

FAKULTET FOR INFORMASJONSTEKNOLOGI OG ELEKTROTEKNIKK
INSTITUTT FOR ELEKTRISK ENERGI

IELEG2119 - ELEKTROINSTALLASJONER

Prosjektrapport IELEG2119

28. juni 2026

Innhold

Definering av romtyper	3
Lysberegninger	4
Kontor 142	4
Kontor 209	6
Møterom 263	7
Watt per kvadratmeter	8
Effektbehov for belysning	9
Varmeberegninger	11
Varmeberegninger Kontor 142	11
Transmisjonstap	11
Infiltrasjonstap	12
Dimensjonerende varme	12
Varmeberegninger på etasjenivå	13
Transmisjonstap 3.etg	13
Infiltrasjonstap 3.etg	14
Dimensjonerende Varme 3.etg	14
Transmisjonstap 4.etg	15
Infiltrasjonstap 4.etg	16
Dimensjonerende varme 4.etg	16
Varmeberegninger på bygningsnivå	17
Valg av Nettstruktur	18
Topologi	18
Fordeling av kurser	18
Effektbehov	20
Brutto effektbehov	20
Netto effektbehov	20
Transmisjon	20
Infiltrasjon	21
Belysning	21
Forbrukskurser	22
Samtidighet	23
Varme	23
Ventilasjon	23
Belysning	24
Forbrukslaster	24
Total samtidighetsfaktor	24
Beregninger og dimensjonering	26
Valg av transformator	26
Beregninger frem til hovedfordeling	26
Høyspentsimpedanser	26
Transformatorimpedanser	27

Skinneimpedanser	29
Kortslutningsgrunnlag i hovedfordeling	30
Valg av hovedsikring	31
Dimensjonering av stigeledning	32
Korreksjonsfaktorer	32
Dimensjonering av kabeltverrsnitt	32
Valg av vern	33
Kabelimpedanser	34
Kortslutningsberegninger	37
Dimensjonering av utvalgt kurs	40
Korreksjonsfaktorer	40
Dimensjonering av kabeltverrsnitt	40
Valg av vern	41
Kabelimpedanser	42
Kortslutningsberegninger	42
Spenningsfall	43
Referanser	45

Definering av romtyper

Etasje	Små kontorer				Store kontorer og møterom			
sokkel	003	004	005	006	040	041	054	057
	007	008	009	010	060			
	011	012	013	014				
	015	016	017	018				
	019	020	021	022				
	064							
1. etg	102	103	104	105	122	142	157	160
	106	107	108	109	164			
	110	111	112	113				
	114	115	116	143				
	144	145	146	147				
	154	158	162A	162B				
	162C							
2. etg	202	203	204	205	242	246	256	258
	206	207	208	209	260	263		
	210	211	212	213				
	218	219	220	221				
	222	243	244	245				
	254							
3. etg	302	303	304	305	342	354	356	358
	306	307	308	309	363			
	310	311	312	313				
	315	316	317	320				
	321	322	343	344				
	345	346	347	360				
4. etg	401	402	403	404	442	445	454	458
	405	406	407	408	460	464		
	409	410	411	412				
	413	414	415	416				
	417	420	421	422				
	446	447	462	463				

Øvrige rom

Andre rom som ikke er nevnt her vil for enkelhets skyld tilordnes en kategori: *øvrige*

Lysberegninger

Lysberegninger kontor 142

Nøkkelinformasjon:

- Brutto takhøyde: 2.96[m]
- Netto takhøyde: 2.4[m]
- Målte lengder: $3.8[\text{cm}] \times 2.8[\text{cm}] \implies 7.6[\text{m}] \times 5.6[\text{m}]$
- Lysarmatur: RC125B LED34S/830 PSU W60L6
- Krav til belysning: ca. 500[lx]

Dette kontoret vil bli brukt som referanse for de store kontorene, da dette kontoret utgjør gjennomsnittlig størrelse i forhold til disse.

Kravet til arbeidsbelysning på ca. 500[lx], lyden slik at punktbelysning bør vurderes («Belysning», u. å.). Da en ikke vet nøyaktig hva rommene skal brukes til, men mtp. at det er IT-personell som sitter der, kan man regne med at det er PC-arbeid. På bakgrunn av dette velges det å se bort fra punktbelysning, da dimensjoneringen vil være tilstrekkelig for belysning som tilsvarer ca. 500 [lx] på arbeidsflaten. Dette er i tillegg for å gjøre planleggingen lettere og mer effektiv. Det tas samme forbehold på resterende kontor mht. beregninger.

Basert på videoen fra innsiden av bygningen, ser det ut til å være systemhimling. Det gjøres en vurdering på netto takhøyde fra gulv til systemhimlingen og denne settes til standard takhøydepå 2.4[m]. Det tas også forbehold om en minimumshøyde på 0.7[m] fra gulv til arbeidsflaten, basert på standard skrivebordshøyde.

Romindeksen k beregnes slik:

$$k = \frac{l \cdot b}{(l + b) \cdot h_m} = \frac{42.56}{13.2 \cdot 1.7} \approx 1.9$$

Med denne romindeksen leses det fra den fotometriske dataen for lysarmaturet, som er hentet fra "Aktuelle lysarmaturer" i prosjektgrunnlaget, en virkningsgrad η . Med bakgrunn av dette beregnes virkningsfaktor på ca. 0.82 med reflektanser på henholdsvis 80-50-10. Det tas forbehold om relativt lyse vegger med noen blokkeringer av diverse utstyr og hyller, lyst tak, samt mørke arbeidsflater og gulv. Den mørke arbeidsflaten begrunner jeg med musematter, tastatur og lignende, som befinner seg på arbeidsflaten, samtidig som videoen fra bygget viser at gulvet har en tydelig mørk farge. Vedlikeholdsfaktoren settes til 0,7. Dette er for å kunne holde renholdet av disse til et minimum. Det tas også forbehold om omtrentlig lik faktor i hele belysningsanlegget.

Med disse forbeholdene tatt i betraktning, beregnes antall lysarmaturer slik:

$$N = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot \eta \cdot v} = \frac{500 \cdot 42.56}{3400 \cdot 0.82 \cdot 0.7} \approx 11 \text{ stk}$$

På grunn av symmetri velges 12 stk lysarmaturer her, for å oppnå en fin matrise i taket. Dette gir ca. 550 [lx] på arbeidsflaten, som regnes tilstrekkelig.

Lysberegninger kontor 209

Nøkkelinformasjon:

- Brutto takhøyde: 2.96[m]
- Netto takhøyde: 2.4[m]
- Målte lengder: 2.2[cm] $\times$ 2.2[cm] $\implies$ 4.4[m] $\times$ 4.4[m]
- Lysarmatur: RC125B LED34S/830 PSU W60L6
- Krav til belysning: ca. 500[lx]

Dette kontoret er gjennomsnittlig lite i forhold til de andre små kontorene, og vil dermed bli brukt som referanse for små kontorer. Forholdene utover dette er like kontor 142 og gir utgangspunkt for belysningskrav og antagelser.

Romindeksen k beregnes slik:

$$k = \frac{l \cdot b}{(l + b) \cdot h_m} = \frac{19.36}{8.8 \cdot 1.7} \approx 1.3$$

Med denne romindeksen leses det fra de fotometriske dataene for lysarmaturet, som er hentet fra "Aktuelle lysarmaturer" i prosjektgrunnlaget, en virkningsgrad η . Slik at en vikringsfaktor på ca.0.71 oppnås, med reflektanser på henholdsvis 80-50-10.

Med disse forbeholdene tatt, beregnes antall lysarmaturer:

$$N = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot \eta \cdot v} = \frac{500 \cdot 19.36}{3400 \cdot 0.71 \cdot 0.7} \approx 6 \text{ stk}$$

Dette vil gi oss ca. 525 [lx] på arbeidsflaten, som er regnet som tilstrekkelig.

Lysberegninger møterom 263

Nøkkelinformasjon:

- Brutto takhøyde: 2.96[m]
- Netto takhøyde: 2.4[m]
- Målte lengder: 3.6[cm] $\times$ 4.6[cm] $\implies$ 7.2[m] $\times$ 9.2[m]
- Lysarmatur: RC125B LED34S/830 PSU W60L6
- Krav til belysning: ca. 500[lx]

Dette rommet vil bli brukt videre til å beregne $[W\ m^{-2}]$ i andre allmenrom og korridorer.

Det leses av lystabellen at møterom har krav til belysningsstyrke på 500[lx]. I forhold til kontorer antas det færre objekter som sperrer for veggene i denne romtypen. Ut fra videoene antas det å være samme mørke farge på gulvet. Den samme høyden for beregninger på kontorene er benyttet.

Med disse antagelsene beregnes antall lys slik:

Romindeksen k beregnes slik:

$$k = \frac{l \cdot b}{(l + b) \cdot h_m} = \frac{66.24}{16.4 \cdot 1.7} \approx 2.4$$

Med denne romindeksen leses det fra de fotometriske dataene for lysarmaturet, som er hentet fra "Aktuelle lysarmaturer" i prosjektgrunnlaget, en virkningsgrad η . Virkningsfaktoren beregnes til ca.0.86 med reflektanser på henholdsvis 80-50-10.

Med disse forbeholdene tatt i betraktning, beregnes antall lysarmaturer slik:

$$N = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot \eta \cdot v} = \frac{500 \cdot 66.24}{3400 \cdot 0.86 \cdot 0.7} \approx 16.2$$

En mindre reduksjon i vedlikeholdsfaktoren vil kun gi en marginal endring i antall armaturer, og resultatet ligger svært nært 16 stk armaturer. Ettersom vedlikeholdsfaktoren er satt relativt høyt allerede, ligger det her en viss margin som kan utnyttes.

På bakgrunn av dette vurderes derfor vedlikeholdsfaktoren som lite sensitiv for små variasjoner. For å unngå overdimensjonering ved bruk av $[W\ m^{-2}]$ velges det derfor å runde ned til 16 stk armaturer i dette rommet. Dette vurderes som forsvarlig, og tilfredsstillende for belysningskrav.

