

Naturlig Ventilation med varmegenindvinding og køling i en sportshal



IKM A/S

Kultur og Idrætscentret Fynshav



EUDP J. nr. 64013 – 0588.

Indhold

1	Indledning.....	4
2	Konklusion	5
3	Executive summary	6
4	Beskrivelse af NVVK systemet	7
4.1	Varmegenindvinding med NVVK.....	7
4.2	Bæredygtig køling med NVVK – konceptet.....	8
4.3	Konklusioner fra EFP projektet ”Naturlig Ventilation med Varmegenindvinding og Køling”	9
4.3.1	Energiforbrug.....	9
4.3.2	Driftsøkonomi.....	10
4.3.3	Miljøbelastning.....	10
4.3.4	Etableringsøkonomi.....	11
4.4	Egnede bygningstyper for NVVK	12
5	Beskrivelse af NVVK prototype	13
5.1	Forhistorie.....	13
5.2	Opbygning af sportshallen ”Diamanten”	13
5.3	Opbygning af NVVK systemet i ”Diamanten”	15
5.3.1	Opbygning af ventilationsenheder	16
5.3.2	Opbygning af varmepumpe og buffertanke.....	16
6	Målinger	22
6.1	Installeret måleudstyr.....	22
6.2	Analyse af NVVK – prototypens drift og ydelse	22
6.2.1	Analyse af varmebalance	22
6.2.2	Analyse af elforbrug.....	28
6.2.2.1	Elforbrug til varmepumpe	29
6.2.2.2	Elforbrug til cirkulationspumperne.....	29
6.2.2.3	Elforbrug til ventilation	29
6.2.3	Analyse af køleydelse.....	30
6.3	Analyse af optimeret ydelse sammenlignet med alternative ventilationsanlæg.....	31
7	Brugerundersøgelser i ”Diamanten” og præsentation af NVVK for byggebranchens aktører	35
7.1	Brugerundersøgelser i ”Diamanten”	35
7.2	Præsentation af NVVK for byggebranchens aktører	35
8	Diskussion.....	37

8.1	Energiforbrug	37
8.2	Økonomi	37
8.3	Videreførelse af NVVK og vidensformidling.....	37

1 Indledning

Denne rapport afslutter EUDP – projektet ”Naturlig Ventilation med varmegenindvinding og køling i en sportshal” (J. nr. 64013 – 0588). Projektet er udført med ventilationsfirmaet IKM A/S som projektleder, den selvejende institution Kultur og Idrætscentret Fynshav som projektpartner og det rådgivende firma Elincon IVS som underrådgiver mht. analyse af måleresultaterne samt dokumentation.

Formålet med projektet var at udvikle og teste en prototype på ventilationskonceptet ”Naturlig Ventilation med Varmegenindvinding og Køling” (forkortet NVVK). Teorien bag NVVK blev udviklet i EFP projektet ”Naturlig Ventilation med Varmegenindvinding og Køling” (EFP 33032-0095).

Rapporten beskriver opbygningen af prototypen i sportshallen ”Diamanten” i Fynshav på Als og analyserer forløbet af ca. et års kørsel, april 2014 – marts 2015. På baggrund af målingerne bliver der givet en vurdering af NVVK – ventilationssystemets potentiale mht. energiforbrug, besparelser og driftsøkonomi sammenlignet med andre ventilationssystemer på markedet.

Nærværende EUDP – projekt er en afløser af EUDP – projektet af samme navn og med j. nr. 63011-0172, som blev lukket ned af Energistyrelsen i efteråret 2013. Nedlukningen skyldes det daværende projektlederfirmas konkurs og Energistyrelsen besluttede derefter at oprette et nyt EUDP – projekt med de ovennævnte parter som deltagere. De resterende midler blev overført til det nærværende projekt, men disse var desværre meget begrænsede. Da to af de tidligere deltagere på det nedlukkede projekt yderligere ikke har ønsket at afrapportere deres del eller udlevere deres materiale, er denne rapport desværre ikke blevet så dybtgående som projektpartnerne har ønsket.

2 Konklusion

Der er blevet opbygget en prototype af NVVK – ventilationssystemet i sportshallen ”Diamanten” i Fynshav på Als. Prototypen har kørt i næsten 12 måneder fra april 2014 – marts 2015. Testens målinger er blevet analyseret mht. prototypens elforbrug og varmebesparelser og sammenlignet med andre ventilationssystemer på markedet.

Testen viste, at NVVK – ventilationssystemet har et klart potentiale til at have et betydeligt lavere energiforbrug end balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding efter en vægtning af elforbrug og varme sparet i overensstemmelse med bygningsenergireglementet. Ligeledes vurderes der også potentielt at være lavere installationsomkostninger og lavere driftsomkostninger

Sammenlignet med hybrid ventilation (der anvender balanceret mekanisk ventilation om vinteren og naturlig ventilation med back up udsugning om sommeren) har NVVK – systemet potentiale til at have et tilsvarende energiforbrug og driftsøkonomi, mens der ikke er data nok til at drage sammenligninger mellem installationspriserne.

Pga. en række tekniske vanskeligheder udenfor projektgruppens kontrol lykkedes det ikke at få kølingen til at køre optimalt. Fejlene er dog blevet identificeret og rettet og der forventes forbedret kørsel med køling i sommeren 2015.

Brugerundersøgelser fra ”Diamanten” har påvist overvejende gode oplevelser med NVVK – prototypen og en præsentation af NVVK – produktet for 16 aktører i byggebranchen gav ligeledes overvejende positive tilbagemeldinger.

På baggrund af de gode måleresultater og positive tilbagemeldinger fra brugere af ”Diamanten” og aktører i byggebranchen vil IKM og Elincon kommercialisere NVVK – produktet.

3 Executive summary

A prototype of the NVHRC (Natural Ventilation with Heat Recovery and Cooling) ventilation system has been constructed and installed in the sports centre "Diamanten" (The Diamond) in the town of Fynshav on the island of Als. The prototype has been running and tested for almost a year - from April 2014 – March 2015. The measurements from the test have been analyzed with respect to electricity consumption and heat savings and comparisons have been made with other ventilation systems on the market.

The test proved that the NVHRC product clearly has a potential for a significant lower energy consumption compared to balanced mechanical ventilation with heat recovery. Electricity consumed and heat savings have been calculated in accordance with the Danish building energy regulations. It is estimated that both running costs and installations cost for NVHRC are potentially lower compared to balanced mechanical ventilation with heat recovery.

Compared to hybrid ventilation (defined as a ventilation system using balanced mechanical ventilation with heat recovery in vinter and natural ventilation with back up exhaust in summer) the NVHRC ventilation system has the potential for a similar energy consumption and running costs. There is not sufficient data to compare installation costs.

Due to a number of technical issues beyond the control of the project group, it hasn't been possible to use the cooling effectively. The issues have been identified and corrected and regular operation is expected in the summer of 2015.

User surveys from "The Diamond" have proven predominantly good experiences with the NVHRC prototype. Moreover, presentations of the NVHRC – product for 16 players in the building sector gave predominantly positive feedback.

Based on the good results from the test of the prototype and positive feedback fra users of "The Diamond" and players in the Danish building sector, IKM and Elinon will proceed to commercialize the NVHRC product.

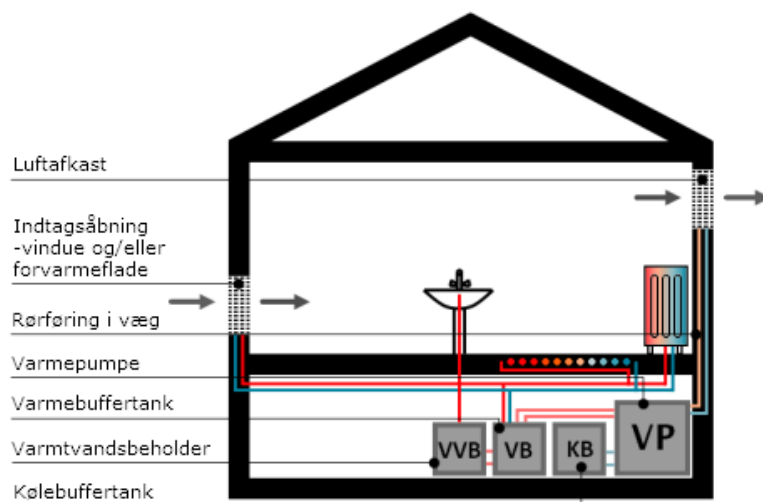
4 Beskrivelse af NVVK systemet

Valget af naturlig ventilation som ventilationsmetode har klare fordele pga. det lave elforbrug til lufttransport, lave installationsomkostninger og æstetiske fordele (ingen kanalføring er nødvendig). Pga. det lave drivtryk har det hidtil ikke været muligt at finde en kommercielt tilgængelig løsning med varmegenvinding på afkastluften, hvilket – med det nuværende bygningsreglement - gør naturlig ventilation til en mindre favorabel løsning pga. et højere netto energiforbrug end de alternative løsninger på markedet. Derudover er det pga. det lave drivtryk vanskeligt at ventilere med høje luftmængder med naturlig ventilation, ligesom det heller ikke er muligt at køle på indtagsluften.

Naturlig ventilation med varmegenvinding og køling (NVVK) - konceptet gør det muligt at udvinde varmen i afkastluften fra naturlig ventilation og udnytte den til rumopvarmning, forvarmning af indtagsluft eller varmt brugsvand. Om sommeren er det endvidere muligt at køle på indtagsluften og udnytte varmen herfra – f.eks. til varmt brugsvand.

4.1 Varmegenindvinding med NVVK

I NVVK-konceptet placeres en luft-til-væske varmeveksler i luftafkastet i en given bygning. Varmeveksleren har et meget lavt tryktab på luftsiden - max. 5 Pa ved fuld luftgennemstrømning. Derudover er veksleren forsynet med en backup ventilator til at sørge for udsugning på de dage, hvor det naturlige drivtryk er utilstrækkeligt. Gennem vekslerens rør cirkulerer en væske (5 - 10 °C), som bliver opvarmet af den varme afkastluft, som passerer gennem veksleren. Væsekredsen er forbundet til en varmepumpe, som nedkøler den cirkulerende væske og overfører varmen til varmesystemet i den pågældende bygning.



Figur 1: Varmegenindvinding med NVVK - konceptet

Fra varmesystemet bliver varmen fordelt videre ud til varmt brugsvand, rumopvarmning eller forvarmning af indtagsluften.

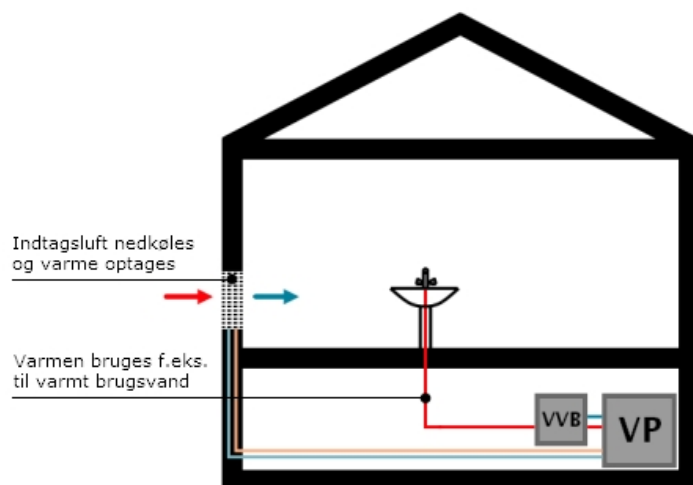
Der skal være et samspil mellem varmpotentialet fra afkastluften og varmebehovet i det pågældende lokale, som ventileres med NVVK-systemet. På kolde dage, hvor udetemperaturen er lav (f.eks. under 0 °C), vil lokalet have et netto varmebehov, idet der ikke er varme nok i afkastluften til at opvarme selve lokalet, og der skal derfor tilføres varme fra en anden varmekilde. Omvendt kan lokalet på varmere dage (5 - 10 °C) have et netto varmeoverskud. Det vil sige, at afkastluften potentielt kan levere mere varme, end lokalet skal anvende. Herved kan lokalet "eksportere" varme til resten af bygningen.

Princippet med en varmepumpe, der trækker varme ud af afkastluften er ikke nyt, og IKM A/S har anvendt dette koncept siden 2003 i deres efterspurgte VL-serie. I VL-serien anvendes central mekanisk udsugning med ventilationskanaler til udsugning fra de enkelte rum. En varmeveksler placeret ved luftafkastet trækker varme ud af ventilationsluften, og via en varmepumpe bliver varmen overført til varmesystemet. I NVVK-konceptet anvendes naturlig ventilation, hvorved elforbruget til mekanisk udsugning elimineres.

4.2 Bæredygtig køling med NVVK – konceptet

Er der behov for køling i det pågældende lokale, kan den cirkulerende kolde væskekreds fra varmepumpen ledes hen til en luftindtagsflade. Den udvundne varme fra kølingen bliver via varmepumpen overført til varmesystemet i bygningen – som regel vil varmen blive anvendt til brugsvand, da der sjældent optræder et rumvarmebehov samtidigt med et kølebehov i en bygning. Ved traditionel køling ledes den udvundne varme fra kølingen ud til omgivelserne og bliver således ikke nyttiggjort. I NVVK-konceptet betragtes den udvundne varme fra kølingen som en ressource og ikke et "restprodukt" og bliver derfor udnyttet.

I stedet for at køle på indtagsluften kan det også vælges at køle med kølebafler, køleloft, splitunit eller en termoaktiv konstruktion. NVVK-konceptet kan også anvendes i kombination med disse muligheder.



