

*Powerhouse - Innebygget energi og
klimagassregnskap for bæresystemene*

Margrethe Ollendorff

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Sverre Smeplass, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk



MASTEROPPGAVE 2012

FAGOMRÅDE: Betongteknologi	DATO:11.06.2012	ANTALL SIDER: 111 + vedlegg
----------------------------	-----------------	-----------------------------

TITTEL:

***Powerhouse –
Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene***

*Powerhouse – Embodied Energy and Greenhouse Gas accounting for the
Structural Components*

UTFØRT AV:

Margrethe Ollendorff



SAMMENDRAG:

Næringsbygget Powerhouse One skal gjennom livsløpet produsere mer energi enn det vil forbruke - et såkalt plusshus. For å oppnå et positivt energiregnskap må også energi som er bundet i materialer og prosesser tilknyttet oppføringen av konstruksjonen minimaliseres – et område som tidligere har hatt forholdsvis lite fokus. Et nytt begrep melder dermed sin inntreden: bygningens innebygde energi.

Opgaven representerer en gjennomgående analyse av tre aktuelle konstruksjonskonsepter, samt av materialene som inngår i disse. BubbleDeck, hulldekker og flatdekke vurderes både med hensyn på bundet energi i dag og muligheter for optimalisering i fremtiden. Vurderingene er basert på en modellstudie, der de tre dekkeløsningene er dimensjonert med samme lastsituasjon, samt med like geometriske utforminger, i den grad sistnevnte har latt seg gjøre. Dimensjoneringen inkluderer, i tillegg til dekket, søyler og eventuelle bjelker, og har som formål å estimere materialmengder som inngår i det enkelte bæresystemet.

Alle materialer som inngår i dekkesystemene er vurdert med hensyn på innebygd energi. Transport og produksjon er inkludert. Vurdering er gjort på bakgrunn av tilgjengelig informasjon fra miljødeklarasjoner, produsenter og leverandører, samt SimaPros databaser via Østfoldforskning. Miljødeklarasjoner for betong er utviklet spesielt for denne oppgaven med FABEKOs EPD - kalkulator.

Optimaliseringsmuligheter for bæresystemene er vurdert, med hovedvekt på betong. Betong har et betydelig potensial for energireduksjon. Forbedringspotensial har blitt undersøkt med varierende flygeaskeinnhold i betongen. Hvorvidt de ulike konstruksjonskonseptene åpner for flygeaske er også vurdert. I denne forbindelse har elementproduksjon med flygeaske blitt vurdert for Contigas produksjon på Stjørdal.

I hvilken grad en slik optimalisering vil innvirke på sluttregnskapet er avhengig av dekkets betongvolum og betongens utgangspunkt. Flatdekket har størst betongvolum, og har dermed mest å hente på forbedring av betongens innebygde energi. Elementløsningene, hulldekket og BubbleDeckplaten, har begge utgangspunkt i lite energieffektive betonger per i dag; hulldekket for å begrense herdetid av hensyn til produksjonen, BubbleDeck for å eliminere behov for vibrering av hensyn til plastkuler. Elementene har derfor også et vesentlig forbedringspotensial til tross for mindre betongvolum.

I tillegg til betong, omfatter løsningene andre materialer og prosesser som nødvendigvis må medregnes i et energiregnskap. For hulldekker er bruk av spennstål med forholdsvis høy andel bundet energi en forutsetning. I tillegg er elementproduksjonen en relativt energiintensiv prosess. Flygeasketilsetning må følgelig vurderes opp mot den relative økningen i energi til oppvarming som bruk av dette materialet vil medføre. Et annet vilkår for tradisjonelle hulldekkesystem er underliggende bjelker, utført i stål eller betong. I noen av tilfellene doblet stålbeleggene bæresystemets totale energibidrag.

Hule plastkuler er et av basisproduktene i BubbleDeck. Antall kuler er avhengig av elementtype, ikke av spenn, og kulens relative bidrag vil reduseres for store spennvidder. Bundet energi i kulene er avhengig av hvorvidt plasten er resirkulert. I tillegg har BubbleDeck betydelige armeringsmengder for store spenn, og det er et mål å tilpasse armering etter spennvidde og lastsituasjon. Flatdekket har få bidrag utover betong og armering. Til tross for at betong definitivt gir størst bidrag til innebygget energi, får armering stor betydning for lange spennvidder.

For modellstudiet utgjorde søyler 5 - 10 % av det totale energiregnskapet. Energiøkonomisk utnyttelse av søyler oppnås i mange tilfeller ved å øke betongfasthet, og dermed redusere søyletverrsnitt.

Flatdekke viste seg å være det gunstigste alternativet for korte spennvidder (under 7,2 meter). Ved realisering av forbedringspotensialet representerer hulldekker den mest energioptimale løsningen for store spennvidde, ut i fra forutseningene for oppgaven. Dette krever rasjonell bruk av byggesystemet med maksimale spenn i én retning, og kortere bjelkespenn. Slik konstruksjonskonseptene foreligger i dag, endte BubbleDeck som beste løsning for store spennvidder, med hensyn på innebygget energi for modelldekket. BubbleDeck har også den fordel at dekket tillater symmetrisk utforming.

Resultatene i oppgaven har synliggjort en potensiell konflikt mellom krav til energieffektivitet og andre viktige forhold som, gjennom bygget levetid, totalt sett vil kunne redusere byggets energiforbruk. Til tross for at flatdekket gav det beste resultatet med hensyn på konstruksjonens innebyggede energi, er det imperativt å ta hensyn til at byggets faktiske energiforbruk gjennom livsløpet fastsettes av blant annet byggets tilpasningsdyktighet.

FAGLÆRER: Sverre Smeplass

VEILEDER(E): Sverre Smeplass

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk



MASTEROPPGAVE 2012

*for stud. techn.
Margrethe Ollendorff*

**Powerhouse –
Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene**
*Powerhouse – Embodied energy and greenhouse gas accounting for the structural
components*

Innledning

Partene i Powerhouse- alliansen ønsker å utvikle næringsbygg som i løpet av byggets levetid skal produsere mer fornybar energi enn det som til sammen blir brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget. Initiativet har vært tungt profilert i media. Det første kontorbygget, Powerhouse I, er i en forprosjekteringsfase.

Oppgave

Oppgaven går ut på å kartlegge hvilke tiltak som må iverksettes for at betongkonstruksjonene skal gi optimale bidrag i energi- og klimaregnskapene, både i bygge- og driftsfasen. Ulike bæresystemer skal vurderes og bidragene i energiregnskapet skal veies opp mot normale krav til byggets funksjonalitet. Bruk av lavkarbonbetong er aktuelt både i plasstøpt betong og betongelementer. Utnyttelsen av betongens termiske masse er et av flere aktuelle tiltak for å redusere energiforbruket i driftsfasen. Det skal tas hensyn til dette ved evalueringen av de ulike bæresystemene.

Gjennomføring

Oppgaven utføres på instituttet. Det hører med til oppgaven å orientere seg mot andre masteroppgaver på beslektede temaer, og parallelle aktiviteter i COIN- og ZEB-programmene. Gjennomføringen av oppgaven skal tilpasses de ressurser som stilles til disposisjon.

Oppgaven er utlevert 16. januar 2012, og skal innleveres til Institutt for konstruksjonsteknikk innen 12. juni 2011.

2011-01-16

Sverre Smeplass
(faglærer)

Forord

Oppgaven er utarbeidet våren 2012 ved institutt for Konstruksjonsteknikk på NTNU. Den er et selvstendig arbeid med faglig veiledning fra Prof. II Sverre Smeplass ved Skanska Norge, skrevet for Skanska Norge med tilknytning til Powerhouse. Oppgavens natur involverer mange fagfelt og er tidvis nybrottsarbeid. Dette medfører et behov for å innhente informasjon fordelt over det ganske land. Jeg ønsker å rette en spesiell takk til veileder Sverre for hans smittende engasjement, tilgjengelighet og grad av involvering gjennom arbeidet. Kort sagt; en veiledning utover det vanlige. Til andre, som også har bidratt til oppgaven utover det en stakkars stud.tech kan forvente seg, sendes det også et varmt takk:

Kari Aarstad, som har bidratt til å utvikle EPDer, og Eivind Nordeim for å bistå med tall på energibruk i produksjonprosessen. Contiga som har bistått i veiledning og diskusjon, særlig Stein Bostrøm som arrangerte møte om lavkarbon hulledekker, Jørn Injar for teknisk veiledning og Svein Stegman som har bistått veiledning omkring dimensjonering av hulledekker og bjelker. Multiconsult, spesielt Magne Roppen og Nils Forsén som har bistått med erfaringstall. Til Harald Rosendal hos BubbleDeck og Bengt Karlsson, som har kommet med innspill til dimensjonering, produksjon og materialer i arbeidet med BubbleDeck. Trond Larsen hos Stela for å undersøke energibruk i produksjonen og gjennomgåelse av data for transport, import og energiforbruk. Mie Vold hos Østfoldforskning som har bistått med databasetall, erfaringsverdier og vurdering rundt livsløpsregnskap til materialene. Knut Kjellsen hos Norcem, samt Jukka Hirsimäki og Thomas Jahren hos Cemex som har latt seg intervju om sine respektive forhold til miljøspørsmål. Bjørn Wachenfeldt Jenssen, og øvrige involverte i Powerhouse prosjektet som vært både behjelpelige og inkluderende. Og ellers til alle jeg har ringt i tide og utide våren 2012.

I tillegg sendes en takk til det flotte studiemiljøet på Materialteknisk. Latter og kaffekopper utover sene vårnetter har gjort masterhverdagen morsommere, og fravær av luft på kontoret mindre uutholdelig. Måtte dere ikke puste så mye.

Sammendrag

Næringsbygget Powerhouse One skal gjennom livsløpet produsere mer energi enn det vil forbruke - et såkalt pluss hus. For å oppnå et positivt energiregnskap må også energi som er bundet i materialer og prosesser tilknyttet oppføringen av konstruksjonen minimaliseres – et område som tidligere har hatt forholdsvis lite fokus. Et nytt begrep melder dermed sin inntreden: bygningens innebygde energi.

Oppgaven representerer en gjennomgående analyse av tre aktuelle konstruksjonskonsepter, samt av materialene som inngår i disse. BubbleDeck, hulldekker og flatdekke vurderes både med hensyn på bundet energi i dag og muligheter for optimalisering i fremtiden. Vurderingene er basert på en modellstudie, der de tre dekkeløsningene er dimensjonert med samme lastsituasjon, samt med like geometriske utforminger, i den grad sistnevnte har latt seg gjøre. Dimensjoneringen inkluderer, i tillegg til dekket, søyler og eventuelle bjelker, og har som formål å estimere materialmengder som inngår i det enkelte bæresystemet.

Alle materialer som inngår i dekkesystemene er vurdert med hensyn på innebygd energi. Transport og produksjon er inkludert. Vurdering er gjort på bakgrunn av tilgjengelig informasjon fra miljødeklarasjoner, produsenter og leverandører, samt SimaPros databaser via Østfoldforskning. Miljødeklarasjoner for betong er utviklet spesielt for denne oppgaven med FABEKOs EPD - kalkulator.

Optimaliseringsmuligheter for bæresystemene er vurdert, med hovedvekt på betong. Betong har et betydelig potensial for energireduksjon. Forbedringspotensial har blitt undersøkt med varierende flygeaskeinnhold i betongen. Hvorvidt de ulike konstruksjonskonseptene åpner for flygeaske er også vurdert. I denne forbindelse har elementproduksjon med flygeaske blitt vurdert for Contigas produksjon på Stjørdal.

I hvilken grad en slik optimalisering vil innvirke på sluttregnskapet er avhengig av dekkets betongvolum og betongens utgangspunkt. Flatdekket har størst betongvolum, og har dermed mest å hente på forbedring av betongens innebygde energi. Elementløsningene, hulldekket og BubbleDeckplaten, har begge utgangspunkt i lite energieffektive betonger per i dag; hulldekket for å begrense herdetid av hensyn til produksjonen, BubbleDeck for

å eliminere behov for vibrering av hensyn til plastkuler. Elementene har derfor også et vesentlig forbedringspotensial til tross for mindre betongvolum.

I tillegg til betong, omfatter løsningene andre materialer og prosesser som nødvendigvis må medregnes i et energiregnskap. For hulldekker er bruk av spennstål med forholdsvis høy andel bundet energi en forutsetning. I tillegg er elementproduksjonen en relativt energiintensiv prosess. Flygeasketilsetning må følgelig vurderes opp mot den relative økningen i energi til oppvarming som bruk av dette materialet vil medføre. Et annet vilkår for tradisjonelle hulldekkessystem er underliggende bjelker, utført i stål eller betong. I noen av tilfellene doblet stålbjelkene bæresystemets totale energibidrag.

Hule plastkuler er et av basisproduktene i BubbleDeck. Antall kuler er avhengig av elementtype, ikke av spenn, og kulens relative bidrag vil reduseres for store spennvidder. Bundet energi i kulene er avhengig av hvorvidt plasten er resirkulert. I tillegg har BubbleDeck betydelige armeringsmengder for store spenn, og det er et mål å tilpasse armering etter spennvidde og lastsituasjon. Flatdekket har få bidrag utover betong og armering. Til tross for at betong definitivt gir størst bidrag til innebygget energi, får armering stor betydning for lange spennvidder.

For modellstudiet utgjorde søyler 5 - 10 % av det totale energiregnskapet. Energiøkonomisk utnyttelse av søyler oppnås i mange tilfeller ved å øke betongfasthet, og dermed redusere søyleverrsnitt.

Flatdekke viste seg å være det gunstigste alternativet for korte spennvidder (under 7,2 meter). Ved realisering av forbedringspotensialet representerer hulldekker den mest energioptimale løsningen for store spennvidde, ut i fra forutsetningene for oppgaven. Dette krever rasjonell bruk av byggesystemet med maksimale spenn i én retning, og kortere bjelkespenn. Slik konstruksjonskonseptene foreligger i dag, endte BubbleDeck som beste løsning for store spennvidder, med hensyn på innebygget energi for modelldekket. BubbleDeck har også den fordel at dekket tillater symmetrisk utforming.

Resultatene i oppgaven har synliggjort en potensiell konflikt mellom krav til energieffektivitet og andre viktige forhold som, gjennom bygget levetid, totalt sett vil kunne redusere byggets energiforbruk. Til tross for at flatdekket gav det beste resultatet med hensyn på konstruksjonens innebyggede energi, er det imperativt å ta hensyn til at byggets faktiske energiforbruk gjennom livsløpet fastsettes av blant annet byggets tilpasningsdyktighet.

Abstract

Powerhouse is a collaborative project on energy-positive buildings. Powerhouse One is the first of many planned energy-positive projects; an office building that through its life cycle will produce more energy than it will consume. In order to achieve a positive energy balance the energy that is bound in materials and construction, so called embodied energy, must be considered. Previously – energy associated with construction materials has had little focus as they generally account for a small percentage of the total energy related to a building. That changes when buildings are designed to be highly energy efficient.

This report represents a thorough analysis of three possible design concepts: BubbleDeck, hollow core and slabs. The concepts and the materials they include, are assessed both in terms of embodied energy today and possibilities for optimization in the future. The analysis is based on a model study, which means that the same conditions, in means of loads and geometry, apply. The purpose of the design is to estimate material quantities included in each grid, where columns and beams are included. The material's inherent energy, such as extraction, transport and production is included.

Assessment is made on the basis of available information from environmental declarations, manufacturers and suppliers, as well as the SimaPro database through Østfoldforskning. The environmental declarations for concrete has been developed specifically for this project with FABEKOS EPD tool.

Options for further optimization of the embodied energy of the load bearing structures are reviewed, with emphasis on concrete. Concrete has a significant potential for reducing its embodied energy. Such improvements have been investigated with varying fly ash content. Whether the various design concepts allows for the use of fly ash is also considered. In this regard, hollow core production with fly ash has been considered for Contiga in Trondheim. To what extent such an optimization will affect the final accounts are dependent on the concrete volume and concrete composition. Slabs have the greatest volume, and thus have the most to gain from improvement of concrete embodied energy. The hollow core and BubbleDeck, today both consist of concretes that are high in embodied energy. Hollow

core, due to the industrial process. BubbleDeck is made with self-compacting concrete (SCC) to eliminate the need for vibration because of the plastic balls. These elements therefore have a significant potential for improvement despite less concrete volume.

In addition to concrete, the load bearing structure includes other materials that must be accounted for energy wise. For hollow core, the use of prestressed steel strands, which has high levels of energy related properties, is a necessity for the system. In addition, the element production is a relatively energy intensive process. Fly ash additive must therefore be weighed against the relative increase in energy consumption due to heating when using these materials. Another condition for the hollow core is beams, made of steel or concrete. In some cases, the steel beams doubled the total energy consumption of the bearing structure. Plastic balls are one of the basic products in BubbleDeck. The number of balls depends on the element type, not the spans of the elements, and the balls relative contribution will decrease for larger spans. The amount of embodied energy of the plastic depends on whether the plastic is recycled. In addition, BubbleDeck has significant reinforcement quantities for large spans, which makes it very important to adjust the reinforcement after the span and load situation have been determined. Slabs have few other contributions other than concrete and reinforced steel. Despite the fact that concrete is definitely the greatest contributor to embodied energy, the reinforcement becomes of great importance for long spans.

Slabs turned out to be the most favourable for short span (less than 7.2 meters) options in an energy perspective. If the concretes are to be optimized to reduce the environmental footprint of the concretes with the use of fly ash, hollow core represents the most energy efficient solution for large spans, based on the model. This requires the rational use of the building system with the maximum span in one direction, and shorter spans for the beams. From the model of this study, BubbleDeck optimizes the solution for large spans, in terms of embodied energy. BubbleDeck also has the advantage that it allows for a symmetrical geometry. The columns represent 5 to 10 % of the total energy use of the load bearing structure. Further reduction of the embodied energy of the columns can in many cases be achieved by increasing the concrete strength, and thereby reducing the column cross-section.

The results in this report indicates a conflict between energy accounts and the ability of the structure to adapt to changes in the future, which is also of great importance for the final sustainability of the building. Even if slabs are the best solution, regarding only embodied energy of the structure, is not necessarily the best option in terms of energy efficiency due to the limited spans. To find the optimal solution one has to find the balance between the requirements for embodied energy, function and adaptability of the structure.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	vi
1 Bakgrunn og innledning	1
2 Powerhouse One	5
2.1 Konsept	5
2.2 Energiløsninger	6
2.3 Arkitektur	8
2.4 Oppgavens relasjon til Powerhouse One	9
3 Termisk masse	11
3.1 Varmelagringsteori	12
3.2 Potensial for energibesparelse	14
3.3 Simulering av eksempelbygg	15
4 Verktøy for miljøvurdering	17
4.1 LCA	17
4.2 LCA- verktøy	18
4.2.1 EcoInvent	18
4.2.2 ReCiPe	18
4.2.3 Simapro	19
4.2.4 Klimagassregnskap.no	19
4.3 Miljødeklarasjoner	20
4.3.1 EPD	20
4.3.2 Svanemerket/ EU-blomsten	21
4.4 Vurderingsverktøy	21
4.4.1 EcoProduct	21
4.5 Miljøklassifiseringer	22
4.5.1 BREEAM NOR	22

4.5.2	LEED	23
4.6	Statlige initiativ	24
4.6.1	Framtidens byer	24
4.6.2	REACH	24
4.7	Love og regler	25
5	Materialenes innebygde energi	27
5.1	Generelt	27
5.2	Stål	28
5.2.1	Armering	29
5.2.2	Spennstål	29
5.2.3	Stålprofil	30
5.3	Betong	32
5.3.1	Lavkarbonbetong	34
5.4	Regler og direktiver	36
5.4.1	Eksponeeringsklasser	36
5.4.2	Bestandighetsklasser	36
5.4.3	Bruk av tilsetningsmaterialer	37
5.5	Betongens delmaterialer	39
5.5.1	Sement	39
5.5.2	Tilsetningsmateriale	40
5.5.3	Tilslag	44
5.6	Betongens innebygde energi	45
5.6.1	Plasstøpt betong levert av Unicon	45
5.6.2	Hulldekkebetong	46
5.7	Betong til BubbleDeck	47
5.8	Plastkuler til BubbleDeck	48
5.9	Avrettingsmasse	49
5.10	Produksjonsbidrag	50
5.11	Bidrag fra byggeprosessen	52
5.12	Transportbidrag	54
5.12.1	Transport til byggeplass	54
5.12.2	Råvaretransport	56
6	Dimensjonering og materialbruk	59
6.1	Generelt	59
6.2	Konstruksjonsmodell	59
6.3	Flatdekke	61
6.3.1	Spenn	61
6.3.2	Dimensjoneringsgrunnlag	62

6.3.3	Beregnet materialbruk og erfaringstall for flatdekke	63
6.4	BubbleDeck	64
6.4.1	Dimensjoneringsgrunnlag	64
6.4.2	Beregnet materialbruk og erfaringstall for BubbleDeck	67
6.5	Hulldekker	69
6.5.1	Hulldekkedimensjoner	69
6.5.2	Dimensjoneringsgrunnlag for hulldekker	70
6.5.3	Beregnet materialbruk og erfaringstall for hulldekker	71
6.5.4	Bjelker til hulldekke	71
6.6	Søyler	74
6.6.1	Dimensjoneringsgrunnlag	75
6.6.2	Materiale og materialbruk	75
6.7	Avstiving	78
6.8	Parkeringskjeller	78
7	Energiregnskap	81
7.1	Modellen - Hvordan regne totalt energibidrag	81
7.2	Energiregnskap for flatdekke	82
7.2.1	Spenn og lastsituasjon	84
7.2.2	Bruk av flygeaske	84
7.2.3	Betongkvalitet	84
7.3	Energiregnskap for BubbleDeck	85
7.3.1	Spennvidder	86
7.3.2	Materialenes relative bidrag	87
7.4	Energiregnskap for Hulldekker	88
7.4.1	Stål eller betong bæresystem	88
7.4.2	Materialenes relative bidrag	88
7.4.3	Bruk av flygeaske i hulldekkeelement	90
7.4.4	Produksjon	90
7.5	Energiregnskap for søyler	91
7.6	Sammenligning av dekkeløsningene	93
7.6.1	Vurdering mot mål for Powerhouse One	94
8	Potensial for optimalisering	95
8.1	Flatdekke	96
8.2	BubbleDeck	97
8.3	Lavenergi hulldekker på Stjørdal	98
8.4	Sementleverandørenes perspektiv	100
8.5	Andre faktorer	101

9 Konklusjon	103
10 Videre arbeid	105
Bibliography	107
Vedlegg A: EPD	
Vedlegg B: Dimensjonering	
Vedlegg C: Årssimulering Simien	

Figurer

2.1	Brattørkaia [foto: Brattøra.no]	6
2.2	Taket heller 26° for å utnytte solenergien [tegning: Snøhetta].	7
2.3	Powehouse One fra bysiden [tegning: Snøhetta]	8
3.1	DHC vs tykkelse for ulike materialer	13
5.1	Stenntau i spennbenken hos Contiga på Stjørdal	30
5.2	Rissutvikling på grunn av ytre fastholding[66]	35
5.3	Flygeaske på mikronivå [62]	42
5.4	Maskinknust sand (venstre) og natursand (høyre) [53]	44
5.5	Energi til oppvarming av spennbenk for å øke herding hos Contiga på Stjørdal	51
6.1	Modell	60
6.2	Betongstøp [foto: Veidekke]	62
6.3	BubbleDeck åpner for lange spenn i to retninger [34]	64
6.4	Elementene heises på plass [34]	65
6.5	Dimensjonering med fulltverrsnitt rundt søyle [34]	67
6.6	Armeringsutførelse [34]	68
6.7	Hulldekker heises på plass [veidekke]	69
6.8	Dimensjoner hulldekke [3]	70
6.9	HSQ-bjelke	72
6.10	Spennarmert DLB bjelke	73
7.1	Innebygget energi for FD280 i B35 med 7,2 x 7,2 meter spenn	82
7.2	Innebygget energi med varierende flygeaskeinnehold for FD280 i B35 med 7,2 x 7,2 meter spenn	85
7.3	Energi fordelt på materialer	87
7.4	Energi fordelt på prosesser	87

7.5	BubbleDeck utført i B35 med 7,2 meter spenn og varierende flygeaskeinnhold i plasstøpt del	87
7.6	Innebygget energi med DLB	89
7.7	Innebygget energi med HSQ	89
7.8	Innebygget energi med varierende flygeaskeinnhold for HD265 med DLB og 10 x 7,2 meter spenn	91
8.1	Huldekkeproduksjon på Stjørdal	99

Tabeller

3.1.1 Egenskaper for typiske bygningsmaterialer ([20] [24])	12
5.2.1 Stålforbundets miljødata for stålprofil	31
5.2.2 Miljødata for stål	32
5.3.1 Norbetongs lavkarbonklasser	35
5.6.1 Energibruk og utslipp tilknyttet plastøpt betong	46
5.6.2 Energibruk og utslipp tilknyttet betongen i hulldekket	47
5.7.1 Betong i prefabrikkert element for BubbleDeck	48
5.8.1 Typiske miljødata for plast	49
5.9.1 Avrettingsmasse	50
5.10.1 Produksjonsbidrag	52
5.11.1 Byggeplassbidrag for komponenter i bæresystemet	53
5.11.2 Energibruk og CO ₂ -utslipp for i byggefasen; tall fra tidligere prosjekt . . .	53
5.12.1 Energiforbruk og klimagassutslipp for dieseldrevne laste - og spesialbiler .	54
5.12.2 Transport til byggeplass	55
5.12.3 Råvaretransport	57
6.2.1 Dimensjonerende laster	60
6.3.1 Beregnet materialbruk for symmetrisk flatdekke	63
6.4.1 Egenvekt og anbefalt spennvidde for BubbleDeck	66
6.4.2 Plastkuler i BubbleDeck	66
6.4.3 Beregnet materialbruk for BD280	68
6.5.1 Egenvekt og anbefalt spennvidde for aktuelle hulldekker	70
6.5.2 Beregnet materialbruk for hulldekke HD200 og HD265	71
6.5.3 Materialforbruk for HSQ bjelker	73
6.5.4 Materialforbruk DLB	74
6.6.1 Materialforbruk søyle for ulike dekkeløsninger	76
7.2.1 Innebygget energi og CO ₂ -utslipp for flatdekke	83
7.3.1 Innebygget energi og CO ₂ -utslipp for BubbleDeck, BD280	86

7.4.1 Energiforbruk og CO ₂ -utslipp for hulledekker (0%FA), med HSQ og DLB .	89
7.4.2 Energiforbruk og CO ₂ -utslipp for hulledekker (DLB) med 20% og 30% FA	90
7.5.1 Energibruk og CO ₂ -utslipp for søyler	92
7.6.1 Optimale løsninger i miljøperspektiv	94

Kapittel 1

Bakgrunn og innledning

Bakgrunn for oppgaven

I løpet av de siste årene har vi sett et økt fokus på konstruksjoners miljøbelastning, både når det gjelder klimagassutslipp og energiforbruk som medfølger oppføring av et bygg. Bygg står i dag for 40% av verdens energiforbruk [57]. Lover og tekniske byggforskrifter påtvinger derfor mer miljøvennlig bygging. Klimameldingen (2012) viser ambisiøse mål for å redusere det samlede energibruket i byggsektoren innen 2020. Energikrav i byggforskriften skal skjeperes til passivhusnivå i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020 [47]. I kjølvannet av energifokuset, er det igangsatt byggeprosjekter som viser at minimal miljøbelastning ikke behøver å gå på kompromiss med byggets funksjon.

Ett av disse prosjektene er Brattørkaia 17A i Trondheim, mer kjent som Powerhouse One. Prosjektet, som har fått mye oppmerksomhet i media, er et planlagt pluss-kontorbygg. Det vi si at fremfor å være årsak til energiproblemene, skal bygget være en del av løsningen ved å produsere mer energi enn det vil forbruke i løpet av byggets levetid. Når alle ledd, fra utvinning av materialer til rehabilitering er tatt med i energiregnskapet, skal resultatet ha positivt fortegn. I tradisjonelle bygg utgjør materialproduksjonen omtrent 10% av energiforbruket tilknyttet drift. For Powerhouse kan dette utgjøre 50% ettersom energiforbruk i driftsfasen er minimert. Som en konsekvens av dette, har et nytt begrep fått fokus og sidestilt seg med *klimanøytral* og *miljøvennlig*: innebygd energi.

Med begrepet innebygd energi utfordres alle involverte ledd i byggenæringen til å tenke annerledes. Tidligere har den mest kostnadeffektive løsningen som iveratar funksjon, sikkerhet og fleksibilitet vært utslagsgivende for valg av konstruksjon. Når miljølast introduseres som et nytt dimensjoneringskriterie vil utformingen nødvendigvis endres. Konsekvenser kan bli omlegging av bransje så vel som teknologi og standardverk.

Hensikt med oppgaven

I skisseprosjektet for Powerhouse One (februar 2012) ble det konkludert med at 'Innebygget energi for bæresystemet er ikke godt nok gjennomarbeidet, og må ses nærmere på'. Denne oppgaven har til hensikt å kartlegge hvordan ulike parametere og valg vil påvirke bæresystemets innebygde energi.

Betong har lenge vært hovedbestanddel i alle større konstruksjoner og grunnet materialets tekniske egenskaper, samt priseffektivitet, vil dette materialet med stor sannsynlighet fortsette å være viktig også i fremtiden. I mange tilfeller har betong vist seg å være utslagsgivende faktor når bygget skal vurderes med hensyn på miljøbelastning. Dette er dels på grunn av de store mengdene som benyttes i grunn- og bæresystem, og dels på grunn av den energikrevende produksjonen av klinker som er sementens hovedbestanddel. Det er derfor sett nærmere på hvordan man med dagens betongteknologi, designvalg og tilgang på materiale kan redusere betongens innebygde energi. Redusert energibehov i driftsfasen som følge av anvendelse av tunge materialer i bæresystemet er kun vurdert innledningsvis.

Betydningen av andre materialer som inngår i bæresystemet (plast, stål og avtrettingsmasse) er også vurdert og tatt med i en helhetsbetraktning. I samsvar med prosjektets mål om å bli et plussbygg vil det i oppgaven være hovedvekt på energi, fremfor klimagasser tilknyttet konstruksjonen. Imidlertid er det ofte et nært slektskap mellom de to.

Det er tidligere gjort lite konkret forskning på totalt energiforbruk tilknyttet en bygningskomponent. Det er derfor lagt ned mye arbeid i å skaffe til veie pålitelig informasjon som har dannet grunnlag for estimater på energiforbruk tilknyttet materialer, produksjonsprosesser, samt transport til byggeplass og av råvare. I tillegg er FABEKOs EPD-kalkulator benyttet for å utvikle miljødeklarasjoner for betonger analysert i oppgaven.

Det er utført en teoretisk overslagsberegning som gjør det mulig å anslå materialvolum i henhold til dagens standardverk for tre konstruksjonskonsepter; BubbleDeck, hulldekker og flatdekke. For å kunne sammenligne de tre løsningene på et generelt grunnlag er det utviklet en konstruksjonmodell. Beregningene er utført i tråd med konstruksjonsmodellen, og tar ikke spesielle geometriske hensyn for Powerhouse One. I tillegg til de teoretiske verdiene er det innhentet erfaringstall på materialbruk fra tilsvarende konstruksjoner. Materialbruken vil avhenge sterkt av valg gjort i det spesifikke prosjekt og det er derfor her forsøkt å generalisere verdier.

Oppbygning

Denne oppgaven er skrevet som en veileder til hvordan viktige komponenter i en konstruksjon kan vurderes ut fra hensyn til energibelastning. Oppgaven er basert på føringer lagt for Brattørkaia 17A, men er videre generalisert slik at den kan benyttes i vurderinger av tilsvarende bygg. Grunnlaget for oppgavens oppbygning ble dannet i januar, under et møte med flere involverte parter i Powerhouseprosjektet. Siden energi bundet i bæresystemet er et forholdsvis nytt fokusområde hvor det foreløpig finnes lite konkret arbeid, var det naturlig nok usikkerhet rundt viktige valg tilknyttet bærekonstruksjonen. En helhetlig vurdering av et bæresystems energieffektivitet krever involvering av forskjellige fagfelt: arkitektur, energi, konstruksjon og materialteknologi. Hvilket igjen vil medføre at en beslutning innen ett av fagområdene vil kunne få konsekvenser som berører et annet. På grunnlag av usikkerhet rundt bærekonstruksjon og ringvirkninger ved valg av denne falt det seg naturlig at oppgaven ble skrevet som en veileder. Det ble besluttet, i samråd med veileder, at oppgaven skulle fokusere på innebygget energi fremfor klimagasser. Klimaregnskap er derfor behandlet i mindre grad. Idet målsetningen er å finne den optimale løsningen totalt sett, er det innen de gitte tidsrammer forsøkt å inkludere den informasjon som antas som nyttig fra de berørte fagområdene. Det er i den forbindelse forsøkt å gi en oversikt over materialenes muligheter, konstruksjonskonseptenes fordeler, samt over tilgjengelige verktøy for miljøvurderinger. Dette vil nok medføre at noe av informasjonen vil virke overflødig på leseren, avhengig av leserens bakgrunn. Estimater og beregninger vurderes fortløpende under deres tilhørende kapitler.

Begrensninger

Opgaven er gjennomført som en modellstudie, der vurderinger gjøres for et enkelt modelldekke, bestående av selve dekket, tilhørende søyler og eventuelle bjelker. Det er ikke utført konkrete analyser for Powerhouse One. Materialer som ikke inngår i bæresystemet er ikke inkludert i oppgaven. Avstiving, grunnarbeider og kjeller er heller ikke vurdert utover at det er hentet inn erfaringstall fra tidligere prosjekter.

Vurdering av bidrag fra avhending, riving eller potensielt gjenbruk er ikke inkludert i oppgaven.

Masteroppgaven er ikke en videreføring av prosjektoppgave og har ingen relasjon til andre tidligere oppgaver, og er i så måte et selvstendig arbeid utført i løpet av vårsemesteret 2012.

Kapittel 2

Powerhouse One

I november 2010 gikk viktige aktører i Norges byggenæring sammen om oppføring av et energieffektivt signalbygg. I 2012 har planene materialisert seg i form av et planlagt kontorbygg på Brattørkaia i Trondheim som i løpet av levetiden skal levere mer energi enn det konsumerer, et såkalt pluss- bygg.

Powerhouse One skal utvikles av Powerhouse Alliansen, med Brattørkaia AS som prosjekteier og oppdragsgiver. De involverte i Powerhouse-alliansen er: Skanska, Snøhetta, Hydro, ZERO og Entra Eiendom. Norges første pluss-kontorbygg er planlagt med byggestart i 2013, forutsatt nødvendige godkjenninger, og forventet ferdigstillelse i 2015. Bygget er tenkt oppført med tradisjonelt, dog optimalisert, bæresystem. Konstruksjonen er formgitt etter beliggenhet og formål om produksjon av energi. Energiproduksjonen besørger dels av solceller på tak og fasade, i tillegg til varmepumpeanlegg i fjorden som skal dekke alt oppvarmingsbehov samt halvparten av tappevannbehovet. Alle løsninger er designet for lavest mulig energiforbruk.

2.1 Konsept

Adressen er Brattørkaia 17A. Beliggenheten er en viktig del av konseptet og er et infrastrukturelt knutepunkt for kollektiv trafikk i Trondheim. Med sjøen som nærmeste nabo er det mulig å optimalisere lokal energiproduksjon, både ved å utnytte varme fra sjøen til oppvarmingsbehov, samt at nærliggende bygninger ikke hindrer solinnstråling. Kontorbygget er prosjektert med et areal på 16 000 m² BTA pluss parkeringskjeller. Arealene kan utgjøre ca. 750 kontorplasser distribuert over 10 kontoretasjer med avtagende etasjestørrelse proporsjonalt med stigende høyde. I tillegg er det lagt opp til en grønn, indre gård i atriet som er planlagt å kunne huse kulturelle tilbud.



Figur 2.1: Brattørkaia [foto: Brattøra.no]

Data fra skisseprosjektet:

Areal:	16358 m ² BTA
Etasjer:	12+ P-kjeller
Kalkulert energiforbruk:	21 kWh/ m ² år
Kalkulert energiproduksjon:	49 kWh/ m ² år
Bundet energi:	22 kWh/ m ² år
Forventet levetid:	60 år
Himlingshøyde:	2,80 m
Takareal:	2416 m ²

Verdien på bundet energi per år beregnet i skisseprosjektet er 22 kWh/ m². Denne verdien forventes å stige i videreutviklingen av prosjektet ettersom beregningen mangler viktige poster. Eksempelvis er deler av byggets avstivings - og bæresystem utelatt i beregningene. Kvaliteten på inputdata for beregningene er også usikker. Solceller og fasaden i glass og aluminium har manifestert seg som de største bidragsyterne til innebygget energi.

2.2 Energiløsninger

Et plusshus skal ikke bare være energigjerrig og driftsoptimalisert, men må også produsere energi. I tillegg skal Powerhouse One også være klimanøytralt. Ved å utfordre eksisterende byggekonvensjoner er det utviklet løsninger som er preget av høy grad av innovasjon.

Løsningene skal være miljøledende og samtidig kostnadseffektive, og med langsiktig mål om å drive industrien fremover.

Byggets levetid er i beregningene satt til 60 år. Energi til brukerstyr som datamaskiner, AV ol. er ikke inkludert i energiregnskapet.

Sammenlignet med et tilsvarende kontorbygg etter dagens standard, er den årlige energibesparelsen i skissefasen estimert til omkring 3 millioner kWh - tilsvarende energiforbruket til mer enn 100 eneboliger.



Figur 2.2: Taket heller 26° for å utnytte solenergien [tegning: Snøhetta].

Hovedtiltak for å oppnå positiv energibalanse og klimanøytralitet for Powerhouse One er:

- Energieffektiv bygningskropp
- Behovsstyring
- Minimalisering av innebygget energi
- Varmeutveksling med sjøen - varmepumpe
- Lokal energiproduksjon med solceller
- Utnyttelse av materialenes termiske masse
- Dagslysutnyttelse

Bygget skal oppføres med superisolert klimaskjerm med minimale luftlekkasjer og kuldebroer. Ventilasjonsstrategien baserer seg på tilluft via et trykksatt oppbygget

gulv, noe som gir lave trykkfall og dermed lav SFP-faktor (specific fan power). Utnyttelse av betongens termiske egenskaper ved eksponert betong i himling og i plenumskammer, gir mindre temperatursvingninger og gjør det mulig å unngå mekanisk kjøling. I sommerhalvåret kan nattkjøling utnyttes til avkjøling av bygget, og systemet med tilluft via det oppbygde gulvet vil gi god varmeutveksling med den termiske massen i dekkene.

Ulempen med de valgte fasadene er mye bundet energi, noe som øker kravene om redusert materialbruk for ikke-produserende komponenter i bæresystemet. Det fokuseres derfor på å maksimere spenn og stabilitet med minst mulig materialbruk. Bygget er designet med et sirkulært uterom som besørger dagslys til kontorarealene. For å minimere varmetap vil det generelt lønne seg med et kompakt bygg. For kompakte bygg er det en utfordring i det å kunne oppnå naturlige lysforhold, noe som kan medføre økt behov for elektrisk belysning. Dette er bare en av motsetningene som må tas stilling til i prosjektet, ved å vurdere hvilke føringer som veier tyngst.



Figur 2.3: Powehouse One fra bysiden [tegning: Snøhetta]

2.3 Arkitektur

Det modernistiske konseptet 'form følger funksjon' har med Powerhouse blitt videreført til 'form følger miljø'. Det estetiske uttrykket er utviklet for maksimal utnyttelse av solenergi. Sørfasaden har 26 grader helning for optimalisert solcellebasert energiproduksjon på

årsbasis. Dette resulterer i økt takflate per regulert areal. Imidlertid har kommunens innvendinger mot prosjektet dreid seg om byggehøyden som går utover reguleringsplanen og som er en direkte konsekvens av den skrå takflaten. Bygget, som reiser seg opp mot fjorden i nord, henvender seg lavere mot byen i sør. Den sirkulære søylen som går gjennom bygget ses som en ellipse fra bysiden da taket skjærer sirkelen med helningen. Bygningens form tar også hensyn til føringer som fri siktlinje fra byen.

2.4 Oppgavens relasjon til Powerhouse One

Undertegnede ble involvert i prosjektet i slutten av januar 2012 i forbindelse med masteroppgave. Føringer for oppgaven er ikke de samme som for prosjektet, og dimensjonering og vurderinger er gjort på en generell basis på områder anmodet av prosjektet.

Oppgaven er skrevet med utgangspunkt i hovedmålsetningen i Powerhouse One prosjektet: 'Bygget skal gjennom driftsfasen produsere mer fornybar energi enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget'. Oppgaven ser spesielt på første parameter i målsetningen - energi forbundet med byggevarene til oppføring av bygget. Selve oppføringsprosessen vil også behandles i mindre grad. Energi relatert til drift og avhending vil ikke behandles i denne oppgaven. Energikilde og forsyningssystem vil heller ikke bli kommentert

Kapittel 3

Termisk masse

Energiregnskapene i denne oppgaven er begrenset til energiforbruk tilknyttet bæresystemet frem til ferdigstilling av konstruksjonen. I en totalvurdering må bæresystemet vurderes etter hvor energieffektivt det er gjennom bygningens livsløp. Enkelte løsninger vil kreve mer vedlikehold enn andre, mens noen bidrar energimessig etter avhending i form av resirkulering, andre materialer bidrar til å redusere energiforbruket under drift.

Den mest utbredte måten å regulere temperatur på, samt å tilføre frisk og samtidig fjerne brukt luft på i dagens kontorbygg, er ved bruk av mekanisk balansert ventilasjon. Tettere bygg og høyere krav til luftmengder gjør at ventilasjonsanleggene bidrar til en stor del av energikostnadene i dagens kontorbygg [25].

Temperaturen i et rom er avhengig av utetemperatur og intern varmeavgivelse fra mennesker, lys og teknisk utstyr. For å redusere kjølebehovet kan noe av den overflødig varmen lagres i konstruksjonen. Termiske lagre i bygningskroppen refereres til som *termisk masse*. På vinterstid kan oppvarming på dagtid lagres i konstruksjonen og frigis om natten, og dermed redusere oppvarmingsbehovet påfølgende dag. På sommeren kan overflødig varme absorberes og redusere kjølebehovet på dagtid. Dermed kan energibehovet til kjøling og varmeinstallasjoner reduseres. Kort sagt vil termisk masse kunne dempe temperatursvingninger og dermed gi ønsket termisk komfort i driftstiden ved lavere energiforbruk.

Betong har spesielt gode egenskaper for varmelagring. Den representerer ofte et stort volum, hvilket i første omgang, er en forutsetning for å få effekt av den termiske massen, men som i neste omgang kan føre til en konflikt mellom energibesparelse ved investeringstidspunkt eller i drift. For å redusere konstruksjonens innebygde energi er det ønskelig å minimere betongvolumet, mens man samtidig ønsker bidrag fra den termiske massen i driftsfasen, hvilket igjen krever et visst betongvolum. Energibesparelse i driftsfasen

må derfor vurderes opp mot betydningen av økt bundet energi i konstruksjonen, og simuleringer gjøres for å finne optimal fordeling.

3.1 Varmelagringsteori

Alle materialer utveksler varme med omgivelsene. Materialenes spesifikke varmekapasitet (c_p), densitet (ρ) og tykkelse (d) avgjør hvor mye varme som må tilføres for å øke temperaturen i materialet én grad [32]. Bygningskomponenter består ofte av flere lag av forskjellige materialer. Den totale varmekapasiteten for komponenten er summen av kapasiteten til hvert lag, i:

$$C_T = \sum_n d_i \rho_i c_{p,i} \quad (3.1.1)$$

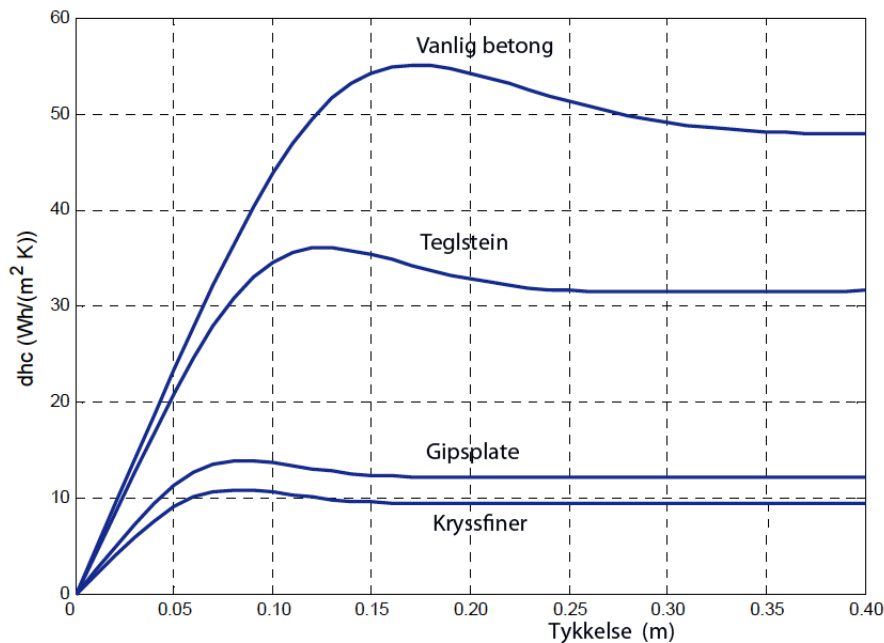
I tillegg har rekkefølgen på lagene og deres varmeledningsevne (konduksjonstall λ) betydning for blant annet hvor hurtig varmen sprer seg i materialet, beskrevet som termisk diffusivitet (κ).

$$\beta = \sqrt[2]{\lambda \rho c_p} \quad (3.1.2)$$

Tabell 3.1.1: Egenskaper for typiske bygningsmaterialer ([20] [24])

Material	Ledningsevne λ (W/m K)	Tetthet ρ (kg/m ³)	Spesifikk varmekapasitet c_p (J/kg K)
Glass	1.05	2500	750
Stål	45	7800	480
Betong	1.80	2400	840
Lettbetong	0.2	620	840
Gipsplate	0.16	800	1090
Kryssfiner	0.15	700	1420
Furu, gran	0.12	510	1380
Steinull	0.03	100	710
Linoleum	0.19	1200	1470

Det finnes flere tilnærminger for å beskrive varmelagringen i et rom eller en bygning. En av metodene er DHC (Diurnal Heat Capacity). DHC er et mål på evnen til å absorbere varme fra inneluften og frigi den til rommet på nattetid. Figur 3.1 viser hvordan DHC varierer med tykkelsen av kjente bygningsmaterialer. DHC øker med tykkelsen opp til omtrent 10 - 20 cm, avhengig av materialet. Annen forskning på området har vist at mesteparten av den gjenvinnbare varmen i de første 5 cm av laget og i dybder over 10 cm gir liten ekstra effekt [32].



Figur 3.1: DHC vs tykkelse for ulike materialer

Simuleringer for varmelagring i hulldekker sammenlignet med massivdekker (flatdekke), viser at, for et typisk kontorlokale, var det minimal forskjell på kjøleeffekten mellom dekkene [83]. Dette er til tross for at hulldekker kun har 2 - 2,5 cm tykt lag med betong i nedre del av dekket. Uthulingene representerer luftvolum i deler av i dekketverrsnittet, men dette viste seg å ha lite effekt på dekkets totale varmelagringskapasitet. For de minste dekketverrsnittene reduseres den passive kjøleeffekten med ca 15%, og for større dekker betydelig mindre, sammenlignet med massivtverrsnitt [33]. Dermed har en fortsatt minimum 85 % av maks passiv kjøleeffekt ved bruk av huldekker kontra flatdekker. Dekkeløsningen BubbleDeck, beskrevet under kapittel 6.4, har 7 cm nedre platetykkelse, samt at betong fyller område mellom plastkuler, og antas derfor å ha tilsvarende varmelagringskapasitet som et massivt tverrsnitt. Det gjenstår å få bekreftet simuleringene med faktiske målinger av en virkelig konstruksjon.

For at den termiske massen skal kunne utnyttet effektivt, må materialet være direkte eksponert for luften det skal regulere. Enhver form for barriere mellom inneluft og den termiske massen vil hemme varmeoverføringen, og kun en begrenset mengde varme blir absorbert og overført til de indre lagene. Overflatematerialer som tapet, himling og gipsplater frikobler i stor grad den termiske massen fra rommet og reduserer dermed varmelagringen. Eksempelvis vil en betongvegg oppføre seg som en 'lett' konstruksjonsdel dersom den er skilt fra rommet med isolasjon. Utforming med luftspalte vil eksempelvis

halvere den termiske massens kapasitet [32].

Generelle parametere som påvirker effektiviteten av termisk masse

I tillegg til materialegenskapene påvirkes også den termiske massens effektivitet av plassering, lufttilførsel og klima. Den termiske massen fungerer best når den er distribuert i rommet. Vegger og himlinger har ofte god lufttilførsel og er særlig effektive i denne sammenheng, i motsetning til gulv som er et området hvor termisk masse har mindre potensial for å regulere innetemperatur.

For at den termiske massen skal aktiveres må det være en viss temperaturvariasjon og nattventilasjon er en forutsetning for høy utnyttelse. Dermed lønner ikke bruk av termisk masse seg i rom som krever konstant temperatur. Rom med døgnbemanning (eks. sykehus) vil ha lav effekt av den termiske massen, mens kontorbygg er særlig aktuelle.

Termisk masse utnyttes best i geografiske områder med store døgnvariasjoner i temperatur [30]. Her vil man, vintersid, lagre energi gjennom dagen som så overføres til inneklime i løpet av natten og dermed reduserer oppvarmingsbehovet påfølgende dag. På sommertid skjer det motsatte, ved at kald natteluft benyttes til å avkjøle konstruksjonen og dermed redusere kjølebehov neste dag. for å her å kunne utnytte fordelene av varmekjøling til oppvarming om natten eller avkjøling av konstruksjonen.

Utfordringer tilknyttet bruk av termisk masse

Materialer med god varmelagringssevne representerer ofte de mest ugunstige overflatene når det gjelder absorpsjon av lyd. Betong har lydabsorpsjonskoeffisient $\alpha = 0,02$, til sammenligning har mer porøse materialer som vanligvis benyttes i himlinger opp til $\alpha = 0,80$, avhengig av lydfrekvens. Det vil si at akustikk må håndteres spesielt i tunge konstruksjoner med eksponerte overflater.

Bruk av tunge materialer krever også bevisst planlegging med hensyn på effektiv arealutnyttelse. Tunge materialer kan redusere byggets fleksibilitet, dvs evne til endring i indre hovedstruktur over natten, for eksempel fra kontor til åpent landskap [56].

3.2 Potensial for energibesparelse

Som beskrevet tidligere, er det mange parametere som kan få betydning for den termiske massens kapasitet og utnyttelse. Det er store variasjoner i data for hva som er mulig å oppnå av temperaturutjevning og energibesparelse ved utnyttelse av termisk masse.

En studie viser at termisk masse kombinert med nattventilasjon kan redusere maksimal innendørs temperatur med 2°C - 6°C, forutsatt at minste døgnvariasjon i temperatur er 5°C - 10°C. Reduksjonen i kjøleenergi kan spenne fra 5 - 35 %, og det har vist seg at, i kombinasjon med natteventilasjon, termisk masse alene kan dekke kjølebehovet i moderate klima. Andre studier viser også redusert oppvarmingsbehov på mellom 15% og 20 % for tunge bygg [32]. I en studie utført på betong - og trebygg brukte betongkonstruksjonen 7,5 kWh/m², tilsvarende 15,7 %, mindre energi til oppvarming sammenlignet med trekonstruksjonen [26].

Høseggen (2008) registrerte i sitt doktorgradstudie at et norsk kontorbygg hadde 2 - 3°C reduksjon i temperaturens døgnvariasjon og 1 - 2°C reduksjon i maksimum operativ temperatur¹ i såkalte 'tunge rom'. Et tungt rom tåler dermed høyere temperaturlaster på dagtid, med forbehold om at det ventileres utenom arbeidstid. Behovet for mekanisk kjøling utgikk og for det aktuelle kontorygget førte bruk av termisk masse til en reduksjon i oppvarmingsbehov tilsvarende 3 -7 % på årsbasis.

Simuleringer og beregninger kan synliggjøre mulige energibesparelser også for ulike dekkelsesninger for betong, samt betong med varierende densitet og luftvolum [83]

3.3 Simulering av eksempelbygg

For å undersøke hvorvidt en utstrakt bruk av eksponerte flater med høy varmekapasitet og gode konveksjonsbetingelser, i bygget bidrar til å redusere amplitudene i temperaturforløpet gjennom et døgn og dermed redusere behovet for oppvarming/kjøling, er det for denne oppgaven gjort innledende beregninger med simuleringsverktøyet Simien [4]. Simien er ikke skapt for detaljsimulering av bygningskomponenter men gir et bra bilde over forventet energiforbruk for ulike løsninger.

Om SIMIEN

SIMIEN er utviklet av Programbyggerne og baserer seg på en dynamisk modell av bygningen hvor tilstanden beregnes med intervaller på 15 minutter. Påtrykk fra klima (sol, vind, temperatur, luftfuktighet og CO₂-nivå), internlaster (belysning, teknisk utstyr, vannoppvarming og personer) brukes for å beregne endring av tilstanden i bygningen fra et tidspunkt til neste. Det tas hensyn til varmelagring og varmeavgivelse fra bygningskroppen. Simuleringen følger modellen for dynamisk simulering av energibehov beskrevet i NS 3031:2007.

¹operativ temperatur er aritmetisk gjennomsnitt av lufttemperatur og overflatetemperatur

Om simuleringen:

Bygget ble simulert med normaliserte verdier for driftstider, setpunktstemperaturer, effekt og varmetilskudd fra internlast, samt minimumsverdier for spesifikk luftmengde. Disse bestemmes ut i fra bygningskategori, her 'Kontorbygg', og finnes i sin helhet i NS 3031 vedlegg A.

Bygget ble simulert som et standardisert bygg med areal 10 000 m². Det ble laget to versjoner, en hvor vegger, himling og gulv var eksponert betong (minimum 100mm) med varmekapasitet lik 63,0 Wh/m²K og varmeledningsevne 1,8 W/mK, samt et identisk bygg med lette materialer (minimum 100mm, varmekapasitet 2,4 Wh/m²K og varmeledningsevne 0,16 W/mK) utenpå betong. Simuleringene ble så simulert over et år med identiske verdier for drift, klima etc. Forskjellen i simulert energibehov er vist under. Detaljert rapport for simuleringene kan finnes i vedlegg C.

Lett konstruksjon: 160,0 kWh/m² netto energibehov

Tung konstruksjon: 140,9 kWh/m² netto energibehov

Resultatet over, med reduksjon på 28,1 kWh/m² (17,6 %) per år, viser at det for et mellomstort kontorbygg kan være betydelig potensial for effektiv energibruk ved å ta hensyn til materialenes innebygde termiske masse ved prosjektering og oppføring. Denne energibesparelsen må vektes mot eventuell økning i innebygget energi som følge av større materialforbruk.

Kapittel 4

Verktøy for miljøvurdering

Det finnes i dag mange ulike verktøy for å kunne vurdere energieffektivitet og miljøbelastning. Dette kapitlet har som formål å gi en oversikt over tilgjengelige verktøy, klassifiseringssystemer, deklarasjoner og begreper som vil benyttes videre i denne oppgaven og som en kan møte i vurderinger av konstruksjoners innebygde energi.

4.1 LCA

En livsløpsanalyse, LCA, vurderer et produktsystems sannsynlige miljøeffekter gjennom dets livsløp [71]. Livsløpet tar for seg produktet fra råvareutvinning, via produksjon, bruk, eventuell gjenbruk og til endelig avhending; 'vugge til grav'. Miljøpåvirkninger kan være klimaforandringer, eller forbruk av råvarer og energi. Tilsvarende analyse kan også gjøres fra 'vugge til port', hvis det anses som mer hensiktsmessig. Det er viktig å merke seg at en LCA gir en oversikt over potensielle miljøpåvirkninger som ikke nødvendigvis samsvarer med de faktiske [44]. Metoden for gjennomføring av LCA er regulert av NS-EN 14040. Metoden deles inn i fire faser:

- a) fastsettelse av hensikt og omfang
- b) livsløpsregnskap (LCI)
- c) livsløpseffektvurdering (LCIA)
- d) livsløpstolkning

Først defineres hva som skal studeres, detaljnivå og tiltenkt bruk av studiet. I denne fasen fastsettes hvilket produktsystem som skal studeres (PCR), hvilke prosesser som inkluderes (systemgrenser) og hvilken enhet resultatet oppgis for (funksjonell enhet). Neste fase, livsløpsregnskapet (LCI), er regnskapet over inngangsdata til og utdata

fra det produktsystemet som vurderes. Her etableres nødvendige datagrunnlag. I livsløpseffektvurderingen (LCIA) vurderes den miljømessige betydningen av resultatene fra livsløpsregnskapet ved blant annet bruk av utslippsfaktorer. I siste fase av LCA-prosedyren, livsløpstolkningen, sammenfattes resultatene fra LCI eller LCIA (eller begge), for å danne et grunnlag for beslutning eller anbefaling.

4.2 LCA- verktøy

Livsløpsanalyse og tilhørende innsamling av relevant data er et omfattende arbeid. Det finnes både analyseverktøy og databaser som kan bidra til effektivisering av dette arbeidet, enten individuelt for de enkelte fasene eller for en fullverdig LCA. Ved bruk av slike verktøy er det særlig viktig at brukeren vet hva som ligger til grunn. Det er derfor viktig at slike programmer og databaser er transparente for brukeren. I og med at det gjøres mange valg og antakelser underveis, kan sammenligning mellom databaser være problematisk.

4.2.1 EcoInvent

EcoInvent versjon 2.2 er en database med miljødata fra over 4000 prosesser [5]. Dataene tilsvarende de fra LCI analyser som er beskrevet under kapittel 4.1; med inn- og utdata for vurderingen av produktsystemer. Databasen benyttes som bakgrunnsdata i blant annet SimaPro og EPD. Databasen drives av sveitsiske EcoInvent Center.

4.2.2 ReCiPe

ReCiPe er et dataverktøy for LCIA, nest siste fase i LCA (se kapittel 4.1). Det vil si at programmet bidrar til tolkning av resulterende miljødata generert i LCI-fasen. Hensikten er å konvertere den omfattende listen med resultatdata til noen få indikatorer på miljøkonsekvenser tilknyttet produktsystemet. Programmet genererer først 18 mellomindikatorer, eksempelvis 'global oppvarmingspotensial', en sammenfatting av effekten fra utslipp av forskjellige klimagasser. Deretter allokeres mellomindikatorerne ned til tre hovedindikatorer; 'helseskade', 'klimaskade' og 'skade på ressurstilgjengelighet'. Avslutningsvis får produktsystemet en total alvorlighetsgrad [11]. Alle faser er i analysen synlig for brukeren.

4.2.3 Simapro

SimaPro er et LCA- modelleringsprogram, som inneholder databaser med data for produkter og prosesser. Produktsystemer modelleres av bruker, og kobles opp mot databasene med miljøinformasjon for de aktuelle prosessene. Forskjellige tilnærmeringer til LCA er mulig og resultat generert av programmet er fullverdig LCA informasjon [44]. Programmet er utviklet av PRè.

4.2.4 Klimagassregnskap.no

Klimagassregnskap.no er en gratis web-basert modell for livsløpsberegninger av klimagassutslipp for bygg, og er utviklet av Statsbygg. Programmet, som utstrakt i bruk i Norge, er benyttet i beregninger av klimagassutslipp for Powerhouse i skisseprosjektet. Den siste versjon av modellen, versjon 3, kan både benyttes som et dokumentasjonsverktøy for ferdigstilte bygg (nye og gamle), samt som et planleggingsverktøy tidlig i prosjekteringen [28]. I og med at programmet kun beregner klimagassutslipp, gir det bare en begrenset livsløpsanalyse.

I programmet er bygget og dets funksjon er modellens funksjonelle enhet og livstiden er satt til 60 år. Utslipp forbundet med alle aktiviteter som inngår i bygging, drift og vedlikehold av bygget inkluderes i beregningen, uavhengig av hvor utslippet skjer. Beregningene inkluderer transport av materialer fra produksjonssted til byggeplass. Formelverket i modellen er enkelt i den forstand at aktivitetsdata multipliseres med tilhørende utslippsfaktorer og summeres til en helhet. Operative moduler i beregningene er:

- Materialer
- Energibruk i drift
- Transport i drift
- Bygging

Bygningsfunksjon, oppvarmet bruksareal og valg av utslippsfunksjon for elektrisitet er nøkkelparametere som må legges inn på overordnet nivå. Utover dette kan modulene anvendes enkeltvis. Materialmodulen består av to delmoduler: en tidligfasemodul og en modul for prosjektering. I tidligfasemodulen kreves det kun data om byggets funksjon, oppvarmet bruksareal og geometri. Materialmengdene beregnes basert på erfaringstall. I prosjekteringsmodulen kreves imidlertid langt mer detaljerte data om materialmengdene. Utslippsfaktorene som benyttes for materialdata er basert på 'vugge til port' og skal omfatte alle relevante strømmer fra råvareutvinning til fabrikkport. Den resterende delen av materialenes livssyklus (transport fra fabrikkport til byggeplass

og håndtering avfall fra byggeplass) blir kalkulert i separate moduler basert på lokalisering. De statlige programmene Framtidens Byer og FutureBuilt stiller krav om klimagassberegninger ved bruk av klimagassregnskap.no eller tilsvarende, og modellen inngår i klimagassberegningdelen i BREEAM-NOR.

4.3 Miljødeklarasjoner

En miljødeklarasjon skal oppsummere produktets LCA. Gjennom standardisering skal det sikres at miljøinformasjonen er sammenlignbar for ulike produkter innen samme produktgruppe, uavhengig av produsentens geografiske plassering [45].

