

# **Risiko ved manglende skogrydding i lavspenningsnett**

**Eivind Solvang  
Dag Eirik Nordgård  
Lars Rolfseng**

**April 2004**



**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
NO 939 350 675 MVA

# TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

## Risiko ved manglende skogrydding i lavspenningsnett

SAKSBEARBEIDER(E)

ESo

ØEN

LR

Eivind Solvang, Dag Eirik Nordgård, Lars Rolfseng

OPPDRAGSGIVER(E)

EBL / Energi 1 Follo/Røyken AS

TR NR.

TR A5966

DATO

2004-04-30

OPPDRAGSGIVER(E)S REF.

Kristin Høyland / Eilert Henriksen

PROSJEKTNR.

12X320

ELEKTRONISK ARKIVKODE

PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)

Knut Samdal KSa

GRADERING

Åpen

ISBN NR.

82-594-2656-0

RAPPORTTYPE

FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)

Petter Støa PSt

OPPLAG

60

SIDER

70

AVDELING

Energisystemer

BESØKSADRESSE

Sem Sælands vei 11

LOKAL TELEFAKS

73 59 72 50

RESULTAT (sammendrag)

Det er foretatt en samfunnsmessig vurdering av behovet for skogrydding i lavspenningsnett basert på en vurdering av personsikkerhet, økonomi, leveringskvalitet, miljø/estetikk og omdømme knyttet til manglende rydding. Når det gjelder personsikkerhet er det utført en risikovurdering i relasjon til dagens forskrifter og DSBs tolkning av disse. Følgende tre ryddestrategier er sammenlignet:

- Rydding når tilgroingen er kommet så langt at avstanden mellom vegetasjon og ledning når en gitt minimumsavstand (Gitt avstand).
- Rydding når vegetasjonen nærmer seg et nivå hvor den kan berøre eller i liten grad berører ledningen (Berøring).
- Rydding når vegetasjonen i stor grad berører ledningen (Gjengroing). Innslag av grove greiner som gir mekanisk belastning på ledningen.

Risikoanalysen viser at manglende skogrydding i lavspenningsnett generelt sett ikke representerer en uakseptabel risiko. I boligområder o.l. med blank ledning bør man unngå *gjengroing*. Det er identifisert to hendelser med uakseptabel risiko for kombinasjonen "boligområde – blank ledning – gjengroing". Hendelsene gjelder alvorlig personskade som følge av strømgjennomgang ved direkte berøring av en eller to faser, fortrinnsvis i forbindelse med klatring i trær eller i aluminiumstige som står inntil trær i hager o.l.

Det kan være betydelige kostnader å spare for samfunnet på å tillate at vegetasjonen når *berøring* uten at dette vil medføre særlige ulemper. *Gjengroing* har derimot en rekke ulemper både for nettselskapene og samfunnet for øvrig, og anbefales *ikke* som generell strategi for skogrydding.

## STIKKORD

EGENVALGTE

Skogrydding

Lavspenningsnett

Personsikkerhet

Risiko



## **SAMMENDRAGSRAPPORT**

Det er gjennomført en utredning etter initiativ fra fem nettselskaper med bakgrunn i de pålegg om skogrydding i lavspenningsnett som har vært gitt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Utredningen har hatt som mål å foreta en samfunnsmessig vurdering av behovet for skogrydding i lavspenningsnett basert på en vurdering av personsikkerhet, økonomi, leveringskvalitet, miljø/estetikk og omdømme knyttet til manglende rydding. Når det gjelder personsikkerhet er det utført en risikovurdering i relasjon til dagens forskriftsbestemmelser og DSBs tolkning av disse. Risikoanalysen er gjennomført i henhold til ROS-metoden.

### **Sammenligning av tre aktuelle strategier**

Risikovurderingen har omfattet en sammenligning av følgende tre strategier for skogrydding i lavspenningsnett:

- Strategi 1: *Gitt avstand*: Rydding når tilgroingen er kommet så langt at avstanden mellom vegetasjon og ledning når en gitt minimumsavstand. Tilsvarende dagens forskriftsbestemmelse slik DSB tolker den.
- Strategi 2: *Berøring*: Rydding når vegetasjonen nærmer seg et nivå hvor den kan berøre eller i liten grad berører ledningen.
- Strategi 3: *Gjengroing*: Rydding når vegetasjonen i stor grad berører ledningen. Innslag av grove greiner som gir mekanisk belastning på ledningen.

### **Uønskede hendelser**

Risikovurderingen omfatter 6 uønskede hendelser som følge av manglende skogrydding i lavspenningsnett:

- Strømgjennomgang ved berøring av trær mot line
- Strømgjennomgang pga line som ligger på bakken
- Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser
- Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase
- Fallskade e.l. pga klatring i trær inntil line
- Personskade pga brann i hus o.l. som følge av jordfeil

### **Differensiering mellom ulike typer av områder og nett**

Hva slags eksponering og i hvor stor grad personer eksponeres for fare pga manglende skogrydding vil avhenge av hvilket område ledningen går i. I risikoanalysen er det skilt mellom følgende tre typer av områder:

- *Lite beferdet* område: område med liten eksponering.
- *Beferdet* område: område med middels eksponering.
- *Boligområde*: område med stor eksponering. Dette er områder med hagevegetasjon og stor aktivitet av barn og voksne, inkludert lekeområder.

I tillegg er det skilt mellom områder med blank ledning og områder med isolert ledning (EX hengeledning).