Figur 2: Bæredygtig køling med NVVK - konceptet

4.3 Konklusioner fra EFP projektet "Naturlig Ventilation med Varmegenindvinding og Køling"

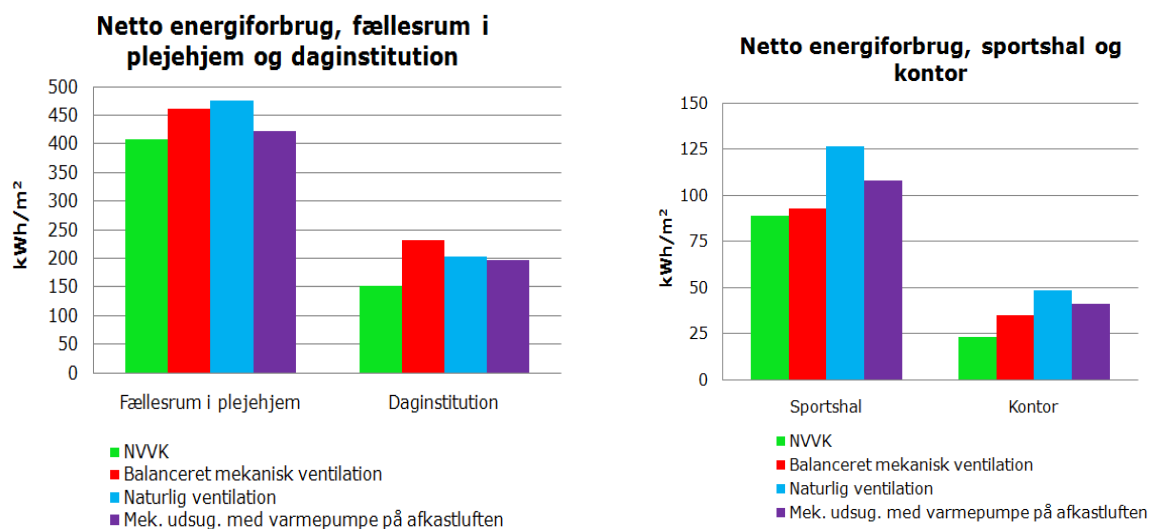
Teorien bag NVVK konceptet blev undersøgt i EFP projektet "Naturlig Ventilation med Varmegenindvinding og Køling", hvor den teoretiske ydeevne af konceptet også blev undersøgt. I EFP projekter er der udført teoretiske beregninger af energiforbrug, driftsøkonomi samt etableringsøkonomi for NVVK - konceptet på basis af 4 bygnings - eller rumtyper: Et fællesrum i et plejehjem på 77 m², en sportshal på 635 m², en daginstitution på 200 m² samt et kontorbyggeri på 4.200 m². Der er taget udgangspunkt i eksisterende byggeri.

Udregningerne er blevet sammenlignet med udregninger for balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding og køling, traditionel naturlig ventilation og mekanisk udsugning med varmepumpe på afkastluften.

4.3.1 Energiforbrug

Netto energiforbruget er udregnet efter den samme prioritering af el og varme som i bygningsreglementet, dvs. at elforbrug ganges med en faktor 2,5.

Ved alle sammenligningerne for de 4 bygningstyper viste det sig, at NVVK havde det laveste netto energi forbrug:



Figur 3: Energiforbrug, NVVK sammenlignet med andre ventilationskoncepter.

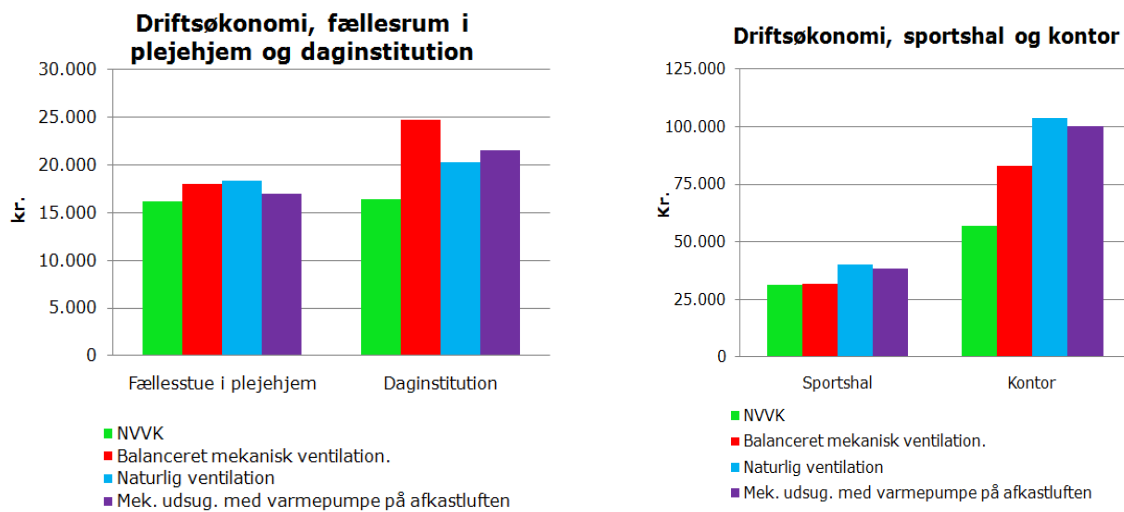
Som ovennævnte figurer viser, er der et energibesparelsespotentiale på op til 50 % ved anvendelse af NVVK-konceptet. Endvidere blev det også eftervist at 25 % - 100 % af overskudsvarmen fra kølingen kan udnyttes alt efter hvilken bygningstype, der er tale om.

EFP – projektet påviste, at NVVK - konceptet er et energibesparende alternativ til andre ventilationssystemer af flere grunde:

- Konceptet gør brug af naturlige drivkræfter til at drive ventilationen (termisk opdrift og vindinduceret drivtryk). For at sikre luftgennemstrømning på dage med et lavt naturligt drivtryk anvendes en back up ventilator, men denne bruger meget lidt strøm. Den gennemsnitlige SEL - faktor ligger på omkring 0,03 - 0,07 kJ/m³, hvilket giver et netto energiforbrug (efter vægtning af el med en faktor 2,5) til ventilation, der ligger på ca. 0,5 - 1 kWh/m².
- Varmepumpen kører med en god COP-værdi på omkring 4 – 5. Dvs. at for hver 1 kWh el, man anvender i NVVK - konceptet får man 4 - 5 kWh varme igen.
- NVVK - konceptet genbruger også varmen fra afkastluften om sommeren til opvarmning af varmt brugsvand.

4.3.2 Driftsøkonomi

Det lave netto energiforbrug giver også anledning til en lav driftsøkonomi ved alle sammenligningerne:

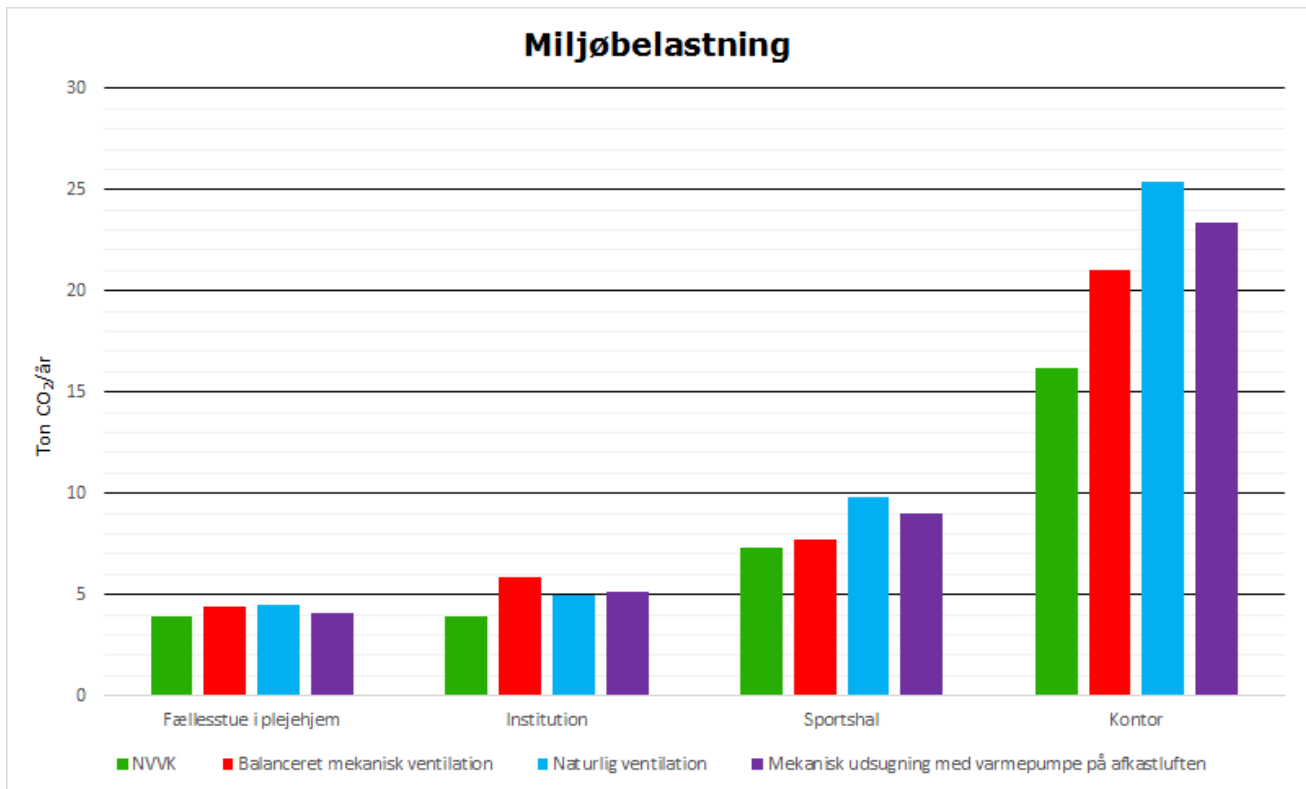


Figur 4: Driftsøkonomi, NVVK sammenlignet med andre ventilationskoncepter.

Det lave elforbrug til ventilation kombineret med det lave varmeforbrug i NVVK – konceptet giver anledning til de meget lave driftsudgifter – op til 40 % sammenlignet med konventionelle ventilationssystemer.

4.3.3 Miljøbelastning

Ud fra kendskabet til varmeforbrug og elforbrug er CO₂ – emissionen for de enkelte ventilationsmetoder opgjort. Igen ligger NVVK lavt – mest markant er forskellen ved beregningerne for institutionen og kontoret, hvor NVVK har en emission, der er 25 - 40 % lavere end de andre ventilationsformer.



Figur 5: CO₂ - emission, NVVK sammenlignet med andre ventilationskoncepter.

Som baggrundstal er der anvendt Energistyrelsens tal for CO₂ - emission fra fjernvarme og el fra 2012, der er gjort op til 122 g CO₂ pr. kWh fjernvarme og 340 g CO₂ pr. kWh el.

4.3.4 Etableringsøkonomi

I samme rapport blev det klarlagt at mht. installationsomkostninger er NVVK potentielt billigere – op til 25 % - end balanceret mekanisk ventilation ved en luftmængde på over ca. 4.000 m³/h. Udgiften til varmepumpen og afkastveksler er relativt omkostningstung ved små ventilationsluftmængder og gør NVVK økonomisk mindre fordelagtig ved en luftstrøm på under nævnte størrelse. Ved større luftmængder end ca. 4.000 m³/h bliver udgiften til varmepumpe og afkastveksler mindre omkostningstung. Derudover har NVVK ikke udgifter til ventilationskanaler, hvilket også giver NVVK en fordel i forhold til balanceret mekanisk ventilation ved større luftmængder.

Derudover har NVVK den fordel, at bruttoetagehøjden kan nedsættes, da der ikke er behov for ventilationskanaler. Balanceret mekanisk ventilation har typisk brug for ca. 0,5 m i højden pr. bygningsetage til træk af ventilationskanaler. Dette betyder, at for en kontorbygning med en typisk netto etagehøjde på 2,7 m vil der for hver 6 etager blive "mistet" en hel nettoetage udelukkende til kanaltræk. Da NVVK ikke behøver nogen ventilationskanaler er der mulighed for – med en bygning på over 6 etager – at etablere en ekstra etage i tilfælde af, at der er lokale restriktioner på bygningshøjden, hvilket ofte er tilfældet i Danmark.

4.4 Egnede bygningstyper for NVVK

NVVK forventes at udgøre et godt valg som ventilationsprodukt i bygninger med et middel til højt ventilationsbehov. Er der yderligere et højt varmtvandsbehov eller anden behov for varme til f.eks. industriprocesser trækker dette yderligere op. Derfor kan NVVK forventes at være et godt valg i følgende bygningstyper:

- Sportshaller
- Svømmehaller
- Skoler
- Kontorer
- Fabrikker
- Banker
- Udstillingshaller, koncertsale
- Bagerier
- Vaskerier
- Restauranter og cafeterier
- Auditorier
- Daginstitutioner
- Hospitaler
- Slagterier

5 Beskrivelse af NVVK prototype

5.1 Forhistorie

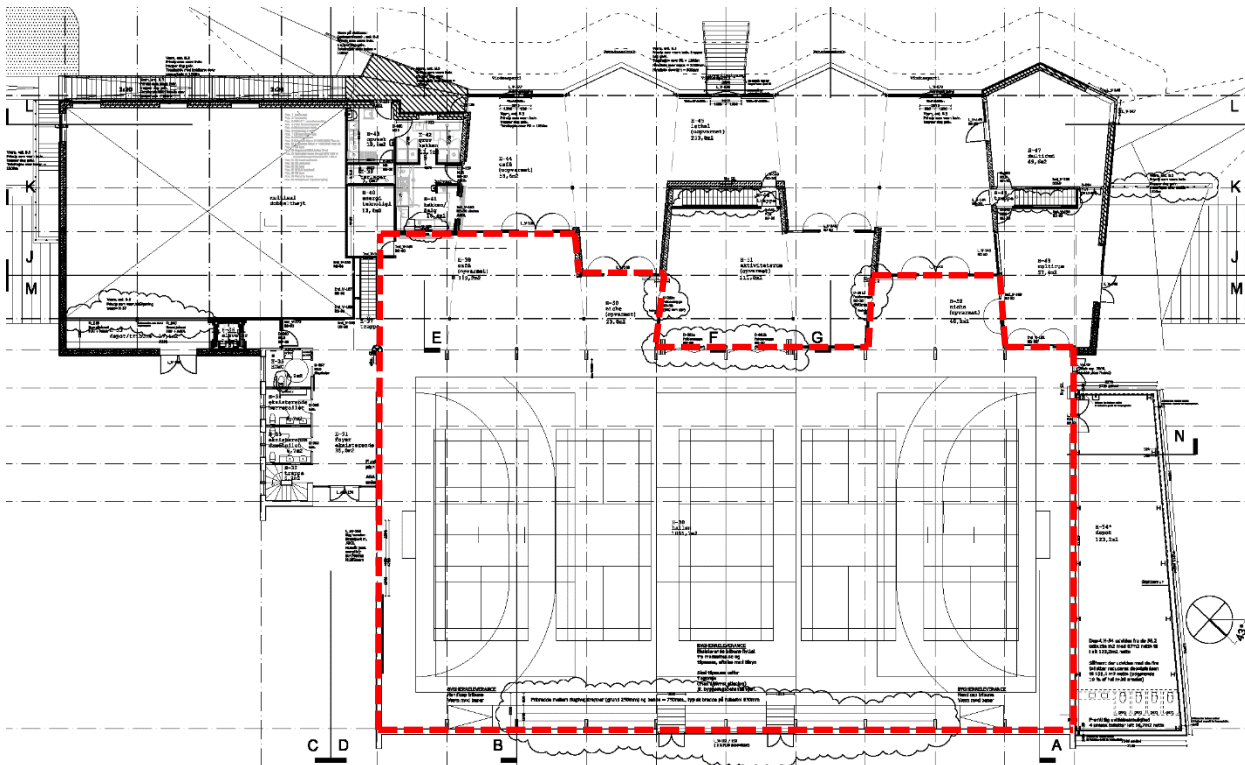
Efter at der i ovennævnte EFP – projekt var påvist væsentlige teoretiske energibesparelser ved NVVK – systemet var det naturlige næste skridt at opføre en prototype, der kunne gøre det muligt at teste systemet i praksis. Dette krævede et byggeri, der var villigt til at få prototypen installeret og chancen bød sig, da Fryndesholmhallen (nu omdøbt til ”Diamanten”) i Fynshav på Als skulle renoveres. Den eksisterende hal, opført i 1970’erne, var nedslidt og stod overfor en renovering samt udbygning til 36 mio. kr. Bygherre og ejer, Kultur og Idrætscentret Fynshav (KIF) havde ambitioner om at etablere en bæredygtig og energieffektiv hal med innovative løsninger og her passede NVVK – systemet godt ind. Derudover var og er ”Diamanten” en del af ProjectZero, der har som mål at gøre Als CO₂ – neutral i 2029.