Watt per kvadratmeter

For videre beregninger for effektbehov i øvrige romtyper defineres en $[\text{W m}^{-2}]$ som baseres på en belysningsstyrke på 200 [lx]. Det brukes $[\text{W m}^{-2}]$ beregnet fra møterommet og ganger med en faktor for å approksimere en verdi for de øvrige rommene.

Fra møterom 263 beregnet beregnet 16 stk armaturer på 41[W] fortelt på et areal på $7.2[\text{m}] \times 9.2[\text{m}] = 66.24[\text{m}^2]$. Dette brukes til å beregne faktoren som skal multiplisere med og $[\text{W m}^{-2}]$ for møterommet.

$$500 \cdot k = 200 \implies k = 0.4$$

$$\frac{16 \cdot 41}{7.2 \cdot 9.2} \cdot k = 3.96 \approx 4.0[\text{W m}^{-2}]$$

Effektbehov for belysning

For små kontorer er det beregnet 6 stk lysarmaturer per kontor. Selv om det er en del variasjon på størrelsesorden på de små kontorene, er det en del mindre og noen litt større. Derfor vil denne tilnærmingen være tilstrekkelig for å beregne dimensjonerende effekt for belysning.

Effektbehovet for lys på kontorer/møterom på etasjenivå beregnes ut fra antall kontorer og møterom. Dette antallet ganges med watt per armatur og antall lysarmaturer for denne romtypen. Ut i fra dette oppnås disse verdiene for effektbehov for de forskjellige etasjene:

Effektbehov i [W] beregnet fra antall kontorer av ulike typer på etasjenivå

Romtype	Sokkel	1. etg	2. etg	3. etg	4. etg
Små kontorer	5166	6150	4920	5904	5904
Store kontorer	902	2255	2255	1804	1353
Møterom	1968	0	656	656	1968

Det regnes også etasjevis effektbehov for øvrige rom med bruk av $[W m^{-2}]$ som ble beregnet ut i fra lysberegningen på møterom 263:

Arealgrunnlag for beregning av effektbehov i øvrige rom

Etasje	Totalt areal $[m^2]$	Kontorareal $[m^2]$	Øvrig areal $[m^2]$
Sokkel	963.6	544.00	419.60
1. etg	963.6	468.72	494.88
2. etg	963.6	523.30	440.30
3. etg	963.6	556.60	407.00
4. etg	963.6	620.48	343.12

Det trekkes fra arealet for kontorer og møterom og bruker $[W m^{-2}]$ til å beregne øvrige behov for lys.

Beregnet effektbehov for øvrige rom

Etasje	Øvrig areal $[m^2]$	$[W m^{-2}]$	Effekt [W]
Sokkel	419.60	4	1678.40
1. etg	494.88	4	1979.52
2. etg	440.30	4	1761.20
3. etg	407.00	4	1628.00
4. etg	343.12	4	1372.48

Med all denne informasjonen kan beregne total effekt for lys i hver etasje:

Effektbidrag og total effekt per etasje

Etasje	Små kontor [W]	Store kontor [W]	Møterom [W]	Øvrig [W]	Sum [W]
Sokkel	5166	902	1968	1678.40	9714.40
1. etg	6150	2255	0	1979.52	10384.52
2. etg	4920	2255	656	1761.20	9592.20
3. etg	5904	1804	656	1628.00	9992.00
4. etg	5904	1804	1968	1372.48	11048.48

Varmeberegninger

Varmeberegninger Kontor 142

Nøkkelfinfo:

- $U_{vegg} = 0.3$
- $U_{vindu} = 2.4$
- $\Delta\Theta = 40$
- Målte lengder: $3.8[\text{cm}] \times 2.8[\text{cm}] \implies 7.6[\text{m}] \times 5.6[\text{m}]$
- Areal $\approx 42.6[\text{m}^2]$
- Volum $\approx 125.6[\text{m}^3]$

Transmisjonstap

Det er oppgitt U-verdier på både vegger og vinduer. Disse skal brukes til å beregne transmisjonstapet gjennom vegger og vinduer. Det tas utgangspunkt i forholdet som sier at $U = \frac{d}{\lambda}$. En kan regne areal for både vegg og vindu og legge disse sammen for å finne transmisjonstapet gjennom de respektive veggene. Det trengs ikke tas hensyn til de to innerveggene da disse har dimensjonerende innetemperatur vegg i vegg. Slik at $\Delta\Theta = 0$.

Brutto areal for yttervegger:

$$\begin{aligned}A_1 &= 7.6 \cdot 2.95 = 22.42 \\A_2 &= 5.6 \cdot 2.95 = 16.52 \\A_{\text{tot}} &= A_1 + A_2 = 38.94[\text{m}^2]\end{aligned}$$

Areal vinduer 2 stk østlig vegg:

$$2 \cdot 1.8 \times 1.8 = 6.48[\text{m}^2]$$

Netto areal for yttervegger:

$$38.94 - 6.48 = 32.46[\text{m}^2]$$

Nå kan transmisjonstapet for netto veggareal og vindusareal beregnes hver for seg og summes:

$$U \cdot A \cdot \Delta\Theta \implies 0.3 \cdot 32.46 \cdot 40 + 2.4 \cdot 6.48 \cdot 40 \implies 384.52 + 622.08 = 1011.6[\text{W}]$$

Infiltrasjonstap

For dette kontoret er det valgt en litt lavere n -verdi i forhold til bygningens totale n -verdi. Det benyttes en n -verdi på 0.28, da dette kontoret er plassert i det nordlige hjørnet. Denne siden kan potensielt være utsatt for litt mer vær geografisk sett, samt at den har to yttervegger som vil være med å øke denne faktoren noe. I motsetning ligger dette hjørnet noe skjermet til mellom bygningene. n -verdien er satt til en omtrentlig og gjennomsnittlig verdi, da bygningen kan anses plassert i et bebygget strøk. Dette vil senke n -faktoren en del mtp. vindforhold. Det som vil bidra til at denne faktoren vil kunne økes, er alderen på bygget og vestveggen. Varmekapasiteten for luft c settes til 1260 og antall luftskift n regnes om til luftskift per sekund.

Infiltrasjonstapet til rommet beregnes slik:

$$c \cdot n_i \cdot V \cdot \Delta\Theta \implies 1260 \cdot \frac{0.28}{3600} \cdot 125.552 \cdot 40 = 492.16 \approx 492[\text{W}]$$

Dimensjonerende varme

Den totale dimensjonerende varmen til kontor 142 er sammensatt av transmisjonstapet og infiltrasjonstapet. Ventilasjonstapet beregnes ikke på dette nivået.

$$P_t + P_i \approx 1011.6 + 492 \approx 1500[\text{W}]$$

Varmeberegninger på etasjenivå

Varmebehovet skal beregnes på etasjenivå. Følgende antagelser og forbehold er lagt til grunn:

- Sokkeletasje beregnes som om den var helt over bakkenivå.
- Sydveggen beregnes som om ikke lavbygget ("IT syd") ikke var der, da dette skulle rives på sikt. De etasjene som nå er dekket av dette regnes med samme vindu som befinner seg i hhv. 3. og 4. etasje med utsparringsmål $1.50[\text{m}] \times 1.50[\text{m}]$.
- I sokkelen er det en dør, samt en port. Disse regnes som om det hadde vært vinduer tilsvarende de andre etasjene. Det samme gjelder gangbroen i 2. etasje.
- På nordveggen er det en dør i sokkeletasjen, men denne regnes som tilsvarende vinduene i de øvrige etasjene.

Med disse antagelsene og forbehold anses 3. etasje som den mest universale etasjen. Med bakgrunn i dette kan en ta utgangspunkt i samme beregninger for hhv. sokkel samt 1. og 2. etasje. Transmisjonstapet på taket i 4. etasje må tas med i beregningene og det bør gjøres en særskilt beregning etasjen.

Nøkkelinfor 3.etg:

- $U_{vegg} = 0.3$
- $U_{vindu} = 2.4$
- $\Delta\Theta = 40$
- Målte lengder: $32.4[\text{cm}] \times 7.2[\text{cm}] \implies 64.8[\text{m}] \times 14.4[\text{m}]$
- Areal $\approx 933.1[\text{m}^2]$
- Volum $\approx 2762[\text{m}^3]$

Transmisjonstap 3.etg

Vi bruker samme formel for å beregne transmisjonstapet som på kontor 142. Vi starter med å finne brutto areal for yttervegger:

$$2 \cdot (14.4 \cdot 2.95) = 2 \cdot 42.48 = 84.96[\text{m}^2]$$

$$2 \cdot (64.8 \cdot 2.95) = 2 \cdot 191.16 = 382.32[\text{m}^2]$$

$$A_{\text{tot}} = 84.96 + 382.32 = 467.28[\text{m}^2]$$

Areal for vinduer

Vegg	Antall	Utsparing	Areal [m ²]
Nordvegg	1	1.50×1.50	2.25
Sørvegg	1	1.50×1.50	2.25
Østvegg	11	4.30×1.50	70.95
Vestvegg	24	1.80×1.80	77.76
Totalt			153.214

Netto veggareal:

$$467.28 - 153.19 = 314.09[\text{m}^2]$$

Transmisjonstapet for netto veggareal og vindusareal beregnes hver for seg og summeres ved bruk av :

$$U \cdot A \cdot \Delta\Theta = 0.3 \cdot 314.09 \cdot 40 + 2.4 \cdot 153.19 \cdot 40 \implies 3769.08 + 14706.24 = 18475.32 \approx 18475[\text{W}]$$

Infiltrasjonstap 3.etg

n -verdien for bygget er satt til 0.3, som er litt høyere enn på kontor 142. Dette er fordi at bygget i sin helhet er litt mere vindutsatt enn dette kontoret og har vinduer på alle fire vegger. Det er et gammelt bygg og derfor settes denne faktoren litt høyt. Den senkes noe igjen på grunn av at bygningen er skjermet på tre av fire sider for vind. Varmekapasiteten for luft c settes til 1260 og antall luftskift n regnes om til luftskift per sekund.

$$c \cdot n_i c \cdot V \cdot \Delta\Phi \implies 1260 \cdot \frac{0.3}{3600} \cdot 2752.7 \cdot 40 = 11561.34 \approx 11561[\text{W}]$$