### Vedlikeholdsrydding

Med vedlikeholdsrydding menes her skogrydding som følger en langsiktig plan der skogryddingen gjentas med jevne mellomrom eller etter behov. Når det gjelder *risiko* mht personskade kan resultatene fra analysen vedrørende vedlikeholdsrydding oppsummeres i følgende punkter:

- Risikoanalysen viser at manglende skogrydding i lavspenningsnett generelt sett ikke representerer en *uakseptabel* risiko.
- I boligområder o.l. med blank ledning bør man unngå *gjengroing*. Det er identifisert to hendelser med *uakseptabel* risiko for kombinasjonen ”boligområde – blank ledning – gjengroing”. Hendelsene gjelder alvorlig personskade som følge av strømgjennomgang ved direkte berøring av en eller to faser, fortrinnsvis i forbindelse med klatring i trær eller i aluminiumstige som står inntil trær i hager o.l.
- Risikoen er vurdert å være ”*på grensen*” til *uakseptabel* for noen kombinasjoner av ”blank ledning – berøring/gjengroing”.
- I *lite beferdede* områder er risikoen akseptabel for alle hendelser.
- I områder med *EX hengeledning* er risikoen akseptabel for alle hendelser.

Det kan være betydelige kostnader å spare på å tillate at vegetasjonen når *berøring*.

Samfunnsmessig vil det være riktig å tillate at vegetasjonen når berøring siden gevinsten mht risiko, leveringskvalitet, miljø/estetikk og omdømme er liten ved å rydde oftere.

*Gjengroing* har en rekke ulemper både for nettselskapene og samfunnet for øvrig, og anbefales ikke som generell strategi for skogrydding. Gjengroing bør begrenses til lite beferdede områder med EX hengeledning, eventuelt også i beferdede områder med EX hengeledning.

### Ekstraordinær skogrydding

Med ekstraordinær rydding menes her rydding i etterkant av kraftig uvær eller etter en lang periode hvor man har latt være å rydde. Resultatene fra risikoanalysen gir grunnlag for følgende anbefalinger vedrørende den ekstraordinære skogryddingen som nå initieres av DSB:

- Ut fra en samlet samfunnsmessig vurdering av fordeler og ulemper kan vi ikke se at det er nødvendig for DSB å gi generelle pålegg om skogrydding i lavspenningsnett med de tidsfrister som er gitt.
- I boligområder og andre beferdede områder med blank ledning og gjengroing bør det imidlertid foretas skogrydding i løpet av 1 år.
- For øvrige områder burde nettselskapene og DSB bli enige om en strategi som sikrer at man kommer à jour i løpet av 4-6 år.
- Lite beferdede områder med blank ledning og områder med EX hengeledning bør ryddes til slutt.

Anbefalingen om 1 år skyldes at rydding i slike områder nå bør prioriteres og helst være ferdig innen 1 års tid for at man skal kunne komme à jour for hele nettet i løpet av nevnte 4-6 år.

**Planlegging og gjennomføring**

For å sikre en samfunnsmessig riktig nettforvaltning med hensyn til skogrydding i lavspenningsnett bør nettselskapene utarbeide differensierte strategier og langsiktige planer der ryddingen skal gjentas med jevne mellomrom eller etter behov. Områder med blank ledning bør prioriteres foran områder med EX hengeledning, og boligområder o.l. bør prioriteres foran beferdede og lite beferdede områder.

Det bør etableres systematiske og effektive opplegg for planlegging og gjennomføring av skogrydding som sikrer riktig kvalitet til lavest mulig kostnad. Man må påse at skogryddingen utføres av folk med tilstrekkelig kompetanse.

Det bør legges stor vekt på å få til god dialog med DSB om gode og langsiktige løsninger for skogrydding i lavspenningsnett for alle parter.

Risikoanalyse er et nyttig verktøy i forbindelse med vurdering av riktig strategi for skogrydding. Dokumentasjonen av risiko gir et godt grunnlag for en konstruktiv dialog mellom nettselskaper og tilsynsmyndighet.





## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING .....	9
1.1 MÅLSETTING.....	9
1.2 GJENNOMFØRING .....	9
2 PROBLEMSTILLINGEN.....	11
2.1 HOVEDELEMENTER .....	11
2.2 MYNDIGHETENES REGULERING .....	11
3 FORVALTNINGSPRAKSIS .....	12
3.1 PRAKSIS / STATUS HOS NOEN NETTSELSKAPER.....	12
3.2 PÅLEGG OM LINJERYDDING.....	12
3.3 UTVIKLINGEN DE SISTE ÅRENE.....	13
3.3.1 Personsikkerhet.....	13
3.3.2 Leveringskvalitet .....	14
3.3.3 Oppsummering .....	15
3.4 DSBS VURDERING AV PRAKSIS FØR OG NÅ .....	15
4 RYDDESTRATEGIER.....	16
4.1 TYPE SKOGRYDDING.....	16
4.2 ELEMENTER I EN RYDDESTRATEGI.....	16
4.3 SKOGSTEKNISKE VURDERINGER.....	17
5 RESSURSBRUK VED SKOGRYDDING .....	18
5.1 KOSTNADER PR LØPEMETER .....	18
5.2 KOSTNADER TIL SKOGRYDDING I PERIODEN 2001-2003 .....	19
5.3 KONSEKVENSER FOR INNTEKTSRAMMEN .....	19
6 RISIKO VED MANGLENDE SKOGRYDDING.....	20
6.1 VALGT ANGREPSMÅTE .....	20
6.2 ANALYSEMODELL.....	20
6.2.1 ROS-metoden .....	20
6.2.2 Sannsynlighet for uønskede hendelser.....	21
6.2.3 Konsekvens av uønskede hendelser.....	22
6.2.4 Risiko og akseptkriterier.....	22
6.3 UØNSKEDE HENDELSER (PERSONSKADE).....	23
6.4 FAKTORER SOM PÅVIRKER SANNSYNLIGHETEN.....	25
6.5 STRØMGJENNOMGANG I MENNESKEKROPPEN .....	26
7 ANALYSE AV RISIKO .....	28
7.1 STRATEGIER FOR SKOGRYDDING I LAVSPENNINGSNETT .....	28
7.2 SANNSYNLIGHET FOR AKTUELLE HENDELSER.....	29
7.3 RISIKO FOR AKTUELLE HENDELSER.....	32
8 SAMFUNNSMESSIG VURDERING .....	34
8.1 KOSTNADER.....	34
8.1.1 Skogrydding (vedlikeholdstrydding) .....	34
8.1.2 Reparasjon av skader på luftledning.....	35
8.1.3 Andre kostnader.....	35
8.1.4 Årlige skogryddingskostnader for noen nettselskaper.....	35