5.2 Opbygning af sportshallen ”Diamanten”

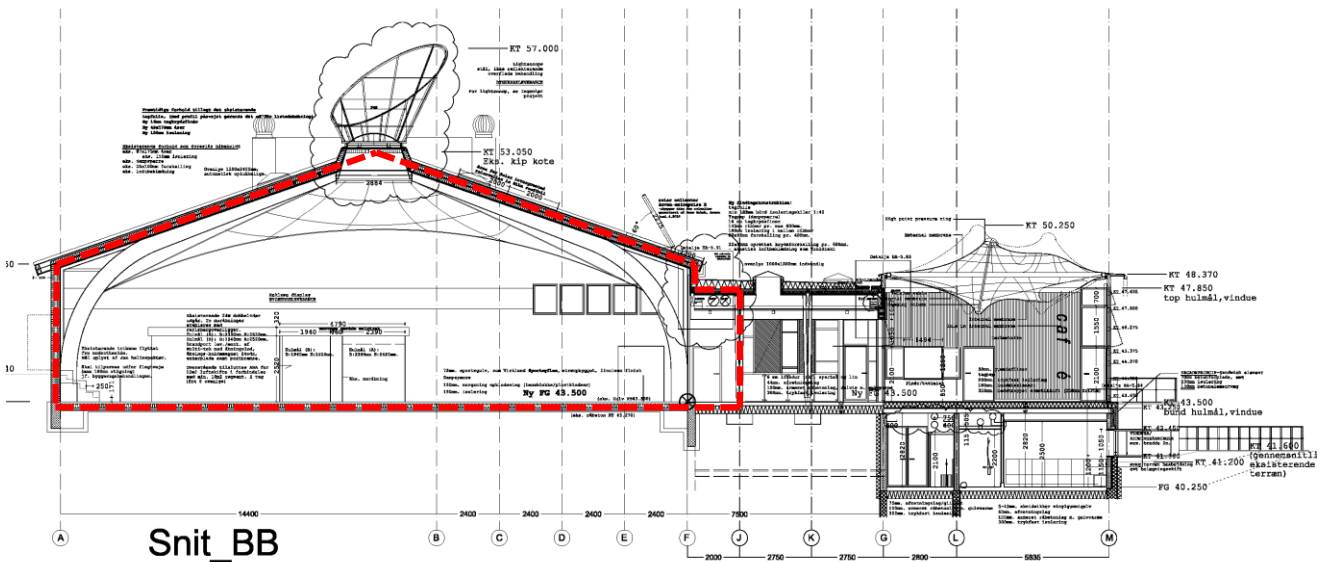
”Diamanten” består af følgende rum

- En hovedhal på 1.250 m², som er den oprindelige hal – dog efterisoleret, udstyret med nye ovenlysvinduer samt NVVK - systemet.
- Eksisterende toiletter, foyer og administrationsrum på ca. 130 m²
- Nye opvarmede tilbygninger (omklædningsfaciliteter, multirum, teknikrum og køkken) i stueplan og kælder på ca. 1.000 m²
- Nye uopvarmede tilbygninger i stueplan og kælder på ialt 480 m²

Da NVVK – systemet er mest velegnet til ventilering af store rum eller lokaler, blev det besluttet at anvende systemet i ”Diamanten”s hovedhal (markeret med rødt forneden).



Figur 6: Plan, hovedhal ventilleret med NVVK – konceptet markeret med rødt.



Figur 7: Snit, hovedhal ventilleret med NVVK – konceptet markeret med rødt.

Som det vil vise sig senere, er det velegnet at der er ca. 1.500 m² rum udover hovedhallen, der har varmebehov. I lange perioder har hovedhallen nemlig et overskud af varme, dvs. at der bliver trukket mere varme ud af afkastluften fra hovedhallen end der er af varmebehov i hovedhallen til rumopvarmning og

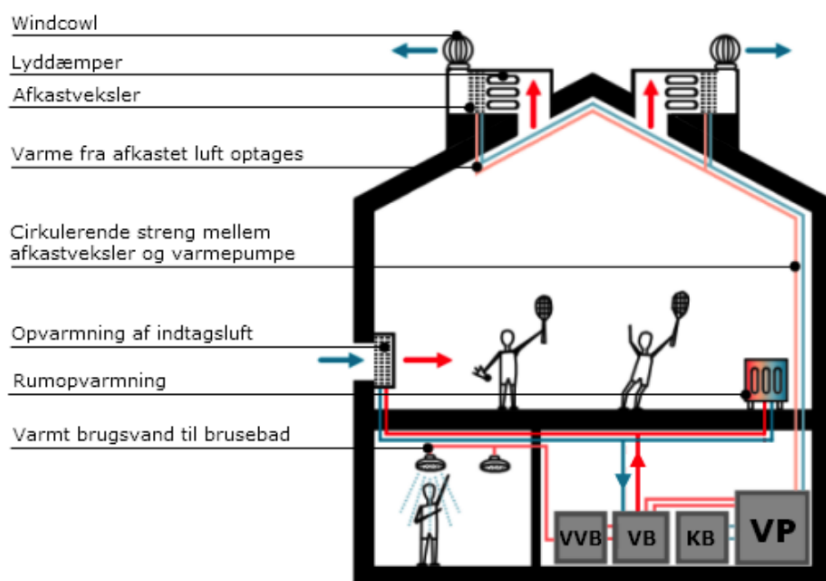
forvarmning af indtagsluften. Da de øvrige rum i denne situation godt kan have et varmebehov og der også er et vist varmebehov til brugsvandsopvarmning, betyder det at overskudsvarmen fra afkastluften kan blive nyttiggjort her.



Figur 8: Billede af "Diamanten" efter reovering. Den trekantede gavl på hovedhallen kan ses til venstre i billedet med to ventilationsenheder på toppen. Øvrige bygninger på billedet er nye tilbygninger

5.3 Opbygning af NVVK systemet i "Diamanten"

Nedenstående tegning skitserer opbygningen og funktionen af NVVK – systemet i "Diamanten":



Figur 9: Principskitse af NVVK prototype i "Diamanten"

5.3.1 Opbygning af ventilationsenheder

4 ventilationsenheder placeret på taget, hver bestående af en windcowl og varmeveksler, sørger for hhv. udsugning og varmegeindvinding af afkastluften. Windcowl'en er en såkaldt "vindhætte", der bliver drevet rundt af vinden. Herved skabes et svagt undertryk i undersiden af windcowl'en, der suger luft ud af hallen. En flowmåler placeret i den ene af ventilationsenhederne sikrer, at den nøjagtige ventilationsluftmængde bliver målt. Hver windcowl har en kapacitet på 2.000 m³/h, hvilket giver en samlet ventilationskapacitet på 8.000 m³/h. Såfremt der ikke er vind nok til at drive windcowl'en rundt, kan denne drives rundt med en elektromotor, der er forbundet til windcowl'en via en kilerem. Et automatiseret jalousispjæld placeret horisontalt under hver windcowl sikrer, at windcowl'en ikke suger for meget luft ud ved høje vindhastigheder (windcowl'en kan ikke bremses). Ventilationsluftmængden bliver styret af CTS-anlægget efter indhold af CO₂ (max. 1000 ppm), relativ fugtighed (max. 70 % RH) og indetemperatur (max. 20 grader). Overskrides en af disse parametre, udregnes en ønsket luftmængde af CTS – anlægget og ventilationsluftmængden bliver forøget ved at åbne for jalousispjældet. Hvis dette er 100 % åbent og den aktuelle ventilationsluftmængde er under den ønskede, øges strømtilførsel til elektromotoren.



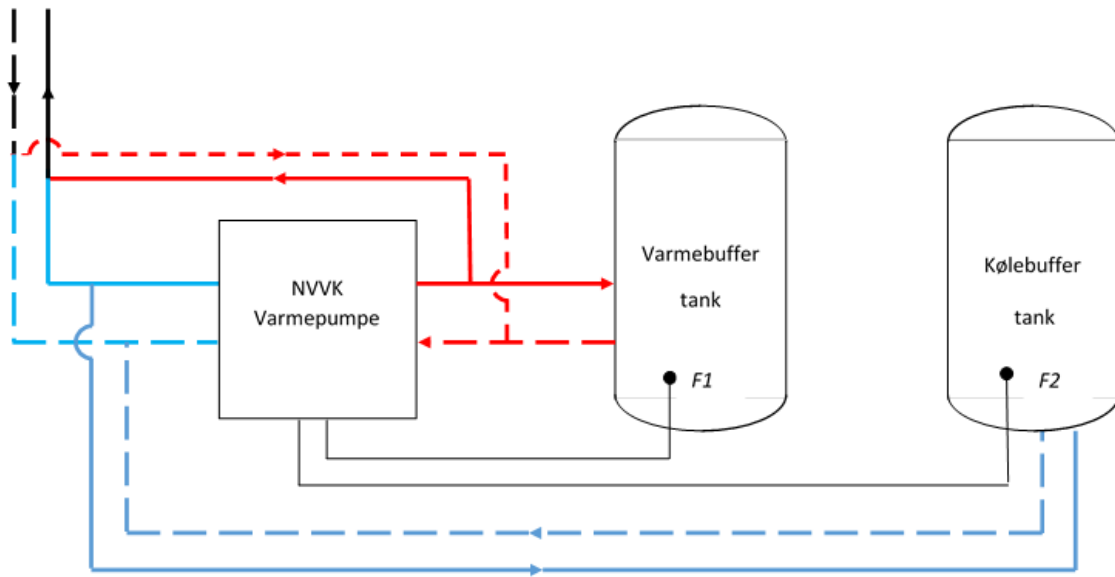
Figur 10: Billede af ventilationsenhed på taget.

En cirkulerende lukket væskekreds mellem den kolde side af varmepumpen (VP) og varmevekslerne overfører varmen fra afkastluften til varmepumpen. Når ventilationsluftmængden bliver forøget eller formindsket, vil varmepumpen regulere sin ydelse tilsvarende. Varmepumpen kan yde op til 20 kW varmeeffekt.

5.3.2 Opbygning af varmepumpe og buffertanke

Nedenstående principskitse illustrerer sammenhængen mellem NVVK – varmepumpen, varmevekslere i luftafkast og buffertankene:

Til varmeveksler i afkast



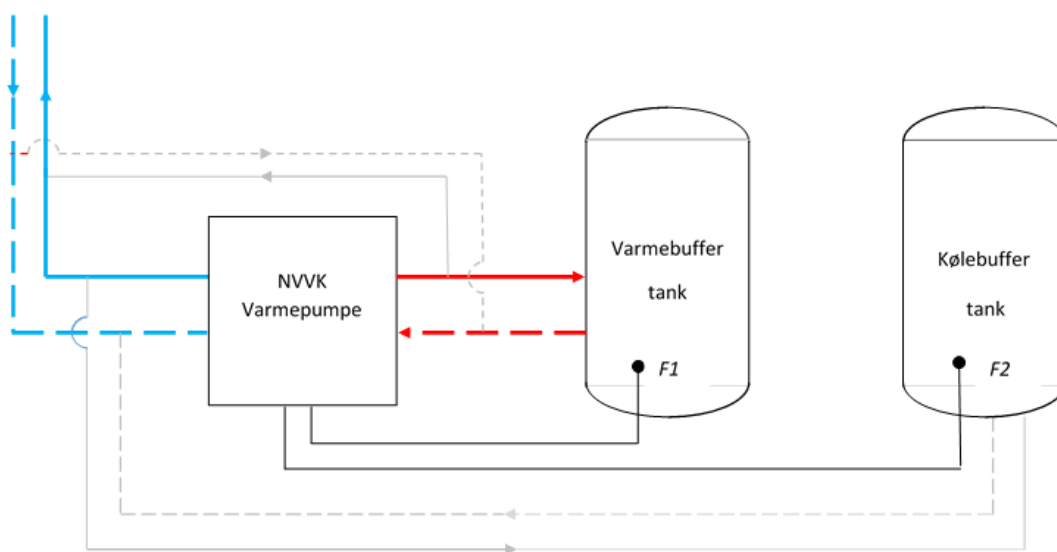
Figur 11: Principskitse af NVVK varmepumpe og buffertanke

Ved hjælp af ventiler og cirkulationspumper kan NVVK – varmepumpen overføre varme mellem de forskellige medier (Afkastluft, varmebuffertank og kølebuffertank) alt efter hvad CTS – anlægget giver af signal, dvs. om der ønskes køling eller varme og til hvilket setpunkt i de pågældende tanke. NVVK varmepumpen har temperaturfølere placeret i både varmebuffertank og kølebuffertank (Hhv. F1 og F2) for løbende at måle om aktuel temperatur er nået i forhold til setpunktstemperatur.

