt:

- Antall pumper solgt i år N for husholdninger * middeleffekt for pumper solgt i husholdninger 2010-2015
- Antall pumper solgt i år N for yrkesbygg * middeleffekt for pumper solgt i yrkesbygg 2010-2015
- Antall pumper solgt i år N for industrien * middeleffekt for pumper solgt i industrien 2010-2015

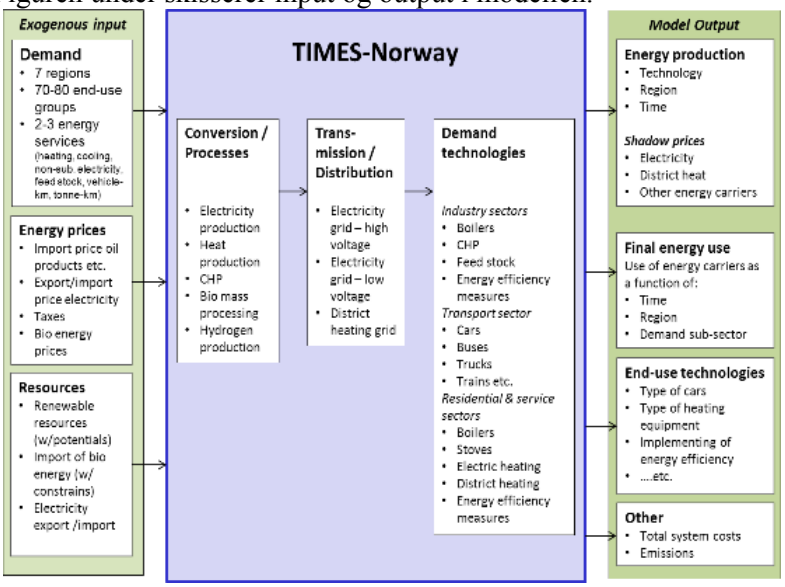
Fremskriving varmeproduksjon:

- Antall pumper solgt i år N for sektor X * middeleffekt for pumper solgt 2010-2015 i sektor X * brukstid * SPF

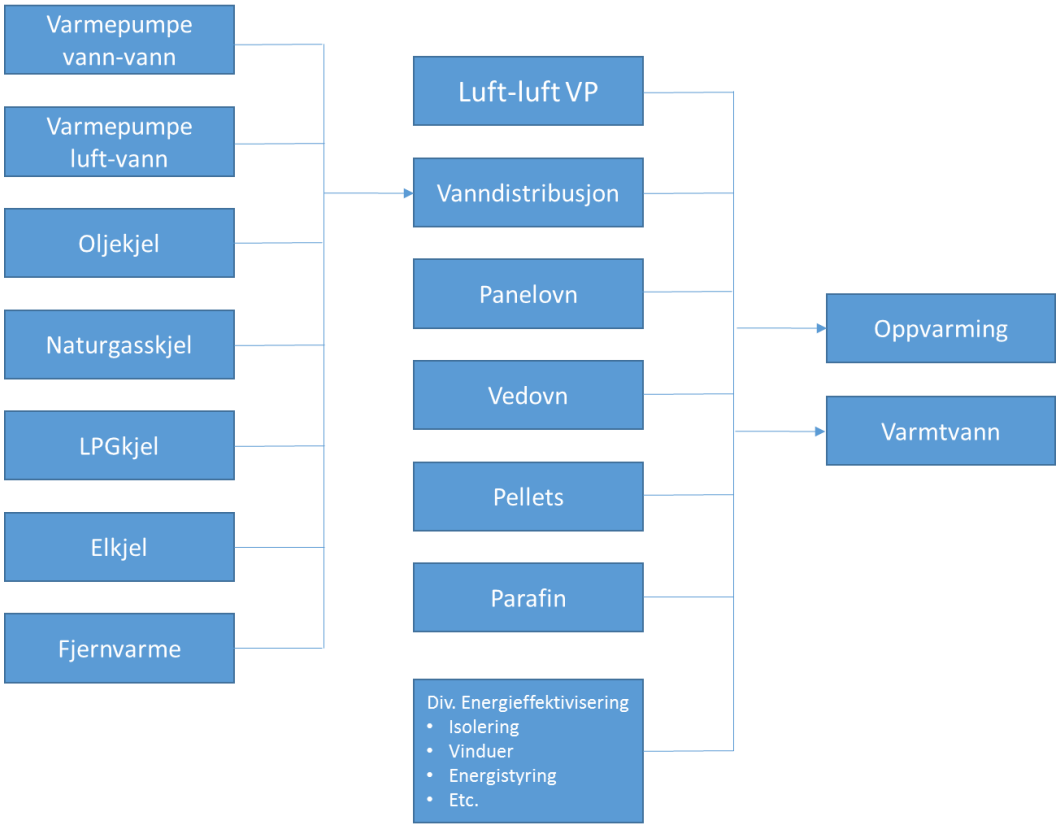
Vedlegg E – TIMES-modellen

TIMES er et verktøy for å analysere energisystemer på nasjonalt, regionalt eller globalt nivå. Modellen kan benyttes både på kort sikt (2015-2020) og lang sikt (2050), og beskriver energisystemet år for år med eksisterende og fremtidige ressurser og teknologier for tilgang og sluttbruk, og finner optimalt investeringsnivå for å dekke en fremtidig etterspørsel til lavest mulig kostnad. TIMES beregner den sammensetning av energikilder og teknologier som tilfredsstiller ulike tekniske, økonomiske og miljømessige begrensinger til lavest mulige kostnad over hele analyseperioden. Begrensninger som kan legges inn kan for eksempel være at: CO_2 reduksjoner skal oppnås og miljøkrav skal overholdes, innføring av nye teknologier har tidsskranker og trenger en viss tid før det er sannsynlig at de kan tas i bruk, politiske målsetninger for innfasing av nye teknologier eller standarder skal oppnås, tilstrekkelig produksjonskapasitet skal være tilgjengelig, osv.

Modellen er delt opp i 5 ulike regioner for Norge tilsvarende dagens elspotområder. Figuren under skisserer input og output i modellen.



Figur E-1 Times rammeverk. Input og output.



Figur E-2 Skisse av oppbygning av husholdninger i TIMES

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no