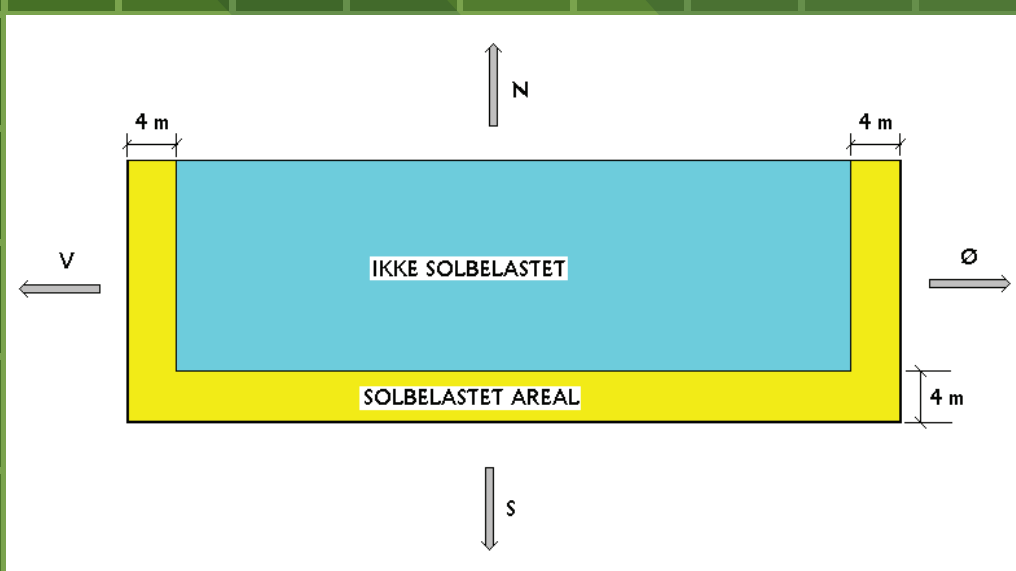


Justering av energikrav i TEK

Prosjektrapport 27

2008



SINTEF Byggforsk

Marit Thyholt, Tor Helge Dokka, Peter Schild, Catherine Grini, Mads Mysen og Igor Sartori

Justering av energikrav i TEK

Prosjektrapport 27 – 2008

Prosjektrapport nr. 27

Marit Thyholt, Tor Helge Dokka, Peter Schild, Catherine Grini, Mads Mysen
og Igor Sartori

Justering av energikrav i TEK

Emneord: Energi, teknisk forskrift, fasader, ventilasjon

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1039-9 (pdf)

Prosjektnummer: 3B0187

PDF-format

© Copyright SINTEF Byggforsk 2008

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Forord

Prosjektet ”Justering av energikrav i TEK” er en utredning utført på oppdrag for Statens bygningstekniske etat. Målet med utredningen har vært å utarbeide grunnlag for eventuelle justeringer av energikravene i TEK, og da med spesielt fokus på energieffektive fasader og virkningsgrad for varmegjenvinnere.

Fra SINTEF Byggforsk avdeling Bygninger har følgende forskere deltatt: Marit Thyholt, Tor Helge Dokka, Peter Schild, Catherine Grini, Mads Mysen og Igor Sartori. I tillegg har Tore Wigenstad bidratt med kvalitetssikring. Prosjektleder har vært Marit Thyholt.

Trondheim/Oslo, oktober 2008

Sammendrag

Statens bygningstekniske etat (BE) har ønsket å få utredet konsekvensene av ulike ambisjonsnivåer for krav til varmegjenvinning fra ventilasjonsluft, samt eventuelt tilleggskrav til energieffektiv utforming av bygningers fasade. I tillegg skal energirammene i forskriften (TEK2007) justeres med bakgrunn i endelig fastsettelse av ny beregningsstandard NS 3031:2007. En slik utredning er gjennomført ved SINTEF Byggforsk, og er beskrevet i denne rapporten.

Justering av rammekrav

Det er forholdsvis liten forskjell mellom justerte beregninger i henhold til NS 3031 og opprinnelige energirammeberegninger, dvs differansen for netto energibehov utgjør i størrelsesorden 0 til 6 prosent.

Varmegjenvinning

Utredningen viser at det ut fra tekniske og økonomiske hensyn er mulig å øke kravnivået for varmegjenvinning fra ventilasjonsluften for de fleste bygningskategoriene. Dette innebærer en skjerping av årsmidlere temperaturvirkningsgrad fra 70 % til 80 %, for alle bygningskategorier bortsett fra sykehus, sykehjem og lett industri/verksteder. Eventuell skjerping av kravnivået til varmegjenvinning i boliger er ikke vurdert. Avhengig av bygningskategori, vil en skjerping av kravnivået for varmegjenvinning fra ventilasjonsluften innebære at netto energibehov reduseres i størrelsesorden 20 til 30 kWh/m² per år. Utredningen viser at det på tross eventuell skjerping av virkningsgraden for varmegjenvinnere, fortsatt vil være mulig å benytte svært store arealer med vinduer og glassfelt. Det er foretatt følsomhetsanalyser som viser at avvik fra forutsetningene i grunnlaget for energirammene når det gjelder luftmengder og tilluftstemperaturer gir store muligheter for å svekke bygningens varmemessige egenskaper.

Fasader

Ulike metoder for tilleggskrav til fasader er undersøkt. Formålet har vært å finne metoder, og kravnivå, for å motvirke den effekten fasader kan ha når det gjelder dårlig inneklimate. Mye kaldras og solinnstråling vil kunne bidra til høyere oppvarmingsbehov og kjølebehov enn hva energiberegningene viser. De mest hensiktsmessige metodene som er funnet i denne utredningen er:

Formål å begrense oppvarmingsbehovet

Det foreslås å sette minstekrav (maksimumsverdi) til gjennomsnittlig U-verdi for fasader, og at kravnivået beregnes for den aktuelle bygningen. Muligheten for å oppnå kravnivået for ulike bygningstyper og bygningsformer blir da lik. Hvilket nivå et eventuelt minstekrav til gjennomsnittlig U-verdi bør legges på er avhengig av hvor stor begrensning regelverket skal stille i forhold til mulig maksimalt areal for vinduer, glassfelt (og dører). En slik begrensning har naturligvis en vesentlig betydning for arkitekturen. Hvor ”strengt” dette kravet eksakt bør være diskuteres ikke her, bortsett fra at det påpekes at det kan være hensiktsmessig å basere minstekravet på et nivå nærmere TEK §8-21 a) (Energiltak) enn TEK §8-21 c) (Minstekrav).

Formål å begrense kjølebehovet

Det foreslås minstekrav (maksimumsverdi) til produktet av glassareal/solbelastet gulvareal og systemsolfaktoren, og at kravnivået settes lik 0,03 for alle typer bygg, med unntak av småhus som ”fritas” for et slikt krav.

Begge metoder bør vurderes innført i TEK.

Kombinasjon fasader og varmegjenvinning

Fordi en skjerping av kravet til virkningsgrad ikke er tilstrekkelig alene når det gjelder å begrense fasadenes bidrag til kaldras og overoppvarming, og med dertil høyere energibehov til oppvarming og kjøling, er det hensiktsmessig å supplere med de nevnte typer krav til mer robuste fasader.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
1 Bakgrunn	6
2 Regneteknisk justering av energirammene	7
2.1 Nye beregninger.....	7
3 Krav til varmegjenvinning fra ventilasjonsluft	9
3.1 Innledning.....	9
3.2 Varmegjenvinneres egnethet i ulike bygningskategorier.....	9
3.2.1 Oppnåelig virkningsgrad.....	9
3.2.2 Mulig endring av ambisjonsnivået for ulike bygningskategorier.....	11
3.2.3 Kombinasjonsbygninger.....	14
3.3 Følsomhetsanalyser.....	15
3.3.1 Omfordelingsmuligheter, dersom bedre varmegjenvinning benyttes.....	15
3.3.2 Omfordelingsmuligheter, gitt variasjon i dimensjoneringskriterier for tilluftstemperatur....	16
3.3.3 Omfordelingsmuligheter, gitt variasjon i dimensjoneringskriterier for luftmengder.....	17
3.4 Økonomiske konsekvenser.....	18
3.5 Redusert energibehov ved endring av virkningsgrad.....	19
3.6 Konklusjon varmegjenvinning.....	19
4 Tilleggskrav til fasade	21
4.1 Varmetapstall.....	21
4.2 Gjennomsnittlig U-verdi for fasader.....	22
4.3 Maksimal solbelastning.....	25
4.3.1 Definisjon av glassareal/solbelastet gulvareal: ϕ	26
4.3.2 Variasjon av systemsolfaktoren.....	28
4.3.3 Varmekapasitetens betydning.....	29
4.3.4 Variasjon av glassarealet.....	30
4.3.5 Større dybde for solbelastet gulvareal.....	31
4.3.6 Andre bygningstyper.....	32
4.3.7 Forslag til krav for å unngå uønsket solbelastning.....	33
4.4 Konklusjon fasader.....	33
4.5 Kombinasjon tilleggskrav til fasader og skjerpet krav til varmegjenvinning.....	34
Vedlegg A. Varmetapstall og omfordelingsmuligheter	35

1 Bakgrunn

Statens Bygningstekniske etat (BE) vurderer å innføre mindre endringer i energikravene i tekniske forskrifter (TEK) til plan- og bygningsloven. Bakgrunnen er innspill på utforming og ambisjonsnivå i tiden etter at nye energikrav trådte i kraft 1. februar 2007, samt revisjon av standard *NS 3031 - Beregning av bygningers energiytelse*, som ble endelig fastsatt 15. oktober 2007.

BE har ønsket så få utredet konsekvensene av ulike ambisjonsnivåer for krav til varmegjenvinning fra ventilasjonsluft, samt eventuelt tilleggskrav til energieffektiv utforming av bygningers fasade. I tillegg skal energirammene i forskriften justeres med bakgrunn i endelig fastsettelse av ny beregningsstandard NS 3031:2007.

Denne rapporten beskriver resultatene fra denne utredningen. Utredningen er utført av SINTEF Byggforsk. En referansegruppe med deltagere fra Husbanken, RIF, Arkitektbedriftene, EBA og VKE har hatt som funksjon å kvalitetssikre arbeidet og bidra med innspill til utredningen.

Utredningen har hatt følgende deloppgaver:

1. Gjennomføre en regneteknisk justering av energirammene i forskriftens §8.21(b) på bakgrunn av endelig fastsatt beregningsstandard, NS 3031:2007.
2. Utarbeide grunnlag for vurdering av om kravet til varmegjenvinning fra ventilasjonsluften bør strammes inn for alle bygningskategorier med unntak av småhus og boligblokker
3. Utarbeide grunnlag for vurdering av om det bør innføres tilleggskrav for å sikre energieffektive fasader

Innholdet i og omfanget av deloppgavene er beskrevet i SINTEF Byggforsk sitt tilbud til BE, og er begrenset av de økonomiske og tidsmessige rammer gitt i BE sin invitasjon om konkurranse om utredningsoppdraget.

2 Regneteknisk justering av energirammene

Energirammene gitt i reviderte tekniske forskrifter fra 2007 var basert på beregninger utført med simuleringsprogrammet Energi i Bygninger fra Programbyggerne. Regler for beregning av bygningers energiytelse er gitt i NS 3031:2007, som ble gitt ut etter at reviderte energikrav trådte i kraft. I dette delprosjektet er nye energiberegninger som grunnlag for energirammene gjennomført, og basert på NS 3031:2007. Til dette arbeidet er simuleringsverktøyet SIMIEN fra Programbyggerne benyttet. Dette programmet er basert på NS 3031 og validert etter EN 15265.

Bygningsmodellene benyttet i energiberegningene er ikke inndelt i soner. Dette på bakgrunn av at bygningensmodellene ikke defineres inn under kriteriene som gjelder for soning i NS 3031. Når det gjelder beskrivelse av bygningsmodellene og øvrige forutsetninger for energiberegningene og energirammemetoden, henvises det til følgende dokumenter:

- Dokka, T.H., Thyholt, M.: *Revidert metode for energirammeberegning*, SINTEF-rapport STF22 A01523, 2001
- Thyholt, M., Dokka, T.H., *Nye energikrav til bygningers energibehov*, SINTEF-rapport STF22 A03524, 2003
- Wigenstad, T., Thyholt, M., *Nye energikrav. Tilleggsanalyser. Underlag for revisjon av forskriftskrav til bygningers energibehov*, SINTEF-rapport A05207, 2005
- Wigenstad, T., *Nye energikrav. Tilleggsanalyser – 2. Underlag for revisjon av forskriftskrav til bygningers energibehov*, SINTEF-rapport SBF 51 A06008, 2006
- Wigenstad, T., Thyholt, M., *Verifisering av bygningselementers U-verdier, virkning av kuldebroer samt forslag til energirammer i ny forskrift*. SINTEF-notat juni 2006.
- Dokka, T.H., Thyholt, M., *Nye energikrav. Mulighet for naturlig ventilasjon med nye energirammer*, SINTEF-notat november 2006.
- Uvsløkk, S., Gustavsen, A., *Vurdering av sammenheng mellom isolasjonstykkelse og risiko for fuktskader i lette yttervegger*, SINTEF-rapport oktober 2006.
- Standard Norge, *Norsk Standard NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*
- Statens bygningstekniske etat, *Temaveiledning Energi*, HO-1/2007

2.1 Nye beregninger

Det er forholdsvis liten forskjell mellom nye og gamle beregninger, dvs differansen for netto energibehov utgjør i størrelsesorden 0 til 6 prosent. Differansen skyldes at algoritmene i NS 3031 og SIMIEN i en viss grad er forskjellige fra Energi i Bygninger, samt at klimadataene også er noe endret. Tabell 2-1 viser resultatene fra justerte energiberegninger. Tabellen viser samtidig tilsvarende verdier fra beregningsgrunnlaget for TEK2007¹ (dvs bak skrå-tegnet)

¹ TEK fra 2007 er revisjon av TEK fra 1997. I denne rapporten benyttes for enkelthets skyld betegnelsen TEK-2007

Tabell 2-1 Justert beregningsgrunnlag for energirammer/ beregningsgrunnlag for TEK2007, fordelt på de ulike energipostene (kWh/m² per år).

	Småhus	Boligblokker	Barnehager	Kontorbygg	Skolebygg	Universitets- og høyskolebygg	Sykehus	Sykehjem	Hoteller	Ideettsbygg	Forretningsbygg	Kulturbygg	Lett industri, verksteder
Romoppvarming	54/52*	32/30	70/67	31/33	40/39	31/33	67/57	54/49	67/61	51/48	50/45	74/65	71/67
Ventilasjonsvarme	6/7	8/7	32/26	29/21	34/27	33/24	51/42	47/38	36/29	47/40	43/34	32/26	30/25
Varmtvann	30/30	30/30	10/10	5/5	10/10	5/5	30/30	30/30	30/30	49/49	10/10	10/10	10/10
Vifter og pumper	7/8	10/10	22/23	22/22	24/25	27/27	54/54	48/48	35/35	22/23	41/42	24/24	21/21
Belysning	17/17	17/17	21/21	25/25	22/22	25/25	47/47	47/47	47/47	21/21	56756	23/23	19/19
Teknisk utstyr	23/23	23723	5/5	34/34	13/13	34734	47747	23/23	6/6	3/3	4/4	373	23/23
Romkjøling	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Ventilasjonskjøling	0/0	0/0	0/0	19/24	0/0	23/30	38/50	0/0	26/31	0/0	37/47	19/26	18/21
Totalt netto energibehov	137/137*	121/118	160/152	165/165	143/137	179/179	333/327	248/234	245/239	192/185	240/237	185/178	192/186

*Endelige energirammer for småhus i TEK2007 ble noe endret i forhold til de beregningene som tidligere er publisert av SINTEF. Dette skyldes at lekkasjetallet ble økt fra 1,5 til 2,5 luftskifter per time ved n₅₀

De justerte energirammeberegningene, og tilhørende datafiler, er benyttet som grunnlag i de to andre deloppgavene i denne utredningen (dvs. ved vurdering av varmegjenvinning fra ventilasjonsluften samt fasadekrav).

3 Krav til varmegjenvinning fra ventilasjonsluft

3.1 Innledning

I dette kapitlet utredes grunnlaget for en vurdering av om kravet til varmegjenvinning fra ventilasjonsluften bør strammes inn for alle bygningskategorier med unntak av småhus og boligblokker, herunder:

- konsekvenser for kombinasjonsbygninger og bygninger der roterende gjenvinner kan være lite egnet løsning
- følsomhetsanalyse med tanke på omfordelingsmuligheter, dersom bedre varmegjenvinning benyttes
- følsomhetsanalyse med tanke på omfordelingsmuligheter, gitt variasjon i dimensjoneringskriterier for tilluftstemperatur og ventilasjonsluftmengder
- økonomiske konsekvenser og teoretisk beregnede energibesparelser

3.2 Varmegjenvinneres egnethet i ulike bygningskategorier

I TEK2007 er det stilt krav² til minimum årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg lik 70 %. Det skal vurderes om dette kravet kan heves opp mot 75 % til 85 %. Definisjon og beregning av virkningsgrad for varmegjenvinnere er beskrevet i NS 3031, Tillegg H.