Følgende illustrationer beskriver de tre driftssituationer:

Varmegenindvinding på afkastluften

Til varmeveksler i afkast

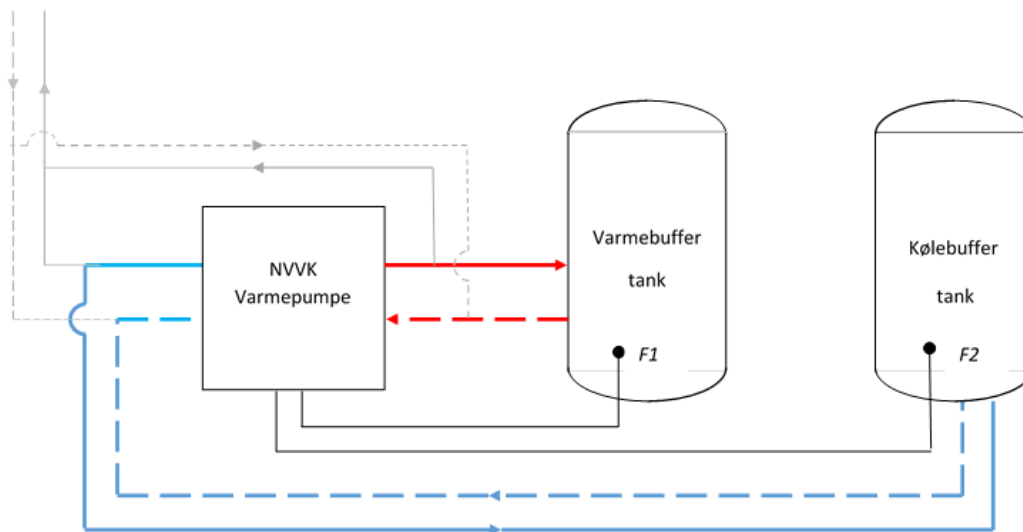


Figur 12: Varmegenindvinding på afkastluften

Dette er den mest almindelige driftssituation og forekommer i fyringssæsonen. Den kolde side af varmepumpen cirkulerer vand op til afkastvekslere og trækker herved varme ud af afkastluften. Den udvundne varme bliver overført til varmebuffertanken.

Køling med udnyttelse af overskudsvarmen

Til varmeveksler i afkast

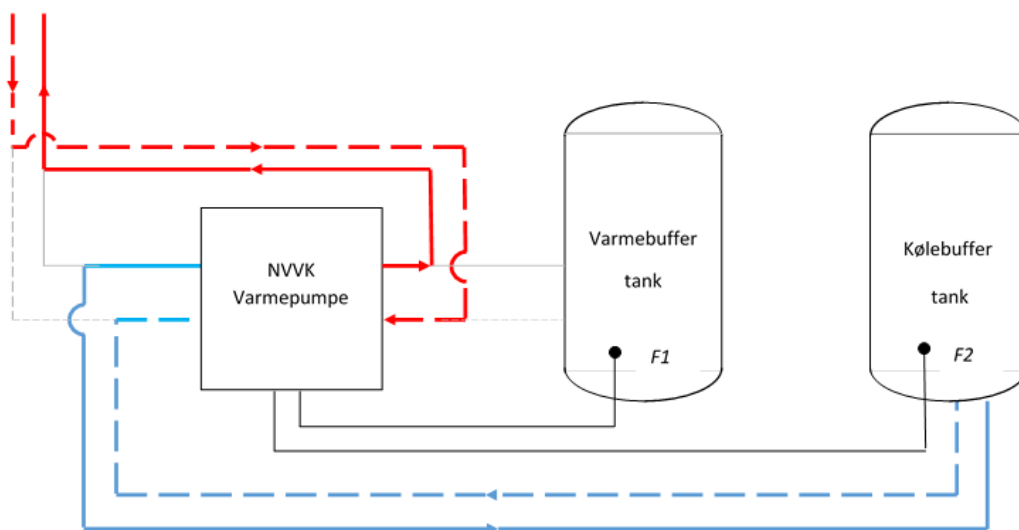


Figur 13: Køling med udnyttelse af overskudsvarmen

Denne situation forekommer ved behov for køling – typisk om sommeren - og hvor der samtidig er et varmebehov – typisk til opvarmning af varmt brugsvand. Den kolde side af varmepumpen cirkulerer vand over til kølebuffertanken og køler denne ned. Den udvundne varme bliver overført til varmebuffertanken.

Køling uden udnyttelse af overskudsvarmen

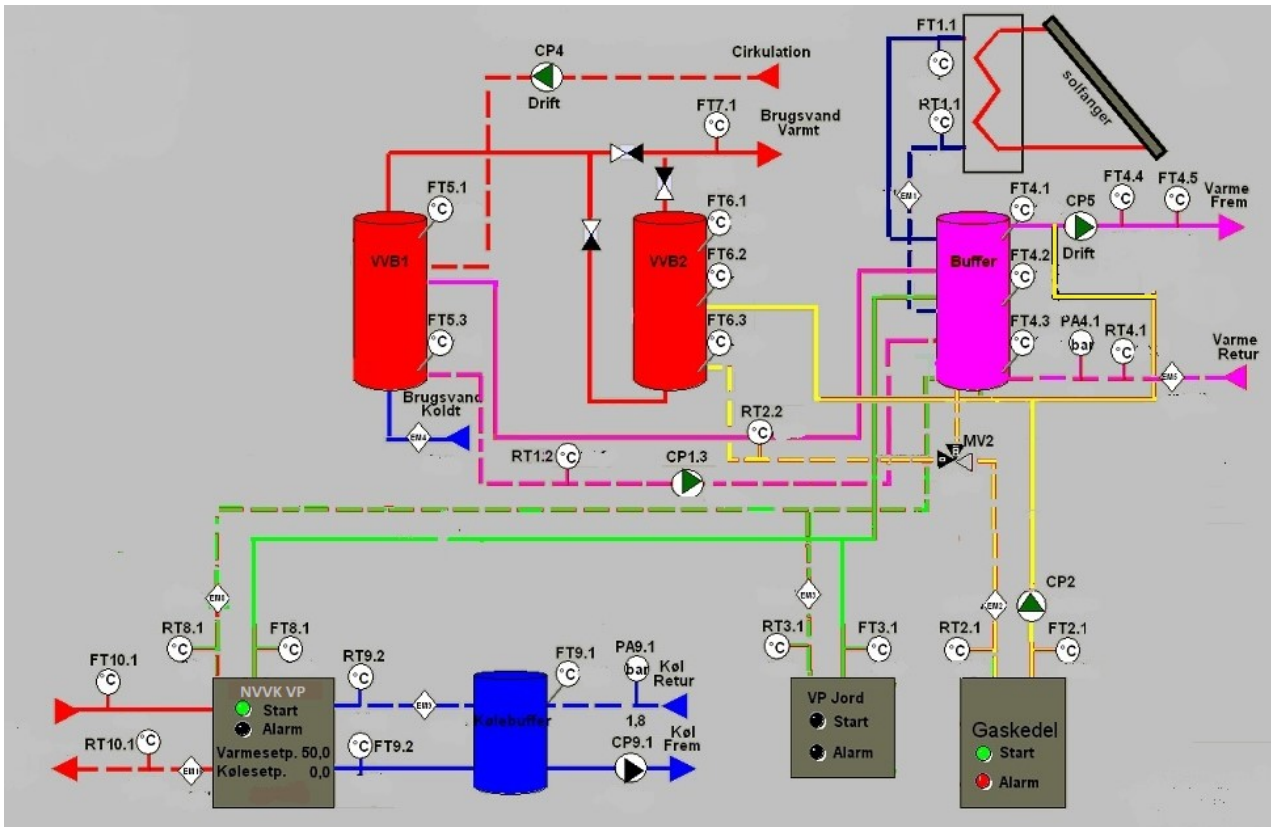
Til varmeveksler i afkast



Figur 14: Køling uden udnyttelse af overskudsvarmen

I det tilfælde, at den udvundne varme fra køletanken ikke kan afsættes i varmebuffertanken overføres den til afkastluften. Dette er selvfølgelig den mest uøkonomiske og miljømæssigt mindst attraktive form for køling.

Nedenstående billede fra CTS – anlægget i "Diamanten" illustrerer sammenhængen mellem NVVK – varmepumpe, buffertankene og resten af hallens varmesystem.



Figur 15: Varmeanlægget i "Diamanten"

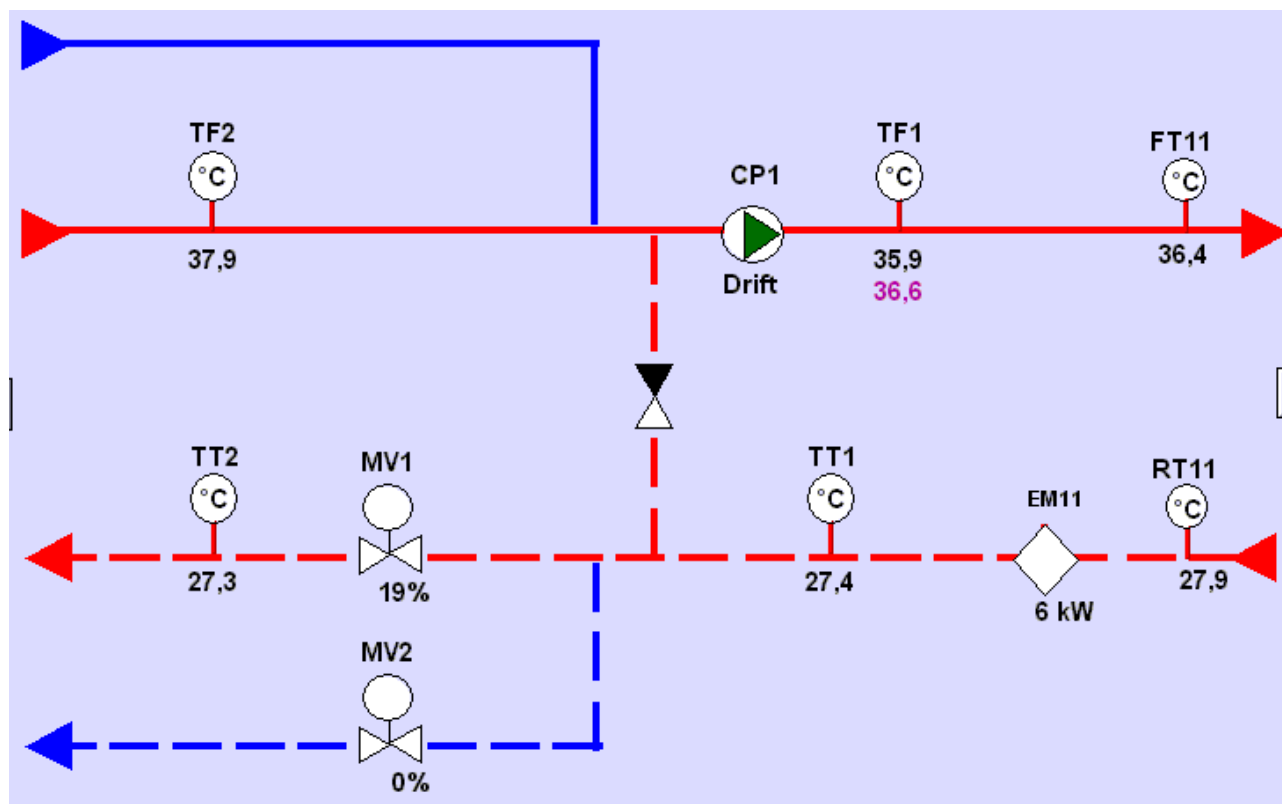
Varmebuffertanken (markeret med lyserødt) forsyner bygningens varmeanlæg med varme samt en forvarmevarmtvandsbeholder (VVB1) via et cirkulerende lukket kredsløb (CP1.3). Varmebuffertankens setpunktstemperatur bliver fastsat af CTS – anlægget og afhænger af udetemperatur – jo lavere udetemperatur, jo højere setpunktstemperatur. Dog er der altid en minimumstemperatur på 40 grader således at varmebuffertanken kan levere varme på et tilstrækkeligt højt temperaturniveau til VVB1. Udover NVVK – varmepumpen leverer en jordvarmepumpe på 40 kW varme og en solfanger på 70 m² varme til buffertanken. Derudover er der også en gaskedel, der leverer varme til hovedbrugsvandstanken (VVB2) samt varmebuffertanken, hvis de to varmepumper og solfangeren ikke er nok. CTS – styringen giver altid førsteprioritet til solfangeren, således at begge varmepumper og gaskedlen bliver koblet ud, hvis solfangeren leverer varme nok. Rækkefølgen er prioriteret således, at først gaskedlen, derefter jordvarmepumpen og tilsidst NVVK – varmepumpen bliver koblet fra efterhånden som buffertanken stiger i temperatur.

I hovedhallen er der placeret 6 friskluftindtag, Entra enheder fra IKM, som er istand til både at køle og varme på indtagsluften. Ligeledes er der i hovedhallen placeret 2 varmeblæsere, som også er istand til at både varme og køle.



Figur 16: Eksternt luftindtag og Entra'er til forvarmning eller forkøling af indtagsluften

Både Entra'er og varmeblæsere sidder på samme streng, som er isoleret fra resten af varmeanlægget. En blandingsløjfe tilkoblet varmebuffertanken og kølebuffertanken sørger for at blande vandet i strengen, så det har den rette fremløbstemperatur



Figur 17: Illustration af blandingsløjfe til friskluftindtag og varmeblæsere



Figur 18: Billede af hovedhallen. Friskluftindtag og varmeblæsere kan anes på væggen til højre i den fjerneste ende

6 Målinger

6.1 Installeret måleudstyr

For at vurdere NVVK – prototypens energiforbrug og – besparelse er der installeret energimålere på både den kolde og varme side af NVVK – varmepumpen. Herved er det muligt at registrere hvor meget varme, at nævnte varmepumpe har tilført varmebuffertanken og derved hvor meget NVVK systemet har givet i varmebesparelse.

NVVK – systemet bruger el på følgende komponenter:

- a. Varmepumpens elforbrug, som er kompressorens elforbrug plus styreelektronik
- b. Elmotorer tilkoblet windcowls
- c. 2 cirkulationspumper:
 - a. Cirkulationspumpe på væskekreds mellem kold side af varmepumpen og afkastveksler
 - b. Cirkulationspumpe på væskekreds mellem varm side af varmepumpen og varmebuffertank

Der er installeret elmålere til at registrere punkt b og c separat. Der er ikke elmåler tilkoblet cirkulationspumperne, men der er foretaget en måling af cirkulationspumpernes elforbrug ved forskellige flowhastigheder. Da flowet kan aflæses af energimålernes logninger, kan elforbruget derved udregnes.

