

Forbrugerinstallationer og ledningsnet - hvad er sammenhængen?

Dimensionering af fjernvarmenettet er blandt de områder, hvor værkerne kan styrke effektiviteten. Denne artikel ser på belastningsgrundlag og ledningsomkostninger.



EFFEKTIVISERING

Af applicationspecialist Halldor Kristjansson, Danfoss og chefrådgiver René Salomon, Grontmij Carl Bro A/S

Et af de forhold, der kan styrke fjernvarmeforsyningen i forhold til andre varmeforsyningsformer er en optimal dimensionering af ledningsnettet. For små rørdimensioner kan medføre mangel på varmeleverance, mens for store rørdimensioner forøger regningen til såvel anlægsudgifter som til varmetab. Det sidste var mindre relevant under tidligere rammebetingelser, men spørgsmålet er nu, hvor meget situationen har ændret sig til i dag.

Formålet med denne artikel er at medvirke til udvikling på området tilskyndet af de nye rammer for fjernvarmeforsyningen.

De lave rumvarmeforbrug fra nye boliger medfører, at brugsvandsbelastningens del i ledningens belastningsgrundlag er blevet forholdsvis større, og det kræver i stigende omfang en velbegrunder vurdering af brugsvandsbelastningen, se f.eks. artiklen "Samtidighed før og nu" i Fjernvarmen nr. 8/2007. I det følgende bliver det belyst, hvordan kombinationen af lavt rumvarmeforbrug og brugsvandsbelastning påvirker belastningsgrundlag og omkostninger af ledningsnettet for forskellige forbrugertyper.

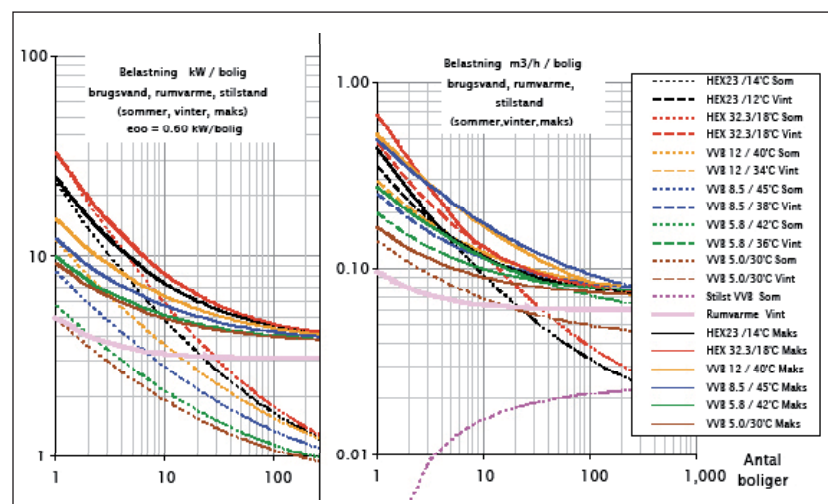
Ved projektering af fjernvarmenet er det ikke ualmindeligt, at der overdimensioneres ved anvendelse af forsimplede dimensioneringsprincipper. Dette retfærdiggøres ofte ved, at

der er usikkerheder forbundet med forbrugsgrundlaget, der endvidere består af mange forskellige typer og størrelse forbrugere. I analyser, der sigter mod at afdække evt. mindre forskelle i omkostninger for alternative princippløsninger, er det derimod nødvendigt at gå detaljeret til værks på et veldefineret grundlag. I det nedenstående bruges der udførlige dimensioneringsregler på et rent boligkvarter, hvor alle boliger er af samme type.

Ifølge traditionelle principper dimensioneres ledninger til at have kapa-

citet til både rumvarmeforbrug og brugsvandsforbrug sammenlagt. Dog vælges stikledningen ofte kun til at have kapacitet til den største af de to belastninger, der som regel er brugsvandsbelastning sommer.