3.2.1 Oppnåelig virkningsgrad

TEK stiller krav til dokumentert ytelse, som normalt måles under gunstige/definerte laboratorieforhold. Alle seriøse produsenter tester sine produkter iht. NS-EN 308 eller NS-EN 13141-7, og temperaturvirkningsgraden er derfor ”greit” å angi. Beregning av energibehov for frostsikring, som er nødvendig for å beregne årsmidlere temperaturvirkningsgrad (i henhold til TEK2007 og NS 3031) er ikke like godt innarbeidet i de europeiske prøvningsstandardene, og en ”normalisert” metodikk er derfor definert i NS 3031. Det reelle energibehovet, inkludert energibehovet til frostsikring, er sterkt avhengig av flere ”eksterne” faktorer, bl.a. lokalt klima, avtrekksluftens tilstand (temperatur og fuktinnhold) og ”presisjonen” ved styringen av energibruken til frostsikring. Det er derfor vanskelig å sammenligne produsentens dokumenterte ytelse under standardiserte/normaliserte forhold med den ytelse som måles i reelle anlegg. Man må også forvente at varmegjenvinnere har en lavere ytelse i virkeligheten på grunn av at driftstekniske forhold som ubalanse³ og lekkasje/resirkulasjon⁴, som ikke forekommer ved dokumentasjonstester i laboratorium, og ved at settpunktet for tilluftstemperaturen er satt lavt. Ligningene i NS 3031 kan korrigere for ubalanse og resirkulasjon, men det er likevel vanlig å anta ideelle forhold ved kontrollberegninger.

² I metoden Samlet netto energibehov (Energirammemetoden), |8-21 b), er det ikke stilt krav til virkningsgrad, men 70 % er benyttet i beregningsgrunnlaget for energirammene. I metoden Energiltak (§8-21 a)) er kravet til årsmidlere temperaturvirkningsgrad 70 %

³ Ubalanse betyr ulik tillufts- og avtrekksluftmengde.

⁴ Lekkasje og resirkulasjon mellom tilluft- og avtrekksluftstrømmen i aggregatet.

Roterende varmegjenvinnere

Roterende varmegjenvinnere kan ha dokumenterte virkningsgrader⁵ på godt over 85 %. Det er viktig å merke seg at virkningsgraden er avhengig av fronthastigheten og tykkelsen på rotoren. Lavere fronthastighet, eller tykkere rotor, gir høyere virkningsgrad. Dokumentasjonen for roterende varmegjenvinnere må være gyldig for aktuelle fronthastigheter.

Tidligere studier (bl.a. i Norge, Sveits, og Sverige) har avdekket at den effektive virkningsgraden for aggregater med roterende varmegjenvinnere er typisk 60 til 70 % for aggregater med dokumentert 80 % nominell temperaturvirkningsgrad. Lavere virkningsgrad skyldes ikke hovedsaklig feilaktig dokumenterte ytelser, men heller at innjustering og drift av aggregatet avviker fra de ideelle forutsetningene/forhold ved produktdokumentasjonen (pga. resirkulasjon og ubalanse). Det er mulig at risikoen for unøyaktig innjustering er spesielt stor i aggregater med roterende varmegjenvinnere bl.a. fordi renblåsningssektorer vanskeliggjør balansering, se Figur 3-1, og fordi børstene⁶ kan utgjøre et vesentlig lekkasjepunkt. Konsekvensen av dette kan være at energibruken er større enn beregnet, eller at *netto* luftutskiftning er lavere enn dimensjonert. For CAV-anlegg fører resirkulasjon til dårligere luftkvalitet, muligens også høyere energibruk, mens for CO₂-styrte VAV-anlegg vil resirkulasjon føre til høyere energibruk, men akseptabel luftkvalitet.

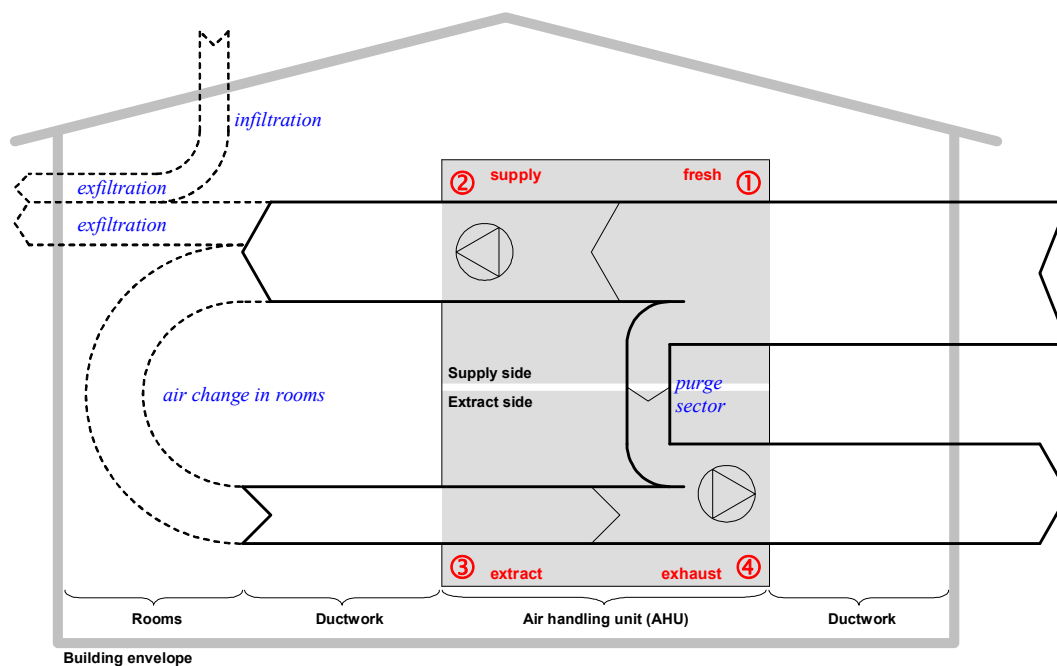
I sammendrag kan en si at en skjerping av kravet til temperaturvirkningsgrad i TEK kan føre til et større sprik mellom teoretisk og virkelig inneklimate og energiprestasjon av bygninger, spesielt ved bruk av anlegg med behovsstyrt luftmengde. Omfanget av problemet kan reduseres med produktutvikling og gode inspeksjonsordninger.

Andre typer varmegjenvinnere

Høyeffektive plategjenvinnere på markedet kan ha mindre risiko for tilbakeføring av lukt/forurensninger enn roterende, og samtidig så vidt oppnå akseptabel årsmiddel virkningsgrad i henhold til TEK2007 (ca 70 % for en gjenvinner med nominell temperaturvirkningsgrad på 80 %, forutsatt en avrimingsautomatikk som gir en minimal avkasttemperatur på $T_{4,min}=5$ °C). Vi mener å se en tendens mot bedre produkter som følge av TEK2007. Dette gjelder alle typer gjenvinnere. Motstrøms-platevarmevekslere med "intelligente avrimingsløsninger" kan være eksempler på dette. Så langt er dokumentasjonen for mangelfull til å konstatere at disse kan oppnå 80 % på årsbasis. En bør avvente å heve ambisjonsnivået for bygningskategorier som trenger adskilte luftstrømmer inntil dokumentasjon av funksjon (lekkasje) og ytelse viser at slike produkter har fortrinn i forhold til roterende gjenvinnere. Det er likevel grunn til å tro at en ytterligere skjerping av kravene for andre bygningskategorier vil forsterke produktutviklingen i denne retning.

⁵ Årsmiddel temperaturvirkningsgrad (iht. NS 3031:2007) for roterende varmegjenvinnere er praktisk talt lik dokumentert momentan temperaturvirkningsgrad. Dette er fordi roterende varmegjenvinnere (og andre regenerative varmevekslere) normalt ikke har frostproblemer, i alle fall ikke når utetemperaturen er over ca. -15 °C til -25 °C. Derfor kan de operere med konstant virkningsgrad hele året, forutsatt konstant rotorhastighet..

⁶ Overtrykk mellom tilluft og avtrekk fører til lekkasje gjennom børstene som skiller luftstrømmene ved rotoren. Det kan være vanskelig å unngå ugunstige trykkforhold. Montører/servicepersonell sjekker ikke alltid dette.



Figur 3-1 *Illustrasjon av typisk feil ved innregulering av ventilasjonsaggregat med roterende varmegjenvinner. Luftmengden gjennom begge viftene er innjustert like, men renblåsningssektoren ("purge sector") gjør at aggregatet likevel er ubalansert. Konsekvensen er eksfiltrasjon gjennom bygningskroppen. Dimensjoneringsprogramvare fra selv seriøse aggregatprodusenter (f.eks. Swegon "ProUnit") tar ikke hensyn til dette.*

3.2.2 Mulig endring av ambisjonsnivået for ulike bygningskategorier

Roterende-, motstrøms- og kryssvarmevekslere kan være uegnet for enkelte bygningskategorier, eller deler av bygningskategoriene, avhengig av akseptabel risiko for tilbakeføring av forurensninger. Der hvor slik risiko ikke kan aksepteres, for eksempel ved enkelte smitteisolater på sykehus, må man separere tillufts- og avtrekksluftstrømmen og tilbakeføre varme ved hjelp av batterigjenvinnere. Slike varmegjenvinnere har betydelig lavere virkningsgrad enn roterende gjenvinnere. Varmepumpeløsninger kan gi høyere virkningsgrad enn "passive" batterigjenvinnere i slike tilfeller.

Det pågår en debatt om hvorvidt roterende gjenvinnere er egnet eller ikke i ulike typer bygningskategorier, og om akseptabel risiko for lekkasje og tilbakeføring av forurensninger. Formålet med denne utredningen er ikke å konkludere i forhold til den debatten, men å vurdere på et grovt nivå når roterende gjenvinnere *kan* være uegnet. Basert på dette vurderes realistisk ambisjonsnivå for virkningsgrad for de enkelte bygningskategorier.

Strengt hygienekrav kan gjøre roterende gjenvinnere uegnet. Slike hygienekrav finner man i sykehus og prosessindustri, og hygienekravene utløses av to prinsipielt forskjellige formål:

- behov for å skjerme omgivelsene fra utslipp fra prosesser eller personer
- behov for å skjerme prosesser eller personer fra omgivelsene

Eksempler på funksjoner med slike hygienekrav er:

- undertrykksisolat tenkt benyttet for personer med potensielt smittsomme farlige sykdommer (virus, bakterier)
- overtrykksisolat til beskyttelse av personer med nedsatt immunforsvar
- operasjonsstuer på grunn av risiko for sårinfeksjon
- sykehuslaboratorier og andre rom med håndtering av potensielt farlige biologiske agens
- rom med kjemikalieutslipp av potensielt farlige kjemikalier
- rom med radioaktivitet
- obduksjonsområder (kjemikalier, gasser/lukt)
- dyreavdelinger (lukt, virus, bakterier, kjemikalier)
- prosessindustri legemidler
- prosessindustri elektronikk

I de tilfeller hygienekravene er strenge og lekkasjer kan gi alvorlige konsekvenser for menneskers helse og/eller produksjonen, bør ventilasjonsanlegget utformes slik at risikoen for lekkasje minimeres. Dette vil normalt bety helt delte luftstrømmer, dvs med tilfredsstillende sikkerhet mot ”kortslutning” mellom tilluft og avtrekk, og med indirekte varmegjenvinning.

Risiko for lukttilbakeføring er et tema der hvor man har sterke lukter i enkelte rom. Eksempler på slike rom er røykerom, kjøkken og toaletter. Utslippene fra slike rom er i hovedsak forbundet med ubehag, men kan også være relatert til helsefare, eller reaksjoner blant enkelte astmatikere, allergikere og overfølsomme. Her må man akseptere noe risiko i tråd med normal samfunnsmessig eksponering. Her er det vel så viktig å stille krav til utformingen av bygningen og ”inndelingen” av ventilasjonsanleggene som til typen varmegjenvinner. Et viktig grunnleggende prinsipp ved utforming av bygninger og ventilasjonsanlegg er at lokaler med forskjellig forurensningsnivå skal holdes ”atskilt”, jf. TEK § 8-34, punkt 1. Luftføring skal være fra rom med høyere til rom med lavere krav til luftkvalitet. Resterende risiko bør kunne reduseres til et akseptabelt nivå, enten ved å bruke gjenvinnere som har virkningsgrad nesten på nivå med roterende gjenvinnere, men med mindre risiko for lekkasje/tilbakeføring av forurensninger, eller med bruk av filtre som absorberer gasser (kullfilter).

På samme måte må man akseptere noe risiko for tilbakeføring av smuss/skitten luft i tråd med normal samfunnsmessig eksponering. Denne risikoen vil naturlig begrenses av normale driftsrutiner med formål om å opprettholde varmegjenvinnerens virkningsgrad og ventilasjonsanleggets totale funksjon, som blant annet innebærer filterbeskyttelse av aggregat og gjenvinner. Med normale forutsetninger om riktig filterbruk og vedlikeholdsprosedyre kan man ikke bedømme roterende gjenvinnere som uegnet i slike tilfeller. Spesielt fettholdig avtrekk kan imidlertid gjøre roterende varmegjenvinnere uegnet fordi fettpartiklene reduserer funksjonslevetiden, og fordi effekten av og mulighetene for renhold er begrenset.

Tabell 3-1 oppsummerer kriterier som er lagt som grunnlag for å vurdere egnethet for varmegjenvinnere og gjenvinnere med høy virkningsgrad.

Tabell 3-1 *Kriterier for å vurdere om roterende varmegjenvinnere er uegnet*

Kriterier for vurdering av uegnethet for roterende varmegjenvinnere:		Kriterier for varmegjenvinner
1)	Strengt hygienekrav	Indirekte varmegjenvinning med minimal risiko for lekkasje – roterende varmegjenvinnere normalt ikke egnet
2)	Luktilbakføring mellom rom	Direkte varmegjenvinning med begrenset risiko for lekkasje – roterende varmegjenvinnere kan være uegnet
3)	Smuss/skitten luft	Roterende varmegjenvinnere egnet med unntak av fettholdig avtrekk – risikoreduksjon ved filterbruk

Videre må et realistisk ambisjonsnivå vurderes i forhold til hvilke varmegjenvinnere som kan være egnet der hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet, og hvilken virkningsgrad man kan oppnå med disse. Basert på en gjennomgang av dokumentdata fra produsenter av aktuelle varmegjenvinnere, ligger "high-end" virkningsgradene for varmegjenvinnere i følgende områder (hentet fra www.eurovent-certification.com; www.swegon.com):

Tabell 3-2 *"High end" virkningsgrader for varmegjenvinnere – oppnåelig årsmiddel temperaturvirkningsgrad*

"High end" virkningsgrader:	
Roterende gjenvinnere	80-85%
Motstrømsgjenvinnere (nye typer kan ha bedre virkningsgrad)	70-75%
Batterigjenvinnere med helt delte luftstrømmer	60-65%

Basert på fornuftige dimensjoneringskriterier antas de ovennevnte virkningsgradene som realistiske.

Ulike funksjoner i de enkelte bygningskategoriene hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet, er vurdert på bakgrunn av kriteriene i Tabell 3-1. I tillegg er arealandelen av disse funksjonene anslått for de ulike bygningskategoriene.

Tabell 3-3 *Funksjoner hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet*

Bygningskategori	Funksjoner hvor roterende varmegjenvinnere kan være uegnet	Kriterium (Tabell 3-1)	Anslått andel
Barnehage	Kjøkken	3	0-10%
Kontorbygg	Kjøkken	3	0-10%
Skolebygg	(Stor)kjøkken	3	0-20%
Universitet/høyskole	Laboratorium	1,2,3	0-20%
Sykehus	Storkjøkken, laboratorier, behandlingsrom og pasientrom	1,2,3	20-70%
Sykehjem	Storkjøkken, behandlingsrom, pasientrom	2,3	0-20%
Hoteller	Storkjøkken	2,3	0-10%
Idrettsbygg	Kjøkken, trimrom	2,3	0-60%
Forretningsbygg	Storkjøkken (inkludert restauranter)	2,3	0-30%
Kulturbygg	Kjøkken	2,3	0-10%
Lett industri/verksteder	Produksjonslokaler, laboratorium, verksted	2,3	0-100%

Ut fra Tabell 3-3 er det kun i sykehus og universiteter med laboratorier hvor det er aktuelt med strenge hygienekrav, og hvor energieffektiv varmegjenvinner med virkningsgrad $> 70 \%$ kan være uegnet. Videre kan man i sykehjem, som ivaretar mange sykehusfunksjoner, finne roterende gjenvinnere som uegnet på grunn av luktspredning og hygienekrav. Bygningskategorien lett industri/verksted er lite definert, men også her kan det være tilfeller hvor man kan finne roterende gjenvinnere uegnet. Basert på dette foreslås at dagens krav på 70% i sykehus, sykehjem og lett industri/verksteder opprettholdes.

Der det ikke er tilrådelig å benytte roterende varmegjenvinner i andre bygningskategorier (for eksempel avtrekk fra matproduksjon i storkjøkken, laboratorier osv.), kan det likevel benyttes en varmegjenvinningsgrad på 80% i kontrollberegningen. Det bør da forutsettes at det gjøres tiltak for å redusere omfanget av dette avtrekket til et minimum over døgnet og året. Bruk av høyere virkningsgrad i kontrollberegningen enn hva som er korrekt for den faktiske løsningen, vil forsterke avviket⁷ mellom kontrollberegningen mot myndighetskrav og faktisk energibruk.