8.2	LEVERINGSKVALITET .....	39
8.3	MILJØ/ESTETIKK, OMDØMME.....	39
8.4	SAMLET VURDERING .....	40
8.5	SAMMENLIGNING MED ANDRE TILTAK .....	42
9	EKSTRAORDINÆRE FORHOLD.....	43
9.1	EKSTRAORDINÆR SKOGRYDDING.....	43
9.2	EKSTRAORDINÆRE VÆRPÅKJENNINGER .....	44
10	KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER .....	45
10.1	VEDLIKEHOLDSRYDDING .....	45
10.2	EKSTRAORDINÆR SKOGRYDDING.....	46
10.3	PLANLEGGING OG GJENNOMFØRING .....	46
11	LITTERATURREFERANSER .....	47

## VEDLEGG

V1	MYNDIGHETSKRAV MHT SKOGRYDDING I LAVSPENNINGSNETT.....	51
V1.1	FEA-F §§ 89.13 OG 93.3.....	51
V1.2	MYNDIGHETSKRAV I ANDRE LAND .....	52
V1.2.1	Sverige .....	52
V1.2.2	Finland .....	52
V2	DSBS OG NVES ANSVARSOMRÅDER OG ROLLER .....	53
V2.1	DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP (DSB).....	53
V2.2	NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT (NVE) .....	54
V3	REN-ANBEFALING MHT RYDDING I LAVSPENNINGSNETT .....	55
V4	STRØMGJENNOMGANG I MENNESKEKROPPEN.....	56
V4.1	VIRKNING AV STRØMGJENNOMGANG .....	56
V4.2	KROPPENS TOTALE IMPEDANS .....	58
V4.3	STRØMGJENNOMGANG VED NOEN AKTUELLE TILFELLER.....	62
V4.3.1	Feilfritt 230 V IT nett.....	62
V4.3.2	230 V IT nett med gjennombrent gjennomslagsikring .....	63
V4.3.3	230 V IT nett med stående jordfeil .....	66
V4.3.4	400 V TN nett .....	66
V4.3.5	Oppsummering.....	66
V4.4	FORMLER FOR IMPEDANS, STRØM OG BERØRINGSSPENNING .....	67
V5	LINJEHOGST, UVÆR OG VINDFALL (PREVISTA).....	70

## **1 INNLEDNING**

Utredningen er gjennomført etter initiativ fra fem nettselskaper med bakgrunn i de pålegg om skogrydding i lavspenningsnett som har vært gitt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB).

### **1.1 MÅLSETTING**

Formålet med utredningen er å foreta en samfunnsmessig vurdering av behovet for skogrydding i lavspenningsnett basert på en vurdering av personsikkerhet, økonomi, leveringskvalitet, miljø/-estetikk og omdømme knyttet til manglende rydding. Når det gjelder personsikkerhet skal det gjøres en risikovurdering i relasjon til dagens forskriftsbestemmelser og DSBs tolkning av disse. Vurderingen skal både omfatte den nåværende ekstraordinære ryddingen etter pålegg fra DSB, og vedlikeholdsrydding, dvs. ønsket normaltilstand når det gjelder rydding i lavspenningsnettet.

Det er utviklet en risikomodell for dette formål som vil kunne benyttes også til tilsvarende analyser og vurderinger i nettvirksomheten. Risikovurderingen vil kunne gi nettselskapene et grunnlag for diskusjon med DSB om denne og lignende problemstillinger framover for å få til en god dialog om nettforvaltningen basert på en felles oppfattelse av problemstilling og vurderingskriterier. Dette vil kunne gi nettselskapene forutsigbare rammebetingelser for langsiktige tiltak og investeringer i nettet.

Arbeidet er derfor også relevant i forbindelse med den pågående revideringen av forskriftene for lavspenningsanlegg, blant annet i forbindelse med et eventuelt skille i krav mellom blank og isolert ledning.

### **1.2 GJENNOMFØRING**

Prosjektet er finansiert av EBL, Eidsiva energi AS, Energi1 Follo/Røyken AS, Fortum Distribution AS, Skagerak Nett AS og Viken Nett AS.