Brugsvandsbelastningen i sommerperioden kan dog vise sig at være kritisk for ledninger længere inde i nettet. Figur 1 viser belastning på ledningerne sommer og vinter for flere forskellige units. Ledningens endelige belastningsgrundlag udgøres af den maksimale værdi af disse to. Brugsvandsbelastningen er beregnet



Figur 1: Dimensionerende belastningsgrundlag på ledningsnettet for boliger med rumvarme maks. 5 kW / 35°C retur. Sommeren, der indeholder brugsvands- og stilstandsforbrug, er typisk kritisk for de yderste ledninger. Længere inde i nettet er vinteren kritisk.

Fordudsatte parametre: fremløbstemperaturer 60/80°C sommer/vinter, stilstands forbrug VV8 150W/55°C -retur, GVV 50W/40°C -retur, maksimum brugsvandsforbrug fra en stor gruppe boliger $e_{oo}=0,60$ kW/bolig, (se artikel "Samtidighed og brugsvandsforbrug før og nu" i nr. 8/2007).

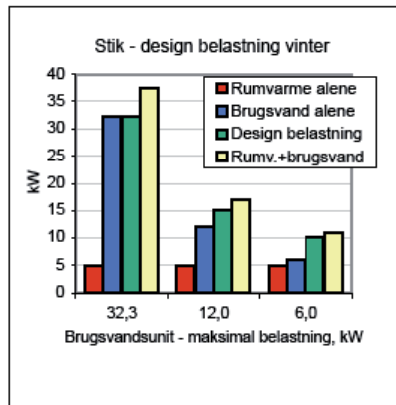
efter en metode, der bygger på vurderinger af forskningsprojekter og standarder (DIN, DS, EFP, EHP, Svensk FJV, TU Dresden) samt nye måldata fra et dansk fjernvarmenet.

Parameteren "maksimumbelastning fra en meget stor gruppe boliger", e_{oo} , er sat til 0,60 kW/bolig, endvidere tillægges sommer stilstandsforbrug for de units, der ikke opvarmer brugsvand. Stilstandsflowet er beregnet ifølge 150W/55°C for varmtvandsbeholderen (VVB) og 50W/40°C retur for gennemstrømningsveksleren (GVV). Der er taget udgangspunkt i en flowstyret veksler med separat stilstandsstyring.

Belastningsgrundlaget for vinterperioden er fremkommet ved at sammenlægge rumvarmeforbrug og brugsvandsforbrug, dog først efter at brugsvandsforbruget er reduceret ned til det såkaldte brugsvandstillæg (se boks herunder):

N er antal boliger. Denne reduktion af det samlede belastningsgrundlag bygger på, at samtidig forekomst af maksimumbelastninger for både brugsvand og for rumvarme forekommer meget sjældnere end maksimumbelastninger for brugsvand eller rumvarme hver for sig. Formlen er et kompromis mellem effektivitet og enkelthed, tre eksempler illustreres i Figur 2.

For at begrænse forudsætningerne har vi valgt at se bort fra to forhold. Begge er afhængige af netgeometrien. Flowet vil falde lidt hurtigere med et øget antal boliger end kurverne i flowgrafen Fig1 viser - specielt om sommeren. Det er, fordi kurvene forudsætter, at afkøling fra brugsvandsbelastninger fra flere boliger er lige



Figur 2: Design belastning i vinterperioden er mindre end brugsvands- og rumvarmebelastning sammenlagt, der vises eksempler på tre units.

så lav som afkøling fra maksimum brugsvandsbelastning fra yderste bolig. Endvidere er ledningstabet ikke indregnet, idet det er afhængigt af netgeometrien. Ledningstabet kontrolleres under temperaturfaldet igennem ledninger, hvilket medfører at de angivne temperaturer er "an bolig".

Figur 3 sammenligner seks tilfælde af belastningsgrundlag baseret på Figur 1. Forskel i belastningsgrundlag mellem to kurver kan måles i antal ledningsdimensioner i venstre side af Figuren.