Tabell 3-4 Mulig endring av ambisjonsnivå for varmegjenvinnere

Bygningskategori	Mulig endring av ambisjonsnivå
Barnehage	80 %
Kontorbygg	80 %
Skolebygg	80 %
Universitet/høyskole	80 %
Sykehus	Uendret (70 %)
Sykehjem	Uendret (70 %)
Hoteller	80 %
Idrettsbygg	80 %
Forretningsbygg	80 %
Kulturbygg	80 %
Lett industri/verksteder	Uendret (70 %)

3.2.3 Kombinasjonsbygninger

Ved flerfunksjonsbygninger må ulike deler av bygget forholde seg til det rammekrav som gjelder for den kategorien den enkelte del tilhører. Siste setning i TEK2007 § 8-21(b) sier ”I kombinasjonsbygg gjelder rammekravene for bygningskategoriene tilsvarende for de respektive arealene”. Ved kontrollberegning i henhold til NS 3031 kapittel 4.3 skal de ulike delene beregnes særskilt og med ingen termiske koblinger mellom beregningssonene (dvs. adiabatisk skillevegger/etasjeskillere og separat ventilasjonssystem).

Fra et ventilasjonsteknisk synspunkt, vil en skjerping av kravet til varmegjenvinning fra ventilasjonsluften generelt ikke ha en fordyrende konsekvens spesielt for flerfunksjonsbygninger. Dette er fordi vi foreslår at sonekategorier som krever atskilte luftstrømmer (sykehus, sykehjem, lett industri) beholder forutsetningen i TEK2007 om 70% virkningsgrad. For de andre sonekategorier er

konsekvensen av innstramming av virkningsgraden til 80 % generelt ikke mer fordyrende enn for hele bygninger med samme bygningskategori.

3.3 Følsomhetsanalyser

I dette kapitlet beskrives ulike følsomhetsanalyser knyttet til omfordelingsmuligheter⁸ når det forutsettes av krav til årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinnere settes lik 80 %. Følsomhetsanalysene viser primært hvilke muligheter omfordeling gir med tanke på økt bruk av vinduer og glassfelt.

Det er kun utført følsomhetsanalyser for kontorbygg, og bygningsmodellen lagt til grunn er den samme som er benyttet i energirammeberegningene. Analyser er utført for både Energiltaksmetoden og Energirammemetoden

3.3.1 Omfordelingsmuligheter, dersom bedre varmegjenvinning benyttes

Følgende arealer for vinduer og glassfelt (prosent av oppvarmet bruksareal) kan oppnås når det forutsettes at kravet til årsmidlere temperaturvirkningsgrad er 80 %:

Gjennomsnittlig U-verdi for vinduer og glassfelt 0,8 W/m²K:

Energirammemetoden: 38 % av BRA, når ekstra vindus- og glassareal fordeles likt på nord- og sørfasaden

Energiltaksmetoden: 33 % av BRA

VAV-styring (80 % av CAV i driftstiden, dvs 80 % av 10 m³/m²h, ellers 3 m³/m²h utenom driftstiden):

Energirammemetoden: 35 % av BRA, når ekstra vindus- og glassareal fordeles likt på nord- og sørfasaden

Tiltaksmetoden: 25 % av BRA

Både VAV-styring og gjennomsnittlig U-verdi for vinduer og glassfelt lik 0,8 W/m²K:

Energirammemetoden: 42 % av BRA (alle fasader i glass, dette oppnås med god margin!)

Energiltaksmetoden: 41 % av BRA (dvs tilnærmet alle fasader i vinduer/glass)

At det er større omfordelingsmuligheter innenfor energirammemetoden ved behovsstyrt ventilasjon (VAV-styring), skyldes at reduserte luftmengder reduserer endrer energibruken til både romoppvarming, ventilasjonskjøling og viftedrift, noe som tas ikke hensyn til ved omfordeling innenfor energiltaksmetoden. Effekten av økt vindusareal er også forskjellig for energirammemetoden og energiltaksmetoden. Dette skyldes at vindusarealet, og solfaktoren på

⁷ Det vil være et avvik mellom kontrollberegning mot myndighetskrav (energirammer) og faktisk energibruk. Dette skyldes at det i kontrollberegningen forutsettes normalisert klima (Oslo) og bruksmønster, noe som kan avvike betydelig fra de faktiske forhold.

⁸ Ved bruk av Energirammemetoden er det egentlig ikke snakk om omfordeling, siden det ikke stilles spesifikke krav til løsninger. Med omfordeling menes i dette kapitlet muligheten for å velge andre løsninger enn de som er forutsatt som grunnlag for energirammeberegningene.

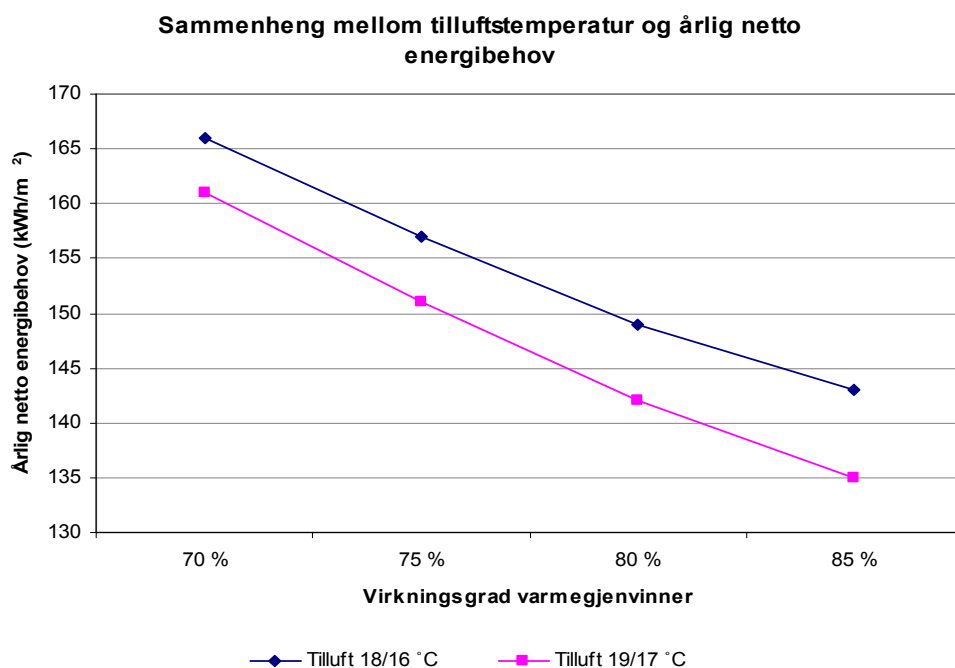
glassrutene, påvirker solvarmetilskuddet, som igjen påvirker både varme- og kjølebehovet. Dette tas ikke hensyn til ved bruk av Energiltaksmetoden.

3.3.2 Omfordelingsmuligheter, gitt variasjon i dimensjoneringskriterier for tilluftstemperatur

I en energiberegning forutsettes en rekke faktorer, som U-verdier, kuldebroverdier, vifteeffekt, virkningsgrad for varmegjenvinner, tilluftstemperaturer osv. Alle disse faktorene har betydning for beregningsresultatet, og bruk av feil eller unøyaktige verdier har derfor betydning for hvor lett det er å tilfredsstille energikravene. I tillegg vil feil eller unøyaktige verdier gi muligheter for større omfordelingsmuligheter enn ved bruk av korrekte verdier. Under vises hvilke konsekvenser unøyaktig fastsettelse av tilluftstemperaturen for ventilasjonsluften har for energibehovet i kontorbygg.

Som forutsetning ved beregning av energirammene i TEK2007 er det forutsatt innblåsnings-temperaturer på henholdsvis 16 °C om sommeren og 18 °C om vinteren. Dersom det benyttes +1 °C høyere innblåsnings-temperatur (dvs. henholdsvis 17 °C om sommeren og 19 °C om vinteren) i en energiberegning som utføres som kontroll mot energirammekravet, vil energibehovet for kontorbyggmodellen reduseres med mellom 5 og 8 kWh/m² per år avhengig av varmegjenvinnerens virkningsgrad, se Figur 3-2. Ved 80 % virkningsgrad er reduksjonen 7 kWh/m². Det er da lagt til grunn at de øvrige forutsetningene i energiberegningene er lik underlaget for energirammekravet. Med ”sparte” 7 kWh/m² knyttet til oppvarming og kjøling av ventilasjonsluften kan ambisjonsnivået for andre energiltak reduseres innenfor energirammekravet, slik vist under (punktene ses uavhengige av hverandre):

- Økt vindusareal fra 20 til 28 % av BRA (lik økning på sør- og nordfasade)
- Økt U-verdi for yttervegger fra 0,18 til 0,22 W/m²K, samt for vinduer fra 1,2 til 1,4 W/m²K
- Økt SFP fra 2.0 til 2.7 kW/(m³/s)
- Redusere varmegjenvinnerens virkningsgrad fra 80 % til 77 %



Figur 3-2 Beregnet energibehov avhengig av settpunktet for tilluften, og av varmegjenvinnerens årsmidlere temperaturvirkningsgrad

3.3.3 Omfordelingsmuligheter, gitt variasjon i dimensjoneringskriterier for luftmengder

Energirammemetoden

Valg av ventilasjonsluftmengder påvirker energibehovet, og jo lavere luftmengder desto lavere energibruk. I NS 3031 er det stilt krav til hvilke minste tillatte luftmengder som kan benyttes i kontrollberegningene mot energirammekravet. For kontorbygg er dette 7 m³/m²h i driftstiden og 2 m³/m²h utenfor driftstiden. I grunnlaget for energirammeberegningene er det for kontorbygg benyttet 10 m³/m²h i driftstiden og 3 m³/m²h utenfor driftstiden. Forskjellen i energibehov ved bruk av disse luftmengdene utgjør 30 kWh/m² når temperaturvirkningsgraden for varmegjenvinnere er 70 %, og 24 kWh/m² når temperaturvirkningsgraden for varmegjenvinnere er 80 %. Redusert energibehov gjelder både oppvarming og kjøling av ventilasjonsluften, samt mindre energi til drift av ventilasjonsvifter⁹.

En reduksjon av energibehovet på 24 kWh/m² per år, dvs forutsatt 80 % virkningsgrad i energirammekravet, gir mulighet for å endre bygningens varmeegenskaper, eksempelvis:

- økt vindusareal fra 20 til 42 % av BRA (alle fasader i glass), økt U-verdi for yttervegger fra 0,18 til 0,22 W/m²K, samt redusert varmegjenvinnerens virkningsgrad for varmegjenvinner fra 80 % til 74 %

Alle disse løsningene kan gjennomføres samtidig, og allikevel tilfredsstille rammekravet. Lavere luftmengder gir som eksempelet viser mulighet for betydelig reduksjon av bygningens varmемessige egenskaper. Bygningen er i beregningseksempelet sonedelt i henhold til reglene gitt i NS 3031.

Energiltaksmetoden

Ved bruk av metoden Energiltak vil man ikke bli ”belønnet” ved bruk av lave ventilasjonsluftmengder slik som ved bruk av Energirammemetoden. Tvert i mot, jo større ventilasjonsluftmengder desto større rom er det for omfordeling når det benyttes høyere virkningsgrad for varmegjenvinner enn kravnivået gitt i TEK. Dersom det også her legges til grunn samme luftmengder som for eksempelet med energirammemetoden, vil en se at bruk av de høyeste luftmengdene gir størst rom for økning av arealet for vinduer og glassfelt. Omfordeling med utgangspunkt i varierte luftmengder er kun mulig når det benyttes mer effektiv varmegjenvinning enn kravnivået. Forutsatt at kravet til varmegjenvinnerens årsmidlere temperaturvirkningsgrad heves til 80 % for kontorbygg, og at det for det aktuelle bygget benyttes varmegjenvinner med virkningsgrad 85 %, vil det være mulig å øke arealet for vinduer og glassfelt på følgende måte:

Luftmengder i driftstiden/utenom driftstiden: henholdsvis 10 m³/m²h og 3 m³/m²h, 85 % virkningsgrad
Areal for vinduer og dører kan økes fra 20 % av BRA til 37 % av BRA når gjennomsnittlig U-verdi for vinduer og glassfelt er 1,2 W/m²K

Luftmengder i driftstiden/utenom driftstiden: henholdsvis 7 m³/m²h og 2 m³/m²h, 85 % virkningsgrad
Areal for vinduer og dører kan økes fra 20 % av BRA til 29 % av BRA når gjennomsnittlig U-verdi for vinduer og glassfelt er 1,2 W/m²K

⁹ Størrelsen på luftmengdene har stor betydning for både romtemperaturen og luftkvaliteten, og luftmengdene forutsatt i energirammeberegningene er vurdert å representere akseptabel luftveksling i vanlige kontorbygg.

Driftstider i henhold til NS 3031, tillegg A er lagt til grunn. Omfordeling er også beregnet i henhold til reglene gitt i NS 3031. Beregningseksemplet viser at ventilasjonsluftmengdene har stor betydning for omfordelingsmulighetene også ved bruk av Energiltaksmetoden, og at omfordelingsmulighetene er større jo høyere luftmengdene er.

3.4 Økonomiske konsekvenser

SINTEF Byggforsk erfarer at det generelt ikke er snakk om noen kostnadsøkning knyttet til bruk av roterende gjenvinnere fremfor motstrømsgjenvinnere, noe som i mange tilfeller vil være konsekvensen av å skjerpe kravet til varmegjenvinning fra ventilasjonsluft fra 70 til 80 %. I mange situasjoner vil det motsatte være tilfelle.

Ventilasjonsaggregat leveres i modulbaserte tverrsnitts-størrelser. Behovet for aggregattverrsnitt bestemmes av en rekke faktorer, særlig vil krav til maksimal SFP-verdi kunne utløse behov for å gå opp en aggregatstørrelse. Det er derimot vanskelig å tenke seg tilfeller hvor skjerpet krav til varmegjenvinnerens virkningsgrad utløser behov for økt aggregatstørrelse med tanke på aggregatets tverrsnitt, men det er mulig at dette vil kunne påvirke varmegjenvinnerens lengde. Roterende gjenvinnere kan leveres med lengde på 200 mm og 250 mm. Behov for virkningsgrad på 80 % eller mer, kan medføre at roterende gjenvinnere må ha en lengde på 250 mm i stedet for 200 mm, som i dette hypotetiske tilfellet var tilstrekkelig etter TEK 2007 (70 % virkningsgrad). Eksempel under illustrerer hvilken størrelsesorden en merkostnad som følge av dette kan få.

Eksempel lønnsomhetsberegning

Et teknisk rom skal romme et aggregat med roterende gjenvinner, dimensjonert etter TEK2007 (70 % virkningsgrad) og med målene for aggregatet lik 9 meter langt og 0,9 meter bredt. Rommet er 10 meter langt og 2,2 meter bredt. Ved dimensjonering basert på 80 % virkningsgrad økes tykkelsen på gjenvinner med 50 mm. Dette innebærer at lengden på rommet øker til 10,05 meter. Dette gir et økt areal for teknisk rom på $0,11 \text{ m}^2$ ($10,05 \cdot 2,2 - 10 \cdot 2,2$). Med en arealkostnad på 15.000 kr/m^2 gir dette en økt kostnad på ca 1650 kr. Hvis man grovt anslår at aggregatkostnaden på grunn av tykkere rotor øker tilsvarende, får man en total merinvestering på 3.300 kr. Dette aggregatet kan dekke et kontorareal på ca 1200 m^2 . Samlet merkostnad knyttet til økning av virkningsgraden fra 70 til 80 % blir da $3300/1200 = 2,75 \text{ kr/m}^2$. Dette tilsvarer en årskostnad på $0,26 \text{ kr/m}^2$ med 7 % realrente og 20 års levetid. Regner vi en besparelse på $20 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, se Tabell 3-5 i neste avsnitt, og en energipris på 80 øre/kWh, er tiltaket tilbakebetalt i løpet av ca. 2 måneder. Selv om forutsetningene for regnestykket kan diskuteres, viser dette grove regnestykket at man snakker om en svært lønnsom investering også i de tilfellene skjerpede krav medfører økte installasjons- og arealkostnader¹⁰.

¹⁰ Kostnader knyttet til endring av gulvareal som følge av ulike energiltak, er ikke lagt til grunn for de øvrige kravnivåene i energiltaksmetoden og energirammemetoden. Eksemplet viser at selv om behovet for ekstra gulvareal knyttet til skjerping av kravnivået til varmegjenvinning inkluderes i lønnsomhetsberegningen, snakker vi her om en svært lønnsom investering.

3.5 Redusert energibehov ved endring av virkningsgrad

Ved å endre virkningsgraden for varmegjenvinnere, slik vist i Tabell 3-4, reduseres energibehovet til oppvarming. Redusert energibehov for bygningskategoriene er vist i Tabell 3-5.

Tabell 3-5 Totalt netto energibehov, før og etter endring av virkningsgrad for varmegjenvinnere

Bygningskategori	Endret virkningsgrad	Totalt netto energibehov		
		Uendret virkningsgrad (70 %) [kWh/m ²]	Endret virkningsgrad [kWh/m ²]	Differanse [kWh/m ²]
Barnehage	80 %	160	142	-18
Kontorbygg	80 %	165	148	-17
Skolebygg	80 %	143	122	-21
Universitet/høyskole – øvrig	80 %	179	159	-20
Sykehus	uendret (70 %)	333	uendret	uendret
Sykehjem	uendret (70 %)	248	uendret	uendret
Hoteller	80 %	245	221	-24
Idrettsbygg	80 %	192	172	-20
Forretningsbygg	80 %	240	212	-28
Kulturbygg	80 %	185	166	-19
Lett industri/verksteder	uendret (70 %)	192	uendret	uendret

3.6 Konklusjon varmegjenvinning

Dette kapittelet viser at det ut fra tekniske og økonomiske hensyn er mulig å øke kravnivået for varmegjenvinning fra ventilasjonsluften for de fleste bygningskategoriene. Dette innebærer en skjerping av årsmidlere temperaturvirkningsgrad fra 70 % til 80 %. En slik skjerping vil generelt ikke ha noen særskilt betydning for kombinasjonsbygninger. I bygningskategorier hvor det ikke er tilrådelig å benytte roterende varmegjenvinner, ved for eksempel avtrekk fra matproduksjon i storkjøkken, laboratorier osv, er en løsning at det likevel benyttes en varmegjenvinningsgrad på 80 % i kontrollberegningen. Det bør da forutsettes at det gjennomføres tiltak for å redusere omfanget av dette avtrekket til et minimum over døgnet og året. Bruk av høyere virkningsgrad i kontrollberegningen enn hva som er korrekt for den faktiske løsningen, vil forsterke avviket mellom kontrollberegningen mot myndighetskrav og faktisk energibruk.