Dimensjonerende Varme 3.etg

Den totale dimensjonerende varmen til 3. etasje er sammensatt av transmisjonstapet og infiltrasjonstapet. Ventilasjonstapet beregnes ikke på dette nivået.

$$P_t + P_i \approx 18475 + 11561 \approx 30036[\text{W}]$$

Transmisjonstap 4.egt

Brutto areal for yttervegger er:

$$2 \cdot (14.4 \cdot 2.95) = 2 \cdot 42.48 = 84.96 \text{ m}^2$$

$$2 \cdot (64.8 \cdot 2.95) = 2 \cdot 191.16 = 382.32 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot}} = 84.96 + 382.32 = 467.28 \text{ m}^2$$

Arealet i taket beregnes til:

$$64.8 \times 14.4 = 933.12 [\text{m}^2]$$

Areal for vinduer

Vegg	Antall	Utsparing	Areal [m ²]
Nordvegg	1	1.50 × 1.50	2.25
Sørvegg	1	1.50 × 1.50	2.25
Østvegg	11	4.30 × 1.50	70.95
Vestvegg	24	1.80 × 1.80	77.76
Totalt			153.21

Netto veggareal:

$$467.28 - 153.19 = 314.09 [\text{m}^2]$$

Transmisjonstapet for Netto veggareal, vindusareal og tak beregnes hver for seg og summeres:

$$\begin{aligned} U \cdot A \cdot \Delta\Theta &\implies 0.3 \cdot 314.09 \cdot 40 + 0.2 \cdot 933.12 \cdot 40 + 2.4 \cdot 153.19 \cdot 40 \\ &\implies 3769.08 + 7464.96 + 14706.24 = 25941.28 \approx 25941 [\text{W}] \end{aligned}$$

Infiltrasjonstap 4.etg

n -verdien for 4. etasje er satt til 0.33, som er litt høyere enn i 3. etasje. Begrunnelsen for dette er mer luftskift på grunn av taket.

$$c \cdot n_i \cdot V \cdot \Delta\Phi \implies 1260 \cdot \frac{0.33}{3600} \cdot 2752.7 \cdot 40 = 12717.474 \approx 12717[\text{W}]$$

Dimensjonerende varme 4.etg

Den totale dimensjonerende varmen til 4. etasje er sammensatt av transmisjonstapet og infiltrasjonstapet. Ventilasjonstapet beregnes ikke på dette nivået.

$$P_t + P_i \approx 25941 + 12717 \approx 38658[\text{W}]$$

Varmeberegninger på bygningsnivå

På dette nivået kan summeres varmebehovet fra 4. etasje, og så fra 3.etasje og nedover. På dette nivået skal det også tas hensyn til ventilasjonen. Gjennom oppgavebeskrivelsen tas ikke varmebehovet i kjelleren med i betraktning. Effektbehovet vil likevel bli dekket i den totale beregningen til bygget senere i oppgaven. Først summeres effektbehovet for etasjene:

$$4 \cdot 30036 + 38658 \implies 120144 + 38658 \approx 158.8[\text{kW}]$$

Videre beregnes effektbehovet for ventilasjonen. Det er tre luftutskiftninger per time. Disse gjøres om til $[\text{m}^3/\text{s}]$ og ganges opp med antall etasjer. Følgende utregning legges til grunn:

$$c \cdot \Phi \cdot \Delta\Theta \cdot (1 - \eta) \implies 1260 \cdot \frac{3}{3600} \cdot 2762 \cdot 6 \cdot 40 \cdot (1 - 0.8) \approx 139.2[\text{kW}]$$

Total dimensjonerende effekt for varmebehov sett bort i fra kjelleretasjen blir da $158800 + 139200 = \underline{298[\text{kW}]}$.

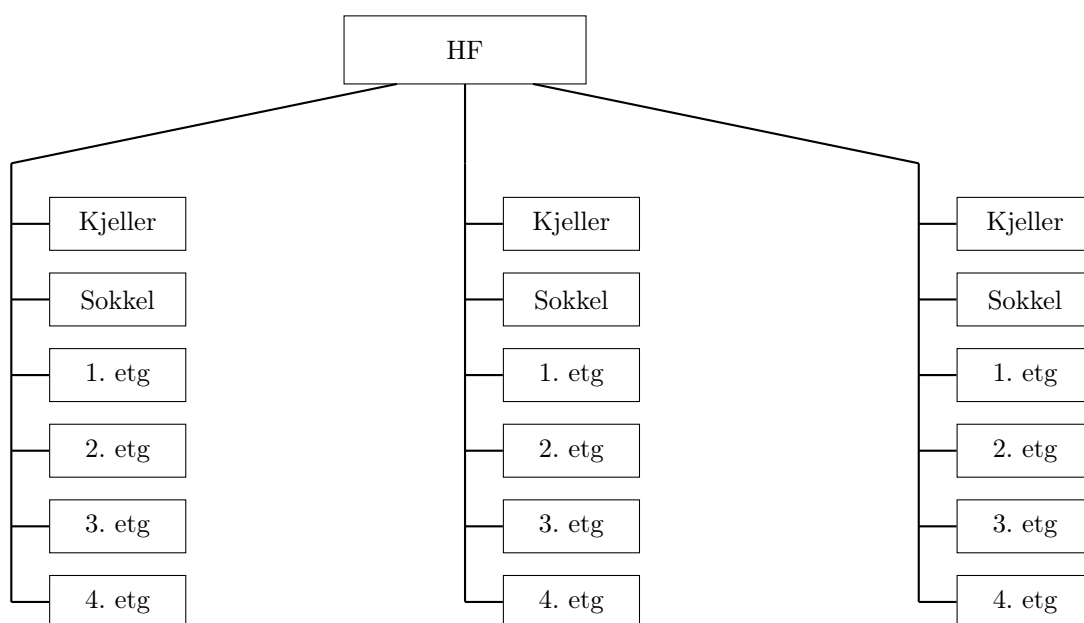
Valg av Nettstruktur

Topologi

Utformingen av bygget må tas i betraktning ved valg av nettstruktur. Bygget er i overkant av 60[m] langt, noe som gjør det uhensiktsmessig å kun benytte én stigesjakt. Det er derfor valgt en kombinert nettstruktur, med stjerne nærmest hovedfordelingen og radiell fordeling videre i de tre stigesjaktene, henholdsvis på hver side av bygget og i midten. Stjernestrukturen nærmest hovedfordelingen er hensiktsmessig for å dele bygget opp i tre hovedseksjoner. Dette bidrar ikke bare til økt driftssikkerhet, men gjør det også enklere å feilsøke og utføre vedlikehold uten at hele installasjonen må frakobles. Strukturen reduserer også tverrsnittet på kablene, da hver gren kun forsyner omtrent en tredel av bygget.

Videre er det benyttet en radiell struktur i hver av stigesjaktene, med skinnefordeling for tilkobling til underfordelinger i hver etasje. Dette reduserer kabelmengden og gir besparelser i materiell. Den radielle strukturen er også en praktisk og robust løsning, da bygget deles naturlig opp etter fysisk plassering. Dette gir enkel montasje og gjør feilsøking og vedlikehold mer oversiktlig.

Oppsummert er fordelingsstrukturen en kombinasjon av stjerne- og radialstruktur. Fra hovedfordelingen er anlegget bygget opp som en stjernestruktur ut til de tre sjaktene, mens videre fordeling skjer radielt i hver av sjaktene. Dette gir en oversiktlig oppbygning av installasjonen, korte og naturlige føringsveie, enklere vedlikehold, feilsøking og mindre spenningsfall. Løsningen gir også redusert spenningsfall og muliggjør lavere dimensjonering. Den er dermed både praktisk og driftssikker.



Fordeling av kurser

Fordelingen av kurser er i hovedsak valgt som funksjonell oppdeling, med topografisk oppdeling for forbrukskurser til kontorer. Oppdelingen er gjort med hensyn til de fysiske føringsveiene, for bedre oversikt med tanke på feilsøking, samt bedre kontroll over lastfordelingen på fasene. Like og kontinuerlige laster kan fordeles jevnere, samtidig som det muliggjør bruk av trefasekurser for å redusere kabelmengde og nødvendig tverrsnitt.

Når kursene for lys er rene lyskurser, kan vi prosjektere anlegget annerledes, både med hensyn til last, fysiske forhold. Føringsveiene er i himlingen, og vi kan benytte stikkontakter for tilkobling uten å måtte dimensjonere for at noen kobler til en betydelig stor pluggbar last på kursen. Dette forenkler dimensjoneringen for lys. Når alt foregår i himlingen, kan også kabellengdene reduseres som en konsekvens, noe som er en fordel med denne inndelingen. Feilsøkingen blir betraktelig enklere når det er rene lyskurser, samt vedlikeholdet. Ved en eventuell ombygging av rom vil en enkelt kunne bygge om belysningen med denne valgte strukturen. Like laster gir jevn lastfordeling og gjør det enkelt å fordele lastene over fasene. Ved høye, og ofte kontinuerlige varmelaster, vil egne varmekurser være gunstige, spesielt med tanke på fasefordelingen. Det åpner opp for bruk av trefasekurser, og styringen blir enklere, samtidig som det kan dimensjoneres etter fast belastning dersom ønskelig. Samtidigheten kan ofte være høy for slike laster, noe som gjør dimensjoneringen lettere og mer hensiktsmessig ved egne varmekurser.

Topografisk inndeling for forbrukskurser er fordelaktig, da det ofte er lav til moderat belastning på slike kurser. Dette gjør at dimensjoneringen av kabler blir enklere, og at et større område kan dekkes per kurs. Noen av fordelene er korte føringsveier, god oversikt og enklere feilsøking. Samtidighet er et begrep som står sentralt her. På kontorer er det ikke alltid belastning, og utstyr står sjelden på samtidig. Fasefordeling kan gjøres enklere, da det er relativt likt fordelte laster, når det kun er den variable belastningen, samt fast utstyr som er tilkoblet. Topografisk inndeling er ikke perfekt fordi det kan oppstå store forskjeller i bruk mellom de ulike seksjonene.