SINTEF Energiforskning AS har gjennomført prosjektet i nært samarbeid med en arbeidsgruppe bestående av representanter fra de deltakende selskaper. Arbeidsgruppen har bestått av:

Kai Hoff, Eidsiva energi AS  
Øyvind Solberg, Energi1 Follo/Røyken AS  
Vidar Martiniussen, Fortum Distribution AS  
Tore Salomonsen, Skagerak Nett AS  
Per Luneborg, Viken Nett AS  
Dag Eirik Nordgård, SINTEF Energiforskning AS  
Eivind Solvang, SINTEF Energiforskning AS

Energibransjens fokus på mulige problemer med hensyn til personsikkerhet og leveringskvalitet som følge av trær i ledningstraseer er ikke av ny dato. Figur 1.1 viser en ca 50 år gammel informasjonsplakat som maner til forsiktighet når man skal felle trær som står nært inntil høyspenningsledninger. Trefall på ledningen kunne også den gang føre til uønskede avbrudd. Derfor var det viktig å ta med følgende påminnelse på plakaten: ”Ta ikke strømmen fra kona!”



Figur 1.1 Informasjonsplakat.

## **2 PROBLEMSTILLINGEN**

### **2.1 HOVEDELEMENTER**

På et overordnet nivå er problemstillingen vedrørende vedlikehold og rydding av lavspenningslinjer knyttet til følgende forhold:

- Personsikkerhet
- Økonomi
- Leveringspålitelighet og spenningskvalitet (leveringskvalitet)
- Miljø/estetikk
- Omdømme

I vurderingen av behovet for skogrydding er det hensiktsmessig å skille mellom disse faktorene, selv om man ved praktisk prioritering og planlegging må ta hensyn til helheten gjennom å vurdere samtlige elementer opp i mot hverandre.

### **2.2 MYNDIGHETENES REGULERING**

Myndighetsansvaret for personsikkerhet og leveringskvalitet i elforsyningen ivaretas av to statlige etater: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB – personsikkerhet) og Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE – leveringskvalitet).

Noe av problemstillingen slik nettselskapene ser det, er at det i dag er en uklar rollefordeling mellom DSB og NVE når det gjelder håndteringen av sikkerhet, leveringskvalitet og pålitelighet.

KILE-ordningen er kommet på plass for å gi nettselskapene insentiver for å holde leveringskvaliteten til sluttbrukerne på et samfunnsøkonomisk riktig nivå. I tillegg er det under utarbeidelse en forskrift som regulerer andre forhold ved leveringskvalitet. Begge disse ordningene håndheves av NVE.

Forskriftene DSB håndhever regulerer ulike forhold knyttet til sikkerhet. Direktoratets mål å er å:

- ”Redusere tap av materielle verdier ved at eierne styrer sikkerhetsarbeidet med systematisk helse-, miljø- og tryggleiksarbeid (HMS)
- Sikre pålitelig strømforsyning ved at eierne sørger for systematisk ettersyn, vedlikehold og fornyelse av anleggene.”<sup>1</sup>

Som man ser, kan direktoratene ha et overlapp mht regulering av leveringspåliteligheten, og det er derfor viktig at disse aspektene sees i sammenheng av myndigheter og nettselskap. Dette for at forskrifter og ansvarsfordeling skal være klar. En klargjøring av dette vil gjøre det lettere for nettselskapene å forholde seg til hva som blir regulert av hvilket direktorat.

---

<sup>1</sup> Kilde: [www.dsb.no](http://www.dsb.no)  
12X320

### **3 FORVALTNINGSPRAKSIS**

#### **3.1 PRAKSIS / STATUS HOS NOEN NETTSELSKAPER**

Nettselskapene som har deltatt i arbeidsgruppen har gitt tilbakemelding på at det før 2000 var liten eller ingen fokus fra DSB (og forløperne) sin side mht rydding i lavspenningsnettet.

Nettselskapene gjorde også forholdsvis lite skogrydding i lavspenningsnettet, men det ble likevel foretatt periodisk vedlikehold av nettet. Dette var en praksis bygget på nettselskapenes tolkning av bestemmelsene, herunder et visst fagmessig skjønn med hensyn til risiko.

Rydding ble foretatt for å fjerne mekaniske belastninger fra linjene (større greiner og lignende). Slike ble fjernet når de ble oppdaget / innrapportert.

Etter 2000 ser nettselskapene som deltar i prosjektet et skifte i fokus, bl.a. ved at DSB ikke lenger tillater rydding etter en slik praksis.

#### **3.2 PÅLEGG OM LINJERYDDING**

I 2002/2003 fikk selskapene i Østlandsområdet pålegg om å rydde ledningstraseene i lavspenningsnettet. Pålegg om rydding i høyspenningsnettet kom før dette. Fristene for gjennomføring av ryddingen er satt til høsten 2004 eller årsskiftet 2004/2005.

Nettselskapene er enige i at det må gjennomføres nødvendig skogrydding i ledningstraseer, men man er uenige i at de pålegg og tidsfrister som nå er gitt av DSB vil gi en sikkerhetsmessig gevinst som står i rimelig forhold til innsatsen og kostnadene.

Fristene som er gitt oppleves som et for hardt tidspress på selskapene og medfører etter deres syn at man ikke får gjennomført ryddingen slik man skulle ønske. Nettselskapene anmerker videre at påleggene ikke differensierer mellom ulike deler av nettet eller typer av nett, og at det oppleves som at det ikke er gjort noen risikovurdering mht hva som er mest kritisk. DSB sier imidlertid at selskapene må risikovurdere områdene innenfor den fristen som er gitt. Tidligere har DSB og forløperne oppfordret nettselskapene til å skifte ut blanke ledninger med EX hengeledninger nettopp pga at man har en sikkerhetsmessig effekt av dette.