Følsomhetsberegninger foretatt for kontorbygg viser at det på tross av en relativt betydelig skjerping av virkningsgraden for varmegjenvinnere, fortsatt vil være mulig å benytte store arealer med vinduer og glassfelt. For den bygningsmodellen som ble benyttet i beregningene, vil eksempelvis alle fasader kunne utføres i glass dersom det benyttes en kombinasjon av behovsstyrt ventilasjon og lave U-verdier for vinduer og glassfelt, dvs gjennomsnitt 0,8 W/m²K. Dette gjelder både energirammemetoden og energitiltaksmetoden.

Følsomhetsberegninger foretatt for den samme kontorbygningen, viser at lavere luftmengder enn forutsatt som grunnlag for energirammene medfører betydelig rom for økt bruk av vinduer og glassfelt (alle fasader i glass) i kombinasjon med eksempelvis høyere U-verdi for yttervegger (fra 0,18 til 0,22 W/m²K) og lavere virkningsgrad for varmegjenvinner (fra 80 % til 74 %). Ved bruk av metoden Energiltak vil man ikke bli "belønnet" ved bruk av lave ventilasjonsluftmengder. Tvert i mot, jo

større ventilasjonsluftmengder desto større rom er det for omfordeling når det benyttes høyere virkningsgrad for varmegjenvinner enn kravnivået.

Avhengig av bygningskategori vil en skjerping av kravnivået for varmegjenvinning fra ventilasjonsluften innebære at netto energibehov reduseres i størrelsesorden 20 til 30 kWh/m² per år.

Det har ikke vært en del av oppdraget å vurdere hvilke tiltak som eventuelt kan gjennomføres i TEK for å redusere mulighetene for manipulering ved bruk av lavere luftmengder eller høyere tilluftstemperaturer enn det som faktisk er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende inneklima. Å angi slike løsninger vil være en større oppgave enn hva som lar seg gjøre innenfor prosjektets økonomiske ramme.

4 Tilleggskrav til fasade

Lavt komfortnivå som følge av kalde fasader om vinteren og mye solinnstråling om sommeren vil kunne medføre en kompensering av innendørs temperaturnivå med ytterligere oppvarming og kjøling enn det beregningsmodellene i NS 3031 fanger opp. Utstrakt bruk av glass i fasadene kan av den grunn bidra til høyere energibruk enn energiberegningene vil vise. For å stimulere til gode og energieffektive fasader, er det gjennomført en analyse av hvilke tilleggskrav som eventuelt kan stilles til fasader. Dette kapittelet beskriver mulige metoder for slike tilleggskrav. Det er sett på tre ulike metoder:

- Krav til varmetapstall, flere alternativer
- Krav til gjennomsnittlig U-verdi for fasader
- Krav til maksimal solbelastning, her er fire ulike varianter av krav diskutert

Bygningsmodeller benyttet i denne delen av utredningen er de samme som er benyttet ved justering av beregningsgrunnlaget for energirammene, beskrevet i kapittel 2.

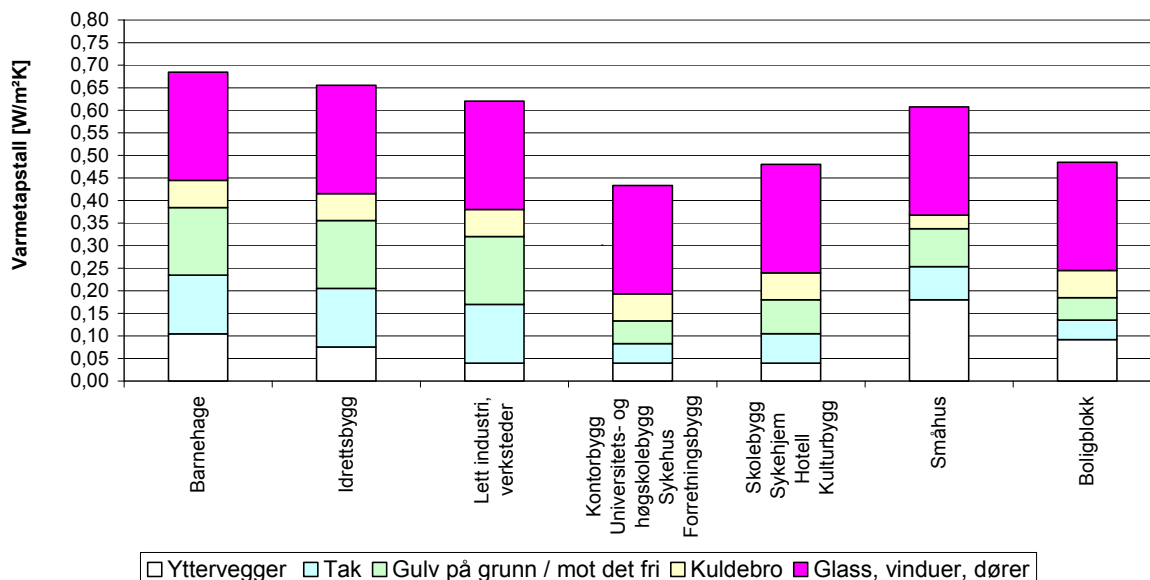
4.1 Varmetapstall

Varmetapstallet samler varmetapspostene i én faktor. Varmetapsposter er varmetap gjennom yttervegger, vinduer/dører/glassfelt, tak, gulv, og varmetap som skyldes ventilasjon og infiltrasjon (luftlekkasjer). Ved å sette krav til varmetapstall fastsettes en øvre grense for bygningens varmetap. Innenfor kravet til varmetapstallet er det rom for omfordeling mellom varmetapspostene. Dette innebærer at varmetapsposter kan økes så lenge det økte varmetap kompenseres med reduksjon i én eller flere andre varmetapsposter. Varmetapstallet beregnes i henhold til NS 3031.

Forholdet mellom arealet for bygningens varmetapsflater og bygningens oppvarmede bruksareal påvirker varmetapstallet. Dette medfører at selv om varmegjennomgangskoeffisientene for de ulike varmetapsflatene ellers er like, vil ulike bygningsformer kunne resultere i svært ulike varmetapstall. Eksempelvis vil varmetapstallet for en to-etasjes enebolig og et tre-etasjes kontorbygg, tilsvarende bygningsmodellene benyttet i energirammeberegningene, bli henholdsvis 0,61 og 0,43 W/m²K. Det er da kun tatt hensyn til tap på grunn av varmetransmisjon. Dersom ventilasjon og infiltrasjon også var inkludert, ville differansen blitt ytterligere større.

Figur 4-1 viser varmetapstallet for de ulike bygningsmodellene benyttet som grunnlag for energirammeberegningene. Kun varmetransmisjon er inkludert. Som figuren viser varierer varmetapstallet mellom 0,43 og 0,68 W/m²K.

**Varmetapstall for alle bygningskategorier.
Kun varmetransmisjon inkludert**



Figur 4-1 Varmetapstallet for ulike bygningskategorier. Nivå for varmetransmisjon i henhold til TEK 2007, § 8-21 a) (Energiltak)

Store avvik mellom de ulike bygningskategoriene, slik vist her, innebærer at kun ett kravnivå for øvre varmetapstall vil medføre store ulikheter når det gjelder muligheten for å kunne oppfylle dette kravet for ulike typer bygg. Dersom for eksempel kravet til varmetapstall ble satt lik $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, som er omtrent varmetapstallet for kontorbygg, universitetsbygg, sykehus og forretningsbygg, måtte barnehager utføres med U-verdier lik $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ for alle varmetapsflatene, bortsett fra vinduer og dører som måtte ha U-verdi lik $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dersom det skal settes et øvre krav til varmetapstall, bør derfor dette gjøres for alle bygningskategoriene. For metoden Energiltak vil dette innebære en langt større oppsplitting av kravnivået enn i TEK2007.

Det vises til vedlegg A som beskriver hvilke omfordelingsmuligheter som finnes i TEK2007 når det gjelder U-verdier og arealer for vinduer, sett i forhold til bl.a virkningsgrad for varmegjenvinner. Vedlegget beskriver også hvordan bygningens form og størrelse påvirker varmetapstallet.

4.2 Gjennomsnittlig U-verdi for fasader

En annen måte å stille tilleggskrav på i TEK når det gjelder å sikre mer robuste fasader i forhold til oppvarmingsbehov, kan være å sette et minimumskrav (maksimumsverdi) til gjennomsnittlig U-verdi for fasader. I Tabell 4-1 er det gitt en oversikt over gjennomsnittlig U-verdi for fasader for ulike typer bygg (bygningmodellene benyttet i energirammenberegningene), basert på kravnivået i TEK 2007 § 8-21 a) (Energiltak). I samme tabell er det også vist hva tilsvarende gjennomsnittlig U-verdi blir når minstekravene gitt i TEK § 8-21 c) legges til grunn. Et samlet areal for vinduer og dører lik 20 % av oppvarmet bruksareal er lagt til grunn.

Tabell 4-1 Gjennomsnittlig U-verdi for fasader for ulike bygningskategorier

Bygningskategori	Snitt U-verdi fasade, kravnivå i § 8-21 a) W/m ² K	Snitt U-verdi fasade, kravnivå i § 8-21 c) W/m ² K
Småhus	0,35	0,45
Boligblokker	0,47	0,61
Kontorbygg, universitets- og høgskolebygg, sykehus, forretningsbygg	0,66	0,88
Skoler, sykehjem, hotell, kulturbygg	0,66	0,87
Idrettsbygg	0,51	0,67
Lett industri/verksteder	0,66	0,87
Barnehager	0,44	0,57

Fra Tabell 4-1 fremkommer det at gjennomsnittlig U-verdi basert på kravnivået i metoden Energiltak varierer mellom 0,35 og 0,66 W/m²K. Når minstekravene legges til grunn, varierer gjennomsnittlig U-verdi mellom 0,45 og 0,87 W/m²K. På tilsvarende måte som for varmetapstall, vil et felles minstekrav til U-verdi for fasader for alle typer bygg gi svært ulike muligheter når det gjelder å kunne oppfylle dette kravet.

For å unngå problemet med at ett fastsatt kravnivå til gjennomsnittlig U-verdi for fasader slår ulikt ut for ulike bygningsformer, kan kravnivået enkelt beregnes for den konkrete bygningen:

$$U_{krav-snitt} = \frac{(U_{krav-vindu} \cdot A_{vindu-20\%BRA}) + (U_{krav-vegg} \cdot A_{vegg-netto})}{A_{vegg-brutto}}$$

hvor

$U_{krav-snitt}$ er minstekravet til gjennomsnittlig U-verdi for fasadene, beregnet for den konkrete bygningen

$U_{krav-vindu}$ er det kravnivået som legges til grunn for vinduers og dørers U-verdi

$A_{vindu-20\%BRA}$ er samlet areal for vinduer og dører, lik 20 % av BRA

$A_{vegg-netto}$ er totalt ytterveggsareal minus $A_{vindu-20\%BRA}$

$A_{vegg-brutto}$ er totalt ytterveggsareal, inkludert vinduer og dører

U-verdiene kan eksempelvis settes i henhold til minstekravene i TEK §8-21 c) ¹¹. For bygningsmodellene kontorbygg (og universitets- og høgskolebygg, sykehus, forretningsbygg), småhus og boligblokker vil da kravnivået bli som vist i andre kollonne i Tabell 4-2. For andre bygningsformer vil kravnivået bli annerledes. Mulighetene for økt bruk av vinduer og glassfelt *utover 20 % av oppvarmet bruksareal* kan oppnås med lavere U-verdier i fasadene enn gitt av kravnivået i TEK §8-21 c). I samme tabell er det vist hvilke arealer for vinduer og glassfelt (inkl. dører) som kan oppnås for bygningsmodellene dersom det for det faktiske bygget benyttes U-verdi for yttervegger lik 0,18 W/m²K, og for vinduer, glassfelt og dører enten 1,2 W/m²K, 1,0 W/m²K eller 0,8 W/m²K. Fra tabellen

fremgår det at alle fasader i kontorbygg kan utføres i vinduer og glassfelt dersom det benyttes gjennomsnittlig U-verdi lik $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ for disse flatene. For at *hele* bygget skal være tilfredsstillt i henhold til kravnivået i TEK §8-21 a) (Energiltak), må det imidlertid gjennomføres tiltak som kompenserer for differansen mellom minstekravet til gjennomsnittlig U-verdi for fasadene og kravnivået gitt i §8-21 a). Dette lar seg relativt enkelt gjøre ved å velge bedre varmegjenvinner enn kravnivået i TEK §8-21 a), enten kravnivået i TEK2007 opprettholdes eller skjerpes slik beskrevet i Kapittel 3, og/eller benytte behovsstyrt ventilasjon (VAV)¹².

Tabell 4-2 Muligheter for bruk av vinduer og dører ved minstekrav (maksimalverdi) til gjennomsnittlig U-verdi for fasader for noen bygningsmodeller. Minstekravet er basert på TEK §8-21 c)

Bygningskategori	Minstekrav til gjennomsnittlig U-verdi for fasader (maksimumsverdi)	Samlet areal for vinduer og dører ved snitt U-verdi for vinduer og dører $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	Samlet areal for vinduer og dører ved snitt U-verdi for vinduer og dører $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Samlet areal for vinduer og dører ved snitt U-verdi for vinduer og dører $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Kontorbygg	$0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$	29 % av BRA	36 % av BRA	42 % av BRA*
Småhus	$0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$	32 % av BRA	40 % av BRA	53 % av BRA
Boligblokk	$0,61 \text{ W/m}^2\text{K}$	30 % av BRA	37 % av BRA	49 % av BRA

* 100 % av fasadearealet, oppnås med svært god margin

Dersom minstekravet for gjennomsnittlig U-verdi for fasader i kontorbygg i stedet baseres på kravnivået i TEK §8-21 a) (Energiltak)¹³, vil arealet for vinduer og dører i forhold til BRA kunne bli som vist i Tabell 4-2.

Tabell 4-3 Muligheter for bruk av vinduer og dører ved minstekrav (maksimalverdi) til gjennomsnittlig U-verdi for fasader for noen bygningsmodeller. Basert på TEK §8-21 a) (Energiltak)

Bygningskategori	Minstekrav til gjennomsnittlig U-verdi for fasader (maksimumsverdi)	Samlet areal for vinduer og dører ved snitt U-verdi for vinduer og dører $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Samlet areal for vinduer og dører ved snitt U-verdi for vinduer og dører $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Kontorbygg	$0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$	25 % av BRA	33 % av BRA
Småhus	$0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$	25 % av BRA	33 % av BRA
Boligblokk	$0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$	25 % av BRA	33 % av BRA

¹¹ U-verdi for yttervegger: $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, for vinduer og dører: $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

¹² Med skjerpet krav til virkningsgrad for varmegjenvinnere fra 70 % til 80 %, blir mulighetene for å velge høyere virkningsgrad mer begrenset

¹³ U-verdi for yttervegger: $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, for vinduer og dører: $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fra Tabell 4-3 fremkommer det at arealet for vinduer og dører i forhold til BRA kan utgjøre inntil 25 % og 33 % med gjennomsnittlig U-verdi for vinduer og dører på henholdsvis 1,0 og 0,8 W/m²K når kravnivået TEK §8-21 a) (Energitiltak) for yttervegger, vinduer og dører legges til grunn. Dette gjelder både boliger og kontorbygg

Hvilket nivå et eventuelt minstekrav til gjennomsnittlig U-verdi til fasader bør legges på er avhengig av hvor stor begrensning regelverket skal stille i forhold til mulig maksimalt areal for vinduer, glassfelt (og dører). En slik begrensning har naturligvis en vesentlig betydning for arkitekturen. Hvor ”strengt” dette kravet eksakt bør være diskuteres ikke her, bortsett fra at det påpekes at det kan være hensiktsmessig å basere minstekravet på et nivå nærmere TEK §8-21 a) (Energitiltak) enn TEK §8-21 c) (Minstekrav).

En gjennomsnittlig U-verdi lik 1,0 W/m²K eller lavere for vinduer og glassfelt vil i hovedsak oppnås når det benyttes trelagsruter med argonfylling og to lavemitterende belegg. Forutsatt ”normale” romhøyder vil bruk av slike ruter nærmest eliminere kaldras fra glassflatene. I tillegg vil varmestrålingen fra kroppsoverflaten mot vindusfaltene vil bli mindre. Problemet med øking av romtemperaturen pga kaldras og varmestråling, og dermed også høyere enerbruk, vil derfor ikke lenger være særlig til stede. Store vindus- og glassflater, som vil være mulig med minstekrav til gjennomsnittlig U-verdi for fasader når det benyttes så gode glassruter, vil imidlertid kunne bidra til overoppvarming når det er mye sol. Tilleggskrav til fasadene som begrenser overoppvarming vil derfor fortsatt være nødvendig.