Kurven "HEX32,3" beskriver gennemstrømningsvandvarmer udført som pladeveksler med DS439 bruser belastning. Det fremgår, at dette tilfælde belaster stikledningen mest. Med forøget antal boliger falder belastningen dog hurtigere end for øvrige units. Dette skyldes mindre sandsynlighed for samtidigt forbrug. For et stort antal boliger er denne løsning mindst belastende pga. bedre afkøling end ved øvrige units. Denne

$$\%_{\text{brugstillæg}} = (32,3 - e_{\text{rum}}(1)) / 32,3 \quad (\%)$$

$$E_{\text{brugstillæg}}(N) = \%_{\text{brugstillæg}} * E(N)_{\text{brugs}} \quad (\text{kW})$$

$$E_{\text{bolig}}(N) = E_{\text{rum}}(N) + E_{\text{brugstillæg}}(N) \quad (\text{kW})$$

Belastningsgrundlaget for vinterperioden er fremkommet ved at sammenlægge rumvarmeforbrug og brugsvandsforbrug, dog først efter at brugsvandsforbruget er reduceret ned til det såkaldte brugsvandstillæg

løsning tillader mindre hovedledninger, eller eksisterende hovedledninger opnår øget kapacitet ved GVV. GVV med DS439 karbadsbelastning giver en lavere værdi yderst i nettet. Den vises ikke på figuren.

Kurven "VVB 8,5" beskriver en almindelig 110 liter VVB ifølge målinger med DS439 karbadsbelastning. I Danmark vil karbadsbelastning dog kun forekomme i en mindre procentdel af boligerne, så kurven er ikke relevant for en større gruppe boliger. I tilfælde af den første og relevante del af kurven spares der op til en halv rørdimension i forhold til GVV.

Kurven "VVB 5,8" gælder den samme 110 liter VVB, hvor alle boliger er med bruserbelastning ifølge DS439. Belastningen ligger betydeligt lavere for få boliger, i forhold til GVV spares der knap to dimensioner på stikket. Dette reduceres dog ved flere boliger, og falder til stort set ingenting for flere end 10 boliger.

Kurven "VVB mix" angiver igen den samme 110 liter VVB, nu med blandet belastning således, at en enkelt bolig har karbadsbelastning, mens øvrige boliger har bruserbelastning. Dog således, at andelen af karbadsbelastede boliger ikke er under 15%. I forhold til GVV spares der en halv dimension yderst, mens besparelsen stort set er væk, når antallet af boliger er oppe på 7-8 stykker. Tilføjes yderligere en karbadsbelastning, vil hele kurven stort set være sammenfaldende med "HEX32,3" kurven.

De sidste to belastningskurver gælder en mere almindelig maksimum belastning, og den er lavere end angivet med de fire første kurver. Kurven "Hex23" gælder maksimum belastning for GVV ifølge nye målinger i et dansk fjernvarmenet. Målingerne omfatter både de enkelte boliger samt boliggruppen. Variation i maksimum belastning fra VVB varierer derimod meget mere, fra 5 til 20 kW. Kurven "VVB 5,0" beskriver en "meget god situation med VVB". Det fremgår af

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

Figur 1, at sommeren netop ikke er kritisk. Her udnyttes ledningskapaciteten bedst, og unitten ville være optimal, hvis ledningskapaciteten var det eneste kriterium for en god totalløsning for fjernvarmen. I forhold til GVV er besparelsen ca. to dimensioner på stikket, ca. en enkelt dimension ved 5 boliger, og uden betydning ved 50 boliger.