Derudover er der som tidligere nævnt opsat en flowmåler, der gør det muligt at registrere ventilationsluftmængden i hovedhallen. Da inde – og udetemperatur også bliver logget (sidstnævnte med en vejstation) er det muligt at sammenligne ydelsen af NVVK – prototypen med den teoretiske ydelse af andre ventilationskoncepter, f.eks. balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding og køling.

Derudover er der påsat energimålere følgende steder:

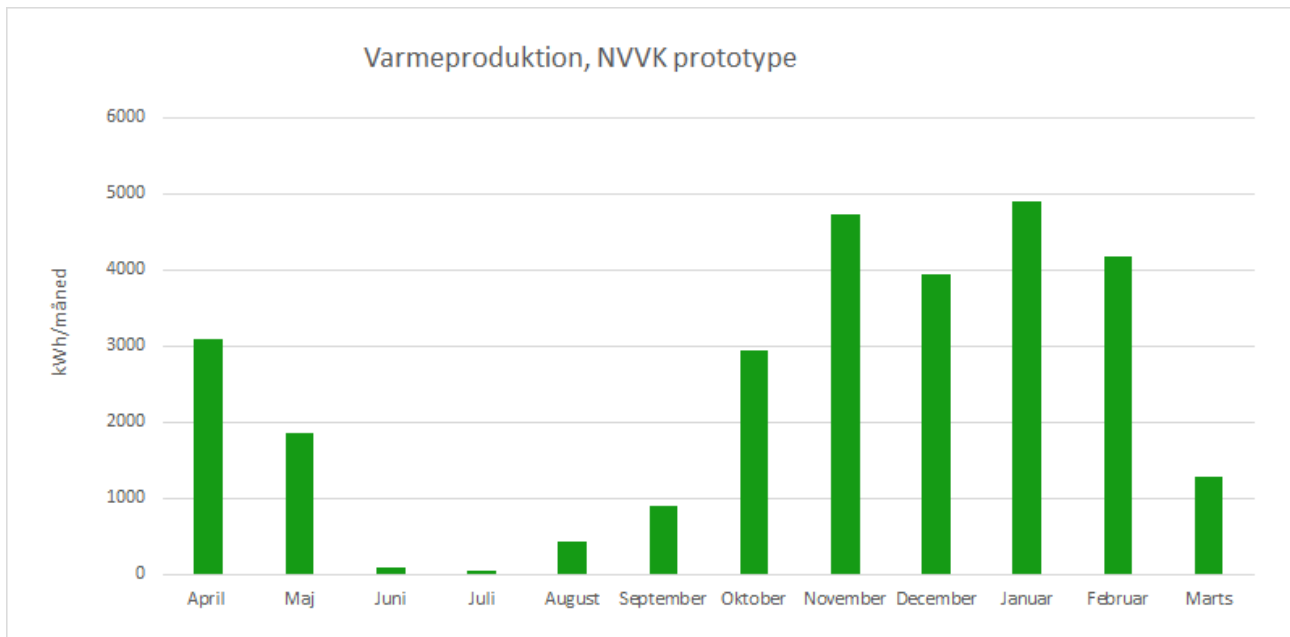
- Forvarmeflader og varmeblæser i hovedhallen
- Rumvarmeanlægget
- Varmtvandsbeholder
- Jordvarmepumpe
- Gaskedel

Energimålerne kan også ses på Figur 15 og Figur 17, hvor de er markeret med rhombeformede figurer

6.2 Analyse af NVVK – prototypens drift og ydelse

6.2.1 Analyse af varmebalance

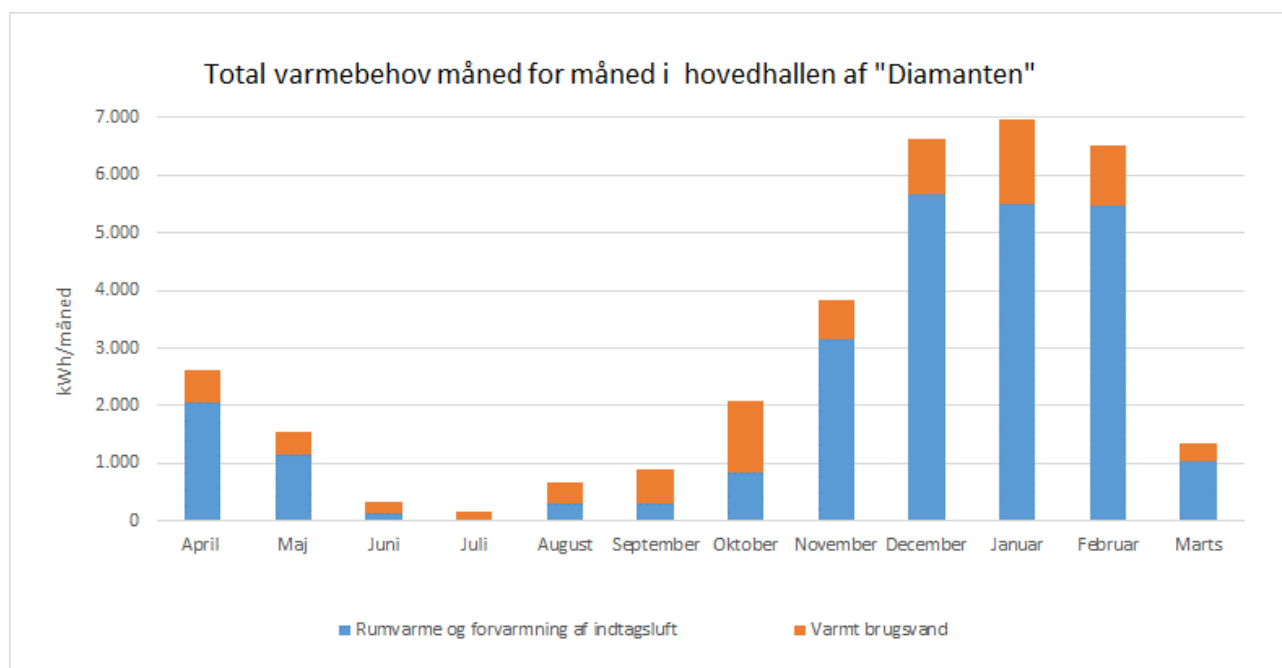
Nedenstående graf viser den producerede varme fra NVVK varmepumpe måned for måned



Figur 19: Varmeproduktion, NVVK prototype

I starten af måleperioden ligger varmereproduktionen på over 3.000 kWh/måned for april, falder til ca. det halve i maj og ligger på omkring 100 – 200 kWh/måned i juni og juli efterhånden som rumvarmebehovet falder. Varmepumpens maksimale varmereproduktionen afhænger bl.a. af varmebehovet og når dette falder, falder varmereproduktionen ligeledes, da der ikke er noget sted at afsætte varmen. Ikke overraskende er varmereproduktionen minimalt i juni og juli måned, hvor der er et minimalt rumvarmebehov og reduceret varmtvandsbehov pga. en mindre brug af hallen. Derudover har solfangeren haft en stor varmereproduktion i juni og juli måned, hvilket yderligere har minimeret varmebehovet. Paradoksalt nok er disse to måneder også det tidspunkt, hvor NVVK varmerepumpen potentielt har kunne levere mest varme, idet ventilationsbehovet har været højt pga. en varm sommer – gns. er der ventileret med ca. 5.500 m³/h i juni måned og 6.100 m³/h i juli måned, hvilket kunne potentielt kunne give en stor varmereproduktion. Men da behovet ikke er tilsvarende, har varmereproduktionen måtte tilpasses derefter. Fra august til november stiger varmereproduktionen, da både rumvarmebehovet og brugsvandsbehovet stiger. I december er der et lille fald i varmereproduktionen, idet grundventilationen i hovedhallen blev reduceret fra 1.500 m³/h fra 1.000 m³/h – der var fejlagtigt blevet ventileret med en grundluftmængde på 1.500 m³/h i november måned. Reduktionen af ventilationsmængden medfører også at varmereproduktionen fra NVVK – anlægget falder, idet der er mindre ventilationsluftmængden at udvinde varme fra. I december blev der stort set kørt med 1.000 m³/h hele tiden, men i januar var ventilationsmængden lidt højere pga. mere aktivitet i hallen og en række forsøgskørsler med forhøjede luftmængder. Februar er varmereproduktionen lidt mindre, da der ikke blev foretaget forsøg og februar derudover er et par dage kortere. Pga. en komponentfejl udenfor projektgruppens kontrol og som ikke kunne rettes med det samme, var det desværre nødvendigt at afslutte prototypekørslen d. 10. marts. Derfor er varmereproduktionen for marts måned begrænset – kun 1.284 kWh sammenlignet med 4.180 kWh for februar måned. Samlet set er varmereproduktionen fra NVVK prototypen i hele måleperioden 28.331 kWh eller 23 kWh/m²

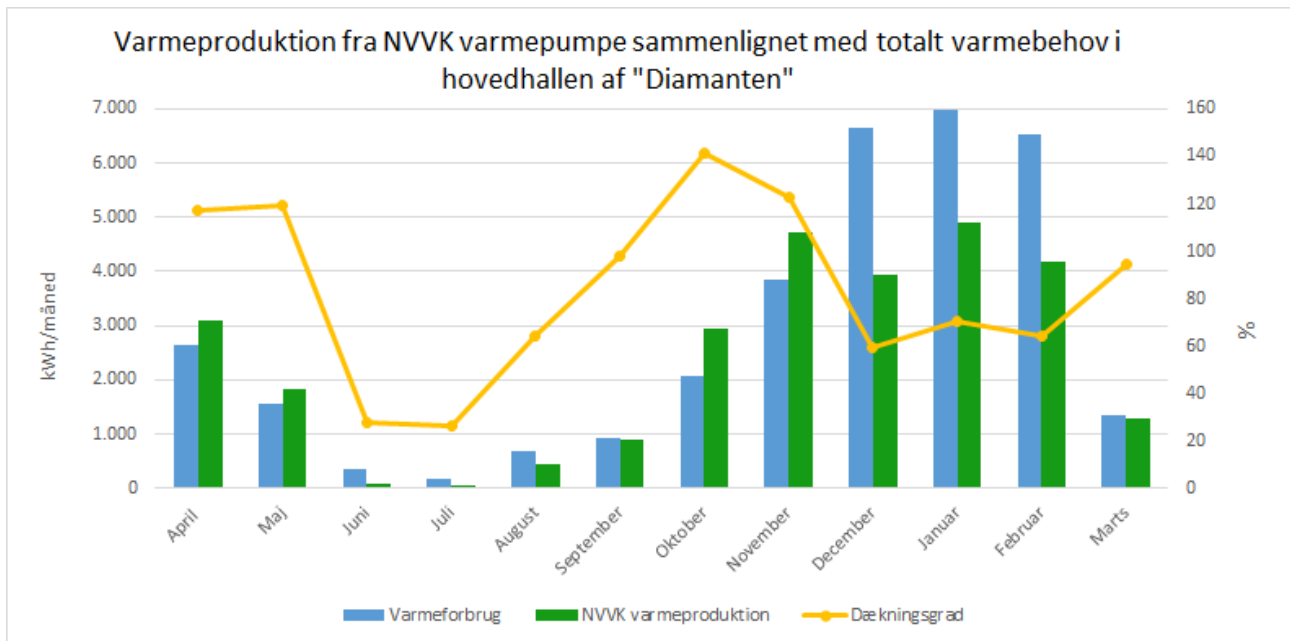
Det er relevant at undersøge, hvor meget NVVK – varmepumpens varmeproduktion udgør af hovedhallens bruttovarmeforbrug. Nedenstående figur viser rumvarmebehovet og brugsvandsbehovet måned for måned i hele "Diamanten":



Figur 20: Månedligt varmeforbrug for hovedhallen "Diamanten" opdelt på varme til rumvarme og indtagsluft og brugsvand

Det er ikke muligt at opgøre hvor meget af det varme brugsvand, der er brugt af deltagerne i hovedhallen og de øvrige rum separat, men da det antages at de fleste af brugerne af "Diamanten" bruger hovedhallen er al det varme brugsvand lagt herover. Det totale varmebehov er 33.695 kWh, hvoraf de 25.637 kWh er rumvarme og forvarmning af indtagsluft og resten - 8.058 kWh – er anvendt til opvarmning af brugsvand. Varmeforbruget til rumopvarmning og forvarmning af indtagsluften svarer til 21 kWh/m²/år, hvilket er lavt for en bygning fra 1970'erne og af denne størrelse. Dog skal det tages i betragtning, at hovedhallens tag ifm. med renovering blev merisoleret op til 350 mm samlet, hvilket mindsker varmetabet kraftigt. Derudover er det kun hallens østvæg, der er helt eksponeret og fri for tilbygninger: Hallens sydgavl er delvist dækket af opvarmede rum, nordgavlen er delvist dækket af et uopvarmet depot og hovedhallens vestlige facade er dækket af en uopvarmet lethall med et delvist transparent tag, der varmer lethallen op i solskin og derved reducerer hovedhallens varmetab (se evt. Figur 6 og Figur 7). Varmtvandsforbruget er relativt højt svarende til 24 % af det samlede varmebehov, men dette er ikke overraskende, da der er tale om en sportshal, som traditionelt har et stort varmtvandsforbrug fra badning.