Nettselskapene opplever også problemer i forbindelse med rydding i villastrøk og lignende grunnet motstridende interesser med grunneiere. Det å få til hensiktsmessige løsninger og kompromisser mht estetikk er prosesser som tar lang tid, og som kan være vanskelig å få gjennomført innenfor de tidsfrister som er gitt.

Nettselskapene stilles derfor spørsmål om dette er en riktig prioritering i forhold til andre sikkerhetstiltak i energiforsyningen.



### 3.3 UTVIKLINGEN DE SISTE ÅRENE

Siden fristene som er gitt for gjennomføringen av linjeryddingen oppleves som kort, så kan det være naturlig å vurdere om nettet er blitt av en slik tilstand at strakstiltak for utbedringer er nødvendig.

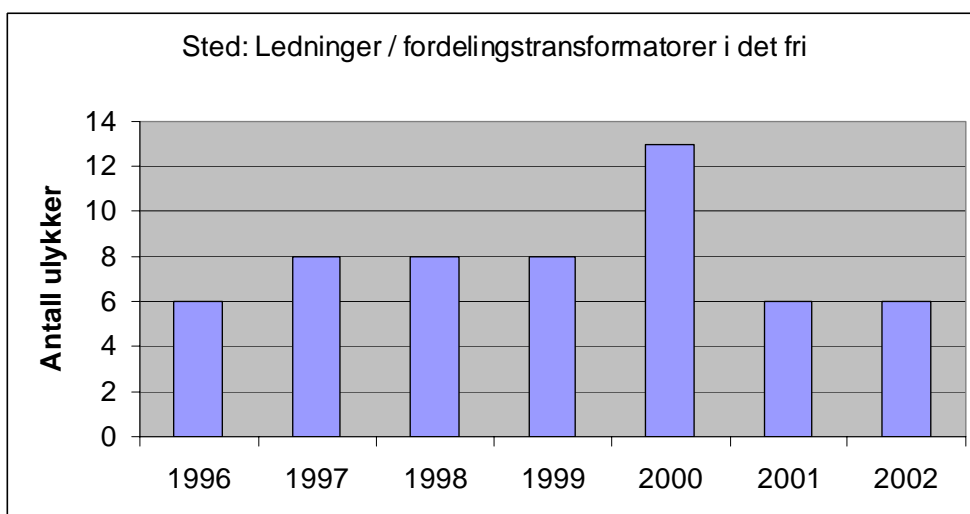
Et kjernespørsmål i denne sammenhengen er om nettselskapene har prioritert kortsiktig økonomisk gevinst på bekostning av sikkerheten i nettet. Det har vært stor fokus på kostnadskutt og effektivisering av nettselskapene de siste årene, og det er betimelig å spørre seg om dette har gått på bekostning av sikkerheten.

Spørsmålet og problemstillingen har også kommet opp i andre land, og bl.a. i Danmark har man gjennomført en undersøkelse for å se hvorvidt dette er tilfelle, [5]. Hovedkonklusjonene fra dette arbeidet er at man ikke kan se noen sikkerhetsmessig effekt av dereguleringen ennå, men at man setter økt fokus på problemstillingen framover.

#### 3.3.1 Personsikkerhet

Lavspenningsnettet er generelt blitt mer gjengrodd de siste årene. Dette er en erkjennelse som nettselskapene deler med DSB. Gjengroing gir økt sannsynlighet for at personer kan komme i berøring med ledningene (blanke liner). Gjengroing vil bl.a. medføre en økt sannsynlighet for berøringsfare og jordfeil som skyldes at grove greiner og trær skader ledningene slik at de faller på bakken. Denne økte sannsynligheten betyr imidlertid ikke at man isolert sett har passert noen grense for akseptabel tilstand i nettet med tanke på personsikkerhet.

Som vist i Figur 3.1 kan man ikke ut fra skadestatistikken se at gjengroingen har ført til en økning i antall personskader som følge av berøring av spenningsførende deler i lavspenningsnettet. Skadestatistikken gir derfor ikke noe belegg for å si at man har passert noen grense mht hva som er akseptabel tilstand i nettet personsikkerhetsmessig.



Figur 3.1 Statistikk for ulykker i lavspenningsnettet (<250 V) – kategori: ledninger og fordelingstransformatorer i det fri. Kilde: Elsikkerhet nr. 63 (2003).