Oppsummert er kursoppsettet valgt som en blanding av funksjonell og topografisk oppdeling for å ivareta både tekniske og praktiske hensyn. Den funksjonelle oppdelingen gir god kontroll over både last og dimensjonering for lys og varme, samtidig som den topografiske inndelingen gir korte føringsveier, god oversikt og fleksibilitet.

Effektbehov

På dette nivået må belastningen i kjelleren også inkluderes. Ut fra oppgavebeskrivelsen kunne en egentlig se bort fra denne. Det velges derimot å inkludere halv effekt i forhold til sokkel for å ha et grunnlag for dimensjoneringen av bygget. Videre, der effekten til kjelleren nevnes, er dette altså en forenklet verdi for beregningsgrunnlaget.

Brutto effektbehov

Oppsummering av effektbidrag per etasje og totalt effektbehov

Etasje	Transmisjon [W]	Infiltrasjon [W]	Lys [W]	Forbrukskurser [W]	Sum [W]
Kjeller	9 238	5 781	4 857	6 802	26 678
Sokkel	18 475	11 561	9 714	13 604	53 354
1. etg	18 475	11 561	10 385	12 625	53 046
2. etg	18 475	11 561	9 592	13 335	52 963
3. etg	18 475	11 561	10 047	13 768	53 851
4. etg	25 941	12 717	11 048	14 598	64 304
Sum	109 079	64 742	55 643	74 732	304 196
Ventilasjon					139 200
Totalt effektbehov					443 396

Netto effektbehov

Fra beregnet total samtidighetsfaktor α beregnes dimensjonerende total effekt for bygget som kan brukes videre i beregningene:

$$\alpha \cdot W_{brutto} \implies 0.9427 \cdot 443396 \approx \underline{417.989[\text{kW}]}$$

Se begrunnelse for den totale samtidighetsfaktoren i delkapittelet *Total samtidighetsfaktor*.

Transmisjon

De oppsummerte transmisjonberegningene for sokkel til og med 3.etg viser et likt transmisjonstap, men øverste etasje får naturlig økt transmisjonstap grunnet en større flate mot utsiden. Her vises følgende tap for de ulike etasjene:

Transmisjonstap per etasje

Etasje	Transmisjonstap [W]
Kjeller	9 238
Sokkel	18 475
1. etg	18 475
2. etg	18 475
3. etg	18 475
4. etg	25 941
Sum	109 079

Infiltrasjon

Oppsummert av lysberegningene vises følgende behov for de forskjellige etasjene:

Infiltrasjonstap per etasje

Etasje	Infiltrasjonstap [W]
Kjeller	5 781
Sokkel	11 561
1. etg	11 561
2. etg	11 561
3. etg	11 561
4. etg	12 717
Sum	64 742

Belysning

Oppsmert for transmisjonsberegningene ser vi at for sokkel til 3.etg har vi likt transmisjonstap, men øverste etasje naturlig får mer transmisjonstap grunnet en større falte mot utsiden. her får vi følgende tap for de forskjellige etasjene:

Lasteffekt fra belysning per etasje

Etasje	Lys [W]
Kjeller	4 857
Sokkel	9 714
1. etg	10 385
2. etg	9 592
3. etg	10 047
4. etg	11 048
Sum	55 643

Forbrukskurser

Av oppgavebeskrivelsen er det gitt en belastning i området $20[\text{W m}^{-2}]$ på forbruksrom, sett bort fra korridorer o.l. Med bakgrunn i dette hentes målte størrelser for areal fra kapittelet *Effektbehov for belysning* for å beregne forbrukslastene for kontorer.

For øvrige rom som korridorer, garderober, WC og boder beregnes det også $[\text{W m}^{-2}]$. I og med at både lys, varme og ventilasjon, samt kontorer er tatt hånd om i ytterligere beregninger, gjenstår en belastning som er relativt liten. Verdien som nå legges til grunn er i all hovedsak basert på erfaringstall, og det tas forbehold om at avvik ved bruk av en slik verdi kan forekomme i øvrige rom. Det er lagt til grunn en dimensjonerende forbrukseffekt på $7 [\text{W m}^{-2}]$. Dette bør være tilstrekkelig for å dekke eventuelt forbruksutstyr, midlertidige belastninger og lignende.

Effektbehov for forbrukskurser per etasje

Etasje	Kontorareal $[\text{m}^2]$	Kontor [W]	Øvrig areal $[\text{m}^2]$	Øvrig [W]	Sum [W]
Kjeller	–	–	–	–	6 802
Sokkel	544.00	10 880	389.10	2 724	13 604
1. etg	468.72	9 374	464.40	3 251	12 625
2. etg	523.30	10 466	409.80	2 869	13 335
3. etg	556.60	11 132	376.60	2 636	13 768
4. etg	620.48	12 410	312.62	2 188	14 598
Sum					74 732

Samtidighet

Varme

Varmedimensjoneringen er gjort ut i fra disse antagelser:

- 21[°C] innetemperatur
- -19[°C] dimensjonerende utetemperatur
- Transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon
- Elektrisk oppvarming

Varmeberegningene er gjort for en kald vinterdag med høy samtidighet for varmeeffekten, det er dette som legges til grunn for å lage samtidighetsfaktor for varmeeffekten. På bakgrunn av dette er det lite grunnlag for å senke samtidighetsfaktoren mye, da det allerede er dimensjonert etter en kald vinterdag. Dette vil si at når disse kalde dagene opptrer, er mange av lastene innkoblet samtidig. Her må også ventilasjonen inkluderes og det presiseres at ventilasjonen forsynes fra egen hovedkurs og vil dermed ikke inngå i beregninger for stigeledninger.

Det er fremdeles noen faktorer som kan være med på å redusere denne faktoren. Dette kan inkludere varmestråling fra mennesker, solinnstrålinger, at noen rom ikke er like utsatt og alle at termostater ikke slår inn samtidig. Disse forutsetningene er derimot ikke noe vi kan dimensjonere etter, men kan være faktorer som reduserer samtidighetsfaktoren.

Med dette som bakgrunn settes samtidighetsfaktoren for varme til 0.95.

$$\alpha_{varme} = 0.95$$

Begrunnelse:

Elektrisk oppvarming gir høy samtidighet, men med noen variasjoner som fører til at ikke alt står på samtidig. Samtidighetsfaktoren valgt for varmeeffekten er relativt stor, men tar høyde for at ikke all effekt ligger innkoblet til samme tid og kontinuerlig. Varmeeffekten er en stor og kontinuerlig belastning ved dimensjonerende last.

Ventilasjon

Basert på antagelser og prosjektgrunnlaget antas det en samtidighetsfaktor for ventilasjonen på:

$$\alpha_{ventilasjon} = 1.0$$

Begrunnelse:

I prosjektgrunnlaget henvises det til en fast mengde luftskift per time, noe som indikerer at luft byttes ut kontinuerlig. Det benyttes et sentralt ventilasjonsaggregat som forsyner hele bygget. Det forutsettes ut fra dette at hele anlegget er i drift ved den dimensjonerende utetemperaturen. Derfor velges det å sette denne faktoren til 1.

Belysning

Samtidigighetsfaktoren for belysningen er valgt til 0.7

$$\alpha_{belysning} = 0.7$$

Begrunnelse:

I et kontorbygg er store deler av belysningen i bruk samtidig. Dette gjelder spesielt i kontorlokaler som har relativt kontinuerlig tilstedeværelse innenfor arbeidstider. Dette tilsier i utgangspunktet en høy samtidigighetsfaktor. Det gjøres antagelser om at deler av belysningen er behovstyrt, slik at enkelte belysningssoner ikke skal stå på unødvendig. Her er det snakk om rom som møterom, korridorer (ikke hovedpulsårer), toaletter og andre sekundærrom. I slike rom er det vanlig å benytte styringssystemer som sørger for at lysene kun er i bruk når det er behov for det. Dette vil redusere den reelle samtidigighetsfaktoren, spesielt i kontorer som ikke er i bruk.

I soner plassert ved vinduer kan dagslysbesparende tiltak også implementeres, men dette er det ikke tatt forbehold om, da det ikke er grunnlag fra oppgavebeskrivelsen å anta noe slikt.

På bakgrunn av dette kan samtidigighetsfaktoren for lyset settes vesentlig lavere enn for varme. Verdien på 0.7 virker å være et realistisk tall og i en forsvarlig størrelsesorden. Denne verdien tar hensyn til høye verdier i arbeidsområder samtidig som den reduseres noe på grunn av sekundærarealer.

Forbrukslaster

Effektgrunnlaget baseres på erfaringstallene 20 [W m⁻²] for kontorarealer og 7 [W m⁻²] for øvrige rom. Disse verdiene brukes som et forenklet lastgrunnlag. Forbrukskursene er i all hovedsak forbruksutstyr som PC-er, skjermer, o.l. maskiner som vanlig kontorutstyr. Ettersom dette er erfaringstall så er disse tallene allerede samtidigighetskorrigert.

Total samtidigighetsfaktor

Samtidigighetsfaktorene fra hvert nivå tas i betraktning, og det brukes følgende formel for å finne den totale samtidigighetsfaktoren til bygget (Hansen & Hansen, 2022):

$$\alpha_{\text{tot}} = \frac{P_{\text{dim}}}{P_{\text{installert}}}$$

Ved korrigert varme, lys og forbrukskurser kan følgende samtidigighetsfaktor brukes:

$$\alpha_{\text{tot}} = \frac{139200 \cdot 1 + 173821 \cdot 0.95 + 55643 \cdot 0.7 + 74732 \cdot 1}{443396} \approx 0.9427$$

Denne verdien er relativt høy sammenlignet med erfaringstallene fra Hansen og Hansen (2022, s.32), men vurderes til et realistisk nivå for dette bygget. Den forhøyede verdien kan forklares med at store deler av belastningene består av elektrisk oppvarming, samt at belysning bidrar til høy samtidigighet da store deler av arealet er belyst til en hver tid når bygget blir brukt. Samtidig bidrar erfaringstallene for

forbrukslastene enormt til dette, da det allerede inkluderer en samtidighetsfaktor i disse tallene. Dette medfører en kunstig høy samtidighetsfaktor sammenlignet med erfaringverdiene i Hansen og Hansen (2022, s.32). Det fremstår derfor som at en samlet samtidighetsfaktor er forsvarlig mtp. store samtidige laster som bidrar til å holde faktoren høy. Særlig ser vi at varme bidrar til dette. Det gjøres en samlet vurdering av bygningens behov og erfaringsdata for at beregningene skal ligge innenfor forsvarlige verdier sammenlignet med erfaringsdata.