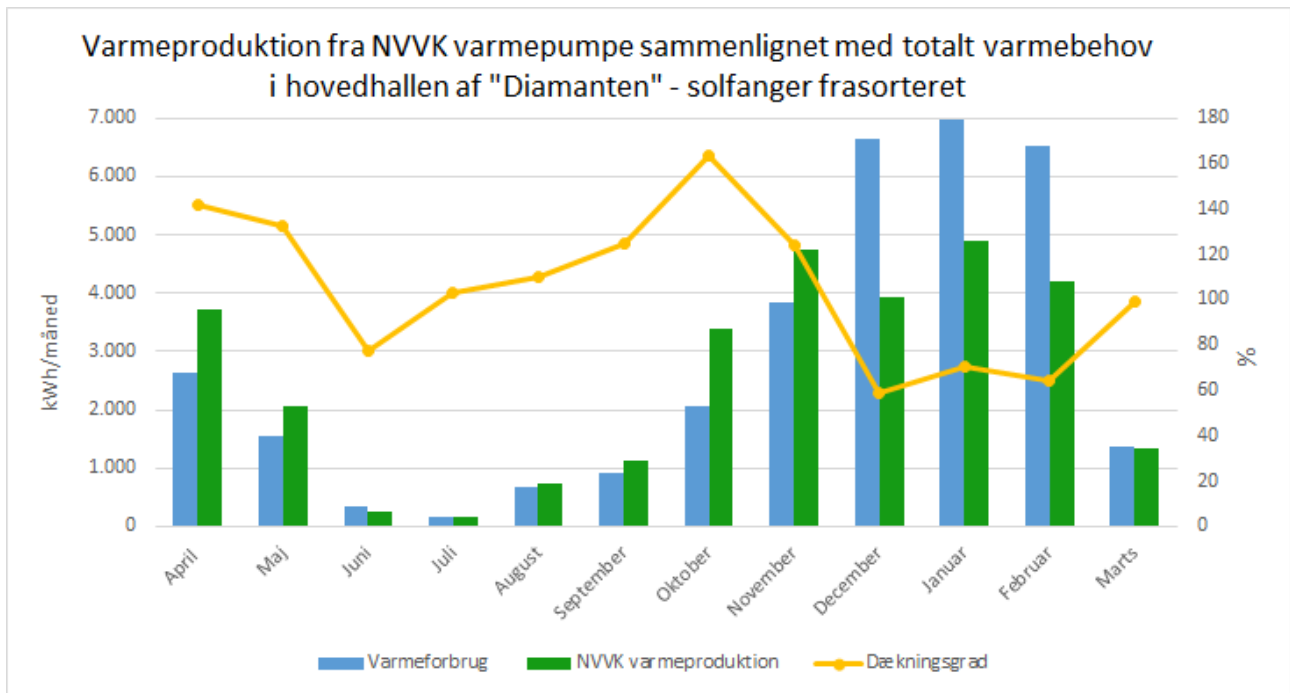
I nedenstående figur er NVVK – systemets varmeproduktion sammenlignet med hallens totale varmebehov og varmeproduktion i % af varmebehov er udregnet.



Figur 21: NVVK – systemets varmeproduktion sammenlignet med hallens totale varmebehov.

I både april og maj har NVVK – varmepumpen leveret mere varme end hovedhallen har haft behov for og herved har NVVK – systemet dækket andre rums varmebehov. I juni, juli og august falder dækningsgraden, men dette skyldtes udelukkende solfangeren, som dækker meget af varmebehovet og dermed har erstattet varme, som NVVK varmepumpen kunne have leveret. Derefter falder solfangerens produktion, "Diamanten"s varmebehov stiger, hvilket gør at NVVK – systemets dækningsgrad stiger igen: september har NVVK leveret næsten lige som meget varme, som hovedhallen har forbrugt og i oktober og november leverer varmepumpen igen mere varme end hovedhallen har behov for. I december, januar og februar overstiger hovedhallens varmebehov hvad varmepumpen kan levere og dækningsgraden falder. I den sidste måned, marts, svarede varmeproduktionen fra NVVK – varmepumpen i de 10 målte dage til 95 % af varmekonsumet. Set over måleperioden svarer NVVK – varmepumpens varmeproduktion til **84 %** af hovedhallens totale varmebehov, så det er ikke langt fra en "hvile-i-sig-selv" situation, hvor NVVK – varmepumpen på årsbasis kunne have dækket hele hovedhallens varmebehov.

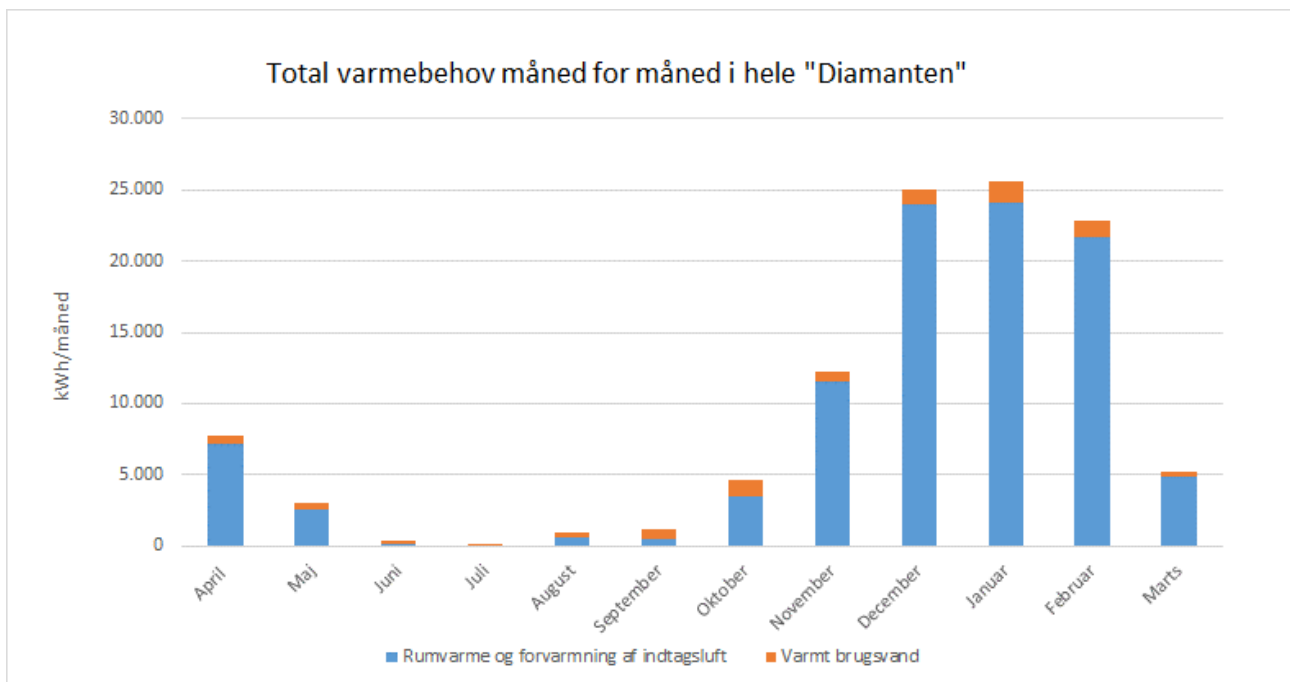
Havde "Diamanten" ikke været forsynet med et solvarmeanlæg, havde NVVK – systemet kunne forsyne hallen med mere varme på de tidspunkter, hvor solvarmeanlægget forårsagede at NVVK – varmepumpen stoppede. Udfra målingerne er det muligt at se i hvilke perioder, at solfangeren har produceret varme og om dette har erstattet varme, som NVVK – varmepumpen potentielt kunne have produceret. På denne måde kan solfangerens indflydelse frasorteres, hvilket fører til at NVVK – varmeproduktionens varmeproduktion og dækningsgrad stiger:



Figur 22: NVVK – systemets varmeproduktion sammenlignet med hallens totale varmebehov – solfanger ekskluderet

Set over hele måleperioden kunne NVVK – varmepumpen uden solfangerens indflydelse potentielt have produceret 30.593 kWh, hvilket er 2.262 kWh eller 8 % mere end den reelt producerede varmemængde fra NVVK - varmepumpen. Dette ville have øget dækningsgraden målt over hele måleperioden til **91 %** - meget på "hvile-i-sig-selv" – situationen.

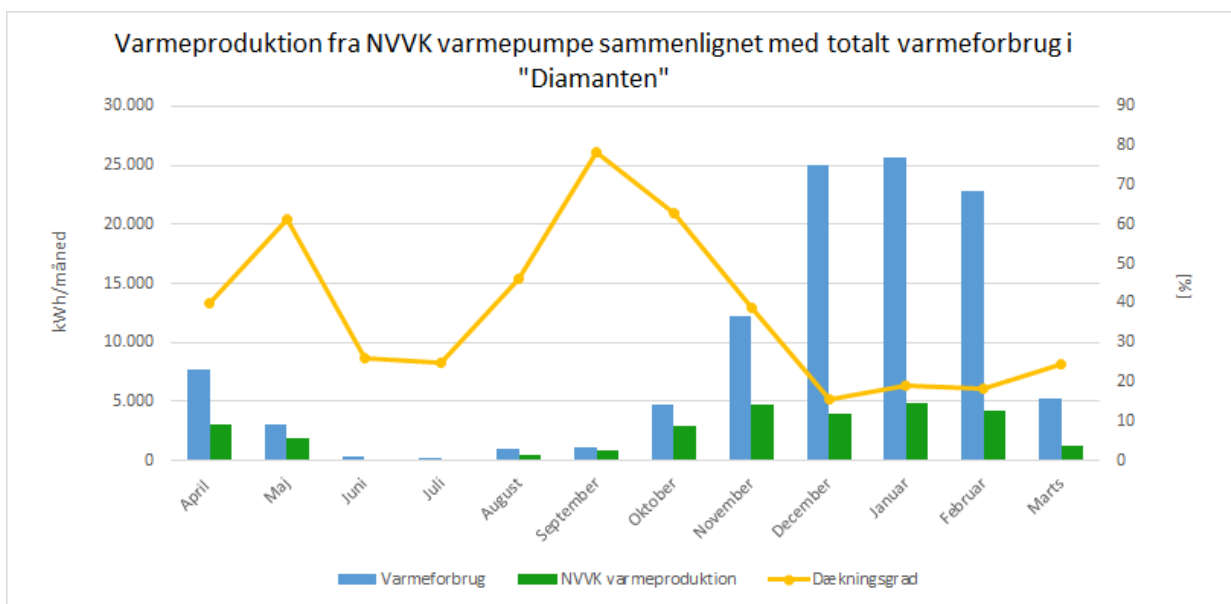
Nu er det værd at undersøge varmebehovet i *hele* "Diamanten" i måleperioden og hvor meget at NVVK – varmepumpen dækker af dette



Figur 23: Totalt varmebehov måned for måned i "Diamanten"

Varmeforbruget for hele "Diamanten" følger det samme mønster som for hovedhallen. Samlet varmebehov for hele "Diamanten" er 108.811 kWh, hvoraf opvarmning af brugsvand – som tidligere nævnt opgjort til 8.058 kWh kWh - svarer til 7 % af det samlede varmebehov.

Nedenstående figur sammenligner NVVK – varmepumpens varmeproduktion med "Diamanten"s samlede varmebehov:

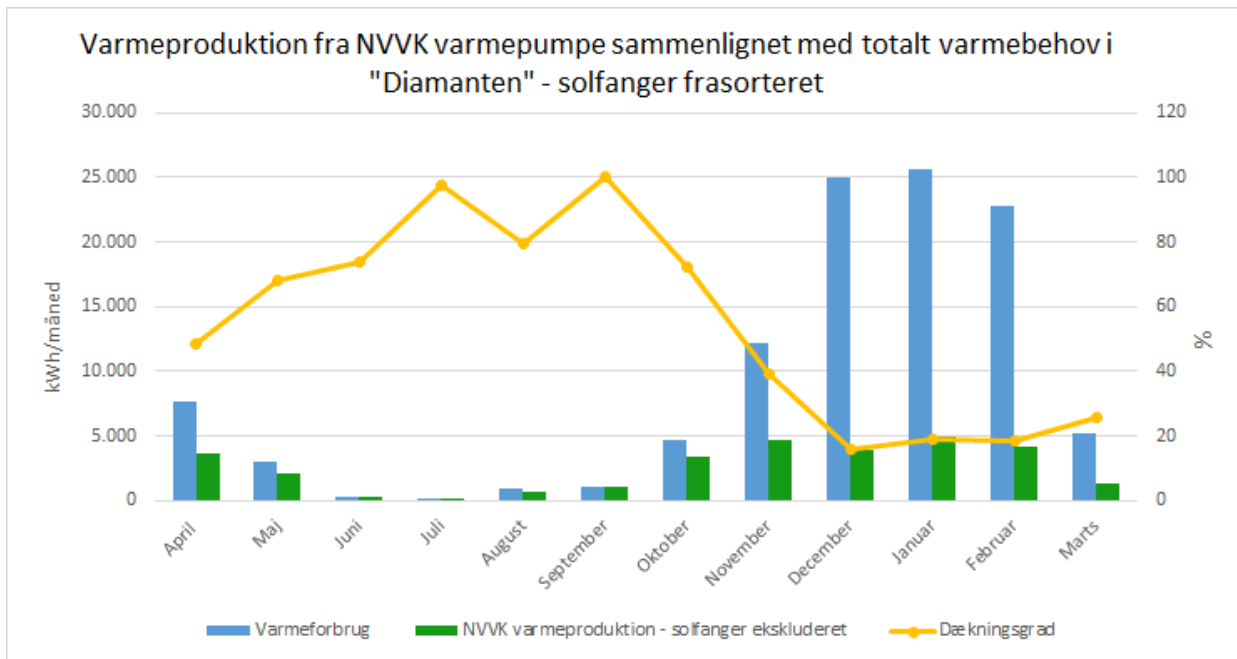


Figur 24: NVVK – varmepumpens varmeproduktion sammenlignet med hele "Diamanten"s varmebehov

Ikke overraskende falder dækningsgraden sammenlignet med Figur 21, da der er et større varmeforbrug at sammenligne med.

Set over hele forsøgsperioden har NVVK – varmepumpen som nævnt produceret sammenlagt 28.331 kWh. Dette svarer til **26 %** af det samlede varmebehov i hele "Diamanten" i måleperioden.