### 3.3.2 Leveringskvalitet

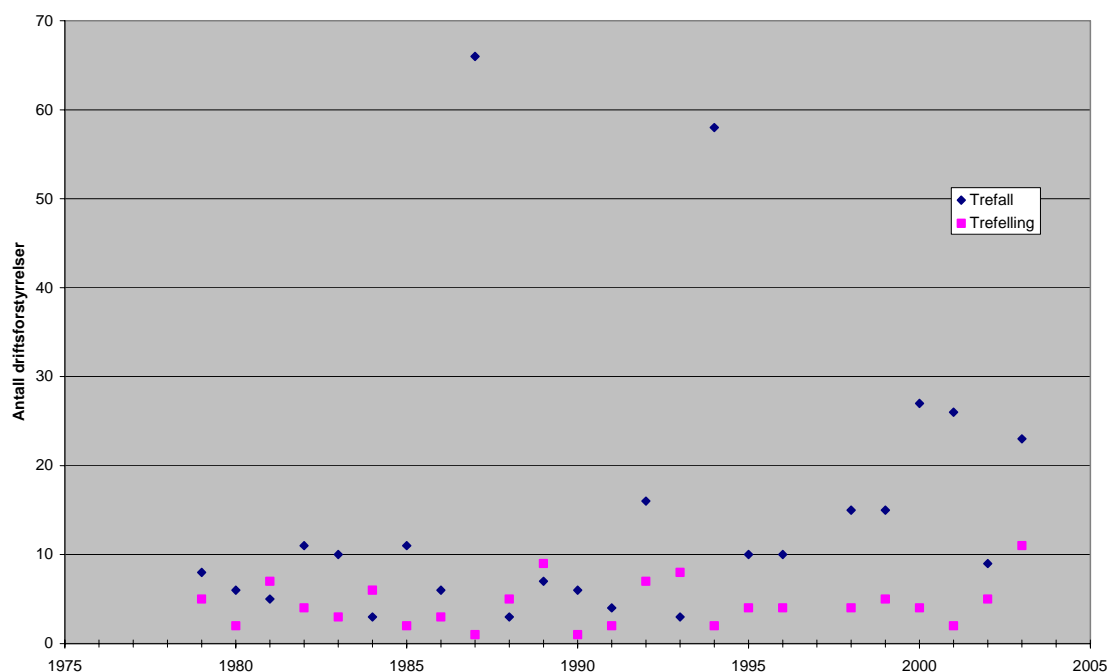
Nettselskapene har ikke rapporteringsplikt overfor NVE i forhold til feil og avbrudd som skyldes hendelser i lavspenningsnettet. På grunn av dette har selskapene i arbeidsgruppen varierende dokumentasjon av leveringskvaliteten i lavspenningsnettet, siden det ikke foreligger noen krav fra myndighetene mht at slike hendelser skal dokumenteres.

Flere selskap tar nå egne initiativ for å dokumentere også feil og avbrudd i lavspenningsnett. Dette vil kunne være et viktig redskap mht å dokumentere tilstanden i eget nett og ha som beslutningsgrunnlag for egne prioriteringer av vedlikeholdstiltak. Ut fra dette kan man sette inn tiltak hvor man ser mest behov for det.

Det generelle inntrykket fra nettselskapene er, uavhengig av dette, at det i dag ikke finnes indikasjoner som tyder på at leveringskvaliteten er blitt dårligere sammenlignet med tidligere.

Årsaker til feil i lavspenningsnettet er typisk sterk vind og tunge snøfall, og dette vil ikke løses med den linjeryddingen som nå er pålagt da vegetasjonen som forårsaker utfall i slike tilfeller som regel står utenfor ryddebeltet (mer enn 1 m fra linjen).

Energi1 Follo/Røyken har registrert driftsforstyrrelser siden 1979. Dette materialet er framstilt i Figur 3.2.



Figur 3.2 Energi 1 Follo/Røyken: Antall driftsforstyrrelser som skyldes trefall/trefelling i perioden 1979 – 2003. NB: Tall fra desember 2003 er ikke med i statistikken



Fram til 2001 gjelder tallene i figuren hendelser fra Ski og Enebakk, mens tallene fra 2002 gjelder for nåværende Energi 1 Follo/Røyken. Sammenslåingen av selskapene innbar en dobling av linjelengden sammenlignet med det opprinnelige fra grunnlaget.

Ut fra figuren kan vi se at noen få år utmerker seg med mange feil (for eksempel 1987 og 1994). Slike spesielle år vil man også ha i framtiden da det å foreta skogrydding med det mål å unngå slike storhendelser, vil føre til en unødvendig ressursbruk uten at man i noe tilfelle oppnår sikkerhet for forsyningen i lavspenningsnettet.

### **3.3.3 Oppsummering**

Ut fra tallgrunnlaget som finnes for personsikkerhet og leveringskvalitet er det lite som tyder på at det er behov for å gjennomføre pålegg om linjerydding med så korte tidsfrister som selskapene nå er pålagt. Økt tilvekst de siste årene pga bedre vekstforhold gjør at nettselskapene i tida framover bør være oppmerksomme på de problemene som gjengroing i lavspenningsnettet innebærer.

## **3.4 DSBS VURDERING AV PRAKSIS FØR OG NÅ**

I prosjektet er det blitt avholdt et møte med representanter for DSB hvor problemstillingene ble diskutert. I det følgende gis det en kort oppsummering av noen av punktene som kom fram i dette møtet. Det presiseres at dette *ikke* er en utfyllende og altomfattende liste, men heller noen synspunkt fra tilsynsmyndighetens side.

- Restruktureringen av bransjen har ført til en svekket bestillerkompetanse hos nettselskap
- Inntektsrammereguleringen har ført til at nettselskapene har endret praksis:
  - Mindre rydding enn før.
  - Mindre vedlikehold enn før (i hvert fall siden 1995).
  - Tidligere hadde selskapene folk som gjorde linjerydding.
  - Nå: Skippertak ved pålegg fra tilsynet.
  - Lite fokus på lavspenningsnettet tidligere. Dette var pga lite avvik (feil/mangler).
  - Tidligere var det vanlig i e-verkene at folk ble brukt for å rydde skog i perioder med lite annen virksomhet. Man har nå fått en omlegging med sterkere fokus mot økonomi, og dette har ført til at systematisk skogrydding falt mellom to stoler.
- Differensiering av nettet i ulike risikokategorier har aksept også innen DSB.
- Samfunnets aksept for avbruddbrudd i strømforsyningen er minkende.