4.3.1 EPD

Miljødeklarasjonen som er mest utbredt for byggematerialer i Norge, er Environmental Product Declaration (EPD). En EPD er en tredjepartskontrollert miljødeklarasjon som kortfattet beskriver et produkts miljøprofil. Kravene til hvordan en EPD skal utformes er spesifisert i ISO 14025 'Environmental Labels and Declarations, Type III' og ISO 21930 'Environmental declaration of building products'. ISO 14025 er generell og gjelder for alle typer produkter, mens ISO 21930 er en standard som bygger på ISO 14025, men er spesifikk for byggematerialer. Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner registrerer og godkjenner miljødeklarasjoner i Norge. En EPD skal synliggjøre de viktigste miljøeffektene av et produkt, samt hvor i livsløpet disse oppstår [45]. Her foretas det ingen vektning av miljøkriteriene eller tolkning av resultater. Til tross for at man kan se hvor i livsløpet belastningene oppstår, kan det være vanskelig å se hvilket materiale de er tilknyttet fordi en EPD ofte utvikles for et ferdig produkt fra en spesifikk produsent, bestående av mange materialer.

Produkter som er tilrettelagt for fremtidig gjenbruk, kan komme dårligere ut i en EPD id+ t produktet kan være materialkrevende pr. funksjonell enhet og dermed gi større ressursbelastning tilknyttet produksjonen. Dersom produktet gjenbrukes vil det i miljøregnskapet, på produksjonssiden, kun medregnes de prosesser som er utført for å klargjøre til gjenbruk.

Verktøy for EPD

Miljødeklarasjoner, som er laget spesifikt for denne oppgaven, er utarbeidet med ferdigbetongprodusentenes bransjeorganisasjon FABEKOs EPD-kalkulator i samarbeid med Kari Aarstad hos Unicon. Modellen er utviklet av Østfoldforskning. Det er viktig å

merke seg at EPD laget med ulike modeller ofte ikke er direkte sammenlignbare, da de kan ha ulike forutsetninger.

4.3.2 Svanemerket/ EU-blomsten

Stiftelsen Miljømerking forvalter de to miljømerkene Svanen (nordisk) og Blomsten (europeisk) i Norge. Innen hver produktgruppe tildeles lisenser til produsenter som kan dokumentere at de oppfyller alle krav i henhold til et kriteriedokument. Kravene baseres på et produkts LCA. Svanen og Blomsten har utviklet kriterier for henholdsvis 63 og 24 produkttyper [46]. Materialer og produkter som inngår i byggets bæresystem omfattes ikke av noen spesifikk produktgruppe. Mindre bygningskomponenter derimot, kan inngå i merkingen, eksempelvis 'byggningsplater', 'gulv', 'kjemiske byggeprodukter', 'vinduer og ytterdører'.

4.4 Vurderingsverktøy

Det finnes verktøy som kan hjelpe brukeren med å velge de mest miljøvennlige alternativene ut i fra den informasjon som er beskrevet tidligere i kapitlet.

4.4.1 EcoProduct

EcoProduct har til hensikt å tilrettelegge miljøriktig utvelgelse av materialer og produkter som inngår i et byggeprosjekt. Metoden består av et sett med kriterier som informasjonen fra produsentenes miljødeklarasjoner eller tilsvarende skal vurderes etter. Videre får produktet karakter etter hvordan ulike parametre kommer ut i forhold til en referanseverdi. Referanseverdiene representerer et gjennomsnitt av produkter med tilsvarende funksjon. Miljøprofilen fremstilles visuelt ved at produktet får karakteren rød, hvit eller grønn for hver av de ovennevnte områder, kombinert med en grafisk figur: sirkel, trekant og firkant. Der relevante opplysninger mangler, settes karakter rød [76]. Alle kan utføre en EcoProduct vurdering for et produkt.

Produktet tildeles karakter for følgende hovedområder:

Inneklima: emitterende og kreftfremkallende stoffer

Helse- og miljøfarlige stoffer: kjemikalier i produksjon og ferdig produkt

Drivhuseffekt: utslipp målt i CO₂-ekvivalenter

Ressursforbruk: råmaterialer, type og mengde energi, samt avfall

For å komme med i EcoProducts database stilles det krav til EPD som utgangspunkt for vurderingene. I databasen, som drives av Norsk Byggtjeneste oda AS, finnes ferdige bearbeidede miljøvurderinger basert på denne metoden. Verktøyet er utviklet av Sintef Byggforsk i samarbeid med NAL / ECOBOX, Grønn Byggallianse og Norsk Byggtjeneste.

4.5 Miljøklassifiseringer

Miljøklassifiseringer er en måte å synliggjøre et byggs miljøprofil for kunder, investorer og myndigheter, og på den måten stimulere til utvikling av mer miljøeffektive bygg. Internasjonale miljøklassifiseringssystemer muliggjør sammenligninger av prosjekter, også internasjonalt.

4.5.1 BREEAM NOR

BREEAM (Building Research Establishment's Assessment Method) er et miljøklassifiseringssystem for bygg og eiendom [41]. Formålet med BREEAM er å beskrive et byggs miljøytelse ved hjelp av vektning av ulike kategorier. Det blir delt ut poeng i ti kategorier som til sammen utgjør én samlet karakter på skalaen: Pass, Good, Very Good, Excellent, Outstanding. BREEAM NOR er den norske tilpasningen av BREEAM, og er første norske prosjekterings-, revisjons- og graderingsmetode på bygningsnivå [51]. BREEAM NOR er utviklet av Norwegian Green Building Council (NGBC), som i dag har 120 medlemsbedrifter. BREEAM NOR ble lansert 20. oktober 2011. BREEAM NOR deler inn i følgende kategorier:

1. Ledelse
2. Energi
3. Materialer
4. Vann
5. Helse og Inneklima
6. Transport
7. Arealplan og økologi
8. Avfall
9. Forurensing

$$\sum_{\text{kategori}} \text{Vekting} \cdot \text{Karakter} = \text{Totalkarakter} \quad (4.5.1)$$

Ligning 4.5.1 viser metoden som resulterer i en totalvurdering av et byggs miljøegenskaper. Energi og materialer blir vektet høyt. I og med at energi og innemiljø til sammen har nesten 40% av total vekt i BREEAM NOR, er dette de to viktigste parametrene.

Innen hvert av temaene er det videre oppdelt i ulike kriterier. Eksempelvis har området 'Energi' 15 kriterier og for hvert av dem er det mulig å oppnå et visst antall poeng. I kriteriet 'Ene 1: Energieffektivitet' kan man oppnå maksimalt 13 poeng, i 'Ene 23: Bygningskonstruksjonens energiytelse' (ny i BREEAM NOR) kan en oppnå 2 poeng, mens i de fleste andre kriterier kan man kun oppnå ett poeng [19]. I tillegg er det, for noen kriterier, oppgitt et minimums poengkrav for å få toppkarakterene Very Good eller Outstanding. Poeng oppnås etter hvor mye bedre bygget er enn et referansenivå. Eksempelvis får man poeng under 'Energieffektivitet', for resultater bedre enn hva som kreves for å oppnå Energikarakter C i Energimerkeordningen [51].

Sertifisering etter BREEAM og BREEAM NOR skal utføres av en kvalifisert tredje person, en såkalt Assessor (revisor), og kan utføres både på nye og eksisterende bygg.

4.5.2 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) er et miljøklassifiseringsystem tilsvarende BREEAM. Systemet har opprinnelse fra USA og eies av US Green Building Council (USGBC). Systemet er tilsvarende BREEAM i oppbygning med kategorier hvor man kan oppnå poeng gjennom å oppfylle forskjellige kriterier. Kategoriens maksimale poengsum representerer vektingen. Forskjellen mellom LEED og BREEAM ligger i hovedsak i hvilke kategorier og hvilken vekting de opererer med. LEEDsertifiseringer er rangert i følgende nivåer, etter oppnådd prosentandel av en total poengsum: Certified (36%), Silver (45%), Gold (55%), Platinum (75%) [79]. Det finnes pr. i dag ikke en selvstendig norsk versjon av LEED tilsvarende BREEAM NOR, men man kan like fullt få LEED sertifisering i Norge. Sertifisering skal utføres av en Profesjonell Akkreditør fra LEED og utstedes av Green Building Certification Institute. LEED standardene kommer ut i revidert versjon i oktober 2012.

For nybygg og eksisterende bygningsmasse er det 5 kategorier:

- Bærekraftig plassering (sustainable sites) (26poeng)
- Vann (10 poeng)
- Energi og klima (35 poeng)
- Materialer og ressurser (15 poeng)
- Inneklima (15 poeng)

I tillegg opereres det med to bonuskategorier. I kategorien 'nyskapende design' kan man få opptil 6 poeng for bærekraftige løsninger som ikke krediteres av de ovennevnte kategoriene. Kategorien 'lokal prioritet' kan gi opp til 4 poeng for aktiviteter som støtter lokalsamfunnet. Den største posten er imidlertid, som for BREEAM, energi og klima (32%), som i hovedsak tar for seg fornybar energi og energieffektive løsninger. Materialer og ressurser gir i hovedsak poeng for gjenbruk av bygningsmaterialer - og komponenter.

I tillegg til 'oppføring av bygg' og 'vedlikehold av eksisterende bygningsmasse' har LEED egne standarder for sertifisering av prosjekter innen syv spesifikke kategorier og sektorer som helsebygg, skoler og nabolag [7].

4.6 Statlige initiativ

I den siste tiden har det dukket opp flere statlige programmer som oppfordrer til økt fokus på energi og klimagassutslipp i oppføring av nybygg og rehabilitering av eksisterende bygningsmasse.

4.6.1 Framtidens byer

Framtidens byer er et samarbeid mellom staten og de 13 største byene i Norge [14]. Formålet er redusert klimagassutslipp og ett av fem prioriterte samarbeidsområder er 'energi i bygg', der ambisjonen er å bidra til flere lavutslipp - og nullutslippsbygg.

FutureBuilt

Under Framtidens Byer ligger programmet FutureBuilt, et samarbeid mellom Oslo - og Drammen kommune, Husbanken, Enova, Grønn Byggallianse og NAL [58]. FutureBuilt er et program som skal gå i perioden 2010 - 2020 med formål å fremme klimaeffektiv arkitektur og byutvikling i Oslo og Drammen. Målet er å realisere 25 - 35 forbildeprosjekter, som på kort sikt skal halvere klimagassutslipp fra transport, stasjonær energibruk og materialbruk i forhold til referansebygg. På lengre sikt er ambisjonen klimanøytrale bygg. I tillegg til å bidra med markedsføring og erfaringsoverføring, stiller programmet med kompetanse og ressurser på området.

4.6.2 REACH

REACH er EUs kjemikalierregelverk (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals) og har som formål å øke kontroll med produksjon, import, bruk og utslipp av

kjemikalier [10]. Via REACH er det kommet krav om registrering av stoffer som produseres og importeres i mengder over 1 tonn per år per produsent/ importør. Norge er underlagt REACH.

4.7 Lover og regler

Miljøinformasjonsloven pålegger alle virksomheter og offentlige organer å gi allmennheten tilgang på miljøinformasjon [45]. Dette bidrar blant annet til at flere produsenter utvikler miljødeklarasjoner og datablader for sine produkter. Alle bedrifter er pålagt å ha datablader på alle stoffer og kjemikalier. Miljødeklarasjonene benyttes blant annet til å gjøre riktige produktvalg i henhold til substitusjonsplikten som er nedfelt i Produktkontrollloven.

Kapittel 5

Materialenes innebygde energi

Bygningskroppen består tradisjonelt av tre hovedkomponenter: betong, stål og tre. Denne oppgaven er begrenset til å se nærmere på de to førstnevnte. I tillegg blir et annet materiale introdusert; termoplast som spiller en viktig rolle i dekkeløsningen BubbleDeck.

I et fullverdig energiregnskap for konstruksjonen må andre konstituerende materialer som glass, innvendig/utvendig kledning og gips nødvendigvis medregnes. For Powerhouse One vil også energi til produksjon av solceller ha betydning. Disse materialene er utenfor omfanget av denne oppgaven. I dette kapitlet vil stål og betong, med hovedvekt på sistnevnte, behandles med hensyn på tekniske egenskaper, CO₂- utslipp og innebygget energi. Innebygget energi for aktuelle betonger kan finnes i kapittel 5.6, data for stål finnes i kapittel 5.2. Konstruksjonskonseptene behandles under kapittel 6.

5.1 Generelt

I denne oppgaven omtales innebygget energi som all energiforbruk tilknyttet et produkt. Det inkluderer blant annet råvareuttak, prosessering og bearbeidelse av materialene, produksjonsprosess, montasje og transport. Energibruk i forbindelse med avhending er ikke inkludert i denne oppgaven. Materialenes innebygde energi som er oppgitt i dette kapitlet, er i hovedsak hentet fra materialenes miljødeklarasjon, EPD, se kapittel 4.3.1. EPDer som ikke er kommersielt tilgjengelige, men som er laget spesielt for prosjektet i samarbeid med Unicon, finnes i sin helhet i Vedlegg A. For vanlige prosjekter, utgjør materialenes innebygde energi omtrent 10% av det energiforbruket som er tilknyttet driftsfasen [57]. I Powerhouse prosjektet er alle løsninger tilpasset målet om lavest mulig energibruk, med svært energieffektive løsninger for ventilasjon, strømbruk og oppvarming. Bygningsmaterialene spiller dermed en langt større rolle i det totale

regnskapet, og er antatt å utgjøre omtrent 40% av det totale forbruket [64]. Materialenes innebygde energi får dermed stor betydning for å nå målet om energiproduksjon som overgår byggets energiforbruk.

5.2 Stål

Stål har generelt sett høy fasthet kombinert med duktilitet (bruddforlengelse), hvilket gjør det egnet til mange konstruksjonsformål. Den høye fastheten gjør at stål ofte benyttes som et forsterkende element, eller for muliggjøre slanke konstruksjoner.

Stål er en legering av jern som inneholder opp til 2,1% karbon [40]. Konstruksjonsstålene har betydelig lavere karboninnhold, samt flere legeringer. De grunnleggende prosesser for å fremstille stål har vært uforandret siden forrige århundre, men materialegenskaper er forbedret ved hjelp av nye legeringer og termiske bearbeidelsesmetoder.

Stålets kjemiske sammensetning har stor betydning for materialets egenskaper. For et gitt legeringsinnhold kan stålets egenskaper likevel endres med mekanisk og termisk bearbeidelse som har til hensikt å endre kornstrukturen, og dermed også materialets mekaniske egenskaper. Denne bearbeidelsen skjer i hovedsak ved valsing [40]. Både legering og videre behandling gir svært mange muligheter når det kommer til det å påvirke stålets egenskaper, slik at det kan tilpasses nøyaktig etter bruksområde.

Fremstillingen av stål fra råmateriale er en svært energikrevende prosess. Stål kan, i motsetning til mange andre materialer, gjenvinnes tilnærmet ubegrenset uten å miste sine fysiske egenskaper, og kan dermed fremstilles fra enten jernmalm og koks, eller fra stålskrap. For å fremstille stål fra skrap brukes omtrent 25 - 35% av energien som går med til å fremstille stål fra jernmalm [54]. I følge Stålforbundet er 50% av verdens stålproduksjon basert på skrap. Stålkonstruksjoner kan i noen tilfeller også gjenbrukes direkte.

Stålet spesifiseres etter fasthetsklasse (stålsort) og stålkvalitet. Fasthetsklassen angir flytespenning, mens stålkvaliteten angir den kjemiske sammensetningen, samt termisk og mekanisk bearbeidning. Vanlige konstruksjonsstål har flytespenning på 235 - 460 MPa. Det finnes langt flere stålvarianter og -produkter enn de som er nevnt her. Det er likevel valgt å fokusere kun på variantene som vil være av direkte betydning for valg av bæresystem. Armeringsstål kan utgjøre betydelige volumer både for plaststøpt betong og BubbleDeck. Spennstål vil bidra til det totale regnskapet for hulldekker. I bæresystem med hulldekker vil det i mange tilfeller velges bjelker og søyler i stål, og konstruksjonsstål til dette må medregnes. Typiske miljødata for stål er gitt i tabell og 5.2.2. Data er innhentet fra EPD for de respektive produktene.

5.2.1 Armering

Størstedelen av det armeringsstålet som benyttes i dag er kamstål B500C i forskjellige størrelser. Tallet, 500, angir karakteristisk flytgrense (i MPa) og siste bokstav angir duktilitetsklasse [12]. For armeringsstål er det her tatt utgangspunkt i Norges største produsent av armeringsprodukter, Celsa Armeringsstål AS. Råmaterialet for armeringsproduktene er i hovedsak stålskrap, og produktene er 100% resirkulerbare [13]. Dermed er ikke noe energi eller utslipp tilknyttet råvareproduksjon og utvinning. Største energi- og utslippspost er behandling og omsmelting av skrapjern, samt forming av armeringsproduktene. Kjerneprosessen utgjør kun 10% av energiforbruket, de resterende går til utforming av armeringsprodukter. Skrapstålet fraktes via sjøveien til stålverket. I 2010 utgjorde skrap fra Norge 88% av totalt materialforbruk, resten ble importert fra andre deler av Europa. Stålet produseres på stål - og valseverk i Mo i Rana. Der smeltes skrapstål i lysbueovn for så og støpes ut for videre prosessering. Stålelemlene vales deretter til armeringsprodukter. Data for armeringsstål i tabell 5.2.2 tar utgangspunkt i varmvalset stål utformet som kuttet og bøyd kamstål, armeringsnett og spesialiserte armeringsprodukter. Alt arbeid, inkludert intern transport frem til fabrikkport, er medregnet. Transport fra videreformidlingsfabrikk til byggeplass, samt eventuelle energikrevende arbeider på byggeplass (som for eksempel sveis) kommer i tillegg.

Celsa Steel Service videreformidler og etterbehandler armeringsproduktene på bestilling. De har avdelinger lokalisert i alle store norske byer, inkludert Trondheim. Transportavstand fra utsalgssted i Trondheim til Brattørkaia 17A er 1,7 km og bidraget fra transport i denne sammenheng neglisjeres.

5.2.2 Spennstål

Dersom en ønsker å få full forspenning av en konstruksjon, det vil si at betongen ikke får strekkspenninger i bruksgrensetilstanden, er det helt nødvendig å benytte høyfast stål. Dette skyldes at spennkreftene reduseres over tid på grunn av kryp og svinn i betong, i tillegg til relaksasjon i spennstålet som følge av at stålet utsettes for en konstant tøyning over tid [69]. Spennstål utføres derfor i høyfast stål med flytegrense opp til 960 MPa, men med vesentlig lavere duktilitet enn vanlig konstruksjonstål. Strekkfasthet på 1300-1400 MPa er vanlig. Stålet formes kaldtrukket til trådstål, og deretter spinnnes disse til stålwirer av forskjellige dimensjoner og senere til sammenbuntinger, omtalt som spenntau.

Stålet forspennes i spennbenk, hvoretter betongen støpes omkring i direkte kontakt med den forspente armeringen. Hulldekker ekstruderes med støpemaskiner over spennwirene på over 100 meter lange støpebaner. Produksjonen er vist i figur 5.1. For bruk i



Figur 5.1: Stenntau i spennbenken hos Contiga på Stjørdal

hulldekkeelementer er det vanlig med spenntau som består av 7 stålwirer [21].

Forutsetning for vurdering av innebygget energi for spennstål

Det finnes per i dag ingen EPD for spennstål. Spennstålet leveres typisk fra Spania og Kina. To produsenter av spennstål, svenske FNsteel Hjulsbro AB og østerrikske Voestalpine Austria Draht GmbH, som begge er godkjente av Kontrollrådet, har oppgitt sitt energiforbruk i produksjonen, i forbindelse med vurdering av energi bundet i spennstål i denne oppgaven. For produksjon av spenntau fra spenntråd ble det oppgitt at produksjon tilsvarte 0,66 MWh/tonn spenntau og 0,5 MWh/tonn spenntau, og CO₂-utslipp henholdsvis 7,2 og 5,6 kg/ tonn spenntau. I tillegg oppga FNsteelHjulsbro at energibruk etter råvareuttak hos dem tilsvarte 2,4 MJ/kg spenntråd med tilhørende klimagassutslipp 2 kg CO₂/ kg spenntråd. Østfoldforskning har oppgitt data for råvareproduksjon av spennstålet benyttet i EPD for HD265 i 2006. dette tilvarer 6,9 MJ/kg og 1,178 kg CO₂ /kg for høyfast stål av typen 37MnSi5 I. Totalt energibruk for spennstål er ut i fra dette estimert til 11,5 MJ/kg spennstål (FNsteelHjulsbro og Østfoldforskning).

5.2.3 Stålprofil

Stålprofiler utføres, som oftest, i vanlig konstruksjonsstål. Stålprofilene kan være varmvalsede eller kaldformede; med eller uten sveising. Noen profiler er tilgjengelige med begge formingsmetoder. Varmforming krever at stålblocken varmes kraftig opp (til temperaturer opp mot 650 grader for hulprofil og 1200 grader for åpne) før den vales og

gradvis endrer form til endelig tverrsnitt. Varmvalsingen alene utgjør omtrent 5 MJ/kg for HSQ profil [61]. Dette vil avhenge av hvor mye valsing som er nødvendig for å oppnå ønsket utforming. Som det fremgår av navnet, foregår forming av kaldformede profiler i kald tilstand. Formavvik for de kaldformede profilene er større enn for varmformede. I tillegg kan sveising medføre problemer. Ettersom oppvarmingstrinnet her er sløyfet er energiforbruket, og dermed også produksjonskostnadene, vesentlig lavere [40]. Dette kommer tydelig frem av tabell 5.2.1 der kaldformede hulprofil har lavest innebygget energi og varmvalset stålplate definitivt har høyest.

Tabell 5.2.1: Stålforbundets miljødata for stålprofil

Ståltype	Energiforbruk	Klimagassutslipp
	MJ/kg	CO ₂ eq/ kg
Varmformede hulprofil	14,3	0,9
Kaldformede sveiste hulprofil	11,3	0,3
Varmvalsede stålplater	24,8	1,2
Varmformede stålprofil	14,3	0,9

Et prosjekt gjennomført av Norsk Stålforbund, resulterte i fire miljødeklarasjoner i produktkategorien 'Steel as construction material'. Deklarasjonene er utviklet av SINTEF Byggforsk og var ferdigstilte i 2007. Miljødeklarasjonene tar for seg livsløpet fra 'vugge til port', med antatt gjenvinningsandel på 96%. Generiske data fra europeiske stålverk bearbeidet av International Iron and Steel Institute (IISI) er benyttet som utgangspunkt for produksjonsfasen. Transport til norske forhandlere er inkludert i regnskapet [37]. Faktisk energibruk og utslipp vil variere etter leverandør og produksjonssted. Ulik anvendelse av produktene og montasje vil gi utslag i vurdering av anvendelsesfasen, men dette påvirker sluttresultatet i mindre grad. Standard stålqualität S355 er forutsatt for alle fire profil. Energibruk for profilene er gitt i tabell 5.2.1.

Miljødeklarasjonene som er beskrevet ovenfor, er benyttet som inngangsdata til fire deklarasjoner tilvirket av elementprodusenten Contiga AS med utgangspunkt i produksjon på Kongsvinger. Verdier fra Contigas EPD er benyttet i tabell 5.2.2.

Stålbjelkene som det er tatt utgangspunkt i for beregninger i denne oppgaven, er Contigas miljødeklarasjon for HSQ profiler. EPD er laget på bakgrunn av Stålforbundets data for 'varmvalsede stålplater til bruk i bærende konstruksjoner' med tykkelse 5 - 60 mm og inkluderer leverandørspeifikke verdier som bla sveising til HSQ-profil. Tilsvarende profiler finnes også hos andre leverandører og det er ikke grunn til å tro at disse vil avvike i vesentlig grad. Energibruk og CO₂-utslipp tilknyttet HSQ-bjelker er gitt i tabell 5.2.2. For å muliggjøre sammenligning i tabellen, er postene 'byggeplass',

Tabell 5.2.2: Miljødata for stål

Ståltype	Typisk bruksområde	Energiforbruk		Klimagassutslipp
		Fossil MJ/kg	Total MJ/kg	CO ₂ eq CO ₂ eq/kg
Armeringstål	Armering	0,26	2,70	0,34
Spennstål	Spennarmering		11,5 0	3,20
HSQ profil	Bjelke	24,52	56,53	1,38
Varmformet hulprofil	Søyle	13,07	24,00	0,99
Kaldformet hulprofil	Søyle	10,27	19,54	0,80

'riving/deponi' samt 'transport' fra elementfabrikk ekskludert fra innebygget energi for samtlige profiler. Data for byggeplassaktiviteter og transport er angitt separat i henholdsvis tabell 5.11.1 og 5.12.3. Selv med de nevnte postene utelatt, er både innebygget energi og CO₂-utslipp doblet i HSQ bjelkene sammenlignet med verdier for de varmvalsedde stålplatene fra stålforbundet, som var utgangspunktet for Contigas EPD. EPD for HSQ-profil er gyldig frem til 13. august 2012, og data vil benyttes videre i oppgaven.

For hulprofilene utgjør overflatebehandling (sandblåsing, priming, lakk) og emballasje forskjellen mellom deklarasjonen fra Contiga og fra Stålforbundet. I prinsippet kan både varmformet og kaldformet hulprofil benyttes som søyle. I likhet med det som er tilfelle for bjelkene er det en vesentlig økning av energibruk og klimagassutslipp i forhold til data fra Stålforbundes EPD. Også disse profilene antas derfor å gjennomgå en energiintensiv etterbehandling.

5.3 Betong

Hovedbestanddelene i betong er sement, tilslag (stein, grius og sand), samt vann. I tillegg kan ulike tilsetningsmaterialer – og stoffer benyttes. Sement, tilslag og tilsetningsmaterialer behandles i dette kapittelet separat under henholdsvis delkapitlene 5.5.1, 5.5.3, 5.5.2.

Betong kan i stor grad skreddersys etter formål, hvilket innebærer at betongens innebygde energi vil avhenge av en spesifikk resept. Betong omtales etter den karakteristiske trykkfastheten som et prøvestykke av den aktuelle resepten skal ha oppnådd etter 28 døgns vannlagring [57]. På dette tidspunkt er ennå ikke hydratiseringen avsluttet og endelig trykkfasthet vil overgå det som er spesifisert. Eksempelvis er B30 en betegnelse på betong som har en karakteristisk

syldertrykkfasthet på minimum 30 MPa. Fastheten kan imidlertid oppnås med ulike materialsammensetninger. Det er dermed ikke mulig å oppgi generell data på innebygget energi og CO₂-utslipp for en betong kun ut fra spesifisert fasthet.

Betong er verken like sterkt eller robust som stål, men er likevel verdens mest benyttede bygningsmateriale [62]. Årsaken til dette er blant annet bestandighet mot vann, som langt overgår stål og tre, den ferske betongens mulighet til å tilpasses ulike utforminger kombinert med kostnadseffektivitet og høy tilgjengelighet. Betong benyttes i de fleste sammenhenger i kombinasjon med stål, først og fremst som armert betong.

Armeringsstålet kompenserer for betongens lave strekkstyrke, begrenser rissvidder og gir konstruksjonen en duktil oppførsel [69]. Betongens innebygde energi kan derfor ikke vurderes alene – armeringsbehovet må inngå i helhetsvurderingen. Materialbruk for konstruksjonsløsningene som betongene omtalt i dette kapitlet inngår i, er behandlet under kapittel 6.

Av de overnevnte årsaker inngår betong i de fleste bærekonstruksjoner, samt i andre type massive konstruksjoner. Et damanlegg og en brokonstruksjon stiller ulike krav til betongens materialegenskaper, og slike utfordringer har ført til at det i dag er utviklet mange ulike betongtyper, tilpasset forskjellige formål. Utover tradisjonell konstruksjonsbetong er de vanligste:

Selvkomprimerende betong, SKB

Spennbetong

Lavtemperaturbetong

Selvkomprimerende betong (SKB) er betong som grunnet særlig gode flytegenskaper kan komprimeres inn i alle deler av formen, også rundt armering, kun ved hjelp av egenvekt. SKB behøver derfor ingen vibrering [31]. Flytegenskapene oppnås ved høyere fraksjon av finstoff (sand, sement og tilsetningsmateriale), bruk av superplastiserende middel og restriksjoner på maksimal tilslagsstørrelse. SKB har et matriksvolum som overgår matriksvolumet for vanlig betong med omtrent 40 l/m³ [66]. Dersom økt sementforbruk alene står for økning i matriksvolum, vil dette føre til langt høyere innebygget energi for SKB enn for vanlig betong. Flytegenskaper kan også oppnås med andre fine partikler, som for eksempel flyveaske, men store mengder vil som regel gi en tregere herdeprosess. SKB gir ofte en raskere og mindre arbeidsintensiv utstøping og derigjennom en bedret HMS på byggeplassen. SKB vil ikke behandles videre i denne oppgaven.

I konstruksjoner med spennbetong benyttes ofte betong med høyere fasthet enn det som er vanlig for slakkarmerte konstruksjoner [69]. Dette er i hovedsak på grunn av høy trykkspenning påført ved forspenning, samt at betongfastheten kan utnyttes uten at deformasjonene blir for store. Vanlige fastheter er B35 – B55. Å oppnå minst mulig kryp

og svinn i betongen er viktig for å unngå tap av effektiv forspenning som disse langtidseffektene medfører [69]. Elementene kappes idet betongen har oppnådd en viss fasthet. For å oppnå en kort produksjonssyklus benyttes ofte hurtigherdende sement, for eksempel Norcem Industrisement, i kombinasjon med varme. Spennbetong for bruk i hulldekker behandles under kapittel 5.6.2.

Hydratisering av sement er en eksoterm reaksjon som fører til høy varmeutvikling med det resultat at betongen dermed utvider seg. Betongen har sjelden uniform temperaturfordeling i herdeprosessen. Overflatene vil avgi varme raskere enn kjernen, og kjernens utvidelse hindrer overflaten i å trekke seg sammen når varmen avtar. Denne indre fastholdningen fører til strekkspenninger i betongens overflate som igjen kan resultere i rissdannelse når temperaturgradientene i betongen blir store. Overflaterissene er sjelden av betydning for betongens stabilitet, men kan representere svake punkt i betongen. Verre er det med riss som forårsakes av ytre fastholdinger. I første del av herdeprosessen besitter betongen lite stivhet og kan utvide seg fritt mot omgivelsene. Når varmeutviklingen avtar og betongen begynner å trekke seg sammen har den utviklet heft til tilstøtende elementer, som ikke har gjennomgått samme temperaturendring, eksempelvis fundamentet eller eldre betongstruktur. Det tilstøtende elementet holder da igjen betongen fra å trekke seg sammen når betongen avkjøles og resultatet kan bli gjennomgående riss i betongen normalt på fastholding. Disse rissene er permanente og representerer et betydelig bestandighetsproblem [66]. Jo mer portlandsement i betongen, desto større varmeutvikling i herdefasen med tilsvarende store temperaturgradienter. Lavvarmebetong inneholder store mengder flygeaske, ofte i intervallet 30 –65 % av portlandsementmengden. Etersom flygeasken har en langsommere herdeutvikling har den også mindre herdevarme og redusert risstendens [17]. Norcems lavvarmesement er Anlegg FA (≤ 290 kJ/kg).

5.3.1 Lavkarbonbetong

Som følge av økt fokus på materialenes karbonavtrykk i de siste årene, har betegnelsen 'lavkarbon' om produkter med forholdsvis lavt karbonavtrykk dukket opp i byggebransjen. De statlige programmene Framtidens byer og FutureBuilt, se [58], har ført til en kraftig økning i etterspørselen etter såkalt 'lavkarbonbetong' [49]. Samtidig har sementprodusenten Norcem nylig lansert EPD for en sement med 35% substituttmateriale og 488 kg CO₂/ tonn sement. Dette tilsvarer følgelig omtrent 35% reduksjon av CO₂-utslipp sammenlignet med den tradisjonelle CEM I sementen, [60][59], og 50% reduksjon sammenlignet med sement benyttet på 90-tallet [42]. Sementen ble navngitt som Lavkarbonsement.

Sementprodusenten selv har ingen klar definisjon på hva lavkarbon er, men sementen



Figur 5.2: Rissutvikling på grunn av ytre fastholding[66]

oppfyller de to mest benyttede definisjonene tilknyttet betong i bransjen. Den ene definisjonen er direkte tilknyttet CO₂ utslipp, den andre til andel sement som er erstattet med et substitutt materiale - vanligvis flygeaske.

Utslipp av klimagasser ≤ 500 kg CO₂/ tonn sement

Substituering av sement $\geq 30\%$ flygeaskeinnhold

Tabell 5.3.1: Norbetongs lavkarbonklasser

Lavkarbonklasse	CO ₂ -ekvivalenter [kg/m ³]		
	B25 M60	B35 M(F)45	B45 M(F)40
LavKarbon A	200	210	230
LavKarbon B	220	250	270
Referanse	336	391	415

NorBetong har nylig innført Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp som viser hva som er mulig å oppnå av reduserte klimagassutslipp for de ulike bestandighetsklassene med dagens betongteknologi [49]. Den nye betongdatabasen i klimagassregnskap.no, versjon 4, som forventes publisert i løpet av 2012, er benyttet som bakgrunn for klasseinndelingen [67]. Grenseverdiene er beregnet med EPD-modellen til FABEKO, hvilket er samme modell som er benyttet for å evaluere energibruk og klimagassutslipp i denne oppgaven. Analysen omfatter råvarer, transport og produksjon. Betonger i lavkarbonklasse B er basert på Norcem FA-sementer. Klasse A er basert på lavkarbonsement eller FA-sement med ekstra tilsats av flygeaske. NorBetong

lover å i nærmeste fremtid kunne levere Lavkarbonbetong i klasse B fra alle fabrikker som benytter Norcem FA - sementer og klasse A på et begrenset antall fabrikker.

5.4 Regler og direktiver

Krav til betong reguleres av Norsk Standard NS- EN 206-1 'Betong – Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar'. I det nasjonale tillegget er det blant annet lagt føringer for det laveste tillatte masseforhold mellom sement og tilslag, samt andel tilsetningsmateriale som det er lov å tilsette betongen. Standarden er naturlig nok tilpasset vanlig betong, og med strengere miljøkrav og mer utstrakt bruk av tilsetningsmateriale, vil mange av dagens krav tvinges til å bli endret innen få år. Et eksempel på slike krav er kravet til 28 døgns fasthet i betongen.

5.4.1 Eksponeringsklasser

Eksponeringsklasser er en klassifisering i Norsk Standard av de ytre miljøbelastninger som betongen utsettes for i bruksfasen [72]. Eksponeringsklasser tilpasset norsk klima finnes i nasjonalt tillegg i standarden. Hensikten med eksponeringsklassifiseringen er å oppnå ønsket bestandighet for konstruksjonen. Dette er av særlig betydning for konstruksjoner i aggressivt miljø som for eksempel vann. Det er i alt 20 eksponeringsklasser basert på hvilke nedbrytingsmekanismer som er aktuelle. Bæresystemet i denne oppgaven tilhører eksponeringsklasse X0, definert som 'meget tørt' ytre miljø der betongen er uten risiko for nedbryting.

5.4.2 Bestandighetsklasser

Bestandighetsklasse reguleres av eksponeringsklassen, og angir mengdeforholdet mellom effektivt vanninnhold og bindemiddel (v/b) i fersk betong [72]. Forholdet har direkte innvirkning på betongens tetthet (porestruktur) og dermed beskyttelse mot inntrenging av aggressive substanser, og angir derfor forventet bestandighet. Bestandighetsklasse M40 tilsier at v/b må være lavere enn 0,40. Dermed korresponderer bestandighetsklassene og fasthetskrav.

For eksponeringsklasse X0 er tilhørende bestandighetsklasse M90, og alle bestandighetsklasser kan i prinsippet benyttes. Betongene i denne oppgaven har spesifiserte bestandighetsklasser slik at de samsvarer med masseforhold gitt av fasthetskravet til betongen.

5.4.3 Bruk av tilsetningsmaterialer

Hydrauliske og possolanske tilsetningsmaterialer kan medregnes i krav til minste sementinnhold og vann/ sement -forhold for betongsammensetningen, dersom det er påvist egnethet [72].

Virkningsgrad k

Mengden tilsetningsmateriale som skal tas hensyn til i betong reguleres av virkningsgraden k. Vann/ sement -forhold erstattes da av uttrykket:

$$\frac{\text{vann}}{(\text{sement} + k \cdot \text{tilsetningsmateriale})} = \text{masseforhold}$$

Følgende k-verdier skal benyttes ved tilsetning av flygeaske til betong som inneholder CEM I - sement (inneholder ikke tilsetningsmateriale fra før):

CEM I 32,5	k = 0,2
CEM II 42, 5 og høyere	k = 0,4

Det betyr at ved tilsetning av 100 kg flygeaske regnes dette som 40 kg sement. I mange land er det vanlig å benytte k = 0,7 for fasthetsutvikling, hvilket også er en konservativ antagelse med bakgrunn i 28 døgns fasthet som dimensjonerende.

Høyeste substitueringegrad

For flygeaske er den største mengden som kan medregnes:

$$\frac{\text{flygeaske}}{\text{sement}} \leq 0,33$$

Tilsetninger utover dette inkluderes ikke i masseforhold eller minste sementinnhold. For substitusjoner over 33% regnes k=0, det vil si at det er lov å *erstatte* sement opp til 33% av sementmasse, utover det kan flygeaske bare *tilsettes*.

Tilsvarende regler finnes for andre tilsetningsmaterialer, eksempelvis er maksimal tilsats av silikastøv som medregnes 11% av sementmasse og en kan da regne med virkningsgrad k=2 for v/b ≤ 0,45, for høyere masseforhold regnes det med k =1.

Maksimal tilsats av slagg som tas hensyn til er 80% av sementmasse, og virkningsfaktor er satt til k=0,6.

Betydning for betongen

Ved å øke andel finstoff (sement, flygeaske, slagg) øker også vannbehovet i og med at det blir større overflate som skal dekket med vann for hydratisering. I eksempelet over, ble 40 kg sement erstattet med 100 kg flygeaske. Vannbehovet vil øke i henhold til de ekstra 60 kiloene flygeaske, men 40 kilo blir angivende for tilslagsmengde, ut i fra krav til minste sementinnhold. Det blir vanskeligere å oppnå ønsket styrke i og med at styrken avhenger direkte av masseforholdet, der lavt forholdstall angir høyere forventet trykkfasthet. I tillegg øker betongkostnaden siden tilslaget er det mest kostnadseffektive av betongens delmaterialer.

Kravet til k er satt ut i fra kravet til bestandighet som blant annet omfatter karbonatisering av betongen etter 28 døgn. På dette tidspunktet har ikke sement med tilsetningsmaterialet nådd samme fasthet som betong med ren portlandsement, ettersom reaksjonen er mye tregere. Det samme gjelder betongens tetthet. En tettere betong, med finere porestruktur, oppnås først når store deler av bindemiddelet har reagert med vann. Dette vil også inntreffe på et senere tidspunkt for betong med tilsetningsmateriale [62]. Det foreligger, per i dag, ikke nok testresultater til å forutse nøyaktig hvordan betong med tilsetningsmateriale vil oppføre seg med hensyn på karbonatisering. Standardens anbefaling er derfor konservativ. Dersom bruken av flygeaske og slagg fortsetter å øke i samme tempo som hittil, og man får flere referanseprosjekter å vise til, kan en anta at standarden må tilpasses blandingssementene i større grad enn slik den foreligger i dag.

Avvik fra standarden

Standarden åpner for avvik fra krav til minste sementinnhold og største masseforhold ved bruk av tilsetningsmateriale, gjennom metode for 'Ekvivalente betongegenskaper' angitt i NA.5.2.5.3 i standarden. Metoden går ut på å dokumentere at betongen med den spesifikke sammensetningen har ekvivalente egenskaper med hensyn til respons på miljøbelastninger og bestandighet sammenlignet med en referansebetong innen samme eksponeringsklasse. Produksjonskilde og egenskaper for både betong og tilsetningsmateriale må være tydelig dokumentert, og egnethet må dokumenteres ved prøving.

Dersom det kan dokumenteres at egenskapene til den betongen som inneholder tilsetningsmateriale tilsvarer egenskapene til referansebetongen kan det regnes med virkningsgrad k for tilsetningsmaterialet opp til 1 for flygeaske. Total mengde tilsetningsmateriale bør fortsatt være innenfor grensene angitt av sementstandardens NS-EN 197-1, i tillegg til at effektiv bindemiddelmengde og masseforhold bør være innenfor de kravene som er angitt av aktuell eksponeringsklasse.

Dagens praksis er at de fleste bevisst avviker fra standarden dersom dette anses som mer praktisk (for eksempel med lavvarmebetong). Statens Vegvesen har gjort dette for flere prosjekter. AF har benyttet 65% flygeasketilsetning i Bjørvika og tilsvarende for kai på Sjursøya og Maridalsvannet renseanlegg [39].

Oppgavens forhold til substitusjonsgrad

I og med at konstruksjonene i denne oppgaven har eksponeringsklasse X0, er det ikke nødvendig å ta hensyn til bestandighetskrav. Det er derfor bevisst valgt å fravike standardens anbefaling om bruk av $k=0,4$ for flygeaske. Det er likeledes grunn til å tro at en virkningsgrad $k=1,0$ kan benyttes i konstruksjoner der fasthetskrav ligger til grunn, ettersom betong med flygeaske i moderate mengder har vist tilsvarende eller høyere fasthet over tid [39]. Det dimensjoneres etter verste lastsituasjon, det vil si når samtlige laster inntreffer, og det er ikke tilfelle under oppføring av bygget. Da ett av målene for denne oppgaven er å optimalisere bruken av materialene, er erstatning her gjort 1:1 med flygeaske for sement ($k=1,0$). Det er også utviklet EPD for betong med substitusjonsgrad som overskrider erstatningsgrensen på 33%. Det er viktig å merke at slike vurderinger må gjøres ut i fra det spesifikke prosjekt.

5.5 Betongens delmaterialer

Betong består av tilslag, sement, samt eventuelle tilsetningsmaterialer og - stoffer. Disse vil bli behandlet under dette kapittelet.

5.5.1 Sement

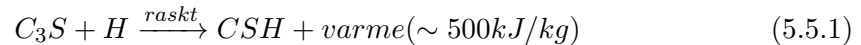
Sement er et hydraulisk bindemiddel. Det innebærer at sementen størkner og herder når den blandes med vann [72]. Sement utgjør hovedandelen av bindemiddel i betong.

Portlandsement er et finkornet pulver som fremstilles av kalkstein [1]. Kalkstein males sammen med en mindre andel korreksjonsmaterialer. Andel og type korreksjonsmaterialer kan variere, men kalkstein er alltid hovedbestanddelen (utgjør rundt 90%) i det som omtales som portlandsement [66].

Etter nedmaling kalsinereres råmelet før det brennes i lange roterende ovner på en temperatur opp til 1450 grader. Under brenningen sintres råmaterialet til partikler som omtales som klinker og som hovedsakelig består av kalsiumsilikater. Sammen med en mindre mengde gips males deretter klinkeren ned til fint pulver, portlandsement (CEM

I). Betongens viktigste miljøutfordring ligger i å redusere CO₂-utslipp og energiforbruk i forbindelse med produksjon av klinker[57].

Hovedkomponenten (55-60%) i tradisjonell portlandsement, alite (C₃S), reagerer raskt med vann til bindemiddelet CSH, og sørger dermed for betongens tidligfasthet. Varmeutviklingen under denne reaksjonen er betydelig. Reaksjonen er i enkelhet gitt i ligning 5.5.1. Andre komponenter i sementen sørger for fasthetsutvikling på senere stadie, sulfatresistans og lavere varmeutvikling.



Selv med moderne produksjonsutstyr - og anlegg, krever produksjonsprosessen en viss mengde tilført energi gitt av termodynamikkens lover. Sement vil derfor alltid ha et visst energiforbruk og klimagassutslipp tilknyttet seg. I dag reduseres sementens spesifikke energiforbruk ved å erstatte klinkeren med restmateriale fra andre industrier som er fritatt for energiansvar, slik som flyveaske, granulert jernovns slag og kalksteinsmel [38]. Disse tilleggsmaterialene benyttes med mer enn redusert miljøbelastning for øyet, da de kan være reaktive materialer som bidrar til styrkeutvikling, finere porestruktur og redusert varmeutvikling. Sementer med slike tilleggsmaterialer betegnes som portlandblandingssementer (CEM II). Andelen klinker for CEM II kan ikke være lavere enn 65% [2].

Konstruksjonssementer i Norge er underlagt standarden NS-EN 197-1 og NS 3086. Standarden klassifiserer sementer etter slutfasthet: 32,5, 42,5 og 52,5 MPa, med to varianter for tidligfasthet; R (rapid) for høy tidligfasthet og N for normal tidligfasthet.

Norcem, som er eiet av sement – og byggevaregruppen HeidelbergCement (som også eier NorBetong), er eneste produsent av sement i Norge. Andre sementleverandører som leverer sement i store volum er Cemex og Aalborg Portland.

5.5.2 Tilsetningsmateriale

Tilsetningsmateriale er finfordelt materiale som brukes i betong for å forbedre eller oppnå spesielle egenskaper [72]. I denne sammenheng er den ønskede egenskapen redusert innebygget energi. Økt fokus på bestandighet og klimaforbedrende tiltak har ført til økt bruk av tilsetningsmateriale de siste årene [57].

Tilsetningsmaterialene som omtales er avfallsstoffer fra annen næring og går dermed fri av energiansvar. Sementprodusentene uttaler i intervju vedlagt oppgaven at de ikke har sett indikasjoner på at avfallsproduktene skal ilegges noe av moderproduktets energibelastning i nærmeste fremtid.

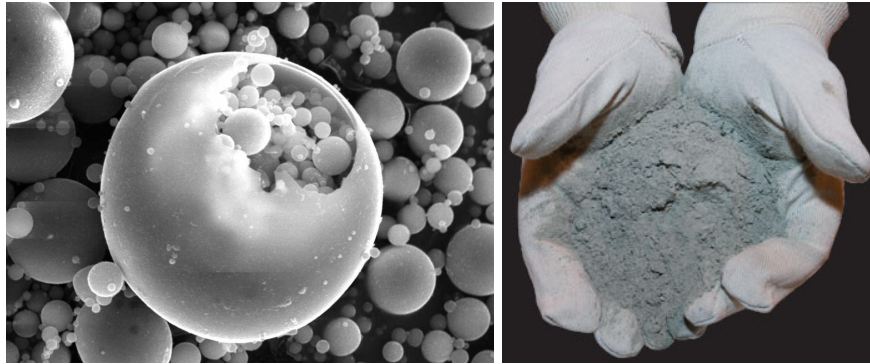
Tilsetningsmaterialene kan være reaktive eller inerte, og tilfører betongen ønskede effekter på grunn av sine fysiske eller kjemiske egenskaper. De kan enten males sammen med sementen, som er tilfelle med blandingssementene (CEM II), eller tilsettes direkte i betongen. Førstnevnte metode sikrer en mer uniform blanding og høyere reaktivitet [62]. Sistnevnte bidrar i mange tilfeller til bedret bearbeidelighet og i blant også lavere vannbehov. Tilsetningsmaterialene som er mest utbredt i bruk i Norge behandles i dette kapitlet. Tilsats av tilsetningsmateriale regulert av Norsk Standard er behandlet under kapittel 5.4.

Flygeaske

Flygeaske er et restprodukt fra kullfyrte kraftverk. Asken følger med røykgassene fra brennkamrene. Økt bevissthet på konsekvensene av å slippe ut de fine støvpartiklene i friluft var utgangspunktet for at flygeaske fikk bruksområde i betongen [62]. Flygeaske har, takket være sin positive effekt på flere av betongens egenskaper, i dag blitt handelsvare. Dette materialet som tidligere representerte et deponeringsproblem for kraftverkene fraktes nå med skip over landegrenser og selges til sementprodusentene. Det har den siste tiden vært vanskelig å dekke behovet for flygeask og mengden flygeaske i betong fra betongprodusentene begrenses i mange tilfeller av flygeaskens tilgjengelighet. I tillegg legger leveringmuligheter begrensninger på hvilke geografiske områder flygeaske tilbys i, ettersom asken bare finnes på silo i Brevik og på Slemmestad, og svært få betongprodusenter har en ekstra silo til oppbevaring av flygeaske [39]. Norcem uttaler i intervju at de regner med at tilgjengeligheten på flygeaske vil være tilstrekkelig i løpet av få år ettersom det er planlagt oppføring av flere kullfyrte kraftverk i Europa. Flygeasken som benyttes i Norge fraktes hovedsakelig fra Tyskland, Danmark og Nederland, men også fra andre europeiske land [38].

I Norge brukes flygeaske som delvis erstatning for sement i størrelsesorden 20 - 35 % [66].

Restproduktets egenskaper er avhengig av kulletts sammensetning og produksjonsprosessen, hvilket fører til at flygeasken varierer fra kraftverk til kraftverk [66]. Figur 5.3 viser et bilde av flygeaske på mikronivå. Partiklene er kuleformet, i noen tilfeller er de hule med eller uten ansamling av mindre partikler inni, og partikkelstørrelsen er i samme størrelsesorden som portlandsement. Kuleformen bidrar til lavere vannbehov for å oppnå god støpelighet [62]. Denne effekten kan antas å forsvinne når flygeaske males med sement i flygeaskesementer, som Norcem Standard FA med flygeaskeinnhold på 20 % [66]. Herdereaksjonene for flygeaske er langt tregere enn for portlandsement (partiklene reagerer ofte ikke i vesentlig grad de første dagene), hvilket bidrar til å jevne ut temperaturutvikling i betongen [62]. Dette er heldig med tanke på rissutvikling i massive konstruksjoner, men kan føre til utfordringer i



Figur 5.3: Flygeaske på mikronivå [62]

byggeprosessen og for elementindustrien grunnet treg fasthetsutvikling. Flygeaske har høyt aktiveringsenergi (større temperaturfølsomhet). Dette betyr at tilførsel av varme vil ha relativt større effekt på fasthetstilveksten for betong som inneholder flygeaske enn betong med vanlige bindemidler. Endelig fasthet på betong med flygeaske er derimot like høy eller høyere for betong med flygeaske [39].

Flygeaske er et pozzolansk materiale. Pozzolan er en gruppe stoffer som inneholder silikat og aluminat, med den egenskap at de danner bindestoffer (CSH) i reaksjon med kalsiumhydroksid (CH) og vann. CH dannes under hydratisering av sement og er mindre heldig for porestruktur. Reaksjonsproduktet (CSH) er tilsvarende bindemiddel som dannes ved reaksjon mellom sement og vann. På grunn av sitt relativt store bidrag til CSH, bidrar flygeaske også til en mer finfordelt porestruktur i betongen og er dermed med på å øke bestandighet mot kloridinntrengning. Ligning 5.5.2 viser pozzolanreaksjon i enkelhet.



I tillegg forbrukes alkalier når flygeaske reagerer med vann, og bidrar til å forhindre alkali-kisel reaksjon; (ekspanderende reaksjonen mellom alkalier i sementen og silisium i tilslaget). Dette er hovedårsaken til den utbredte bruken av sementen Norcem Standard FA.

Flygeaskens karboninnhold vil variere etter kulltype. Kjemiske tilsetningsstoffer med formål å stabilisere luftbobler for å sikre frostbestandighet adsorberes på karbonets porøse overflate. Betong med flygeaske med høyt innhold av karbon kan ha større behov for luftinnførende midler for å oppnå ønsket luftvolum [73].

Slagg

Slagg er et restprodukt fra jern- og stålindustrien [62]. På samme måte som med flygeaske, varierer slagget med det spesifikke materialet og industriprosessen det kommer fra. Slagget som benyttes i betong har alltid kalkinnhold over 40 %. For at slagget skal kunne benyttes i sement, er det nødvendig å bråkjøle slagget for å unngå krystallisering av ikke-reaktive komponenter. Slagg reagerer ikke med vann alene, og må aktiveres ved hjelp av kalsiumhydroksid eller kalsiumsulfat. I norsk slaggsement aktiveres slagget av kalsiumhydroksid som frigis under sementhydrering. I energisammenheng går slagg, på samme måte som flyveaske, fri av energiansvar. Det kan diskuteres om dette er riktig ettersom nødvendig behandlingen av slagget, fra smelte via bråkjøling til reaktive partikler, for bruk i sement er en prosess som nødvendigvis vil ha tilknyttet energi.

Slagg er et latent hydraulisk materiale. På samme måte som flygeaske, hydrerer slagg sakte. Slaggets styrkebidrag gir seg til kjenne etter en ukens tid med herding. Dette gjør at slagg er ganske lik i bruk som flygeasken [62]. Slagg gir betongen en finfordelt porestruktur og bedrer betongens bestandighet i aggressive miljø.

Slagg blandes tradisjonelt med portlandsement i mengde 30- 75 % av totalt bindemiddel. I Norge leverer Cemex slaggsementen Miljøsement med 34 % slagg [35]. Det kom nylig ut EPD for denne sementen, men det ble oppdaget en feil i datagrunnlaget og EPD er foreløpig trukket tilbake. Slaggsement blir derfor ikke med videre i energivurderingen i denne oppgaven.

Kalksteinsmel

Ettersom sementproduksjon ofte er lagt i umiddelbar nærhet til en kalksteingruve, er store mengder pulverisert kalkstein tilgjengelig til lave transportkostnader. Kalksteinsmel er tradisjonelt karakterisert som inert materiale i betongen, det vil si at det ikke i vesentlig grad reagerer kjemisk med de andre komponentene [81]. Den utstrakte bruken av kalksteinsmel er derfor begrunnet med materialets fysiske egenskaper fremfor de kjemiske, ved at det finmalte pulveret bidrar til tettere pakking i betongen, og en finere porestruktur. Dette øker både styrke og motstand mot inntregning av aggressive stoffer, som vann.

Det har i de siste par årene blitt publisert data på en mulig interaksjon mellom flygeaske og kalksteinsmel. Klaartje De Weerd (NTNU) dokumenterte i sin doktorgrad en vesentlig økning i betongens trykkfasthet når en andel av flygeasken ble erstattet med kalksteinsmel. Denne økningen var mest fremtredende når det ble benyttet 5 % kalksteinsmel og 30 % flygeaske, fremfor kun 35 % flygeaske. Ytterligere økning i andel

kalksteinmel hadde motsatt effekt (styrkereduksjon) [82]. Norcems Lavkarbonsement er basert på denne synergien [42].

Før kalksteinsmelet tilsettes betongen males det ned til pulverform, en prosess som krever energi [81]. Selv om denne energien er langt mindre enn det som kreves ved produksjon av sement, er kalksteinmelet likevel forbundet med noe energiforbruk. Ettersom kalksteinsmel vanligvis tilsettes i svært små kvanta, er denne energibruken neglisjerbar i betongsammenheng.

5.5.3 Tilslag

Tilslag er en fellesbetegnelse på sand- og grusmaterialer til betong. Tilslag utgjør typisk 65 – 75 % av betongens volum og 80 % av vekt [57]. Tradisjonelt har naturlig sand vært brukt i betong, men ettersom tilgjengelighet på naturlig sand reduseres i urbane områder, blir transportavstandene større. Dette fører til økt bruk av maskinknust sand [53]. Som vist i figur 5.4 består maskinsand av irregulære, flate partikler sammenlignet med natursand som har fått avslepet kantene over tusener av år. Førstnevnte har ulempen med at vannbehov, og dermed også sementbruk, øker på grunn av skarpe kanter som gir større overflate per volum. Samtidig kan skarpe kanter øke styrken [57].

I Norge er det fremdeles i stor grad nesten alt tilslag under 8 millimeter basert på naturgrus, mens fraksjoner større enn 8 millimeter kan være både basert på naturgrus og knust fjell.



Figur 5.4: Maskinknust sand (venstre) og natursand (høyre) [53]

Energibruk og klimagassutslipp tilknyttet tilslag er relatert til strømforbruk i knuseprosessen. Dette utgjør et svært lite bidrag sammenlignet med sement. Tilslagets energibidrag er omtrent 1,1 – 1,2 % av betongens innebygde energi og 0,4 % av CO₂-utslippet forbundet med betongen, avhengig av tilslagsandel, transportavstand fra

uttak og hvorvidt tilslaget er naturlig eller knust, samt type knuseprosess [80]. Økt mengde tilslag og redusert sementinnhold, vil derfor være forbundet med lavere innebygget energi.

Resirkulert betong henviser til betong med anvendelse av knust betong som tilslag. Bruk av en viss andel resirkulert tilslag (over 25 % i bygninger) gir ett poeng i britiske BREEAM, se 4 Dette er et tiltak for å redusere uttak av naturmaterialer. Det er sannsynlig at den energien som benyttes til knusing av gammel betong, samt frakt av betongtilslaget til leverandør, utligner energiforbruket tilknyttet produksjon av vanlig tilslag fra pukkverk. Det må imidlertid utarbeides helt spesielle resepter og kvalitetssikringsprosedyrer for bruk av knust resirkulert betong i ferdigbetong. Norske BREEAM NOR gir avfallspoeng for etterspørsel etter resirkulert tilslag [19].

5.6 Betongens innebygde energi

EPD, se 4.3.1, for betonger er laget i samarbeid med Kari Aarstad hos Unicon, ved hjelp av FABEKOs EPD-kalkulator. EPDene kan ikke anses som generiske, men er utviklet spesifikt for denne oppgaven. Det er likevel forsøkt å benytte resepter som har vært brukt i tilsvarende prosjekter og som er tilgjengelig hos leverandør.

5.6.1 Plastøpt betong levert av Unicon

Den plasstøpte ferdigbetongen som det refereres til i oppgaven har utgangspunkt i Norcem Standard FA sement. Betongen har dermed 20 % flygeaskeinnhold før sementerstatning. For B45 M40, er beregninger utført med Norcem sementen AnleggFA, ettersom det er vanlig praksis for betong til søyler [77]. For to av betongene er Norcem Standard FA erstattet 1:1 med 10 og 15 % flygeaske, slik at totalt flygeaskeinnhold tilvarer henholdsvis 28 % og 36 %. Betongresepten uten flygeasketilsetning er fra Unicons standard sortiment. Sementerstatning kan fås på forespørsel og vurderes for det enkelte prosjekt [78].

Transport fra Unicon til Brattørkaia 17 er inkludert i innebygget energi¹ og klimagassutslipp² rapportert i tabell 5.6.1. Fullstendig EPD for betongene finnes i Vedlegg A.

I henhold til NorBetongs lavkarbonklasser, se 5.3.1, alle B45 betongene innenfor lavkarbonklasse B og de to med sementerstatning i klasse A. For B35 er variantene med

¹fraktbidrag 9,47 MJ/m³ er inkludert i tabellen

²fraktbidrag 0,7 kg CO₂/m³ er inkludert i tabellen

Tabell 5.6.1: Energibruk og utslipp tilknyttet plasstøpt betong

Flyveaskeinnhold		Sementinnhold kg/m ³	Energiforbruk		Klimagassutslipp	
Erstatning % sement	Total FA %		Fossil MJ/m ³	Total MJ/m ³	CO ₂ kg/m ³	Total kg CO ₂ ekv/m ³
B30 M60						
0	0	326	869	1297	218	223
10	28	302	809	1212	202	207
15	36	285	767	1152	191	195
B35 M45						
0	0	353	935	1392	236	242
10	28	325	866	1293	218	223
15	36	306	819	1226	205	210
B45 M40						
0	0	402	723	1561	249	253
10	28	362	658	1421	225	229
15	36	342	625	1350	213	216

10 % og 15 % sementerstatning innenfor henholdsvis lavkarbonklasse B og A. B30 er omtrent tilsvarende B25 i sammensetning, og her kommer også variantene med 10 % og 15 % sementerstatning innenfor henholdsvis lavkarbonklasse B og A. B30 uten sementerstatning havner rett i overkant. Dette tilsier at det må mer til enn kun bruk av Norcem Standard FA for å havne innenfor lavkarbonklassene for betong med normal fasthet.

5.6.2 Hulldekkebetong

Hulldekkebetongen har utgangspunkt i Norcem Industrisement. For to av betongene er henholdsvis 20 % og 33 % av sementen erstattet 1:1 med flygeaske. Reseptene som er benyttet for betongen er tilsvarende betong fra Contigas produksjon i Moss. Betongen med 33 % flygeaske er benyttet for prosjektet Telemark Krisesenter; det eneste prosjektet som til nå er registrert med hulldekker med høyt flygeaskeinnhold. Betong med 20 % flygeaske er basert på samme resept som for 33 % flygeaske, men med en lavere substitusjonsgrad. EPD for betongene finnes i Vedlegg A, og betongenes innebygde energi og klimagassutslipp³ er gitt i tabell 5.6.2. Bidrag fra transport til

³Hulldekkebetongen inkluderer ikke frakt; dette er trukket fra verdi i EPD

byggeplass er ekskludert ettersom betongen produseres samme sted som elementproduksjonen. Unicons produksjonsparametere er benyttet.

En sammenfatning av dagens energiregnskap for hulldekkebetongen er presentert i tabell 5.6.2. Armering er i separat regnskap i 5.2.2.

Tabell 5.6.2: Energibruk og utslipp tilknyttet betongen i hulldekket

Flyveaskeinnhold	Sementinnhold kg/m ³	Energiforbruk		Klimagassutslipp	
		Fossil	Total	CO ₂	Total
		MJ/m ³	MJ/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Hulldekker, 0% FA	358	769	1645	266	270
Hulldekker, 20% FA	294	642	1375	219	223
Hulldekker, 33% FA	254,2	563	1208	190	193

Data i tabell 5.6.2 gjelder betong benyttet av Contiga i Moss. Betongen som benyttes på Contigas avdeling på Stjørdal har utgangspunkt i en kombinasjon av Norcem Standard FA og Industri sement, og antas å ha et tilsvarende energi- og klimagassbidrag som betongene analysert her for samme flyveaskeinnhold.

Flyveaskens trege herdetid vanskeliggjør produksjon i store volum slik produksjonen foregår hos de fleste elementprodusenter per i dag. Potensiale for produksjon av hulldekker med betydelige flyveaskeinnhold for prosjekter i stor skala er behandlet i kapittel 8.

5.7 Betong til BubbleDeck

Betongen i BubbleDeck er, som beskrevet i 6.4, delvis prefabrikkert, delvis plasstøpt. I prefabrikkert plate benyttes SKB, med utgangspunkt i Norcem Standard FA sement [22]. SKB benyttes for å minimere behov for vibrering, slik at plastkulene ikke kommer ut av posisjon. Maksimal tilslagstørrelse er følgelig begrenset (≤ 16 mm). Den prefabrikkerte betongplaten blir støpt ut med 65mm høyde (70 mm etter plassering av armeringsnett og plastkuler). Andelen betong i de prefabrikkerte platene er konstant for alle BubbleDeck plater, mens armering, plastkuler og mengde plasstøpt betong vil variere. Betongandelen i de prefabrikkerte elementene utgjør anslagsvis 25% av total betongbruk i byggesystemet, avhengig av type BubbleDeck. Grunnet treg herdetid og påfølgende redusert produksjon, vil det være lite å hente på å produsere elementdelen med samme andel flyveaske som den plasstøpte delen. For den plasstøpte delen, som utgjør omtrentlig 75 % av betongen, kan betongene fra tabell 5.6.1 benyttes.