Nedenstående figur illustrerer varmeproduktionen fra NVVK varmepumpen uden solfangerens indflydelse:

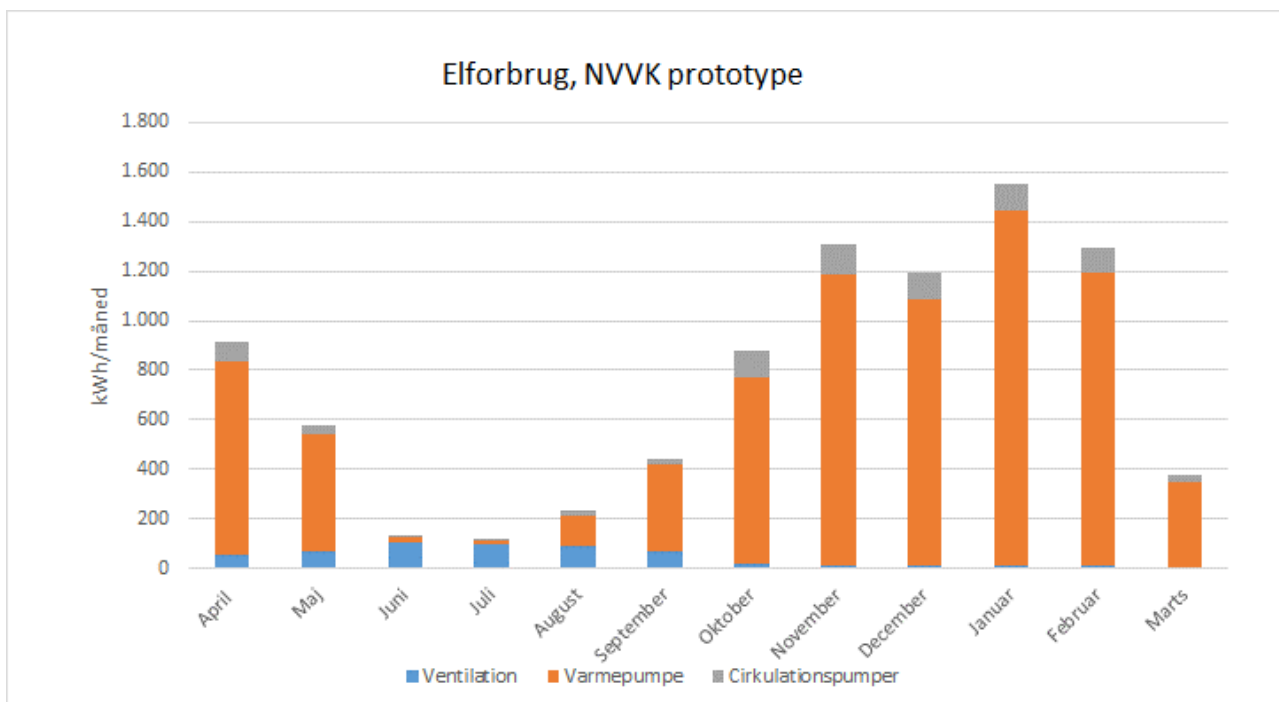


Figur 25: NVVK – varmepumpens varmeproduktion sammenlignet med hele "Diamanten"s varmebehov – solfangers indflydelse frasorteret

Ikke overraskende stiger dækningsgraden markant i sommermånederne og i juni og september er den 100 % eller meget tæt på. Ved at fjerne solfangerens indflydelse stiger dækningsgraden til **28 %**.

6.2.2 Analyse af elforbrug

Nedenstående figur opgør NVVK – systemets elforbrug til ventilation, varmepumpe og cirkulationspumper.



Figur 26: NVVK – systemets elforbrug fordelt på ventilation, varmepumpe og cirkulationspumper.

Set over hele perioden har NVVK – systemet brugt 7.358 kWh el, hvilket fordeler sig således:

Elforbrug (kWh)		Fordeling (%)
Varmepumpe	7.723	85,6
Cirkulationspumpe	746	8,3
Ventilation	557	6,2
<i>I alt</i>	<i>9.026</i>	<i>100,0</i>

Tabel 1: Opdeling af elforbrug fra NVVK prototype.

Ikke overraskende er elforbruget til varmepumpen den største del af elforbruget. Næst er elforbruget til cirkulationspumper efterfulgt af elforbruget til ventilation.

6.2.2.1 Elforbrug til varmepumpe

Set over hele perioden har varmepumpen en gns. COP på 3,7, hvilket er under forventet. NVVK – princippet bygger på IKM's VL – serie, hvor varmepumpen typisk har en drifts COP på gns. 4,0 – 4,5 og en COP i samme størrelsesorden var forventet med NVVK – varmepumpen.

Grunden til afvigelsen mellem opnået og forventet COP er primært at hallen har ikke været i brug så ofte som forventet og derfor har varmepumpen kørt med en lavere varmeeffekt end forventet. Typisk har varmepumpen kørt med 8 – 10 kW varmeeffekt, hvilket er 40 – 50 % af varmepumpens max. varmeeffekt på 20 kW. Den pågældende varmepumpekonfiguration kører bedst ved en belastning på 80 – 100 % - ved lavere belastning falder COP væsentligt. I fremtidige NVVK – systemer vil varmepumpen derfor være mere fleksibelt overfor en lavere og varierende belastning og en væsentlig højere gns. COP – konservativt skønnet til 4,2 – burde derfor være opnåelig.

6.2.2.2 Elforbrug til cirkulationspumperne

Det er svært at vurdere cirkulationspumpernes elforbrug, da pumperne på dette projekt ikke har et direkte sammenligningsgrundlag. De typiske cirkulationspumper, der anvendes i bygninger er til cirkulering af varmt brugsvand og varmforsyningen og kan ikke sammenlignes med den opgave, de aktuelle cirkulationspumper varetager. Dog kan det konkluderes, at der kan ske forbedringer af styringen af disse og dermed nedsættelse af elforbruget. De anvendte cirkulationspumper er ikke reguleret på nogen måde af varmepumpens drift. Der har været foretaget et enkelte op – og nedjusteringer af flowet i cirkulationspumperne, men det har ikke været undersøgt nærmere, hvad dette har betydet for effektiviteten for varmepumpen, vekslerne i afkastet og systemet som helhed. Dette vil blive undersøgt nærmere ved dimensioneringen af fremtidige NVVK – systemer.

6.2.2.3 Elforbrug til ventilation

Gns. SEL faktor for hele testperioden har ligget på 0,11 kJ/m³, hvilket er ca. 6 % af SEL – faktoren for balanceret mekanisk ventilation, der typisk ligger på ca. 1,8 kJ/m³. SEL – faktoren har svunget meget med årstiderne og påkrævet luftmængde: Den højeste SEL – faktor (for juni måned) blev målt til 0,14 kJ/m³ og den laveste (i november måned) til 0,06 kJ/m³. Dette hænger sammen med, at der i juni var påkrævet en ret høj luftmængde – gns. 5.500 m³/h – hvilket ofte krævede at back up motoren tilkoblet windcowls'ene måtte anvendes for at opnå den ønskede ventilationsluftmængde. I november måned var den gns. luftmængde kun 1.500 m³/h og derudover var der større termisk drivtryk pga. den større temperaturforskel

mellem inde og ude. Dette sammenholdt med en anelse større vindhastighed end i juni var også med til at bringe SEL faktoren ned

Det samlede elforbrug til ventilation er 557 kWh over hele måleperioden, hvilket svarer til 0,4 kWh/m². Dette er – sammenlignet med andre ventilationsanlæg – ret lavt, men det vurderes at det kan nedsættes yderligere. I ventilationsenhederne i "Diamanten" skal luften passere igennem vekslerne uanset om der er behov for varmegenindvinding eller ej, hvilket giver et unødigt tryktab om sommeren. I fremtidige systemer vil det være hensigtsmæssigt med enten et bypass – spjæld, der kan lede ventilationsluften uden om varmevekslerne eller ventilationsenhederne, der er dedikeret til udluftning om sommeren og som ikke har veksler indbygget. Det vurderes at ved at optimere ventilationssystemet på denne måde kan SEL – faktoren blive på max. 0,1 kJ/m³

6.2.3 Analyse af køleydelse

Den samlede køling af hallen er blevet målt til 276 kWh i hele testperioden – heraf er de 70 kWh blevet nyttiggjort som varme, der er overført til varmtvandsbeholderen. Den forholdsvis lave andel af nyttiggjort varme skyldtes, at kølingen oftest har fundet sted på tidspunkter, hvor solfangeren har varmet varmtvandsbeholderen op til max. temperatur (45 grader). Derfor er overskudsvarmen fra kølingen blevet overført til vekslerne i luftafkastet og derfra videre til afkastluften. Når kølingen er blevet nyttiggjort, er det sket tidligt på dagen (mellem 9 og 12), hvor solfangeren – der vender mod vest og derfor først modtager direkte sol om eftermiddagen - endnu ikke har produceret varme.

En del fejl gjorde det desværre problematisk at få kølesystemet til at fungere i store dele af driftsperioden. En forkert monteret ventil af entreprenøren fyldte køletanken med varmt vand fra varmeanlægget i driftstiden og blev rettet midt juni. Derefter gjorde en CTS programmeringsfejl, at køletanken først blev kølet ved en høj udetemperatur. Da det pga. det store volumen af vand tager køletanken 3 – 5 timer at køle ned til en brugbar temperatur, var det kolde vand først oftest klar, når det var blevet aften og ikke nødvendigt med køling længere. Dette blev rettet i slutningen af juli måned.

Endelig gjorde en anden CTS programmeringsfejl at en cirkulationspumpe fejlagtigt startede op udenfor brugstid og ligeledes forårsagede, at varmt vand fra varmeanlægget blev pumpet ind i køletanken, så den var ca. 35 – 40 grader varm om morgenen. Dette bevirkede et unødigt stort energisplid, idet tanken skulle køles ned fra dette temperaturniveau til et brugbart temperaturniveau (ca. 10 – 15 grader). Endvidere gjorde endnu en CTS programmeringsfejl, at vand fra køletanken ofte blev sendt ud til Entraer og varmeblæserne i hallen *før* vandet i køletanken var koldt nok til køling – f.eks. blev der ved en udetemperatur på 22 grader sendt 25 grader vand ud til Entraerne, der derved forvarmede indtagsluften isf. at nedkøle den. Begge disse fejl blev desværre først opdaget og rettet i slutningen af november måned og havde derfor indflydelse i hele den periode, hvor kølingen var aktuel.

Det er derfor meget svært at udregne en nøjagtig virkningsgrad og COP for kølingen, da der har været for mange usikkerhedsfaktorer. Det kan derfor først afklares i sommeren 2015, når anlægget kører med de sidste rettelser implementeret.

Dette er ikke en optimal afrapportering på indeværende tidspunkt, men her er det vigtigt at erindre tre ting:

- Dette er et prototypeanlæg, hvor der kan forventes en del rettelser undervejs
- Mht. køling er der et begrænset tidsrum, hvor test af kølingen kan finde sted – reelt kun på varme dage.
- Hvor varmegenindvindingsdelen var et relativt velkendt koncept, hvor meget viden kunne overføres fra IKM's VL – serie, var køledelen et nyt koncept, hvor der ikke var noget kendt fortilfælde.

6.3 Analyse af optimeret ydelse sammenlignet med alternative ventilationsanlæg

Nedenstående tabel opsummerer varmebesparelse og elforbrug for NVVK – prototypen ud fra målinger (kolonne 1) og samme målinger frasorteret solfangerens indflydelse (kolonne 2). Kolonne 3 viser den forventede optimerede ydelse af NVVK – prototypen, såfremt solfangeren fortsat er frasorteret, gns. COP er 4,2 og der er en max. SEL faktor på 0,1 kJ/m³.

	NVVK målt	Solfangers indflydelse frasorteret	Optimeret NVVK
Varme produktion [kWh]	28.331	30.593	29.430
Elforbrug [kWh]	9.026	9.335	8.306

Tabel 2: Varmebesparelse og elforbrug for NVVK prototype målt, med solfangers indflydelse fjernet og optimeret

Det ses at ved den optimerede NVVK beregning udvindes der lidt mindre varme af varmepumpen i forhold til målingerne med solfangerens indflydelse frasorteret. Dette skyldtes, at varmepumpen med en højere COP arbejder mere effektivt, dvs. bruger mindre el for at overføre varme fra kold side af varmepumpen til varm side af varmepumpen. Al den elektricitet, som varmepumpens kompressor bruger bliver konverteret til varme og overført til den varme side af varmepumpen og udnyttet. Men da der bliver brugt mindre el af kompressoren ved en højere COP, bliver der også overført mindre varme fra kompressoren. Alt i alt er regnskabet dog positivt: Sammenlignet med målingerne med solfangerens indflydelse frasorteret leverer den optimerede NVVK løsning 1.163 kWh mindre varme, men bruger også 1.029 kWh mindre el. Eftersom el pt. vægtes med en faktor 2,5 i det danske bygningsenergiereglement og varme med en faktor 1, er det alt i alt en fornuftig besparelse og optimering.

Hvor god ovenstående energibalance er, giver kun mening, hvis den sammenlignes med andre ventilationssystemer på markedet og hvad de ville have brugt af elforbrug til ventilation og genvundet af varme. Her er det nærliggende at sammenligne med balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding og køling. Eftersom denne ventilationsform ofte bliver kombineret med naturlig ventilation m. back up udsugning om sommeren, vil der blive sammenlignet med en "ren" balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding og køling løsning og en hybrid, der anvender balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding om vinteren og naturlig ventilation med back up udsugning om sommeren.

Dette gøres i praksis at anvende de målte luftmængder, udetemperaturer og indetemperaturer fra CTS – anlægget fra testperioden og udregne den teoretiske ydeevne af begge alternative ventilationssystemer. Til dette formål anvendes følgende teoretiske værdier:

- Varmegenindvindingsgrad på 85 %

- SEL faktor på gns. 1,5 kJ/m³ for ventilation med indblæsning og udsugning
- SEL faktor på gns. 0,1 kJ/m³ for naturlig ventilation med back up udsugning
- Naturlig ventilation med back up udsugning er aktiv ved en udetemperatur på over 16 grader.

Nedenstående tabel viser sammenligningen mellem de tre ventilationsformer:

	Optimeret NVVK	Balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding	Hybrid
Varme produktion [kWh]	29.430	11.066	11.066
Elforbrug [kWh]	8.306	6.314	2.284

Tabel 3: Sammenligning mellem optimerede ventilationsløsninger baseret på målinger fra "Diamanten"

Eftersom NVVK – systemet altid er istand til at afkøle afkastluften ned til ca. 6 – 7 grader, genindvinder dette system mere varme – 166 % mere end de to andre løsninger. Til gengæld er elforbruget højere pga. varmepumpen. I forhold til balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding har hybridløsningen en væsentlig reduktion på elforbruget til ventilation pga. den naturlige ventilation med back up udsugning.