Det er videre startet en prosess mellom DSB og NVE for å avklare ansvarsforhold i forbindelse med reguleringene av sikkerhet/ leveringskvalitet overfor nettselskapene.

## **4 RYDDESTRATEGIER**

### **4.1 TYPE SKOGRYDDING**

Linjeryddingen som nå foretas i Østlandsområdet etter påleggene fra DSB, bærer preg av å være ekstraordinære tiltak for å bringe nettet opp til et gitt nivå. Det er i det videre viktig å skille mellom slike ”skippertak” (ekstraordinær rydding) og det jevne periodiske/tilstandsbaserte vedlikeholdet som skal gjennomføres i nettet (vedlikeholdsrydding). I utformingen av en strategi for skogrydding i lavspenningsnett vil man måtte skille på disse to fasene i linjeryddingen. Det vil være aktuelt å benytte ulike virkemidler for å nå målene i de to tilfellene.

### **4.2 ELEMENTER I EN RYDDESTRATEGI**

Risikoanalysen som er beskrevet i Kap. 7 omfatter en sammenligning av tre aktuelle strategier for skogrydding i lavspenningsnett. Vi har der skilt på nivået på tilgroingen, dvs. hvor ofte skal det gjennomføres skogrydding.

Når det skal utarbeides en konkret og praktisk rettet strategi for skogrydding er det imidlertid en rekke forhold som man bør ta stilling til. I det etterfølgende er det gitt en kort oversikt over noen viktige elementer i den forbindelse på stikkords form.

- Bredde på ryddegate
  - Bør være avhengig av om det er blank line eller belagt line (EX hengeledning).
  - I Finland (400 V) er praksis: 1,0 m for blank line og 0,5 m for EX (se V1.2.2).
- Frekvens på gjentak av rydding
  - Vil avhenge av aktuell gjenvekst i området.
  - Gjenveksten kan stoppes/begrenses ved bruk av midler for dette formål (Round-up).
- Gjennomføring
  - Organisering av arbeidet: skal man bruke eget personell, leie inn firmaer som driver med skogrydding, inngå avtaler med skogeiere o.l.?
  - Foreta opplæring slik at man unngår unødvendige skader på den som rydder, på omkringliggende vegetasjon og på ledningene. Viktig å unngå såkalte vedlikeholdsintroduserte feil. Hvis det benyttes innleide mannskaper må man forsikre seg om at de har nødvendig kompetanse.
  - Vurdere bruk av sikkerhetsutstyr for å unngå skader under gjennomføring. Ta hensyn til at tidspress kan gi økt sannsynlighet for skader.
- Prioritering mellom ulike områder/anlegg
  - De mest kritiske komponentene/linjestrekningene bør prioriteres og gis særlig oppmerksomhet.

- Tabell 4.1 viser et eksempel på prioritering hvor man skiller mellom blank line og isolert line (EX hengeledning), samt type område: tettbygd (beferdet) område kontra landlig (lite beferdet) område.
- Prioriteringen i Tabell 4.1 stemmer med resultatene fra analysene senere i rapporten.
- Eventuell kabling i spesielt utsatte områder
  - Tabell 8.10 viser at ryddekostnadene alene ikke gjør det lønnsomt å skifte til jordkabel, men i visse områder med eldre anlegg kan det likevel være et aktuelt alternativ til videre rydding.

Tabell 4.1 Eksempel på prioritering.

Type / Eksponering	Tettbygd / beferdet område	Land / lite beferdet område
Blank line	Prioritet 1	Prioritet 3
Isolert line (EX)	Prioritet 2	Prioritet 4

### 4.3 SKOGSTEKNISKE VURDERINGER

Skagerak Nett gjør forsøk med å smøre inn kappflaten på stubber med ”Round-up” for å hindre rask gjenvekst. Dette gjelder noen typer lauvskog. Erfaringene så langt er at det gir gode resultater med hensyn til å begrenset gjenveksten. Skagerak Nett skal gjøres sammenligninger mellom linjestrekk hvor man har etterbehandlet stubbene på denne måten, og strekk hvor man ikke har gjort det.

Vedlegg 5 gjengir et notat fra Prevista AS som ble utarbeidet på oppdrag for Energi 1 Follo/Røyken etter uværet i desember 2003. Notatet påpeker problemet med økt risiko for vindfall når kanttrær langs linjenettet fjernes. Dette og andre skogstekniske forhold er viktige å kjenne til når man skal velge riktig strategi for linjerydding i ledningsnett.

## 5 RESSURSBRUK VED SKOGRYDDING

### 5.1 KOSTNADER PR LØPEMETER

Tabell 5.1 viser eksempler på kostnader for skogrydding basert på konkrete jobber som er utført eller tilbud som er innhentet. Med unntak av kostnadene fra Fortum Distribution er oppgitte kostnader gjennomsnittskostnader pr løpemeter lavspenningsledning. Faktisk ryddekostnad pr løpemeter lavspenningsledning som går i skog blir dermed vesentlig høyere. Hvis man antar at kostnadene gjelder for områder der andelen ledning som går i skog er ca 50 % blir ryddekostnadene pr løpemeter i skog ca det dobbelte.

Tabell 5.1 Eksempler på kostnader for skogrydding.