4.3 Maksimal solbelastning

For å sette krav til maksimal solbelastning i et bygg er det sett på fire ulike muligheter:

1. *Systemsolfaktoren*¹⁴ (g_t) multiplisert med vindusprosent (γ_{sol})

Dette er relativt enkelt å beregne, og disse størrelsene er også definert og brukt i NS 3031. Ulempen er at vindusprosenten ikke sier noe om det er et solbelastet vindus-/glassareal. Metoden tar heller ikke hensyn til hvor stor andel av vindusflatene som er glassareal (transparent areal). Av disse grunnene er denne metoden forkastet.

2. *Soltilskudd per kvadratmeter over året* (kWh/m²år)

Ved å simulere årlig soltilskudd til bygget per kvadratmeter gulvflate (BRA) vil en få et estimat på hvor solbelastet et bygg er. Problemet er at dette fordrer en energisimulering (timesberegning) eller energiberegning (månedstasjonær). Et annet problem er at denne metoden ikke angir om soltilskuddet er ønskelig for å redusere varmebehovet, eller uønsket fordi det fører til overoppvarming og kjølebehov. På bakgrunn av dette forkastes også denne metoden.

¹⁴Systemsolfaktor benyttes her som et samlebegrep for den totale solfaktoren for kombinasjonen av glassfelt og kunstig solskjerming, definert i NS 3031. Systemsolfaktoren angir andelen av solstrålingen som slipper gjennom både solskjerming og glasset når solskjerming er i bruk. Systemsolfaktoren bestemmes enten ved målinger, eller ved avanserte simuleringer der data for både solskjermingen og glasset er påkrevd. I NS 3031 gis verdier for ulike kombinasjoner av glass og solskjerming.

3. Maksimalt soltilskudd per kvadratmeter (W/m^2)

Maksimalt soltilskudd i Watt per kvadratmeter beregnet for et visst areal eller en viss dybde innefor fasaden ville gitt et bra estimat på solbelastningen. Siden det ikke er gitt når dette oppstår på året (normalt i perioden april til september), fordrer det i utgangspunktet en dynamisk simulering. Å sette et krav her ville derfor indirekte sette krav til at alle måtte gjøre dynamiske simuleringer for å tilfredsstille forskriftens krav. Dette er trolig pr. i dag for kompliserende, og det er trolig også for få som har kompetanse til å utføre slike simuleringer. Av den grunne forkastes også denne metoden.

4. Systemsolfaktor multiplisert med glassareal/solbelastet gulvareal

En mer sofistikert og et godt alternativ til metode 1 er å definere et solbelastet gulvareal, for eksempel 4 meter innenfor fasader som har betydelig solbelastning. Hvis man i tillegg definerer glassareal for solbelastede fasader, dvs vinduer og dører fratrukker karmareal, og dividerer på det solbelastede gulvarealet, kan dette defineres som en størrelse φ (analogt med γ_{sol}). Systemsolfaktoren, g_t , multiplisert med φ , vil da gi et rimelig godt estimat på solbelastningen. Metoden er også såpass enkel at den kan utføres med håndregning, dvs. uten krav til energisimuleringer eller andre mer tidkrevende beregninger. Ulempen er at den introduserer en ny størrelse, φ , som ikke er definert eller brukt i TEK eller NS 3031. Metoden er utredet i det etterfølgende.

For å vurdere termisk komfort er det valgt å *ikke* bruke simulering over året for å beregne antall timer hvor operativ temperatur overstiger 26 °C, jfr. krav til termisk komfort i TEK. Grunnen til dette er at denne metoden er relativt følsom for styringsparametere for solskjerming. Den gir heller ingen pekepinn på *når* overtemperaturen oppstår, i eller utenfor arbeidstid eller normal driftstid.

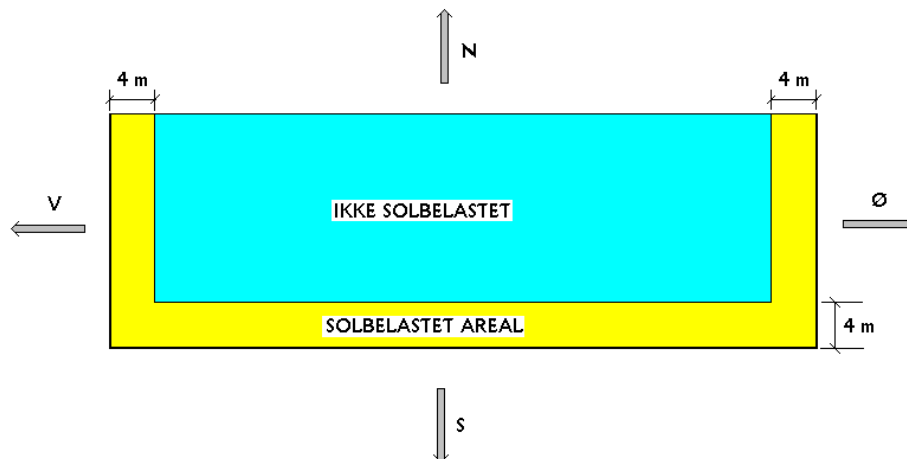
For å vurdere termisk komfort er det brukt klimadata for en dimensjonerende dag, der maksimal utetemperatur ikke overskrides mer enn 50 timer i et normalår (n50 verdien). Data for dette er tatt fra klimadatabasen M21 (www.m21.no). Temperaturamplituden over døgnet er også tatt fra M21. For Oslo-klima, som er brukt i simuleringene, er n50 lik 26,7 °C, og minimumstemperaturen det dimensjonerende døgnet er 16,3 °C (5,2 K amplitude). Dette dimensjonerende døgnet simuleres 5 døgn (typisk varmebølge) på vanlige driftsdager (ukedager).

4.3.1 Definisjon av glassareal/solbelastet gulvareal: φ

Figur 4-2 viser forslag til definisjon av solbelastet gulvareal (A_{sol}). Det er i utgangspunktet valgt å definere dette arealet til 4 meter innenfor fasaden på solutsatte fasader. Dette er vanlig forekommende dybde på kontorceller. Avsnitt 4.3.6 viser effekten av å bruke et dypere solbelastet gulvareal. Glassarealet til de solbelastede vindus-/dør-/glassfeltene defineres som A_{gl-sol} , dvs arealet for karmen, rammer er trukket fra. Definisjonen på størrelsen φ blir da:

$$\varphi = \frac{A_{gl-sol}}{A_{sol}}$$

Gitt modellen for kontorbygg benyttet i energirammeberegningene, med en grunnflate på 60 x 20 m, 20 % vindusareal i forhold til BRA og med 20 % karmareal, samt forutsatt at vinduene er jevnt fordelt på alle fasader¹⁵, vil ϕ bli 0,30.



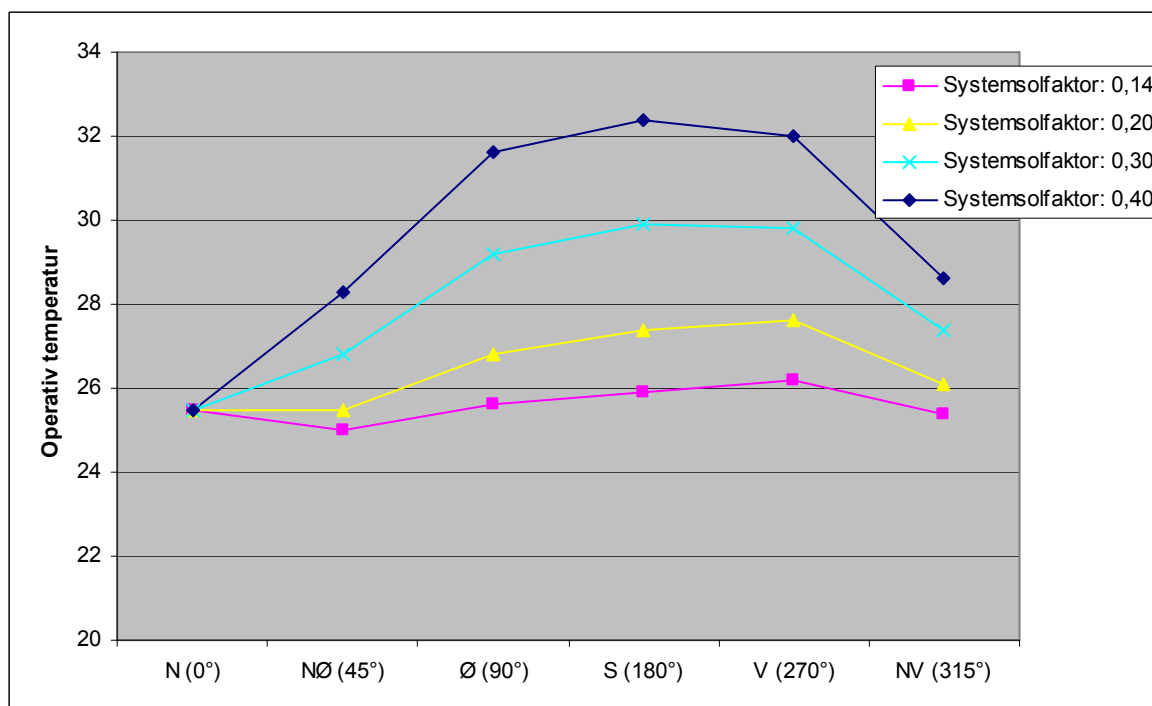
Figur 4-2 Solbelastet gulvareal (gult areal), definert som 4 meter innenfor fasaden.

Rene nordvendte fasader vil ikke ha særlig solbelastning, men spørsmålet er hvor mye vest eller øst en fasade kan vende før den blir betydelig solbelastet. Figur 4-3 viser simuleringer av maksimal operativ temperatur i et enkelt kontorrom på 10 m², som funksjon av systemsolfaktoren til glasset og solskjermingen. Luftmengder, internlast, driftstider etc. er som for energirammemodellen for kontorbygg. Det er brukt et samlet areal for dører og vinduer på 20 % av BRA, og med en jevn⁵ fordeling av vinduer på alle fasader (tilsvarende et vindusareal på 3,6 m² for kontorrommet).

Grovt sett ser vi at operativ temperatur øker betydelig når fasaderetningen er mer enn 45 grader fra nord, dvs. mellom nord-øst og nord-vest. Selv om fasader fra nord-vest til nord-øst også kan ha betydelig innstråling, vil disse fasadene på grunn av meget lav solhøyde svært ofte være avskjermet av bygninger, trær, horisont eller lignende. På bakgrunn av dette foreslås solbelastede fasader å være fasader orientert mellom nord-øst (45°) og nord-vest (315°)¹⁶.

¹⁵ I modellen som ligger til grunn for energirammene er ikke vinduene fordelt likt på alle fasader, det er mer vinduer på øst- og vestfasadene enn på syd- og nord fasadene. Dette gjør relativt lite utslag for energirammen for kontorbygg, men gir mer utslag på beregningen av ϕ (blir 0,365 for energirammemodellen for kontorbygg).

¹⁶ En forenkling av metoden angitt her ville vært å se bort fra orientering av fasaden, og sagt at solbelastet areal gjelder for alle fasadeorienteringer. Det som taler mot dette er at det da i mange tilfeller indirekte ville bli "krav" til utvendig solskjerming også på "rene" nordfasader. Dette strider ofte mot innarbeidet praksis, og er også i de fleste tilfeller unødvendig.



Figur 4-3 Simulert maksimal operativ temperatur for et kontorrom på 10 m² (4 x 2,5 m).

4.3.2 Variasjon av systemsofaktoren

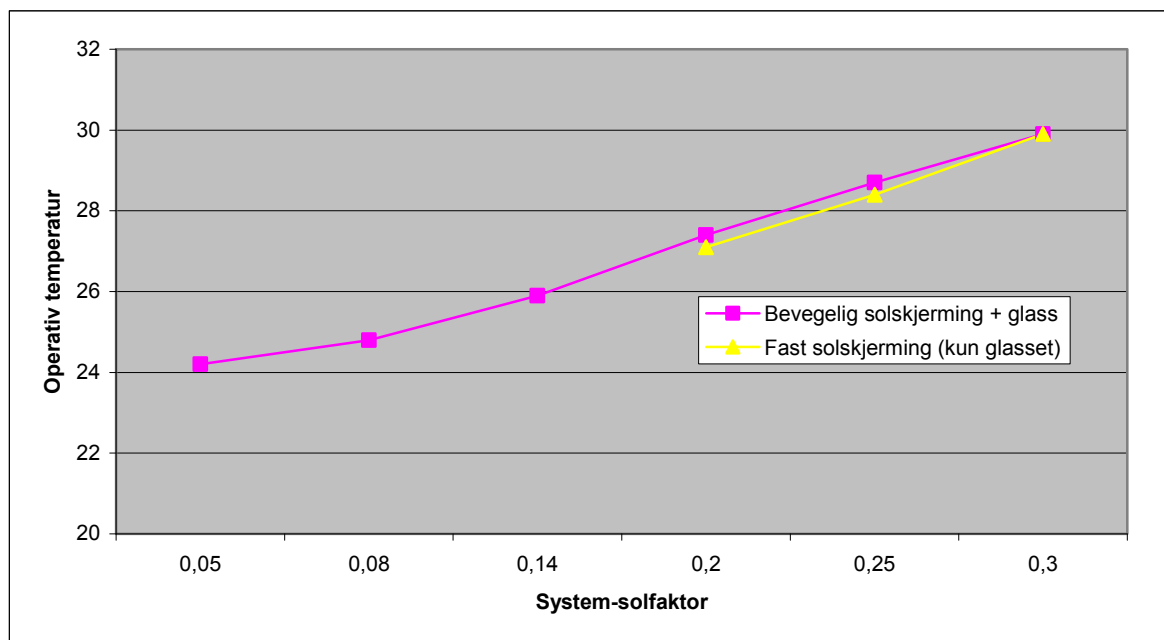
Figur 4-4 viser operativ temperatur i kontorrommet definert i forrige avsnitt, som funksjon av systemsofaktoren, g_t ¹⁷. Det er her regnet på et sydvendt kontor, med 20 % vindus- og dørareal, dvs. $\gamma_{sol} = 0.2$. Dette tilsvarer en ϕ -verdi på 0,30. Figuren viser både kombinasjon bevegelig solskjerming og glass, og kun fast solskjerming i form av for eksempel solreflekterende glass. Det er pr. i dag ikke tilgjengelig glass med lavere solfaktor¹⁸ enn ca. 0,2 når lysinnslippet skal være akseptabelt¹⁹. Det er derfor ikke vist lavere solfaktorer enn dette for fast solskjerming. Vi ser at grensetemperaturen for termisk komfort på 26 grader overskrides når systemsofaktoren er høyere enn ca. 0,14.

Som for energirammemodellen for kontorbygg blir dette kontorrommet tilført en luftmengde lik 10 m³/hm², og med en innblåsningstemperatur på 16 grader. Dette tilsvarer en installert effekt på 60 W/m². Det er selvsagt mulig å oppnå krav til termisk komfort hvis lokal kjøling installeres, men dette "strider" da mot energitiltaksmodellen.

¹⁷ Følgende systemsofaktorer er lagt til grunn i Figur 4-4: 0,05 er State-of-The-Art for solskjerming, 0,08 er verdien som ligger til grunn for energirammene for de fleste byggkategorier, 0,14 er "grense-faktoren", som er nødvendig for å greie komfortkrav for energirammemodellen for kontorbygg (beregnet for sydvendt kontorcelle), 0,20, 0,25 og 0,30 refererer ikke til noen bestemte løsninger

¹⁸ Solfaktoren angir hvor stor andel av solstrålingen mot vinduet som slipper inn til rommet, uavhengig av kunstig solskjerming.

¹⁹ En nedre grense på 50 % lysinnslipp er et vanlig krav som settes.



Figur 4-4 Maksimal operativ temperatur i et sydvendt kontor på 10 m². Resultat for både bevegelig solskjerming og glass, og fast solavskjerming med bare glass (solreflekterende eller solabsorberende glass).

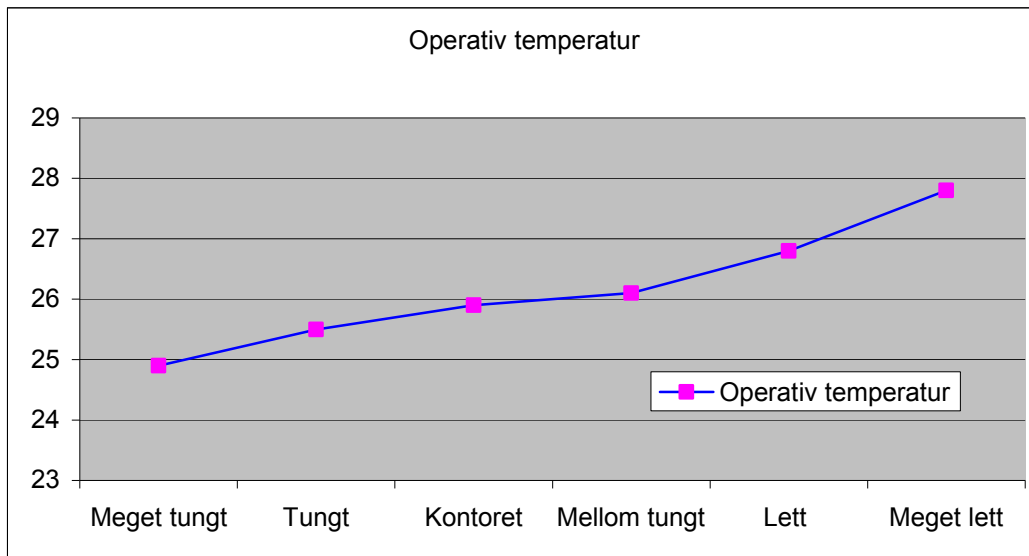
4.3.3 Varmekapasitetens betydning

Det er et kjent fenomen at ”tyngden på et rom”, dvs. den termiske massen i innvendige overflater, kan lagre overskuddsvarme om dagen og avgi varmen igjen om natten (eventuelt luftes ut). Tunge rom har derfor jevnere temperaturforløp og lavere maksimal temperatur enn lette rom. Kontorrommet, basert på energirammemodellen for kontorbygg, kan karakteriseres som litt tyngre enn mellomtungt i henhold til tabell B.4 i NS 3031, se Tabell 4-4 nedenfor.