Resept for betongen i de prefabrikkerte platene er oppgitt av dagens produsent av BubbleDeck, Buskerud Betongvarefabrikk, og EPD er laget med utgangspunkt i Unicon i Trondheims produksjonsparametere.

Energi - og klimagassregnskap⁴ for betongen i elementdelen er presentert i tabell 5.7.1.

Tabell 5.7.1: Betong i prefabrikkert element for BubbeDeck

Flyveaskeinnhold		Sementinnhold	Energiforbruk		Klimagassutslipp	
Erstatning	Total	Norcem std FA	Fossil	Total	CO ₂	Total
% sement	FA %	kg/m ³	MJ/m ³	MJ/m ³	kg/m ³	kg/m ³
0	20%	400	1045	1545	266	272
15	36%	340	947	1405	240	245

SKB betongen, som er en B35, har høyere energibruk enn en tilsvarende B35 fra Unicons ”standard sortiment”, angitt i tabell 5.6.1, grunnet høyt sementinnhold (SKB).

Energibruken overskrider også hulldekkebetongen med tilsvarende flygeaskeandel (industriement + 20 %FA) som Norcem Standard FA sement. Selv med 36 % flygeaske er BD-betongen bare innenfor NorBetongs lavkarbonklasse B. Årsaken til dette er BD-betongens høye sementinnhold for å minimere behov for vibrering, slik at plastkulene ikke kommer ut av posisjon. Betongen er ikke optimalisert med hensyn på energibruk og Norcem Standard FA sement er benyttet som filler, for å alene øke nødvendig matriksvolum. Her er det gode optimaliseringsmuligheter ved å erstatte deler av sementen med filler for å oppnå ønskede flytegenskaper.

5.8 Plastkuler til BubbleDeck

Plastkulene i BubbleDeck produseres per i dag av Stela som holder til på Løken i Aurskog-Hølland. Kulene utføres i High Density PolyEtylen (HDPE). HDPE er betegnelsen på polyetylen med tetthet ≥ 940 kg/m [63]. Flere type plast kan i prinsippet brukes i BubbleDeck, i Danmark brukes eksempelvis polypropylen (PP) [9].

Kapasiteten til HDPE vedvarer etter gjenvinning og HDPE er 100 % resirkulerbart materiale [63]. Det er likevel vanskelige å vurdere platen med hensyn på videre resirkulering når den skal være i et bygg i mer enn 60 år. I hvilken grad platen vil være forurenset av betongrester som vanskeliggjør gjenvinning er vanskelig å anslå per i dag, ettersom dette er forholdsvis ny bruk av dette materialet.

⁴BD-betong inkluderer fraktbidrag 9,47 MJ/m³ og 0,7 kg CO₂/m³ betong

Det eksisterer per i dag ikke miljødeklarasjon på dette spesifikke produktet. Generell data for HDPE plastgranulat, samt informasjon fra produsent kombinert med egne vurderinger er benyttet i energivurderingen av materialet.

Produsenten kjøper inn 25 tonn plastgranulat av gangen. Hvorvidt platen kjøpes fra Norge eller andre deler av Europa varierer med tilbud og pris, hvilket kompliserer vurdering av råvaretransport. Produsenten oppgir at de kjøper resirkulert plast dersom dette er mulig, men tilgangen på resirkulert materiale er ikke stor nok til å dekke hele produksjonen. I løpet av de siste par årene har andel resirkulert materiale ligget i området 70 - 80 % [74]. I beregning av energibruk er det forutsatt at 25 % kommer fra plastgranulat, og 75 % fra resirkulert plast. Andelen resirkulert materiale går fri fra energien som kreves for å fremstille HDPE, og denne platen relateres bare til energien som brukes av Stela til å produsere plastkulene. Bidrag fra de resterende 25 % er hentet fra EPD for HDPE utviklet av PlasticsEurope. Energibidrag fra omsmelting i produksjon antas å være uavhengig av hvorvidt platen er resirkulert eller 'nytt' plastgranulat.

Energiforbruket under produksjonen fra plastgranulat til kule avhenger av kulens volum. Maskin med utstyr bruker omtrent 180 kW i timen i elektrisitet [75]. For de største kulene har maskinen kapasitet til å produsere omkring 135 kuler per time, for de små produseres omtrent 250 kuler i timen. Energibidrag for mellomliggende kulevolum kan estimeres med forholdstall mellom kulediameter og produksjonskapasitet. Energiforbruk tilknyttet andre prosesser i produksjon er ikke medregnet, hvilket fører til at plastkulene muligvis får et 'urettmessig' lavt produksjonsbidrag.

Produsenten oppgir at energibruken er el-basert og CO₂-utslipp er basert på opplysninger fra ZEB om hvilke kvanta CO₂ ulike energikilder slipper ut. For elektrisk energi oppgis det til å være 278 g/kWh[6].

Tabell 5.8.1: Typiske miljødata for plast

Kule Ø mm	Andel resirkulert %	Ny plast		Omsmelting		Totalt	
		Energi MJ/kule	CO ₂ -eq kg/kule	Energi MJ/kule	CO ₂ -eq kg/kule	Energi MJ/kule	CO ₂ -eq kg/kule
225	75	6,07	0,53	2,59	0,20	4,10	0,33
360	75	10,57	0,92	4,8	0,369	7,44	0,60

5.9 Avrettingsmasse

Alle dekkeløsningene krever avrettingsmasse for å gi en plan overflaten etter støp. Det foreligger per i dag ingen EPD for avrettingsmasse. Avrettingsmasse består vanligvis av

gips og finmalt sement, typisk en kombinasjon av vanlig portlandsement og aluminatsement. Sistnevnte benyttes på grunn av sine egenskaper som hurtigherdende. Det er essensielt at massen får en glatt overflate, samtidig som den herder raskt nok til ikke å forsinke byggeprosessen. Det kreves ofte at den tråbar i løpet av samme dag. Det er oppgitt fra produsent at sement utgjør omtrent 30% av materialet. For å illustrere avrettingsmassens energibidrag er det tatt utgangspunkt i 'pumpbar, selvutjevne avrettingsmasse til betongunderlag' fra Weber med volumvekt 1650 kg/m^3 [50]. Gipsandelen er illustrert ved finfraksjon av sand, og sementen ved Norcem Industrisement. Ettersom blandeprosedyrene for avrettingsmasse ikke er opplyst, er dette ikke tatt med i beregningen, og det er kun råvareproduksjonen som vurderes. I virkeligheten kan energibidraget bli noe høyere.

Tabell 5.9.1: Avrettingsmasse

Energiforbruk		Klimagassutslipp	
Fossil MJ/m^3	Total MJ/m^3	CO_2 kg/m^3	Total $\text{kg CO}_2 \text{ ekv./m}^3$
609	1282	219	223

5.10 Produksjonsbidrag

Det er ikke foretatt fullstendig analyse av produksjonsprosessen for de ulike dekkeløsningene. Vurderinger er gjort i samråd med produsent, ut i fra eksisterende data i EPD og etter samtale med Østfoldforskning [61].

Fersk betong

Data for produksjon av fersk betong er inkludert i EPD for de ulike betongvariantene. Alle har utgangspunkt i Unicons produksjonsparametere. I virkeligheten vil disse variere noe mellom anlegg.

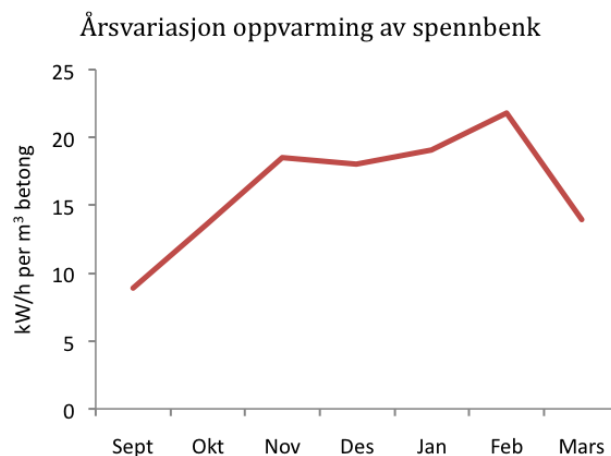
BubbleDeck plate

Energibruk i produksjon av det prefabrickerte elementet til BubbleDeck er estimert i samråd med Buskerud Betongvarefabrikk, som i dag produserer elementene i Norge [22]. Normal produksjon er lagt til grunn. Det tilsvarer daglig produksjon av åtte BubbleDeckplater med gjennomsnittlig bredde 2,4 meter og lengde 10 meter. Energibruk

innebefatter lys, oppvarming i vinterhalvåret, utstøping av element og tilpassing av armering. Armeringen leveres som ferdig nett, men må sages og sveises i montering. Betongen produseres av elementleverandøren, og parametere tilknyttet betongproduksjon er ikke inkludert her, men er medregnet i energibruk for betongen i tabell 5.7.1. Energi til produksjon av prefabrikkert element til BubbleDeck er estimert til omtrent 60 % av energi til produksjon av hulldekker.

Hulldekke og bjelker

Data for produksjon av hulldekker og bjelker er hentet fra EPD og verifisert med Østfoldforskning ved Mie Vold. Tilgjengelig EPD for HD265 er datert 2006, men Contiga opplyser at det ikke er gjort vesentlige endringer i produksjon. I tillegg til selve produksjonen inngår noe drift av kontor og belysning på fabrikk, men dette utgjør svært lite. Data i oppgaven er omregnet til å gjelde per tonn, i EPD er dette oppgitt til per kvadratmeter dekke. Dette er gjort med antatt transportvekt 345 kg/m^2 . Antall spenntau innvirker ikke på energibruk i produksjonen i vesentlig grad. Varme i spennbenkene for å redusere herdetid i spennbenken varierer med årstiden. I sommerhalvåret benyttes ned mot 8 kW/h per m^3 betong, i vinterhalvåret øker dette til rundt 22 kW/h . Årsvariasjon er vist i figur 5.5 med verdier basert på elementproduksjon hos Contiga på Stjørdal. Varmen i benkene er også varmekilde for selve bygget om vinteren, så dersom man ønsker å se på effekten av å benytte varme i benk én time ekstra må verdiene for energibruk nødvendigvis justeres litt ned.



Figur 5.5: Energi til oppvarming av spennbenk for å øke herding hos Contiga på Stjørdal

Hvorvidt bjelken er slakkarmert eller spennarmert har derfor neglisjerbar innvirkning, og data for slakkarmert bjelke brukt.

Oppsummering av produksjonsparametere

Merk at fersk betong ikke er omregnet til MJ/tonn, ettersom tettheten til betongene benyttet her varierer ganske mye.

Tabell 5.10.1: Produksjonsbidrag

	Fersk betong MJ/m ³	BubbleDeck MJ/tonn	Hulldekker MJ/tonn	Betongbjelker MJ/tonn	HSQ MJ/tonn
Energiforbruk	1,7 MJ/m ³	190 MJ/tonn	324 MJ/tonn	110 MJ/tonn	3000 MJ/tonn
CO ₂ -utslipp	0,7 kg/m ³	1,2 kg/tonn	1,44 kg/tonn	5 kg/tonn	74 kg/tonn

5.11 Bidrag fra byggeprosessen

Oppføringen av bygget er også knyttet til energibruk. Uavhengig av konstruksjonsløsning kreves energi i form av drivstoff og strøm på byggeplassen. Brakkerigg, utgraving av tomt, belysing av byggeplassen er eksempler på nødvendige energiposter som ikke kan tillegges en enkelt byggevare. Energiforbruk avhenger av størrelsen på prosjektet og tilgangen på strøm, og valg av konstruksjonssystem vil i hovedsak innvirke på byggetiden. Med hensyn på bidrag fra byggeprosessen kan de ulike løsningene antas å bidra i forhold til i hvilken grad de muliggjør en rasjonell byggeprosess.

Elementmontasje gir en raskere byggeprosess enn å plasstøpe betong. Ettersom betongvolumene er mindre, samt at elementene har hatt noe uttørking før de ankommer byggeplassen, vil også energibruk til uttørking reduseres noe. For elementmontasje bidrar energibruk til kran. Montasjebidrag er hentet fra Østfoldforskningens database, og innebærer dieselbruk til kranen som løfter elementene på plass. For plasstøpt betong er pumping av betong fra betongbil hovedbidragsyter. Energibidraget for plasstøpt er estimert ved hjelp av T.O. Bull Betongpumping og Feiring Bruk ved Trygve Ollendorff ved å måle dieselbruk under pumping av et gitt antall kubikkmeter betong, samt erfaringstall. Dieselbruk vil generelt ligge mellom 0,5 og 1 liter/ m³, avhengig av løftehøyden. Her er det benyttet middelvei 0,7 og densitet 2400 kg/m³ for betongen. For BubbleDeck er verdiene vektet mot vektandel plasstøpt (25 %) og andel element (75 %). Det antas sommerstøp, slik at det ikke er behov for tilført varme. Verdiene i tabell 5.11.1 er konvertert ved hjelp av NVE omregningstabell [52]. For CO₂-utslipp er det antatt at tslippet ved forbrenning av diesel er 2,66 kg CO₂/ liter diesel. Tabell 5.11.1 viser at bidrag fra montasje og pumping er svært lite. Verdiene i tabellen er å anse som

Tabell 5.11.1: Byggeplassbidrag for komponenter i bæresystemet

Bygningskomponent	Energiforbruk	Klimagassutslipp
	MJ/tonn	kg CO ₂ /tonn
Fersk betong	25	1,86
Hulldekker	14,5	1,06
BubbleDeck	22,3	1,65
Konstruksjonsstål	360	30

et grovt estimat med formål om å synliggjøre størrelsesorden på bidrag fra denne delen av byggeprosessen, og faktiske verdier vil variere.

Det finnes i dag svært begrenset med data som forteller om totalt energibidrag fra byggefasen. I forbildeprosjektene for Fremtidens byer og FutureBuilt skal disse energipostene registreres og rapporteres i sluttregnskap [58]. I skrivende stund er ikke energiregnskapene for disse prosjektene ferdigstilt.

Flere entreprenører har innført egne miljøtiltak for å sikre miljøfokus på byggeplassen utover de pålagte minimumskravene dagens lover og forskrifter fordrer. I forbindelse med Skanskas ordning 'Grønn arbeidsplass' har energiforbruket på byggeplassen blitt målt. Tabell 5.11.2 kan betraktes som eksempel på energi i et byggeprosjekt av sin størrelse, og må ikke behandles som referanseverdier. Ressursbruken for prosjektet i tabell 5.11.2 vil med sannsynlighet ligge lavere enn de fleste byggeprosjekter, grunnet økt fokus på dette. Lignende energibesparelser under byggets oppføring må også gjennomføres for Powerhouse One.

Tabell 5.11.2: Energibruk og CO₂-utslipp for i byggefasen; tall fra tidligere prosjekt

Prosjekt	Størrelse m ² bygg	Klimagassutslipp tonn CO ₂	Energiforbruk MJ·10 ⁶
1	1135	3,4	0,21
2	21 222	560,1	10,3
3	48 393	822,6	12,4

For prosjektet 2 var energibruken fordelt på postene diesel, strøm og propan med prosentandel 5 %, 20 % og 75 %, mens strømforbruket utgjorde 90 % av total for prosjekt 1. Prosjekt 3 er tilsvarende i omfang, men spesielle hensyn gjorde at propan måtte stå for 90 % av energitilførsel, og følgende er klimagassutslippet vesentlig høyere.

Byggeplassbidraget er ikke medregnet i energiregnskapet i kapittel 7, ettersom det er stor usikkerhet i data på dette området. Dette må likevel tas med i betraktning for total

energivurdering.

5.12 Transportbidrag

Data for energiforbruk og klimagassutslipp for laste - og spesialbiler er hentet fra Statistisk Sentralbyrå. Til gruppen spesialbiler hører blant annet betongbiler. Bilene er delt inn i tre kategorier etter maksimal nyttelast. Drivstofforbruk avhenger av motortype, transportstrekningens kurvatur, og ikke minst hvor mye gods lastebilene frakter [36]. Forbruket per tonn km avtar med godsmengden, og er lavest for de største bilene.

Tabell 5.12.1: Energiforbruk og klimagassutslipp for dieseldrevne laste - og spesialbiler

Nyttelast	Energiforbruk	Klimagassutslipp
	MJ/tonnkm	CO ₂ eq g/tonnkm
1 - 5 tonn	6,617	499
5 - 11 tonn	1,908	143
≥ 11 tonn	1,018	76

5.12.1 Transport til byggeplass

Transport fra leverandør til byggeplass er avhengig av prosjektets geografiske beliggenhet, samt valg av leverandør. Bidraget fra transport til byggeplass er i denne oppgaven vurdert spesifikt for Powerhouse One. Transportbidrag er inkludert i energiregnskapet i kapittel 7 for hvert enkelt dekke, og rapportert separat i tabell 5.12.2, slik at en enkelt kan bytte til verdiene for andre prosjekter. Alle transportavstander er anslått ved hjelp av Google Maps; fra leverandør til Brattørkaia 17A.

BubbleDeck element

BubbleDeck produseres per dags dato ikke i Trondheim. BubbleDeck Norge har opplyst at dersom dekkeløsningen blir aktuell for prosjektet, er ConForm en aktuell produsent [23]. ConForms Trondheim avdeling ligger på Heimdal, 13 km fra Brattørkaia. Buskerud Betongvarefabrikk som i dag har produksjon av BubbleDeck, opplyser at én trailer kan frakte 6 små element (BD280) eller 4 store (BD340) med lengde ≤ 10 m per trailer. Vekt av ett 10 x 2,4m dekke veier omtrent 3 tonn [22].

Armering

Her er det tatt utgangspunkt i data fra transportfirma som frakter armering. Stokkebekk transport opplyser at maksimal nyttelast på bil som frakter armering er 27 tonn. EPD for armeringsstål inkluderer transport fra smelteverk i Mo i Rana til fabrikk. Dette er en midlere verdi basert på mange fabrikker, men er vanskelig å ekskludere ettersom verdien er innbakt i EPD. Bidrag fra armeringstransport til byggeplass regnes som neglisjerbar ettersom Celsa Armeringsstål har utsalgssted i nabolaget til Brattørkaia.

Fersk betong

En betongbil kan frakte 6 - 9 m³ betong, 1 m³ betong veier omtrent 2400 kg. Dersom man antar 8m³ lastevolum, tilsvarer dette 19,2 tonn. Totalvekt for en betongbil ligger ofte i intervallet 26 - 32 tonn. For fersk betong er transport fra Unicon til byggeplass på Brattøra (transportavstand 5 km) medregnet i EPD for betongen og tilsvarer 9,47 MJ/m³ fersk betong. For hulldekker og BubbleDeckelement er dette fraktbidraget ekskludert fra betongens innebygde energi ettersom betongen vanligvis produseres på elementfabrikkene. For den plaststøpte delen av BubbleDeck derimot, er fraktbidraget inkludert.

Hulldekker og bjelker

For hulldekker og bjelker er det antatt produksjon hos Contiga på Stjørdal. Dette tilsvarer 35 kilometer transportavstand. Maksimal nyttelast er antatt til 27 tonn.

Tabell 5.12.2: Transport til byggeplass

Materiale	Distanse km	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ -utslipp kg/m ²
Flatdekke			
Betong	5	9,4	0,7
BubbleDeck			
BD280	13	2,50	1,2
Hulldekker			
HD265	35	13,4	0,9
HD200	35	9,4	0,7
DLB	35	3,5	0,24

Avrettingsmasse

Avrettingsmasse fraktes vanligvis fra Tyskland. Det er et betydelig transportbidrag, men antas å være lite per m² dekke siden massen blandes med vann på sted og avretting utgjør lite av dekkets totale masse. Transport for avrettingsmasse neglisjert.

5.12.2 Råvaretransport

Råvaretransport er inkludert i angitt data for innebygget energi og CO₂-utslipp i dette kapitlet. Dette er ofte generell data som omfatter flere av leverandørens avdelinger og ulike underleverandører, og blir derfor nødvendigvis et anslag. I tilfeller hvor det foreligger slik data for produktet, for hulldekker, bjelker og plaststøpt betong, er EPD-data benyttet i oppgavens energiregnskap. For produkter der det ikke foreligger fullstendig EPD er råvaretransport antatt ut i fra tilgjengelig data.

Fersk betong

Råvaretransport for fersk betong er inkludert i EPD utviklet med Fabekos verktøy med utgangspunkt i data for Unicon.

BubbleDeck

For BubbleDeck foreligger det ikke fullstendig data for råvaretransport. Råvaretransport er derfor beregnet ut i fra antagelser om enkeltkomponentenes bidrag og summert.

Plastkuler

Transportbidraget fra plastkulene er beregnet ut i fra at en lastebil typisk kan frakte 8800- 9000 av små kuler per bil. For store kan det fraktes omtrent 2200 kuler per bil. Transporten er avhengig av kulestørrelse og transportbidrag for mellomliggende størrelser kan forenklet antas ut i fra interpolering mellom verdier for stor og liten kule. Kulene fraktes i container med kapasitet på 44m³. Tom container veier 3,2 tonn. Dersom man antar at kulene pakkes i like lag kan en container maksimalt frakte 3375 kuler. Antar derfor 3 containere med 3375 kuler hver, tilsvarende kulevekt på 2734 kilo. Det går med 16 kuler per m² dekke. Ettersom det er forholdsvis kort tid til planlagt byggestart, er produksjonen av plastkulene antatt å fortsatte hos Stela på Løken. Dette kan selvsagt endre seg. Transportavstand er beregnet fra kulenes produksjonssted til antatt produsent i Trondheimsregionen, ConForm i Heimdal, og tilsvarer 500km.

Plastgranulat kommer fra Norge og Europa i såkalte "big bags" [22]. Det er her antatt plastparti fra Norge og ettersom hver kule inneholder lite volum plast er transportbidraget ved import neglisjert.

Betong

Sement og flygeaske antas å fraktes fra Breivik til Oslo med båt, 750km og bil til Trondheim 500km. Det tilsvarer henholdsvis 65 og 18 MJ/tonn sement/flygeaske. Grustak antas å ligge i nærheten, 1km , så dette tilsvarer bare 0,35 MJ/tonn pukk. Natursand antas en fraktavstand på 50 km, tilsvarende 19,5 MJ/tonn sand. Frakt av kjemiske tilsetningsstoff neglisjeres. For fersk betong er bidraget inkludert i EPD. Bidrag fra råvaretransport for betongen som er inkludert i EPD, er basert på parametere for Unicons avdeling på Fossgrenda.

Tabell 5.12.3: Råvaretransport

Materiale	Mengde	Transportdistanse km	Energiforbruk MJ/(mengde) dekke	Klimagassutslipp CO ₂ kg/(mengde)
Fersk Betong				
Betong	m ³	NA	25	1,9
BubbleDeck				
Plastkuler	m ² dekke	500	9,91	0,74
Betong	m ² dekke	NA	55	4,4
Stål	tonn	13	13,2	0,988
Hulldekker				
Spennstål	tonn	30000(båt)/600(bil)	5,7	685,6
Armering	tonn	45	45,6	3,42

Armeringsnett

Armeringsnettene for BubbleDeck spesialproduseres i dag i Belgia [22]. Frakt av armeringsnettene gir dermed et betydelig transportbidrag. Undertegnede finner ingenting som tilsier at tilsvarende nett ikke kan produseres i Norge, derfor er transportbidrag satt til tilsvarende som ved annen armering siden dette vil kunne antas å endre seg ved større produksjon og bruk av BubbleDeck i Norge. For armering er data inkludert i EPD for Celsa armeringsprodukter. Transport fra fabrikk til ConForm er omtrent 13 km.

Huldekker og bjelker

For hulldekker er data fra EPD utviklet av Østfoldforskning for Contiga benyttet. EPD for hulldekket er i basert på HD265 12 meter med 8 spenntau og er oppgitt i MJ/m² dekke. Det er ingen norsk produsent av spennarmering. Spenntau importeres fra Europa (Spania, Østerrike) og Kina. For spennstål er data oppgitt fra Østfoldsforskning på 3000 mil båttransport av stålet, tilsvarende 5,1 MJ/kg og 0,32 kg CO₂/kg spennstål. Stålet fraktes i havn i Moss. Det er antatt biltransport fra Moss til Trondheim. Råvaretransport ligger inne i EPD med Unicons parametre.

For betong bjelke er det benyttet data fra EPD utviklet av Østfoldforskning for Contigas bjelker. Type bjelke er ikke spesifisert. For HSQ er råvaretransport inkludert i EPD som her benyttes direkte i energiregnskapet i kapittel 7.

Kapittel 6

Dimensjonering og materialbruk

6.1 Generelt

Å velge et bæresystem som, totalt sett, minimerer materialbruk kan være viktigere enn valg av materiale. Det er derfor foretatt en forenklet dimensjonering for tre tilgjengelige dekkeløsninger. Forhold mellom kapasitet og materialbruk utforskes og målet er lavest mulig vekt og materialbruk, med tilfredsstillende kapasitet. I dette kapitlet fremkommer beregnet materialvolum for de tre dekkeløsningene, beregnet med samme forutsetninger så langt det har latt seg gjøre. For noen tilfeller vil også erfaringstall fra andre prosjekter bli presentert. Beregningene er gjengitt i sin helhet med eksempelberegning (for ett tilfelle) av hver av løsningene, for å demonstrere fremgangsmåte i Vedlegg B. Dimensjonering med hensyn på brann er ikke utført. Beregningene skal ikke anses som detaljdimensjonering, men har som formål å gi sammenlignbar data på materialforbruk. Detaljdimensjonering er nødvendig før utførelse.

Ettersom materialbruk i dekkene har størst betydning [29] er det lagt vekt på dimensjonering av disse i henhold til modellen. Valg av dekke vil direkte påvirke søyledimensjoner og det er også beregnet materialbruk i de ulike løsningenes tilhørende søyler.

6.2 Konstruksjonsmodell

Dekkeløsningene er vurdert for et modellbygg. For å muliggjøre sammenligning er geometri og lastsituasjon konstant for alle dekkeløsningene. Det er viktig å merke seg at modellbygget på ingen måte tilsvarer det faktiske bygget, men er en grov forenkling. Det

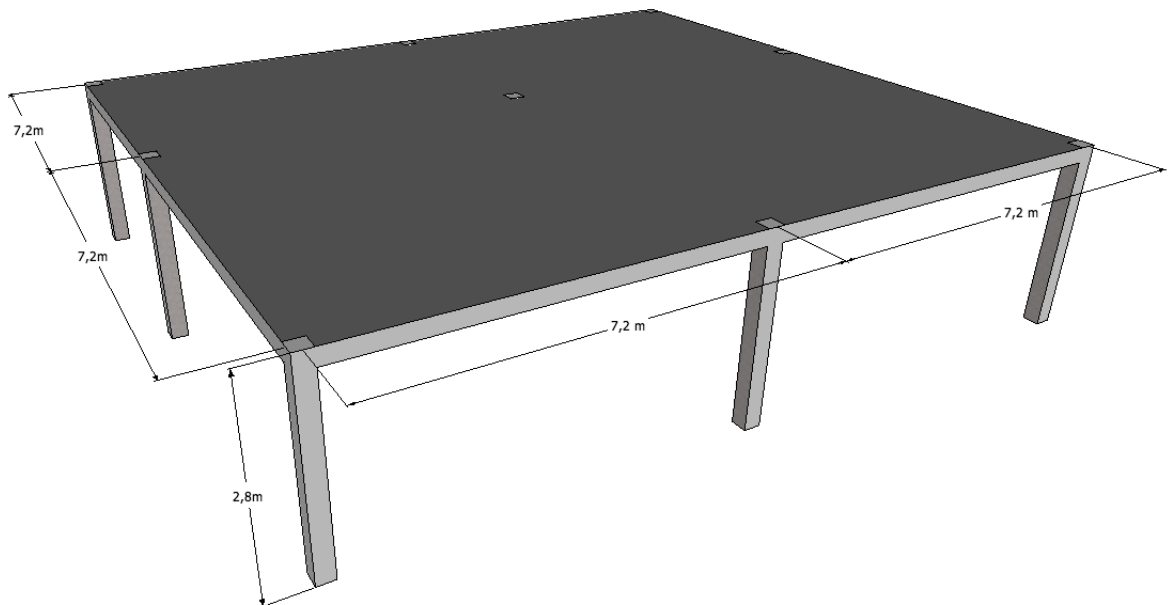
er valgt å følge noen av begrensningene som fremkom av møte med prosjektet 25. januar 2012, blant annet på maksimal spennvidde, etasje - og dekkehøyder:

Maksimal dekkehøyde: 300 mm

Største spennvidde: 10 m

Etasjehøyde : 2,80 m

Det er antatt at dekketykkelse ikke inkluderer utstikk av bjelker. Figur av modellen for tilfelle med 7,2 meter spenn i hver retning er vist i figur 6.1. Nyttelast for kontorarealer



Figur 6.1: Modell

er tatt fra NS- EN 1991-1-1: 2002/NA:2008. Øvrige laster er hentet fra Betongelementboken bind C.

Tabell 6.2.1: Dimensjonerende laster

Lastområde	Last kN/m ²	Lastfaktor γ
Nyttelast dekker (kontor):	3,0	1,5
Avretting og lettvegger:	0,8	1,2
Egenlast armert betong:	25,0	1,2

Alle dekkene er, så langt det har latt seg gjøre, modellert med samme geometriske

utforming. Aktuelle dekketykkelser under 300mm analyseres for spennvidder 5, 7,2 og 10 meter. Dette er gjort for å muliggjøre sammenligning av materialbruk for de tre løsningene, men er en grov forenkling ettersom dekkeløsningene i virkeligheten har ulik kapasitet for forskjellige spenn. For modellbygget får ikke hulldekke HD265, utnyttet sin fulle kapasitet i én lengderetning med maksimalt 10 meter spenn.

Generelt gjelder følgende for dekkeløsningene:

- Flatdekke: Like spenn i to retninger, største anbefalte spennvidde 7,2 meter grunnet høy egenvekt
- BubbleDeck: Like spenn i to retninger, største spennvidde 16 meter for BD450, for dekketykkelse her 7-10meter
- Hulldekke: Lange spenn i én retning, største spennvidde 19 meter for HD500, for dekketykkelse her 13 m HD-265

6.3 Flatdekke

Flatdekker brukes som betegnelse på plater som ligger direkte på søyler, uten underliggende bjelker [16]. Dette er den tradisjonelle utførelsen av betongdekker. Flatdekkene gir størst frihet i valg av type betong, ettersom de ikke er avhengig av en industriprosess og mengde tilsetningsmateriale kan tilpasses krav til tidlig-fasthet, byggetid/prosess og regelverk. Ulempen er derimot at dekket utføres med massivtverrsnitt, uten hverken gjennomgående hull eller innstøpte plastbobler som i de to dekkeløsningene beskrevet senere i kapitlet. Dette fører til høyt materialforbruk og en relativt høy egenvekt, hvilket begrenser spennvidden. Erfaringstall viser likevel at plaststøpte løsninger er kostnadseffektive og konkurransedyktige [18].

6.3.1 Spenn

Spennvidden på slakkarmerte flatdekker settes normalt lik avstanden mellom søylesentre, og anbefalt maksimalt spenn (L) er 7,2 meter [68]. Spenn i denne størrelsen kan føre til store nedbøyninger, og valg av dekkedyde bør baseres på deformasjonsberegninger. Minimumskrav til dekkedyde (h) er, i følge Norsk Standard, $h \geq L/30$. For store spenn gir bruk av minimumshøyde stort armeringsbehov for å holde deformasjonene på et akseptabelt nivå [68]. Det er derfor anbefalt å velge større dekkedyde enn angitt i minstekravet, eksempelvis $L / 25$, for vanlige nyttelaster og spenn $L \leq 7,2$. For mindre spenn, eksempelvis $L \leq 5$ m kan minstekravet være tilstrekkelig. En måte å overkomme nedbøyingsskrav med større spenn, er ved bruk av etterspent armering. Dette vil ikke



Figur 6.2: Betongstøp [foto: Veidekke]

utføres for denne oppgaven. Av nevnte årsaker er derfor flatdekker beregnet med 7,2 meter som største spenn. Flatdekkene er modellert som symmetriske, med like spennvidder i to retninger, ettersom største spenn uansett vil bli dimensjonerende. Dekket kan selvsagt utformes med ulike spenn i hver retning. Det er da viktig å være oppmerksom på andre ordens effekter som kan påløpe og i tilfeller være utslagsgivende.

6.3.2 Dimensjoneringsgrunnlag

Avhengig av størrelse på lastene, spenn og krav til funksjonelle egenskaper, kan flatdekker utføres med eller uten kapitél (søyleforsterkning) [16]. Kapiteler er vanlig for kaier og andre konstruksjoner der vertikallastene er store og det er krav til lange spenn. Kapiteler er ikke ønskelig i prosjektet av arkitektoniske årsaker, og det er derfor valgt å dimensjonere uten. Flatdekker virker som plater, men ved å dele dekket inn i et nett av striper, kan snittkrefter beregnes etter en bjelke-ramme modell for så å fordeles utover de respektive stripene. Dette omtales som 'stripemetoden'. Beregninger er her utført i henhold til stripemetoden [68].

Armering

Det ville vært upraktisk å armere i samsvar med hovedmomentene i platen. Armeringen legges derfor i et rettvinklet system, i retninger nær hovedmomentene, i begge retninger.

I område rundt søyler er momentene negative og strekkarmering legges i overkant. I tillegg legges skjærarmering rundt søyle i område innenfor et kritisk snitt.

6.3.3 Beregnet materialbruk og erfaringstall for flatdekke

Forenklet kan man estimere slakkarmering til 120 kg/m^3 for spenn omkring 7 meter og tilsvarende lastsituasjon [18], [48]. Erfaringstall fra et 8 etasjes kontorbygg med tilsvarende nyttelast (bygget i 1996), utført i lettbetong, var 35 kg/m^2 armering [65]. Beregnet materialbruk er gitt i tabell 6.3.1. I omregning fra volumetrisk enhet er det benyttet densiteter $\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$ for stål, $\rho_{B30} = 2492 \text{ kg/m}^3$ og $\rho_{B35} = 2501 \text{ kg/m}^3$ for betong (tilsvarende tetthet for spesifikk resept). Densitet for betongene er nesten 100 kg/m^3 høyere enn vanlig, ettersom tilslaget fra Vassfjellet (Gabbro) som Unicon benytter i betongen er svært tungt. Dette fører til økte egenlast, men også større termisk masse.

Tabell 6.3.1 viser beregnet materialbruk med B30 og B35 betong med 7,2 og 5 meter spenn. Armeringsmengder er subtrahert i beregning av betongmender. Avretting for samtlige er satt til 10 millimeter.

Tabell 6.3.1: Beregnet materialbruk for symmetrisk flatdekke

Spenn m	Dekkehøyde mm	Stål kg/m^2	Betong kg/m^2	Avretting kg/m^2
B30				
7,2	200	28	489	16,5
7,2	280	23	691	16,5
5,0	200	15	494	16,5
5,0	280	15	693	16,5
B35				
7,2	200	28	491	16,5
7,2	280	21	693	16,5
5,0	200	14	496	16,5
5,0	280	12	696	16,5

Det er sannsynlig at armeringsmengde for et virkelig prosjekt vil overgå de i tabell 6.3.1, som også ligger noe lavere enn oppgitte erfaringstall. Det er her kun tatt hensyn til hva som er beregningsmessig nødvendig etter krav gitt i Eurocode 2, og det er følgelig ikke tatt hensyn til praktisk gjennomførbarhet. Det er heller ikke gjennomført deformasjonsanalyse, og nedbøyinger for dekket kan være dimensjonerende.

6.4 BubbleDeck

BubbleDeck (BD) er et bi-aksialt byggesystem for dekkekonstruksjoner. Elementene består av en prefabrikkert betongbunnplate med ferdig montert armering og innstøpte hule plastkuler (bobler). Den overliggende delen støpes ut på byggeplass og fyller mellom kuler og overkantarmoring. Det prefabrikkerte elementet og den plasstøpte delen utgjør henholdsvis cirka 25 % og 75 % av betongen for dekket som er vurdert her. De hule plastkulene støpes inn i dekket for å redusere vekten. Tanken er å fjerne deler av betongens 'dødvekt' (ikke lastbærende). Lav egenvekt på grunn av hule plastkuler og toveis bæring åpner for større spenn enn konvensjonelle flatdekker.

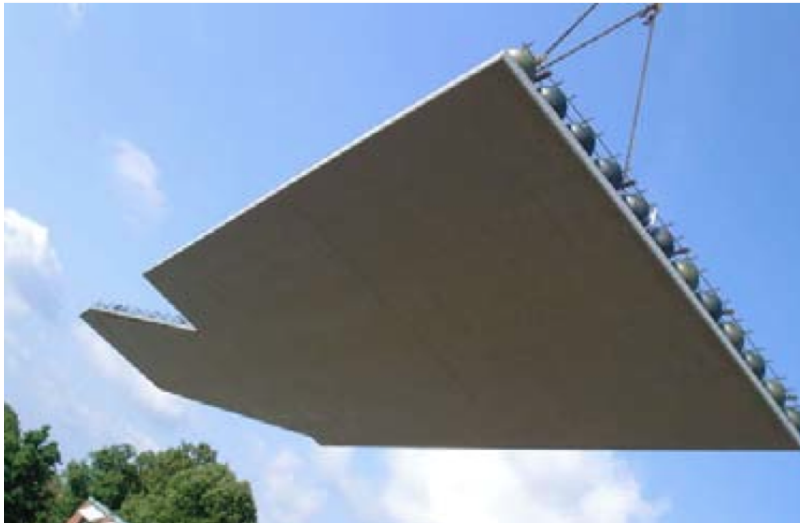
Byggesystemet har dansk opprinnelse; lisenshaver er Jørgen Breuning. BubbleDeck gruppen er etablert i flere land. I Norge er det representert ved BubbleDeck Norway, hvor Dr.techn. Olav Olsen AS har deleierskap. BubbleDeck kan med fordel benyttes i konstruksjoner med store åpne arealer som krever lange spenn i begge retninger, eksempelvis parkeringshus, samt i konstruksjoner med utfordrende geometri.



Figur 6.3: BubbleDeck åpner for lange spenn i to retninger [34]

6.4.1 Dimensjoneringsgrunnlag

I skrivende stund finnes det ingen norsk standard for dimensjonering av BubbleDeck. Det foreligger imidlertid en rekke forsøksresultater, som kombinert med eksisterende standarder og plateteori har resultert i en uavhengig veileder [34]. BubbleDeck kan dimensjoneres etter plateteori, stripemetode eller FEM analyse. I denne rapporten er det



Figur 6.4: Elementene heises på plass [34]

benyttet stripemetode, der dekket deles opp i platestriper og snittkrefter bestemmes etter anvisninger for flatdekker [16]. Armeringen optimaliseres for det enkelte dekkets geometri og tilhørende lastsituasjon. Per i dag, skjer generelt detaljprosjekteringen ved først å benytte et FEM-program til å analysere kreftene, hvorefter armeringen beregnes manuelt. Etersom hensikten med denne oppgaven ikke er å detaljdimensjonere dekket for Powerhouse One, er det kun gjennomført en forenklet beregning i henhold til veilederen for dimensjonering av BubbleDeck [34] og gjeldende standarder. I tillegg er det innhentet erfaringstall fra andre prosjekter. Fullstendig beregning finnes i Vedlegg B.

Hovedprinsippet er at beregning og dimensjonering, i stor grad, kan utføres etter samme prinsipper som for massive plater. Dekkene har tilnærmet lik momentkapasitet, men på grunn av boblene må det regnes med redusert skjærkraft. Spesielle hensyn må tas ved behandling av trykkbrudd i boblene. Ved samme totallast (egenvekt + nyttelast) kan BubbleDeck oppleve omtrentlig 15 % større nedbøyning enn tilsvarende dekker utført i massivtvernsnitt. Utførte beregninger tar ikke hensyn til deformasjoner av dekket.

Da største spenn uansett vil være dimensjonerende for BubbleDeck, fordi det er et toveis bæresystem, er det valgt å regne på symmetriske dekker.

Dekkehøyden for prosjektet er bestemt til å være maksimalt 300mm. Det finnes to BubbleDeck varianter som tilfredsstiller dette kravet, BD230 og BD280, med dekkehøyde på henholdsvis 230 og 280 millimeter. Førstnevnte er per i dag ikke tilgjengelig i Norge da det ikke oppfyller norske krav for lyd og akustikk, og er derfor ikke vurdert videre i denne oppgaven. Karakteristika for BD230 og BD280 er hentet fra veileder for dimensjonering av BubbleDeck og gitt i tabell 6.4.1.

Tabell 6.4.1: Egenvekt og anbefalt spennvidde for BubbleDeck

Type	Høyde mm	Spenn m	Egenvekt (etter påstøp) kg/m ²	Plasstøpt m ³ /m ²
BD 230	230	7-10	370	0,10
BD 280	280	8-12	460	0,14

Informasjon om de tilhørende hule plastkulene er oppgitt fra BubbleDeck Norge og gitt i tabell 6.4.2.

Tabell 6.4.2: Plastkuler i BubbleDeck

Type	Ø Kule mm	Vekt kule kg	Volum kule/ m ² m ³ /m ² ·10 ⁻⁶	Antall kuler per m ²
BD 230	Ø 180	0,15	3752	25
BD 280	Ø 225	0,27	4382	16

Utforming

BubbleDeck utføres som flatdekke med plate som ligger direkte på søyle (uten underliggende bjelker). Dekket kan tilpasses en vilkårlig geometri i grunnplanet, men et regulært mønster vil bidra til rasjonell produksjon og utførelse. Av hensyn til produksjonen leveres elementene i fem forhåndsdefinerte varianter tilpasset fem dekkehøyder. Hensyn til produksjon og transport setter imidlertid begrensninger på elementenes lengder og bredder. Elementene leveres vanligvis med bredde på 2,4 og maksimal lengde på 12 meter [22]. For å ivareta gjennomlokking over søyletoppene, anbefales det å fjerne bobler og utføre dekket med massivt tverrsnitt i søylenes umiddelbare nærhet og i andre områder med store konsentrerte laster.

Armering

BubbleDeck utføres normalt som slakkarmert, men spennarmering (etterspenning) kan benyttes i spesielle tilfeller. Armeringen som benyttes per i dag er sveisede nett i B500NA, som spesiallages av Intersig i Belgia. For armering utover nettet benyttes kamstål B500NC. Standardnettet må tilpasses det enkelte element, og sveises/kappes hos elementprodusenten. Det generelle armeringsnettet dekker typisk 70% av totalt armeringsbehov [23]. Tilleggsarmering monteres på byggeplass. Armering i området utført i massivtverrsnitt rundt søyler, utgjør hovedandelen av tilleggsarmeringen; som regel 1 kg/m² ekstra skjærarmering i søylenes umiddelbare nærhet. I tillegg kommer



Figur 6.5: Dimensjonering med fulltverrsnitt rundt søyle [34]

beregningsmessig ekstra overkantarmoring over søyler og skjøtearmoring, som plasseres på byggeplass. Armeringsnettet i underkant plasseres ved prefabrikering av elementdel. Utformingen er slik at det legges minimum ett jern på hver side av plastkulen - både i langs- og tverrgående retning. Tilleggsarmoring kan legges mellom kulene.

Armeringsnettet i overkant har, i tillegg til å være beregningsmessig nødvendig lengdearmoring, den funksjon at det sørger for at plastkulene ikke flyter opp ved utstøping. Overkantarmoringen forbindes med underkantarmoringen ved hjelp av gitterdragere. Gitterdragerne strekker seg fra underkantarmoring til overkantarmoring langs elementets lengdeakse. Gitterdragernes funksjon er å holde armeringsnettene på plass fra det tidspunkt elementet fraktes til det er utstøpt på byggeplassen, og har ingen konstruksjonsmessig funksjon. For å unngå splittelse i støpefuge mellom bunnplate og plasstøpt overplate, anbefales det å legge armeringsbøyler som forbinder de to platene [34]. Ettersom dekket er modellert som symmetrisk, vil momentene fordele seg likt i begge retninger og armering legges følgelig også symmetrisk.

6.4.2 Beregnet materialbruk og erfaringstall for BubbleDeck

Beregnet materialforbruk for BubbleDeck er gitt i tabell 6.4.3. Armeringsmengde i tabellen omfatter lengdearmoring, skjøtejern, fugearmering og skjærarmoring. Gitterdragere er ikke medregnet, ettersom det ikke er beregningsmessig nødvendig.



Figur 6.6: Armeringsutførelse [34]

Komponenter for å sikre praktisk gjennomførbarhet er ikke hensyntatt i beregning for noen av dekkeløsningene. Fullstendig beregning for dekket med 7,2 meter spenn finnes i Vedlegg B. Det er antatt samme avretting som for flatdekke; 10 millimeter.

Tabell 6.4.3: Beregnet materialbruk for BD280

Spenn <i>m</i>	Armering kg/m ²	Betong totalt kg/m ²	Plasstøpt betong kg/m ²	Avretting
10	30	522	355	16,5
7,2	29	526	359	16,5
5	24	236	368	16,5

Estimert armeringsbehov ble for skisseprosjektet anslått av leverandør til 36 kg/m² for BD280-dekke med 8 x 11 meter spenn. Dette inkluderer tilsvarende armeringsposter som for beregningene gjort i denne oppgaven. Av disse er 24 kg i levert element, 12 kg plasseres på byggeplass. Dette er i samme størrelsesorden som beregnet armeringsbehov for tilfellet med 10 meter spenn. Ut av leverandørs armeringstegninger for annet prosjekt som antas å ha laster i samme størrelsesorden er det avlest armeringsmengde i elementdel tilpasset BD280 på 22 kg/m² (uten gitterdrager) i to element med maksimalt spenn 7,6 meter og 8,8 meter, samt 32 kg/m² i element med 5,8 meter spenn. I tillegg kommer armering som plasseres på byggeplass, skjøtejern og fugebøyler. Disse

armeringsmengdene skal ikke anses som veiledende ettersom detaljer rundt det aktuelle prosjektet de er designet for ikke er kjent, men det viser typisk armeringsbehov for prosjekt der BD280 er egnet, samt at beregnet armering er i samme størrelsesorden.

Volum for gitterdragere i et BD280 dekke er typisk 1 kg/m^2 .

6.5 Hulldekker

Et byggesystem med hulldekker består vanligvis av søyler, hule betongmoduler med spennarmering (hulldekker), samt bjelker med hyller som hulldekkemodulene legges på. Søylene kan utføres i armert betong eller som rene stålsøyler av hule ståltverrsnitt. Ved valg av bjelkesystem kan konstruktør velge mellom en rekke betongbjelker, med enten spenn- eller slakkarmering, og rene stålbjelker. Hulldekker er et enveis byggesystem, som tåler forholdsvis store spenn i én retning. Kapasiteten til bjelkene blir angivende for spenn i tverretning.

Hulldekker er i dag utstrakt i bruk for kontor - og næringsbygg. Lav egenvekt kombinert med spennarmering muliggjør store, åpne areal. Samtidig tillater bruk av prefabrikkerte elementer en rasjonell og effektiv byggeprosess.



Figur 6.7: Hulldekker heises på plass [veidekke]

Egenvekt og maksimalt anbefalte spennvidder er gitt i tabell 6.5.1. Ettersom total dekkedyde er satt til 300 mm, er to aktuelle hulldekkestørrelse vurdert. Data i tabellen er hentet fra Betongelementforeningens publikasjoner.

6.5.1 Hulldekkedimensjoner

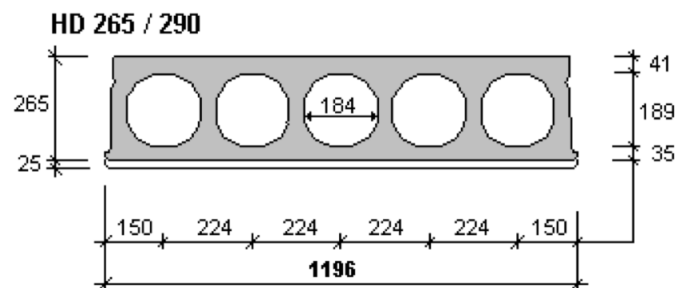
HD200 og HD265 er standard elementer som er tilgjengelig hos de fleste elementprodusenter. I tillegg kan HD200 og HD265 bestilles i tung utførelse som

Tabell 6.5.1: Egenvekt og anbefalt spennvidde for aktuelle hulldekker

Elementhøyde mm	Egenvekt av fuget dekke kN/m ²	Maks. spennvidde m
200	2,6	10
265	3,7	13

henholdsvis HD220 og HD285/290. Den tyngre varianten vil ha noe mindre kapasitet enn normal utførelse grunnet økt egenvekt, hvilket medfører at standard utførelsene blir et mer økonomiske alternativ. Tung utførelse benyttes når det er spesielle krav til eksempelvis brannmotstand og lydemping. I denne oppgaven behandles kun normal utførelse.

Det er sjelden samme lastsituasjon og spenn overalt i et bygg, og ofte velges en kombinasjon av ulike hulldekker med tilhørende bjelker og søyler. I områder med større laster, som f. eks. i en kantine, kan det eksempelvis være nødvendig å øke fra HD265 til HD320.



Figur 6.8: Dimensjoner hulldekke [3]

6.5.2 Dimensjoneringsgrunnlag for hulldekker

Beregninger er utført etter Betongelementforeningens utgivelser Betongelementboken Bind A, B og C, samt programmet E-bjelke (OS-prog dimensjoneringsprogram) med tverrsnittsdata fra Contigas elementer og norsk standard NS-EN 1168 for hulldekker. Svein Stegman hos Contiga har bistått med veiledning underveis i dimensjoneringen. Erfaringsverdier er oppgitt av Contiga og Loe Betongelementer. Alle beregninger utført med OS-prog er gitt i Vedlegg B. Fullstendig beregning er i Vedlegg B demonstrert for HD265 med 10 meter spenn og 6 spenntau. Beregningene for de andre tilfellene er utført på tilsvarende vis.

I tillegg til spennarmering er fugearmering ($\text{Ø}12$ c/c 1200) for forbindelse mellom

hulldekke og bjelke inkludert i materialregnskapet. Dimensjonering av mindre armeringskomponenter som skivearmering og innstøpningsgods er utenfor denne oppgavens detaljnivå, da det antas å utgjøre svært lite på det totale energiregnskapet. Hulldekker utføres ikke med skjærarmering. Dimensjonering er gjort for minste antall spenntau, uten å overskride kapasitet.

6.5.3 Beregnet materialbruk og erfaringstall for hulldekker

Beregnete materialmengder for modellbygget er gitt i tabell 6.5.2. Kapasitetsutnyttelsen viser at spennvidde på 5 og 7,2 meter, som utgjør to av de tre vurderte geometriske tilfellene, ikke er ideell bruk av hulldekker. Selv med bare fire spennkabler, som er minimum antall spennkabler for hulldekke, er kapasitetsutnyttelsen lav. HD200 og HD265 leveres med henholdsvis opptil 7 og 10 spenntau. HD200 har høyeste utnyttelsesgrad med 86 % av momentkapasitet for 10 meter spenn og maksimum antall spenntau.

Det er antatt 20 millimeter avretting; dobbelt av det som er benyttet for BubbleDeck og flatdekke (10 millimeter).

Tabell 6.5.2: Beregnet materialbruk for hulldekke HD200 og HD265

HD	Spenn m	Utnyttelse M_{Ed} / M_{Rd}	Antall spennkabler	Betong kg/ m ²	Avretting kg/ m ²	Fugearmering kg/m ²
265	10	0,81	6	367	33	0,35
200	10	0,86	7	269	33	0,35
265	7,2	0,64	4	367	33	0,49
200	7,2	0,71	4	269	33	0,49
265	5	0,34	4	367	33	0,42
200	5	0,30	4	269	33	0,42

Til sammenligning er det for et annet kontorbygg med tilsvarende lastsituasjon og spennvidde 11 meter med HD265 benyttet 4 kg/m² spennstål, som tilsvarer 6 vaiere [43]. For et tilsvarende bygg i Trondheim er det tidligere benyttet HD 265 med 10 vaiere for 12 meter spenn og 6 vaiere for 8 meter spenn. I skisseprosjektet er ikke armering i hulldekker anslått.

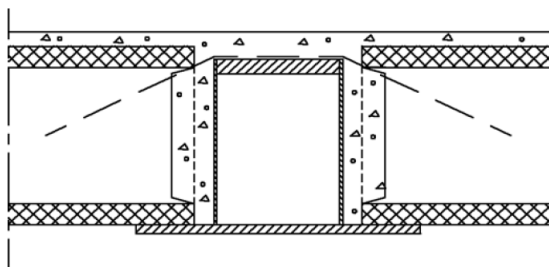
6.5.4 Bjelker til hulldekke

I utførte beregningene var det kun mulig med bjelkespenn opp mot 10 meter i tilfeller ved svært korte hulldekkespenn (5 meter) og dermed lite last. Et slikt valg av

spennvidder er dårlig utnyttelse av byggesystemet, ettersom hulldekkene har lavere materialbehov enn bjelkene og er utformet for høyere kapasitet. Maksimalt spenn ut i fra beregninger for DLB spennarmert betongbjelke var 8 meter og for stålbjelke 9 meter for hulldekkespenn ≥ 7 m. Et rasjonelt dekke-bjelke system bør ha bjelker ≤ 8 meter og hulldekkespenn bør være størst [29].

Stålbjelker

Sveiste hatteprofil av stålplater anvendes i etasjeskillere. Fordelen med stålbjelker er at de bygges inn i dekkene og dermed gir en mindre total dekkehøyde [21]. De er også vridningsstive, hvilket er en fordel under montasje [8]. Av stålbjelkene er HSQ-profil mest utbredt. Disse har høyde som flukter med dekket og bjelkens kapasitet økes ved å variere bredde på profilet, ikke høyde, se figur 6.9. HSQ-bjelker prosjektetes vanligvis opp til 7,2 meter [70]. For lengre bjelkespenn i for eksempel haller benyttes I - bjelker eller fagverksbjelker.



Figur 6.9: HSQ-bjelke

HSQ bjelker er dimensjonert med utgangspunkt i dimensjoneringsstabell fra Contiga. Kapasitet varierer med tverrsnittsareal og stålforbruk for ulike hulldekke - og bjelkespenn som angitt i tabell 6.5.3.

I skisseprosjektet er det gjort et grovt anslag på bæresystem i stål. Det er anslått 35kg/m^2 totalt for søyler og bjelker.

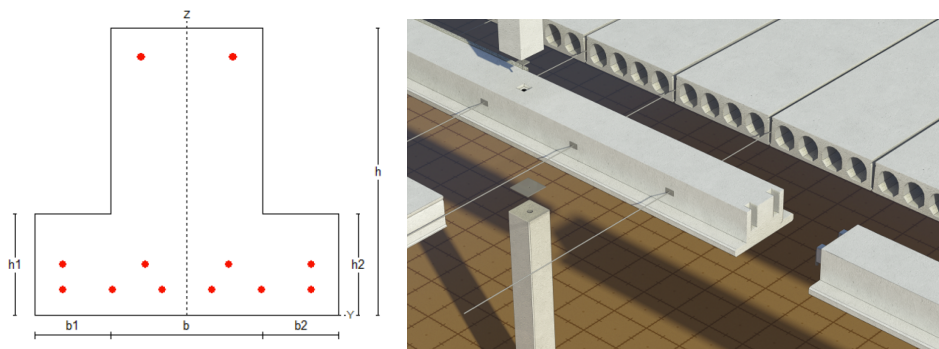
Betongbjelker

Det finnes en rekke bjelkevarianter å velge mellom etter føringer på bjelkespenn, last fra hulldekker og opplagerbetingelser. Regulære bjelker, RB, kan utføres som forspent eller slakkarmert dersom de er fritt opplagte. Fritt opplagte slakkarmerte bjelker har stort sett overhøyde innebygget i formen [15]. Etter arkitektoniske ønsker om å begrense

Tabell 6.5.3: Materialforbruk for HSQ bjelker

Bjelkeprofil	Bjelkespenn m	Hulldekkespenn m	HD	Stål kg/m ²
HSQ 250-22	7,2	10	265	13
HSQ 250-13	5	10	265	7
HSQ 250-15	7,2	7,2	265	15
HSQ 250-13	5	7,2	265	9
HSQ 250-14	5	5	265	17
HSQ 185-10	5	10	200	11
HSQ 185-10	7,2	7,2	200	15
HSQ 185-04	5	7,2	200	10
HSQ 185-01	5	5	200	10

byggehøyde, samt å maksimere spenn i to retninger, er det her valgt å se på spennarmert bjelke.



Figur 6.10: Spennarmert DLB bjelke

Høye bjelker gir økt stivhet, men dette er ofte ikke ønskelig av arkitektoniske årsaker. DLB bjelke er en spesiell variant av RB bjelke. Dette er en hyllebjelke som benyttes for å redusere total konstruksjonshøyde ved at dekkene bæres av en langsgående oppleggshylle på bjelken [15]. Bjelken beregnet her har tverrsnittsdata som vist på figur 6.10 med total byggehøyde 585mm og 500mm tilpasset henholdsvis HD265 og HD200 og vil fortsatt få et utstikk i hyllebredde under dekket.

Tabell 6.5.4 oppsummerer materialbruk for DLB for ulike spennvidder. Under slakkarmering inngår, i tillegg til lengdearmering i bjelken, hyllearmering (vertikal og horisontal), skjærarmering, forankring til søle og spaltetrekkarmering. Mindre

Tabell 6.5.4: Materialforbruk DLB

Bjelkespenn m	Huldekkespenn m	HD	Utnyttelse M_{Ed}/M_{Rd}	Spennarmering antall	Slakkarmering kg/m ²	Betong kg/m ²
7,2	10	265	0,95	12	0,92	634
5,	10	265	0,79	12	0,54	634
7,2	7,2	265	0,71	12	0,83	634
5	7,2	265	0,72	12	0,90	634
5	5	265	0,95	4	0,96	634
7,2	10	200	0,97	16	0,75	587
5	10	200	0,80	8	0,5	587
7,2	7,2	200	0,90	10	0,59	587
5	7,2	200	0,85	6	0,69	587
5	5	200	0,68	6	0,68	587

festekomponenter i bjelke - søyle/dekke forbindelse, som for eksempel gjengestang - og hylse, gummiplate, skiver og muttere som ikke vil utgjøre noen forskjell på de totale materialmengdene er ikke medregnet.

For et annet tilsvarende prosjekt med utført HD265 hulldekker er det benyttet DLB bjelker med spenn 7,4meter og høyde tilpasset hulldekket. Armeringsmengde utgjorde 51 kg/m² stål og betongen 513 kg/m² [43].

6.6 Søyler

De tre vurderte dekkssystemene krever ulik kapasitet av søylene. Søylene kan utføres i kvadratiske, rektangulære eller sirkulære tverrsnitt. Her er kun kvadratiske søyletverrsnitt og overliggende symmetriske dekker vurdert. Nødvendig søyletverrsnitt varierer med lasten fra de ulike etasjene, med stort tverrsnitt i nederste etasje hvor det er høy overliggende last og med redusert tverrsnitt oppover i etasjene.

Formålet med dimensjoneringen er ikke detaljprosjektering, men å synliggjøre søylenes bidrag og optimaliseringsmuligheter. Ettersom forutsetningene er konstante for ulike spenn og dekketyper, åpner det for en sammenligning mellom disse. Samtlige tverrsnitt vil med stor sannsynlighet kunne reduseres ved detaljert beregning av slanke søyler, men det antas at forholdet mellom dem vil være noenlunde likt, unntatt i tilfeller der minimumskrav blir gjeldende. Sterkt belastede søyler kan eventuelt utføres som

samvirkesøyler for å overholde arkitektoniske føringer om maksimal søyledimensjon. Ettersom tilgjengelig miljødata på stålprofil og stålplater fra EPD fra Stålforbundet viser at konstruksjonsstålets bidrag til energiforbruk og klimagassutslipp er betydelige, se kapittel 5.2, er ikke samvirkesøyler med innbygget stålprofil vurdert her. Muligheter for optimalisering av energibruk tilknyttet stål er utenfor denne oppgavens omfang og det er derfor ikke utført beregninger på stålsøyler.

6.6.1 Dimensjoneringsgrunnlag

Det er gjennomført enkle beregninger etter Eurocode 2 for å dimensjonere nødvendig søyletverrsnitt og armeringsmengde for de ulike dekkelsesningene. Søylen er dimensjonert slik at andre ordens effekter kan neglisjeres. Ved å gjennomføre detaljert beregning på slanke søyler, kan tverrsnittet reduseres. Dette må gjøres for det spesifikke lastbildet.

Beregningene tar utgangspunkt i en søyle midt i bygget med 5 overliggende etasjer. Det er valgt å sette søylehøyde lik etasjehøyde. Dette er vanlig praksis, men det kan diskuteres om søylehøyden i virkeligheten vil være fra senter i underliggende dekke til senter i overstående. Dette vil ikke gjøre en vesensforskjell i dette øyemed, hvor et estimat på forhold mellom materialmengder for ulike løsninger er formålet, og det er ikke gått dypere i dette valget. For detaljprosjektering vil valg av søylehøyde ha innvirkning på knekkklengde.

Beregningene inkluderer kontroll av slankhetskriterier, søyletverrsnittets kapasitet, kombinert moment og aksialkraft, samt biaksial bøyning. Kapasiteten til tverrsnitt og slankhet har vist seg å være dimensjonerende kriterier. Økt betongfasthet - og tverrsnitt øker kapasiteten på disse områdene.

Det er ikke utført beregninger for det ubalanserte momentet, som oppstår i lastkombinasjonen med nyttelast bare på ene siden av søylen. Dette utgjør lite i forhold til eksentrisitetsmomentet for symmetriske spenn, og her er det bare lagt på 5% på det totale momentet.

6.6.2 Materiale og materialbruk

Søyler kan utføres i betong eller i stål. Ved bruk av hule stålprofiler kan søylene utføres med et langt mindre tverrsnitt enn med betongsøyler. Grunnet mye bundet energi, se kapittel 5.2, vil stålsøylen likevel ikke lønne seg i et energiperspektiv.