Beregninger og dimensjonering

Beregninger og dimensjoneringer av anlegget er i hovedsak utført og dokumentert med verktøyet FEBDOK. Utvalgte deler er derimot regnet for hånd for å vise metode og verifisere beregningsgrunnlaget. Resultatene som er begrenset for hånd benyttes i det følgende for å verifisere resultatene i FEBDOK opp mot teori, samt for å kontrollere forventede nivåene.

Valg av transformator

Det er ikke oppgitt noe grunnlag for samlet effektfaktor i prosjektbeskrivelsen, og denne må derfor fastsettes basert på vurderingen av lasttyper i bygget. Byggets lasttyper består i hovedsak av tre typer belastning: elektrisk oppvarming, belysning og forbrukslaster.

Samlet sett gir dette et lastbilde som domineres av resistive laster og elektronisk utstyr som vil produsere en del overharmoniske strømmer. Det er derfor ikke grunnlag for å anta en lav $\cos(\varphi)$ slik som i installasjoner preget av induktive laster. På bakgrunn av dette er det valgt en samlet effektfaktor på $\cos(\varphi) = 0.9$. Med en definert en $\cos(\varphi)$ kan det beregnes tilsynelatende effekt som igjen vil bestemme størrelsen på transformatoren:

$$\frac{P}{\cos(\varphi)} = S \implies \frac{417989.4}{0.9} = 464432.67 \approx 464.4[\text{kV A}]$$

Fra prosjektgrunnlaget er det vedlagt ett ”transformatordataark” som benyttes for valg av transformator. Det observeres en størrelsesorden på omlag 450 [kV A] og oppover. Valget faller derfor på transformatoren fra ”transformatordataarket” som er en **EcoSmart 630**[kV A]. Det er mulig å beregne en belastningsgrad for å kontrollere denne:

$$\text{Belastningsgrad i \%} = \frac{S_{\text{belastning}}}{S_n} \cdot 100 \implies \frac{464.4 \times 10^3}{630 \times 10^3} \cdot 100 \approx \underline{73.7\%}$$

Dette innebærer at transformatoren er i ideelle forhold innenfor sin nominelle kapasitet, samtidig som det oppnås en hensiktsmessig driftsmargin. En slik margin gir fordelaktig driftssikkerhet og gir en fremtidig fleksibilitet. Samtidig gir dette også rom for eventuelle laster som ikke er eksplisitt dimensjonert i denne oppgaven. Med dette vurderes valget av en 630[kV A] som et robust og fremtidsrettet valg.

Beregninger frem til hovedfordeling

Høyspentsimpedanser

Fra høyspents data oppgitt i prosjektgrunnlaget gis følgende:

Kortslutningsdata for høyspenningsnettet

Parameter	Maks tilstand	Min tilstand
Nettspenning U_n	$c \cdot 11.43[\text{kV}]$	$c \cdot 11.43[\text{kV}]$
Kortslutningsytelse S_k	300[MV A]	150[MV A]
Kortslutningsstrøm I_k	16.669[kA]	7.577[kA]

Her oppgis kortslutningsytelsen, og denne brukes for videre beregninger. Videre beregnes impedanser for høyspentsiden:

$$\begin{aligned} @S_{K,Q,max} : S_{K,Q} &= \frac{c \cdot U_{n,Q}^2}{Z_{K,Q}} \implies |Z_{K,Q}| = \frac{1.1 \cdot (11.43 \times 10^3)^2}{300 \times 10^6} \approx 0.479 \\ @S_{K,Q,min} : S_{K,Q} &= \frac{c \cdot U_{n,Q}^2}{Z_{K,Q}} \implies |Z_{K,Q}| = \frac{1.0 \cdot (11.43k)^2}{150M} \approx 0.871 \end{aligned}$$

Impedansen splittes opp med følgende sammenheng:

$$\begin{aligned} @Z_{K,Q,max} : X_Q &= 0.995 \cdot Z_Q \implies 0.995 \cdot 0.479 = 476.6 \times 10^{-3} \\ R_Q &= 0.1 \cdot X_Q \implies 0.1 \cdot 476.6m = 47.6605 \times 10^{-3} \\ \implies Z_{K,Q,max} &= (47.6605 + j476.6)[m\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} @Z_{K,Q,min} : X_Q &= 0.995 \cdot Z_Q \implies 0.995 \cdot 0.871 = 866.645 \times 10^{-3} \\ R_Q &= 0.1 \cdot X_Q \implies 0.1 \cdot 866.645m = 86.6645 \times 10^{-3} \\ \implies Z_{Q,max} &= (86.6645 + j866.645)[m\Omega] \end{aligned}$$

Transformatorimpedanser

Det er oppgitt fra "transformatordataarket" en $u_z[\%] = 6.1\%$ men ikke $u_r\%$, og derfor må denne utledes fra P_k belastningstap ved $75[^\circ\text{C}]$. Hansen og Hansen (2022) sier at « u_r er en spenning bestemt av ohmske tap i transformatoren [%]». Med bakgrunn i dette brukes definisjonen:

$$u_r = \frac{P_k}{S_n} \implies u_r[\%] = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100 \implies u_r[\%] = \frac{6.3 \times 10^3}{630 \times 10^3} \cdot 100 = \underline{1\%}$$

Videre beregnes impedansen til transformatoren og splitte opp:

$$\begin{aligned}
|Z_{T,+}| &= \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_T} \implies 0.061 \cdot \frac{415^2}{630 \times 10^3} = 16.67575 \times 10^{-3} \\
|R_{T,+}| &= \frac{u_r}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_T} \implies 0.01 \cdot \frac{415^2}{630 \times 10^3} = 2.7337 \times 10^{-3} \\
|X_{T,+}| &= \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \implies \sqrt{(16.67575 \times 10^{-3})^2 - (2.7337 \times 10^{-3})^2} = 16.45 \times 10^{-3}
\end{aligned}$$

$$\underline{Z_{T,+}} = (2.7337 + j16.45e-3)[\text{m}\Omega]$$

Forelesningsmaterialet oppgir følgende sammenheng for nullimpedansen til en transformator:

Nullimpedans for transformator

	D - Y	D-Z , Y-Z	Y - Y
R_0	R_+	$0,4 \cdot R_+$	R_+
X_0	$0,95 \cdot X_+$	$0,1 \cdot X_+$	$(7-100) \cdot X_+$

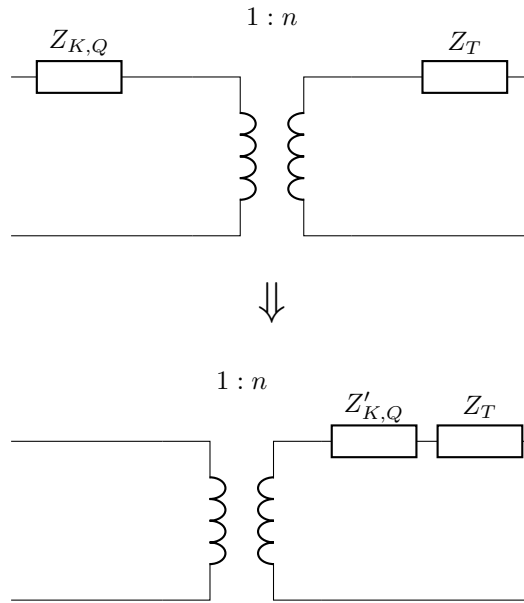
Figur 1: Nullimpedans for transformatorer (Hansen, u.å.)

Ut fra dette beregnes nullimpedansen til transformatoren:

$$\begin{aligned}
Z_{0,T} &\implies R_0 = R_+ \text{ og } X_0 = 0.95 \cdot x_+ \\
&\implies Z_0 = 2.7337 \times 10^{-3} + 0.95 \cdot j16.45 \times 10^{-3} = \underline{(2.7337 + j15.62)[\text{m}\Omega]}
\end{aligned}$$

Slik det er beregnet nå, er en av impedansene på primærsiden. Dette gjøres om til ekvivalenten der $Z_{K,Q,HS}$ flyttes over til sekundærsiden (Irwin mfl., 2022). For dette behøves omsetningsforholdet på transformatoren, som er definert som $\frac{V_1}{V_2}$:

$$\frac{V_1}{V_2} \implies \frac{11.43 \times 10^3}{415} = \frac{1}{n} = \frac{2286}{83} \implies n \approx 0.036307$$



Her er $Z_{K,Q}$ flyttet over på sekundærsiden og merket om:

@ $Z_{K,Q,max}$:

$$Z'_{K,Q} = Z_{K,Q} \cdot n^2 \implies 0.036307^2 \cdot (47.6605 \times 10^{-3} + j476.6 \times 10^{-3}) = \underline{(0.0628 + j0.6277)[m\Omega]}$$

@ $Z_{K,Q,min}$:

$$Z'_{K,Q} = Z_{K,Q} \cdot n^2 \implies 0.036307^2 \cdot (86.6645 \times 10^{-3} + j866.645 \times 10^{-3}) = \underline{(0.11425 + j1.14267)[m\Omega]}$$

Skinneimpedanser

Det velges å føre skinnesystem fra transformatoren og videre til hovedfordelingen. Det anslås en lengde på 4[m]. Det velges passende skinne, på bakgrunn av beregninger. Valget falt derfor på en Schneider / Canalis KTA1000 3L+N+PE, med en strømføringssevne på 1000[A]. Følgende impedanser gjelder for denne:

Impedanser for skinnesystemet

Impedansledd	[mΩ m ⁻¹]
r_+	0.057
x_+	0.016
r_0	0.248
x_0	0.103
$r_{0,cpc}$	0.36
$x_{0,cpc}$	0.168