Tabell 4-4 Normalisert varmekapasitet, basert på tabell B.4 i NS 3031.

Graden av termisk masse	Normalisert varmekapasitet
Meget tungt	164 Wh/m ² K
Tungt	112 Wh/m ² K
Kontorrommet (basert på energirammemodell)	80 Wh/m ² K
Mellom tungt	65 Wh/m ² K
Lett	34 Wh/m ² K
Meget lett	17 Wh/m ² K

Figur 4-5 viser maksimal operativ temperatur i kontorrommet som funksjon av tyngden på rommet. Rommet er sydvendt og har en systemsolfaktor for solskjerming og glass på 0,14, som er nødvendig for å nå kravet til termisk komfort med den gitte normaliserte varmekapasiteten i energirammemodellen. Ikke overraskende blir operativ temperatur over kravet for lett og meget lett utførelse av kontoret.

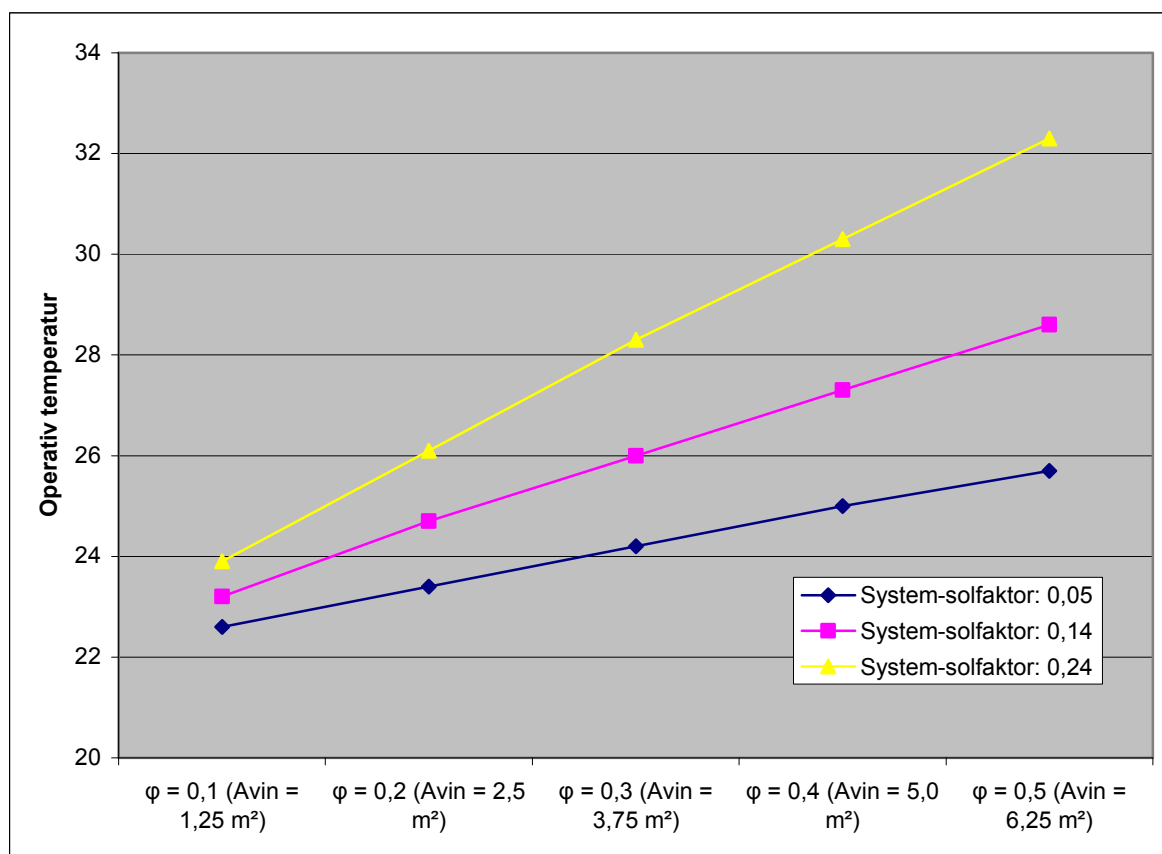


Figur 4-5 Maksimal operativ temperatur i sydvendt kontorrom på 10 m², som funksjon av normalisert varmekapasitet. Med systemsolfaktor på 0,14.

4.3.4 Variasjon av glassarealet

Figur 4-6 viser maksimal operativ temperatur i det sydvendte kontorrommet som funksjon av vindus/glassarealet. Med meget god utvendig solskjerming, dvs. $g_t=0,05$, ser vi at det er mulig å oppnå over 90 % av netto fasade²⁰ (fasadearealet trukket fra tykkelsen på etasjeskillere) som vinduer uten at kravet til termisk komfort overskrides (26 grader). Dette tilsvarer en ϕ -verdi på 0,5 og samlet vindus- og dørareal i forhold til oppvarmet bruksareal på 33,3 %, se Tabell 4-5. Det betyr at det er mulig å oppnå akseptabel termisk sommerkomfort med mye glass, bare man har effektiv utvendig solskjerming.

²⁰ Netto fasadeareal er det totale fasadearealet (brutto fasadeareal) trukket fra tykkelsen på etasjeskillere. I energirammemodellen for kontorbygg er brutto takhøyde lik 3,1 m, mens netto takhøyde er 2,7 m.



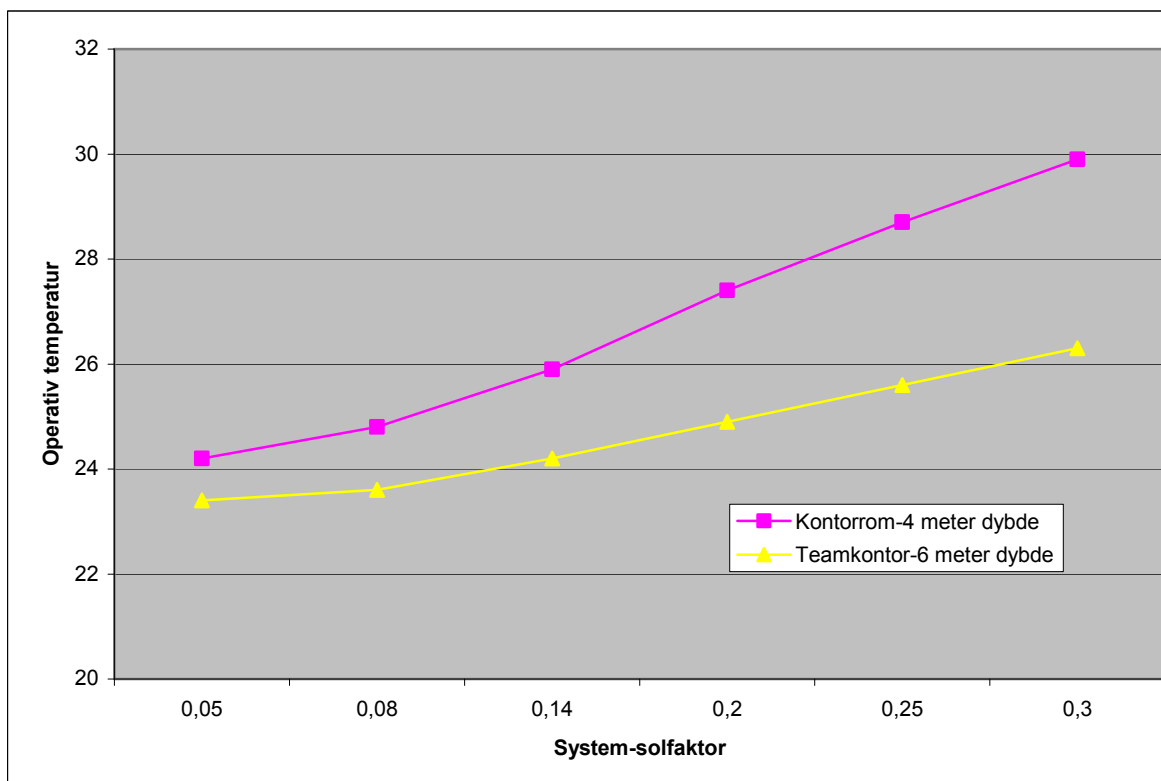
Figur 4-6 Maksimal operativ temperatur i et sydvendt kontorrom på 10 m², som funksjon av vindus/ glass-arealeet.

Tabell 4-5 Sammenheng mellom ulike vindus- og glassarealberegninger, hvor det er tatt utgangspunkt i energirammemodellen for kontorbygg.

φ (glassareal/solbelastet gulvareal)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Vindusareal kontorrom	1,25 m ²	2,5 m ²	3,75 m ²	5 m ²	6,25 m ²
γ_{sol} (areal vinduer og dører/bruksareal)	6,7 %	13,3 %	20,0 %	26,7 %	33,3 %
Andel vindusareal av brutto fasadeareal	16 %	32 %	49 %	65 %	81 %
Andel vindusareal av netto fasadeareal	19 %	37 %	56 %	74 %	93 %

4.3.5 Større dybde for solbelastet gulvareal

I det foregående er det tatt utgangspunkt i en dybde på 4 meter for den solbelastede sonen, tilsvarende en kontorcelle på BxD = 2,5 x 4 m. I Figur 4-7 er det vist en sammenligning med et typisk teamkontor med dybde 6 meter og lengde langs sydfasaden på 10 m. Ikke uventet vil operativ temperatur være lavere i et dypere teamkontor enn i et grunnere kontorrom siden soltilskuddet vil bli delt på flere kvadratmeter (luftmengder og internlaster er de samme). Kontorcelle-scenariet med en dybde på 4 meter kan derfor sies å være dimensjonerende når det gjelder solbelastning og termisk komfort om sommeren.



Figur 4-7 Maksimal operativ temperatur i et sydvendt kontorrom på 10 m² sammenlignet med et sydvendt teamkontor på 60 m².

4.3.6 Andre bygningstyper

I Tabell 4-6 er det vist beregnet ϕ -verdi og produktet av ϕ -verdi og systemsolfaktor for alle bygningstyper definert i TEK2007. Bygningsmodellene som ligger til grunn for energirammene er benyttet. Som vi ser av tabellen varierer produktet av ϕ og solfaktoren mellom 0,029 og 0,07. Høyeste verdi har barnehage, siden denne ligger inne med kun innvendig solskjerming og derfor en høy systemsolfaktor.

Tabell 4-6 Beregnet produkt av ϕ og systemsolfaktoren for ulike byggekategorier, basert på energirammemodellene.

Byggekategori	ϕ	g_t	$\phi \times g_t$
Småhus	0,12	0,35	0,043
Boligblokk	0,14	0,35	0,050
Barnehage	0,20	0,35	0,070
Kontorbygg	0,37	0,08	0,029
Skolebygg	0,37	0,08	0,029
Universitet	0,37	0,08	0,029
Sykehus	0,37	0,08	0,029
Sykehjem	0,37	0,08	0,029
Hoteller	0,37	0,08	0,029
Idrettsbygg	0,59	0,08	0,047
Kulturbygg	0,37	0,08	0,029
Industri og verksteder	0,37	0,08	0,029

4.3.7 Forslag til krav for å unngå uønsket solbelastning

I avsnitt 4.3.2 så vi at med en ϕ -verdi på 0,3, som tilsvarer 20 % vindusareal i forhold til oppvarmet bruksarealet, må vi ha en systemsolfaktor på 0,14 eller bedre for å unngå at temperaturen overskrider 26 grader. Produktet av ϕ og g_t blir i dette tilfellet: $\phi \times g_t = 0,042$.

I avsnitt 4.3.4 så vi at vi med meget god utvendig solskjerming, dvs. $g_t = 0,05$, kan oppnå en ϕ -verdi på opp til 0,5 uten at operativ temperatur overskrider 26 grader. Produktet av ϕ og g_t blir i dette tilfellet:

$$\phi \times g_t = 0,025.$$

I avsnitt 4.3.6 er produktet av ϕ og systemsolfaktoren vist for alle byggkategorier. De fleste byggkategorier ligger der under en faktor på 0,03. Unntakene er boliger, barnehager og idrettsbygg. For barnehager er det lett å komme under 0,03 hvis man bruker utvendig solskjerming på solutsatte vinduer. For idrettsbygg er det også mulig å komme under 0,03, hvis man bruker den beste utvendige solskjermingen, dvs. $g_t = 0,05$. For boligblokker vil man normalt klare kravet på 0,03 med en solskjerming som har $g_t = 0,2$ eller bedre, for eksempel vil en koblet 3-lags rute med integrerte persienner tilfredsstille dette.

For småhus er det et spørsmål om man skal sette et krav for å begrense solbelastningen, siden bruken av slike bygg er til dels forskjellig fra andre byggkategorier. Småhus er lavere bygg, som ofte har mye skjerming fra vegetasjon, bygningsutspring osv. Det er også ofte god mulighet til å ”åpne opp” bygget og lufte ut overskuddsvarme. For boligblokker er man ofte mer låst i bruken, og mulighetene for utlufting av overskuddsvarme er ofte mindre, dette gjelder særlig for leiligheter med kun én fasade. Krav til begrenning av solbelastning for boligblokker på lik linje med andre byggkategorier bør derfor vurderes.

På bakgrunn av dette foreslås det at produktet av glassareal/solbelastet gulvareal og systemsolfaktoren begrenses av: $\phi \times g_t \leq 0,03$. Det foreslås at bygningskategorien småhus unntas fra dette kravet.

4.4 Konklusjon fasader

Ulike metoder for tilleggskrav til fasader er undersøkt. Formålet har vært å finne metoder, og kravnivå, for å motvirke den effekten fasader kan ha når det gjelder dårlig inneklimate. Mye kaldras og solinnstråling vil kunne bidra til høyere oppvarmingsbehov og kjølebehov enn hva energiberegningene viser. De mest hensiktsmessige metodene som er funnet i denne utredningen er:

Formål å begrense oppvarmingsbehovet

Det foreslås å sette minstekrav (maksimumsverdi) til gjennomsnittlig U-verdi for fasader, og at kravnivået beregnes for den aktuelle bygningen. Muligheten for å oppnå kravnivået for ulike bygningstyper og bygningsformer blir da lik. Hvilket nivå et eventuelt minstekrav til gjennomsnittlig U-verdi til fasader bør legges på er avhengig av hvor stor begrensning regelverket skal stille i forhold til mulig maksimalt areal for vinduer, glassfelt (og dører). En slik begrensning har naturligvis en vesentlig betydning for arkitekturen. Hvor ”strengt” dette kravet eksakt bør være diskuteres ikke her,

bortsett fra at det påpekes at det kan være hensiktsmessig å basere minstekravet på et nivå nærmere TEK §8-21 a) (Energiltak) enn TEK §8-21 c) (Minstekrav).

Formål å begrense kjølebehovet

Det foreslås minstekravkrav (maksimumsverdi) til produktet av glassareal/solbelastet gulvareal og systemsolfaktoren, og at kravnivået settes lik 0,03 for alle typer bygg, med unntak av småhus som ”fritas” for et slikt krav.

Begge metoder bør vurderes innført i TEK.

4.5 Kombinasjon tilleggskrav til fasader og skjerpet krav til varmegjenvinning

Analyser foretatt for kontorbygg viser at det på tross av en relativt betydelig skjerping av virkningsgraden for varmegjennvinnere, fortsatt vil være mulig å benytte store arealer med vinduer og glassfelt. Skjerping av kravet til virkningsgrad er derfor ikke tilstrekkelig alene når det gjelder å begrense fasadenes bidrag til kaldras og overoppvarming på grunn av solvarmetilskudd, og med dertil høyere energibehov til oppvarming og kjøling. Det er derfor hensiktsmessig å supplere med krav til mer robuste fasader, slik oppsummert i kapittel 4.4.