Ved å øke fasthet på betongen i søylen fra 35 MPa til 45 MPa, kan armeringsmengdene reduseres betydelig. I tilfeller der tverrsnittets kapasitet blir dimensjonerende, kan ofte søyletverrsnittet reduseres mot en fasthetsøkning i betongen. Ved å redusere tverrsnittet,

Tabell 6.6.1: Materialforbruk søyle for ulike dekkeløsninger

Spenn 1 m	Spenn 2 m	Søylefasthet MPa	Dekke	Søyletverrsnitt mm	Betong kg/m ² dekke	Armering kg/m ² dekke
Flatdekke						
7,2	7,2	35	FD280	500x500	32,6	3,7
7,2	7,2	45	FD280	400x400	19,8	
5	5	35	FD280	300x300	22,8	7,6
5	5	45	FD280	250x250	14,7	8,5
7,2	7,2	35	FD200	450x450	26,4	2,9
7,2	7,2	45	FD200	400x400	20,6	2,9
5	5	35	FD200	250x250	15,0	7,6
5	5	45	FD200	250x250	15,5	5,9
BubbleDeck						
10	10	35	BD280	600x600	12,4	2,6
10	10	45	BD280	550x550	20,6	1,5
7,2	7,2	35	BD280	450x450	0,2	4,5
7,2	7,2	45	BD280	350x350	14,7	5,4
5	5	35	BD280	300x300	15,0	7,6
5	5	45	BD280	250x250	15,5	5,9
Hulldekker og DLB bjelke						
10	7,2	35	HD265	500x500	23,2	1,5
10	7,2	45	HD265	500x500	23,6	1,7
7,2	7,2	35	HD265	400x400	53,3	3,7
7,2	7,2	45	HD265	350x350	14,8	5,4
7,2	7,2	45	HD265	400x400	20,6	2,9
5	5	35	HD265	300x300	23,8	4,2
5	5	45	HD265	250x250	15,5	5,9
10	7,2	35	HD200	500x500	23,9	3,5
10	7,2	45	HD200	400x400	14,5	2,9
7,2	7,2	35	HD200	400x400	20,6	3,3
7,2	7,2	45	HD200	350x350	11,4	3,3
5	5	35	HD200	300x300	24,0	3,3
5	5	45	HD200	250x250	16,1	4,2

må armeringsmengden økes. Disse to må derfor vurderes med hensyn på materialmengder, tilhørende miljødata og muligheter for rasjonell byggeprosess.

Materialforbruk til det vertikale bæresystemet er langt mindre enn for dekkene, og søylevolum utgjør generelt lite i sluttregnskapet. Dimensjoner på søyleverrsnitt begrenses ofte av arkitektoniske føringer og krav til arealutnyttelse fremfor redusert materialforbruk. Flyveaskeerstatning er ikke tatt med for søyler, ettersom det vurderes at betongvolumene i søyle er svært små sammenlignet med dekkevolum. For plasstøpte søyler vil i tillegg treg herdetid for søylene få konsekvenser for den totale byggetiden, ettersom dette vil begrense når neste etasje kan påstartes. Det antas at det likevel er mulig å inkludere flygeaske i søylene. Prefabrikkerte søyler kan korte ned byggetiden – som er positivt for energibruk i byggeprosessen. Det er nok ikke ønskelig med bruk av flygeaske i prefabrikkert søyle fra elementleverandørenes ståsted. Ettersom fokuset i denne oppgaven er dekkeløsninger, samt at materialvolum i det vertikale bæresystemet er betydelig mindre enn i dekkene, er søyler med tilsetningsmateriale ikke vurdert.

Beregnet materialvolum for armert søyle er gitt i tabell 6.6.1. Ettersom armeringsmengdene her ble betydelige relativt til søylevolum er volum fortrent av armering trukket fra i beregning av betongmengder i søyleverrsnittet. For søyle i bæresystem med hulldekker er betongbjelke, DLB, vurdert i lastbildet fra dekket. For å vurdere bidraget av å øke fasthet i søylen mot de to betongenes energibidrag er beregnet materialvolum i tabellen gitt både for B35 og B45 i søyle. Omregning fra volumetrisk enhet er gjort ved bruk av densitet for de to betongene med resept spesifikt laget for denne oppgaven, $\rho_{B35}=2501 \text{ kg/m}^3$ og $\rho_{B45}=2488 \text{ kg/m}^3$; for stål er $\rho_s=7850 \text{ kg/m}^3$ benyttet. Densiteten til betongen er omtrent 100 kg/m^3 enn vanlig grunnet tungt tilslag. Det får ikke betydning for søylens dimensjoner eller innebygde energi, men kan gi et ekstra bidrag til termisk masse, se kapittel 3. De ulike dekkene er i tabellen betegnet som henholdsvis FD, BD og HD, for flatdekke, BubbleDeck og hulldekke.

Grovt anslag fra skisseprosjekt for midlere belastet søyle med BubbleDeck er 12 kg/m^2 armering [64]. Erfaringstall fra LOE Betongelementer angir 8 kg armering for sirkulær $\text{Ø}400$ søyle som holdt et hulldekkessystem med $11 \times 7,4$ meter spenn. I et annet fireetasjes kontorbygg i Trondheim, der fokus har vært på å minimalisere materialbruk med tilsvarende spenn har det vært benyttet kvadratisk stålsøyle med bredder 150 millimeter og tykkelse 10 millimeter (tilsvarer 71 kg/søyle stål) i nederste etasje. I øverste etasje er søyledimensjon redusert til bredde 80 millimeter og tykkelse 6 millimeter [21].

Som nevnt kan man ved å øke dekkedyden på hulldekker oppnå store spennvidder (opptil 19 meter for HD500) [15]. Til tross for redusert antall søyler vil søylediameteren nødvendigvis måtte økes betraktelig, i likhet med at betongfastheten må økes, typisk til B45. Dette vil, sammen med et betydelig større materialvolum i dekket (armering og betong), føre til en total økning i materialforbruk. Det er derfor viktig å optimalisere spenn etter materialbruk.

6.7 Avstiving

I beregningene er det sett bort i fra alle krefter som har med avstivning å gjøre, som vind og skjevstillingslaster. For et reelt bygg kan ikke disse neglisjeres, og komponenter med avstivingsfunksjon kan utgjøre betydelig materialmengder. En avstivende komponent må være kontinuerlig i hele byggets høyde. Tradisjonelt er det vanlig å benytte gjennomgående vegger til avstiving, i dag benyttes hovedsakelig heis - og trappesjakter til dette formålet. Det er praktisk ettersom disse innretningene uansett vil være gjennomgående i byggets høyde. Avstiving med fastholding i takkonstruksjon er også mulig [29]. Materialmengder som går med til avstiving lar seg vanskelig estimere for et enkelt modelldekke, ettersom valg av avstiving blir avhengig byggets høyde, utforming, laster ol.

Som et grovt estimat kan en regne at en vegg med normal tykkelse 200-250 mm og lengde 6 meter i et kontorbygg behøver et armeringsnett på omtrent 30kg/m^2 (fordeles i to retninger) som en minimumsarmering i henhold til Eurocode 2. I tillegg må veggens momentstivhet sikres med armeringsjern plassert i veggens hjørner. Fordelt utover veggens volum utgjør dette omtrent 5 kg/m^2 .

Et annet kontorbygg på 4 etasjer á 720m^2 i Trondheim har 6 vegger med bredde fra 4 - 7 meter med armering som beskrevet ovenfor. Man kan ut i fra dette anta at avstiving utgjør omtrent 10% av materialforbruk til dekke. Bidrag fra andre vegger vil variere med valg av fasadekledning og hvorvidt veggene er bærende. I vanlig betongvegg kan det anslås til 25 kg armering [65].

Ettersom det ikke er undersøkt hvorvidt valg av dekkesystem vil påvirke materialforbruk til avstiving og vegger, inngår ikke avstiving i energiregnskap for dekkene i kapittel 7, men må selvsagt inkluderes i et totalregnskap for bygget.

6.8 Parkeringskjeller

Det er utenfor oppgavens omfang å beregne bidrag fra grunn og fundamenter. Likevel kan ikke materialvolum som inngår i parkeringskjeller og grunnarbeider neglisjeres da disse ofte er av en betydelig størrelse. Her vil byggegrunn, valgt geometri, forankring av eventuelt vanntrykk og grunnvannstand være utslagsgivende faktorer.

Bunnplate dimensjoneres etter hjultrykk og oppdriftslast, det vil si vanntett kjeller under grunnvannsnivå (eventuelt høyvannsnivå), og utføres i betong med høy kloridbestandighet (typisk M40) på grunn av salt medbrakt av kjøretøy på vinterstid. Flygeaske tilsatt i betongen bidrar til en finere porestruktur, hvilket er bra for å holde

klorider ute, men bidrar mindre til kloridbinding enn sement. Det antas at flygeaske kan tilsettes i samme volum som for vanlig plasstøpte dekker, men for høye tilsatser bør kloridbestandighet undersøkes spesielt. Vanlig tykkelse på bunnplate ligger i området 300 - 600mm. Ved null oppløft kan det tenkes å utføre bunnplate med tykkelse ned til 150mm, forutsatt forsvarlig membranløsning. Hvis platen er frittstående bør den ha tykkelse omkring 300mm [29]. Det er vanlig praksis med 500mm tykk bunnplate med 156 kg/m³ armering [65]. En massiv betongplate med slike dimensjoner vil få innvirkning på det totale energibidraget.

Normalt brukes 250 – 300mm tykkelse for vanntette kjellervegger. Ved moderate vanntrykk, som her, er det tenkelig med en slankere kjellervegg for å redusere materialbruken [29]. Yttervegger ligger typisk mellom 140-175 kg/m³ armering med synkende kote (175 i 3U og 140 i 1U), innervegger med omtrent 150 kg/m³ armering.

Parkeringskjeller behøver ikke utføres som vantett. Det er også mulig å tilrettelegge for evakuering av deler av kjelleren når vannet en sjelden gang overstiger høyvannsnivå. Dette vil spare betydelige materialmengder. 'Ikke vanntett' kjeller er ikke vanlig praksis, og må utredes spesielt for tomten.

I tillegg kommer ramper og søyler som bidrar både med betong og tilhørende armering. Dette utgjør relativt store materialvolum som må vurderes. Dersom det er ustabil grunn så tilkommer store mengder armering i grunn. Det antas at parkeringskjeller vil være uavhengig av valg av dekkensystem over bakkenivå, og bidrag fra parkeringskjeller er følgelig ikke inkludert i energiregnskapet i kapittel 7.

Kapittel 7

Energiregnskap

Dette kapitlet oppsummerer endelig energibruk og klimagassutslipp for de vurderte dekkeløsningene med utgangspunkt i beregnede materialmengder fra kapittel 6 og de ulike komponentenes innebygde energi fra kapittel 5. I hvilken grad det vil lønne seg å variere betongkvalitet og tilsetningsmateriale for de ulike dekkeløsningene, samt for hvilke tilfeller det vil lønne seg å velge den enkelte løsningen, har blitt analysert. Resultatene fra analysen er gjengitt i dette kapitlet.

Det er viktig å merke seg at resultatene gjelder under de forutsetningene som er beskrevet i 6.2, og må ikke anses som generiske. Estimater for innebygget energi er basert på tilgjengelig informasjon per i dag og kan endre seg i fremtiden.

7.1 Modellen - Hvordan regne totalt energibidrag

Energiregnskapet er basert på et ganske enkelt prinsipp:



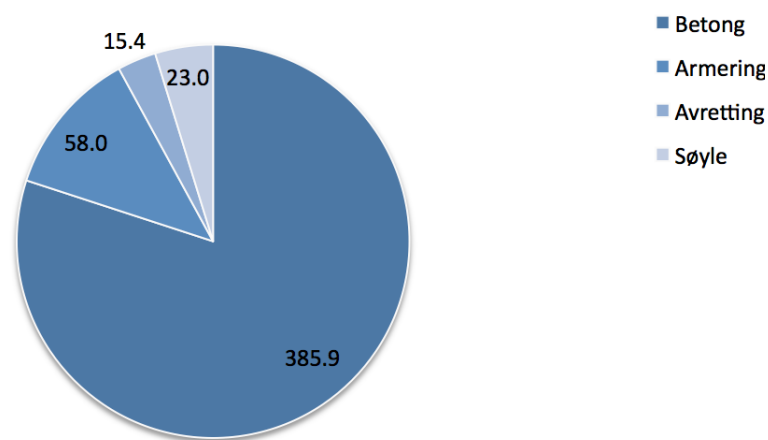
Beregnet materialandel multipliseres med tilhørende data for innebygget energi. I denne oppgaven vil materialenes innebygde energi omfatte: råvarer, produksjon og råvaretransport. Bidrag fra alle materialene, samt transport til byggeplass og eventuell videre produksjon, summeres til å bli det som her defineres som dekkets totale energibruk. Bidrag fra byggeplassaktiviteter er ikke inkludert.

I tillegg til selve dekket, omfatter energiregnskapet søyler og eventuelle bjelker. Resultat rapporteres per kvadratmeter dekke. Vegger, kjeller og grunnarbeider inkluderes ikke.

I seksjon 7.6.1 oppsummeres, det totalt sett, optimale valget, med hensyn på energi, for hver av konstruksjonsløsningene. Det er viktig å bemerke at optimalisering er gjort ut i fra de mulighetene modellen fordrer. Valg som har betydning for hvorvidt løsningen er optimal energimessig er: spennvidder, dekkhøyde, betongkvalitet, samt valg av tilhørende søyle og eventuelle bjelker. Avslutningsvis gjøres en kort vurdering av resultatene mot energimålet for Powerhouse One.

7.2 Energiregnskap for flatdekke

For flatdekke (FD) er det vurdert to ulike dekkhøyder, 200 og 280 millimeter, spennvidder 5 meter og 7,2 meter, som beskrevet i kapittel 6.3. Energiregnskap er, for alle tilfellene, utført med seks betongvarianter som er utviklet spesielt for dette prosjektet. Betongvariantene inkluderer kombinasjoner av to spesifiserte fasthetsklasser, B30 og B35, samt tre flygeaskeinnhold, 20 %, 28 % og 36 %. Betongene er beskrevet i tabell 5.6.1. Bidrag fra søyler, tilpasset hvert av tilfellene, er inkludert. Figur 7.1 viser hvordan innebygget energi er fordelt på de ulike komponentene som inngår i flatdekket.



Figur 7.1: Innebygget energi for FD280 i B35 med 7,2 x 7,2 meter spenn

Ut i fra energiregnskapet i denne oppgaven kom flatdekke ut som et svært energiøkonomisk alternativ for korte spennvidder. Det er viktig å merke seg at betongen har utgangspunkt i Norcem Standard FA før eventuell sementerstatning grunnet alkalireaktivt tilslag i det aktuelle området. Ved beregnet bruk av sementerstatning får betongen en forholdsvis høy, dog realistisk, andel flygeaske.

Tabell 7.2.1: Innebygget energi og CO₂-utslipp for flatdekke

Materiale	FA %	Spenn m	Dekkehøyde mm	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ - utslipp kg CO ₂ ekv/m ²
B35	20	7,2	280	482	80
B35	28	7,2	280	455	75
B35	36	7,2	280	436	71
B35	20	7,2	200	386	63
B35	28	7,2	200	366	59
B35	36	7,2	200	353	57
B35	20	5	280	468	78
B35	28	5	280	441	73
B35	36	5	280	422	69
B35	20	5	200	355	59
B35	28	5	200	335	56
B35	36	5	200	322	53
B30	20	7,2	280	459	75
B30	28	7,2	280	435	71
B30	36	7,2	280	419	67
B30	20	7,2	200	367	59
B30	28	7,2	200	350	56
B30	36	7,2	200	339	54
B30	20	5	280	449	74
B30	28	5	280	425	69
B30	36	5	280	409	66
B30	20	5	200	339	56
B30	28	5	200	322	53
B30	36	5	200	310	50

Sammenlignet med hulldekker og BubbleDeck, har et flatdekke få poster i energiregnskapet utover materialene. Flatdekket har ikke behov for underliggende bjelker, eller energiintensiv etterbehandling for å forene ulike materialer. Det er her antatt sommerstøp slik at eventuell oppvarming av betongen på byggeplass ikke er aktuelt, og i dette tilfellet representerer betongleveransen og råvaretransport av materialer til betongen, eneste transportbidrag. Fersk betong åpner også for optimalisering av betong med hensyn på energi - her demonstrert ved å erstatte sement med flygeaske.

7.2.1 Spenn og lastsituasjon

Å optimalisere dekkene etter lastsituasjon er første steg på veien mot redusert innebygd energi. Dette innebærer å velge tykkelse på dekket slik at de respektive dekkenes kapasitet samsvarer med spenn og lastsituasjon. Ved å redusere spenn, ble energibidraget per kvadratmeter flatdekke noe redusert. Dette er i hovedsak grunnet redusert armeringsbehov for korte spenn. Med materialmengdene som er beregnet ut i fra modellen, beskrevet i kapittel 6, resulterte kortere spennvidder, fra 7,2 til 5 meter, gjennomsnittlig 5 % og 10,5 % reduksjon i innebygget energi for henholdsvis dekketykkelse 280 mm og 200 mm. For dekketykkelse 200 mm er det relative bidraget fra armeringen større enn for 280 mm.

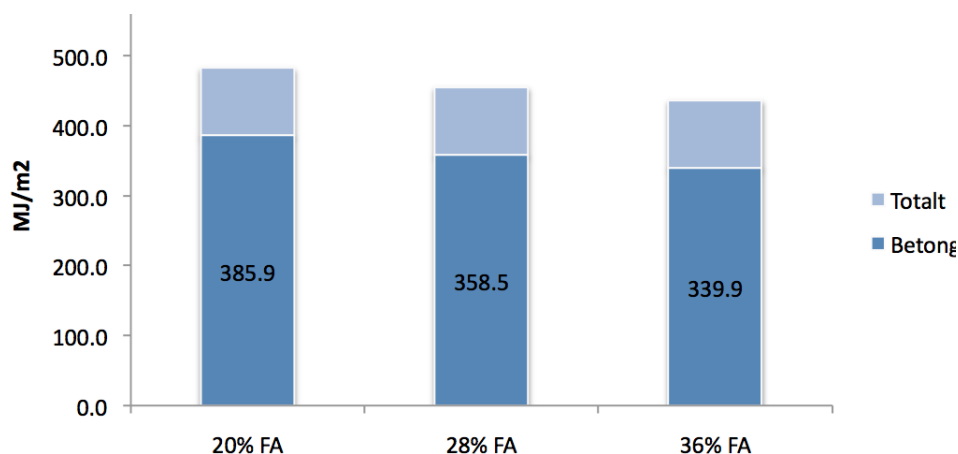
Lavere dekkeshøyder, fra 280 mm til 200 mm, førte til en betydelig reduksjon i innebygget energi. Dette er i hovedsak et resultat av mindre betongtverrsnitt. Det er vanskelig å underslå det faktum at betongen er største post i flatdekkets totale energiregnskap, jamfør figur 7.1, på grunn av det betydelige volumet betongen utgjør. Den beregnede reduksjonen for modelldekket var i snitt 21 % for dekkene med 7,2 meter spenn og 25,5 % for dekker med 5 meter spenn. Dette tyder på at tykkelse 200 mm har høyere utnyttelse av kapasiteten for spenn rundt 5 meter og at dersom en tar hensyn til nedbøying i dimensjonering vil dekkeshøyde på 280 mm sannsynligvis være nødvendig for spenn opp mot 7,2 meter.

7.2.2 Bruk av flygeaske

Ved å erstatte 10 % av Norcem Standard FA med flygeaske, oppnås omtrent 6 % reduksjon i flatdekkets innebygde energi. En tilsvarende 20 % erstatning fører til cirka 10 % reduksjon. Mest fremtredene var endringen for det analyserte tilfellet med B35, 5 meter spenn og 280 mm dekketykkelse (11 % reduksjon), ettersom armeringens bidrag utgjør mindre i totalregnskapet. Lavest innvirkning får flygeaskeerstatningen for dekker med B30, 7,2 meter spenn og dekketykkelse 200 mm, fordi dette dekket krever betydelig større armeringsmengder, og armeringens bidrag utgjør større andel av totalregnskapet.

7.2.3 Betongkvalitet

Å velge en betong med lavere fasthet, for eksempel B30 fremfor B35, kan resultere i lavere innebygget energi. Dette er beskrevet nærmere i 5.4.2. Flatdekket er dimensjonert for både B30 og B35, der begge konstruksjonene er underlagt de samme statiske kravspesifikasjoner. Dekket som er beregnet utført med B30, hadde naturlig nok et større behov for armering enn B35. Under detaljprosjektering kan i mange tilfeller



Figur 7.2: Innebygget energi med varierende flygeaskeinnhold for FD280 i B35 med 7,2 x 7,2 meter spenn

armeringsbehovet overskride hva som er praktisk gjennomførbart, og det vil følgelig ikke lønne seg å redusere fastheten. Økt armeringsmengde veide ikke opp for økning i nødvendig sementinnhold i betongen for å oppnå høyere fasthet. For flatdekket utgjorde reduksjon fra B35 til B30 omkring 5 % reduksjon av dekkets totale energibidrag.

Oppsummert kan flatdekkets energibidrag reduseres ved å:

1. Redusere spenn
2. Redusere dekketykkelse
3. Øke andel flygeaske
4. Redusere betongfasthet

7.3 Energiregnskap for BubbleDeck

Bundet energi i konstruksjonsløsningen BubbleDeck er estimert for plasstøpt betong i to fasthetsklasser med varierende flygeaskeinnhold, samt tre spennsituasjoner (symmetrisk dekke). Energiregnskapet er gitt i tabell 7.3.1. Energigevinst utover det som er vist i tabell 7.3.1 kan oppnås ved å erstatte deler av sementen i elementdelen med flygeaske. Ved å erstatte 15 % av sementen oppnås 9 MJ/m² total energireduksjon for samtlige løsninger, beregnet ut i fra forutsetningene gitt i oppgaven. Sementerstatning i elementdelen er ikke tatt med i energiregnskapet, men er inkludert i vurderingen av

BubbleDecks optimaliseringspotensial i kapittel 8.

Tabell 7.3.1: Innebygget energi og CO₂-utslipp for BubbleDeck, BD280

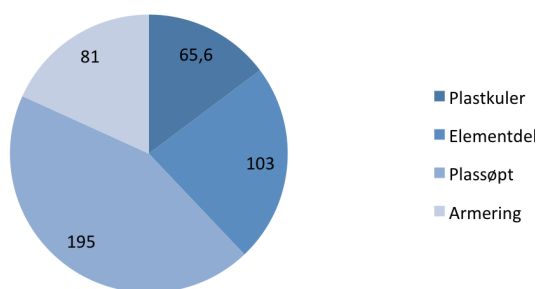
Spenn	Fasthet	FA	Energiforbruk	CO ₂ -utslipp
m	MPa	%	MJ/m ²	kg/m ²
10	B35	0	513	75
10	B35	20	499	72
10	B35	30	489	70
10	B30	0	499	72
10	B30	20	487	70
10	B30	30	479	68
7,2	B35	0	516	76
7,2	B35	20	502	73
7,2	B35	30	493	71
7,2	B30	0	503	73
7,2	B30	20	491	71
7,2	B30	30	483	69
5	B35	0	504	74
5	B35	20	489	71
5	B35	30	480	70
5	B30	0	490	71
5	B30	20	478	69
5	B30	30	469	68

7.3.1 Spennvidder

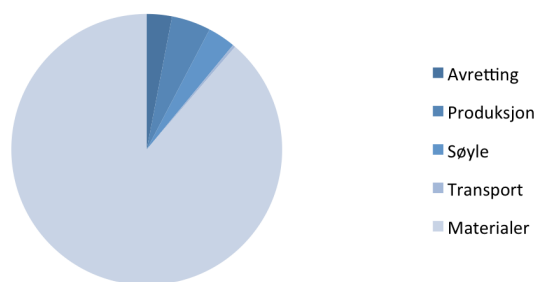
Fra energiregnskapet fremstår BubbleDeck, utført med både 10 og 5 meter spenn, som energieffektive løsninger. 5 meter spennvidde gav den energimessig beste løsningen. Dette skyldes i hovedsak armeringsutførelsen, som ikke ble tilstrekkelig endret fra 10 til 7,2 meter spenn, men som åpnet for vesentlig reduksjon i armeringsmengde i tilfeller med 5 meter spenn. Større spenn bidrar til økt fleksibilitet i konstruksjonen, en faktor som ikke kan neglisjeres i et energiperspektiv og 10 meter spenn er totalt sett et bedre alternativ, i det forskjellen i innebygd energi mellom de to var forholdsvis liten. I tillegg gir 10 meter spenn en god utnyttelse av konstruksjonsløsningens kapasitet, selv om BubbleDeck med den aktuelle dekkehøyden kan tåle spenn opp mot 12 meter [34].

7.3.2 Materialenes relative bidrag

Energiregnskapet for BubbleDeck består av mange poster, se figur 7.3. Både plastkuler og armering utgjør en betydelig del av det totale energiregnskapet. Til sammenligning utgjør bidraget fra tilhørende søyle 17 MJ/m² (tabell 7.5.1) for dekket i figur 7.3, henholdsvis 20 % og 26 % av estimert bidrag fra armering og plastkuler. Deler av energien i plastkulene er bundet av råvaretransport ettersom transportavstand er estimert fra fabrikken hvor plastkulene produseres i dag.

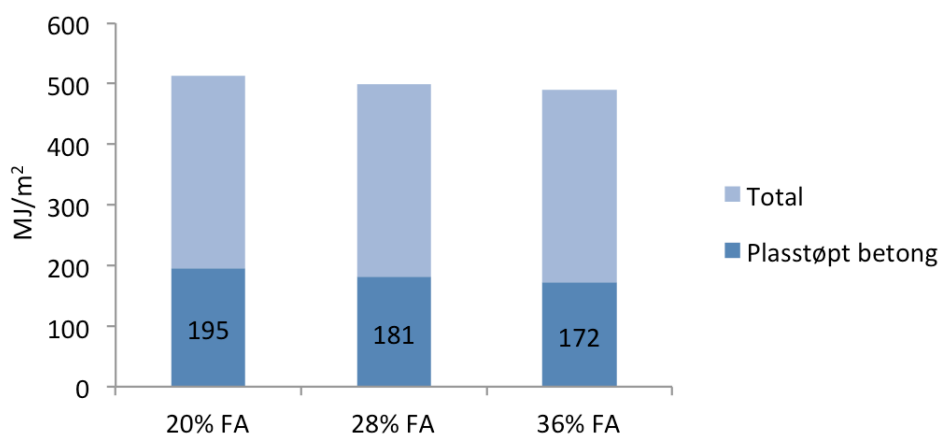


Figur 7.3: Energi fordelt på materialer



Figur 7.4: Energi fordelt på prosesser

Det er likevel ingen tvil om at betongen er dominerende. Elementbetongen utgjør tilnærmet halvparten av betongbidraget når den plasstøpt betongen ikke har ekstra flygeaske, til tross for betongenes respektive volumandel. Ved sementerstatning i plasstøpt betong blir bidraget fra elementdel prosentvis enda høyere.



Figur 7.5: BubbleDeck utført i B35 med 7,2 meter spenn og varierende flygeaskeinnhold i plasstøpt del

Ved både tilsetning av flygeaske og reduksjon av fasthetsklasse for plasstøpt betong reduseres dekkets totale energiforbruk. Tiltakene har imidlertid mindre betydning for den bundne energien i BubbleDeck enn hva som var tilfelle for flatdekke, ettersom den plasstøpte betongen i BubbleDeck representerer en mindre volumandel

Oppsummert kan BubbleDecks energibidrag reduseres ved å:

1. Balansere spenn mot fleksibilitet i konstruksjonen
2. Øke flygeaske i plasstøpt del
3. Redusere betongfasthet i plasstøpt del
4. Minimere transport

7.4 Energiregnskap for Hulldekker

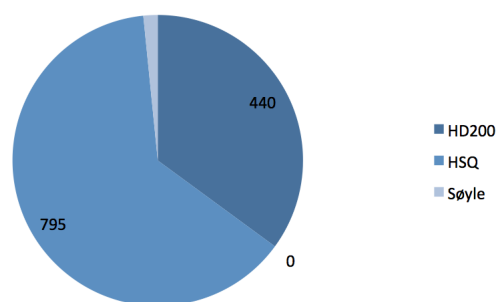
For konstruksjonssystem basert på hulldekker, inngår både bjelker og søyler i energiregnskapet. Bjelker er en forutsetning for det valgte hulldekkesystemet, og må nødvendigvis tas med i energiberegningen. Søylene er utført i betong, mens bjelker er vurdert med både stålprofil og spennarmert betong. I tabell 7.4.1 er totalt energiforbruk gitt for både HSQ-bjelke (stål) og for DLB (spennarmert betong). Bjelketypene er nærmere beskrevet i kapittel 6.5.4. Til tross for redusert betongvolum i hulldekkene, bindes relativt mye energi i konstruksjonsløsningen fra produksjon og transport, ettersom flere materialtyper inngår, og hvorav noen har lang transportdistanse.

7.4.1 Stål eller betong bæresystem

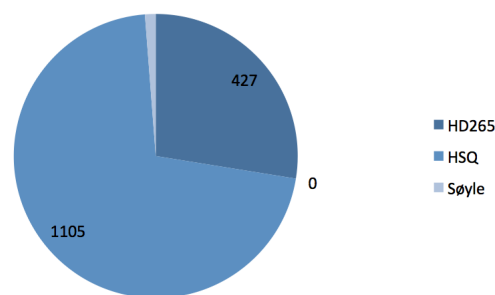
Ut i fra forutsetningene for denne oppgaven og energidata som foreligger i dag, utgjør stålbjelkene i snitt halvparten av dekkets totale energiforbruk. Dette begrunnes blant annet med en energiintensiv behandling av stålet etter fremstilling; først ved valsing til plate, deretter via sveising og overflatebehandling til aktuelt profil. Dersom stålbjelker benyttes, kan ikke hulldekker konkurrere med de andre konstruksjonskonseptene når det gjelder innebygget energi, uavhengig av andel flygeaske brukt i betongen.

7.4.2 Materialenes relative bidrag

For hulldekkenes vedkommende utgjør betongen i overkant 50 % av totalt energibidrag. Spennarmeringens relative bidrag ligger i området 8 - 16 %, avhengig av elementets



Figur 7.6: Innebygget energi med DLB



Figur 7.7: Innebygget energi med HSQ

utnyttelsesgrad. For HD200 med 10 meter spenn er spennarmeringens bidrag mest fremtredende, i og med at dette er den mest rasjonelle utnyttelsen av hulldekket med hensyn på kapasitet. Bidrag fra eventuell slakkarmering er neglisjerbar.

Spennarmeringen i DLB-bjelke tilsvarer omkring 20 % av det totale energiregnskapet, mens betongen bidrar med nærmere 60 % da bjelken utføres i massivtverrsnitt.

Tabell 7.4.1: Energiforbruk og CO₂-utslipp for hulldekker (0%FA), med HSQ og DLB

Spenn			Totalt med HSQ-bjelke		Totalt med DLB-bjelke	
HD mm	HD m	Bjelke m	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ - utslipp kg/m ²	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ - utslipp kg/m ²
265	10	7,2	1256	98	534	108
265	10	5	901	90	533	108
265	7,2	7,2	1551	117	546	130
265	7,2	5	1058	105	546	130
265	5	5	1335	110	569	140
200	10	7,2	N/A	N/A	462	107
200	10	5	1181	96	448	108
200	7,2	7,2	967	83	444	104
200	7,2	5	1769	103	435	102
200	5	5	1225	71	458	99

Resultatene viser at hulldekket med 7,2 meter spenn slår tilfellet med 10 meter spenn på målstreken i energiregnskapet. Denne forskjellen utgjøres av spennarmeringen, og ettersom differansen kun består av 3 MJ/m² bør energibesparelsen vurderes opp mot verdien av økt spennvidde. Å øke bjelkenes spennvidder høyner energiforbruket i vesentlig større grad enn tilsvarende økning i hulldekkets spenn. Dette må tas i betraktning i utformingen av bygget. Det minste elementet (HD200) fremgår som beste løsning i ut i fra energihensyn.

Tabell 7.4.2: Energiforbruk og CO₂-utslipp for hulldekker (DLB) med 20% og 30% FA

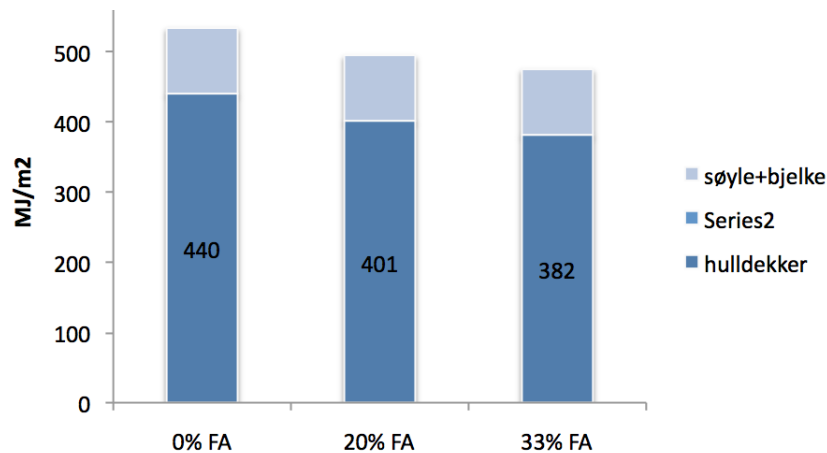
Spenn			DLB og 20%FA i dekker		DLB og 33%FA i dekker	
HD mm	HD m	Bjelke m	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ - utslipp kg/m ²	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ - utslipp kg/m ²
265	10	7,2	494	101	475	102
265	10	5	493	101	474	102
265	7,2	7,2	502	111	474	107
265	7,2	5	502	111	475	107
265	5	5	528	134	485	98
200	10	7,2	462	117	418	113
200	10	5	429	114	404	110
200	7,2	7,2	412	99	410	106
200	7,2	5	403	97	401	104
200	5	5	428	94	409	90

7.4.3 Bruk av flygeaske i hulldekkeelement

Hulldekkene er utslagsgivende bygningskomponent i energiregnskapet (dersom det forutsettes betongbjelker fremfor HSQ), se figur 7.6. Ved 20 % sementerstatning reduseres innebygd energi i hulldekkene med omkring 10 %. Dersom erstatningen økes til 33 %, reduseres elementets energibidrag med cirka 16 %. Dette tilsvarer henholdsvis 7,5 % og 12 % energibesparelse for bæresystemet. Eventuell ekstra herdetid og oppvarming av spennbenk er ikke medtatt i energiregnskapet. En fornuftig avveining fordrer undersøkelse av hvor mye ekstra oppvarming som kreves for å oppnå et ønskelig herdeforløp i produksjonen.

7.4.4 Produksjon

For hulldekker utgjør produksjon og transport (av både råvarer og ferdige elementer til byggeplass) 30 - 35 % av elementenes innebygde energi. Produksjonen alene utgjør 25 %. Det er viktig å merke seg at dersom bruk av et substituttmateriale i betongen krever vesentlig mer energi i produksjonen til oppvarming av spennbenkene, vil dette ha betydning for sluttregnskapet. Fra figur 5.5 i kapittel 5 kan det anslås at en time ekstra oppvarming vil utgjøre mellom 4 og 10 MJ/m² for HD265 og mellom 3 og 8 MJ/m² for HD200, avhengig av årstid. Produksjon av bjelker krever imidlertid mindre energi enn hulldekkene. For DLB-bjelker utgjør produksjonen omtrent 10 % av bjelkens bundne energi.



Figur 7.8: Innebygget energi med varierende flygeaskeinnhold for HD265 med DLB og 10 x 7,2 meter spenn

Oppsummert kan hulldekkers energibidrag reduseres ved:

1. Lange hulldekkespenn
2. Korte bjelkespenn
3. Lav dekkehøyde
4. Betong fremfor stål i bjelker
5. Økt andel flygeaske i hulldekker
6. Optimalisere spennarmering

7.5 Energiregnskap for søyler

Ut i fra forutsetningene i denne oppgaven utgjør søylene 5 - 10 % av bæresystemenes innebygde energi. To fasthetsklasser er benyttet i vurdering av søyler: B35 og B45. Sistnevnte betong har mindre bundet energi, se tabell 5.6.1. Likevel ble, i mange av tilfellene, det totale energibidraget lavere for søyler utført med fasthetsklasse B45, grunnet redusert tverrsnitt. Dette var særlig tilfelle for søyler tilpasset dekker med høy egenvekt (flatdekke). Søyletverrsnittene blir da forholdsvis store og økt armeringsmengde som følge av tverrsnittsreduksjon har liten innvirkning. Dette gjaldt også søyler tilpasset hulldekker. For små tverrsnitt veide redusert armeringsmengde opp for økt bundet energi i B45. For store tverrsnitt hadde armering mindre betydning og fasthetsøkning får motsatt effekt.

Bundet energi i søylene er kun vurdert for betong med Norcem Anlegg FA, uten ekstra flygeasketilsetning. Denne sementen har 20 % flygeaske malt sammen med sementen.

Tabell 7.5.1: Energibruk og CO₂-utslipp for søyler

Spenn1 m	Spenn2 m	fasthet MPa	Dekke Dekke	tverrsnitt mm	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ -utslipp kg CO ₂ ekv/m ²
7,2	7,2	35	FD280	500	28	4
7,2	7,2	45	FD280	400	23	3
5	5	35	FD280	300	33	5
5	5	45	FD280	250	32	4
7,2	7,2	35	FD200	450	22	4
7,2	7,2	45	FD200	400	21	3
5	5	35	FD200	250	29	4
5	5	45	FD200	250	26	4
10	10	35	BD280	600	14	2
10	10	45	BD280	550	17	3
7,2	7,2	35	BD280	450	23	3
7,2	7,2	45	BD280	350	24	3
5	5	35	BD280	300	29	4
5	5	45	BD280	250	26	4
10	7,2	35	HD265	500	17	3
10	7,2	45	HD265	500	20	3
7,2	7,2	35	HD265	400	40	6
7,2	7,2	45	HD265	350	24	3
5	5	35	HD265	300	26	4
5	5	45	HD265	250	25	4
10	7,2	35	HD200	500	24	4
10	7,2	45	HD200	400	16	2
7,2	7,2	35	HD200	400	22	3
7,2	7,2	45	HD200	350	15	2
5	5	35	HD200	300	24	4
5	5	45	HD200	250	20	5

10% sementerstatning med flygeaske (gir totalt 28% flygeaskeinnhold) kan være gjennomførbart, men ettersom søylene utgjør forholdsvis lite for bæresystemets totale bundne energi er dette ikke vurdert. Energiforbruk og klimagassutslipp for en B45 med høyere flygeaskeinnhold er gitt i tabell 5.6.1.

- Oppsummert kan søylers energibidrag reduseres ved å:
1. Øke søylefasthet for dekker med høy egenvekt
 2. Redusere tverrsnitt

7.6 Sammenligning av dekkeløsningene

Ut i fra de beregninger, materialvurderinger og forutsetninger som er lagt for oppgaven, kom flatdekket best ut i energiregnskapet for spenn i området 5 - 7,2 meter. Spenn i denne størrelsesorden gir optimal utnyttelse av flatdekkets kapasitet. For større spenn gir flatdekkets høye egenvekt begrensninger. Når det gjelder klimagassutslipp, er resultatene ganske like mellom flatdekke og BubbleDeck, men flatdekke ligger noe lavere. Både hulldekker og BubbleDeck har lav utnyttelse av sine kapasiteter med spenn 5 - 7,2 meter.

Hulldekker har i utgangspunktet høyere tilknyttet energibruk enn BubbleDeck. Ut i fra forutsetningene i denne oppgaven og slik dekkeløsningene produseres i dag, er BubbleDeck en bedre løsning med hensyn på å minimere innebygget energi. Dette er blant annet fordi 75 % av betongen kan produseres uten spesielle hensyn til industriprosessen. Betongen i BubbleDeck-platen er energikrevende, men utgjør bare 25 % av totalt betongvolum. Ved 20 % flygeaskeinnhold gir hulldekker et tilsvarende resultat som BubbleDeck med 28 % flygeaske i den plasstøpte delen.

Ved 33 % flygeaskeinnhold er hulldekkets energiforbruk lavere enn BubbleDeck. De ulike løsningene optimaliseres med hensyn på innebygget energi for ulik geometrisk utforming. Optimal bruk av de enkelte konstruksjonsløsningene er gitt i tabell 7.6.1.

Tabell 7.6.1 synliggjør hvordan konstruksjonskonseptene fordrer ulik geometrisk utforming i optimalisering med hensyn på innebygget energi. I tilfellene hvor forskjellen er svært liten, eksempelvis for hulldekket, vil lengere spenn være en bedre løsning totalt sett. Bundet energi i bæresystemet må vurderes opp mot konsekvensene kortere spennvidder kan ha på konstruksjonens bærekraftighet, arealeffektivitet og arkitektonisk frihet. I en helhetsbetraktning er det nødvendig at bæresystemet gir et tilpasningsdyktig bygg, ettersom det vil være med å angi konstruksjonens faktiske levetid. Det er imidlertid ikke umulig å tenke seg en annen utforming på konstruksjonen enn det som er dagens praksis. En bør derfor søke den optimale balansen mellom fleksibilitet i konstruksjonen og minimalisert innebygd energi.

Tabell 7.6.1: Optimale løsninger i miljøperspektiv

Dekkehøyde mm	Spennvidder m	Betong MPa	FA %	Energiforbruk MJ/m ²	CO ₂ - utslipp kg /m ²
Flatdekke					
200	5 x 5	B30	36	310	50
BubbleDeck					
280	10 x 10	B30	36	479	68
280	5 x 5	B30	36	469	68
Hulldekker					
200	10 x 5		33	404	110
200	7,2 x 5		33	401	104

7.6.1 Vurdering mot mål for Powerhouse One

BubbleDeck kom ut som beste alternativ med hensyn på innebygd energi i skisseprosjektet. Bundet energi i BD280, med maksimalt spenn 11 meter, var i skisseprosjektet estimert til 3,13 kWh per m² per år, over 60 års livssyklus. Dette tilsvarer energiinvestering tilsvarende 676MJ/m² ved byggestart - år 0 i byggets levetid. Dersom en benytter hulldekker med HSQ-bjelke, overskrides verdien gitt av prosjektet. Ingen av de analyserte løsningene resulterte i tilsvarende mengde innebygd energi ut i fra forutsetninger gitt i denne oppgaven.

Powerhouse One har mål om energi bundet i bygningskroppen på maksimalt 22 kWh/m²år, og med 60 år som estimert levetid. I estimatet for skisseprosjektet er viktige poster utelatt, deriblant avstiving og vertikal bæring. I skisseprosjektet ble bundet energi i solceller estimert til 7,2 kWh/m²år, tilsvarende 1555,2 MJ/m² ved investeringstidspunkt. Solcellenes bidrag til innebygd energi fører til at det kreves mer av bygningskomponenter som ikke produserer energi, deriblant bæresystemet.

Kapittel 8

Potensial for optimalisering

Kapittel 7 har synliggjort at det ikke bare er enkeltkomponentenes bidrag som har betydning for hvorvidt konstruksjonen kan regnes som energieffektiv, samt at energieffektive bæresystem er mulig for samtlige av de tre vurderte konstruksjonsløsningene. Det neste spørsmålet blir derfor hvilket potensial disse har for ytterligere reduksjon av innebygd energi.

For betongens del er tre tiltak aktuelle for å redusere innebygd energi:

1. Effektive konstruksjoner med redusert betongvolum som følge.
2. Redusert energibidrag fra bindemiddelet (bruk av flygeaske, slagg ol.)
3. Optimalisere resepter (redusert sementforbruk per betongvolum).

Effektive betongkonstruksjoner innebærer å tilpasse spennvidder, dekketykkelse og betongkvalitet etter løsningens potensial og formål; som i dette tilfellet er å minimere innebygget energi. Fra kapittel 7.6.1 er det klart at alle løsningene er innenfor prosjektets energimål, men en optimalisering av de tre løsningene innebærer at det legges ulike føringer for spennvidder og betongkvaliteter. Det er viktig å spesifisere *rett* betongkvalitet. Dette innebærer å velge lavest mulig fasthetsklasse, så fremt dette ikke medfører nødvendig tverrsnittøkning. I dette kapitlet vil det kort vurderes muligheter for optimalisering utover det som er behandlet i kapittel 7.

Som nevnt i kapittel 5, er det mest utbredte tiltaket for å redusere betongens miljøfotavtrykk å erstatte sement, som ubetinget er den største bidragsyteren, med forskjellige substituttmaterialer fra industriprosesser i og med at disse går 'gratis' på klimabørsen. Bruk av de nevnte substituttmaterialene får konsekvenser for betongen, hvilket igjen kan skape visse utfordringer for dagens betongteknologi. Utfordringene berører ikke bare industriprosessene, men får også betydning for ytelseskrav regulert av

Norsk Standard samt for fremdrift i byggefasen. I dette kapitlet vurderes de ulike løsningenes potensial for bruk av substituttmateriale og mulige tilknyttede utfordringer. I denne forbindelse har det blitt utredet muligheter for å produsere 'lavenergi' hulldekker i Contigas produksjon på Stjørdal.

Optimalisering av betongsammensetninger er utenfor omfanget av denne oppgaven. NorBetongs lavkarbonklasser, se tabell 5.3.1, er delvis basert på dette, og hvorvidt en slik optimalisering med sementreduksjon som hovedgrep er gjennomførbar for betong tilpasset de tre konstruksjonsløsningene, vurderes kort i dette kapitlet.

Sementprodusentene sitter selv med nøkkelen til å redusere energibidraget fra sementen. Deres tiltak for å bedre energieffektivitet i produksjonsprosessen blir med betongen videre i livsløpet, og vil ha direkte innvirkning på konstruksjonens energiregnskap. Representanter fra Norges eneste sementprodusent, Norcem, samt en av de største sementimportørene, Cemex, har blitt intervjuet om deres ståsted angående energispørsmålet og utviklingsplaner for fremtiden. Dette behandles under seksjon 8.4.

8.1 Flatdekke

Det er mulig med høyere andel tilleggsmaterialer, som for eksempel flygeaske og slagg enn hva som benyttes i dag. Dette er selvsagt avhengig av tilstrekkelig tilgjengelighet av disse materialene, se kapittel 8.4, samt at de i fremtiden fortsatt blir regnet som klimanøytrale. Frem i tid kan det også tenkes at restprodukter fra andre industrier vil kunne bli aktuelle som tilleggsmaterialer i betongen. Med økende miljøfokus og påfølgende flere referanseprosjekter for lavenergibetonger med høy grad av sementerstatning, må etter hvert standardverket nødvendigvis revurdere dagens regulering av tilsetningsmaterialer.

Som følge av stor etterspørsel etter sement med lav varmetvikling og redusert karbonavtrykk, utviklet Norcem Lavkarbonsement; en sement med 30 % flygeaske og 5 % kalksteinmel. Til dags dato er denne produsert i et begrenset volum, et såkalt 'prøveparti'. Men i og med at stadig flere prosjekter etterspør sement med redusert miljøavtrykk, kan det hende at sementprodusentene må utvide produksjon av denne. I tillegg må muligvis sortimentet utvides med flere sementer av denne typen, tilpasset ulike formål. Det har blitt observert at flygeaskens reaksjonstid er svært varierende etter hvor finmalt asken er, [27], og det kan hende at flygeaske med ulik sammensetning (fra forskjellige kraftverk) kan variere i reaktivitet. Dersom man tar hensyn til dette, i tillegg til at flygeasken finmales sammen med sementen, er det tenkelig at herdetid for blandingssementene ikke lenger blir en avgjørende faktor. Det eksisterer i dag et begrenset antall herdeakseleratorer på markedet. Foreløpig virker det som om bidraget

fra disse er begrenset til kun å øke varmeutviklingen i betongen, hvilket indirekte fører til at betongens styrkeutvikling går raskere [55]. Videre utvikling av disse akseleratorene kan forhåpentlig resultere i en vesentlig økt tidligfasthet for betonger med høy andel flygeaske.

Egenvekt og spenn er de mest begrensende faktorene for flatdekkets potensial. Det er lite trolig at materialtekniske nyvinninger i nærmeste fremtid vil kompensere betongens lave strekkfasthet og høye egenvekt i et slikt omfang at maksimal spennvidde kan økes i vesentlig grad. Betongene som er analysert her er svært tunge ($\rho \simeq 2500 \text{ kg/m}^3$) grunnet tungt tilslag. Dette vil føre til økte laster fra egenvekt og dermed reduserte spenn i tillegg til økte søyleverrsnitt. Den endelige effekten av dette bør undersøkes nærmere slik at lettere tilslag eventuelt kan benyttes i de tilfeller der det vil utgjøre en forskjell i materialforbruk. Derimot øker den høye densiteten bidraget fra termisk masse. Selv med lavere dekkhøyde har flatdekker et stort betongvolum, hvilket er optimalt for utnyttelse av materialets termiske masse. I og med at sementinnholdet allerede er forholdsvis lavt, kan en videre reduksjon utover dette bli problematisk med hensyn på betongens flyteegenskaper.

Flatdekket har få energibidrag utover materialene. Det er mindre å hente i optimalisering av transport og produksjonsprosesser enn for de andre løsningene.

8.2 BubbleDeck

Det er mange parametere som inngår i sluttregnskapet for BubbleDeck. Det å kun forbedre ett av disse utgjør lite på dekkets totale innebygde energi.

Til tross for at betongvolumet i det prefabrikkerte elementet bare tilsvarer omkring 25 % av den totale betongmengden, utgjør betongen i elementet 35 - 40 % av totalt energibruk tilknyttet betongen. Årsaken til dette er at betongen er en selvkomprimerende betong (SKB) med høyt sementinnhold. Elementet produseres i dag med Norcem StandardFA og det er sannsynlig at deler av sementen i elementet kan erstattes med flygeaske. En 15 % erstatning vil føre til 9 MJ/m^2 reduksjon i elementets innebygde energi, tilsvarende 2 % total energireduksjon for hele dekket. Betongen som i utgangspunktet allerede har 20 % flygeaske vil da få 36 % totalt flygeaskeinnhold i bindemiddelet. Produsenten har uttalt at en slik substituering burde være mulig, men at det forutsetter en omlegging av produksjonsprosessen. En slik omlegging vil blant annet innebære bruk av mer varme under herding [22]. Ekstra energi i produksjonen, samt redusert produksjonskapasitet grunnet lengre herdetid, kan utligne energigevinsten. Det antas derfor at det er lite å hente i energireduksjon for elementbetongen.

Elementbetongen er ikke tilpasset formålet om å redusere energi. SKB kan oppnås med andre grep enn å øke sementinnhold og redusere størrelse på tilslag. Optimalisering av resepten med hensyn på energi vil være fordelaktig.

Ved kun å benytte resirkulert plast i produksjonen av kuler vil energiforbruket kunne reduseres 37 % per kule, tilsvarende 5 % totalreduksjon i for hele dekket ut i fra estimer gjort for denne oppgaven. I transporten av kulene er det kulevolum, og ikke vekt som blir avgjørende. Å flytte produksjon av plastkulene nærmere elementproduksjonen vil innebære omtrentlig 2 % total energireduksjon for dekket; like mye som ved å erstatte 15% av sementen med flygeaske i elementbetongen.

En av fordelene med BubbleDeck er store biaksiale spenn (opp mot 12 meter for BD280), og i optimaliseringen er det viktig å nyttegjøre seg av denne fordelene. Dersom BubbleDeck skal benyttes for korte spenn kan det være nyttig å vurdere BD230 for bruk i Norge. Videre optimalisering av armeringsmengder utover det som er gjort for denne oppgaven vil også kunne være å foretrekke, da armering her utgjør omtrent 16% av totalt energiforbruk. Det er videre antatt at armeringsnettene kan produseres i Norge. Dersom dette ikke er tilfelle, vil armeringen bidra i vesentlig større grad.

8.3 Lavenergi hulldekker på Stjørdal

I dagens hulldekkeproduksjon på Stjørdal benyttes betong med delvis Industri sement og delvis Norcem StandardFA sement grunnet alkalireaktivt tilslag. Denne betongen har en tilsvarende bundet energi som den hulldekkebetongen som er benyttet for beregninger i denne oppgaven for samme flygeaskeinnhold. Hvis deler av sementen erstattes med flygeaske, vil den tregere herdetiden representere en utfordring i produksjonsprosessen. Herdetid for hulldekker uten ekstra flygeaske er normalt omtrent 16 timer. Elementene kappes i det de har nådd 38 MPa fasthet. Det antas at denne herdetiden vil øke med større flygeaskeandel.

Hver spennbenk kan produseres 150m² hulldekkeelementer, der alle har samme dekkedyde og armeringsutførelse. Contiga på Stjørdal har i dag 4 slike benker i drift, samt én som ikke er satt opp. Under møte med betongleverandør Unicon og produksjons- og prosess ansvarlige hos elementleverandør Contiga utkrystalliserte det seg følgende muligheter for produksjon av hulldekker med lavere energiavtrykk på Stjørdal:

- Helgestøp: støpe på fredag, kappe på mandag
- Øke varme i produksjonen
- Øremerke en spennbenk til dette formålet



Figur 8.1: Hulldekkeproduksjon på Stjørdal

Telemark Krisesenter i Skien er eneste prosjekt som til nå har vært utført med over 30 % flygeaske i hulldekkeelementene. Denne produksjonen ble gjennomført med 'helgestøp' - støpe på fredag, kappe på mandag - slik at elementene fikk tilstrekkelig tid til å herde over helgen. Størrelsen på prosjektet (2500 m²), gjorde en slik produksjonsrytme mulig. For Powerhouse (16000 m²), ville tilsvarende helgestøp av hulldekker ta 27 helger, et halvt år, med dagens produksjonskapasitet. I tillegg medfører denne løsningen logistikkutfordringer for blant annet mellomlagring og prosjektering, da tegninger må være på plass i forkant av hvert støp.

Forslaget om å øke varme i produksjonen er en mulig annen tilnærming. Både flygeaske og slagg bidrar til høyere aktiveringsenergi (større temperaturfølsomhet) i bindemidlet. Dette betyr at tilførsel av varme vil ha relativt større effekt på fasthetstilveksten i slike betonger enn i betonger med ordinære bindemidler. Per i dag brukes varme i spennbenken i omtrent 2 timer om sommeren, og 7 timer om vinteren. Varmen slås automatisk av når temperaturen når 45°. I tillegg benyttes varmegassen til oppvarming av tilslaget i vintermånedene. Til tross for at varmetilførselen er relativt konstant, oppnås ønsket fasthet tidligere i sommermånedene, og aller raskest på høsten når bakken er godt oppvarmet og tilslaget holder god temperatur. For å undersøke effekten av å benytte mer varme i produksjonen bør det gjøres prøvestøp slik at varmetilførsel kan

tilpasses spesifikt til betongen. Det er også et alternativ å la betongen eksponeres for varme over lengre tid.

Det siste alternativet er å anskaffe en ekstra spennbenk, øremerket for produksjon av lavenergihulldekker, med lengre herdetid. En spennbenk er ikke en spesielt komplisert anretning, forutsatt tilstrekkelig plass og at man allerede har produksjonsutstyr. Contiga har per i dag en ekstra spennbenk under oppføring. Denne ekstra spennbenken kan eventuelt kombineres med helgestøp med full kapasitet.

Det neste spørsmålet blir hvilken sement som bør benyttes:

- Norcem lavkarbonsement
- Industrisement+FA
- Norcem StandardFA+FA

Lavkarbonsement har et ønskelig flygeaskeinnhold og karbonavtrykk. Sementen er foreløpig bare produsert i et begrenset volum. Industrisement og delvis substituering med flygeaske har vist seg å være et godt alternativ i områder der reaktivt tilslag ikke er et problem og er løsningen som ligger til grunn for energiregnskapet i denne oppgaven. Foreløpige erfaringer fra Telemark Krisesenter viser at denne hadde et godt herdeforløp. Norcem StandardFA med delvis substituering burde gi tilsvarende resultat i energiregnskapet. I tillegg har sistnevnte alternativ den fordelen at 20% flygeaske allerede er malt sammen med sementen, hvilket fører til høyere reaktivitet og høyere tidligfasthet.

8.4 Sementleverandørenes perspektiv

I intervju gjort i forbindelse med denne oppgaven uttaler både Norcem og Cemex at de har stort fokus på miljø i sin produksjon. Norcem har nylig investert i nye innmatningssystemer som tillater opp til 75 % alternativ brensel i produksjonen. Fabrikken i Brevik bruker i dag 55 % alternativ brensel. De siste årene har det vært investert i moderne kalsineringsanlegg og energieffektivt produksjonsutstyr. I tillegg er de med i et prøveprosjekt som utreder muligheten for CO₂ fangst på fabrikken i Brevik. Cemex har på sin side også høyt fokus på alternative brennstoff. Målet er at alternative brennstoffer skal utgjøre 70 % på fabrikken i Rudersdorf, hvor sementen som kommer til Norge blir produsert, og 35 % for Cemex globalt. Fabrikken i Rudersdorf har samarbeidet med kraftleverandøren Vattenfall om å produsere strøm for eget bruk i produksjonen, og å selge overskytende strøm tilbake til nettverket. Dermed har de blitt mer eller mindre selvforsynte med energi. Begge leverandørene har fokus på redusert klinkerinnhold i sementen. Norcem gjør dette ved tilsetning av flygeaske, Cemex med slagg. Norcem har

levert sement med 30 % flygeaske i flere prosjekter de siste årene - hovedsaklig til lavvarmebetong. Cemex, på sin side, viser til prosjekter der det har vært benyttet betong med over 75 % slagginnhold. I tillegg til Miljøsement (34 % slagg) har de for tiden en sement med 48 % slagginnhold under ut-testing (CEM III/ A). Foreløpig har kravet til bestandighet mot karbonatisering vært en begrensende faktor for sementen med høyt slagginnhold. Styrkeutviklingen i slaggsementen har vist svært gode resultater, også i tidlig fase.

Per i dag begrenser tilgjengelighet på flygeaske ofte bruken når betongteknologien åpner for det. Med tilgjengelighet menes både produksjon av store nok mengder ved kullkraftverkene og tilgjengelighet internt i Norge. Norcem har silo for flygeaske i Brevik og på Slemmestad. Lang transportavstand til andre deler av landet vil fort redusere noe av miljøgevinsten og derfor begrense bruken i noen geografiske områder. Det må av flere grunner tas hensyn til både logistikk og produksjonsmuligheter for hvert tilfelle. Prosjektet må vurderes etter sårbarhet for logistikkproblemer, hvor viktig framdriften er, samt muligheter for et reserveblander. Dersom bruken av flygeaske forlenger byggeperioden vesentlig, kan energibruken i denne fasen øke vesentlig. Det er derfor viktig å prosjektere etter betongens antatte fasthetsutvikling i prosjekteringen for å sikre konstruksjonssikkerhet under byggetiden. Statens Vegvesen har prioritet på leveranse av flygeaske til veiprosjekter i perioder med lav tilgjengelighet [27]. Da kan det være vanskelig å skaffe nok flygeaske til andre formål med lavere prioritet, for eksempel bæresystem. Ingen av sementleverandørene uttrykker imidlertid bekymring for tilleggsmaterialenes tilgjengelighet i tiden fremover. I og med at det er mange som ønsker å kjøpe restproduktene, er tilgjengelighet avhengig av de respektive industrienes utvikling og produksjon. Utover dette lover begge leverandører imidlertid økt fokus på energi og miljø i årene fremover, ikke bare kroner og kubikk.

8.5 Andre faktorer

Gjennom et livsløp er det flere elementer enn de som er behandlet her som påvirker hvorvidt sluttregnskapet for energibruk i et bygg ender med positivt eller negativt fortegn. Byggets estetikk, brukervennlighet og evne til å utvikle og endre seg, vil være med på å bestemme byggets endelige levealder.

Kapittel 9

Konklusjon

I hvilken grad et konstruksjonskonsept representerer den mest energieffektive løsningen avhenger av en rekke valg, funksjonelle så vel som arkitektoniske. For enkelte dekkesystemer vil korte spennvidder resultere i redusert innebygget energi, for andre vil det lønne seg å maksimere spennviddene.

Felles for de analyserte dekkeløsningene er at de har betong som hovedmateriale. Det ligger et betydelig potensial i reduksjon av bundet energi i betongen. I hvilken utstrekning dette potensialet er realiserbart, vil blant annet avhenge av de krav dekkeløsningen stiller til betongens egenskaper, som herdetid og flyt. Bevissthet rundt valg av betongfasthet, sammensetning og bruk av tilleggsmaterialer som flygeaske og slagg er essensielt, da disse parametrene kan utgjøre en vesentlig forskjell i bæresystemets totale bundne energi. Slike avgjørelser kan ikke fattes på generelt grunnlag, men må tilpasses det spesifikke dekket. I tillegg utgjør andre involverte materialer og prosesser en stor andel av det endelige energiregnskapet. Spennstål i hulldekker og tilhørende betongbjelker gir en vesentlig energiøkning. I noen tilfeller utgjorde valg av bjelke utført i stål fremfor i betong en dobling av bæresystemets bundne energi. Når det gjelder BubbleDeck, bærer armeringsnett og hule plastkuler en betydelig del av energiforbruket, til tross for de forholdsvis begrensede massene som disse representerer. På grunn av energiintensive prosesser i elementproduksjonen ble flatdekket det gunstigste valget for korte spennvidder (under 7 meter) i et energiperspektiv. Dersom betongens forbedringspotensial realiseres fremsto hulldekker som mest energiøkonomisk løsning for lange spenn. Slik konstruksjonskonseptene foreligger i dag, representerte BubbleDeck det beste løsningen for store spennvidder, med hensyn på innebygget energi for modelldekket. Valg av bæresystem blir en konflikt mellom ønske om fleksibilitet i konstruksjonen og energikrav, som følgelig vil legge begrensninger på spennvidder. I en helhetsbetraktning bør en søke å finne balansen mellom de to.

Kapittel 10

Videre arbeid

Denne oppgaven har forsøkt å innhente, organisere og presentere elementer som er viktig når man skal ta med innebygget energi som et dimensjoneringskriterie. Men det gjenstår fortsatt mye arbeid innen temaet, hvorav noe er oppsummert her.