Ut fra dette beregnes skinneimpedansene:

$$@Z_{+,max} : Z_{+,skinne} = r_{skinne} \cdot l + jx_{skinne} \cdot l$$

$$\Rightarrow Z_{+,skinne} = 0.057 \times 10^{-3} \cdot 4 + j0.016 \times 10^{-3} \cdot 4 = \underline{(0.228 + j0.064)[m\Omega]}$$

$$@Z_{+,min} : Z_{+,skinne} = k_{\Theta} \cdot r_{skinne} \cdot l + jx_{skinne} \cdot l$$

$$\Rightarrow Z_{+,skinne} = 1.2 \cdot 0.057 \times 10^{-3} \cdot 4 + j0.016 \times 10^{-3} \cdot 4 = \underline{(0.2736 + j0.064)[m\Omega]}$$

$$@Z_{0,skinne} :$$

$$Z_{0,skinne} = k_{\Theta} \cdot r_{0,skinne} \cdot l + jx_{0,skinne} \cdot l$$

$$\Rightarrow Z_{0,skinne} = 1.2 \cdot 0.248 \times 10^{-3} \cdot 4 + j0.103 \times 10^{-3} \cdot 4 = \underline{(1.1904 + j0.412)[m\Omega]}$$

Kortslutningsgrunnlag i hovedfordeling

Oppsummering av impedanser frem til hovedfordeling

Impedanser[mΩ]	
$Z'_{K,Q,max}$	$0.0628 + j0.6277$
$Z'_{K,Q,min}$	$0.11425 + j1.14267$
$Z_{+,T}$	$2.7337 + j16.45$
$Z_{0,T}$	$2.7337 + j15.62$
$Z_{+,skinne,max}$	$0.228 + j0.064$
$Z_{+,skinne,min}$	$0.2736 + j0.064$
$Z_{0,skinne}$	$1.1904 + j0.412$
$Z_{+,kmax,tot}$	$3.0245 + j17.1417$
$Z_{+,kmin,tot}$	$3.12155 + j17.65667$
$Z_{0,tot}$	$3.9241 + j16.032$

Kortsluttspenningene i hovedfordelingen er beregnet i FEBDOK, og resultatene er vurdert opp mot beregnede verdier for impedanser oppstrøms. Det er her tatt hensyn til høyspent-, transformator- og skinneimpedanser. Beregningene fra FEBDOK og manuelt stemmer godt.

Feiltilfelle	I_k k[A]	$\cos(\varphi)$
Ik3p maks	14.553	0.174
Ik2p min	9.989	0.174
Ijfl1p maks	14.74	0.198
If1p min	11.789	0.203

Valg av hovedsikring

Etter den fastsatte belastningen skal det nå velges et passende vern for installasjonen. Først beregnes strømmen:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \implies I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{464.4 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} \approx 745[\text{A}]$$

Det er denne strømmen hovedsikringen må dimensjoneres etter. I og med at vi er godt innenfor belastningen på transformatoren og for å ta hensyn til eventuelle forhold denne prosjektoppgaven ikke dekker velges det derfor en betydelig større effektbryter med merkestrøm på 1000[A]. Vernet kan med dette justeres til ønsket I_r , som her settes til 900[A]. Dette gir et handlingsrom med tanke på fremtiden, da det gir rom for eventuelle utvidelser som skulle komme eller ikke er tatt hensyn til i denne oppgaven.

Videre må vernet kontrolleres opp mot den maksimale kortslutningsstrømmen det kan bli utsatt for. Det velges her å dimensjonere vernet etter maksimal kortslutningstrøm i hovedfordelingen som er beregnet i FEBDOK, da dette er den strømmen vernet skal takle og bryte. Med en bryterevne på $I_{cs} = 37.5[\text{kA}]$ sjekkes denne verdien opp mot I_{kmax} i henhold til *NEK 400* (2022) 533.3.2:

$$I_{cn} \geq I_{jfl1pmax} \implies 37.5[\text{kA}] \geq 14.74[\text{kA}] \quad \textbf{Kravet er oppfylt}$$

Med disse beregningene lagt til grunn velges det et vern av typen:

SCHNEIDER: NS1000N; 1000 A/1000 A; N; MICROLOGIC 5.0 E

Dimensjonering av stigeledning

For håndberegningsgrunnlag er det gjort utvalgte forenklinger og dimensjoneringsforutsetninger for å etablere et håndterbart og konsistent beregningsgrunnlag. Forutsetningen vurderes som faglig forsvarlig basert på bygget geometri og plassering av stigesjaktene. Følgende forutsetninger er lagt til grunn:

- Belastningen antas jevnt fordelt utover bygget, slik at det kan benyttes $1/3$ av belastningen for bygget, eksklusive ventilasjonen per stigeledning i hver stigesjakt.
- Det er lagt til grunn en effektfaktor på $\cos(\varphi) = 0.9$
- Temperatur forutsettes innenfor standardberegningsgrunnlag, slik at ikke korreksjonsfaktor gir dimensjonerende avvik.
- Forlegningsmåte: flerlederkabel forlagt i ledningskanal i plan med gulv som antatt som verst mulige tilfelle.

Korreksjonsfaktorer

Følgende korreksjonsfaktorer legges til grunn:

Overharmoniske strømmer

Det legges til grunn et moderat til høyt innhold av overharmoniske strømmer, anslått til 30 %. Dette begrunnes med at anlegget består av LED-belysning og mye kontorutstyr som bidrar til dette, men som Hansen og Hansen (2022) sier, er dette et vanskelig tall å anslå da det i stor grad baserer seg på erfaring. Grunnlaget er anslått og begrunnet og velges ut fra dette med hensyn på dimensjonering og for å vise metodeforståelse. Fra *NEK 400* (2022) 52D-1 gir dette en korreksjonsfaktor $k_o = 0.86$.

Dimensjonering av kabelverrsnitt

Fra videoene fra rom K54 ser det ut som at stigeledninger har føringsvei i en ledningskanal i plan med gulvet, og at kanalen er av et slikt kaliber at nærføringer kan ses bort fra i henhold til *NEK 400* (2022) 52B-17-MERKNAD 2. I *NEK 400* (2022) 52A-2 rad 50 henvises det til forlegningmetode B2. Videre henviser *NEK 400* (2022) 52B-1 til Tabell 52B-5 for strømføringssevner, 52B-14 for temperaturkorrigeringer og 52B-17 for grupperedukjonsfaktorer.

Ut fra tabellen i *NEK 400* (2022) 52B-5 for 3-belastede ledere med PEX eller EPR-isolerte kabler, velges en passende kabel. Dette vil gi følgende sammenheng for dimensjonering av ledertverrsnitt basert på kravet i *NEK 400* (2022) 533.2.1 som gjelder for bestemmelse av lederevne $I_b < I_z$:

$$I_b < k \cdot I_z \implies I_b < k_o \cdot I_z$$

Dimensjoneringsgrunnlaget beregnes ut fra gitte forutsetninger:

$$\frac{(173821 \cdot 0.95 + 55643 \cdot 0.7 + 74732 \cdot 1)}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} \approx \frac{278812}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} \approx 447 [\text{A}]$$

$$\frac{447}{3} = \underline{149 [\text{A}]}$$

Formelen omskrives for lettere å kunne teste opp mot tabell:

$$\frac{I_b}{k_o < I_z} \implies \frac{149}{0.86} < I_z \implies 173.2 < I_z$$

Fra *NEK 400* (2022) 52B-5 avleses det at følgende ledertversnitt tilfredsstiller beregningene:

$$\underline{150mm^2_{al} = 240[A]}$$

Den faktiske strømføringsvevnen beregnes til:

$$k_o \cdot I_z = I'_z \implies 0.86 \cdot 240 \approx \underline{206[A]}$$

Ved denne konfigurasjonen opprettholdes kravet i *NEK 400* (2022) 533.2.1, samtidig som det gis slingringsmonn for valg av vernstørrelse:

$$149[A] \leq I_n \leq 167.3[A]$$

Kabelen må også sjekkes opp mot spenningsfall:

$$\begin{aligned} \Delta u\% &= \frac{P \cdot l}{U^2} (r + x \cdot \tan(\varphi)) \cdot 100\% \\ &\implies \frac{278812 \cdot 51}{400^2} \cdot (1.28 \cdot 0.206 \times 10^{-3} + 0.09378 \times 10^{-3} \cdot \tan(\arccos(0.9))) \cdot 100 = 2.7\% \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Valg av vern

Basert på krav 1 fra *NEK 400* (2022) 533.2.1 passer det fint med et vern med merkestrøm på 160[A]. Samtidig må dette sjekkes opp mot krav 1 og 2:

$$149[A] \leq 160[A] \leq 167.3[A] \quad \mathbf{Kravet\ er\ oppfylt}$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \implies 1.2 \cdot 160 \leq 1.45 \cdot 206 \quad \mathbf{Kravet\ er\ oppfylt}$$

Basert på dette velges det vern av typen effektbryter SCHNEIDER: NSX160-160A-B-Micrologic 7.2 E. Dette kan ses nærmere i FEBDOK-dokumentasjonen.