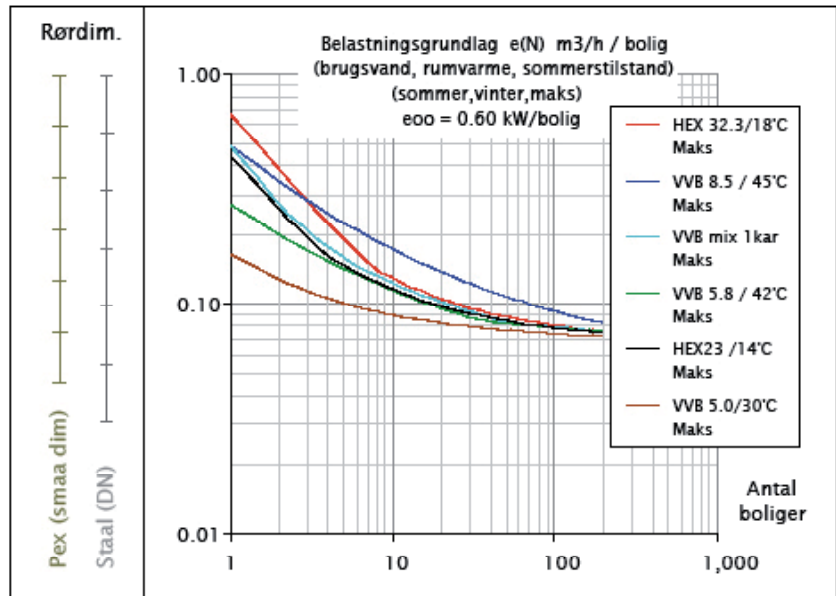
Belastningskurverne fra Fig. 3 er sat ind i et dimensioneringsprogram, udviklet under EFP projektet "Fjernvarme i Lavenergiområder", 2004, hvor metoden er beskrevet. Den indeholder optimering af ledningsdimension såvel som optimering af isolering, fundet ved at minimere de samlede distributionsomkostninger, der består af ledningsinvestering og -drift, samt pumpeinvestering og -drift. Trykgradienten ligger på ca. 1 bar/km for de mellemstore ledninger gradvist stigende op til ca. 10 bar/km for stikledningen. Vandhastighederne er ca. én meter i sekundet, måske lidt højere for de større gadeledninger.

De yderste ledninger har en mindre dimension, end hvad belastningsgrafen Fig 3 umiddelbart indikerer, så vidt disse ledninger kun er kritiske i sommersæsonen. Det samme gælder nemlig pumpeomkostningerne. Der er anvendt en typisk netstruktur med ca. 300 boliger, hvor alle stik er 20 m.

De samlede distributionsomkostninger er beregnet for en økonomisk tidshorisont på 20 år med 3% realrente. I tilfælde af DS439 belastningerne, bliver de relative tal:

"HEX 32,3kW/18°C":	100%
"VVB mix 1kar":	99%
"VVB 5,8kW/42°C":	96%

Mens procenterne ligger rimelig stabilt, er det afhængigt af prisudvikling og projektforhold, hvor mange kroner det drejer sig om. Det vurderes, at et optimalt designet ledningsnet koster i størrelsesorden 40.000 kr. per forbruger (i de tre tilfælde). Så sparer VVB ca. 2000 kr. per forbruger totalt over



Figur 3: En sammenligning af belastningsgrundlaget ved seks tilfælde baseret på Fig 1. Tilfældet ("VVB mix 1kar") angiver, at en enkelt forbruger har DS439 karbadsbelastning ("VVB 8,5kW/45°C"), mens øvrige boliger har DS439 bruserbelastning ("VVB 5,8kW/42°C"). De to skalaer i venstre side udtrykker groft kapacitetsspring mellem ledningsdimensioner for henholdsvis PEX og stål.

20 år, i forhold til GVV. Ved den første karbadsforbruger falder det meste af besparelsen væk.

Tages der udgangspunkt i de førnævnte mere almindelige maksimum belastninger samt en velstyret VVB, så bliver de relative tal:

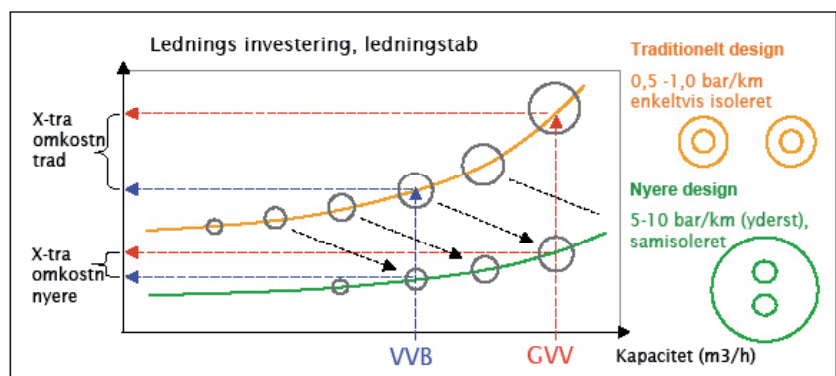
"HEX 23 kW/14°C":	100%
"VVB 5,0kW/30°C":	95%

Forskellen bliver igen ca. 2.000 kr. per forbruger totalt over 20 år.

Forskel i kapacitetskrav til de yderste ledninger i nettet påvirker omkostningerne mindre ved nye

designkriterier end ved traditionelle ledningsdesign. Der er to årsager. De lokale ledninger er nu samisolerede og velisolerede. Ligeledes accepteres nu et højere trykfald. Det nye og fremadrettede ledningsdesign vil omfatte to meget små medierørdimensioner pakket ind i en enkelt stor kappedimension. Der bruges samme kappedimension på de mindste medierørdimensioner. Krav til ledningskapacitet vil derfor kun påvirke investering og varmetab i meget begrænset omfang. Princippet illustreres på Fig 4.

Variationen i omkostningen til ledningsnettet på op til ca. to tusind kr.



Figur 4: GVV kræver højere stikkapacitet end VVB, og forskellen svarer til et par ledningsdimensioner. Nye designkriterier reducerer de ekstra omkostninger, der er forbundet hermed, herunder energiomkostninger.

per forbruger over 20 år skal ses i forhold til generelle fordele og ulemper, som henholdsvis fjernvarmeselskab og forbrugere kan have ved de forskellige unittyper. GVV reducerer den samlede flowmængde, der skal pumpes igennem nettet, idet GVV nu ofte har bedre afkøling ved forbrug og ved stilstand. Ligeledes har GVV betydelig lavere netto varmetab. GVV tillader også lavere fremløbstemperaturer i nettet, hvilket medfører lavere ledningstab. Reduceret fremløbstemperatur kan opnås ved blandesløjfer i lokale ledningsnet. Forbrugeren forbinder GVV med lavere installationsomkostninger, mindre pladskrav og mindre strafafgift for høj returtemperatur. På den anden side kan VVB lagre varme, der udjævner belastningen specielt yderst i nettet. VVB akkumuleringsevne kan medføre, at spidslast-kørsel kan undgås i de perioder, hvor grundlast omtrent er fuldt udnyttet. Store VVB kan også lagre f.eks. solvarme og anden lokal

overskudsvarme. I tilfælde med ualmindelig lange stik stiger ledningsbesparelserne ved at anvende VVB. Det er dog ikke tilfældet, hvis GVV udstyres med en stikpumpe.

Vi håber, at denne artikel kan bidrage til yderligere dialog og udvikling af fjernvarmeforsyningen. Litteraturliste, der kan inspirere omkring de beskrevne forhold, kan fremsendes efterfølgende.

rene.salomon@grontmij-carlbro.dk
halldor.kristjansson@danfoss.com

NOTATIONER	NOTATIONER
Rum:	Rumvarme
Brugs:	Brugsvand
N:	Antal boliger i gruppen
E(N):	Den samlede (maksimum) varmeeffektbelastning fra N boliger (kW)
e(N):	Den samlede (maksimum) varmeeffektbelastning fra N boliger per bolig (kW/bolig)
e(N):	= E(N)/N
e _{maks} :	= e(1) = E(1): Maksimum varmeeffektbelastning fra en enkelt bolig (kW).
e ₀₀ :	Maksimum varmeeffektbelastning fra en meget stor gruppe boliger (kW/bolig).
VVB:	Varmtvandsbeholder
GVV:	Gennemstrømningsvandvarmer
HEX:	Gennemstrømningsvandvarmer udført som pladeveksler