Optimalisere betongresepter

For elementbetong har det i dette studiet vært benyttet resepter slikde foreligger i produksjonen i dag. For fersk betong er resepter fra Unicons standard sortiment, som er antatt å representere forholdsvis energieffektive varianter, benyttet. I begge tilfeller er reseptene kun modifisert ved sementerstatning. Videre optimalisering av betongsammensetning er nødvendig for å oppnå energimagre betonger tilpasset ulike dekkelsninger. Disse bør også testes slik at en kan anslå nøyaktig herdeforløp og dermed gjøre en totalvurdering som inkluderer byggetid og eventuell tilføring av varme i produksjonen. Det antas at betongen kan ytterligere redusere energibidraget i vesentlig grad ved en slik optimaslisering.

Praktisk prøving

I denne oppgaven er det analysert hva som antas som mulig for ulike betong -og dekkelsninger. Det gjenstår fortsatt praktisk prøving for å undersøke hva som er gjennomførbart av flygeasketilsetninger i betong med dagens betongteknologi.

Elementproduksjon

For bruk av flygeaske i elementproduksjon bør det undersøkes hvilke betongsammensetninger som er optimale med hensyn på både både energi og produksjon.

Studiet gjennomført her er et modellstudie, det gjenstår fortsatt å fatte beslutninger spesifikt for Powerhouse One. Dette inkluderer:

- Vurdere innebygd energi for faktisk geometrisk utforming. I tillegg til spennvidder inkluderer dette eventuelle utkrager.
- Vurdere arkitektur, funksjonalitet og design opp mot innebygget energi. Dette vil i siste rekke være avgjørende for bygningen endelige levetid, hovedforutsetningen i livsløpsanalysen.
- Det er i denne oppgaven ikke beregnet bundet energi i vegger og kjeller. Beregne energi tilknyttet kjeller og grunnarbeider, samt avstiving da dette er antatt å utgjøre betydelige mengder.
- Beregne innebygget energi for andre viktige materialer som ikke inngår i bæresystemet.

Bibliografi

- [1] Norcem hjemmeside, www.norcem.no.
- [2] *NS-EN 197-1:2011 Sement - Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*. Standard Norge, 2011.
- [3] Contigas hjemmeside. <http://www.contiga.no>, Mai 2012.
- [4] Hjemmesiden til contiga. <http://www.contiga.no>, Mai 2012.
- [5] Hjemmesiden til econinvent. <http://www.ecoinvent.org>, Mai 2012.
- [6] Hjemmesiden til epd norge. <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Emission%20factors%20for%20electricity%20%28physical%20mix%29.pdf>, Mars 2012.
- [7] Hjemmesiden til united states green building council. <http://www.usgbc.org/LEED>, mai 2012.
- [8] Norsk stålforbunds hjemmeside. http://www.stalforbund.com/Fagomraader/sveiste_bjelker.htm, mai 2012.
- [9] Plast til bubbledeck. Informasjonsskriv fra BubbleDeck Norge, februar 2012.
- [10] Reach. <http://http://www.miljostatus.no/tema/Kjemikalier/Kjemikalierregelverk/REACH/>, Mai 2012.
- [11] Recipe. <http://www.lcia-recipe.net/>, Juni 2012.
- [12] Store norske leksikon. <http://snl.no/armeringsstaal>, Mai 2012.
- [13] Celsa Steel Service AS. Steel reinforcement products for concrete. EPD, April 2012.
- [14] Civitas AS. Framtidens byer. Statusrapport, www.framtidensbyer.no, 2010.
- [15] Betongelementforeningen. *Betongelementboken bind A - Bygging med betongelementer*, 4 edition, 2010.

- [16] Norsk Betongforening. Flatdekker beregning og konstruktiv utforming. Publikasjon nr. 33, 2004.
- [17] Øyvind Bjøntegaard. Nye sementer med flygeaske - erfaringer. Statens Vegvesen, Teknologidagene, 2009.
- [18] Helge Brå. Generelt om plasstøpte dekker. Presentasjon av Sintef Byggforsk, oversendt per mail mars 2012.
- [19] byggutengrenser.no. Breeam nor materialer. Presentasjon på FABEKO Seminar, Mars 2012.
- [20] J.A. Clarke. *Energy Simulation in Building Design*. Number 2. Butterworth-Heinemann, 2001.
- [21] Svein Stegman Contiga, konstruktør. Møte med, 27. mars 2012.
- [22] Bengt Karlsen daglig leder Buskerud Betongvarefabrikk. Telefonsamtaler, februar 2012.
- [23] Harald Rosendal daglig leder i BubbleDeck Norge. Telefonsamtaler, februar 2012.
- [24] M.G. Davies. *Building Heat Transfer*. Wiley and Sons, 2004.
- [25] T.H. Dokka, T.A. Vik, and M. Thyholt. Hybrid ventilasjon.
- [26] L.A. Bellamy D.W. Mackenzie. Energy efficiency of buildings with heavy walls. Study report 116, 2003.
- [27] Helge Reiten (Contiga) Jan-Otto Berger (Contiga) Sverre Smeplass (Skanska) Margrethe Ollendorff Eivind Nordheim (Unicon), Jørn Injar (Contiga). Møte vedr. produksjon av lavkarbonhuldekker på stjørdal. Contiga, 31.mai 2012.
- [28] Kjell Gurigard Tom Normann Hamre-Njål Arge Eivind Selvig, Kirsti Gimnes Are. *Klimagassregnskap.no/ versjon 3*. Statsbygg, 3 edition, September 2011.
- [29] Nils E. Forsén. Konstruksjonssystem. Notat RIB for Powerhouse, februar 2012.
- [30] G. Givoni. *Climate Consideration in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, 1998.
- [31] M.Ouchi Hajime Okamura. Self-compacting concrete. Technical report, Japa Concrete Institute, 2003.
- [32] R.Z. Høseggen. *Dynamic use of the building structure-energy performance and thermal environment*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2008.
- [33] Bjørn Wachenfeldt Jenssen. Telefonsamtale og mailkorrespondanse, juni 2012.

- [34] Dr.techn. Olav Olsen AS JJJ Consult AS. Bubbledeck - veileder for rådgivende ingeniører. Technical Report 6, BubbleDeck Norge, 2009.
- [35] Cemex Jukka Hirisimaki og Thomas Jahren. Intervju, 14. mars 2012.
- [36] Gaute Taarneby og Eivind Selvig Jun Elin Wiik Toutain. Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport. Technical Report 49, Statistisk Sentralbyrå, desember 2008.
- [37] Sverre Fossdal Kjetil Myrhre. Miljødeklarasjoner av konstruksjonsstål, 04 2012.
- [38] Norcem Knut Kjellsen. Intervju, 6. mars 2012.
- [39] Reidar Kompen. Nye betongspesifikasjoner - hva kan brukes hvor? Statens Vegvesen.
- [40] Per Kr. Larsen. *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*, volume 2. Tapir Akademisk Forlag, 2010.
- [41] BRE Global Limited. *BREEAM New Construction*. BRE Group, 2011.
- [42] Norcem AS Liv Margrethe H Bjerge. Lavkarbonsementen. *CEMENT NÅ*, (2), 2009.
- [43] Jan Børge Loe Loe Betongelementer AS. Telefonsamtale, mars 2012.
- [44] Michiel Oele Sipke Durksz Douwe de Roest Mark Goedkoop, An De Schryver. *SimaPro 7 - Introduction to LCA*. PRé Consultants, november 2010.
- [45] Cecilia Askham Nyland Mie Vold, Anne Rønning. Epd'er; hva? hvem? hvorfor? Technical report, Stiftelsen Østfoldforskning, oktober 2005.
- [46] Miljømerking. Miljømerkings årsrapport 2010.
- [47] Miljøverndepartementet. Norsk klimapolitikk, 25. april 2012.
- [48] Nils Forsén Multiconsult. Møte, 14. mars 2012.
- [49] NorBetong. Miljø og ferdig betong. presentasjon på møte i Skanska, mai 2012.
- [50] Weber Norge. Weber.floor 4160 fineflow rapid. Technical report, Produktdatablad, mai 2012.
- [51] Norwegian Green Building Council. *BREEAM NOR*, ver 1.0 edition, 2012.
- [52] NVE. Energiinnhold og tetthet for energivarer.
- [53] Børge Johannes Wigum Svein Willy Danielsen Odd Hotvedt, Bård Pedersen. Production and utilisation of manufactured sand. Technical report, SINTEF Building and Infrastructure, COIN, 2009.

- [54] European Confederation of Iron and Steel; Oversatt av Norsk Stålforbund. Miljøbygging i stål. 1995.
- [55] Arild Kind Halvorsen og Øyvind Oskarsen. Effekten av lavvarmebetong på fasthetsutviklingen og rissrisiko i anleggskonstruksjoner utsatt for fastholding. Master's thesis, NTNU, juni 2012.
- [56] Siri Hunnes Blakstad Olav Egil Sæbøe. *Fasilitetsstyring*. Tapir Akademisk Forlag, 2009.
- [57] Magne Magler Wiggen Ole H. Krokstrand, Øyvind Steen. *Betongoverflater*. byggutengrenser.no, 2011.
- [58] Oslo kommune, Drammen kommune, Husbanken, Enova, Grønn Byggallianse, Norske arkitekters landsforbund. *FutureBuilt Programbeskrivelse*, mai 2010.
- [59] Østfoldforskning. Cem 1 - standardsement, industrisement og anleggsement, norcem. EPD 023N, epd-norge.no, 2011.
- [60] Østfoldforskning. Rapidsement, cem 1 52,2 r, cemex. Epd, epd-norge.no, 2012.
- [61] Mie Vold Østfoldforskning. Telefonsamtaler og mailkorrespondanse, mai 2012.
- [62] P. Kumar Metha Paulo J.M. Monteiro. *Concrete - Microstructure, Properties, and Materials*, volume 1. McGraw-Hill, US, 3 edition, 2006.
- [63] PlasticsEurope. High density polyetylene (hdpe). EPD, november 2008.
- [64] Powerhousealliansen. Skisseprosjekt for powerhouse one. Technical report, for Entra Eiendom AS, februar 2012.
- [65] Magne Roppen. Prosjektrapport multiconsult, oversendt 15.mai 2012.
- [66] S. Smeplass J.H. Mork Ø. Bjøntegaard S. Jacobsen, M. Maage. *TKT 4215 Concrete Technology 1*. Norwegian University of Science and Technology, 2009.
- [67] Eivind Selvig. Nyheter i www.klimagassregnskap.no - smakebiter fra ny versjon. klimagassregnskap.no; Brød og Miljø, April 2012.
- [68] Svein Ivar Sørensen. *Concrete Structures 3 Compendium*. Departement of Structural Engineering NTNU, Autum 2011 2008.
- [69] Svein Ivar Sørensen. *Betongkonstruksjoner*. Tapir Akademisk Forlag, 2010.
- [70] Skanska Stålteknik. *Dimensjonering HSQ*. Stålbyggnadsfakta, publisert hos Norsk Stålforbund, 2012.
- [71] Standard Norge. *NS-EN ISO 14040 Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk*, 2006.

- [72] Standard Norge. *NS-EN 206-1:2000+NA2007 Betong Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar*, 2007.
- [73] Mette Geiker Lori Tunstall george W. Scherer Stefan Jacobsen, Margrethe Ollendorff. Predicting aea dosage by foam index and adsorption on fly ash. In Ed. D. Bager, editor, "*Durability aspects of fly ash and slag in concrete*". Norway Public Roads Adm., Nordic Concrete Federation Workshop, April 2012 2012.
- [74] Trond Larsen Stela. Telefonsamtaler og mailkorrespondanse, mars 2012.
- [75] Trond Larsen Stela. Telefonsamtaler og mailkorrespondanse, april 2012.
- [76] Sigrid Strand-Hanssen. *ECOproduct: Metodebeskrivelse versjon 2.0*. SINTEF Byggforsk, desember 2008.
- [77] Kari Aarstad Unicon Fossgrenda. Møte, 7. februar 2012.
- [78] Kari Aarstad Unicon Fossgrenda. Møte, 16. mars 2012.
- [79] U.S Green Building Council. *LEED 2009 for New Construction and Major renovations*, 2 edition, November 2011.
- [80] Mie Vold. Data fra østfolsforsknings database, tilegnet ved hjelp av simapro 7,3. Data hentet ut og vurdert av Margrethe Ollendorff i samråd med Mie Vold, mai 2012.
- [81] Klaartje De Weerd. Ternary blended cements with fly ash and limestone part ii: Limestone powder; state of the art. Sintef report, SINTEF Building and Infrastructure, COIN, 2007.
- [82] Klaartje De Weerd. *Blended cement with reduced CO2 emission-utilizing the fly ash-limestone synergy*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2011.
- [83] ZL Zhang and BJ Wachenfeldt. Numerical study on the heat storing capacity of concrete walls with air cavities. *Energy and Buildings*, 41(7):769–773, 2009.

Vedlegg A

Inneholder i følgende rekkefølge:

- B35 M45 15% FA
- B35 M45 Bubbledeck 15% FA
- B35 M45 Bubbledeck
- B45 M40 Anl FA 10% FA
- B45 M40 Anl FA 15% FA
- Hulldekkebetong 20%
- Hulldekkebetong
- Hulldekkebetong lavkarbon
- Avrettingsmasse.pdf
- B30 M60 10% FA
- B30 M60 Std FA
- B35 M45 10% FA
- B35 M45 Std FA
- B45 M40 Anl FA

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.282	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	609	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	223	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Industri	300	18,2 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.350	81,8 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	0	0,0 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	-	-	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	0,0	0,0 %	-	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	-	-	-	
Totalt	1.650	100%		0,0 %

Ressursforbruk

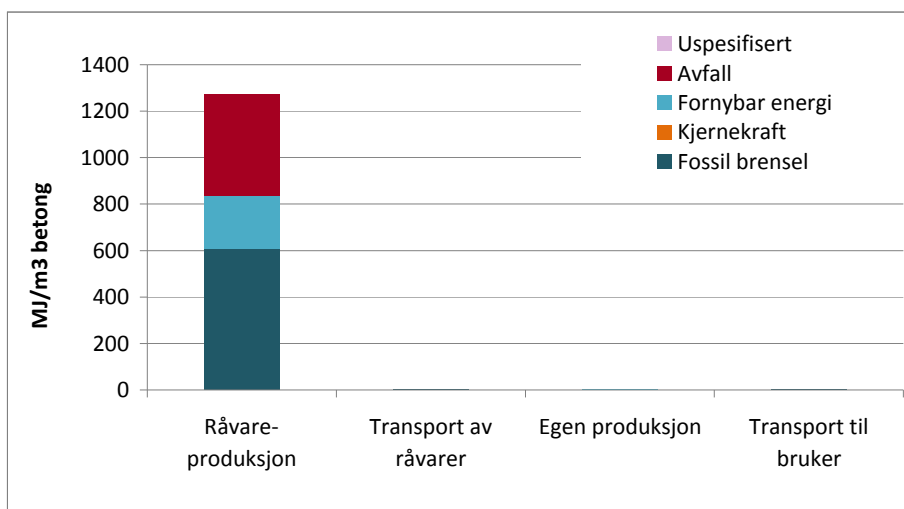
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	0	0	1.000		1.000,36	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	0,00				0,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	447,90				447,90	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.350,00				1.350,00	
	Kull	kg/m ³	0,00				0,00	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.798	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	84,82	1,06	0,03	1,29	87,21	
	Kull	516,04	0,01	0,27	0,02	516,34	
	Gass	5,86	0,00	0,01	0,00	5,87	
Kjernekraft		1,10	0,00	0,72	0,00	1,82	
Fornybar energi	Biomass	39,04	0,00	0,00	0,00	39,04	
	Vannkraft	189,11	0,00	3,42	0,00	192,53	
	Vindkraft	0,91	0,00	0,04	0,00	0,96	
Avfall	Avfallsforbrenning	438,02	0,00	0,00	0,00	438,02	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1274,91	1,07	4,49	1,31	1281,78	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

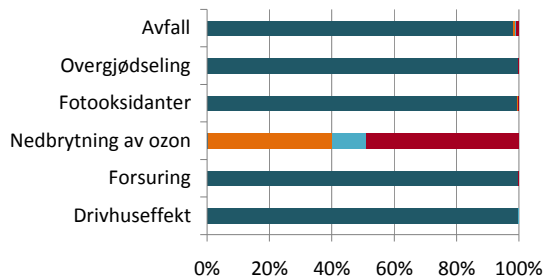
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	0,06
Overgjødsling	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,045
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,023
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,369
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	222,76

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	219	0,1	0,1	0,1	219	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,15	0,0001	0,0001	0,0001	0,15	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00023	0,00000	0,000001	0,000003	0,00024	
NO _x	kg/m ³ betong	0,35	0,000	0,0001	0,0003	0,35	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,0001	0,0001	0,0001	0,16	
VOC	kg/m ³ betong	0,009	0,0000	0,00002	0,0000	0,009	
CO	kg/m ³ betong	0,010	0,0000	0,00004	0,00003	0,010	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,00	0,000	0,000	0,0003	0,00	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00047	0,000001	0,000001	0,000001	0,00047	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0045	0,000	0	0,000	0	
Annet	kg/m ³ betong	0,05	0,000002	0,0003	0,000002	0,06	

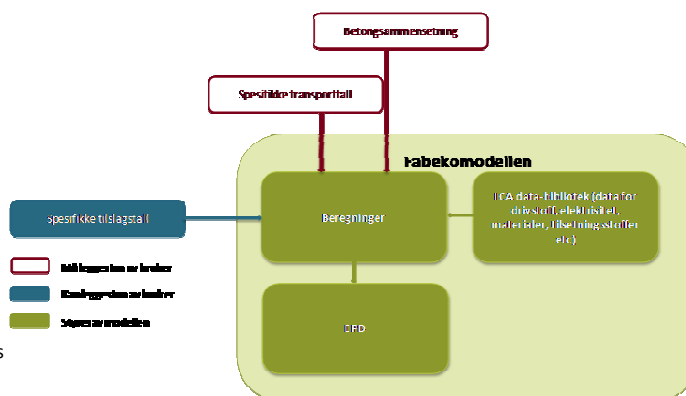
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.212	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	809	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	207	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	302	13,1 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.003	43,5 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	293	12,7 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	670,00	0,29	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	2,3	0,1 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	34,00	0,01	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.304	100%		1,5 %

Ressursforbruk

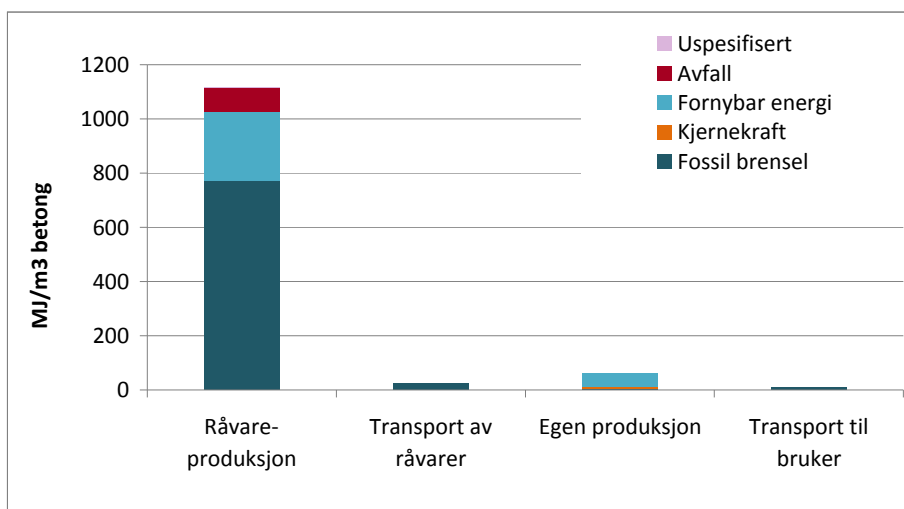
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	7	6	150		162,80	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	34,00				34,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	419,96				419,96	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.967,89				1.967,89	
	Kull	kg/m ³	0,01				0,01	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.585	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	72,22	24,52	0,45	9,21	106,41	
	Kull	694,99	0,34	3,66	0,13	699,11	
	Gass	3,51	0,00	0,16	0,00	3,68	
Kjernekraft		0,33	0,00	9,91	0,00	10,25	
Fornybar energi	Biomass	74,35	0,00	0,00	0,00	74,35	
	Vannkraft	182,49	0,00	46,99	0,00	229,48	
	Vindkraft	0,17	0,00	0,56	0,00	0,74	
Avfall	Avfallsforbrenning	86,24	0,00	0,00	0,00	86,24	
Uspesifisert		1,30	0,00	0,00	0,00	1,31	
Totalt		1115,61	24,86	61,75	9,34	1211,56	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

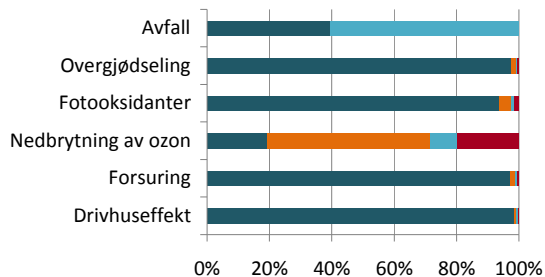
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	136,73
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,056
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,020
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,298
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	206,78

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	199	1,8	0,7	0,7	202	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,20	0,0018	0,0014	0,0007	0,20	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00025	0,00006	0,000017	0,000024	0,00036	
NO _x	kg/m ³ betong	0,40	0,006	0,0008	0,0024	0,41	
SO _x	kg/m ³ betong	0,08	0,0015	0,0009	0,0006	0,08	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0009	0,00027	0,0004	0,005	
CO	kg/m ³ betong	0,007	0,0005	0,00056	0,00018	0,008	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,15	0,005	0,000	0,0019	0,16	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00757	0,000017	0,000014	0,000006	0,00761	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,13	-	-	-	0,13	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	53,7775	0,008	83	0,003	136	
Annet	kg/m ³ betong	0,07	0,000038	0,0045	0,000014	0,07	

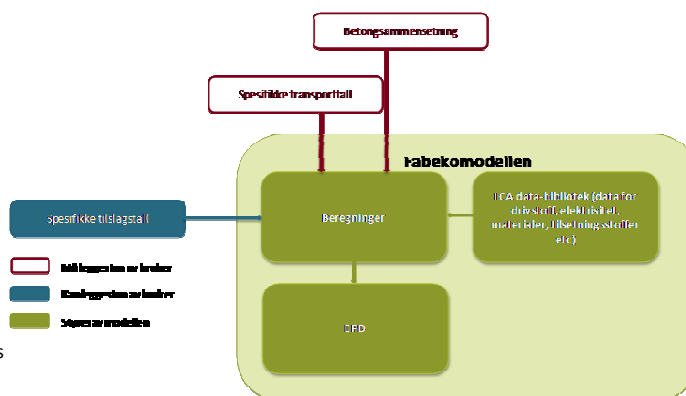
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fosseghenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fosseghenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.297	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	869	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	223	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produktets levetid:

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Analyseomfang:

50 -100 år, beror på bruk

Årstall for studien:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for data:

2012

Antatt markedsområde:

2010

Kontaktperson:

Norge

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	326	14,1 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.013	43,8 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	296	12,8 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	676,00	0,29	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	2,4	0,1 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	-	-	-	
Totalt	2.313	100%		0,0 %

Ressursforbruk

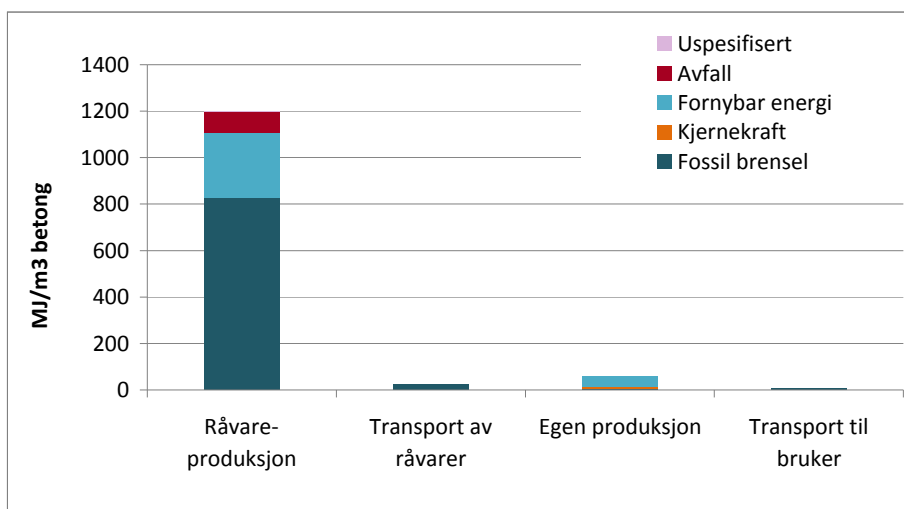
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	7	6	150		163,37	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	0,00				0,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	453,33				453,33	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.986,99				1.986,99	
	Kull	kg/m ³	0,01				0,01	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.604	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	75,83	24,92	0,45	9,25	110,45	
	Kull	750,21	0,34	3,66	0,13	754,34	
	Gass	3,77	0,00	0,16	0,00	3,93	
Kjernekraft		0,35	0,00	9,91	0,00	10,27	
Fornybar energi	Biomass	80,23	0,00	0,00	0,00	80,24	
	Vannkraft	195,23	0,00	46,99	0,00	242,22	
	Vindkraft	0,18	0,00	0,56	0,00	0,75	
Avfall	Avfallsforbrenning	93,09	0,00	0,00	0,00	93,09	
Uspesifisert		1,41	0,00	0,00	0,00	1,41	
Totalt		1200,31	25,26	61,75	9,38	1296,69	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

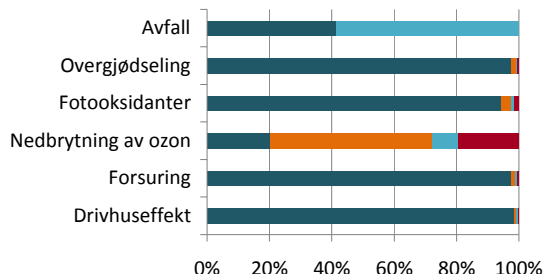
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	141,02
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,061
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,021
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,321
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	222,89

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	215	1,8	0,7	0,7	218	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,21	0,0018	0,0014	0,0007	0,22	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00027	0,00006	0,000017	0,000024	0,00037	
NO _x	kg/m ³ betong	0,43	0,006	0,0008	0,0024	0,44	
SO _x	kg/m ³ betong	0,08	0,0016	0,0009	0,0006	0,08	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0010	0,00027	0,0004	0,005	
CO	kg/m ³ betong	0,008	0,0005	0,00056	0,00018	0,009	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,15	0,005	0,000	0,0019	0,16	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00813	0,000017	0,000014	0,000006	0,00817	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,14	-	-	-	0,14	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	58,0512	0,008	83	0,003	141	
Annet	kg/m ³ betong	0,07	0,000038	0,0045	0,000014	0,08	

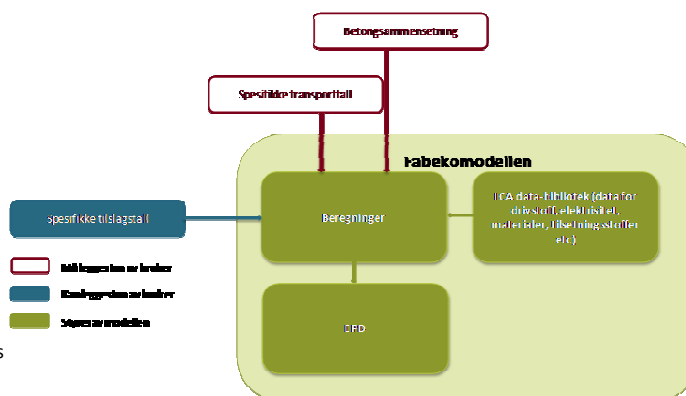
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.293	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	866	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	223	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	325	14,1 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	951	41,2 %	Litteratordata	
8-16 Vassfjell	391	17,0 %	Litteratordata	
16-22 Vassfjell	597,00	0,26	Litteratordata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	3,6	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	0,42	0,00	spesifikke databasedata	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	38,00	0,02	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.306	100%		1,6 %

Ressursforbruk

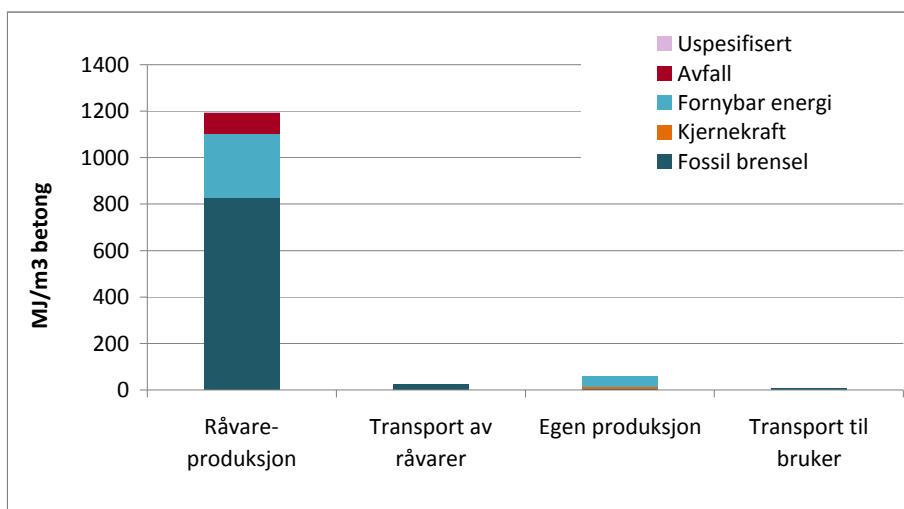
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	7	6	150		163,32	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	15,00				15,00	
	Flyveaske	kg/m ³	38,00				38,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	451,94				451,94	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.940,96				1.940,96	
	Kull	kg/m ³	0,05				0,05	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.609	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	75,05	24,74	0,45	9,28	109,52	
	Kull	748,12	0,34	3,66	0,13	752,24	
	Gass	3,75	0,00	0,16	0,00	3,92	
Kjernekraft		0,35	0,00	9,91	0,00	10,27	
Fornybar energi	Biomass	79,99	0,00	0,00	0,00	79,99	
	Vannkraft	194,95	0,00	46,99	0,00	241,94	
	Vindkraft	0,18	0,00	0,56	0,00	0,75	
Avfall	Avfallsforbrenning	92,80	0,00	0,00	0,00	92,80	
Uspesifisert		1,40	0,00	0,00	0,00	1,40	
Totalt		1196,60	25,08	61,75	9,41	1292,83	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

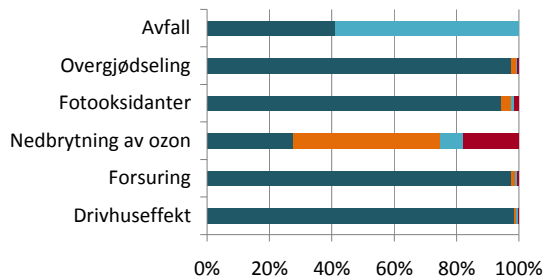
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	140,84
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,061
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,021
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,322
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	222,75

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	214	1,8	0,7	0,7	218	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,21	0,0018	0,0014	0,0007	0,22	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00027	0,00006	0,000017	0,000024	0,00037	
NO _x	kg/m ³ betong	0,43	0,006	0,0008	0,0024	0,44	
SO _x	kg/m ³ betong	0,08	0,0016	0,0009	0,0006	0,09	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0010	0,00027	0,0004	0,005	
CO	kg/m ³ betong	0,008	0,0005	0,00056	0,00018	0,009	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,15	0,005	0,000	0,0019	0,16	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00817	0,000017	0,000014	0,000007	0,00820	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,14	-	-	-	0,14	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	57,8731	0,008	83	0,003	141	
Annet	kg/m ³ betong	0,07	0,000038	0,0045	0,000014	0,08	

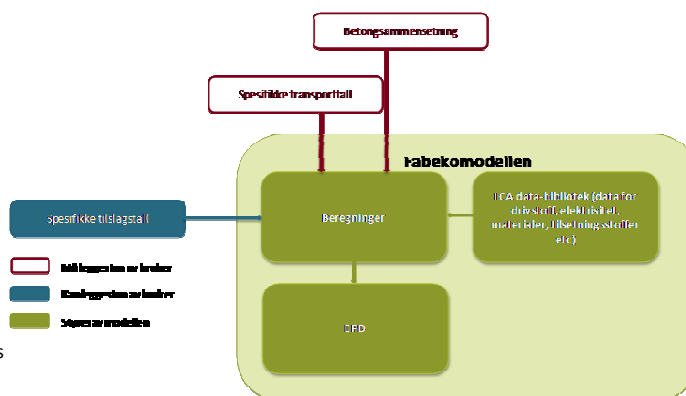
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.226	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	819	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	210	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	306	13,3 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	951	41,2 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	391	17,0 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	597,00	0,26	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	3,6	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	0,42	0,00	spesifikke databasedata	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	57,00	0,02	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.306	100%		2,5 %

Ressursforbruk

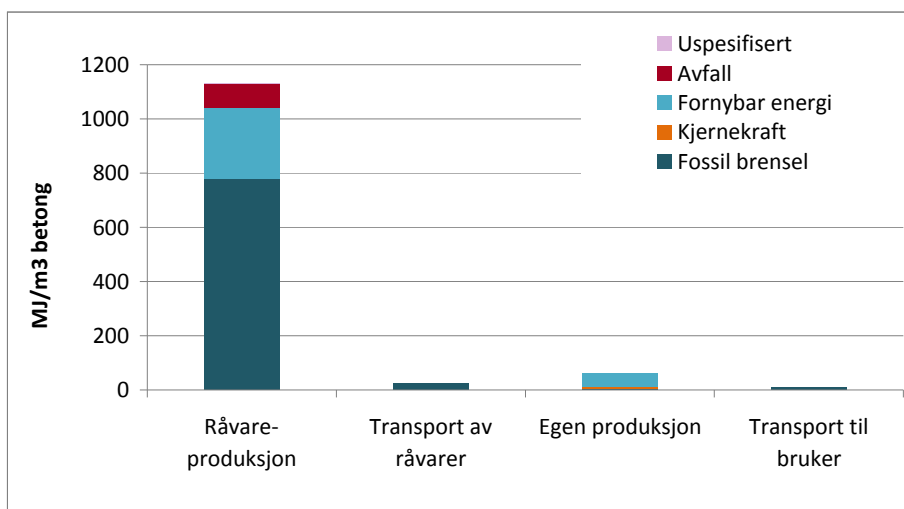
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	7	6	150		162,91	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	15,00				15,00	
	Flyveaske	kg/m ³	57,00				57,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	425,52				425,52	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.940,89				1.940,89	
	Kull	kg/m ³	0,05				0,05	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.601	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	72,42	24,63	0,45	9,28	106,79	
	Kull	704,40	0,34	3,66	0,13	708,53	
	Gass	3,55	0,00	0,16	0,00	3,72	
Kjernekraft		0,34	0,00	9,91	0,00	10,25	
Fornybar energi	Biomass	75,34	0,00	0,00	0,00	75,34	
	Vannkraft	185,04	0,00	46,99	0,00	232,03	
	Vindkraft	0,17	0,00	0,56	0,00	0,74	
Avfall	Avfallsforbrenning	87,39	0,00	0,00	0,00	87,39	
Uspesifisert		1,32	0,00	0,00	0,00	1,32	
Totalt		1129,97	24,97	61,75	9,41	1226,10	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

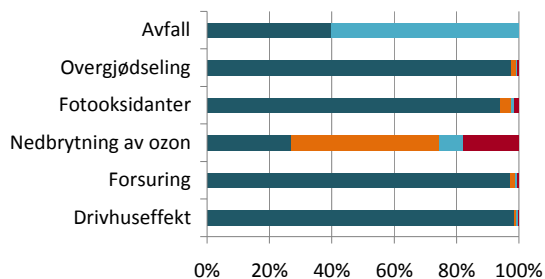
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	137,45
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,057
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,020
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,303
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	210,03

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	202	1,8	0,7	0,7	205	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,20	0,0018	0,0014	0,0007	0,21	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00026	0,00006	0,000017	0,000024	0,00036	
NO _x	kg/m ³ betong	0,40	0,006	0,0008	0,0024	0,41	
SO _x	kg/m ³ betong	0,08	0,0015	0,0009	0,0006	0,08	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0010	0,00027	0,0004	0,005	
CO	kg/m ³ betong	0,007	0,0005	0,00056	0,00018	0,009	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,15	0,005	0,000	0,0019	0,16	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00772	0,000017	0,000014	0,000007	0,00776	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,13	-	-	-	0,13	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	54,4898	0,008	83	0,003	137	
Annet	kg/m ³ betong	0,07	0,000038	0,0045	0,000014	0,07	

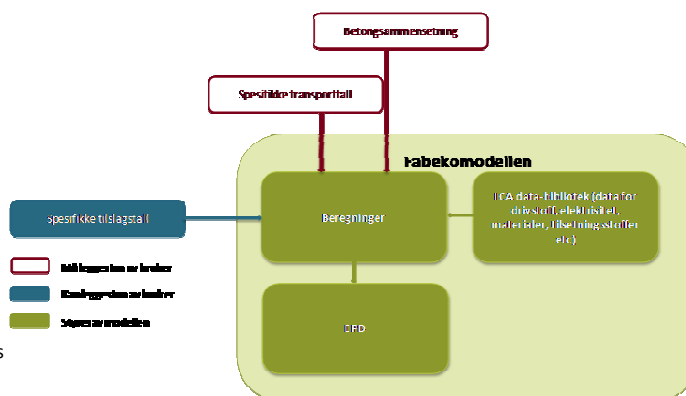
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.405	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	947	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	245	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	360	16,2 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.100	49,5 %	Litteratordata	
8-16 Vassfjell	350	15,7 %	Litteratordata	
16-22 Vassfjell	350,00	0,16	Litteratordata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	4,0	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	60,00	0,03	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.224	100%		2,7 %

Ressursforbruk

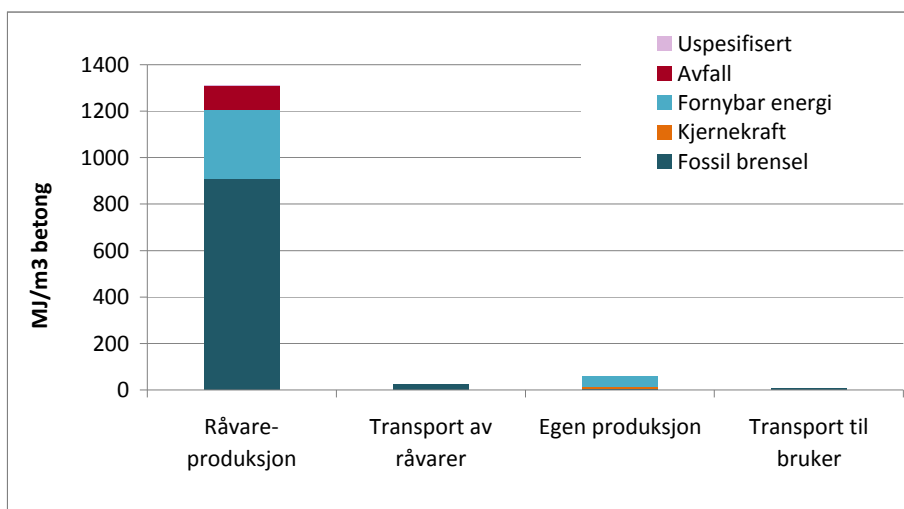
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	8	6	150		163,59	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	60,00				60,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	500,61				500,61	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.802,03				1.802,03	
	Kull	kg/m ³	0,01				0,01	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.526	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	77,31	23,86	0,45	8,89	110,52	
	Kull	828,42	0,33	3,66	0,12	832,53	
	Gass	4,07	0,00	0,16	0,00	4,24	
Kjernekraft		0,37	0,00	9,91	0,00	10,29	
Fornybar energi	Biomass	88,49	0,00	0,00	0,00	88,49	
	Vannkraft	206,72	0,00	46,99	0,00	253,71	
	Vindkraft	0,20	0,00	0,56	0,00	0,76	
Avfall	Avfallsforbrenning	102,75	0,00	0,00	0,00	102,75	
Uspesifisert		1,55	0,00	0,00	0,00	1,55	
Totalt		1309,88	24,19	61,75	9,01	1404,84	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

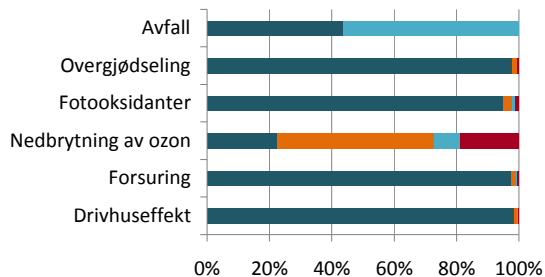
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	147,09
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,065
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,023
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,352
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	245,17

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	237	1,7	0,7	0,6	240	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,24	0,0017	0,0014	0,0007	0,24	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00029	0,00006	0,000017	0,000023	0,00039	
NO _x	kg/m ³ betong	0,47	0,006	0,0008	0,0023	0,48	
SO _x	kg/m ³ betong	0,09	0,0015	0,0009	0,0006	0,09	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0009	0,00027	0,0003	0,005	
CO	kg/m ³ betong	0,008	0,0005	0,00056	0,00018	0,009	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,11	0,005	0,000	0,0018	0,11	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00881	0,000017	0,000014	0,000006	0,00885	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,16	-	-	-	0,16	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	64,1056	0,008	83	0,003	147	
Annet	kg/m ³ betong	0,08	0,000037	0,0045	0,000014	0,08	

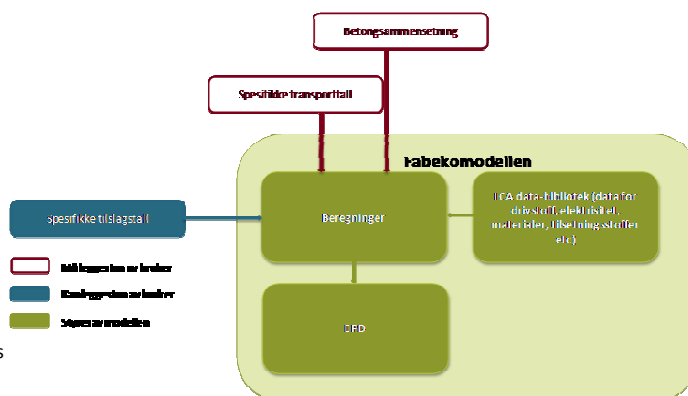
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.545	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	1.045	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	272	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produktets levetid:

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	400	18,1 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.100	49,9 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	350	15,9 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	350,00	0,16	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	4,0	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	-	-	-	
Totalt	2.204	100%		0,0 %

Ressursforbruk

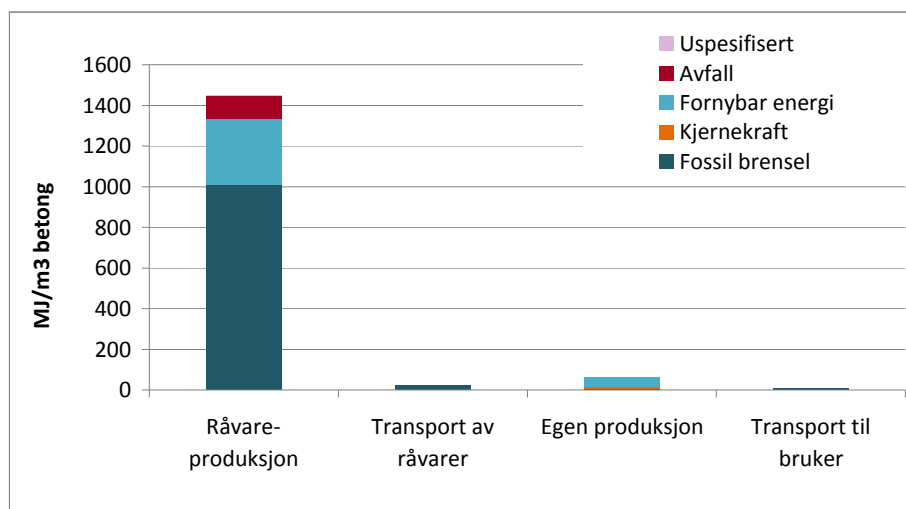
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	8	6	150		164,44	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	0,00				0,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	556,23				556,23	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.802,18				1.802,18	
	Kull	kg/m ³	0,01				0,01	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.523	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	82,83	24,09	0,45	8,81	116,19	
	Kull	920,46	0,33	3,66	0,12	924,57	
	Gass	4,49	0,00	0,16	0,00	4,66	
Kjernekraft		0,41	0,00	9,91	0,00	10,32	
Fornybar energi	Biomass	98,29	0,00	0,00	0,00	98,29	
	Vannkraft	227,57	0,00	46,99	0,00	274,56	
	Vindkraft	0,21	0,00	0,56	0,00	0,78	
Avfall	Avfallsforbrenning	114,15	0,00	0,00	0,00	114,15	
Uspesifisert		1,73	0,00	0,00	0,00	1,73	
Totalt		1450,14	24,42	61,75	8,93	1545,24	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

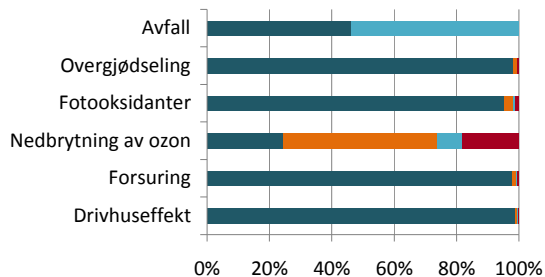
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	154,24
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,072
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,025
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,390
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	271,95

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	263	1,8	0,7	0,6	266	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,26	0,0018	0,0014	0,0006	0,27	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00032	0,00006	0,000017	0,000023	0,00042	
NO _x	kg/m ³ betong	0,53	0,006	0,0008	0,0023	0,54	
SO _x	kg/m ³ betong	0,10	0,0015	0,0009	0,0006	0,10	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0009	0,00027	0,0003	0,006	
CO	kg/m ³ betong	0,009	0,0005	0,00056	0,00017	0,010	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,11	0,005	0,000	0,0018	0,11	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00975	0,000017	0,000014	0,000006	0,00979	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,17	-	-	-	0,17	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	71,2285	0,008	83	0,003	154	
Annet	kg/m ³ betong	0,08	0,000037	0,0045	0,000014	0,09	

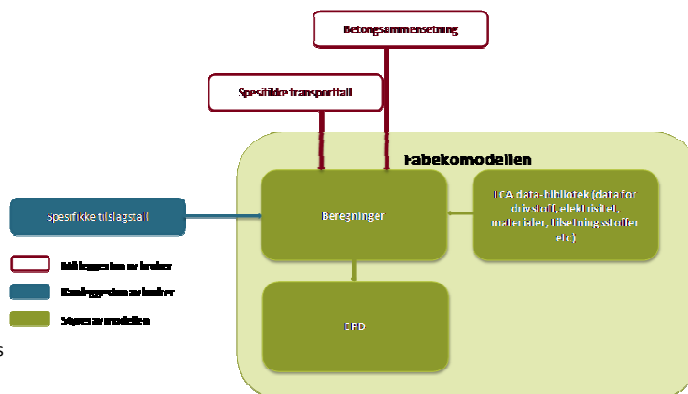
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fosseghenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fosseghenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.392	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	935	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	242	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Std FA	353	15,2 %	-	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	963	41,5 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	396	17,1 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	604,00	0,26	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	3,9	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	0,50	0,00	spesifikke databasedata	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	-	-	-	
Totalt	2.320	100%		0,0 %

Ressursforbruk

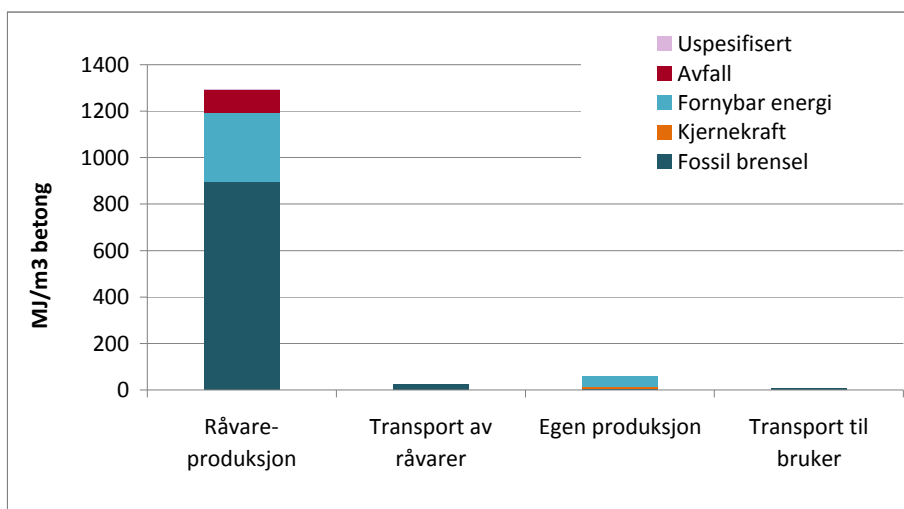
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	8	6	150		164,01	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	15,00				15,00	
	Flyveaske	kg/m ³	0,00				0,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	490,88				490,88	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.965,07				1.965,07	
	Kull	kg/m ³	0,06				0,06	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.635	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	79,28	25,26	0,45	9,34	114,34	
	Kull	812,58	0,35	3,66	0,13	816,72	
	Gass	4,05	0,00	0,16	0,00	4,22	
Kjernekraft		0,38	0,00	9,91	0,00	10,29	
Fornybar energi	Biomass	86,86	0,00	0,00	0,00	86,86	
	Vannkraft	209,85	0,00	46,99	0,00	256,84	
	Vindkraft	0,20	0,00	0,56	0,00	0,76	
Avfall	Avfallsforbrenning	100,79	0,00	0,00	0,00	100,79	
Uspesifisert		1,52	0,00	0,00	0,00	1,52	
Totalt		1295,52	25,61	61,75	9,47	1392,34	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

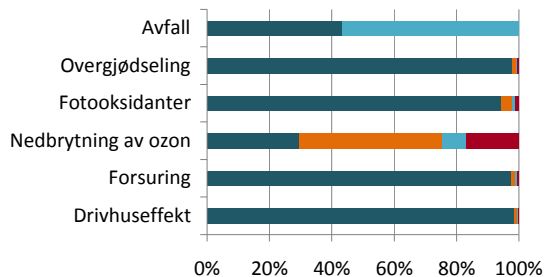
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	145,85
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,066
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,023
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,349
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	241,65

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	233	1,8	0,7	0,7	236	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,23	0,0019	0,0014	0,0007	0,24	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00029	0,00006	0,000017	0,000024	0,00040	
NO _x	kg/m ³ betong	0,47	0,007	0,0008	0,0024	0,48	
SO _x	kg/m ³ betong	0,09	0,0016	0,0009	0,0006	0,09	
VOC	kg/m ³ betong	0,004	0,0010	0,00027	0,0004	0,006	
CO	kg/m ³ betong	0,009	0,0005	0,00056	0,00018	0,010	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,16	0,005	0,000	0,0019	0,16	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00884	0,000018	0,000014	0,000007	0,00888	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	0,15	-	-	-	0,15	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	62,8591	0,008	83	0,003	146	
Annet	kg/m ³ betong	0,08	0,000039	0,0045	0,000014	0,08	

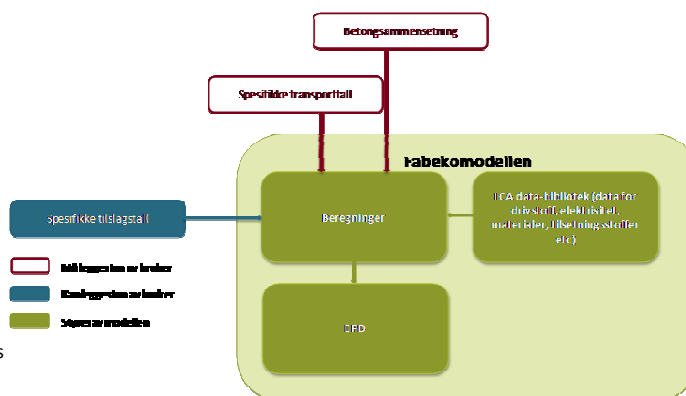
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.421	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	658	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	229	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Anl FA	362	15,7 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.007	43,7 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	324	14,1 %	Litteraturdata	
16-22 Vassfjell	567,00	0,25	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	4,8	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	0,50	0,00	spesifikke databasedata	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	40,00	0,02	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.305	100%		1,7 %

Ressursforbruk

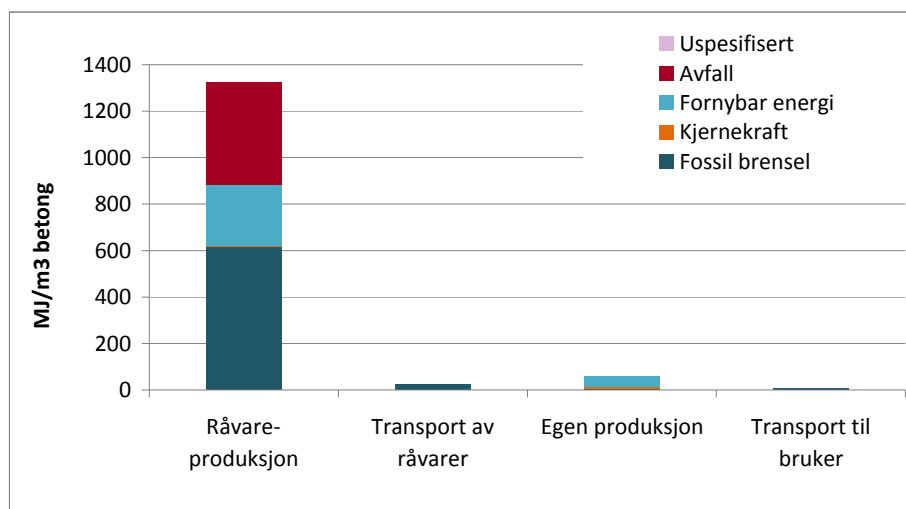
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	27	6	150		183,38	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	17,00				17,00	
	Flyveaske	kg/m ³	40,00				40,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	429,55				429,55	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.915,47				1.915,47	
	Kull	kg/m ³	0,06				0,06	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.585	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	95,59	25,02	0,45	9,29	130,34	
	Kull	516,98	0,34	3,66	0,13	521,11	
	Gass	6,24	0,00	0,16	0,00	6,40	
Kjernekraft		1,28	0,00	9,91	0,00	11,19	
Fornybar energi	Biomass	38,85	0,00	0,00	0,00	38,85	
	Vannkraft	224,26	0,00	46,99	0,00	271,25	
	Vindkraft	0,94	0,00	0,56	0,00	1,51	
Avfall	Avfallsforbrenning	440,10	0,00	0,00	0,00	440,10	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1324,25	25,36	61,75	9,41	1420,77	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

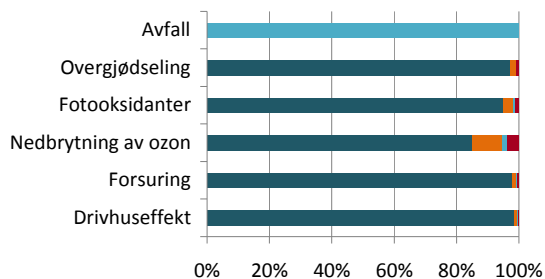
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	82,82
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,051
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,025
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,384
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	228,58

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	222	1,8	0,7	0,7	225	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,15	0,0018	0,0014	0,0007	0,15	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00026	0,00006	0,000017	0,000024	0,00036	
NO _x	kg/m ³ betong	0,35	0,006	0,0008	0,0024	0,36	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,0016	0,0009	0,0006	0,17	
VOC	kg/m ³ betong	0,010	0,0010	0,00027	0,0004	0,011	
CO	kg/m ³ betong	0,011	0,0005	0,00056	0,00018	0,012	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,14	0,005	0,000	0,0019	0,15	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00087	0,000018	0,000014	0,000007	0,00091	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0052	0,008	83	0,003	83	
Annet	kg/m ³ betong	0,10	0,000038	0,0045	0,000014	0,10	

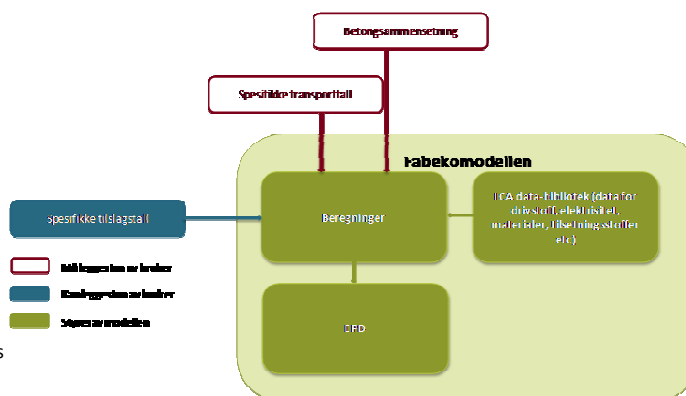
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fosseghenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fosseghenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.350	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	625	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	216	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):	Produseres i hht NS-EN 206-1
Produktets levetid:	Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m ³ betong
Analyseomfang:	50 -100 år, beror på bruk
Årstall for studien:	Fra råvareuttak til levering hos kunde
Årstall for data:	2012
Antatt markedsområde:	2010
Kontaktperson:	Norge
	Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Anl FA	342	14,8 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.007	43,7 %	Litteratordata	
8-16 Vassfjell	324	14,1 %	Litteratordata	
16-22 Vassfjell	567,00	0,25	Litteratordata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	4,8	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	0,50	0,00	spesifikke databasedata	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	60,00	0,03	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.305	100%		2,6 %

Ressursforbruk

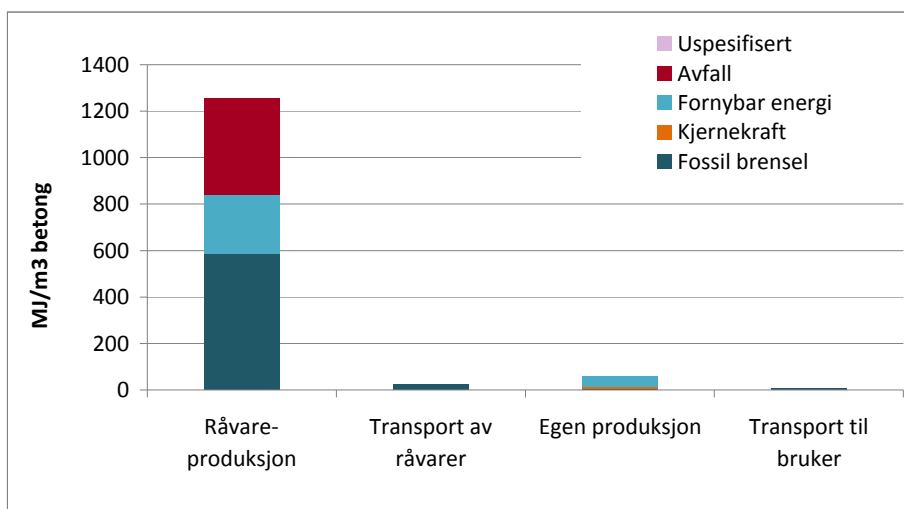
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	26	6	150		181,89	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	17,00				17,00	
	Flyveaske	kg/m ³	60,00				60,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	405,81				405,81	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.914,55				1.914,55	
	Kull	kg/m ³	0,06				0,06	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.579	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	91,93	24,91	0,45	9,29	126,57	
	Kull	488,43	0,34	3,66	0,13	492,56	
	Gass	5,91	0,00	0,16	0,00	6,07	
Kjernekraft		1,22	0,00	9,91	0,00	11,13	
Fornybar energi	Biomass	36,72	0,00	0,00	0,00	36,72	
	Vannkraft	213,16	0,00	46,99	0,00	260,16	
	Vindkraft	0,89	0,00	0,56	0,00	1,45	
Avfall	Avfallsforbrenning	415,80	0,00	0,00	0,00	415,80	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1254,07	25,25	61,75	9,41	1350,48	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

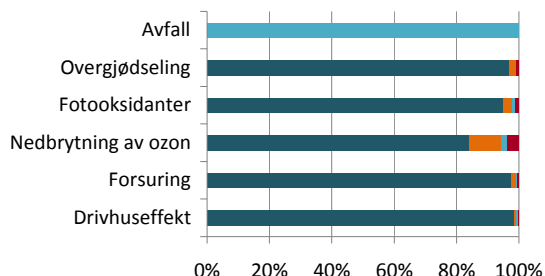
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	82,82
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,048
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,024
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,363
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	216,23

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	210	1,8	0,7	0,7	213	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,14	0,0018	0,0014	0,0007	0,15	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00024	0,00006	0,000017	0,000024	0,00035	
NO _x	kg/m ³ betong	0,33	0,006	0,0008	0,0024	0,34	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,0016	0,0009	0,0006	0,16	
VOC	kg/m ³ betong	0,009	0,0010	0,00027	0,0004	0,011	
CO	kg/m ³ betong	0,011	0,0005	0,00056	0,00018	0,012	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,14	0,005	0,000	0,0019	0,15	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00085	0,000017	0,000014	0,000007	0,00089	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0049	0,008	83	0,003	83	
Annet	kg/m ³ betong	0,10	0,000038	0,0045	0,000014	0,10	

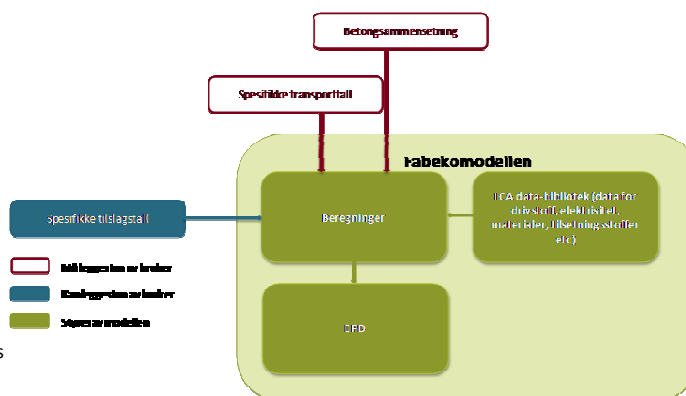
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fosseghenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fosseghenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.561	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	723	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	253	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produktets levetid:

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Analyseomfang:

50 -100 år, beror på bruk

Årstall for studien:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for data:

2012

Antatt markedsområde:

2010

Kontaktperson:

Norge

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Anl FA	402	17,4 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	1.007	43,7 %	Litteratordata	
8-16 Vassfjell	324	14,1 %	Litteratordata	
16-22 Vassfjell	567,00	0,25	Litteratordata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	4,8	0,2 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	0,50	0,00	spesifikke databasedata	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	-	-	-	
Totalt	2.305	100%		0,0 %

Ressursforbruk

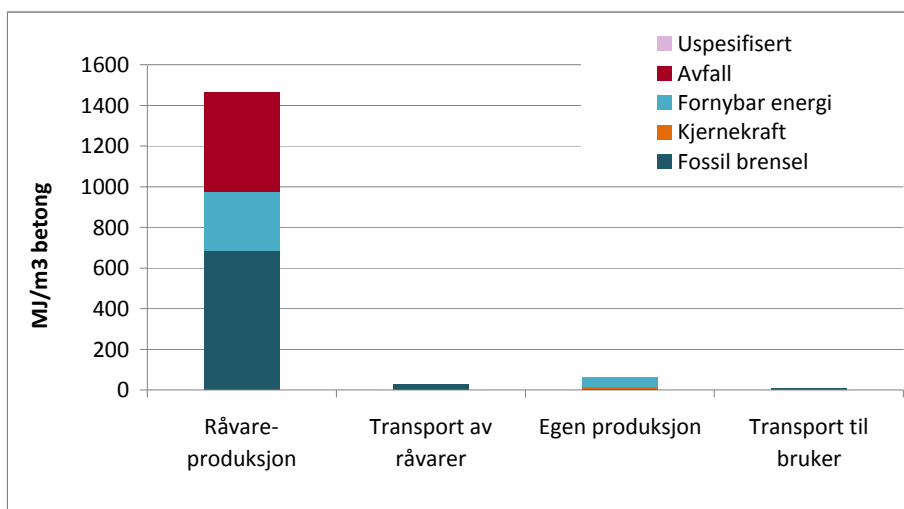
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	30	6	150		186,36	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	17,00				17,00	
	Flyveaske	kg/m ³	0,00				0,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	477,01				477,01	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.917,31				1.917,31	
	Kull	kg/m ³	0,06				0,06	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.598	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	102,90	25,24	0,45	9,29	137,88	
	Kull	574,06	0,35	3,66	0,13	578,20	
	Gass	6,89	0,00	0,16	0,00	7,05	
Kjernekraft		1,41	0,00	9,91	0,00	11,33	
Fornybar energi	Biomass	43,11	0,00	0,00	0,00	43,11	
	Vannkraft	246,46	0,00	46,99	0,00	293,45	
	Vindkraft	1,04	0,00	0,56	0,00	1,61	
Avfall	Avfallsforbrenning	488,72	0,00	0,00	0,00	488,72	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1464,60	25,59	61,75	9,41	1561,35	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

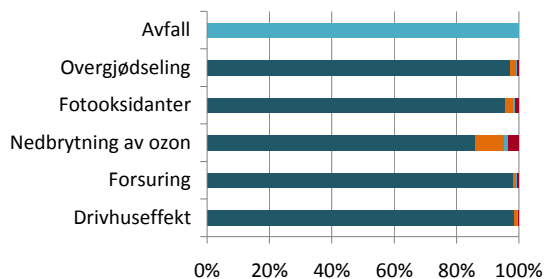
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	82,83
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,056
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,027
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,425
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	253,27

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	246	1,8	0,7	0,7	249	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,17	0,0019	0,0014	0,0007	0,17	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00028	0,00006	0,000017	0,000024	0,00039	
NO _x	kg/m ³ betong	0,39	0,007	0,0008	0,0024	0,40	
SO _x	kg/m ³ betong	0,18	0,0016	0,0009	0,0006	0,19	
VOC	kg/m ³ betong	0,011	0,0010	0,00027	0,0004	0,012	
CO	kg/m ³ betong	0,012	0,0005	0,00056	0,00018	0,014	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,14	0,005	0,000	0,0019	0,15	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00091	0,000018	0,000014	0,000007	0,00095	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0058	0,008	83	0,003	83	
Annet	kg/m ³ betong	0,11	0,000039	0,0045	0,000014	0,11	

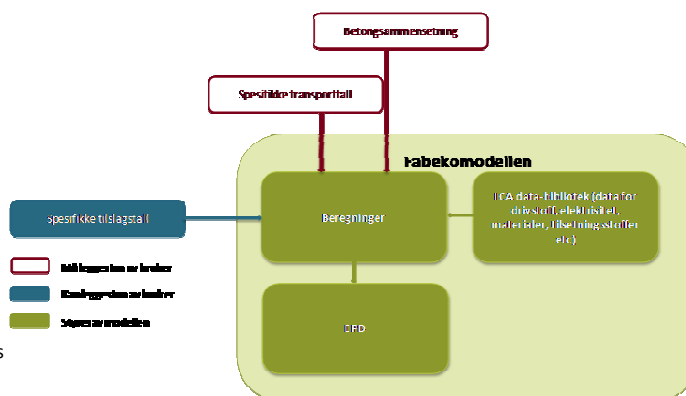
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.375	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	642	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	223	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Industri	294	13,0 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	940	41,5 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	893	39,4 %	Litteraturdata	
Kalkstein	47,00	0,02	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	1,8	0,1 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	88,00	0,04	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.264	100%		3,9 %

Ressursforbruk

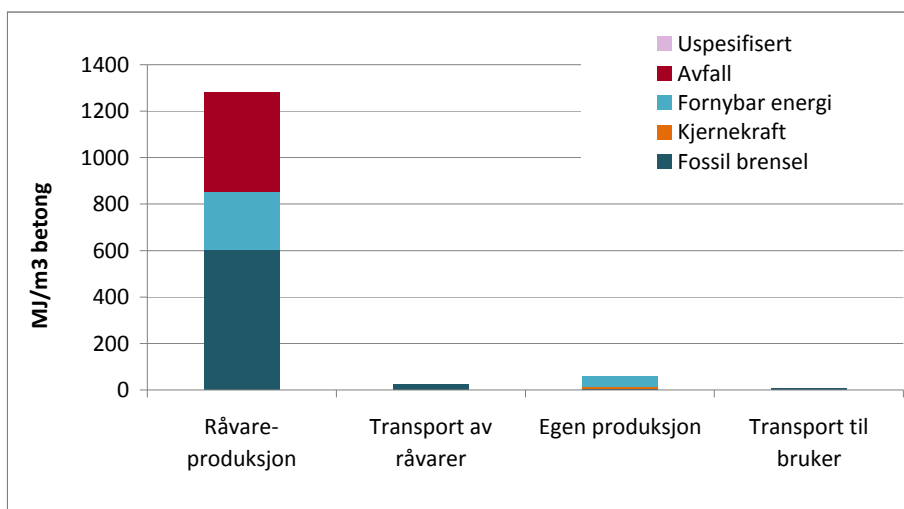
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	1	6	150		156,49	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	88,00				88,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	439,13				439,13	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.880,76				1.880,76	
	Kull	kg/m ³	0,00				0,00	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.564	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	92,96	23,30	0,45	9,05	125,77	
	Kull	505,99	0,32	3,66	0,12	510,09	
	Gass	5,91	0,00	0,16	0,00	6,07	
Kjernekraft		1,10	0,00	9,91	0,00	11,02	
Fornybar energi	Biomass	38,54	0,00	0,00	0,00	38,54	
	Vannkraft	205,74	0,00	46,99	0,00	252,73	
	Vindkraft	0,92	0,00	0,56	0,00	1,48	
Avfall	Avfallsforbrenning	429,54	0,00	0,00	0,00	429,54	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1280,72	23,62	61,75	9,18	1375,26	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

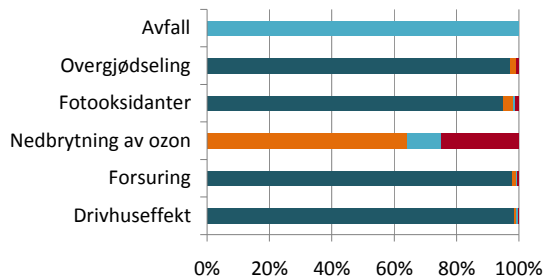
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	82,81
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,049
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,024
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,371
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	222,56

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	216	1,7	0,7	0,7	219	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,14	0,0017	0,0014	0,0007	0,15	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00025	0,00006	0,000017	0,000023	0,00035	
NO _x	kg/m ³ betong	0,34	0,006	0,0008	0,0023	0,35	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,0015	0,0009	0,0006	0,16	
VOC	kg/m ³ betong	0,010	0,0009	0,00027	0,0003	0,011	
CO	kg/m ³ betong	0,010	0,0005	0,00056	0,00018	0,011	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,14	0,005	0,000	0,0019	0,15	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00085	0,000016	0,000014	0,000006	0,00089	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0044	0,007	83	0,003	83	
Annet	kg/m ³ betong	0,06	0,000036	0,0045	0,000014	0,07	

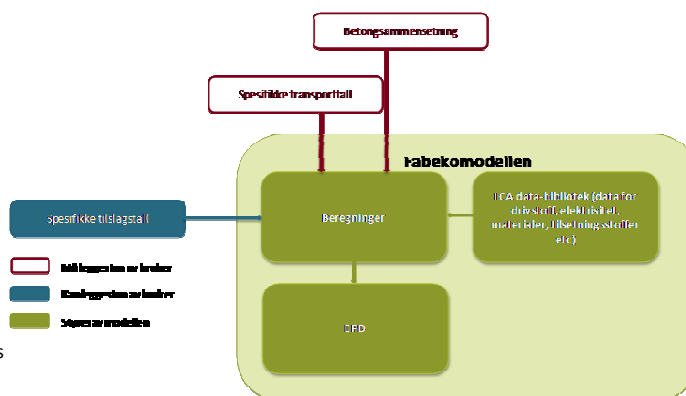
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.645	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	769	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	270	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Industri	358	15,6 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	964	42,1 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	903	39,4 %	Litteraturdata	
Kalkstein	62,00	0,03	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	2,2	0,1 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	-	-	-	
Totalt	2.289	100%		0,0 %

Ressursforbruk

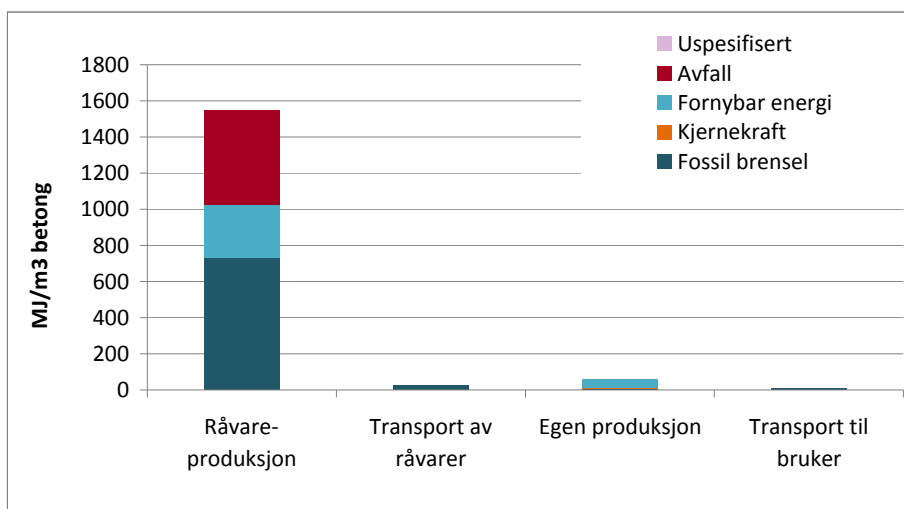
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	1	6	150		156,75	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	0,00				0,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	534,72				534,72	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.929,78				1.929,78	
	Kull	kg/m ³	0,00				0,00	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.621	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	107,59	24,34	0,45	9,15	141,54	
	Kull	616,11	0,34	3,66	0,13	620,23	
	Gass	7,13	0,00	0,16	0,00	7,30	
Kjernekraft		1,33	0,00	9,91	0,00	11,24	
Fornybar energi	Biomass	46,87	0,00	0,00	0,00	46,87	
	Vannkraft	245,76	0,00	46,99	0,00	292,76	
	Vindkraft	1,11	0,00	0,56	0,00	1,67	
Avfall	Avfallsforbrenning	523,02	0,00	0,00	0,00	523,02	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1548,94	24,67	61,75	9,28	1644,64	

Energi bruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

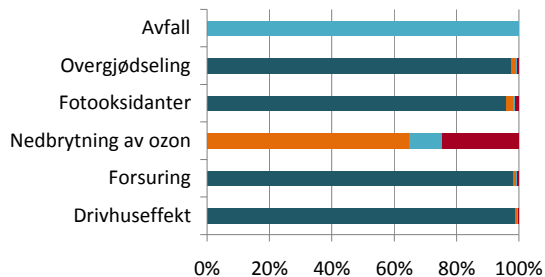
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	82,83
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,059
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,028
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,450
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	270,14

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	263	1,8	0,7	0,7	266	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,18	0,0018	0,0014	0,0007	0,18	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00030	0,00006	0,000017	0,000024	0,00040	
NO _x	kg/m ³ betong	0,42	0,006	0,0008	0,0024	0,43	
SO _x	kg/m ³ betong	0,19	0,0015	0,0009	0,0006	0,20	
VOC	kg/m ³ betong	0,012	0,0009	0,00027	0,0004	0,013	
CO	kg/m ³ betong	0,012	0,0005	0,00056	0,00018	0,014	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,14	0,005	0,000	0,0019	0,15	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00094	0,000017	0,000014	0,000006	0,00098	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0054	0,008	83	0,003	83	
Annet	kg/m ³ betong	0,07	0,000037	0,0045	0,000014	0,08	

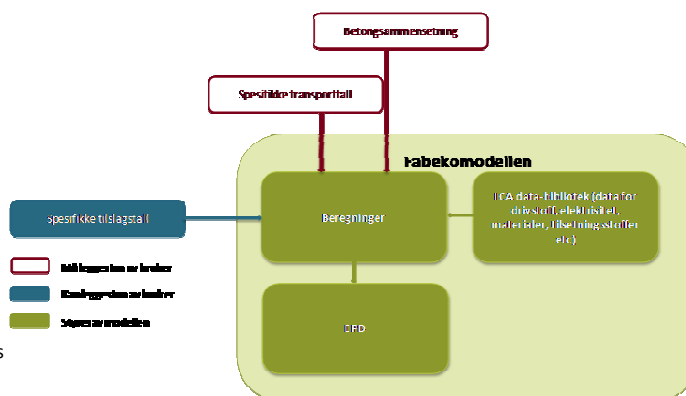
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Environmental Declaration ISO 14025

Fabrikkbetong

Fossegrenda

NEPD nr:

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4

Gyldig til: 31-03-2012

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av Fabeko EPD-kalkulator, (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)



Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av modellen, data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning i tråd med ISO14025, §8.1.3.



PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR for betong,

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Unicon

Fossegrenda

Org.nr.: NO-942 822 979

EN-ISO 14001: 0

Energibruk	1.208	MJ/m ³
-hvorav fossil energi	563	MJ/m ³
Utslipp av klimagasser	193	Kg/m ³

Informasjon om produktet:

Deklarert enhet (DE):

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding og distribusjon til byggeplass for 1 m³ betong

Produktets levetid:

50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang:

Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien:

2012

Årstall for data:

2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Kari Aarstad, kaaa@unicon.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	[Masse kg/m ³]	Andel [%]	Datakvalitet	Andel resirkulert materiale
Norcem Industri	254	11,2 %	EPD	
	0	0,0 %	Spesifikke data	
0-8 Forset	940	41,5 %	Litteraturdata	
8-16 Vassfjell	893	39,5 %	Litteraturdata	
Kalkstein	47,00	0,02	Litteraturdata	
	-	-	-	
Plastiserende	0,0	0,0 %	-	
Superplastiserende	1,5	0,1 %	spesifikke databasedata	
Akselerator/retarder	-	-	-	
Lufttilførende	-	-	-	
Silika	-	-	-	
Flyveaske	127,00	0,06	Avfall fra annen produksjon	Avfall fra annen produksjon
Totalt	2.263	100%		5,6 %

Ressursforbruk

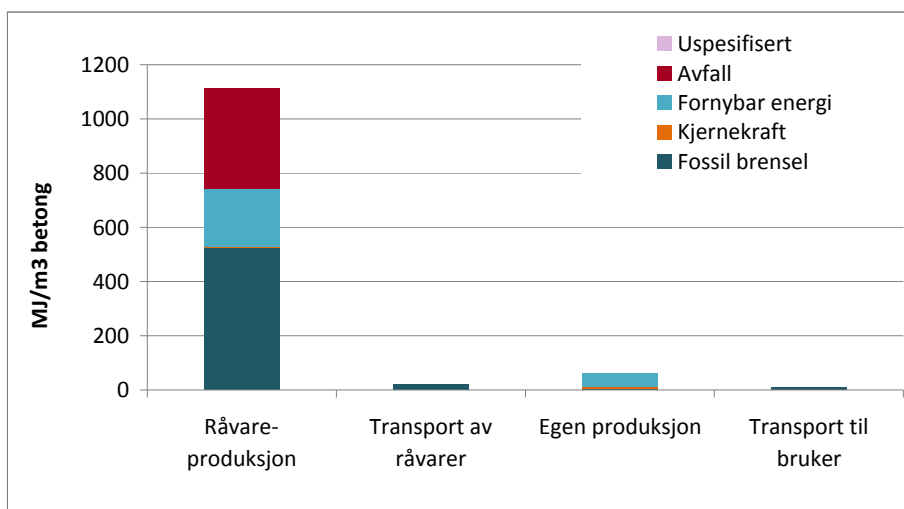
Materialressurser

Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		kg/m ³					0,00	
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/m ³	1	6	150		156,41	
		kg/m ³					0,00	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	kg/m ³	0,00				0,00	
	Flyveaske	kg/m ³	127,00				127,00	
	Andre avfallsstoffer	kg/m ³	0,00				0,00	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³	379,38				379,38	
	Minerals, sand, rock	kg/m ³	1.880,76				1.880,76	
	Kull	kg/m ³	0,00				0,00	
		kg/m ³					0,00	
Sum		kg/m ³					2.544	

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon MJ/m ³	Transport av råvarer MJ/m ³	Egen produksjon MJ/m ³	Transport til bruker MJ/m ³	Totalt MJ/m ³	Kommentarer
Fossil brensel	Olje	84,28	23,00	0,45	9,05	116,77	
	Kull	437,16	0,32	3,66	0,12	441,26	
	Gass	5,15	0,00	0,16	0,00	5,31	
Kjernekraft		0,96	0,00	9,91	0,00	10,88	
Fornybar energi	Biomass	33,34	0,00	0,00	0,00	33,34	
	Vannkraft	180,93	0,00	46,99	0,00	227,92	
	Vindkraft	0,79	0,00	0,56	0,00	1,36	
Avfall	Avfallsforbrenning	371,12	0,00	0,00	0,00	371,12	
Uspesifisert		0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
Totalt		1113,75	23,31	61,75	9,17	1207,98	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger

Tabell 4

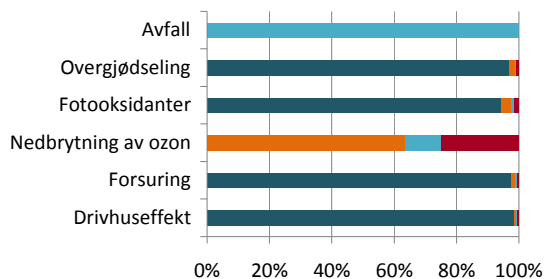
	Enhet	Totalt
Avfall	kg/m ³ betong	82,81
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv/m ³ betong	0,043
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,021
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	0,000
Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,322
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	192,87

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

■ Råvareproduksjon
■ Transport av råvarer
■ Egen produksjon
■ Transport til bruker

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

	Enhet	Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Transport til bruker	Totalt	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	187	1,7	0,7	0,7	190	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,12	0,0017	0,0014	0,0007	0,13	
N ₂ O	kg/m ³ betong	0,00022	0,00006	0,000017	0,000023	0,00032	
NO _x	kg/m ³ betong	0,30	0,006	0,0008	0,0023	0,31	
SO _x	kg/m ³ betong	0,14	0,0014	0,0009	0,0006	0,14	
VOC	kg/m ³ betong	0,009	0,0009	0,00027	0,0003	0,010	
CO	kg/m ³ betong	0,009	0,0005	0,00056	0,00018	0,010	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,14	0,005	0,000	0,0019	0,15	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,00080	0,000016	0,000014	0,000006	0,00083	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	0,0038	0,007	83	0,003	83	
Annet	kg/m ³ betong	0,06	0,000035	0,0045	0,000014	0,06	

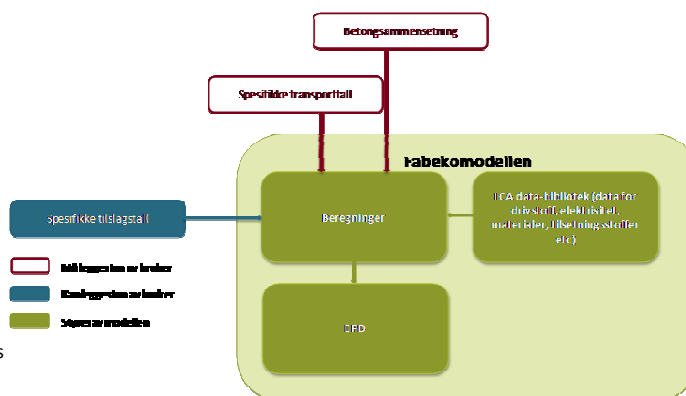
* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Det er per i dag ikke etablert ordninger for gjenbruk av betong etter riving. Bransjen arbeider imidlertid for økt bruk av gjenvunnet betong. Det antas derfor at det er systemer for gjenbruk etter endt levetid av bygningsmassen.

Metodiske beslutninger

Produksjonsfasen for produktet:



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjon.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og fremstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Øvrig informasjon

Miljøpolitikk i Unicon AS

Det er Unicons miljøpolitikk

- å følge relevante lover og regler fastsatt av offentlig myndighet.
- å fremme en bærekraftig utvikling av produkter og teknologi.
- å bidra til at våre kunder når deres miljømessige mål.
- å ha en åpen og aktiv miljødialog med våre omgivelser.
- å sikre at alle ansatte og transportører har gode kunnskaper og er motivert slik at de kan bidra aktivt til Unicons miljøpolitikk

Referanser

[1] ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

[2] ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

[3] PCR for betong: www.environdec.com (2005): PRODUCT-CATEGORY RULES(PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Product Group "Concrete", PCR 2005:7

Vedlegg B

Inneholder i følgende rekkefølge:

- DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK BUBBLE DECK
- DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK FLATDEKKE
- DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE
- DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK SØYLER

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

BubbleDeck

Forutsetninger

Spenn $L_x = 10,0 \text{ m}$ $I_{min} > 0,7 I_{max}$ OK!
 $L_y = 10,0 \text{ m}$

Bredde $b = 1000 \text{ mm}$

Platetykkelse $t_p = 280,0 \text{ mm}$

Overdekning $25,0 \text{ mm}$

Effektiv tykkelse $d = 255,0 \text{ mm}$

Materialer

Betong $f_{cd} = 30,0 \text{ MPa}$
 $E_c = 25743,0 \text{ MPa}$

Armering $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$
 $E_s = 200000,0 \text{ MPa}$

Opptredende krefter

Egenlast $g_{Ed,1} = 4,7 \text{ kN / m}^2$ Etter påstøp

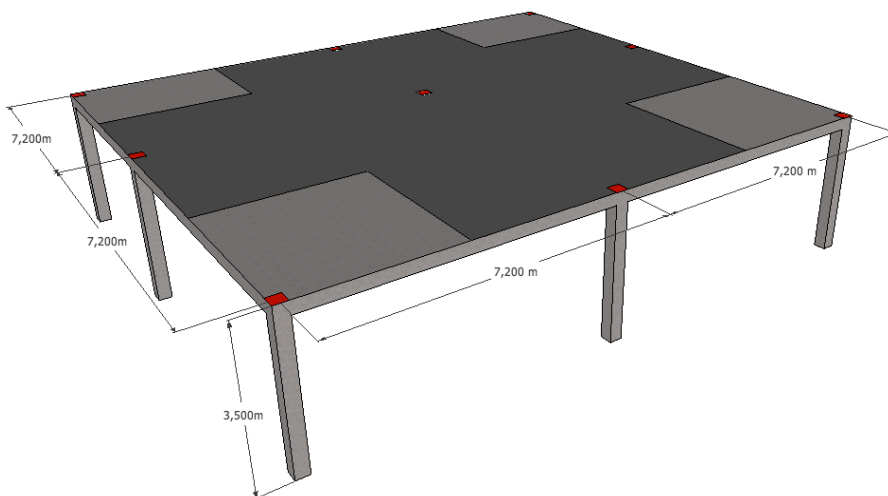
Nyttelast $p_{Ed} = 3,0 \text{ kN / m}^2$

Avretting+lettvegger $g_{Ed,2} = 0,8 \text{ kN / m}^2$

$q_{Ed,1} = g_{Ed,1} + g_{Ed,2} + p_{Ed}$ $q_{Ed,1} = 8,5 \text{ kN / m}^2$

$q_{Ed,2} = (g_{Ed,1} + g_{Ed,2}) \cdot 1,5 + p_{Ed} \cdot 1,2$ $q_{Ed,2} = 11,1 \text{ kN / m}^2$

Med lastfaktorer; egenlast=1,2, nyttelast=1,5



Betrakter platen som fritt opplagt på søylene.

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

- **Momentkapasitet**

$$m_{Rd,x} = 0,275 f_{cd} b d_x^2 = \underline{\underline{304,0 \text{ kNm / m}}}$$

$$m_{Rd,y} = 0,275 f_{cd} b d_y^2 = \underline{\underline{304,0 \text{ kNm / m}}}$$

- **Minste armering i henhold til NS-EN 1992-1-1:2004**

Bjelker og plater

NA.9.2.1.1 Minste og største armeringsareal

$$A_{s,min,x} = 0,26 \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) b_t d_x \geq 0,0013 b_t d_x = 424,3 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,min,y} = 0,26 \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) b_t d_y \geq 0,0013 b_t d_y = 424,3 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Snitt	Område	Moment	m_x [kNm/m]
1.Innerstøtte	Søylestripe 1	$k_g^{s1} g_{Ed} L^2 + k_{q1}^{s1} p_{Ed} L^2$	-225,5
	Søylestripe 2	$k_g^{s2} g_{Ed} L^2 + k_{q1}^{s2} p_{Ed} L^2$	-150,1
	Feltstripe	$k_g g_{Ed} L^2 + k_{q1} p_{Ed} L^3$	-62,8
2.innerstøtte	Søylestripe 1	$k_g^{s1} g_{Ed} L^2 + k_{q1}^{s1} p_{Ed} L^2$	-183,7
	Søylestripe 2	$k_g^{s2} g_{Ed} L^2 + k_{q1}^{s2} p_{Ed} L^2$	-122,4
	Feltstripe	$k_g g_{Ed} L^2 + k_{q1} p_{Ed} L^3$	-51,0
Felt	Søylestripe 1	$k_g^{s1} g_{Ed} L^2 + k_{q1}^{s1} p_{Ed} L^2$	71,7
	Søylestripe 2	$k_g^{s2} g_{Ed} L^2 + k_{q1}^{s2} p_{Ed} L^2$	71,7
	Feltstripe	$k_g g_{Ed} L^2 + k_{q1} p_{Ed} L^3$	47,8

c

Gjennomlokking - Snittkrefter skjær

Skjærkapasitet er avhengig av effektivt betongverrsnitt.

Kapasiteten til Bubbledeck vil følgelig være lavere enn for fulltverrsnittsplate.

Skjærkapasitet for BD er 60% av den for fulltverrsnitt: $V_{BD} = 0,6 V_{Rd}$

Forsøk viser at BubbleDeck har identisk bruddforløp som fulltverrsnittsplater med tilsvarende dimensjon og armering, men lavere bruddkapasitet. Bruddkapasiteten er ca. 50% av den for massivverrsnitt.

I søylenes umidle nærhet anbefales det derfor å fjerne boblene og erstatte dem med massivverrsnitt.

Dette gjøres for området innenfor kritisk snitt, u_1 .

Kontroll for gjennomlokking utføres følgelig som ved massivverrsnitt.

Uten fjerning av boblene må en halvering av boblenes gjennomlokkingskapasitet tas i betraktning.

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

Beregning av gjennomlokking etter Betongforeningens publikasjon 33

Veileder for BD baserer skjærberegninger på Publikasjon 33

Skjærkontroll etter Publikasjon 33:

Fulltverrsnitt ut fra søylesenter

$$\frac{b_{\text{søyle}}}{2} + d = 530 \text{ mm}$$

I henhold til Betongforeningens Publikasjon 33, kap 4.3.3 kan en forenklet beregning gjennomføres ved å anta full last for alle felt uten hensyn til innspenning i søyler eller kontinuitet.

Det gir skjærkraft lik $0,25V_f$ på hver sidekant i kritisk snitt dersom sidekantene ikke er for ulike.

Last som ligger innenfor kritisk snitt kan fratrekkes.

Ved full symmetri gir dette skjærstrømmen $\tau_v = 0,25 V_f / b$, hvor b er sidekantene i kritisk snitt

Areal med fulltverrsnitt:

$$A_b = 1123600 \text{ mm}^2$$

$V_f = r_f (A_{\text{last}} - A_{\text{kritisk snitt}})$

$$V_f = 1097,5 \text{ kN}$$

$$\tau_v = 1,0 \text{ kN/mm}$$

Skjærkraften fordeler seg tilnærmet likt langs søylens sidekanter

$$V_{fx} = V_f / 4$$

$$V_{fx} = 274,4 \text{ kN}$$

Gjennomlokkingskapasitet for fulltverrsnittsplate med samme armering og dimensjoner:

$$V_{cd} = V_{c0} = 0,3 \cdot \left(f_{td} + \frac{k_A \cdot A_s}{\gamma_c \cdot b_w \cdot d} \right) \cdot b_w \cdot d \cdot k_w \leq 0,6 \cdot f_{td} \cdot b_w \cdot d \cdot k_v$$

Minste av

$$1153794,9 \text{ N}$$

$$624553,7 \text{ N}$$

$V_{cd} =$

$$624,6 \text{ kN}$$

Skjærarmering ikke nødvendig

Behøver i følge Publikasjon 33 ikke legge fulltverrsnitt utenfor kritisk snitt ettersom $0,6V_{cd} > V_{fx}$

Beregning av gjennomlokking etter EC2

Ettersom Publikasjon 33 baserer seg på forgjengeren til EC 2,

samt at erfaring viser behov for skjærarmering også i BD, utføres det skjærkontroll etter EC også.

Skjærkraft

$$V_{ed} = 1110 \text{ kN}$$

6.4.2(1) Kontrollsnitt

$$d_{eff} = \frac{(d_y + d_x)}{2}$$

$$255 \text{ mm}$$

Rektangulært

$$u_1 = 4\pi d_{eff} + 2(c_1 + c_2)$$

$$5404 \text{ mm}$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

Benyttet lengde $u_1 = 5404 \text{ mm}$

6.4.3(3) Største skjærspenning

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 d_{eff}} = \underline{\underline{0,93}} \text{ N / mm}^2 \quad \beta = 1,15 \quad \text{NA.6.4.3}$$

$$V_{Ed} = 1110 \text{ kN}$$

6.4.4(1) Skjærstrekkapasitet (uten skjærarmoring)

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \geq v_{\min} = 0,035 k^{2/3} f_{ck}^{1/2} = 0,29$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} \leq 2,0 = 1,89$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \rho_y} ; \rho_i = \frac{A_{si}}{bd_i} = 0,007$$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = \underline{\underline{0,62}} \text{ N / mm}^2 < V_{Ed}$$

Kapasiteten for lav \Rightarrow trenger skjærarmoring

6.4.5(3) Skjærtrykkkapasitet (med skjærarmoring)

$$v_{Rd,max} = 0,4 v f_{cd} \leq 1,6 v_{Rd,c} \frac{u_1}{\beta u_0}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,528$$

$$\Rightarrow V_{Rd,max} = \underline{\underline{2,13}} \text{ N / mm}^2 < V_{Ed} = 2,28 \text{ N / mm}^2$$

\Rightarrow Den maksimale kapasiteten er for lav (v_{Ed} beregnet i henhold til 6.4.5(3))

6.4.5(4) Ytre omkrets av skjærarmoring

$$u_{out} = \beta \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} d_{eff}} = 8017 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,15$$

$$V_{Ed} = 1110 \text{ kN}$$

$$d_{out} = 1085 \text{ mm} \quad (\text{avstand fra søyle til ytre omkrets})$$

ringen stoppes en avstand:

830 mm fra søylekant

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

6.4.5(1) Nødvendig skjærarmering

$$A_{sw} = \frac{(v_{Ed} - 0,75v_{Rd,c})s_r u_1}{1,5f_{ywd,ef}}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d_{eff} \leq f_{ywd} \quad 314 \text{ N/mm}^2$$

$$s_{r,max} = 0,75d_{eff} = 191 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad s_r = 150 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow A_{sw} = 789 \text{ mm}^2 \text{ per omkrets}$$

9.4.3(2) Minimum skjærarmering

$$A_{sw,min} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1,5f_{yk}} s_r s_t = 18 \text{ mm}^2 \quad \text{hvor;} \quad f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$$

Velger, $\Phi = 8 \quad \Rightarrow A_{sw} = \underline{50,3 \text{ mm}^2} \text{ OK!}$
 tilsvarende: $s_t = 344,4 \text{ mm}$ (senteravstand rundt omkrets u_1)

$$s_{t,max} = 0,75d_{eff} \leq 600 \text{ mm} \quad s_{t,max} = 191,3 \text{ mm} \quad (\text{i henhold til 9.2.2(8)})$$

$$\Rightarrow \text{Velger, } s_t = \underline{150} \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

Innenfor kritisk snitt $u_{1,i}$: $s_{t,max} \leq 382,5 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad s_{t,max} = 300$
 Utenfor kritisk snitt $u_{1,i}$: $s_{t,max} \leq 510,0 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad s_{t,max} = 450$

Skjærarmering (rundt søyle):

$A_{sw, n\ddot{o}dv}$ per omkrets $A_{sw, n\ddot{o}dv} = 314 \text{ mm}^2$
 A_{sw} per bøyle $A_{sw} = 50,3 \text{ mm}^2 \quad \Phi 8$

$$s_t = 150 \text{ mm}$$

$$s_r = 150 \text{ mm}$$

Antall bøyer per omkrets $n_{b\ddot{o}yle} = 7$

Uavrundet antall bøyer 33

Antall bøyer totalt $n_{b\ddot{o}yle, tot} = 35$

Tot skjærarmering $A_{sw} = 1759 \text{ mm}^2$

Kritisk snitt ligger: 2d utenfor søylekant

Areal massiv tv.snitt: 2464900 mm²

Tilsvarende 2,46 m²

Tilsvarende 0,025 m² massivt/m² dekke

Dersom ekstra skjærarmering er nødvendig utover det som legges i søylenes umidle nærhet kan dette dimensjoneres som for massiv dekke. Det er i dette tilfellet ikke behov for ytterligere skjærarm

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

Kontroll av NA

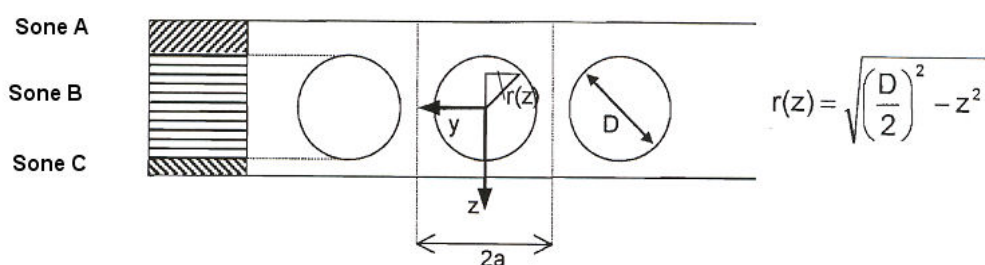
Elementtykkelse	$h =$	280,0 mm
Elementdel betong	$h_{\text{bunn}} =$	70 mm
Kulediameter	$D =$	225 mm
Kulesenter		125 mm
Avstand ok til topp kule	$c_o =$	30 mm
Avstand ok til senter kule	$h_o =$	155 mm
Antall kuler	$n_{\text{kuler}} =$	16 /m ² dekke
Str. Elementdel med én kule	$2a =$	225 mm
Statisk høyde	$d =$	249,0 mm

Flytetøyning arm. $\epsilon_{sy} = 0,0025$

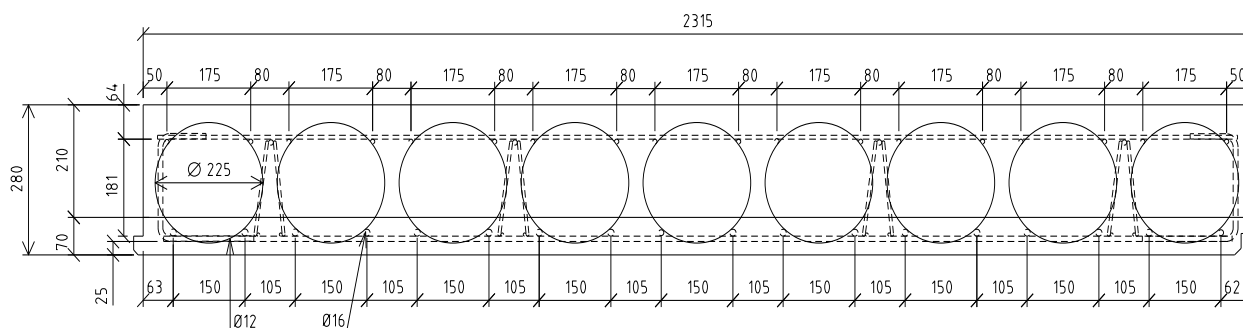
Flytetøyning betong $\epsilon_{cu} = 0,0035$

Trykkblokkens høyde	$A =$	80	% av trykksonehøyde
Trykkspenning	$B =$	100	% av betongens trykkfasthet
Indre momentarm	$z =$	Ukjent	

2. Arealmoment	$I_z =$	285858179 mm ⁴	På værste sted,
2. Arealmoment bunnplate	$I_{\text{bpl}} =$	28500000 mm ⁴	ie der kule tv.snitt er størst



Dimensjoner på BD 280



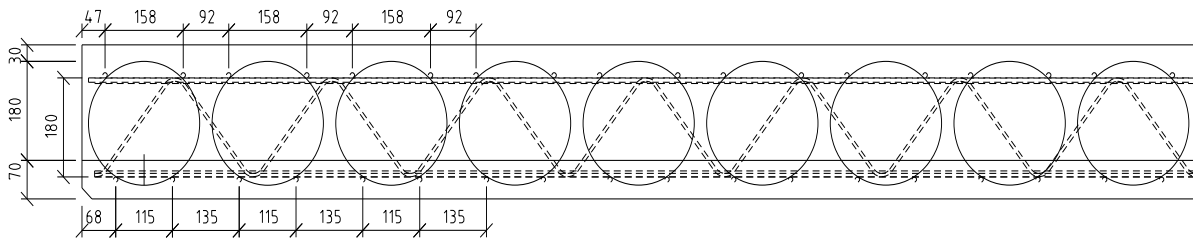
Tverretning

1.10

EGENVEKT DEKKE = 480 kg/m²

-

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK



Trykksonehøyde:

Må finne nøytralaksens beliggenhet αd

Strekraft i under - og balansertarmert tv.snitt

$$S = \frac{f_{sk}}{\gamma} \cdot A_s$$

Med balansert armering, dvs. Armering flyter samtidig som betongen; $\epsilon_s = \epsilon_{sy}$:

$$\alpha_{bal} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{sy}} \quad \alpha = 0,583$$

Nøytralaksens beliggenhet ved balansert armering

$$x_{bal} = \alpha_{bal} d \quad x_{bal} = 145,25$$

$$z_1 = h_0 - \frac{A}{100} \alpha d \quad z_1 = 38,8$$

Nøytralaksen går gjennom sone B (se figur over), balansert armering bestemmes ved:

Trykksonerresultant for sone med kule

$$T_c = \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{f_c}{\gamma_m} \left[2a(h_0 + z_1) - \left[z_1 \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - z_1^2} + \left(\frac{D}{2}\right)^2 \arcsin\left(\frac{2z_1}{D}\right) + \frac{\pi}{2} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \right] \right]$$

$$T_c = 206461,4 \text{ N}$$

$$T_c = 206,46 \text{ kN} \quad \text{for balansert tv.snitt}$$

$$z = \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{f_c}{\gamma_m} \left[a(z_1^2 - h_0^2) + \frac{2}{3} \left[z_1 \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - z_1^2} \right] \right]$$

$$S = \frac{f_{sk}}{\gamma} \cdot A_s$$

$$f_{sk} = 500$$

$$f_{yd} = 400$$

$$A_{bal} = 516,2 \text{ mm}^2$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

Armering i det aktuelle elementet består vanligvis av $\varnothing 16$ som største diameter, per elementbredde er det to jern (ett på hver side av kulen):

$$A_s = 401,92 \text{ mm}^2 < A_{bal} = 516,2$$

Underarmert tverrsnitt

Underarmert tverrsnitt, dvs. armering flyter før betongen knuses; $\varepsilon_s > \varepsilon_{sy}$:
Med normalarmering (det mest benyttede underarmerte tverrsnittet i Norge)

$$\varepsilon_s = 2\varepsilon_{sy} = 0,005 \qquad \alpha_{norm} = 0,412$$

Nøytralaksens beliggenhet ved normalarmering

$$x_{norm} = \alpha_{norm} d \qquad x_{norm} = 102,5$$

$$z_1 = h_0 - \frac{A}{100} \alpha d \qquad z_1 = 73,0$$

è Nøytralaksen går gjennom sone B (se figur over):

$$T_{c,norm} = 220902,0 \text{ N}$$

$$T_{c,norm} = 220,9 \text{ kN}$$

$$A_{s,norm} = 552,3 \text{ mm}^2$$

$$T = S \text{ skjer for } A_s = 552,3 \text{ mm}^2$$

Dersom en ønsker at trykkresultanten T_c skal falle i sone A, kreves følgende flytetøyning.

$$\alpha \leq 0,1205$$

$$\varepsilon_s = 0,026$$

$T_c = S$ for stor flytning

Tverrsnittet er : underarmert, armering flyter lenge før betong knuses

Trykksoneresultant i område over kule beregnes som for et rektangulært tv.snitt.

$$T_c = \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{f_c}{\gamma_m} 2a \cdot \alpha d$$

$$T_c = 91800 \text{ N}$$

$$T_c = 91,8 \text{ kN}$$

$$z_1 = h_0 - \frac{A}{100} \alpha d \qquad z_1 = 131$$

$$A_s = 229,5 \text{ mm}^2 < A_s = 401,92 \text{ mm}^2$$

Indre momentarm:

$$z = \frac{D}{2} + |z_1| + 0,5 \cdot \alpha d \qquad z = 255,5 \text{ mm}$$

Moment for elementbredde 0,225 m $M = T_c \cdot z = S \cdot z = 3,5 \text{ kNm/2a}$

Moment for elementbredde 1 m $M = 104,244 \text{ kNm/m}$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

$M_{ed, søyle} =$	-225,5 kNm/m -2254,8 kNm	Dimensjonere med fulltverrsnitt over søyle
$M_{ed, felt} =$	-62,8 kNm/m -628 kNm	OK!

For underarmerttverrsnitt med fullt utnyttet trykksone:

$$A_{s,1} = \frac{T_c}{f_{yd}} = 229,5 \text{ mm}^2$$

$\phi 16$	$A_s =$	200,96 mm ²
$\phi 12$	$A_s =$	113,04 mm ²
$\phi 8$	$A_s =$	50,24 mm ²
Tilsvarende	$A_{s,1} =$	401,92 mm ²
		For bredde 2a

$$z = \frac{D}{2} + |z_1| \cdot 0,4 \cdot \alpha d = z = 255,5 \text{ mm}$$

Moment for elementbredde	$M = T_c \cdot z = S \cdot z =$	0,225 m	23,5 kNm
Moment for elementbredde	1 m	M =	104,2 kNm/m

Strekkarmering for fullt utnyttet trykksone $A_{s,1} =$	1786,311 mm ² /m
Armeringen har kapasitet til å tåle moment $M_{cd} =$	104,2 kNm/m

$M_{rd} > M_{ed, felt} \rightarrow$ Tilleggsarmering i trykk - og strekksone for å ta opptrødende maksimalt moment i felt er ikke nødvendig

$M_{rd} > M_{ed, søyle} \rightarrow$ Tilleggsarmering i trykk - og strekksone for å ta opptrødende maksimalt moment over søyle er nødvendig

Over søyle legge i tillegg:

$$\Delta M = M_{Ed} - M_{cd}$$

$$A_{s,2} = \frac{\Delta M}{f_{yd} \cdot h'}$$

$A_{s,ok} =$	2505,3 mm ² /m
\rightarrow Tilsvarende	12 $\phi 16$ /m
c/c =	80 mm
l =	2206 mm

Legger i lengde

Endelig armering for 1m bredde BD280:

Strekkarmering:	$A_s = A_{s,1} + A_{s,2}$	1786,3 mm ²
	$A_{s,y} =$	1786,3 mm ²

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

Trykkarmering:	i felt	$A_s' = A_{s,2}$	$A_{s,x,min}' = 424,3 \text{ mm}^2/\text{m}$	Minstearmering
	ved søyle		$A_{s,y}' = 424,3 \text{ mm}^2/\text{m}$	
		→ Tilsvare	8 ϕ 8/m	
			$A_{s,x,min}' = 424,3 \text{ mm}^2/\text{m}$	

$$V_{s,ok} = 0,00085 \text{ m}^3$$

ok. Armering over søyle :

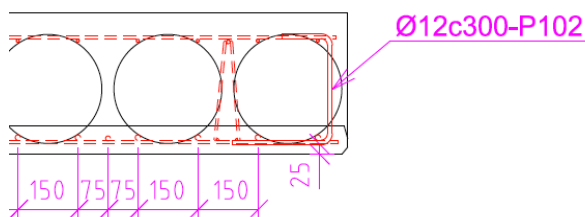
$$A_{s',x,ok} = 2505,3 \text{ mm}^2$$

$$A_{s',y,ok} = 2505,3 \text{ mm}^2$$

Fugearmering:

For å unngå segmentering, dvs splittelse i støpefuge mellom bunnplate og plasstøpt, skal det legges bøyer som forbinder de to i enden av elementene.

Beregningene for fugearmeringen er her basert på enkel beregningsmodell og antagelse om separasjonslengde og forskyvning av bunnplate ved brudd som vist i figur.



Bøylearmeringsmengde

$$A_{s,bøyle} = \frac{3E_c I_{element}}{f_{yd} \cdot c^3} \delta = 157 \text{ mm}^2/\text{m}$$

δ = forventet separasjonsavstand i fuge uten bøyle

c = splittlengde; antar lik elementtykkelse

$$\text{è } c = 0,28 \text{ m}$$

l = spennvidde

$$\text{è } l = 10,0 \text{ m}$$

$$f = l / 100 = 0,1 \text{ m}$$

$$\delta = 8f \frac{c^2}{l^2} = 0,627 \text{ mm}$$

→ Tilsvare

1 ϕ 12 bøyer

$$A_{s,2} = 69,9 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Merk: Svinn kan føre til egenspenninger i overgang bunnplate og plasstøpt som kan innvirke på fugearmeringens heftkapasitet. Kan også bidra til separasjon.

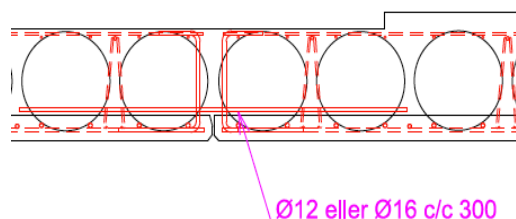
$$\rightarrow \text{Volum fugearmering} = 6,14E-06 \text{ m}^3/\text{m}$$

Dersom armering er i kontakt med boblene vil forankring reduseres.

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV BUBBLEDECK

Skjøtearmering:

For å sørge for at tilstøtende dekker får god heft legges skjøtearmering.



Forankringslengde:

2 Ø16 anbefales mellom hver kule langs elementskjøt.

Armeringsoverdekning $> \emptyset$ og senteravstand $> 8 \emptyset$ è forankringslengde kan forenklet beregnes til $l_b = 50\emptyset$

$$l_b = 800$$

$$c/c = 265 \text{ Anbefales å legge mellom hver kule}$$

Antar vanlig elementbredde på 2,4

Skjærarmering:

Antall bøyer per søyle

$$n = 35$$

Skjærareal

$$A_{sw} = 1759 \text{ mm}^2$$

$$h' = 225 \text{ mm}$$

$$h_{skjær} = h' + \frac{\emptyset_{ok}}{2} + \frac{\emptyset_{uk}}{2} \quad h_{skjærarm.} = 239 \text{ mm}$$

Feste

$$h_f = 87,92 \text{ mm}$$

$$h_{skjær, tot} = h_{skjær} + h_{feste} \quad h_{skjær, tot} = 327 \text{ mm}$$

Volum skjærarmering

$$V_{sw} = 575148 \text{ mm}^3$$

Tilsvarende

$$V_{sw} = 0,00000575 \text{ m}^3/\text{m}^2 \quad \text{Fordelt på hele dekket}$$

Volum plastkule

$$273879,5 \text{ mm}^3/\text{kule}$$

Volum totalt

$$0,00438207 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Oppsummering estimert materialbruk (teoretisk)

Materialparametere

Tetthet

Stål	$\rho_{stål} =$	7850 kg/m ³
Betong	$\rho_{betong} =$	2500 kg/m ³
Plast	$\rho_{plast} =$	986 kg/m ³
Avrettingsmasse	$\rho_{avretting} =$	1650 kg/m ³

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Flatdekke

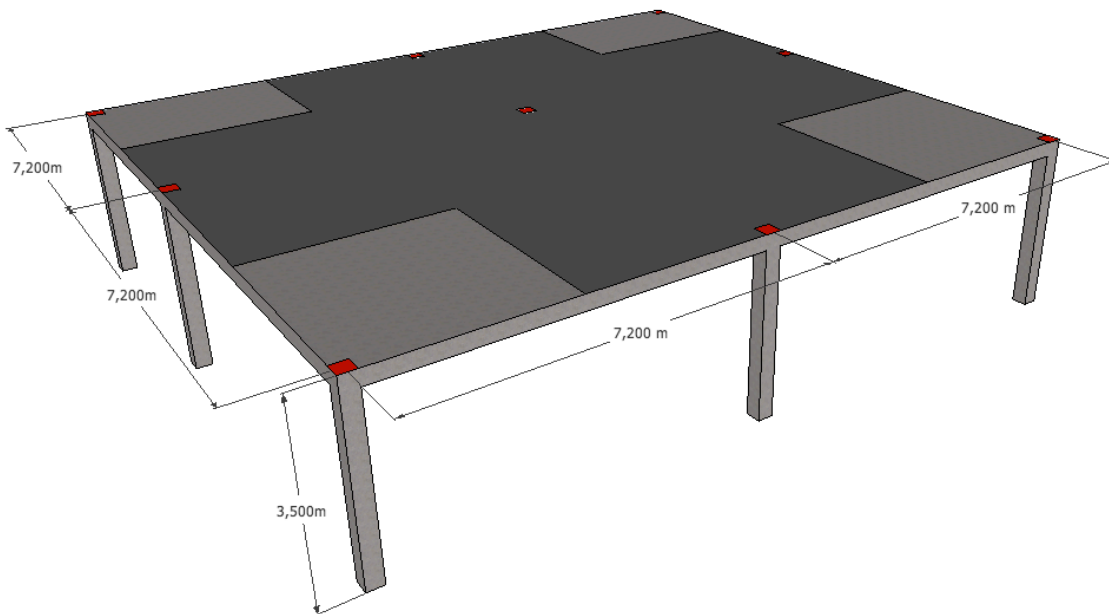
Forutsetninger

Spenn	$L_x =$	7,2 m
	$L_y =$	7,2 m
Bredde	$b =$	1000 mm
Platetykkelse	$t_p =$	280,0 mm
Effektiv tykkelse	$d_x =$	196,0 mm
	$d_y =$	196,0 mm
Materialer		
Betong	$f_{cd} =$	30,0 MPa
Tetthet	$\rho =$	
Armering	$f_{yk} =$	500,0 MPa

Opptredende krefter

Egenlast	$g_{Ed} =$	7,0 kN / m ²
Lettvegger	$g_{Ed,2} =$	0,8 kN / m ²
Nyttelast	$p_{Ed} =$	3,0 kN / m ²
$q_{Ed} = g_{Ed} + p_{Ed}$	$q_{Ed} =$	14,6 kN / m ²

Modell



Betrakter platen som fritt opplagt på søylene.

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Momentkapasitet

$$m_{Rd,x} = 0,275 f_{cd} b d_x^2 = \underline{\underline{179,6 \text{ kNm / m}}} \quad \text{hvor; } \begin{array}{l} f_{cd} = 17,0 \text{ MPa} \\ b = 1000 \text{ mm} \\ d_x = 196,0 \text{ mm} \\ d_y = 196,0 \text{ mm} \end{array}$$
$$m_{Rd,y} = 0,275 f_{cd} b d_y^2 = \underline{\underline{179,6 \text{ kNm / m}}}$$

Minste armering (NS-EN 1992-1-1:2004)

Bjelker og plater

NA.9.2.1.1 Minste og største armeringsareal

$$A_{s,min,x} = 0,26 \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) b_t d_x \geq 0,0013 b_t d_x \quad 326,1 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad \text{hvor; } \begin{array}{l} f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa} \\ f_{yk} = 500,0 \text{ MPa} \\ b = 1000 \text{ mm} \\ d_x = 196,0 \text{ mm} \\ d_y = 196,0 \text{ mm} \end{array}$$
$$A_{s,min,y} = 0,26 \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) b_t d_y \geq 0,0013 b_t d_y \quad 326,1 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Dekke 1: 7,2m x 7,2m

Lengde av hvert spenn

$$\begin{array}{l} L_x = 7,2 \text{ m} \\ L_y = 7,2 \text{ m} \end{array}$$

Lastkombinasjon 1: Egenlast og nyttelast i begge felt

Laster

$$q_{Ed} = 105,4 \text{ kN / m}$$

Moment

Over midtsøyle

$$M_{xs} = 683,0 \text{ kNm}$$

I feltet

$$M_{xf} = 384,2 \text{ kNm}$$

Lastkombinasjon 2: Egenlast i begge felt og nyttelast i ett felt

Laster

$$g_{Ed} = 50,4 \text{ kN / m}$$

$$p_{Ed} = 21,6 \text{ kN / m}$$

Moment

Over midtsøyle

$$M_{xs} = 396,6 \text{ kNm}$$

I feltet

$$M_{xf} = 290,9 \text{ kNm}$$

Dimensjonerende momenter

$$m_i = \frac{M_i}{L_y} \implies \begin{array}{l} M_{xs} = 683,0 \text{ kNm} \\ M_{xf} = 384,2 \text{ kNm} \\ m_{xs} = 94,9 \text{ kNm / m} \\ m_{xf} = 53,4 \text{ kNm / m} \end{array}$$

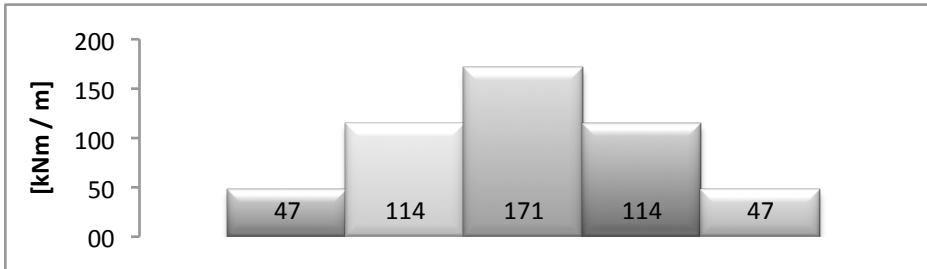
VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Kraftfordeling over stripe

Over søyle

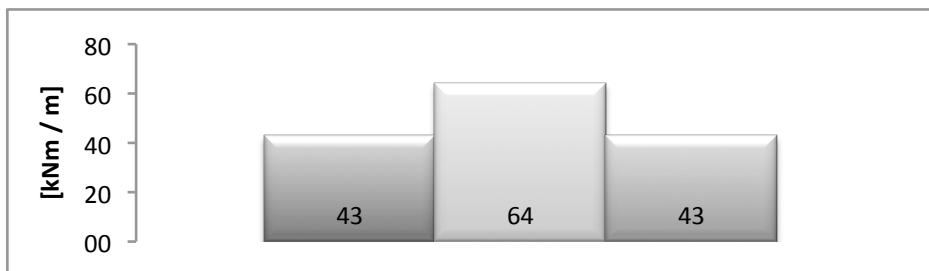
• Søylestripe 1	$1,8 m_{xs} =$	170,8 kNm / m	<	$m_{Rd,x}$
• Ytre søylestripe	$1,2 m_{xs} =$	113,8 kNm / m	<	$m_{Rd,x}$
• Feltstripe (søyle)	$0,5 m_{xs} =$	47,4 kNm / m	<	$m_{Rd,x}$

Faktorer er etter Betongforeningens Publikasjon 33.