Bryterevnen på vernet må også sjekkes. Fra *NEK 400* (2022) 533.3.2, stilles det krav om at $I_{cn} \geq I_{kmax}$ og sjekkes opp mot verdien for vernet:

$$I_{cs} \geq I_{jf1pmax} \implies 25000 \geq 14740 \quad \mathbf{Kravet\ er\ oppfylt}$$

Kabelimpedanser

- Lengde total: 51[m] + 2[m]
- Lengde til første underfordleing: 36[m]
- Kabeldimensjon: 4x150[mm²]

Følgende impedanser er oppgitt for kabelen og endledere:

IFSI Al 4x150/41 Al

Impedanser [mΩ/m]	
R_+	0.206
X_+	0.09378
R_{0N}	0.824
X_{0N}	0.31703
$R_{0,cpc}$	1.6136
$X_{0,cpc}$	0.08387

RK10

Impedanser [mΩ/m]	
R_+	1.83
X_+	0.11406
R_{0N}	7.32
X_{0N}	0.39818
$R_{0,cpc}$	7.32
$X_{0,cpc}$	0.48528

Kabellengden er basert på målte lengder på plantegningen fra hovedfordelingen til stigesjakt i enden og opp til siste forgrening. Med dette kan kabelimpedansene beregnes slik:

$$@Z_{+,kabel,kmax,subtot} : Z_{+,kabel} = r_{kabel} \cdot l + jx_{kabel} \cdot l$$

$$\Rightarrow Z_{+,kabel} = 0.206 \times 10^{-3} \cdot 36 + j0.09378 \times 10^{-3} \cdot 36 = \underline{(7.416 + j3.37608)[m\Omega]}$$

$$@Z_{+,kabel,kmax} : Z_{+,kabel} = r_{kabel} \cdot l + jx_{kabel} \cdot l$$

$$\Rightarrow Z_{+,kabel} = 0.206 \times 10^{-3} \cdot 51 + j0.09378 \times 10^{-3} \cdot 51 = \underline{(10.506 + j4.78278)[m\Omega]}$$

$$\begin{aligned} @Z_{+,kabel,kmin} : Z_{+,kabel} &= k_{\Theta} \cdot r_{+,kabel} \cdot l + jx_{+,kabel} \cdot l \\ \implies Z_{+,kabel} &= 1.28 \cdot 0.206 \times 10^{-3} \cdot 51 + j0.09378 \times 10^{-3} \cdot 51 = \underline{(13.44768 + j4.78278)[\text{m}\Omega]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} @Z_{0,kabel} : Z_{0,kabel} &= k_{\Theta} \cdot r_{0,kabel} \cdot l + jx_{0,kabel} \cdot l \\ \implies Z_{0,kabel} &= 1.28 \cdot 0.824 \times 10^{-3} \cdot 51 + j0.31703 \times 10^{-3} \cdot 51 = \underline{(53.79072 + j16.16853)[\text{m}\Omega]} \end{aligned}$$

Det benyttes temperaturkorreksjon for minimalstrøm på grunn av PEX isolert kabel:

$$R_{\Theta} = R_{20^{\circ}\text{C}}[1 + 0.004(\Theta - 20^{\circ}\text{C})] \implies k_{\Theta} = 1.28$$

Det beregnes også impedanser for enledere frem til siste underfordeling:

$$@Z_{+,kmax} : r_{+} \cdot l + jx_{+} \cdot l \implies 1.83 \times 10^{-3} \cdot 2 + j0.11406 \times 10^{-3} \cdot 2 = \underline{(3.66 + j0.22812)[\text{m}\Omega]}$$

$$@Z_{+,kmin} : k_{\Theta} \cdot r_{+} \cdot l + jx_{+} \cdot l \implies 1.2 \cdot 1.83 \times 10^{-3} \cdot 2 + j0.11406 \times 10^{-3} \cdot 2 = \underline{(4.392 + j0.22812)[\text{m}\Omega]}$$

$$@Z_{0,kmin} : k_{\Theta} \cdot r_0 \cdot l + jx_0 \cdot l \implies 1.2 \cdot 7.32 \times 10^{-3} \cdot 2 + j0.39818 \times 10^{-3} \cdot 2 = \underline{(17.568 + j0.79636)[\text{m}\Omega]}$$

Oppsummering av beregnede impedanser

Impedanser [mΩ]	
$Z_{+,kabel,kmax,subtot}$	$7.416 + j3.37608$
$Z_{+,kabel,kmax}$	$10.506 + j4.78278$
$Z_{+,kabel,kmin}$	$13.44768 + j4.78278$
$Z_{0,kabel}$	$53.79072 + j16.16853$
$Z_{+,enleder,kmax}$	$3.66 + j0.22812$
$Z_{+,enleder,kmin}$	$4.392 + j0.22812$
$Z_{0,enleder,kmin}$	$17.568 + j0.79636$

Kortslutningsberegninger

Det beregnes en I_{k3pmax} i første underfordeling, da dette er den kortslutningstrømmen som vernet i underfordelingen skal ha tilstrekkelig bryterevne for:

$$\begin{aligned} @I_{k3pmax,UF} : I_{k3pmax} &= \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \\ \Rightarrow \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(3.0245 \times 10^{-3} + 7.416 \times 10^{-3})^2 + (17.1417 \times 10^{-3} + 3.37608 \times 10^{-3})^2}} &\approx 11034[\text{A}] \end{aligned}$$

Videre beregnes de andre kortslutningstrømmene i enden av hovedkursen slik:

$$\begin{aligned} \Sigma Z_{kmax} &= Z_{+,kabel,kmax} + Z_{+,endleder,kmax} + Z_{oppstrms,kmax} \\ &= (10.506 + 3.66 + 3.0245) \times 10^{-3} + j(4.78278 + 0.22812 + 17.1417) \times 10^{-3} \\ &= \underline{(17.1905 + j22.1526)[\text{m}\Omega]} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \Sigma Z_{kmin} &= Z_{+,kabel,kmin} + Z_{+,endleder,kmin} + Z_{oppstrms,kmin} \\ &= (13.44768 + 4.392 + 3.12155) \times 10^{-3} + j(4.78278 + 0.22812 + 17.65667) \times 10^{-3} \\ &= \underline{(20.96123 + j22.66757)[\text{m}\Omega]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Z_0 &= Z_{0,kabel} + Z_{0,endleder} + Z_{0,oppstrms} \\ &= (53.79072 + 17.568 + 3.9241) \times 10^{-3} + j(16.16853 + 0.79636 + 16.032) \times 10^{-3} \\ &= \underline{(75.28282 + j32.99689)[\text{m}\Omega]} \end{aligned}$$

$$I_{k3pmax} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(17.1905 \times 10^{-3})^2 + (22.1526 \times 10^{-3})^2}} \approx 9060[\text{A}]$$

$$I_{k2max} = \frac{c \cdot U}{Z_+ + Z_-} = \frac{1.1 \cdot 400}{2 \cdot \sqrt{(17.1905 \times 10^{-3})^2 + (22.1526 \times 10^{-3}m)^2}} \approx 7846[A]$$

$$I_{k2pmin} = \frac{c \cdot U}{Z_+ + Z_-} = \frac{0.9 \cdot 400}{2 \cdot \sqrt{(20.96123 \times 10^{-3})^2 + (22.66757 \times 10^{-3})^2}} \approx 5830[A]$$

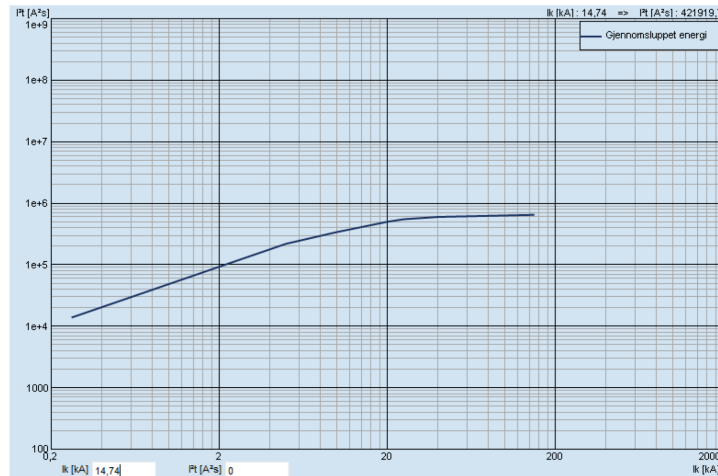
$$I_{k1pmin} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U}{Z_+ + Z_- + Z_0}$$

$$\Rightarrow \frac{0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{((2 \cdot 20.96123 + 75.28282) \times 10^{-3})^2 + (((2 \cdot 22.66757 + 32.99689) \times 10^{-3})^2)}} \approx 4423[A]$$

Fra innstillingene på vernet som beskytter hovedstrømskursen observeres det at vernet vil løse ut momentant i I_{k1pmin} -tilfellet. Det sjekkes for gjennomsluppet energi for I_{k3pmax} , da kurven er monotont stigende, i henhold til *NEK 400* (2022) 533.3. Det hentes k -verdi for ledere fra *NEK 400* (2022) Tabell 53A og leses av fra tabellen for I^2t :

$$(I^2t) \leq k^2 S^2 \implies 421920 \leq 94^2 \cdot 150^2 \text{ og } 421920 \leq 115^2 \cdot 6^2 \quad \text{Kravet er oppfylt}$$

SCHNEIDER: NSX160; 160 A/160 A; B; Micrologic 7.2 E



Figur 2: Gjennomsluppet energi for NSX160

Det sjekkes samtidig ut om enlederen takler gjennomsluppet energi, selv om dette er maksimal kortslutningstrøm i hovedfordelingen kan denne verdien brukes for å kontrollere dette. Hvis enledere takler denne strømmen, vil de også takle strømmene lengre ut i kursen.

Alle krav som skal til for å dimensjonere den utvalgte hovedkursen er nå dekket og innenfor de aktuelle

kravene.

Dimensjonering av utvalgt kurs

Det er valg å dimensjonere en forbrukskurs i 4.etg og følgende forutsetninger er lagt til grunn:

- Belastningen antas jevnt fordelt utover bygget, slik at det kan benyttes 1/3 av belastningen per stigeledning i hver stigesjakt.
- Det er lagt til grunn en effektfaktor på $\cos(\varphi) = 0.9$
- Temperatur forutsettes innenfor standard beregningsgrunnlag, slik at ikke korreksjonsfaktor gir dimensjonerende avvik.
- Forlegningsmåte: énlederkabler forlagt i installasjonsrør i en termisk isolert vegg.
- Kursen dekker omlag $90 \text{ [m}^2\text{]}$ med kontorer som har ett behov på $20 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$

Korreksjonsfaktorer

Følgende korreksjonsfaktorer legges til grunn:

Gruppereduksjonsfaktor

Det legges til grunn en gruppereduksjonsfaktor ved to andre paralelle kurser, slik at det oppnås en reduksjonsfaktoren på $k_g = 0.70$ i henhold til *NEK 400* (2022) 52B-17

Dimensjonering av kabeltverrsnitt

Forbrukskursen dekker $70 \text{ [m}^2\text{]}$ noe som gir en belastning på:

$$P_b = 70 \cdot 20 = 1400 \text{ [W]}$$
$$S_b = \frac{1400}{0.7} = 2000 \text{ [V A]}$$

Noe som gir en dimensjonerende strøm på:

$$I_b = \frac{2000}{230} \approx 8.7 \text{ [A]}$$

Etter definert forlegningsmåte det på bakgrunn av dette velges referanseinstallasjonsmetode. Fra *NEK 400* (2022) 52A-2 rad 1 avleses referanseinstallasjonsmetode A1. Videre henviser 52B-1 til 52B-2 for strømføringssevne, 52B-14 for omgivelsestemperatur og 52B-17 for gruppereduksjonsfaktor som er brukt for å finne aktuell reduksjonsfaktor.