Vedlegg A. Varmetapstall og omfordelingsmuligheter

Definisjon ihht NS 3031:2007

Varmetransportkoeffisienten beregnes som:

$$H = H_D + H_U + H_g + H_v + H_{inf} \quad [W/K]$$

hvor

H_D er direkte varmetransmisjonstap til det fri, i W/K

H_U er varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner, i W/K

H_g er varmetap mot grunnen, i W/K

H_v er ventilasjonsvarmetap, i W/K

H_{inf} er infiltrasjonsvarmetap, i W/K

Varmetapstallet er gitt ved:

$$H'' = H / A_{\text{fl}} \quad [W/(m^2K)]$$

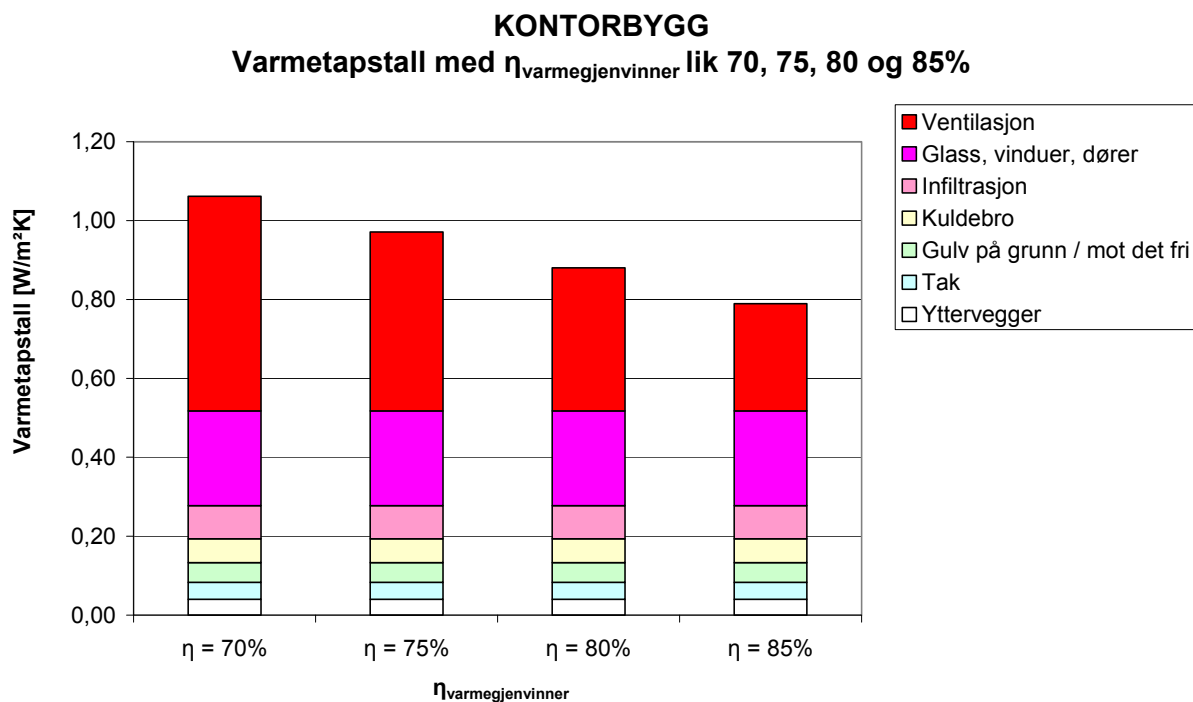
hvor

H er varmetransportkoeffisienten, i W/K

A_{fl} er oppvarmet del av BRA, i m²

Hvilke varmetapsposter veier mest?

Varmetapstall er beregnet for et kontorbygg (modellen fra TEK2007). Alle parametrene holdes konstant, bortsett fra varmegjenvinnerens virkningsgrad²¹. I Figur A-1 vises fordeling av varmetapstall der hvert av elementene i varmetapspostene er synlige: yttervegger, tak, gulv, vinduer/dører/glassflater, kuldebroer, infiltrasjon og ventilasjon.



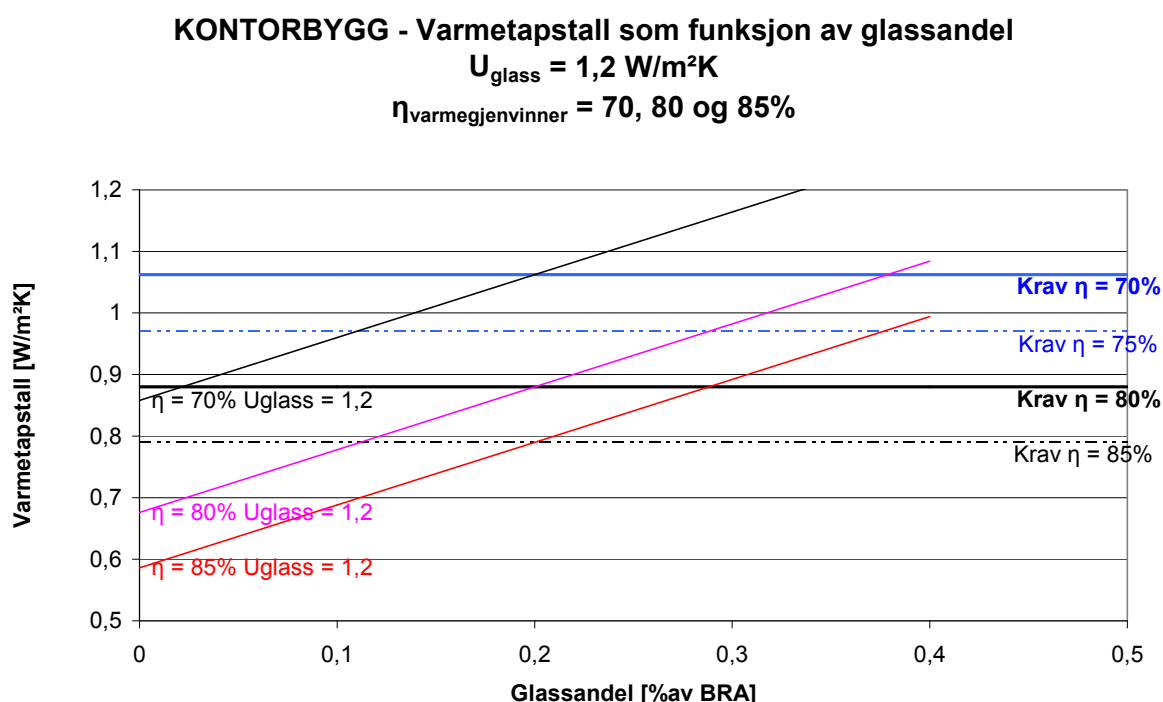
Figur A-1 Hvilke varmetapsposter i varmetapstallet veier mest?

Søylen helt til venstre tilsvarer kravnivået fra TEK2007. Yttervegger, tak, gulv, kuldebroer og infiltrasjon utgjør ca. 25 % av varmetapstallet. Glassflater, vinduer og dører utgjør også ca. 25 %, og ventilasjon står for halvparten av hele varmetapstallet. I kravnivået fra TEK2007 veier dermed ventilasjonsvarmetapet like mye som varmetapet fra hele bygningskroppen. Søylen helt til høyre viser fordelingen når $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 85\%$. Her utgjør ventilasjonsandelen ca. en tredjedel av hele varmetapstallet. I TEK2007 er det tillatt å fravike energiltak²² så lenge det kompenseres for dette gjennom andre varmetapsreducerende tiltak.

Kompensasjonsmuligheter knyttet til høyere virkningsgrad for varmegjenvinnere er store. Om vi holder oss til kravnivået fra TEK2007 og velger en virkningsgrad lik 85 % for kontorbygg, vil forskriften tillatte at varmetapet gjennom vinduer og glassflater kan dobles, eller at varmetapet grunnet infiltrasjon kan firedobles.

Muligheter for økning av vindusarealet ved omfordeling

I Figur A-2 vises varmetapstallet for kontorbygg som funksjon av $\eta_{\text{varmegjenvinner}}$ og vindus- og glassarealet i forhold til oppvarmet bruksareal. Andelen vinduer og glassfelt omtales her som "glassandelen", og inkluderer også mindre arealer for dører. En glassandel lik 42 % av oppvarmet bruksareal (BRA) tilsvarer 100 % glassfasader²³. For gjennomsnittlig U-verdi for vinduer og glass benyttes $U_{\text{glass}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kravnivået fra TEK2007 vises som et tykk blå linje.



Figur A-2 Mulig glassandel som funksjon av $\eta_{\text{varmegjenvinner}}$

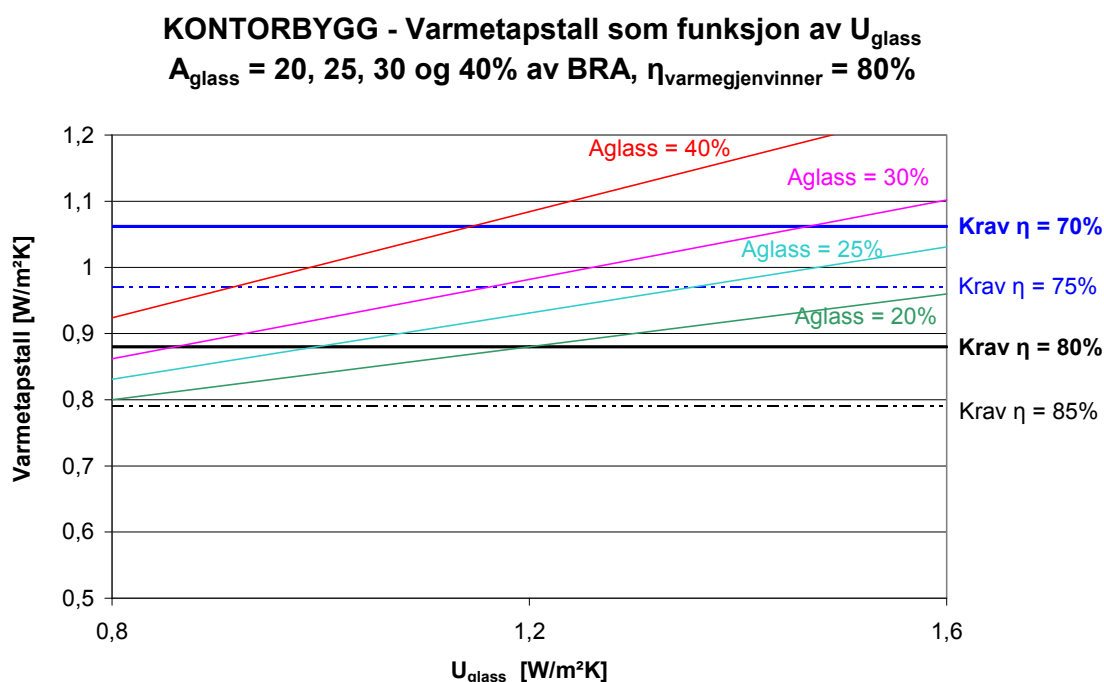
²¹ Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad, definert i NS 3031

²² Ved bruk av metoden Energiltak kan ett eller flere energiltak fravikes dersom det kan dokumenteres at bygningens samlede varmetap ikke øker. Som grunnlag for energirammene for metoden Samlet netto energibehov (eller "Energirammemetoden") er det forutsatt 70 % virkningsgrad for varmegjenvinner.

Med $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 80\%$ kan glassandelen økes fra 20 % (TEK2007) til ca. 38 % av BRA uten at kravnivået fra TEK2007 overskrides. Med $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 85\%$ kan glassandelen økes til ca. 42 % av BRA, dvs hele fasaden kan utføres i glass, uten at kravnivået fra TEK2007 overskrides.

Om kravnivået i TEK endres til "Krav $\eta = 80\%$ ", kan glassandelen ikke være høyere enn 2 % av BRA for å kunne benytte $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 70\%$. Men med $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 85\%$ kan glassandelen økes til ca. 28 % uten at "Krav $\eta = 80\%$ " overskrides.

I Figur A-3 vises varmetapstallet som funksjon av glassandelen og U_{glass} når $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 80\%$. Kravnivået fra TEK2007 vises som et tykk blå linje.



Figur A-3 Hva betyr økt $\eta_{\text{varmegjenvinner}}$ for U_{glass} ?

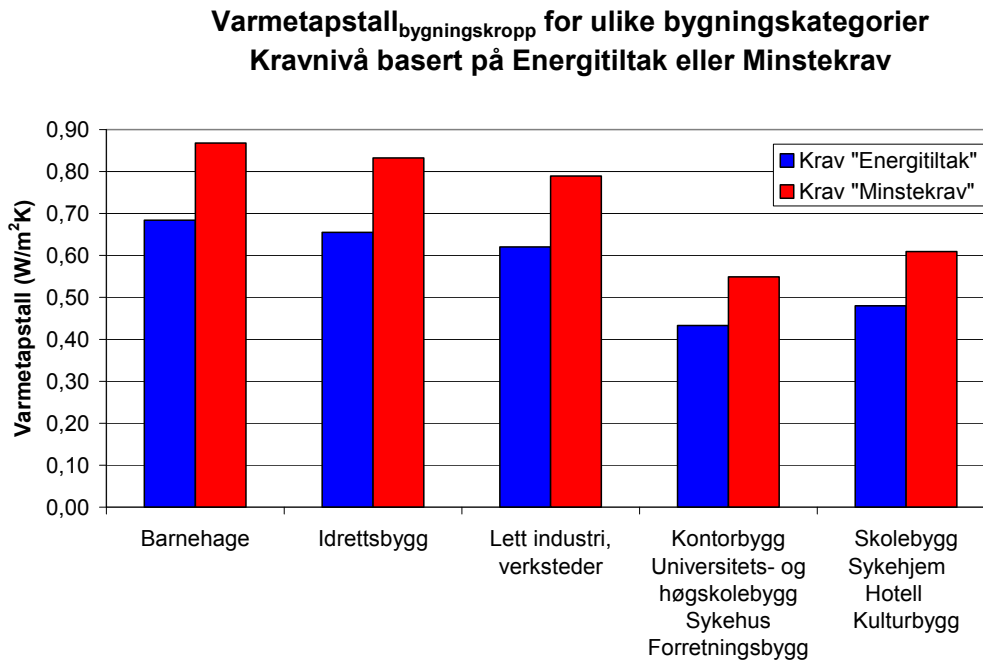
Med $\eta_{\text{varmegjenvinner}} = 80\%$ og en glassandel lik 25 % av BRA kan U_{glass} være 1,6 W/m²K uten at varmetapstallet iht. energitiltaksmodellen (TEK2007) overskrides. Og dersom glassandelen økes til 40 % av BRA, kan kravnivået i TEK2007 tilfredsstilles dersom U_{glass} er 1,15 W/m²K.

Varmetapstall_{bygningsskropp}

Figur A-1 viste at ventilasjon representerer den største varmetapsposten, og Figur A-2 og A-3 at omfordelingsmulighetene som ligger i bruk av høyere virkningsgrad for varmegjenvinner, dvs. over 70 %, er svært store. Dersom det søkes en begrensning i mulighetene for store vindus- og glassarealet bør et eventuelt krav til varmetapstall ikke inkludere ventilasjon. I det følgende benyttes varmetapstall (varmetapstall_{bygningsskropp}) som omfatter varmetap gjennom yttervegger, tak, gulv, vindus-, dør- og glassflater, samt kuldebroer. Infiltrasjon er dermed også holdt utenfor.

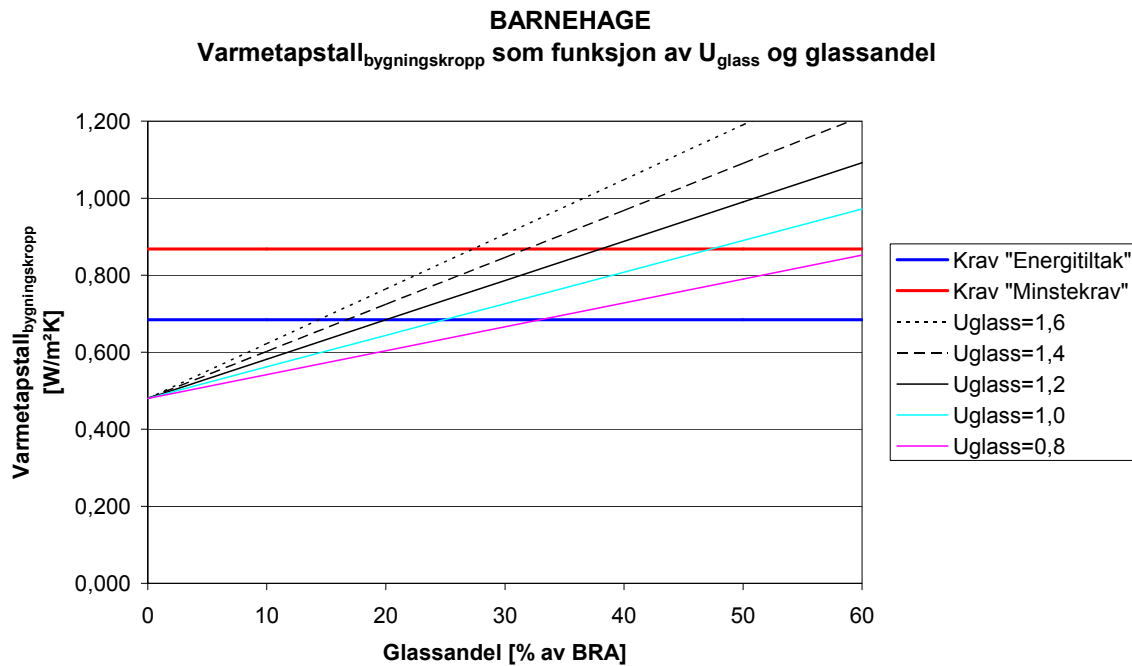
²³ Hele fasaden, inkludert utsiden av etasjeskillere

I Figur A-4 vises to varmetapstall_{bygningsskropp} for ulike bygningskategorier. Søylene i blått (venstre) er basert på kravene til energiltak i TEK § 8-21 a). Søylene i rødt (høyre) er beregnet etter minstekravene til varmeisolasjon, gitt i TEK § 8-21 c).