Feltmidte

• Søylestripe	$1,2 m_{xf} =$	64,0 kNm / m	<	$m_{Rd,x}$
• Feltstripe (felt)	$0,8 m_{xf} =$	42,7 kNm / m	<	$m_{Rd,x}$



VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Beregningsmessig nødvendig armering

Over søyle, overkantarmering:

Søylestripe 1

$$z \approx \left(1 - 0,17 \frac{m_x}{m_{Rd,x}} \right) d_x \leq 0,95d_x = 164,3 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} d_x = 196,0 \text{ mm} \\ f_{yk} = 434,8 \text{ MPa} \end{array}$$

$$A_{sx,s1} = \frac{m_x}{z f_{yd}} = 2390,2 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Velger $\Phi = 25$ mm $\Rightarrow A_{sx,s1} = \underline{\underline{2454,37 \text{ mm}^2 / \text{m}}}$
 $s = 200$ mm

Søylestripe 2

$$z \approx \left(1 - 0,17 \frac{m_x}{m_{Rd,x}} \right) d_x \leq 0,95d_x = 174,9 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{hvor;} \quad d_x = 196,0 \text{ mm} \\ f_{yk} = 434,8 \text{ MPa} \end{array}$$

$$A_{sx,s2} = \frac{m_x}{z f_{yd}} = 1497,2 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Velger $\Phi = 20$ mm $\Rightarrow A_{sx,s2} = \underline{\underline{1570,8 \text{ mm}^2 / \text{m}}}$
 $s = 200$ mm

Feltstripe (søyle)

$$z \approx \left(1 - 0,17 \frac{m_x}{m_{Rd,x}} \right) d_x \leq 0,95d_x = 186,2 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{hvor;} \quad d_x = 196,0 \text{ mm} \\ f_{yk} = 434,8 \text{ MPa} \end{array}$$

$$A_{sx,f} = \frac{m_x}{z f_{yd}} = 585,9 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Velger $\Phi = 16$ mm $\Rightarrow A_{sx,f} = \underline{\underline{837,8 \text{ mm}^2 / \text{m}}}$
 $s = 240$ mm

Feltmidte, underkantarmering:

Søylestripe

$$z \approx \left(1 - 0,17 \frac{m_x}{m_{Rd,x}} \right) d_x \leq 0,95d_x = 186,2 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{hvor;} \quad d_x = 196,0 \text{ mm} \\ f_{yk} = 434,8 \text{ MPa} \end{array}$$

$$A_{sx,fs} = \frac{m_x}{z f_{yd}} = 791,0 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Velger $\Phi = 16$ mm $\Rightarrow A_{sx,fs} = \underline{\underline{1117,0 \text{ mm}^2 / \text{m}}}$
 $s = 180$ mm

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Feltstripe (felt)

$$z \approx \left(1 - 0,17 \frac{m_x}{m_{Rd,x}} \right) d_x \leq 0,95 d_x \quad 186,2 \text{ mm} \quad \text{hvor;} \quad d_x = 196,0 \text{ mm}$$

$$A_{sx,ff} = \frac{m_x}{z f_{yd}} = 527,3 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad f_{yk} = 434,8 \text{ MPa}$$

Velger $\Phi = 12$ \Rightarrow $A_{sx,ff} = 628,3 \text{ mm}^2 / \text{m}$
 $s = 180 \text{ mm}$

Konsentrerte laster - gjennomlokking ved søyle

Spenn $L_x = 7,2 \text{ m}$
 $L_y = 7,2 \text{ m}$
 Lastareal $51,84 \text{ m}^2$

Bredde $b = 1000 \text{ mm}$

Platetykkelse / høyde $t_p = 280,0 \text{ mm}$
 mm

Søyledimensjoner $b_{load} = 300,0 \text{ mm}$
 $h_{load} = 300,0$

Effektiv tykkelse $d_x = 196,0 \text{ mm}$ $d = h - \text{overdekning} - D_{lengdearm.}$
 $d_y = 237,0 \text{ mm}$ $d = t_p - 35\text{mm} - \Phi/2$

Materialer

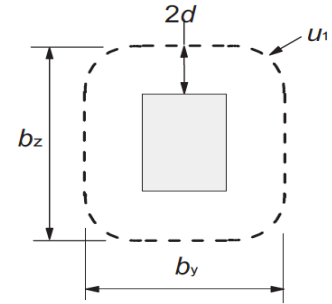
Betong $f_{cd} = 30,0 \text{ MPa}$
 Armering $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$

Armeringsmengde

X-retning $\phi = 25$
 $s = 200 \text{ mm}$ Benyttet
 (sett 0 dersom den ikke skal benyttes) $A_{sx} = 0 \text{ mm}^2$ $A_{sx} = 2454,4 \text{ mm}^2 / \text{m}$

Y-retning $\phi = 25$
 $s = 200 \text{ mm}$ Benyttet
 (sett 0 dersom den ikke skal benyttes) $A_{sy} = 0 \text{ mm}^2$ $A_{sx} = 2454,4 \text{ mm}^2 / \text{m}$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE



Skjærkraft $V_{ed} = 758,9376 \text{ kN}$

6.4.2(1) Kontrollsnitt

$$d_{eff} = \frac{(d_y + d_x)}{2} = 216,5 \text{ mm} \quad \text{hvor; } \begin{matrix} d_x = 196,0 \text{ mm} \\ d_y = 237,0 \text{ mm} \end{matrix}$$

Rektangulært

$$u_1 = 4\pi d_{eff} + 2(c_1 + c_2) = 3921 \text{ mm} \quad u_0 = 1200 \text{ mm}$$

Benyttet lengde $u_1 = 3921 \text{ mm}$

6.4.3(3) Største skjærspenning

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 d_{eff}} = 1,03 \text{ N / mm}^2 \quad \text{hvor; } \begin{matrix} \beta = 1,15 \\ V_{Ed} = 758,938 \text{ kN} \end{matrix}$$

6.4.4(1) Skjærstrekkapasitet (uten skjærarmoring)

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \geq v_{min} = 0,035 k^{2/3} f_{ck}^{1/2} = 0,30$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} \leq 2,0 = 1,96$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \rho_y} ; \rho_i = \frac{A_{si}}{b d_i} = 0,01139$$

hvor; $\begin{matrix} f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa} \\ d_x = 196,0 \text{ mm} \\ d_y = 237,0 \text{ mm} \\ b = 1000 \text{ mm} \\ A_{sx} = 2454 \text{ mm}^2 \\ A_{sy} = 2454 \text{ mm}^2 \end{matrix}$

$$\Rightarrow V_{Rd,c} = 0,76 \text{ N / mm}^2 < V_{Ed}$$

Kapasiteten for lav \Rightarrow trenger skjærarmoring

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

6.4.5(3) Skjærtrykkkapasitet (med skjærarmering)

$$v_{Rd,max} = 0,4v f_{cd} \leq 1,6v_{Rd,c} \frac{u_1}{\beta u_0} = 0,528$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \Rightarrow V_{Rd,max} = 3,47 \text{ N/mm}^2 > V_{Ed} = 3,36 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Kapasitet OK!}$$

hvor; $f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$
 $\beta = 1,15$
 $u_0 = 1200$

(V_{Ed} beregnet i henhold til 6.4.5(3))

6.4.5(4) Ytre omkrets av skjærarmering

$$u_{out} = \beta \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} d_{eff}} = 5279 \text{ mm}$$

$$d_{out} = 649 \text{ mm} \quad \text{hvor; } \beta = 1,15$$

$$V_{Ed} = 758,938 \text{ kN}$$

Skjærarmeringen stoppes en avstand: 433 mm fra søylekant

6.4.5(1) Nødvendig skjærarmering

$$A_{sw} = \frac{(v_{Ed} - 0,75v_{Rd,c}) s_r u_1}{1,5 f_{ywd,ef}}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d_{eff} \leq f_{ywd} = 304 \text{ N/mm}^2$$

$$s_{r,max} = 0,75d_{eff} = 162 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow A_{sw} = 587 \text{ mm}^2 \text{ per omkrets}$$

$$\Rightarrow s_r = 150 \text{ mm}$$

Husk! Første må ligge i avstand $0,3d < s < 0,5d$

9.4.3(2) Minimum skjærarmering

$$A_{sw,min} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1,5 f_{yk}} s_r s_t = 14 \text{ mm}^2$$

hvor; $f_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$
 $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$

Velger, $\Phi = 8 \Rightarrow A_{sw} = 50,3 \text{ mm}^2 \text{ OK!}$
 tilsvarer: $s_t = 335,6 \text{ mm}$ (senteravstand rundt omkrets u_1)

$$s_{t,max} = 0,75d_{eff} \leq 600 \text{ mm} \quad s_{t,max} = 162,4 \text{ mm (i henhold til 9.2.2(8))}$$

$$\Rightarrow \text{Velger, } s_t = 150 \text{ mm}$$

Innenfor kritisk snitt u_1 ; $s_{t,max} = 324,75 \text{ mm} \Rightarrow s_{t,max} = 300 \text{ mm}$

Utenfor kritisk snitt u_1 ; $s_{t,max} \leq 433,0 \text{ mm} \Rightarrow s_{t,max} = 450 \text{ mm}$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Oppsummering estimert materialbruk (teori)

M = Masse

V = Volum

Materialparametere

Tetthet	Stål	$\rho_{\text{stål}} =$	7850 kg/m ³
	Betong	$\rho_{\text{betong}} =$	2501 kg/m ³
		$\rho_{\text{betong}} =$	2492 kg/m ³

Armering:

B35

B30

Total armering

Armering i x- retning

$$L_x = 7,2 \text{ m}$$

$$h = 280,0 \text{ mm}$$

Over søyle, overkantarmring:

Breddeandel av hver stripe

• Søylestripe 1	$A_s =$	2454,4 mm ² /m	$L_i =$	0,9 m
• Søylestripe 2	$A_s =$	1570,8 mm ² /m	$L_y =$	0,9 m
• Feltstripe (søyle)	$A_s =$	837,8 mm ² /m	$L_m =$	1,8 m

Tot ok armering i x-retning

$$V_{s,ok,x,tot} = 47797761 \text{ mm}^3$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 375,212 \text{ kg}$$

$$V_{s,ok,x,tot} = 922024,7 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 7,23789 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 25,8496 \text{ kg/m}^3$$

Feltmidte, underkantarmring:

• Søylestripe	$A_s =$	1117,0 mm ² /m	$L_s =$	1,8 m
• Feltstripe (felt)	$A_s =$	628,3 mm ² /m	$L_m =$	1,8 m

Tot uk armering i x-retning

$$V_{s,uk,x,tot} = 22619467,1 \text{ mm}^3$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 178 \text{ kg}$$

$$V_{s,uk,x,tot} = 436332,3 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 3,4 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 12 \text{ kg/m}^3$$

Minium armering i henhold til EC 2 i områder hvor det ikke er beregningsmessig nødvendig ut i fra modell:

$$V_{s,min,x} = 16907305,0 \text{ mm}^3$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 3 \text{ kg}$$

$$V_{s,min,x} = \underline{326144,0}$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 0,05 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 0,18 \text{ kg/m}^3$$

Total i x-retning

$$V_{s,x,tot} = 87324533,5 \text{ mm}^3$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 555 \text{ kg}$$

$$V_{s,x,tot} = 1684501,0 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 11 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 38 \text{ kg/m}^3$$

Symmetrisk dekke → Symmetrisk armering

$$V_{s,x,tot} = 174649067 \text{ mm}^3$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 555 \text{ kg}$$

$$V_{s,x,tot} = 3369002,1 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 21 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{s,ok,x,tot} = 77 \text{ kg/m}^3$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Skjærarmering (rundt søyle):

A _{sw, nødv} per omkrets	A _{sw, nødv} =	587 mm ²		
A _{sw} per bøyle	A _{sw} =	50,3 mm ²		Φ 8
	s _t =	150 mm		
	s _r =	150 mm		
Antall bøyer per omkrets	n _{bøyle} =	12		
Uavrundet antall bøyer		39		
Antall bøyer totalt	n _{bøyle, tot} =	48		
Totalt skjærarmering	A _{sw} =	2413 mm ²	M _{sw} =	5,30321 kg
	V _{sw} =	675568 mm ³	M _{sw} =	0,1 kg/m ²
			M _{sw} =	0,4 kg/m ³

Oppsummert materialforbruk flatdekke

Spenn m	Dekkehøyde mm	Betong kg/m ²	Armering m ³ /m ²	Skjær			Avretting	
				ok kg/m ²	uk kg/m ²	Tot kg/m ²	m ³ /m ²	
B35				0,1023	14,525	6,900	21,527	
7,2	280	693	0,28	0,06	15	7	21	0,012
7,2	200	491	0,20	0,06	19	9	28	0,012
5,0	280	696	0,28	0,00	8	5	12	0,012
5,0	200	496	0,20	0,00	8	6	14	0,012
B30								
7,2	280	691	0,28	0,07	15	8	23	0,012
7,2	200	489	0,20	0	19	9	28	0,012
5,0	280	693	0,28	0	10	5	15	0,012
5,0	200	494	0,20	0	10	5	15	0,012

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV FLATDEKKE

Energiforbruk og CO₂ -utslipp flatdekke

Materiale	FA %	Spenn m	Dekkehøyde mm	Betong	Armering	Avretting	Søyle	Totalt
				Energi MJ/m ²	Energi MJ/m ²	Energi MJ/m ²	Energi MJ/m ²	Energi MJ/m ²
B30	0	7,2	280	359,6	60,8	15,4	23,0	459
B30	28	7,2	280	336,0	60,8	15,4	23,0	435
B30	36	7,2	280	319,4	60,8	15,4	23,0	419
B35	0	7,2	280	385,9	58,0	15,4	23,0	482
B35	28	7,2	280	358,5	58,0	15,4	23,0	455
B35	36	7,2	280	339,9	58,0	15,4	23,0	436
B30	0	7,2	200	254,7	75,9	15,4	21,0	367
B30	28	7,2	200	238,0	75,9	15,4	21,0	350
B30	36	7,2	200	226,3	75,9	15,4	21,0	339
B35	0	7,2	200	273,4	76,1	15,4	21,0	386
B35	28	7,2	200	254,0	76,1	15,4	21,0	366
B35	36	7,2	200	240,8	76,1	15,4	21,0	353
B30	0	5	280	361,1	40,5	15,4	32,0	449
B30	28	5	280	337,5	40,5	15,4	32,0	425
B30	36	5	280	320,8	40,5	15,4	32,0	409
B35	0	5	280	387,6	33,1	15,4	32,0	468
B35	28	5	280	360,0	33,1	15,4	32,0	441
B35	36	5	280	341,4	33,1	15,4	32,0	422
B30	0	5	200	257,1	40,3	15,4	26,0	339
B30	28	5	200	240,2	40,3	15,4	26,0	322
B30	36	5	200	228,4	40,3	15,4	26,0	310
B35	0	5	200	275,9	37,6	15,4	26,0	355
B35	28	5	200	256,3	37,6	15,4	26,0	335
B35	36	5	200	243,0	37,6	15,4	26,0	322

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Hulldekker Betong HD

Dimensjoner

Høyde	h =	265 mm
Tversnittsareal element	A =	175000 mm ² / 1,2 m bredde
Volum betong	V =	0,14583 m ³ /m ²

Materiale

Flygeaske		0 %
Tetthet	φ =	2447 kg/m ³
	φ =	24,0 kN/m ³
Masse betong	W =	356,9 kg/m ²

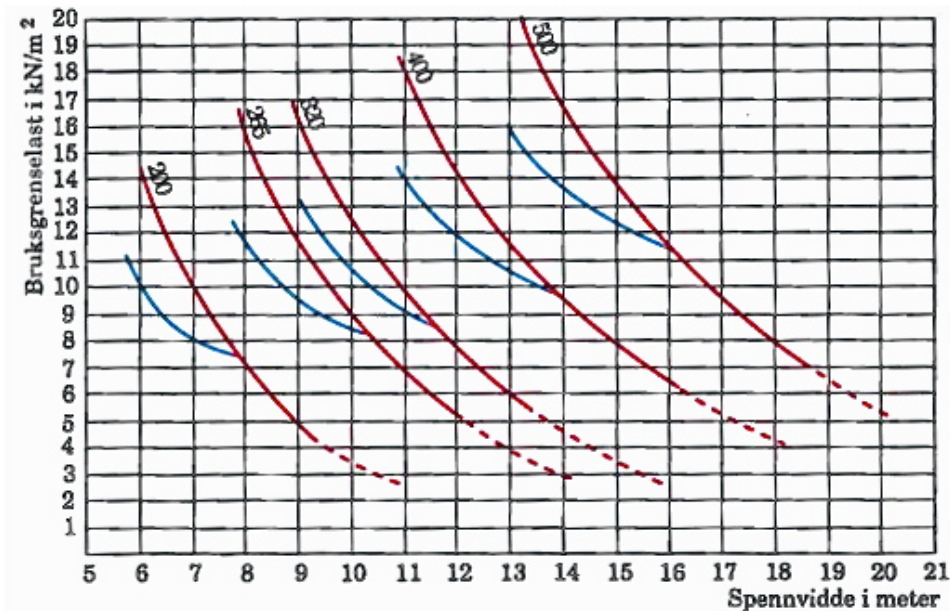
Laster

Egenvekt fuget dekke	g =	3,7 kN/m ²
Nyttelast	p =	3 kN/m ²
Egenlast ekskl. g	q =	0,8 kN/m ²

Bæreevne

Bruksgrenselast		3,72 kN/m ²
-----------------	--	------------------------

Figur nedenfor viser spennvidde etter bruksgrenselast



Stiplet kurve = deformasjonsforhold må undersøkes spesielt

Blå kurve = Skjærpåkjenning kan bli dimensjonerende

Valgt spenn		7,2 m
Modulbredde	B =	1,2 m

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Stål - spennarmering

Stålmengder er bestemt av dekketype og er oppgitt fra leverandør for hvert enkelt element.

Strekkefasthet		1860 Mpa
Antall wire		4
Størrelse	$\Phi =$	12,9 mm
Effektivt stålareal	$A_s =$	100 mm ²
Total mengde		kg/m ²
Totalt volum		0,00040 m ³ /element
		0,00033 m ³ /m ²

Moment og skjær

Kapasitet

Skjær	$V_{Rd} =$	71 kN/m	NS EN 1168
	$V_{Rd,c} =$	87,8 kN/m	fra OS-prog, ved opplegg
Moment	$M_{Rd} =$	117 kNm/m	Moment kan beregnes som vanlig. a-mål = 45 mm

$$V_{Rdc} = \varphi \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{f_{ctd}^2 + \beta \alpha_1 \sigma_{cp} f_{ctd}}$$

Opptredende

Skjær	$V_{ed} =$	40,1 kN/m	Ved opplegg, fra OS-prog
Moment	$M_{ed} =$	79,4 kNm/m	fra OS-prog,

Utnyttelsesgrad

Skjær	$V_{ed}/V_{Rd} =$	0,56	Ingen skjærarmering nødvendig fra statikk
Moment	$M_{ed}/M_{Rd} =$	0,68	OK!

Hulldekker regnes i praksis alltid som fritt opplagt.

Nedbøyning $\leq L/400$ OK!

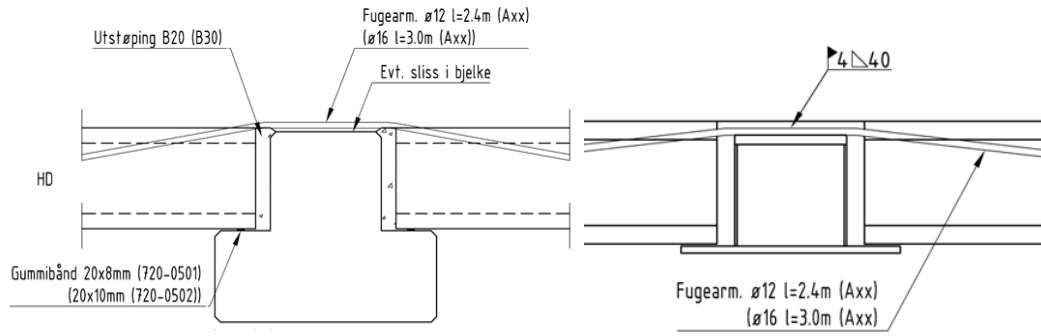
VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Annen armering

Hulldekker har ikke skjærarmering.

Forbindelse mellom DLB og hulldekke utføres med $\varnothing 12$ med kapplengde 2,4m for HD spenn 10 og 7,2m og $\varnothing 10$ kapplengde 2,0m for spenn 5m

Samme prinsipp er tenkt utført for HSQ; fugearmeringsmengder blir tilnærmet like



Knutepunkt DLB [Spenncon]

Knutepunkt HSQ [Spenncon]

Det er ikke her dimensjonert for torsjon pga modellantagelse om symmetri. Praksis er å ta opp torsjon lokalt med gjengehylse. Én M24/ modul er vanlig. Det er mulig å torsjonsarmere hele bjelken, men kompliserer konstruksjonen ved at moment overføres til søyle.

Materialbruk hulldekker

Betong

Hulldekker	Volum	$V_{\text{betong}} =$	0,15 m ³ / m ²	
	Masse	$M_{\text{betong}} =$	356,9 kg/m ²	
Fuger	Masse	$M_{\text{fuge}} =$	26,0 kg/m	
Avretting	Volum		0,02 m ³ / m ²	20mm avretting
	Masse	$M_{\text{avrett}} =$	33 kg/m ²	

Totalt:

Spennarmering

Type		1860 Mpa
Volum	$V_{\text{stål}} =$	0,000333 m ³ / m ²
Mengde	$M_{\text{stål}} =$	0

Annen armering

Fugearmering	$\varnothing 12$	$V_{\text{stål}} =$	0,000543 m ³	Per hulldekke, begge opplegg
	$\varnothing 10$	$V_{\text{stål}} =$	0,000324 m ³	

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Materialforbruk hulldekker

HD	Spenn [m]	M_{ed} / M_{Rd}	Ant. wire	Betong kg/ m ²	Avretting kg/ m ²	Fuge kg/m ²
265	10	0,81	6	367	33	0,35
200	10	0,86	7	269	33	0,35
265	7,2	0,64	4	367	33	0,49
200	7,2	0,71	4	269	33	0,49
265	5	0,34	4	367	33	0,42
200	5	0,3	4	269	33	0,42

Bjelker - betong

HD-spenn	7,2 m
Bjelkespenn	5 m
Lastareal	7,2 m
HD høyde	265

Egenvekt fuget dekke	G =	26,64 kN/m
Nyttelast	P =	21,6 kN/m
Egenlast ekskl g	Q =	5,76 kN/m

Bæreevne: Bruksgrenselast 26,784 kN/m

Bjelke: Tv.snittareal bjelke $A_{bjelke} = 259000 \text{ mm}^2$
Egenlast bjelke 6,48 kN/m

$l > 12h \rightarrow$ forspente bjelker bør benyttes

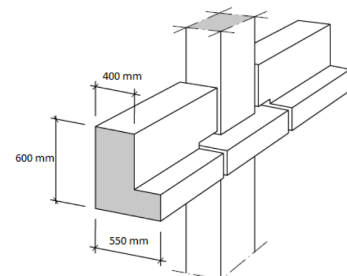
Betong Fasthet $f_c = 45 \text{ Mpa}$
 $\varphi = 2447 \text{ kg/m}^3$ EPD

Spennarmering $\phi = 13,2 \text{ mm}$
 $A_s = 100 \text{ mm}^2$
 $f_{p0,1k} = 1640 \text{ Mpa}$

Slakkarmering (bøyler og lignende.): B500NC
 $\varphi = 7850 \text{ kg/m}^3$

Hyllearmering

Horisontalarmering, Ash $l = 1118$
Vertikalarmering, Asv $l = 1034$
 $s = 50 \text{ mm}$



VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Materialforbruk hulldekker

HD	Spenn [m]	M_{ed} / M_{Rd}	Ant. wire	Betong kg/ m ²	Avretting kg/ m ²	Fugearm. kg/m ²
265	10	0,81	6	367	33	0,35
200	10	0,86	7	269	33	0,35
265	7,2	0,64	4	367	33	0,49
200	7,2	0,71	4	269	33	0,49
265	5	0,34	4	367	33	0,42
200	5	0,3	4	269	33	0,42

Med fuge i fasthetsklasse B20, enkelt stang $\varnothing 8$ er nødvendig forankringslengde $l_b = 680\text{mm}$
(Tabell B 19.18 Betongelementboken)

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Energiforbruk hulldekker

HD	Spenn	FA	wire	Betong	Slakkarm.	Avretting	Produksjon	Råvaretrp	Byggeplasstrp	Totalt
	m	%	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
265	10	0	45	225,9	0,95	15	112	15	13	440,2
265	10	20	45	186,7	0,95	15	112	15	13	401,0
265	10	30	45	162,4	0,95	15	112	15	13	381,5
200	10	0	53	173,0	0,95	15	85	16	9	369,9
200	10	20	53	143,0	0,95	15	85	16	9	351,1
200	10	30	53	124,3	0,95	15	85	16	9	325,3
265	7,2	0	30	225,9	1,32	15	112	11	13	427,2
265	7,2	20	30	186,7	1,32	15	112	11	13	383,9
265	7,2	30	30	162,4	1,32	15	112	11	13	355,9
200	7,2	0	30	173,0	1,32	15	85	10	9	340,1
200	7,2	20	30	143,0	1,32	15	85	10	9	307,6
200	7,2	30	30	124,3	1,32	15	85	10	9	305,4
265	5	0	30	225,9	1,13	15	112	11	13	429,5
265	5	20	30	186,7	1,13	15	112	11	13	388,5
265	5	30	30	162,4	1,13	15	112	11	13	345,5
200	5	0	30	173,0	1,13	15	85	10	9	324,5
200	5	20	30	143,0	1,13	15	85	10	9	294,5
200	5	30	30	124,3	1,13	15	85	10	9	275,9

trp = transport

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Bjelkespenn	HDspenn	HD	M_{ed}/M_{rd}	Spenn	Slakk	Spalte	Forankring	Hyllearmering		Betong
[m]	[m]			ant	ant/Ø	mm ²	kg/m bjelke	Asv	Ash	kg/m ²
								mm2/m		
7,2	10,0	265	0,95	12	2	2054	1,2	2	210	634
5,0	10,0	265	0,79	12	0	16	217	248	210	634
7,2	7,2	265	0,71	12	2	16	296	178	248	634
5,0	7,2	265	0,72	12	2	16	0	178	248	634
10,0	5,0	265	0,94	16	0	2874	16	124	104	634
7,2	5,0	265	0,72	8	0	1232	337	124	104	634
5,0	5,0	265	0,95	4	0	410	633	124	104	634
7,2	10,0	200	0,97	16	2	2874	166	214	182	587
5,0	10,0	200	0,80	8	0	1232	478	214	182	587
7,2	7,2	200	0,90	10	0	1642	321	154	130	587
5,0	7,2	200	0,85	6	0	822	438	154	130	587
10,0	5,0	200	0,97	18	2	3286	0	108	90	587
7,2	5,0	200								587
5,0	5,0	200	0,68	6	0	822	159	108	90	587

Nedbøyning $\leq L/400$ OK!

Kontinuerlige bjelker blir ikke mye brukt i elementkonstruksjoner i Norge (Bind C, 8.4)

Bjelkene er derfor fritt opplagt på søylekonsollene.

RB- bjelker tåler lengre spenn, men vil få et synlig utstikk.

Bestill bjelke med høyde tilpasset dekk slik at de flukter.

Høy bjelke gir lavere kostnader og større stivhet enn lav. Dette må vurderes mot betydning av byggehøyde.

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Energiforbruk DLB

Spenn		HD	HD	M_{ed}/M_{rd}	Slakkarm. totalt	Betong	wire	Produksjon Bjelke	Råvaretrp Armering	Byggeplasstrp Bjelke	Energiforbruk Totalt
Bjelke	HD										
m	m										
7,2	10,0	265	0,95	2,48	40	14,82	7,1	5	3,5	73	
5,0	10,0	265	0,79	1,45	40	14,82	7,1	5	3,5	72	
7,2	7,2	265	0,71	2,25	56	20,58	9,9	7	3,5	99	
5,0	7,2	265	0,72	2,43	56	20,58	9,9	7	3,5	100	
10,0	5,0	265	0,94	2,16	80	39,51	14,2	14	3,5	154	
7,2	5,0	265	0,72	2,07	80	19,76	14,2	7	3,5	127	
5,0	5,0	265	0,95	2,60	80	9,88	14,2	4	3,5	114	
7,2	10,0	200	0,97	2,04	37	19,76	6,6	7	3,5	76	
5,0	10,0	200	0,80	1,52	37	9,88	6,6	4	3,5	62	
7,2	7,2	200	0,90	1,59	52	17,15	9,2	6	3,5	89	
5,0	7,2	200	0,85	1,88	52	10,29	9,2	4	3,5	80	
10,0	5,0	200	0,97	3,75	74	44,45	13,2	16	3,5	155	
7,2	5,0	200		2,43	74	19,76	13,2	7	3,5	120	
5,0	5,0	200	0,68	1,84	74	14,82	13,2	5	3,5	113	

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Stålbjelker

Bæresystem med hulldekker utføres ofte med stålbjelker.

Stål er mindre kostnadseffektivt enn betong, og konstruksjoner som involverer store mengder stål optimaliseres ofte i større grad enn betong fra leverandøren med kostnadsreduksjon som motivasjon.

Det er her regnet med et vanlig HSQ-profil, som produseres av Contiga ettersom de er alene om å ha publisert EPD på stålbjelke.

Profilen sveises hos leverandøren.

HD	HD 265	
Bjelkespenn	L = 7,2	
Last på bjelke	q = 71,3 kN/m	tilsvarende 2qf i tabell
	q _f = 35,6 kN/m	
Opptredende moment	M _{rd} = 461,894 kNm	

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

STANDARISERTE TOSIDIGE HSQ-PROFILER MED RETNINGSGIVENDE KAPASITETER

HSQ-type	HD-type	Bredde og.	Tykkelse og.	Tykkelse ug.	Maks qf kN/m	Md kNm	Vekt kg/m	Tv.snittsareal bjelke
HSQ 185-01	200	100	20	10	24	164,1	60,1	6610 mm ²
HSQ 185-02	200	100	25	10	24	189,1	64,1	7110 mm ²
HSQ 185-03	200	100	30	10	24	210,7	67,9	7610 mm ²
HSQ 185-04	200	100	40	12	34	252,2	81,2	9310 mm ²
HSQ 185-05	200	150	20	10	24	227,7	71,8	8110 mm ²
HSQ 185-06	200	150	25	10	24	255,4	77,7	8860 mm ²
HSQ 185-07	200	150	30	12	34	297,7	90,9	10410 mm ²
HSQ 185-08	200	200	20	10	24	279,6	83,6	9610 mm ²
HSQ 185-09	200	200	25	12	34	332,8	98,5	11510 mm ²
HSQ 185-10	200	200	30	15	54	397,3	116,9	13860 mm ²
HSQ 250-11	265	100	20	10	24	242,7	66,2	7000 mm ²
HSQ 250-12	265	100	30	10	24	312,2	74,1	8000 mm ²
HSQ 250-13	265	150	20	10	54	330,9	77,9	8500 mm ²
HSQ 250-14	265	150	30	12	34	422,6	96,1	10800 mm ²
HSQ 250-15	265	150	40	15	54	520,4	117,2	13500 mm ²
HSQ 250-16	265	200	20	10	24	396,1	89,7	10000 mm ²
HSQ 250-17	265	200	25	12	34	469,3	104,6	11900 mm ²
HSQ 250-18	265	200	30	12	34	499,4	112,5	12900 mm ²
HSQ 250-19	265	200	40	15	54	609,7	138,8	16250 mm ²
HSQ 250-20	265	250	20	10	24	455,9	101,5	11500 mm ²
HSQ 250-21	265	250	25	12	34	540,7	119,1	13750 mm ²
HSQ 250-22	265	250	30	15	54	647,5	140,7	16500 mm ²
HSQ 250-23	265	250	40	20	95	835,1	180,1	21500 mm ²

ug = undergurt

og = overgurt

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Hyllelengde : 119 mm
 Stegtykkelse 6 mm

Velge bjelke: HSQ 250-15

Bjelkeareal $A_b = 13500 \text{ mm}^2$
 Vekt bjelke $W_b = 117,2 \text{ kg/m}$
 Tetthet stål $\phi = 7850 \text{ kg/m}^3$

Materialbruk HSQ-bjelke				
Bjelke	Spenn		Element	
	Bjelke [m]	HD [m]	HD	Stål [kg/m ²]
HSQ 250-23	8	10	265	17
HSQ 250-22	7,2	10	265	13
HSQ 250-13	5	10	265	7
HSQ 250-23	9	7,2	265	23
HSQ 250-15	7,2	7,2	265	15
HSQ 250-13	5	7,2	265	9
HSQ 250-22	10	5	265	26
HSQ 250-14	7,2	5	265	17
HSQ 250-14	5	5	265	17
HSQ 185-10	6	10	200	11
HSQ 185-10	5	10	200	11
HSQ 185-10	7,2	7,2	200	15
HSQ 185-04	5	7,2	200	10
HSQ 185-08	7,2	5	200	15
HSQ 185-01	5	5	200	10

Stålmengder er beregnet ut i fra oppgitt tetthet og tverrsnittsareal

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING OG MATERIALBRUK HULLDEKKE

Energiforbruk HSQ-bjelker

Bjelke	Bjelkespenn [m]	Spenn [m]	HD	Transport til byggeplass [MJ/m bjelke]	Energiforbruk [MJ/m bjelke]	Energiforbruk [MJ/m ² dekke]
HSQ 250-23	8	10	265	6,4	10187	954
HSQ 250-22	7,2	10	265	5,0	7959	732
HSQ 250-13	5	10	265	2,8	4406	377
HSQ 250-23	9	7,2	265	6,4	10187	1325
HSQ 250-15	7,2	7,2	265	4,2	6629	832
HSQ 250-13	5	7,2	265	2,8	4406	524
HSQ 250-22	10	5	265	5,0	7959	1464
HSQ 250-14	7,2	5	265	3,4	5436	959
HSQ 250-14	5	5	265	3,4	5436	959
HSQ 185-10	6	10	200	4,2	6613	615
HSQ 185-10	5	10	200	4,2	6613	615
HSQ 185-10	7,2	7,2	200	2,9	6611	854
HSQ 185-04	5	7,2	200	4,2	4594	574
HSQ 185-08	7,2	5	200	3,0	4729	853
HSQ 185-01	5	5	200	2,1	3400	587

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

Dimensjonering av søyler

Søylen dimensjoneres i henhold til Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 1-1, samt det tilhørende nasjonale tillegget, NA:2008.

I tillegg baseres beregningene på de metoder, anbefalinger og formler som er angitt for kapasitetsberegninger for konstruksjonsdeler påkjent av moment og aksialkraft i boken Betongkonstruksjoner – Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2.

Ettersom det på tidspunktet hvor disse beregningene gjøres enda ikke er lagt føringer for hvorvidt søylene skal være kvadratiske eller sirkulære velges kvadratiske søyler som utgangspunkt for beregningene.

Det er tatt utgangspunkt i en søyle i 5. etasje, med 5 overstående etasjer

Forutsetninger

Spenn	$L_{HD} =$	7,2 m
	$L_B =$	7,2 m
Søyle		
Dimensjoner	$b_1 =$	0,4 m
	$b_2 =$	0,4 m
Tversnittsareal	$A_C =$	0,16 m ²
Søylehøyde	$h =$	2,8 m
	$h' =$	1,96
Materialer		
Betong	$f_{cd} =$	45 MPa
Armering	$f_{yk} =$	500 MPa
Dekke		
Type:	Hulldekke	HD265
Lastareal	$A =$	51,84 m ²
Høyde:	$h =$	0,265 m
Bjelker		
Type:	DLB	
Høyde:	$h =$	565 mm
Vekt:	$W =$	6,49 kg/m
Egenlast		
Søyle: Betong	$\gamma_G =$	25,0 kN / m ³
Dekke: Betong	$\gamma_G =$	3,7 kN / m ²
Avretting +	$q_5 =$	0,8 kN / m ²
Bjelke:	$\gamma_G =$	0,90139 kN / m ²
Etasje:	$q_1 =$	3,0 kN / m ²

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

Dette gir følgende dimensjonerende laster

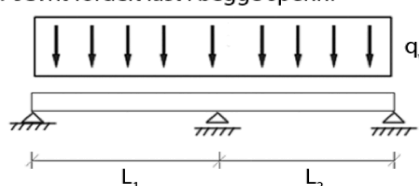
Etasje: $g_{Ed} = 5,4$
 $p_{Ed} = 4,5 \Rightarrow q_{Ed} = \underline{9,9} \quad \text{kN / m}^2$

Bjelker: $g_{Ed} = 1,1 \Rightarrow q_{Ed} = \underline{1,1} \quad \text{kN / m}^2$

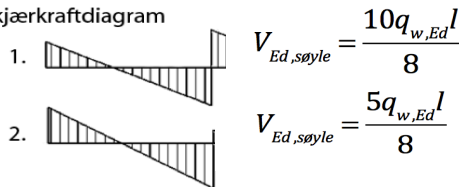
Søyle: $g_{Ed} = \underline{13,4} \quad \text{kN}$

Statikk:

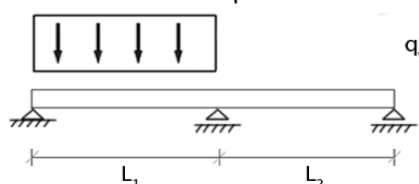
1. Jevnt fordelt last i begge spenn:



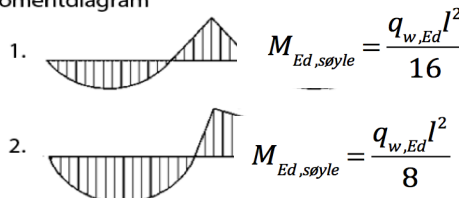
Skjærkraftdiagram



2. Jevnt fordelt last i et spenn:



Momentdiagram



Skjærkraft for hver etasje med (beregnet med formlene ovenfor) overføres som aksialkraft i søylene. Bidragene fra hver etasje summeres deretter for å finne aksialkraft i aktuell søyle.

For maksimal skjærkraft antas det at nyttelasten i overliggende etasjer er jevnt fordelt i begge spenn. Dermed blir moment over søylen balansert og det vil ikke være bidrag fra overliggende etasjer i beregninger av det ubalanserte momentet.

Dimensjonerende krefter

Aksialkraft i søyle

Søyle	N_{Ed} [kN]
10. etasje	712
9. etasje	1437
8. etasje	2162
7. etasje	2887
6. etasje	3612
5. etasje	4337
4. etasje	5062

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

Minste eksentrisitet, NS-EN 1992-1-1 6.1(4)

$$e_a = \max \left\{ l_0 / 400 ; B / 30 ; 20 \text{ mm} \right\} = 0,020 \text{ m} \quad \beta = 0,5$$
$$\Rightarrow M_e = \underline{\underline{86,7 \text{ kNm}}}$$

Ubalansert moment

Det ses bort i fra bidrag fra ubalansert moment

$$\Rightarrow M_{Ed} = \underline{\underline{86,7 \text{ kNm}}}$$

Minste armering i henhold til NS-EN 1992-1-1:2004:

NA.9.5.2 Lengdearmering

$$A_{s,\min} = 0,2 \frac{A_c f_{cd}}{f_{yd}} \leq 0,5 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} ; A_{s,\min} \geq 0,01 A_c = 1876,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,08 A_c = 12800 \text{ mm}^2$$

Velger:

$$\Phi = 25$$

$$n = 8$$

$$\Rightarrow A_s = 3925 \text{ mm}^2 \quad \text{OK!}$$

(total armeringsmengde i tverrsnittet)

Bjelker

NA.9.2.2 Skjærarmering

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \rho_{w,\min} b_w ; \rho_{w,\min} = 0,1 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,5 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$s_{\max} = 0,6h'(1 + \cot \alpha) ; \cot \alpha = 0 \Rightarrow s \leq 187328 \text{ mm}$$

(dobbeltsnittet bøyle)

$$s_{\max} = 126 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow s = \underline{\underline{120 \text{ mm}}}$$

Velger,

$$\Phi = 8$$

$$s = 120$$

$$\Rightarrow A_s / s = 837,8 \text{ mm}^2 / \text{m} \quad \text{OK!}$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

D.3.2 Slankhet

I henhold til standardens punkt NA.5.8.3.1(1) kan det ses bort fra 2.ordens effekter for enkeltstående konstruksjonsdeler dersom slankheten, $\lambda_n \leq \lambda_{n, \text{lim}}$

Grenseverdien, $\lambda_{n, \text{lim}}$, for trykkstaver, der enden ikke er sideveis forskyvelig eller delvis avstivet, beregnes etter følgende formel:

$$\lambda_{n, \text{lim}} = 13(2 - r_m) A_\varphi$$

hvor; $\varphi_{\text{ef}} = 1$

$$A_\varphi = \frac{1,25}{(1 + 0,2\varphi_{\text{ef}})} \leq 1 = 1,0$$

$r_m = 1$

$$\Rightarrow \lambda_{n, \text{lim}} = \frac{13,0}{\sqrt{\frac{n}{(1 + 2k_a \omega)}}}$$

og;

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = 12,1 \text{ mm}^2$$

$$k_a = \left(\frac{i_s}{i}\right)^2 = 1,47 \text{ mm}^2$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}} = 115,5$$

$$i_s = \frac{h'}{2} = 140,0$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} A_c} = 1,06 \text{ relativ aksialkraft}$$

$$\omega = \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd} A_c} = 0,418$$

$$\lambda_n = 8,4 < \lambda_{n, \text{lim}} \Rightarrow \text{Kan se bort fra 2.ordens effekter}$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

Søylens kapasitet

Rent trykk

Bruddkriterium C - Trykkbrudd i betong, $\epsilon_c = \epsilon_{cu2}$ (eller ϵ_{cu3}) ved rent trykk

$$\begin{aligned} \epsilon_{yd} &= \frac{f_{yd}}{E_s} &= & 0,00217 \\ T_c &= f_{cd}bh &= & 4080 \text{ kN} \\ S_1 = S_2 &= \sigma_{sd}A_{s1} = E_s \epsilon_{c3} A_{s1} &= & 515 \text{ kN} \\ \sum F &= 0 ; N_1 = T_c + S_1 + S_2 &= & 5111 \text{ kN} \\ \sum M &= 0 ; M = 0 &= & \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_{Rd} : \underline{\underline{5111 \text{ kN}}} > N_{ed} = \underline{\underline{4337 \text{ kN}}}$$

Kapasitet OK!

For søyletverrsnitt 350 x 350 ble kapasitet for lav.

Måtte derfor øke tverrsnitt uavhengig av opptredende moment (slankhet)

De påfølgende beregningen er gjennomført med følgende søyledimensjon:

$$b \times h = 400 \times 400$$

Beregner kapasiteten for en kombinasjon av moment og aksialkraft ved hjelp av et "M-N diagram":

$$\begin{aligned} \text{Valgt lastkombinasjon:} \quad N_{Ed} &= 4337 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= 86,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dimensjonsløs aksialkraft:

$$n = \frac{N_{Ed}}{f_{ck}bh} = 0,60$$

Dimensjonsløst moment:

$$m = \frac{M_{Ed}}{f_{ck}bh^2} = 0,03$$

Mekanisk armeringsforhold:

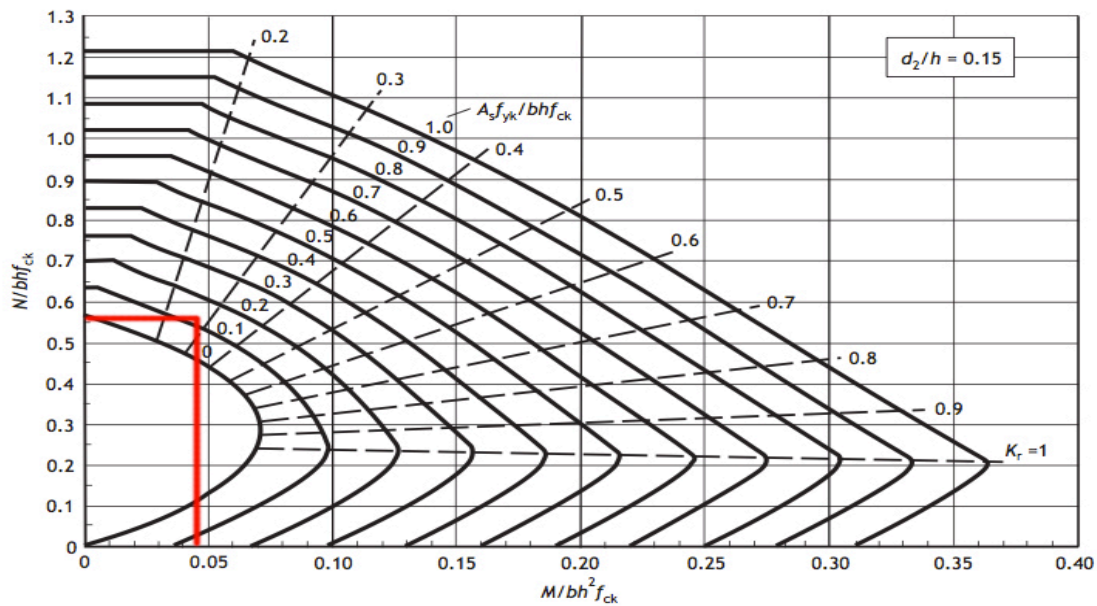
$$w_i = \frac{f_{yk}A_{si}}{f_{ck}A_c} \quad \begin{aligned} w_x &= 0,20 \\ w_y &= 0,20 \end{aligned}$$

Armeringstverrsnitt:

$$\begin{aligned} & A_{sx1} = 2880,00 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow & A_{sx1} = 2945 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow & A_{sx2} = 2945 \text{ mm}^2 \\ & \\ \rightarrow & A_{sy1} = 2945 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow & A_{sy2} = 2945 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

M-N diagram: Den røde linjen representerer ikke tilfellet her, bare viser hvordan det gjøres



Symmetri gjør at en kan dimensjonere for samme lastkombinasjon i x - og y- retning

Momentkapasitet:

$$\begin{array}{lcl}
 m_{Rd,x} = & 0,05 & \Rightarrow \quad \underline{\underline{M_{Rd,x} = 144,0 \text{ kNm} > M_{Ed} = 86,7}} \\
 & & \\
 m_{Rd,y} = & 0,05 & \Rightarrow \quad \underline{\underline{M_{Rd,y} = 144,0 \text{ kNm} > M_{Ed} = 86,7}}
 \end{array}$$

Kapasitet på ny søyledimensjon er tilstrekkelig

Biaksial bøyning, 5.8.9(4)

$$\begin{array}{lcl}
 N_{Rd} = & 5111 \text{ kN} & \Rightarrow \quad a = 1,90 \\
 N_{Ed} = & 4337 \text{ kN} &
 \end{array}$$

$$\left(\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \right)^a + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^a \geq 1 = 0,76 \quad \text{OK!}$$

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

Oppsummert materialbruk for søyle

Armering

Lengdearmering $A_{s1} = 5890 \text{ mm}^2$

Legges i lengde $l = 2,80 \text{ m}$

$V_s = 0,0165 \text{ m}^3$

Skjærarmering $A_{sw} = 838 \text{ mm}^2 / \text{m}$

$l = 2,8 \text{ m}$

$V_s = 0,0023457 \text{ m}^3$

Lik for alle søylene

Betong $A_c = 0,16 \text{ m}^2$

$V_c = 0,4291609 \text{ m}^3$

Tetthet betong B35 $\rho = 2501 \text{ kg/m}^3$

B45 $\rho = 2488 \text{ kg/m}^3$

Tetthet stål $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

NB! Trekker fra armering i regnskap for materialbruk betong

Spenn m	fasthet Mpa	Dekke	Tverrsnitt mm	Betong	Armering	Betong	Armering
				kg/søyle	kg/søyle	kg/m ²	kg/m ²
7,2	35	FT280	500x500	1688	191	32,6	3,7
7,2	45	FT280	400x400	1025	201	19,8	3,9
5	35	FT280	300x300	569	191	22,8	7,6
5	45	FT280	250x250	368	212	14,7	8,5
7,2	35	FT200	450x450	1371	148	26,4	2,9
7,2	45	FT200	400x400	1067	148	20,6	2,9
5	35	FT200	250x250	375	191	15,0	7,6
5	45	FT200	250x250	388	148	15,5	5,9
10	35	BD280	600x600	1244	255	12,4	2,6
10	45	BD280	550x550	2060	148	20,6	1,5
7,2	35	BD280	450x450	1045	234	20,2	4,5
7,2	45	BD280	350x350	764	277	14,7	5,4
5	35	BD280	300x300	375	191	15,0	7,6
5	45	BD280	250x250	388	148	15,5	5,9
10	35	HD265	500x500	1668	105	16,7	1,0
10	45	HD265	500x500	1699	126	17,0	1,3
7,2	35	HD265	400x400	2764	191	53,3	3,7
7,2	45	HD265	350x350	768	277	14,8	5,4
7,2	45	HD265	400x400	1070	148	20,6	2,9
5	35	HD265	300x300	595	105	23,8	4,2
5	45	HD265	250x250	388	148	15,5	5,9
10	35	HD200	500x500	1718	254	17,2	2,5

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

5	45	HD265	250x250	216	399	615	25
10	35	HD200	500x500	1078	686	1764	18
10	45	HD200	400x400	582	573	1155	12
7,2	35	HD200	400x400	668	457	1125	22
7,2	45	HD200	350x350	330	457	786	15
5	35	HD200	300x300	377	224	600	24
5	45	HD200	250x250	224	283	507	20

CO₂ - utslipp tilknyttet søyle

Spenn m	fasthet Mpa	Dekke	Tverrsnitt mm	Betong	Armering	Total	
				kg/søyle	kg/søyle	kg/søyle	kg/m ² dekke
7,2	35	FT280	500x500	163	65	228	4
7,2	45	FT280	400x400	104	68	173	3
5	35	FT280	300x300	55	65	120	5
5	45	FT280	250x250	37	72	110	4
7,2	35	FT200	450x450	133	50	183	4
7,2	45	FT200	400x400	109	50	159	3
5	35	FT200	250x250	36	65	101	4
5	45	FT200	250x250	39	50	90	4
10	35	BD280	600x600	120	87	207	2
10	45	BD280	550x550	209	50	260	3
7,2	35	BD280	450x450	101	80	181	3
7,2	45	BD280	350x350	78	94	172	3
5	35	BD280	300x300	36	65	101	4
5	45	BD280	250x250	39	50	90	4
10	35	HD265	500x500	161	36	197	2
10	45	HD265	500x500	173	43	216	2
7,2	35	HD265	400x400	267	65	332	6
7,2	45	HD265	350x350	78	94	172	3
7,2	45	HD265	400x400	104	50	154	3
5	35	HD265	300x300	61	36	96	4
5	45	HD265	250x250	38	50	88	4
10	35	HD200	500x500	175	86	261	3
10	45	HD200	400x400	101	72	173	2
7,2	35	HD200	400x400	108	58	166	3
7,2	45	HD200	350x350	57	58	115	2
5	35	HD200	300x300	61	28	89	4
5	45	HD200	250x250	39	76	115	5

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

10	45	HD200	400x400	1045	212	10,4	2,1
7,2	35	HD200	400x400	1065	169	20,6	3,3
7,2	45	HD200	350x350	592	169	11,4	3,3
5	35	HD200	300x300	600	83	24,0	3,3
5	45	HD200	250x250	403	105	16,1	4,2

Materialspezifiske parametre: Energiforbruk og CO₂ - utslipp for :

Materiale	Tetthet kg/m ³	Energiforbruk		CO ₂ - utslipp	
		MJ/m ³	MJ/kg	CO ₂ eq/m ³	CO ₂ - eq/ kg
Armering	7850		2,7		0,34
B35	2501	1392		242	
B45	2488	1561		253	

Energiforbruk tilknyttet søyle

Spenn m	fasthet Mpa	Dekke	Tverrsnitt mm	Betong	Armering	Total	
				MJ/søyle	MJ/søyle	MJ/søyle	MJ/m ² dekke
7,2	35	FT280	500x500	940	516	1456	28
7,2	45	FT280	400x400	643	544	1187	23
5	35	FT280	300x300	317	516	833	33
5	45	FT280	250x250	231	573	804	32
7,2	35	FT200	450x450	763	399	1162	22
7,2	45	FT200	400x400	670	399	1069	21
5	35	FT200	250x250	209	516	725	29
5	45	FT200	250x250	244	399	643	26
10	35	BD280	600x600	693	690	1382	14
10	45	BD280	550x550	1293	399	1692	17
7,2	35	BD280	450x450	582	633	1214	23
7,2	45	BD280	350x350	479	749	1228	24
5	35	BD280	300x300	209	516	725	29
5	45	BD280	250x250	244	399	643	26
10	35	HD265	500x500	928	283	1211	12
10	45	HD265	500x500	1066	340	1406	14
7,2	35	HD265	400x400	1538	516	2054	40
7,2	45	HD265	350x350	482	749	1231	24
7,2	45	HD265	400x400	595	399	995	19
5	35	HD265	300x300	373	283	656	26

VEDLEGG B1 DIMENSJONERING AV SØYLER

5	45	HD265	250x250	216	399	615	25
10	35	HD200	500x500	1078	686	1764	18
10	45	HD200	400x400	582	573	1155	12
7,2	35	HD200	400x400	668	457	1125	22
7,2	45	HD200	350x350	330	457	786	15
5	35	HD200	300x300	377	224	600	24
5	45	HD200	250x250	224	283	507	20

CO₂ - utslipp tilknyttet søyle

Spenn y	Søylefasthet	Dekke	Tverrsnitt	Betong	Armering	Total	
				kg/søyle	kg/søyle	kg/søyle	kg/m ² dekke
m	Mpa		mm				
7,2	35	FT280	500x500	163	65	228	4
7,2	45	FT280	400x400	104	68	173	3
5	35	FT280	300x300	55	65	120	5
5	45	FT280	250x250	37	72	110	4
7,2	35	FT200	450x450	133	50	183	4
7,2	45	FT200	400x400	109	50	159	3
5	35	FT200	250x250	36	65	101	4
5	45	FT200	250x250	39	50	90	4
10	35	BD280	600x600	120	87	207	2
10	45	BD280	550x550	209	50	260	3
7,2	35	BD280	450x450	101	80	181	3
7,2	45	BD280	350x350	78	94	172	3
5	35	BD280	300x300	36	65	101	4
5	45	BD280	250x250	39	50	90	4
10	35	HD265	500x500	161	36	197	2
10	45	HD265	500x500	173	43	216	2
7,2	35	HD265	400x400	267	65	332	6
7,2	45	HD265	350x350	78	94	172	3
7,2	45	HD265	400x400	104	50	154	3
5	35	HD265	300x300	61	36	96	4
5	45	HD265	250x250	38	50	88	4
10	35	HD200	500x500	175	86	261	3
10	45	HD200	400x400	101	72	173	2
7,2	35	HD200	400x400	108	58	166	3
7,2	45	HD200	350x350	57	58	115	2
5	35	HD200	300x300	61	28	89	4
5	45	HD200	250x250	39	76	115	5

Vedlegg C

Inneholder i følgende rekkefølge:

- Årsrapport Simien Lett Konstruksjon
- Årsrapport Simien Tung Konstruksjon



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Energipost	Energibudsjet	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		240585 kWh	24,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		124073 kWh	12,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		50112 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter		149575 kWh	15,0 kWh/m ²
3b Pumper		29410 kWh	2,9 kWh/m ²
4 Belysning		250560 kWh	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		344516 kWh	34,5 kWh/m ²
6a Romkjøling		446669 kWh	44,7 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		54711 kWh	5,5 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		1690211 kWh	169,0 kWh/m ²

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	1435469 kWh	143,5 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1435469 kWh	143,5 kWh/m ²



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Årlige utslipp av CO2		
Energivare	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	567010 kg	56,7 kg/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kg	0,0 kg/m ²
1c El. solenergi	0 kg	0,0 kg/m ²
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m ²
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m ²
4 Fjernvarme	0 kg	0,0 kg/m ²
5 Biobrensel	0 kg	0,0 kg/m ²
6. Annen ()	0 kg	0,0 kg/m ²
Totalt utslipp, sum 1-6	567010 kg	56,7 kg/m ²

Kostnad kjøpt energi		
Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	1148375 kr	114,8 kr/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kr	0,0 kr/m ²
1c El. solenergi	0 kr	0,0 kr/m ²
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m ²
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m ²
4 Fjernvarme	0 kr	0,0 kr/m ²
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m ²
6. Annen ()	0 kr	0,0 kr/m ²
Årlige energikostnader, sum 1-6	1148375 kr	114,8 kr/m ²



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

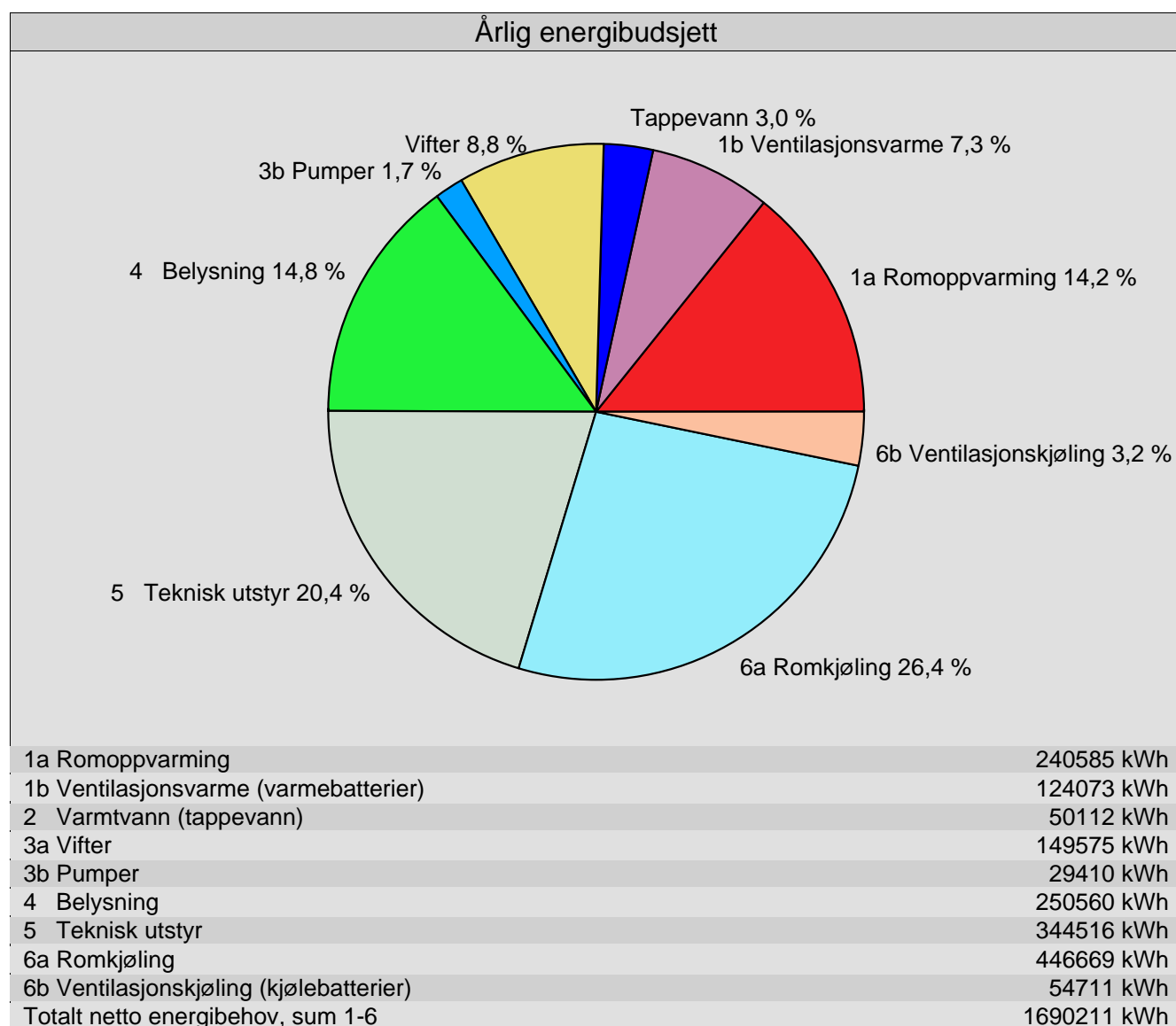
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

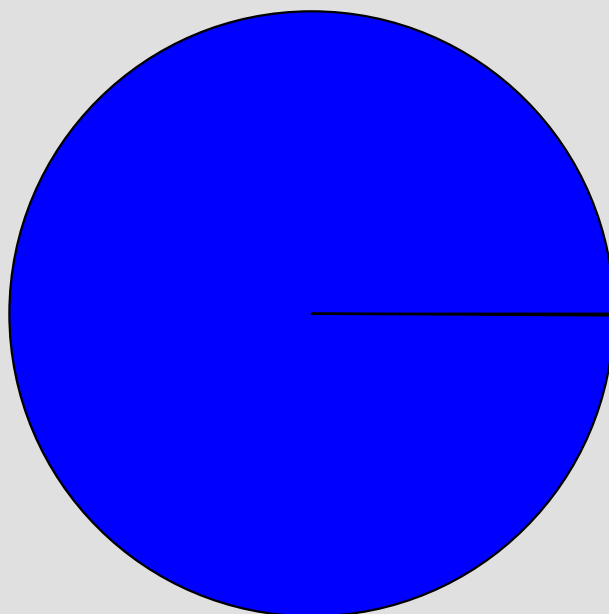
Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Levert energi til bygningen (beregnet)

1a Direkte el. 100,0 %



1a Direkte el.	1435469 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	0 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
6. Annen ()	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	1435469 kWh



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

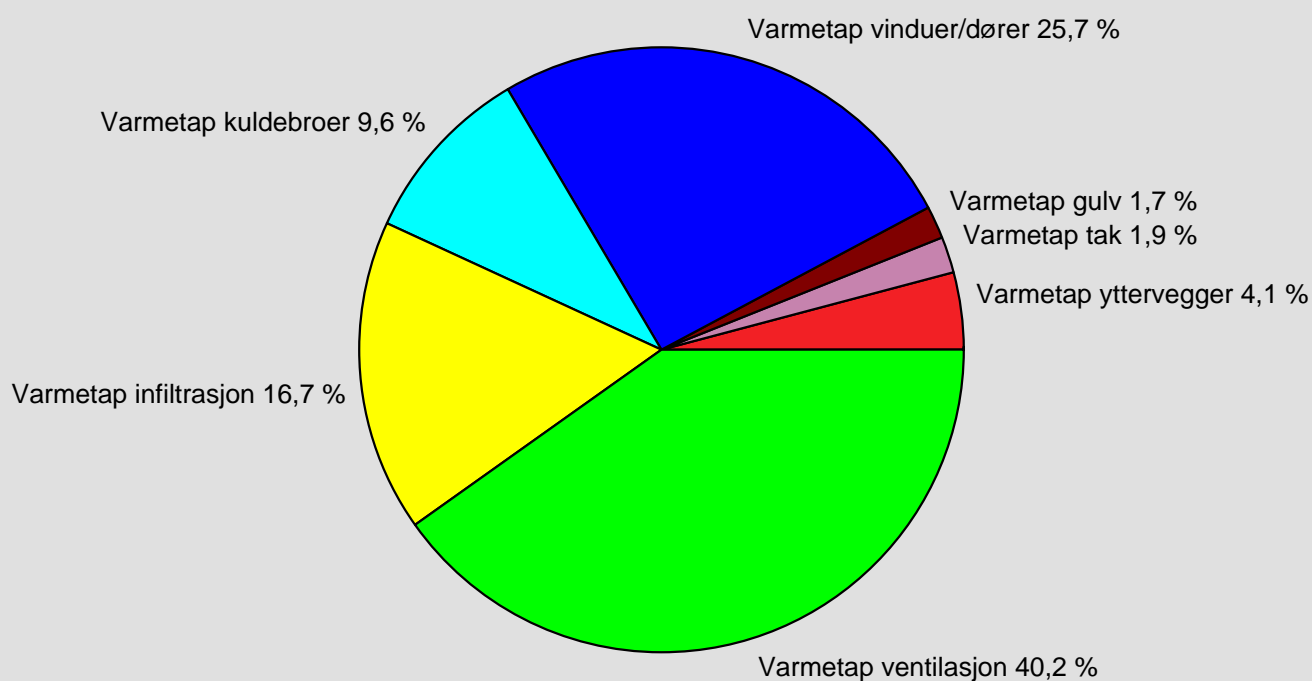
Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Varmetapsbudsjett (varmetapstall)



Varmetapstall yttervegger	0,03 W/m ² K
Varmetapstall tak	0,01 W/m ² K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,01 W/m ² K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,16 W/m ² K
Varmetapstall kuldebroer	0,06 W/m ² K
Varmetapstall infiltrasjon	0,10 W/m ² K
Varmetapstall ventilasjon	0,25 W/m ² K
Totalt varmetapstall	0,62 W/m ² K



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

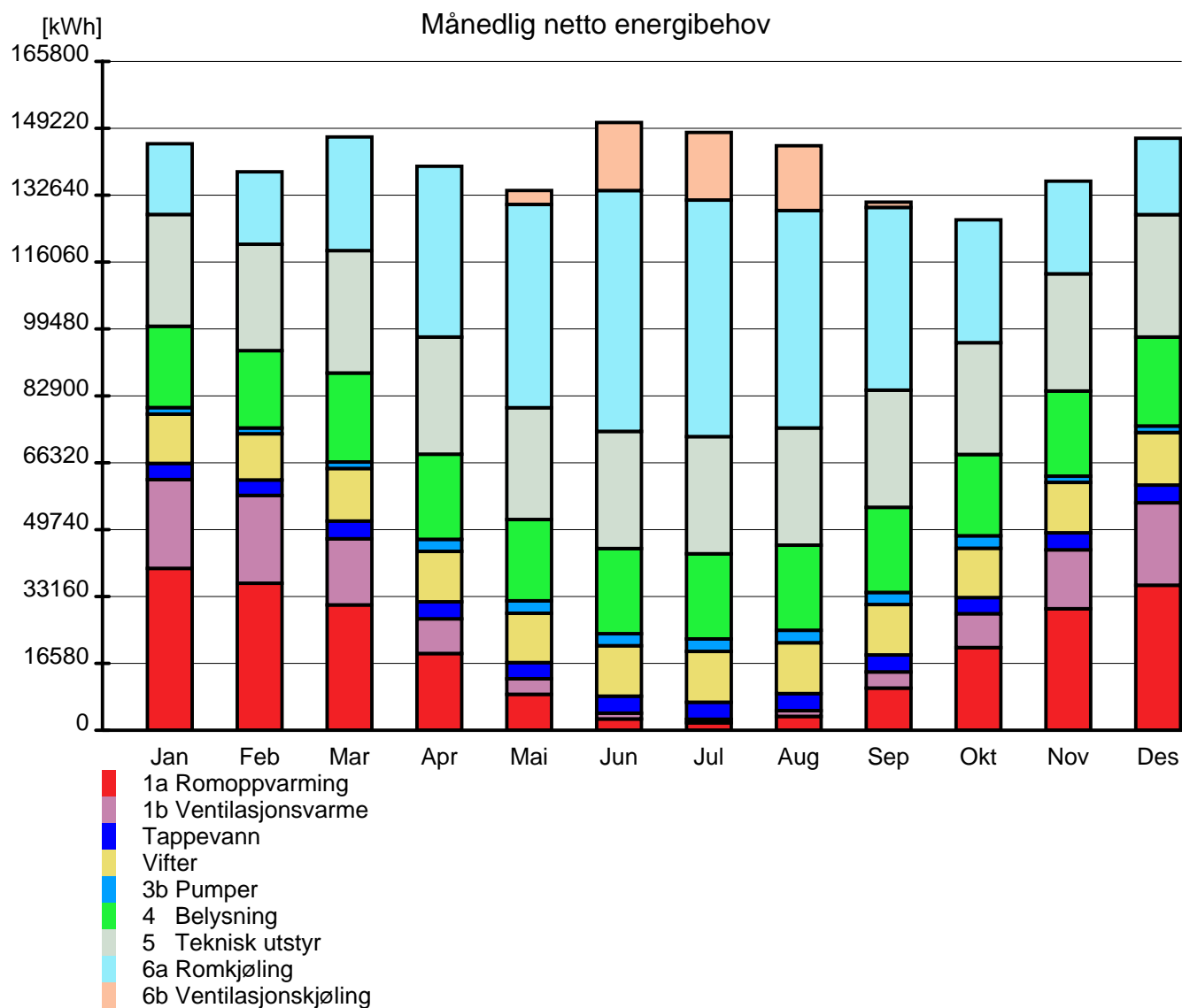
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