Det brukes samme formel for å finne aktuelt ledertverrsnitt for kursen som ved dimensjonering av stigeledning:

$$I_b < k \cdot I_z \implies I_b < k_g \cdot I_z$$

Formelen snus for å teste opp mot tabellverdier slik:

$$\frac{I_b}{k_g} < I_z \implies \frac{8,7}{0,7} < I_z \implies 12,42 < I_z$$

Fra *NEK 400* (2022) 52B-2 er følgende kabeltversnitt tilfredsstillende for beregningene:

$$2,5\text{mm}^2 = 19,5[\text{A}]$$

Dette må sjekkes opp mot spenningsfall, og den faktiske strømføringsvevnen beregnes til:

$$k_g \cdot I_z = I'_z \implies 0,7 \cdot 19,5 = 13,65[\text{A}]$$

Ved denne konfigurasjonen opprettholdes kravet i *NEK 400* (2022) 533.2.1 samtidig som det gis noe slingeringsmonn for valg av vern:

$$8,7[\text{A}] \leq I_n \leq 13,65[\text{A}]$$

Valg av vern

Under bestemmelsen for små tversnitt i *NEK 400* (2022) 533.2.1 må dette også tas hensyn til. Det kan maksimalt benyttes et 16[A] vern i henhold til dette.

Videre basert på krav 1 fra *NEK 400* (2022) 533.2.1 Passer det fint med et vern med merkestrøm på 13 [A]. Dette sjekkes opp mot krav 1 og 2:

$$8,7[\text{A}] \leq 13[\text{A}] \leq 13,65[\text{A}]$$

Kravet er oppfylt

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \implies 1,45 \cdot 13[\text{A}] \leq 1,45 \cdot 13,65[\text{A}]$$

Kravet er oppfylt

Etter *NEK 400* (2022) 411.3.3 skal det for denne kursen installeres en jordfeilbryter, på 30[mA] som beskrevet i *NEK 400* (2022) 415.1. Basert på dette velges det vern av typen jordfeilautomat Acti9 IC60 RCBO 2P 13[A] 30 [mA] C. Dette kan ses nærmere i FEBDOK-dokumentasjonen. Det må også her sjekkes om en befinner seg i momentanutløsningområdet for vernet ved minste kortslutningstrøm, samt at bryteevnen er tilstrekkelig opp mot største kortslutningstrøm.

Bryterevnen på vernet sjekkes. Fra *NEK 400* (2022) 533.3.2, stilles det krav om at $I_{cn} \geq I_{kmax}$ og da dette er definert for bruk av sakkyndig betjening kan det sjekkes opp mot denne verdien for vernet:

$$I_{cn} \geq I_{kmax} \implies 10000 \geq 7850$$

Kravet er oppfylt

Kabelimpedanser

- Lengde: 20[m]
- Kabeldimensjon: PN 3G2.5[mm²]

Det er ikke oppgitt noen konkrete impedansdata for denne kabeltypen i FEBDOK, det benyttes derfor oppgitt kabeldata fra prosjektgrunnlaget for beregninger. Følgende data er oppgitt for denne typen:

PN 2x2.5 Cu	
Impedanser [mΩ/m]	
R_+	7.41
X_+	0.103
R_{0N}	29.64
X_{0N}	0.596

Kabelens lengde er basert på omtrentlige føringsveier for den aktuelle kursen. Det beregnes impedans for denne:

$$\begin{aligned} Z_{+,kabel} : Z_{+,kabel} &= k_{\Theta} \cdot r_+ \cdot l + jx_+ \cdot l \\ \Rightarrow Z_{+,kabel} &= 1.2 \cdot 7.41 \times 10^{-3} \cdot 20 + j0.103 \times 10^{-3} \cdot 20 = \underline{(177.84 + j2.06)[m\Omega]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{0,kabel} : Z_{0,kabel} &= k_{\Theta} \cdot r_0 \cdot l + jx_0 \cdot l \\ \Rightarrow Z_{0,kabel} &= 1.2 \cdot 29.64 \times 10^{-3} \cdot 20 + j0.596 \times 10^{-3} \cdot 20 = \underline{(711.36 + j11.92)[m\Omega]} \end{aligned}$$

Kortslutningsberegninger

Det bygges videre på total impedans fra grunnlaget for kortslutningsberegning:

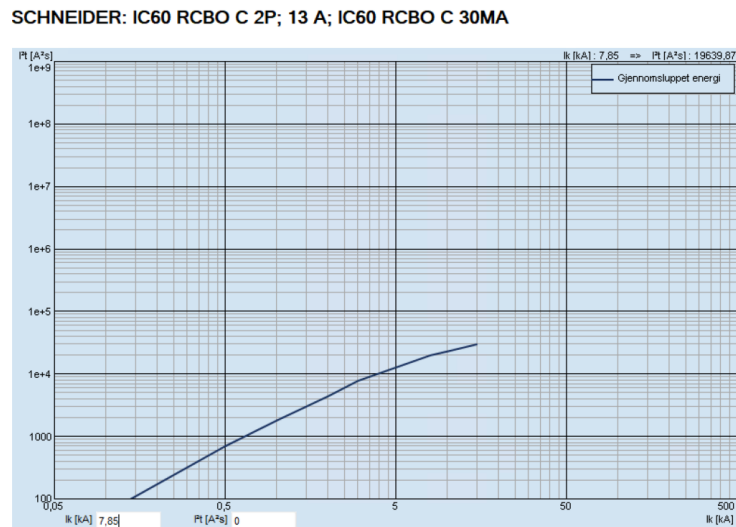
$$\begin{aligned} \Sigma Z_{kmin} &= Z_{+,kabel2,kmin} + Z_{+,kabel1,kmin} + Z_{+,endleder,kmin} + Z_{oppstrms,kmin} \\ &= (177.84 + 13.44768 + 4.392 + 3.12155) \times 10^{-3} + j(2.06 + 4.78278 + 0.22812 + 17.65667) \times 10^{-3} \\ &= \underline{(198.80123 + j24.72757)[m\Omega]} \end{aligned}$$

Fra dette beregnes I_{k1pmin} :

$$\begin{aligned} I_{k1pmin} &= \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U}{|Z_+ + Z_- + Z_0|} \\ &= \frac{0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{((2 \cdot 198.80123 + 786.64) \times 10^{-3})^2 + ((2 \cdot 25.24257 + 44.91689) \times 10^{-3})^2}} \approx 525[A] \end{aligned}$$

1Fra vernets karakteristik vises det at vernet løser ut momentant for denne strømmen, med god margin. Det må da sjekkes for gjennomsluppet energi. Selv om det egentlig er I_{k1pmax} det skal testes mot vil det her være tilstrekkelig å teste for $I_{2pmax} = 7846$ i henhold til NEK *NEK 400* (2022) 533.3, da denne strømmen er større enn I_{k1pmax} og kurven er monotont stigende. Det hentes k -verdi for ledere fra *NEK 400* (2022) Tabell53A og leses av i tabellen for I^2t :

$$(I^2t) \leq k^2 S^2 \implies 19640 \leq 115^2 \cdot 2.5^2 \quad \text{Kravet er oppfylt}$$



Figur 3: Gjennomsluppet energi for IC60 RCBO C 2p 13A

Spenningsfall

Kablen må også sjekkes opp mot spenningsfall:

$$\Delta u\% = \frac{2 \cdot P \cdot l}{U^2} (r + x \cdot \tan(\varphi)) \cdot 100\%$$

$$\implies \frac{2990 \cdot 20}{230^2} \cdot (1.20 \cdot 7.41 \times 10^{-3} + 0.103 \times 10^{-3} \cdot \tan(\arccos(0.7))) \cdot 100 = 2.03\% \quad \text{OK}$$

Det sjekkes for totalt spenningsfall:

$$(1 - \Delta u)_{total} = (1 - \Delta u) \cdot (1 - \Delta u)$$

$$\implies \left(1 - \frac{2.03}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{2.7}{100}\right) \approx 0.95344 \implies (1 - 0.95344) \cdot 100 = \underline{4.673\%}$$

Her havner det totale spenningsfallet på rett under 5%. Dette er i all hovedsak ikke et problem. For det første henviser *NEK 400* (2022) tabell 52F-1 kun til anbefalte verdier. Ikke et konkret krav. For det andre er det her ikke tatt hensyn til noe trinnjustering på transformatoren for å korrigere for et slikt spenningsfall.

Det vurderes derfor dit hen at "Anbefalingen" i Tabell 52F-1 er oprettholdt på bakgrunn av dette.

Alle krav som skal til for å dimensjonere den utvalgte kursen er nå dekket og innenfor de aktuelle kravene.

Referanser

- Belysning*. (u.å.). Arbeidstilsynet. Hentet 16. februar 2026, fra <https://www.arbeidstilsynet.no/arbeidsmiljo/utforming-av-arbeidsplassen/belysning/>
- Hansen, E. H. (u.å.). *Feilstrømmer* [Lysarkpresentasjon]. Blackboard. Hentet 6. april 2026, fra <https://ntnu.blackboard.com/>
- Hansen, E. H., & Hansen, E. H. (2022). *Elektroinstallasjoner* (Utgave 2022). Classica.
- Irwin, J. D., Nelms, R. M., & Irwin, J. D. (2022). *Engineering circuit analysis* (Twelfth edition International adaptation). John Wiley & Sons, Inc. <https://contents.bibs.aws.unit.no/content/?isbn=9781119667964>
- NEK 400* (7. utgave). (2022). Norsk elektroteknisk komite. <https://www.nb.no/search?q=oaiid:%22oai:nb.bibsys.no:999920299909402202%22>