For at sammenligne energiforbruget mellem de ventilationsformer er det oplagt at betragte energibalancen som et regnskab, hvor der er "indtægter" (varmebesparelser) og "udgifter" (el forbrug til ventilation, cirkulationspumper og varmepumpe) og jo mere positiv bundlinjen er, jo bedre. For at kunne vægte de forskellige energiformer (el og varme) op mod hinanden er det oplagt at anvende prioriteringen mellem el og varme som den bliver anvendt i det nuværende danske bygningsreglement, BR10, og de kommende prioriteringer i de næste bygningsreglementer. I BR10 anvendes pt. en faktor 2,5 for el og en faktor på 1 for varme.

I "Diamanten" anvendes der primært en jordvarmepumpe som hovedvarmekilde, så der er al varmekonsum faktisk elbaseret. Elforbruget af jordvarmepumpen er desværre ikke kendt, men der antages en COP på 3,5.

Herved kan regnskabet for NVVK - systemet beregnes ved formlen

$$\text{Energiregnskab} = \frac{\text{Varmeproduktion}_{\text{NVVK varmepumpe}}}{\text{COP}_{\text{jordvarmepumpe}}} \times \text{elfaktor} - \text{el forbrug}_{\text{NVVK system}} \times \text{elfaktor}$$

For de to øvrige ventilationssystemer kan regnskabet sættes således op:

$$\text{Energiregnskab} = \frac{\text{Varme genindvundet}}{\text{COP}_{\text{jordvarmepumpe}}} \times \text{elfaktor} - \text{el forbrug}_{\text{ventilation}} \times \text{elfaktor}$$

Med en elfaktor på 2,5 For de tre ventilationsformer vil energiregnskabet herved se således ud:

	Optimeret NVVK	Balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding	Hybrid
Energibalance	257	-7.881	2.194

Tabel 4: Sammenligning af vægtet energibalance mellem optimerede ventilationsløsninger, elfaktor = 2,5

Den optimeret NVVK – løsning bliver overgået af hybridløsningen, men med en relativ smal margen målt på areal: Betragtes hele hovedhallens areal på 1.250 m², ligger hybridløsningen højere med 1,5 kWh/m²/år. Balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding ligger markant lavere end begge løsninger, hvilket primært skyldtes, at der er blevet ventileret kraftigt i hovedhallen i sommeren 2014, der var ret varm. Dette store ventilationsbehov medfører i beregningen et stort elforbrug til lufttransport, som trækker ned i det samlede regnskab

Det er værd at notere, at bygningsreglementet går igennem en række ændringer: Bygningsreglementet bliver ændret i 2015, hvorefter fjernvarme vægtes med en faktor 0,8 og al anden varme med en faktor 1. I 2020 bliver reglementet ændret igen: El vil nu blive vægtet med en faktor 1,8, fjernvarme med en faktor 0,6 og al anden varme med en faktor 1.

Havde elfaktoren været 1,8 iht. bygningsreglementet i 2020, havde energiregnskabet set således ud:

	Optimeret NVVK	Balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding	Hybrid
Energibalance	185	-5.675	1.580

Tabel 5: Sammenligning af vægtet energibalance mellem optimerede ventilationsløsninger, elfaktor = 1,8

Om end den optimerede NVVK – løsning stadig teoretisk er dårligere end hybridløsningen, er forskellen blevet mindre – nu 1,1 kWh/m²/år.

Havde varmforsyningen været en anden, ville det også have indflydelse: NVVK har større varmebesparelser end de to andre systemer og en varmeløsning med f.eks. biomasse eller gaskedel ville have forbedret energibalancen for NVVK. Omvendt vil fjernvarmforsyningen trække ned i regnskabet, da den endelige varmebesparelse ville blive reduceret.

Nedenstående tabel viser den beregnede energibalance med andre varmforsyninger og de to elfaktorer:

	Optimeret NVVK	Balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding	Hybrid
Energibalance			
El faktor 2,5, varme faktor 1	8.666	-4.720	5.356
El faktor 2,5, varme faktor 0,8	2.780	-6.933	3.143
El faktor 1,8, varme faktor 1	14.480	-300	6.955
El faktor 1,8, varme faktor 0,6	2.708	-4.726	2.528

Tabel 6: Sammenligning af vægtet energibalance mellem optimerede ventilationsløsninger med varierende varme – og elfaktorer

NVVK – systemet formår nu at have et bedre resultat end hybrid løsningen i 3 af beregningerne og er kun 10 % dårligere end hybridløsningen i den ”værste” beregning. Ikke overraskende er beregningen i række 3 den bedste hvor der fås det fulde udbytte af varmeproduktionen med en faktor 1 på varmebesparelse og en lav elfaktor. I alle 4 beregninger er det optimerede NVVK – system stadig bedre end ”rendyrket” balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding.

Mht. økonomien er det også muligt at beregne en simpel balance på udgifter og indtægter i stil med energiberegningen. ”Diamanten” betaler en ret lav pris for el – 0,9 kr. ex. moms – hvilket også fører til en lav pris for varmen fra jordvarmepumpen: Med en antaget COP på 3,5 vil varmeprisen for denne kilde ligge på 0,26 kr./kWh. Dette er et usædvanligt lavt tal for pris på både el og varme og derfor vil der blive lavet en referenceberegning med en mere gængs elpris (1,7 kr./kWh ex. moms) og varmepris (0,53 kr./kWh ex. moms)¹

	Optimeret NVVK	Balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding	Hybrid
Driftsbesparelse, aktuel [kr./år]	93	-2.837	790
Driftsbesparelse, ref. [kr./år]	1.478	-4.869	1.982

Tabel 7: Sammenligning af driftsbesparelser mellem optimerede ventilationsløsninger med aktuelle og reference priser på el og varme.

Generelt ligger hybridløsningen højere i driftsbesparelser end den optimerede NVVK – løsning, men margenen er forholdsvis lille – 500 – 700 kr./år eller 0,4 – 0,6 kr./m²/år. Den dårlige energibalance for balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding medfører at denne ventilationsløsning får en dårlig driftsøkonomi.

¹ Baseret på HOFOR’s fjernvarmepriser 2015 uden faste afgifter.

7 Brugerundersøgelser i "Diamanten" og præsentation af NVVK for byggebranchens aktører

7.1 Brugerundersøgelser i "Diamanten"

I NVVK – systemet i "Diamanten" er der umiddelbart 2 tekniske komponenter, som potentielt kan være til gene for brugerne mht. indeklimaet og støjgener. Dette drejer sig om afkastenhederne på toppen, som potentielt kan give støjgener og luftindtagsenhederne i østfacaden, som potentielt kan give trækgener. I begge tilfælde er komponenterne blevet dimensioneret, så der ikke burde være gener, men for at afklare om det nu også er tilfældet, blev der foretaget brugerundersøgelser på det oplevede indeklima blandt trænere og lærere, som anvender hovedhallen jævnligt. I alt 8 skemaer blev returneret, som gav dette resultat:

Spørgsmål	Besvarelse	Kommentarer ved negativ tilbagemelding
Har du oplevet at hallen har været for varm eller for kold?	5 svarede nej, 3 svarede ja	<ul style="list-style-type: none">• Koldt, når der er frost og østenvind• Enkelte gange• Vinter ved blæst fra øst
Har du oplevet træk eller støj fra disse enheder inde i hovedhallen (billede af indtagsenheder vedlagt)	6 svarede nej, 2 svarede ja	<ul style="list-style-type: none">• Ved østenvind trækker det og ved hård vind er der noget, der støjer• Lidt når det blæser
Har du oplevet larm fra disse ventilator på gavlen af hallen (billede af afkastenhed vedlagt)?	8 svarede nej	
Har du andre kommentarer til indeklimaet i den store hal?	8 svarede nej eller efterlod feltet ubesvaret.	

Tabel 8: Tilbage meldinger fra brugerne af "Diamanten"

Alt i alt er det overvejende positive tilbagemeldinger. 3 ud af 8 har oplevet, at hovedhallen er for kold om vinteren, men dette kan skyldes, at "Diamanten"s varmeanlæg er underdimensioneret, hvilket ligger udenfor projektgruppens indflydelse.

Mht. træk eller støj fra indtagsenhederne er der oplevet gener fra 2 af brugerne og kun når det blæste direkte ind på østfacaden. Det skal bemærkes, at de pågældende indtagsenheder – af mærket "Entra" fra IKM – var prototyper, som siden er blevet forbedret og installeret i adskillige andre bygninger, hvor der ikke har været klager over træk eller støj.

7.2 Præsentation af NVVK for byggebranchens aktører

Fra august 2014 til marts 2015 blev der afholdt en række præsentationer og interview med forskellige aktører i byggebranchen om deres syn på NVVK - produktet. Disse indbefattede både arkitekter, bygherrer, ingeniører og andre med interesser i energieffektivt og bæredygtig udvikling indenfor byggebranchen. De interviewede – 16 i alt - var

- COWI
- Henning Larsen Architects
- Steensen og Varming

- Smith Innovation
- Windowmaster
- NCC
- Ekolab
- Søren Jensen Rådgivende Ingeniører
- Chris Thurlbourne (fra Århus Arkitektskole)
- 3XN/GXN
- Per Heiselberg fra SBI/Aalborg Universitet
- Nova Air
- MOE
- Lars Ørtoft Rådgivende Ingeniører
- Hoffmann
- Københavns Ejendomme

Feedback var overvejende positiv og mange deltagere fremhævede det som en stor fordel, at der ikke skal anvendes kanaler ved brug af NVVK, hvilket medfører besparelser på både installationer og konstruktioner samt giver større arkitektonisk frihed. Derudover fandt mange det naturligvis attraktivt med udsigten til et lavere energiforbrug og driftsudgifter sammenlignet med balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding.

På negativsiden var der bekymring for om NVVK kunne have de samme ulemper som ofte forbindes med naturlig ventilation, dvs. træk, overophedning om sommeren og utilstrækkelig luftmængde ved lavt drivtryk. Mht. træk vurderes det, at dette kan elimineres ved korrekt dimensionering af luftindtagsenheder – som nævnt i forrige afsnit oplever IKM ikke problemer med deres nuværende enheder. Mht. overophedning og utilstrækkelige luftmængder vurderes det, at dette kan elimineres med korrekt simulering og beregning af luftmængder, evt. køling og anvendelse af back up ventilator til udsugning på dage med utilstrækkeligt drivtryk.

8 Diskussion

8.1 Energiforbrug

Målingerne og beregningerne i afsnit 6.2 indikerer, at NVVK potentielt har en bedre energibalance sammenlignet med balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding. Når der sammenlignes med hybridventilation, indikerer målingerne og beregningerne at NVVK potentielt kan ligge på niveau eller bedre.

En ekstra parameter, der ikke er medtaget, er at BE15, der forventes at træde i kraft 1. juli 2015, vil arbejde med et vejrdato, der er lidt varmere end tidligere anvendte vejrdato og baseret på vejrdato fra 2001 - 2010. Dette er for at afspejle det fremtidige klima, som ligeledes forventes at være lidt varmere. For NVVK er dette – i fordel til det nuværende vejrdatoår - en fordel på to områder:

- Ved ventilation om sommeren vil dette – uden brug af aktiv køling - betyde et højere luftskifte. Da NVVK har en lav SEL faktor, vil dette være en fordel i forhold til andre systemer, der har en højere SEL faktor.
- Ved ventilation i fyringssæsonen, hvor der varmegenindvindes på afkastluften vil NVVK – systemet kunne genvinde mere varme end balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding, idet NVVK – systemet har mulighed for at afkøle afkastluften ned til 6 – 7 grader.

Elfaktoren, der pt. er på 2,5, afhænger af udledningen af CO₂ pr. kWh el produceret i Danmark. Iht. regeringens klimaplan vil udledningen af CO₂ været reduceret med 40 % i 2020, hvilket gør at elfaktoren bliver reduceret til 1,8. Derudover er det – jf. energiplanen "Vores Energi" - regeringens mål at udfase kul helt fra kraftværkerne i 2030 og at al el og varme skal produceres på vedvarende energi 2035. Dette vil i teorien bringe elfaktoren yderligere ned.

8.2 Økonomi

Mht. driftsøkonomi indikerer målingerne og beregningerne i afsnit 6.2 at NVVK potentielt har en lavere driftsøkonomi end balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding. Mht. etableringsøkonomi vurderes der fortsat og baseret på EFP rapportens resultater nævnt i afsnit 4.3, at NVVK har potentiale til at have lavere omkostninger end balanceret mekanisk med varmegenindvinding.

Mht. hybridventilation indikerede beregningerne, at NVVK vil ligge en smule dårligere mht. driftsøkonomi, men det var med en lille margen. Afhængigt af energipriserne kan driftsøkonomien for NVVK potentielt være bedre end for hybridventilation. Mht. etableringsøkonomi er det pga. manglende data svært at vurdere om NVVK er billigere eller dyrere end hybridventilation, men det vurderes forsigtigt at de to systemer ikke vil ligge langt fra hinanden i pris.

En tidligere nævnt fordel for NVVK er at der ikke anvendes kanaler og at systemet derfor kan give besparelser på bruttoetagehøjden og dermed en bedre bygningsøkonomi. Dette er dog svært at sætte nøjagtige tal på.

8.3 Videreførelse af NVVK og vidensformidling

Efter de gode måleresultater fra prototypetesten samt positive feedback fra aktører i byggebranchen vil IKM og Elincon i fællesskab videreføre udvikling af NVVK – produktet og kommercialisere dette.

I november 2014 fik IKM og Elincon tildelt midler fra InnoBYG's Spireprojekt midler til sammen med Teknologisk Institut og DTU at opstille en simuleringsmodel for produktet for at afklare potentialet mht. energi, drifts og – miljøbesparelser på brug af NVVK i skoler og kontorer. Gennem dette projekt er der også god mulighed for at formidle den videre udvikling af NVVK – produktet. Derudover fik NVVK – produktet god omtale, da "Diamanten" i oktober 2014 fik tildelt "Renoverprisen" af bl.a. RealDania som bedste bæredygtige renovering.

Gennem præsentationerne for aktørerne i byggebranchen har IKM og Elincon opbygget en liste af interessenter i NVVK – produktet, som er villig til at give input til den videre udvikling af produktet og hjælpe til med at finde et egnet byggeprojekt til installationen af den kommercielle version. Disse interessenter samt andre interesserede i NVVK – produktet vil løbende få tilsendt nyheder om NVVK – produktets udvikling gennem nyhedsbreve samt en hjemmeside, der vil blive oprettet til videre information om produktet. Derudover vil resultaterne af indeværende projekt samt den fremtidige udvikling blive videreformidlet i form af papers, artikler i relevante medier, deltagelse i konferencer mm.