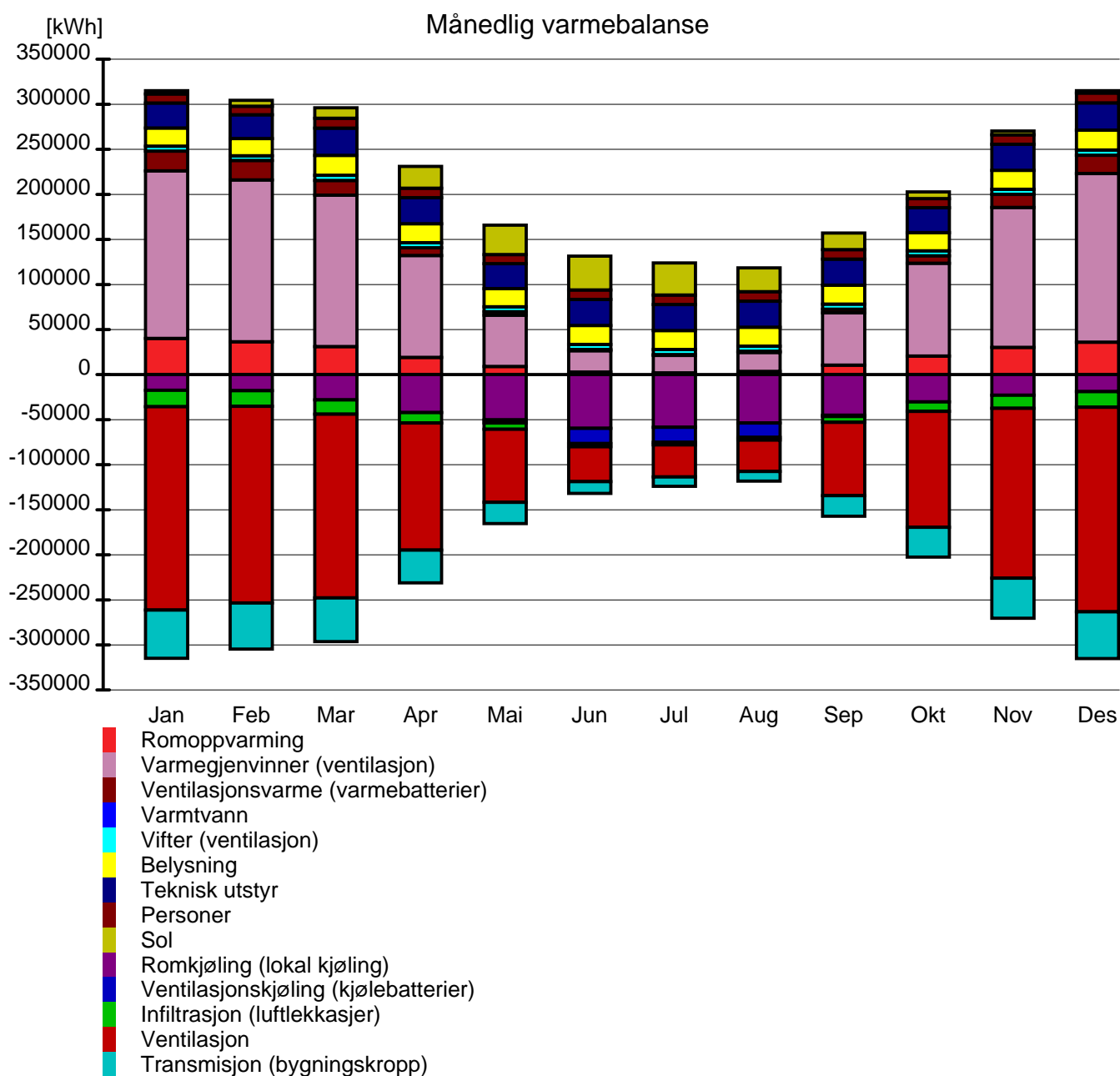
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Måned	Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)					
	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Midlere sone	Maks. sone	Min. sone
Januar	-3,7 °C	10,7 °C	-22,0 °C	20,0 °C	22,0 °C	19,0 °C
Februar	-4,8 °C	10,2 °C	-24,7 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C
Mars	-0,5 °C	14,1 °C	-17,7 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C
April	4,8 °C	19,0 °C	-7,6 °C	20,3 °C	24,2 °C	19,0 °C
Mai	11,7 °C	26,4 °C	-1,0 °C	20,8 °C	25,8 °C	19,0 °C
Juni	16,5 °C	30,8 °C	3,5 °C	21,3 °C	27,5 °C	19,0 °C
Juli	17,5 °C	29,8 °C	8,0 °C	21,3 °C	27,4 °C	19,0 °C
August	16,9 °C	32,6 °C	5,2 °C	20,9 °C	27,0 °C	19,0 °C
September	11,5 °C	24,2 °C	-1,2 °C	20,4 °C	23,6 °C	19,0 °C
Oktober	6,4 °C	19,6 °C	-6,8 °C	20,0 °C	22,0 °C	19,0 °C
November	0,5 °C	12,9 °C	-14,7 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C
Desember	-2,5 °C	11,2 °C	-20,9 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

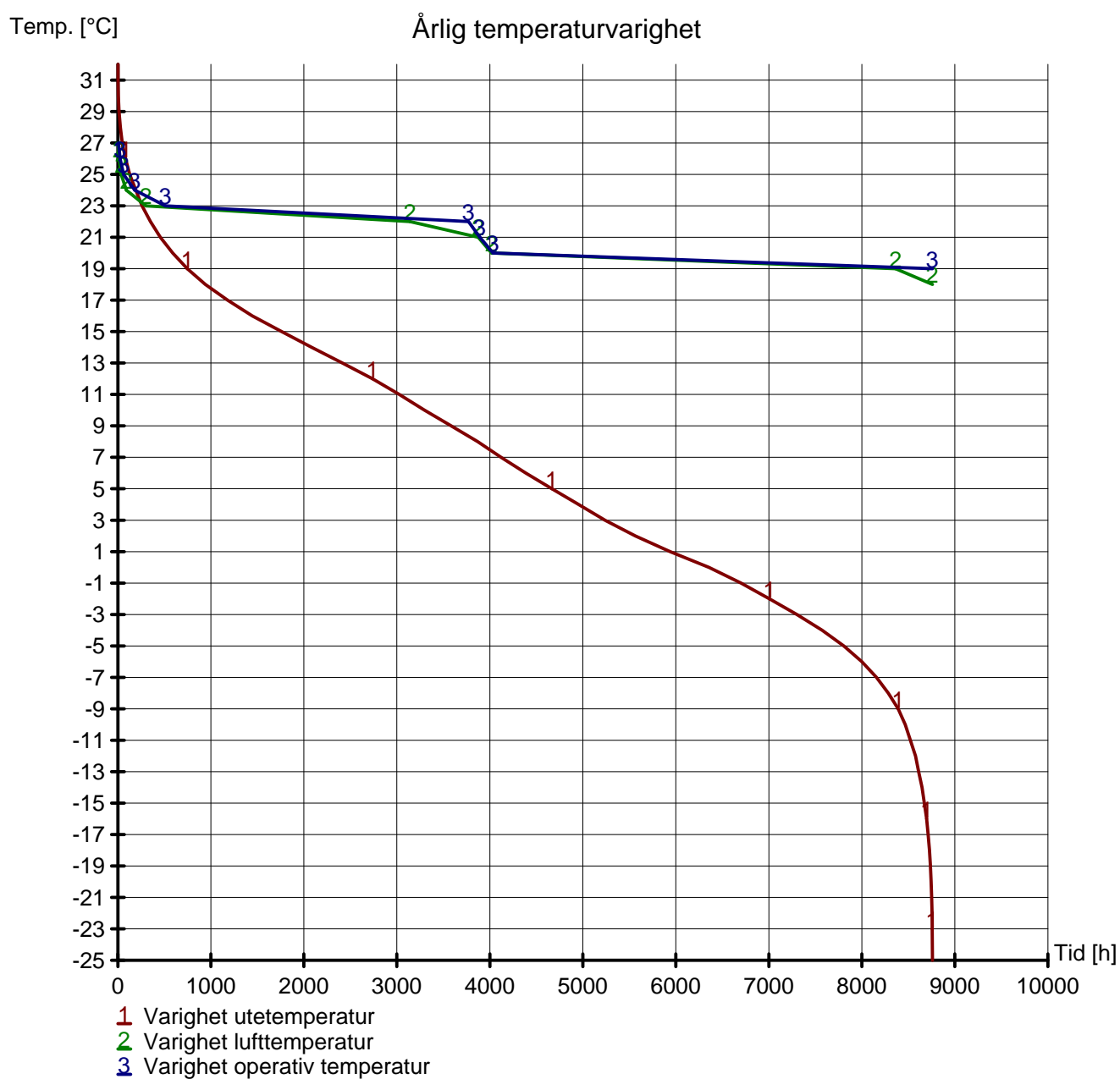
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

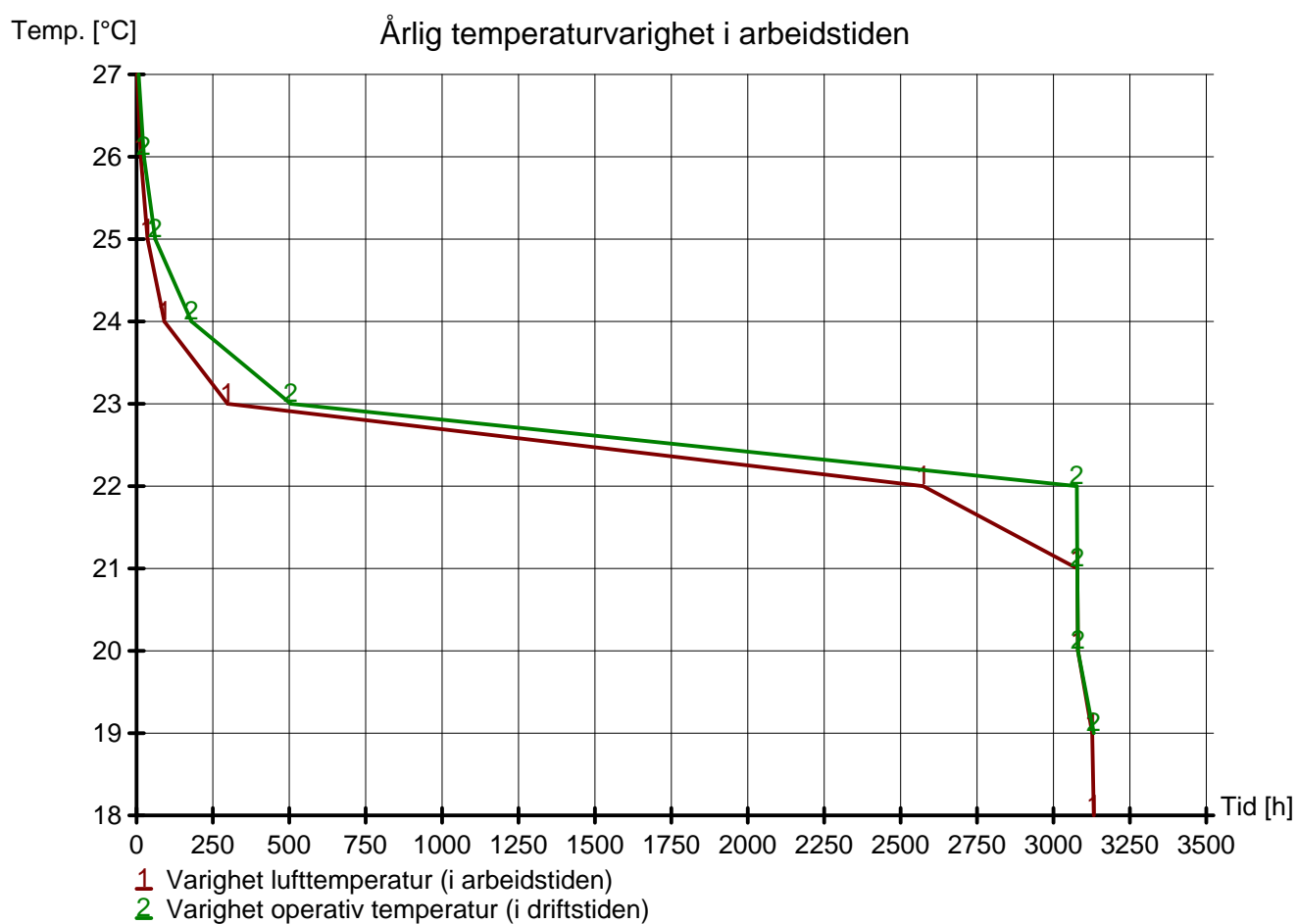
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

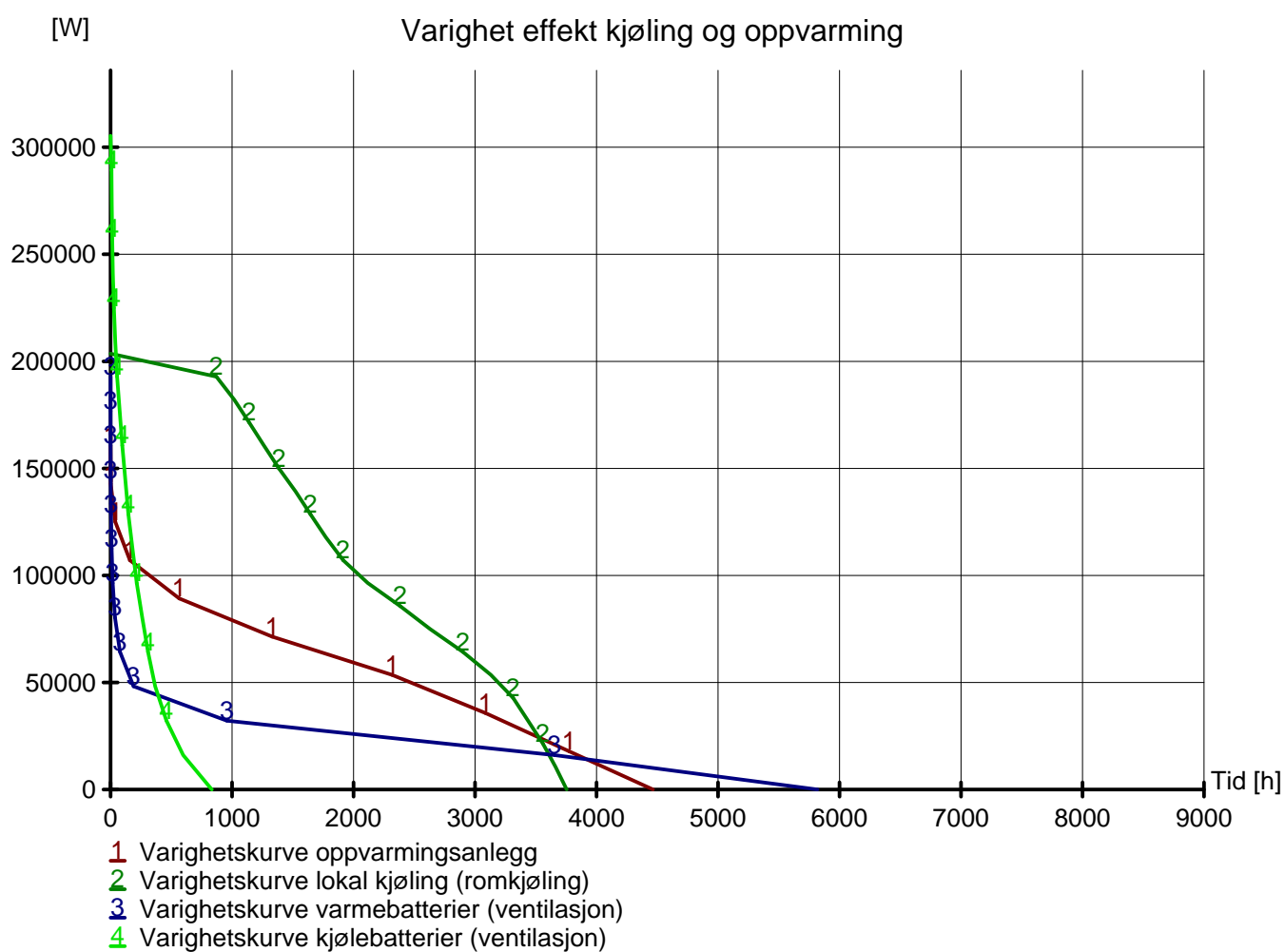
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Effekt (dekning)	Dekningsgrad effekt/energi oppvarming	Dekningsgrad energibruk
183 kW (90 %)		100 %
163 kW (80 %)		100 %
142 kW (70 %)		99 %
122 kW (60 %)		97 %
102 kW (50 %)		93 %
81 kW (40 %)		84 %
61 kW (30 %)		70 %
41 kW (20 %)		53 %
20 kW (10 %)		30 %

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Areal yttervegger [m ²]:	2136	
Areal tak [m ²]:	1000	
Areal gulv [m ²]:	1000	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	2000	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	10000	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	30000	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,12	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,12	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,11	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,80	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	7	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,90	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	50	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,60	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	24,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,15	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012
Programversjon: 5.008
Brukernavn: Flerbruker
Firma: SWECO Norge AS
Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi
Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg
Sone: Sone 1

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Kontorbygg
Simuleringsansvarlig	Kjell ErikLien
Kommentar	

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Oslo
Breddegrad	59° 55'
Lengdegrad	10° 45'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	6,3 °C
Midlere solstråling horisontal flate	110 W/m ²
Midlere vindhastighet	2,2 m/s

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 0,90 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO ₂ -utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata ekspertverdier	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning		0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr		0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer		0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol		0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger		2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling		2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv		3,00
Bypassfaktor kjølebatteri		0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter		0,13
Midlere lufthastighet romluft		0,15
Turbulensintensitet romluft		25,00
Avstand fra vindu		0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m ² K]:		0,16

Beskrivelse	Inndata rom/soner	Verdi
Oppvarmet gulvareal		10000,0 m ²
Oppvarmet luftvolum		30000,0 m ³
Normalisert kuldebroverdi		0,06 W/K/m ²
Varmekapasitet møbler/interiør		0,0 Wh/m ² (Ingen møbler)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)		1,50 ach
Skjerming i terrenget		Moderat skjerming
Fasadesituasjon		Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar		21
Driftsdager i Februar		20
Driftsdager i Mars		23
Driftsdager i April		22
Driftsdager i Mai		21
Driftsdager i Juni		22
Driftsdager i Juli		22
Driftsdager i August		22
Driftsdager i September		22
Driftsdager i Oktober		21
Driftsdager i November		22
Driftsdager i Desember		23



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Nordfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Nordfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Tre lag glass, hvorav to er energispareglass Total solfaktor: 0,45

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Østfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012
Programversjon: 5.008
Brukernavn: Flerbruker
Firma: SWECO Norge AS
Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi
Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg
Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata vinduselement Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Østfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 3-lags rute, 1 energiglass, Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,05

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg Verdi
Navn:	Sørfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Beskrivelse	Inndata vinduselement Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Sørfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 3-lags rute, 1 energiglass, Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,05



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Nordfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	270°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Nordfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 3-lags rute, 1 energiglass, Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,05



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv mot grunn (gulv)
Oppvarmet gulvareal	1000,0 m ²
Gulvtype	Gulv på grunn
Utvendig omkrets	127,00 m
Tykkelse grunnmur	0,30 m
Grunnforhold	Leire/silt Varmekapasitet: 833 Wh/m ³ K Varmeledningsevne: 1,50 W/mK
Ekstra kantisolering	Type: Vertikal Navn: 50 mm XPS (varmeledningsevne 0,034) Høyde/bredde: 0,60 m Tykkelse: 5,0 cm Varmeledningsevne: 0,03 W/mK
Innv. akk. sjikt gulv	Lett gulv Varmekapasitet 3,0 Wh/m ² K
Gulvkonstruksjon	Betongdekke (200-250 mm), 150mm isolasjon (under) Uverdi: 0,22 W/m ² K

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv internt i sonen (skillekonstruksjon)
Totalt areal	9000,0 m ²
Konstruksjonstype	Gulv
Innv. akkumulerende sjikt	Lett gulv Varmekapasitet 3,0 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Himling (skillekonstruksjon)
Totalt areal	9000,0 m ²
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Lett himling Varmekapasitet 3,0 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata yttertak
	Verdi
Navn:	Yttertak (yttertak)
Totalt areal	1000,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Takvinkel	0,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Lett himling Varmekapasitet 3,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Kompakttak m, 200-250 mm betong, 350 mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Beskrivelse	Inndata CAV
	Verdi
Navn:	CAV (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Balansert ventilasjon
Driftstid	12:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	I driftstiden: tilluft = 7.0 m ³ /hm ² , avtrekk = 7.0 m ³ /hm ² Utenfor driftstiden: tilluft = 2.0 m ³ /hm ² , avtrekk = 2.0 m ³ /hm ² Helg/feridag: tilluft = 2.0 m ³ /hm ² , avtrekk = 2.0 m ³ /hm ²
Tilluftstemperatur	19.0 °C
Varmebatteri	Ja Maks. kapasitet: 30 W/m ²
Vannbåren distribusjon til varmebatteri	Delta-T: 30.0 °C SPP: 0.5 kW/(l/s)
Kjølebatteri	
Vannbåren distribusjon til kjølebatteri	Delta-T: 6.0 °C SPP: 0.6 kW/(l/s)
Varmegjenvinner	Ja, temperaturvirkningsgrad: 0.80
Vifter	Plassering tilluftsvifte: Etter gjenvinner Plassering avtrekksvifte: Etter gjenvinner
SFP-faktor vifter	2.0 kW/m ³ /s



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata belysning	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, belysning)
Effekt/Varmetilskudd belysning	I driftstiden; Effekt: 8,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 12:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 11,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 12:00

Inndata oppvarming av tappevann	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, tappevann)
Tappevann	Driftsdag; Midlere effekt: 0,8 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; Vanndamp: 0,0 g/m ² Helg/feriedag; Midlere effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; ; Vanndamp: 0,0 g/m ²

Inndata varmetilskudd personer (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, varmetilskudd personer)
Varmetilskudd personer	I arbeidstiden: 4,0 W/m ² Utenfor arbeidstiden: 0,0 W/m ² Ferie/helgedager: 0,0 W/m ² Antall arbeidstimer: 12:00



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:48 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethel-LETT.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata oppvarming	Verdi
Navn:		Varmesystem (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid		21,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden		19,0 °C
Maks. kapasitet		50 W/m ²
Konvektiv andel oppvarming		0,50
Driftstid		12:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg		Nei

Beskrivelse	Inndata lokal kjøling	Verdi
Navn:		Lokal kjøling (lokal kjøling)
Settpunkttemperatur		22,0 °C
Maks, kapasitet		20 W/m ²
Konvektiv andel kjøling		0,50
Driftstid		24:00 timer drift pr døgn
Kjøling på helge/feriedager		Ja
Kjøling via vannbårent anlegg		Ja
Turtemperatur		13,0 °C
Returtemperatur		17,0 °C
Spesifikk pumpeeffekt		0,60 kW/(l/s)



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Energipost	Energibudsjet	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		102934 kWh	10,3 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		118832 kWh	11,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		50112 kWh	5,0 kWh/m ²
3a Vifter		149575 kWh	15,0 kWh/m ²
3b Pumper		29410 kWh	2,9 kWh/m ²
4 Belysning		250560 kWh	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		344516 kWh	34,5 kWh/m ²
6a Romkjøling		308327 kWh	30,8 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		54711 kWh	5,5 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		1408977 kWh	140,9 kWh/m ²

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	1221362 kWh	122,1 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1221362 kWh	122,1 kWh/m ²



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Årlige utslipp av CO2		
Energivare	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	482438 kg	48,2 kg/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kg	0,0 kg/m ²
1c El. solenergi	0 kg	0,0 kg/m ²
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m ²
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m ²
4 Fjernvarme	0 kg	0,0 kg/m ²
5 Biobrensel	0 kg	0,0 kg/m ²
6. Annen ()	0 kg	0,0 kg/m ²
Totalt utslipp, sum 1-6	482438 kg	48,2 kg/m ²

Kostnad kjøpt energi		
Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	977090 kr	97,7 kr/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kr	0,0 kr/m ²
1c El. solenergi	0 kr	0,0 kr/m ²
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m ²
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m ²
4 Fjernvarme	0 kr	0,0 kr/m ²
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m ²
6. Annen ()	0 kr	0,0 kr/m ²
Årlige energikostnader, sum 1-6	977090 kr	97,7 kr/m ²



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

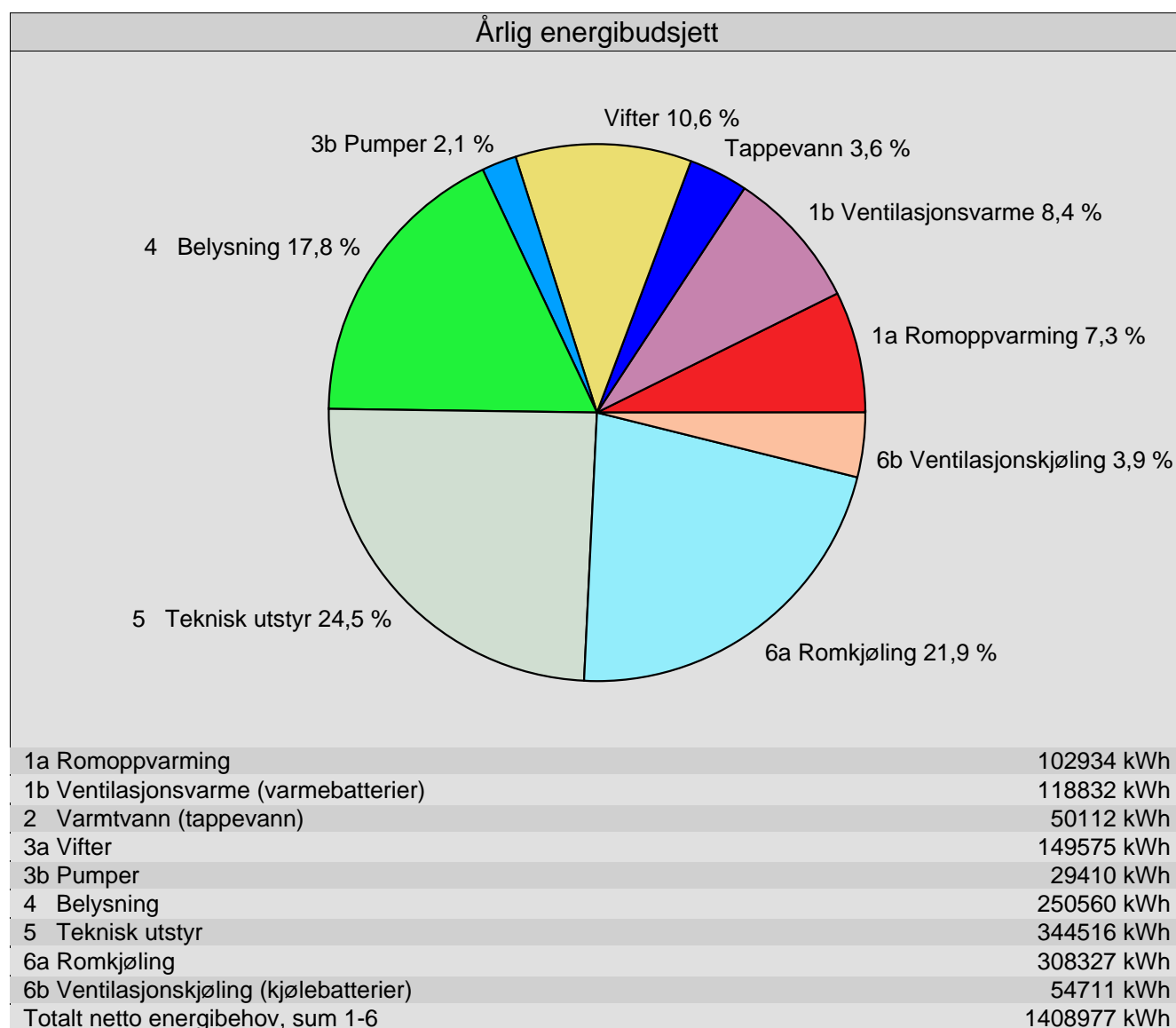
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

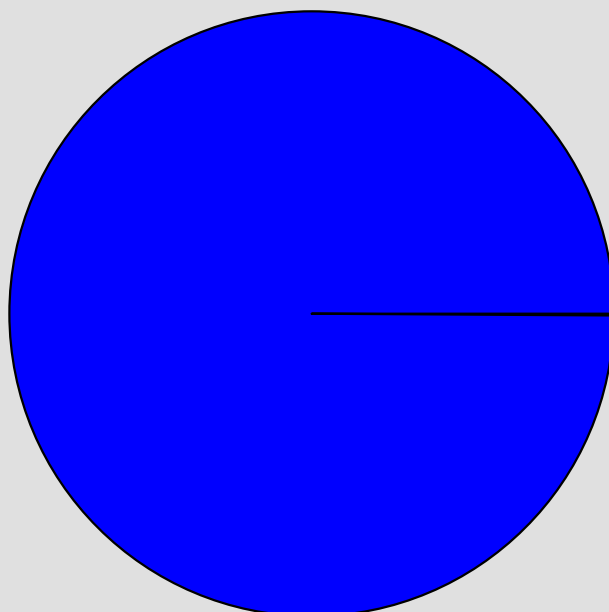
Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Levert energi til bygningen (beregnet)

1a Direkte el. 100,0 %



1a Direkte el.	1221362 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	0 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
6. Annen ()	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	1221362 kWh



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

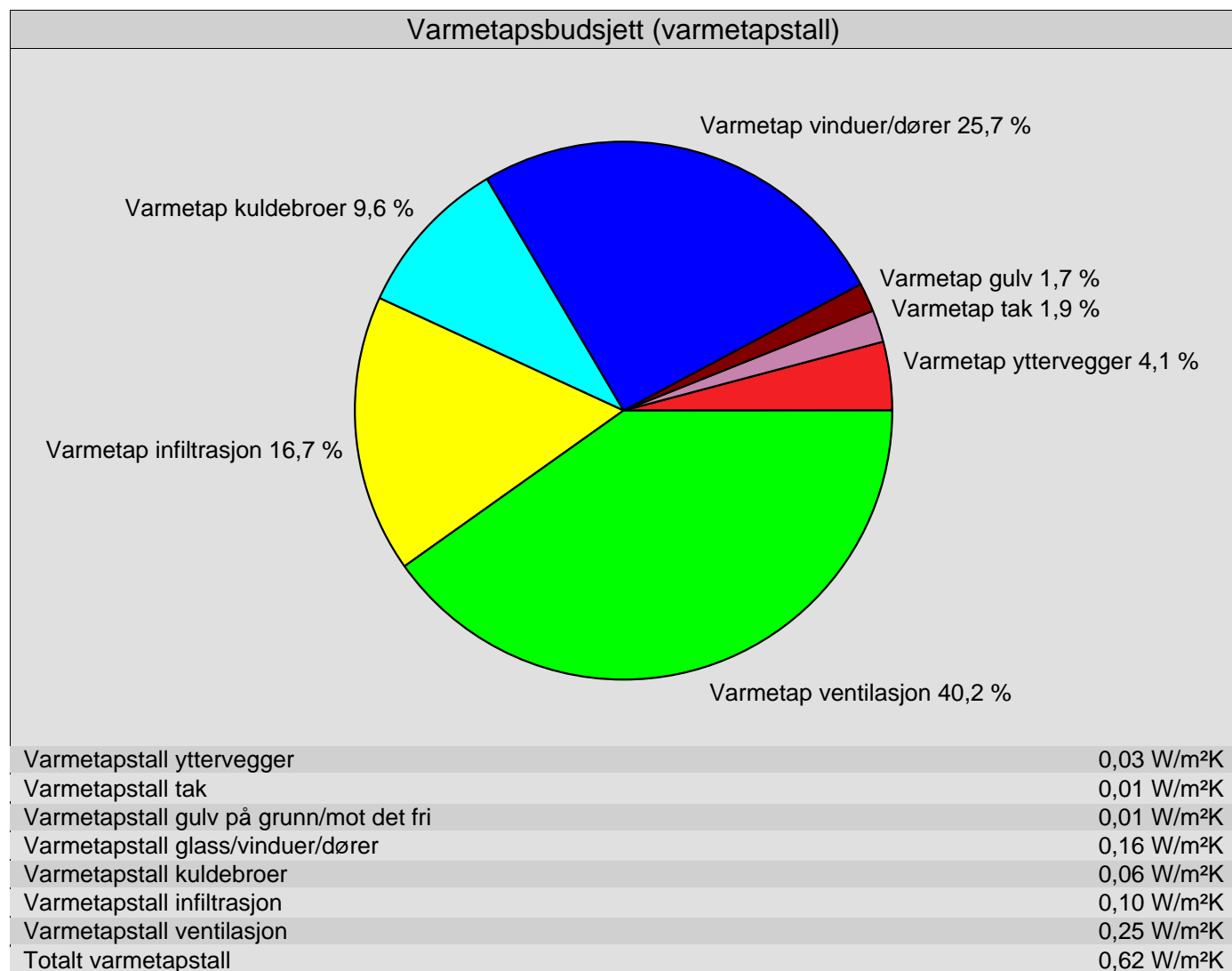
Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Varmetapsbudsjett (varmetapstall)





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

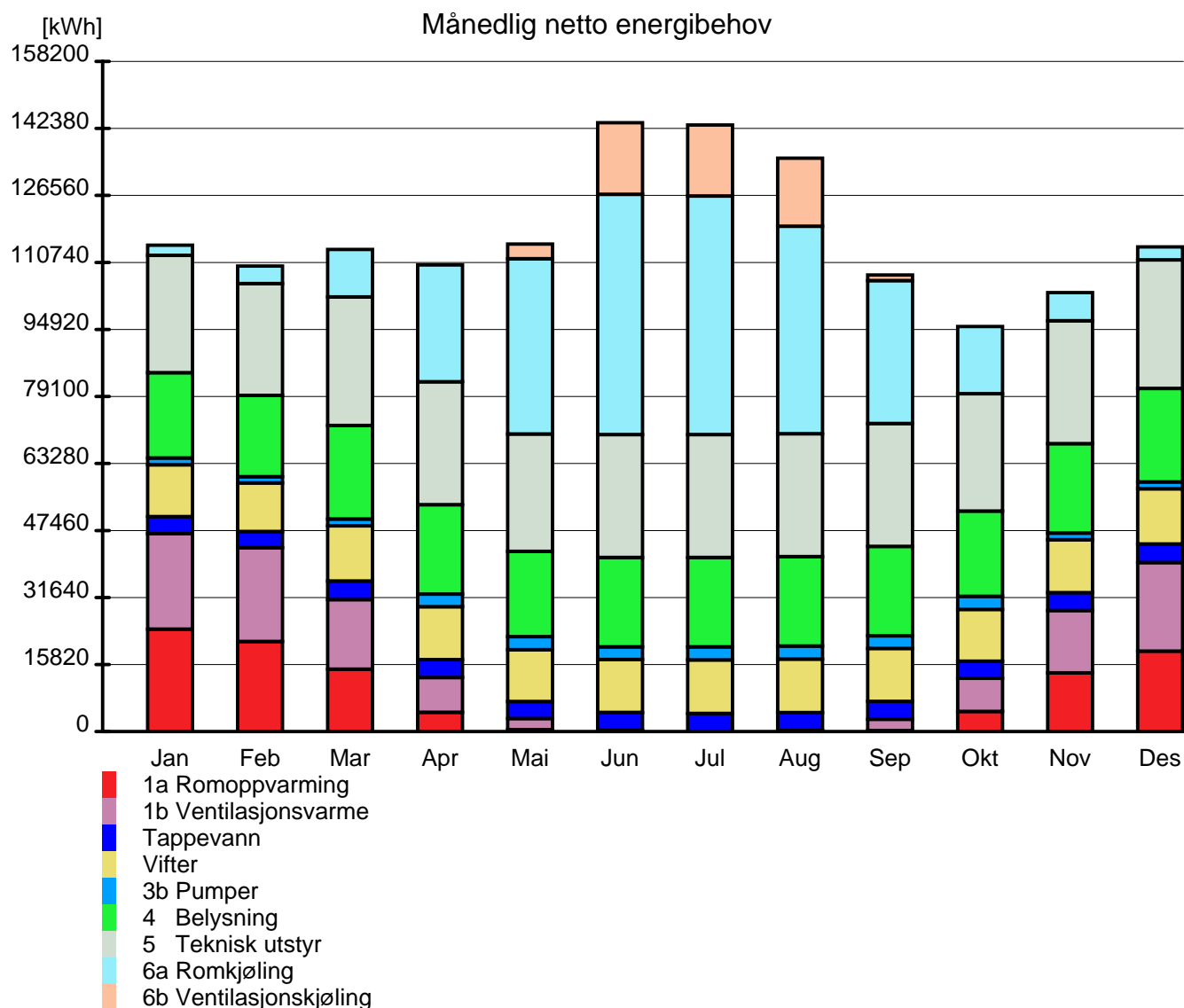
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

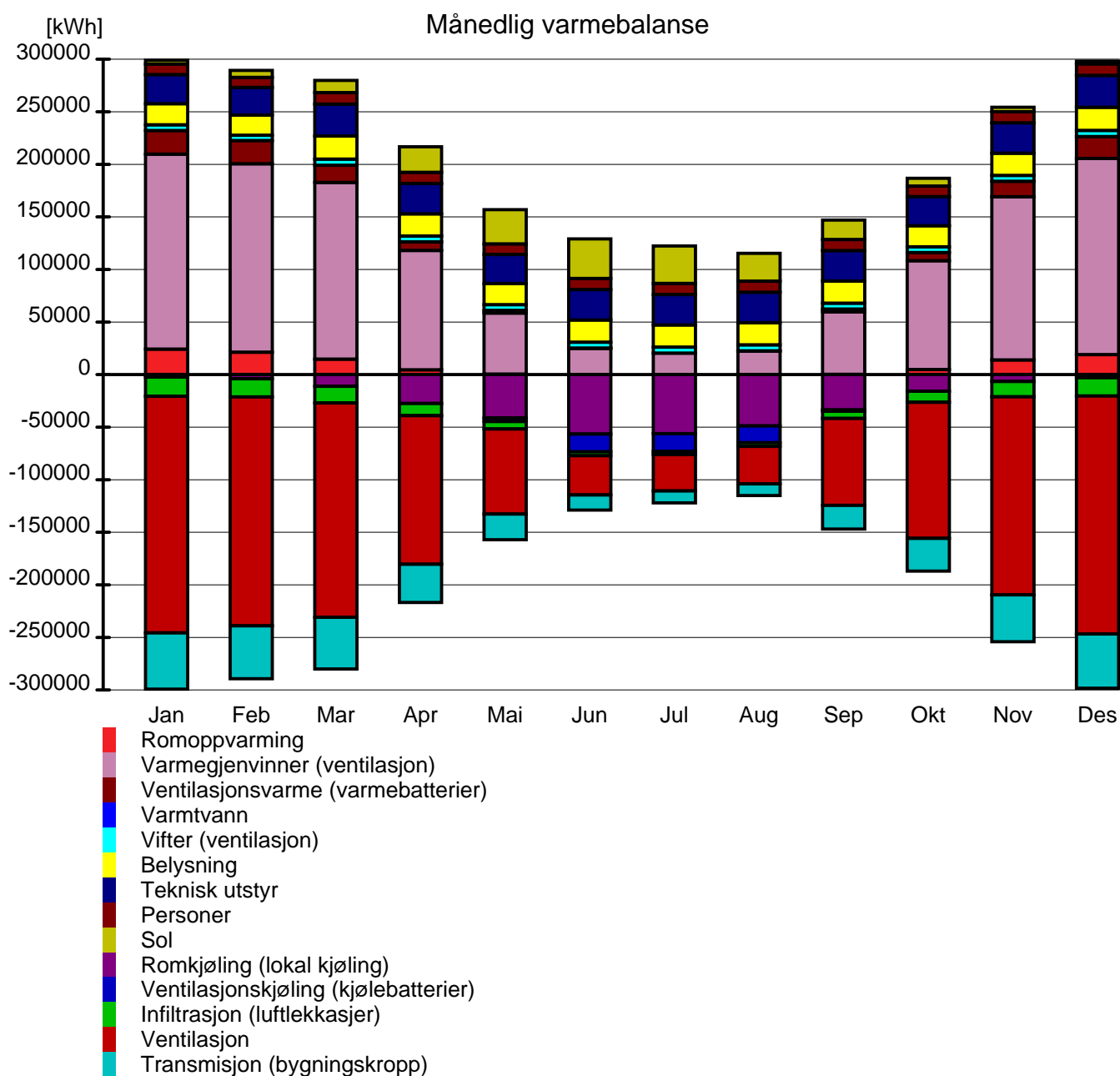
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Måned	Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)					
	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Midlere sone	Maks. sone	Min. sone
Januar	-3,7 °C	10,7 °C	-22,0 °C	20,0 °C	22,0 °C	19,0 °C
Februar	-4,8 °C	10,2 °C	-24,7 °C	20,0 °C	22,0 °C	19,0 °C
Mars	-0,5 °C	14,1 °C	-17,7 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C
April	4,8 °C	19,0 °C	-7,6 °C	20,4 °C	22,4 °C	19,0 °C
Mai	11,7 °C	26,4 °C	-1,0 °C	21,0 °C	22,9 °C	19,0 °C
Juni	16,5 °C	30,8 °C	3,5 °C	21,6 °C	23,4 °C	19,7 °C
Juli	17,5 °C	29,8 °C	8,0 °C	21,6 °C	23,5 °C	20,1 °C
August	16,9 °C	32,6 °C	5,2 °C	21,4 °C	24,5 °C	19,7 °C
September	11,5 °C	24,2 °C	-1,2 °C	20,7 °C	22,2 °C	19,0 °C
Oktober	6,4 °C	19,6 °C	-6,8 °C	20,2 °C	22,0 °C	19,0 °C
November	0,5 °C	12,9 °C	-14,7 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C
Desember	-2,5 °C	11,2 °C	-20,9 °C	20,1 °C	22,0 °C	19,0 °C



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

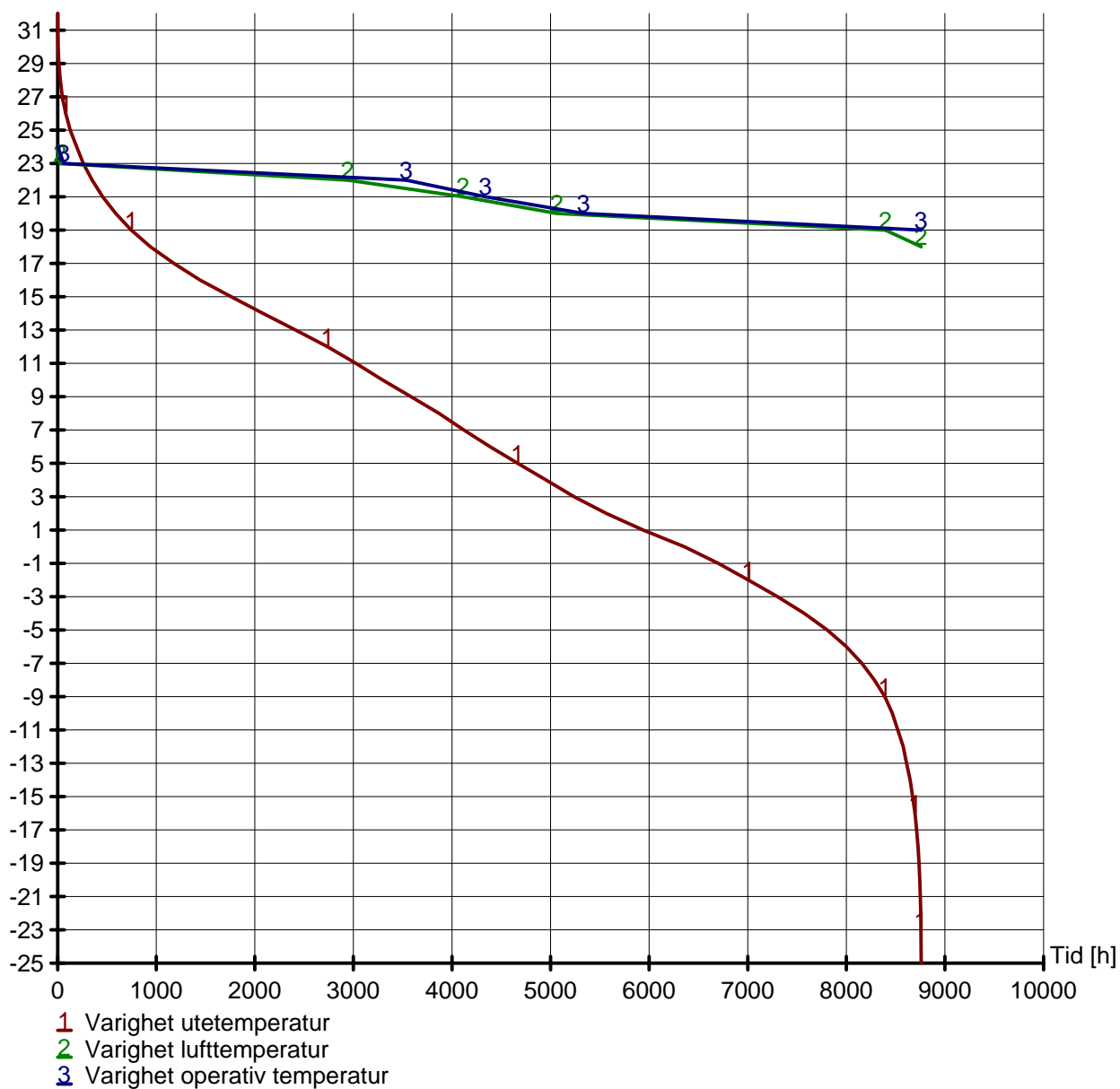
Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Temp. [°C]

Årlig temperaturvarighet





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

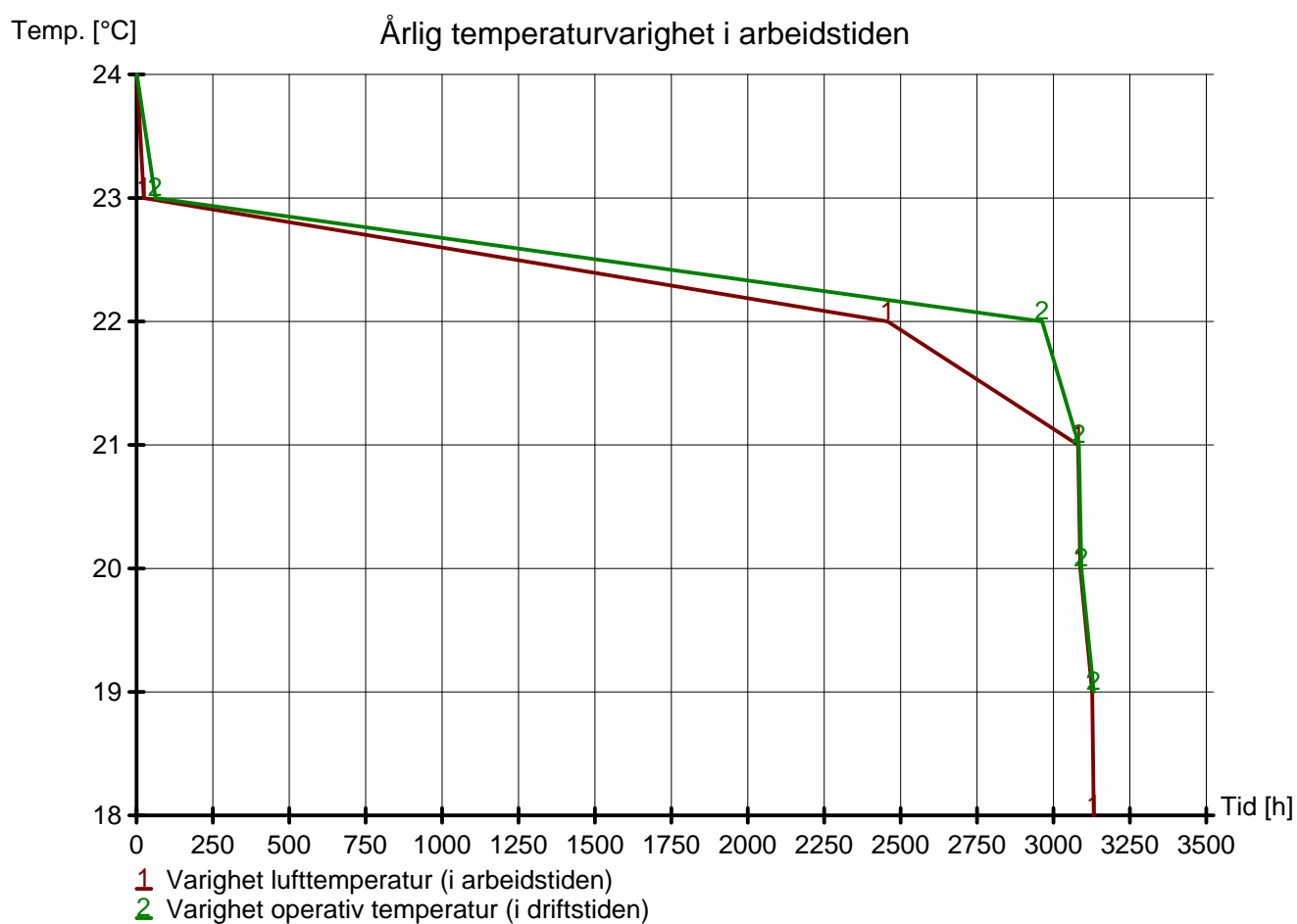
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

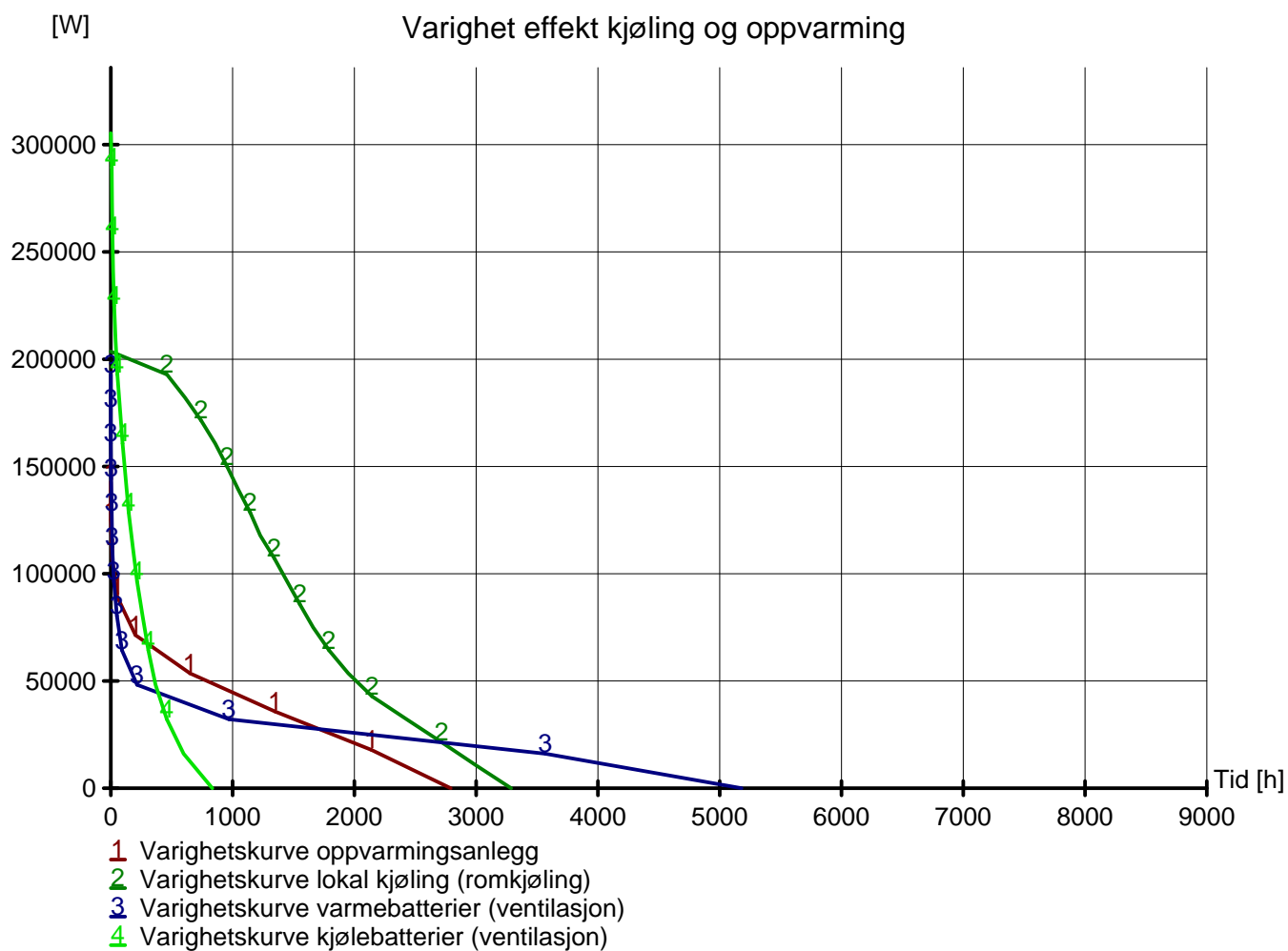
Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1





SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Effekt (dekning)	Dekningsgrad effekt/energi oppvarming	Dekningsgrad energibruk
165 kW (90 %)		100 %
147 kW (80 %)		100 %
129 kW (70 %)		99 %
110 kW (60 %)		98 %
92 kW (50 %)		96 %
74 kW (40 %)		90 %
55 kW (30 %)		79 %
37 kW (20 %)		61 %
18 kW (10 %)		36 %

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Areal yttervegger [m ²]:	2136	
Areal tak [m ²]:	1000	
Areal gulv [m ²]:	1000	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	2000	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	10000	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	30000	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,12	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,12	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,11	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,80	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20,0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	139	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	2,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,90	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	50	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,60	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	24,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,15	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Kontorbygg
Simuleringsansvarlig	Kjell ErikLien
Kommentar	

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Oslo
Breddegrad	59° 55'
Lengdegrad	10° 45'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	6,3 °C
Midlere solstråling horisontal flate	110 W/m ²
Midlere vindhastighet	2,2 m/s

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 0,90 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata ekspertverdier	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning		0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr		0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer		0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol		0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger		2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling		2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv		3,00
Bypassfaktor kjølebatteri		0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter		0,13
Midlere lufthastighet romluft		0,15
Turbulensintensitet romluft		25,00
Avstand fra vindu		0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m ² K]:		1,80

Beskrivelse	Inndata rom/soner	Verdi
Oppvarmet gulvareal		10000,0 m ²
Oppvarmet luftvolum		30000,0 m ³
Normalisert kuldebroverdi		0,06 W/K/m ²
Varmekapasitet møbler/interiør		0,0 Wh/m ² (Ingen møbler)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)		1,50 ach
Skjerming i terrenget		Moderat skjerming
Fasadesituasjon		Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar		21
Driftsdager i Februar		20
Driftsdager i Mars		23
Driftsdager i April		22
Driftsdager i Mai		21
Driftsdager i Juni		22
Driftsdager i Juli		22
Driftsdager i August		22
Driftsdager i September		22
Driftsdager i Oktober		21
Driftsdager i November		22
Driftsdager i Desember		23



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Nordfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Innv. akkumulerende sjikt	Betong (tykkelse over 100 mm) Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Nordfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Tre lag glass, hvorav to er energispareglass Total solfaktor: 0,45

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Østfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Innv. akkumulerende sjikt	Betong (tykkelse over 100 mm) Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata vinduselement Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Østfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 3-lags rute, 1 energiglass, Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,05

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg Verdi
Navn:	Sørfasade (fasade)
Totalt areal	1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Innv. akkumulerende sjikt	Betong (tykkelse over 100 mm) Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Beskrivelse	Inndata vinduselement Verdi
Navn:	Vinduer (Vindu(er) på Sørfasade)
Antall vinduer	500
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 3-lags rute, 1 energiglass, Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,05



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg	Verdi
Navn:		Nordfasade (fasade)
Totalt areal		1034,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)		270°
Innv. akkumulerende sjikt		Betong (tykkelse over 100 mm) Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Konstruksjon		I-profil bindingsverk, 350mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Beskrivelse	Inndata vinduselement	Verdi
Navn:		Vinduer (Vindu(er) på Nordfasade)
Antall vinduer		500
Høyde vindu(er)		1,00 m
Bredde vindu(er)		1,00 m
Karm-/ramme faktor		0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)		0,80 W/m ² K
Variabel (regulerbar) solskjerming		Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 3-lags rute, 1 energiglass, Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,05



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv mot grunn (gulv)
Oppvarmet gulvareal	1000,0 m ²
Gulvtype	Gulv på grunn
Utvendig omkrets	127,00 m
Tykkelse grunnmur	0,30 m
Grunnforhold	Leire/silt Varmekapasitet: 833 Wh/m ³ K Varmeledningsevne: 1,50 W/mK
Ekstra kantisolering	Type: Vertikal Navn: 50 mm XPS (varmeledningsevne 0,034) Høyde/bredde: 0,60 m Tykkelse: 5,0 cm Varmeledningsevne: 0,03 W/mK
Innv. akk. sjikt gulv	Tungt gulv Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Gulvkonstruksjon	Betongdekke (200-250 mm), 150mm isolasjon (under) Uverdi: 0,22 W/m ² K

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv internt i sonen (skillekonstruksjon)
Totalt areal	9000,0 m ²
Konstruksjonstype	Gulv
Innv. akkumulerende sjikt	Tungt gulv Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Himling (skillekonstruksjon)
Totalt areal	9000,0 m ²
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Tung himling Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata yttertak
	Verdi
Navn:	Yttertak (yttertak)
Totalt areal	1000,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Takvinkel	0,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Tung himling Varmekapasitet 63,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Kompakttak m, 200-250 mm betong, 350 mm isolasjon Uverdi: 0,12 W/m ² K

Beskrivelse	Inndata CAV
	Verdi
Navn:	CAV (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Balansert ventilasjon
Driftstid	12:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	I driftstiden: tilluft = 7.0 m ³ /hm ² , avtrekk = 7.0 m ³ /hm ² Utenfor driftstiden: tilluft = 2.0 m ³ /hm ² , avtrekk = 2.0 m ³ /hm ² Helg/feridag: tilluft = 2.0 m ³ /hm ² , avtrekk = 2.0 m ³ /hm ²
Tilluftstemperatur	19.0 °C
Varmebatteri	Ja Maks. kapasitet: 30 W/m ²
Vannbåren distribusjon til varmebatteri	Delta-T: 30.0 °C SPP: 0.5 kW/(l/s)
Kjølebatteri	
Vannbåren distribusjon til kjølebatteri	Delta-T: 6.0 °C SPP: 0.6 kW/(l/s)
Varmegjenvinner	Ja, temperaturvirkningsgrad: 0.80
Vifter	Plassering tilluftsvifte: Etter gjenvinner Plassering avtrekksvifte: Etter gjenvinner
SFP-faktor vifter	2.0 kW/m ³ /s



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Inndata belysning	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, belysning)
Effekt/Varmetilskudd belysning	I driftstiden; Effekt: 8,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 12:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 11,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 12:00

Inndata oppvarming av tappevann	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, tappevann)
Tappevann	Driftsdag; Midlere effekt: 0,8 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; Vanndamp: 0,0 g/m ² Helg/feriedag; Midlere effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; ; Vanndamp: 0,0 g/m ²

Inndata varmetilskudd personer (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, varmetilskudd personer)
Varmetilskudd personer	I arbeidstiden: 4,0 W/m ² Utenfor arbeidstiden: 0,0 W/m ² Ferie/helgedager: 0,0 W/m ² Antall arbeidstimer: 12:00



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering

Tid/dato simulering: 17:47 9/6-2012

Programversjon: 5.008

Brukernavn: Flerbruker

Firma: SWECO Norge AS

Inndatafil: C:\Users\la31883\Desktop\Basis\EksempelbyggMargrethe_TUNG.smi

Prosjekt: Eksempelbygg Forretningsbygg

Sone: Sone 1

Beskrivelse	Inndata oppvarming	Verdi
Navn:		Varmesystem (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid		21,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden		19,0 °C
Maks. kapasitet		50 W/m ²
Konvektiv andel oppvarming		0,50
Driftstid		12:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg		Nei

Beskrivelse	Inndata lokal kjøling	Verdi
Navn:		Lokal kjøling (lokal kjøling)
Settpunkttemperatur		22,0 °C
Maks, kapasitet		20 W/m ²
Konvektiv andel kjøling		0,50
Driftstid		24:00 timer drift pr døgn
Kjøling på helge/feriedager		Ja
Kjøling via vannbårent anlegg		Ja
Turtemperatur		13,0 °C
Returtemperatur		17,0 °C
Spesifikk pumpeeffekt		0,60 kW/(l/s)