Figur A-4 Varmetapstall_{bygningsskropp} basert på kravnivået i TEK § 8-21 a) (Energiltak) og c) (Minstekrav)

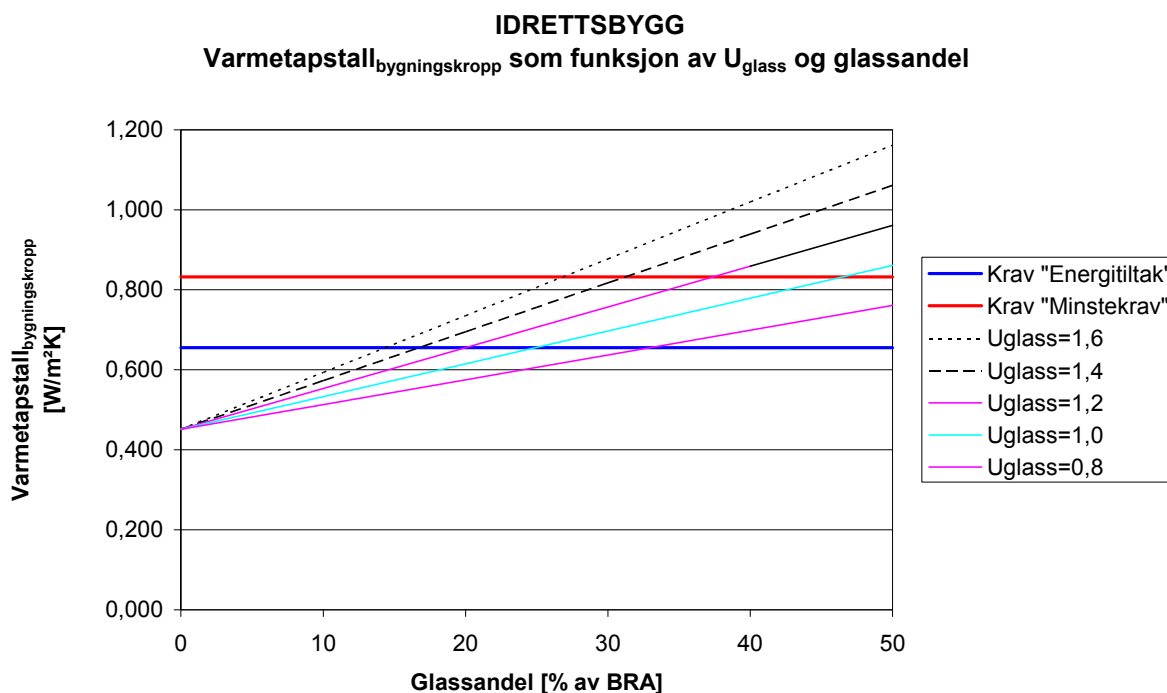
Varmetapstallene som fremkommer av Figur A-4 benyttes i de følgende figurene for å illustrere omfordelingsmuligheten basert på de to ulike kravnivåene i TEK.

Varmetapstall_{bygningsskropp} som funksjon av U-verdi og areal for vinduer og glassfelt


Figur A-5 Barnehage – Omfordelingsmuligheter ved to kravnivåer for varmetapstall_{bygningsskropp}

Med $U_{\text{glass}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan glassandelen øke til ca. 38 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan glassandelen økes til ca. 33 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter energitiltak i TEK2007 overskrides, og til 60 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 overskrides.

Om "Krav energitiltak" velges blir glassandel for barnehagebygg låst mellom 20 og 33 % av BRA, så lenge en bruker U-verdi for vinduer og glassflater i område 1,2 til 0,8 W/m²K.

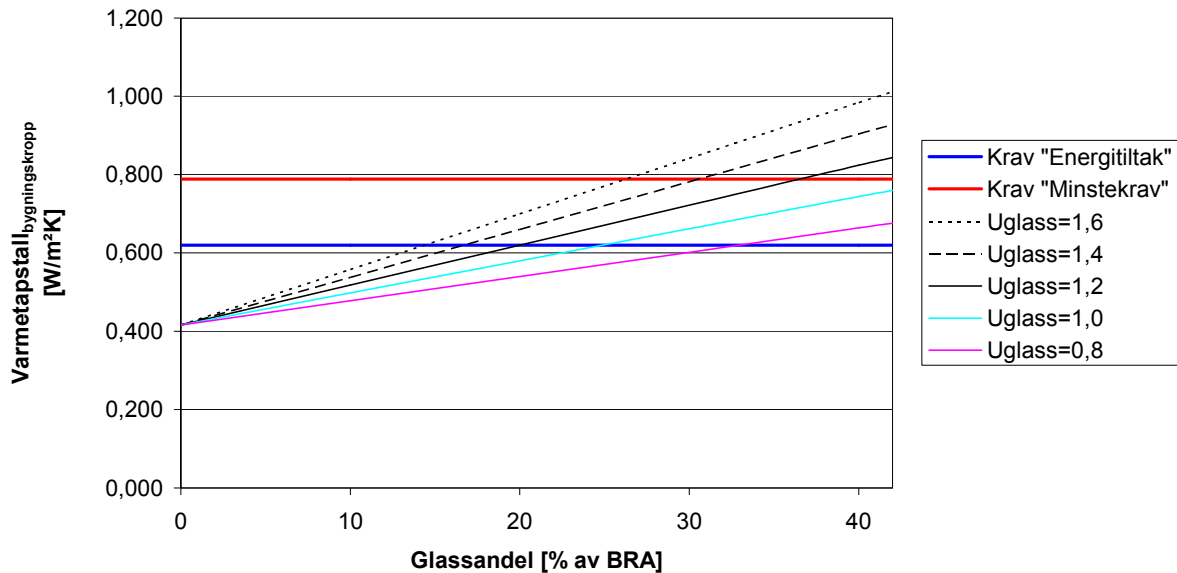


Figur A-6 Idrettsbygg – Omfordelingsmuligheter ved to kravnivåer for varmetapstall_{bygningsskropp}

Med $U_{\text{glass}} = 1,2$ W/m²K kan glassandelen øke til ca. 37 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}} = 0,8$ W/m²K kan glassandelen øke til ca. 33 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter energitiltak i TEK2007 overskrides, Med $U_{\text{glass}} = 0,8$ W/m²K og en glassandel lik 50 % av BRA, er fasader rene glassfasader. Allikevel er varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 fortsatt ikke nådd.

Om "Krav energitiltak" velges blir glassandelen for idrettsbygg låst mellom 20 og 33 % av BRA, så lenge en bruker U-verdi for glassflater i området 1,2 til 0,8 W/m²K.

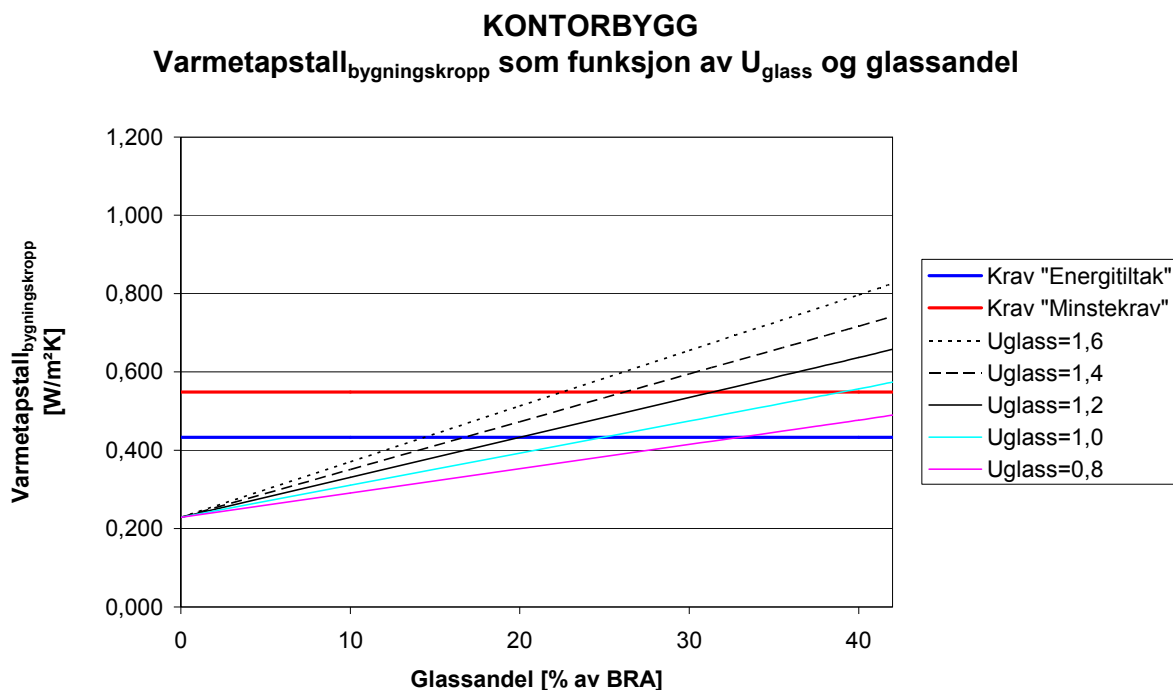
LETT INDUSTRI, VERKSTEDER
Varmetapstall_{bygningsskropp} som funksjon av U_{glass} og glassandel



Figur A-7 Lettindustri og verksteder – Omfordelingsmuligheter ved to kravnivåer for varmetapstall_{bygningsskropp}

Med $U_{\text{glass}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan glassandelen øke til ca. 37 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan glassandelen øke til ca. 33 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter energitiltak i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en glassandel lik 42% av BRA, er fasader rene glassfasader, uten at varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 nåes.

Om ”Krav energitiltak” velges blir glassandelen for lett industribygg låst mellom 20 og 33 % av BRA, så lenge en bruker U-verdi for glassflater i området 1,2 til 0,8 W/m²K.



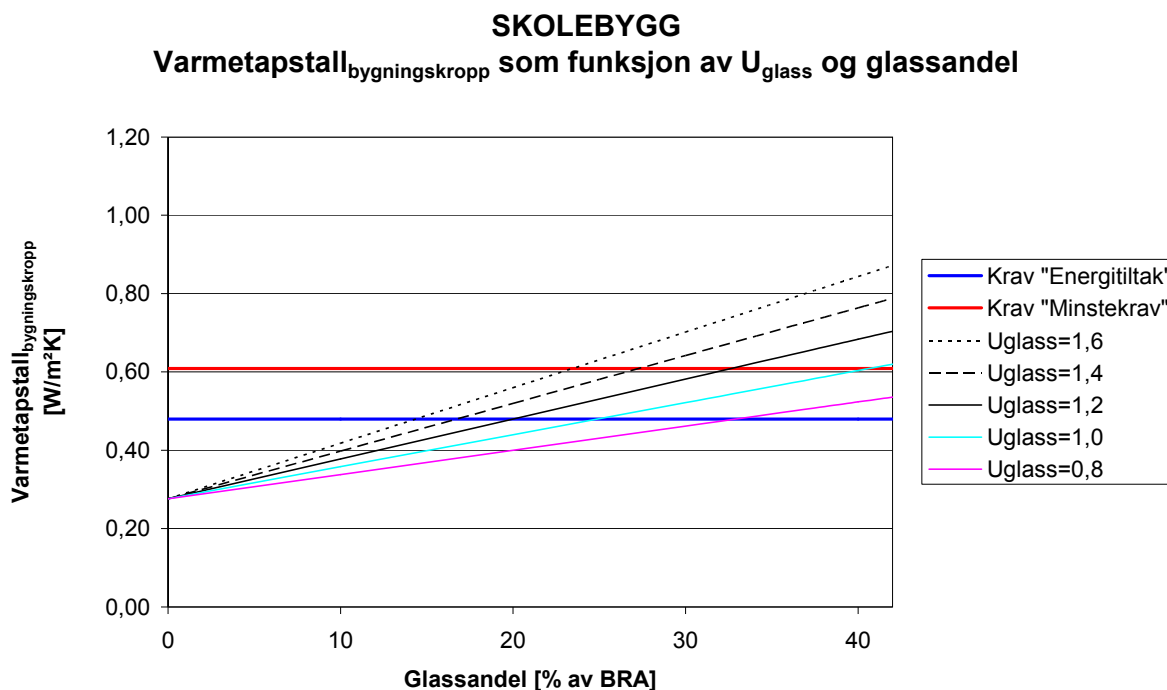
Figur A-8 Kontorbygg – Omfordelingsmuligheter ved to kravnivåer for varmetapstall_{bygningsskropp}

Figuren gjelder også for andre bygningskategorier med samme bygningskropp, dvs universitets- og høgskolebygg, sykehus samt forretningsbygg.

Med $U_{\text{glass}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan glassandelen øke til ca. 31 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekrav i TEK2007 overskrides. En glassandel lik 42 % av BRA tilsvarer 100 % glassfasade. Med $U_{\text{glass}} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan glassandelen øke til ca. 33 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter energiltak i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en glassandel lik 42 % av BRA, oppnås rene glassfasader uten at varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 nåes.

Dersom nivået for maksimalt varmetapstall legges på "Krav energiltak", kan glassandelen for kontorbygg utgjøre 20 og 33 % av BRA ved bruk av U-verdi for glassflater på henholdsvis 1,2 og 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$.

Dersom nivået for maksimalt varmetapstall legges på "Minstekrav", kan glassandelen for kontorbygg utgjøre 31 og 42 % av BRA (42 % av BRA tilsvarer hele fasadearealet) ved bruk av U-verdi for glassflater på henholdsvis 1,2 og 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$.



Figur A-9 Skolebygg – Omfordelingsmuligheter ved to kravnivåer for varmetapstall_{bygningsskropp}

Figuren gjelder også for andre bygningskategorier med samme bygningskropp, dvs skolebygg, sykehjem, hotell og kulturbygg.

Med $U_{\text{glass}}=1,2$ W/m²K kan glassandel øke til ca. 33 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekrav i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}}=0,8$ W/m²K kan glassandelen økes til ca. 33 % av BRA før varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter energiltak i TEK2007 overskrides. Med $U_{\text{glass}}=0,8$ W/m²K og en glassandel lik 42 % av BRA oppnås rene glassfasader uten at varmetapstall_{bygningsskropp} beregnet etter minstekravene i TEK2007 nås.

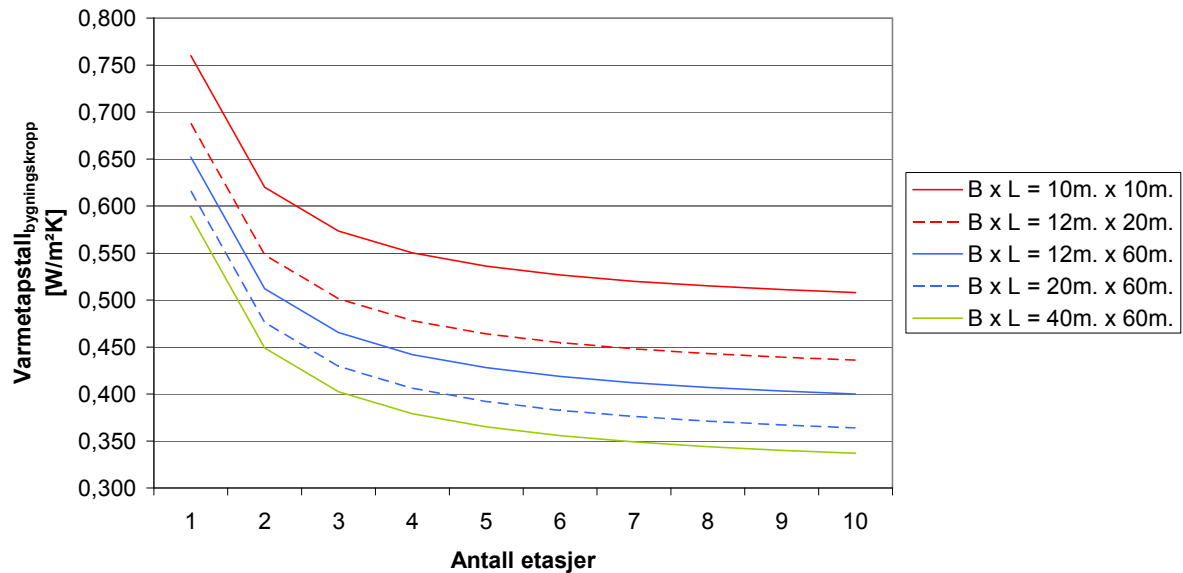
Om "Krav energiltak" velges blir glassandelen for skolebygg låst mellom 20 og 33 % av BRA, så lenge en bruker U-verdi for glassflater i området 1,2 til 0,8 W/m²K.

Figur A-5 til Figur A-9 viser også omfordelingsmuligheter ved å velge glassflater med U-verdi lik 1,4 og 1,6 W/m²K. Ved høyere U-verdi enn 1,2 W/m²K for glassflater, må glassandelen reduseres for å tilfredsstille krav til varmetapstall_{bygningsskropp}. Dette forutsetter at det ikke kompenseres med bedre (lavere) varmegjennomgangskoeffisienter for de øvrige bygningsdelene.

Varmetapstall og bygningsform

Bygninger utføres med ulik form og ulikt antall etasjer. Det ses her på hvordan bygningsform, inkludert variasjon av etasjetall, påvirker varmetapstallet for bygningskroppen. Figur A-10 illustrerer varmetapstall_{bygningsskropp} for rektangulære bygninger med ulike dimensjoner (bredde x dybde) og antall etasjer. U-verdier, kuldebroverdi og areal for vinduer, glassfelt og dører er i henhold til TEK 2007 §8-21 a) (Energiltak)

Varmetapstall_{bygningsskropp} [W/m²K] som funksjon av bygningssgeometri



Figur A-10 Varmetapstall som funksjon av bygningssgeometri ved en etasjehøyde lik 3,0m.

Fra figuren ser man at varmetapstallet avhenger veldig mye av antall etasjer, og avviket er spesielt stort for bygninger med 1 og 2 etasjer. Figuren viser også at formen på bygningen har vesentlig betydning for varmetapstallet.

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er det tredje største byggforskningsinstituttet i Europa. Vi har rom både for store forskningssatsinger og for tett oppfølging av de mange små bedriftene. Vårt mål er bedre produktivitet og økt kvalitet i det bygde miljø.

SINTEF Byggforsk er Norges ledende formidler av forskningsbasert kunnskap til byggenæringen. Våre publikasjoner inneholder tilrettelagte erfaringer og resultater fra praksis og forskning. Vi utgir Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.