Selskap	Kostnad [kr/m]	Kommentarer
Eidsiva energi	8-10 kr/løpemeter	Kalkulert kostnad uten etterkalkyle.
Energi1 Follo/Røyken	22 kr/løpemeter linje	REN-anbefalingen ligger til grunn. Inkluderer alt fra entreprenør. Dekker evt. dagbøter hvis arbeidet ikke er ferdig innen fristen. Kostnader knyttet til avhending kommer i tillegg.
Fortum Distribution	18 kr/løpemeter linje som går i skog	Baserer seg på innhentet tilbud.
Skagerak Nett	4-6 kr/løpemeter linje	Resulterende meterpris basert på timepris.
Viken Nett	Pr løpemeter linje - by: 20-30 kr/m - by/land: 20 kr/m - land: 8-15 kr/m	REN-anbefalingen ligger til grunn. Kostnadene inkluderer alt, også avhending.

Energi1 Follo/Røyken og Viken Nett har brukt innleid entreprenør til å foreta skogrydding. Skagerak Nett har benyttet innleide lokale krefter, som bønder og en vernet bedrift.

Energi1 Follo/Røyken og Viken Nett gjennomfører rydding basert på anbefalingen fra REN (1 m + 3-5 års tilvekst). REN-anbefalingen for lavspenningsnett er vist i Vedlegg 3.

Erfaringene til Viken Nett så langt er at større ryddeavstand ikke resulterer i mer ”støy” fra grunneiere. Det koster ikke vesentlig mer og ryddingen går minst like fort fordi man får bedre plass til å gjøre jobben.

Prisene viser store variasjoner og kan tyde på at markedet har vært presset og at man følgelig har fått høyere kostnader enn i et upresset marked. Det at ryddingen er presset mht tid, medfører at man i enkelte tilfeller har måttet velge urasjonelle løsninger sammenlignet med at man hadde hatt bedre tid på seg.

## 5.2 KOSTNADER TIL SKOGRYDDING I PERIODEN 2001-2003

Tabell 5.2 viser hvor store kostnader selskapene har hatt til skogrydding i perioden 2001-2003. Tallene i tabellen gjelder både vedlikeholdsrydding og ekstraordinær skogrydding. Kostnadene for 2004 er prognoserte kostnader.

Tabell 5.2 Kostnader til skogrydding i perioden 2001 – 2003.

Selskap	Lavspenning [kkv]				Høyspenning [kkv]			
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004
Energi1 Follo/Røyken	641	790	4940		304	785	6763	
Eidsiva energi					8000	8000	38300	
Fortum Distribution			1580	15000	3000	4000	31800	24000
Skagerak Nett <sup>1</sup>	6000	4500	10500		4000	17500	4500	
Viken Nett					10-15000	10-15000	103000	

<sup>1</sup> Fordelingen mellom lavspenning og høyspenning for Skagerak Nett er grovt stipulerte verdier.

## 5.3 KONSEKVENSER FOR INNTEKTSRAMMEN

Hvis man legger til grunn at reguleringen av nettselskapene følger de samme prinsipper som i innværende og foregående reguleringsperiode, så vil nettselskapenes kostnader fra 3 av årene i en reguleringsperiode inngå i beregningen av hvilke inntekter nettselskapene kan ha i neste periode. Dvs. høye kostnader innen linjerydding i lavspenningsnettet i noen år, vil kunne være med på å gi selskapene høyere tillatte inntekter i neste reguleringsperiode (dvs. større kostnader for nettkundene).

Det foregår for tiden et utredningsarbeid mht hvilken form reguleringen av nettselskapene skal ha fra 2007 og utfallet av dette arbeidet er ennå ikke gitt. Det er likevel rimelig å anta at man kommer ut med en reguleringsmodell som på en eller annen måte også vil gi nettselskapene inndekning for de kostnadene man har (for linjerydding). Sluttregningen vil dermed i alle tilfelle måtte betales av nettkundene. Det er derfor høyst relevant å se på den samfunnsmessige kost/nytteverdien av linjerydding i lavspenningsnettet.

## **6 RISIKO VED MANGLENDE SKOGRYDDING**

### **6.1 VALGT ANGREPSMÅTE**

Vi mener at risikovurderinger må ligge til grunn for utarbeidelsen av en strategi for linjerydding, og at dette vil gi en best mulig samfunnsmessig utnytting av ressurser. Gjennom dette kan man foreta en differensiering mellom ulike deler av nettet med ulik risikoeksponering, og sette inn ressursene der virkningen med hensyn til sikkerhet er størst.

Risikovurderinger innebærer kvalifisert angivelse av sannsynligheter for og konsekvenser av uønskede hendelser, og ut fra dette en vurdering av hvilke risikonivå man har. Dette er et prinsipp som er klart uttalt i "Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter" ('Internkontrollforskriften').

En samfunnsmessig vurdering av hva som er riktig nivå på skogrydding i lavspenningsnett bør basere seg på en samlet vurdering av risiko og kostnader knyttet til ulike strategier for skogrydding. Risikovurderingen som her er utført omfatter primært hendelser som innebærer fare for personskade. Den samfunnsmessig sammenligningen av aktuelle strategier omfatter også en enkel vurdering av leveringskvalitet og miljø/estetikk.

### **6.2 ANALYSEMODELL**

#### **6.2.1 ROS-metoden**

Vi har tatt utgangspunkt i ROS-metoden fra Forskningsråds-programmet "Risiko- Og Sårbarhetsforskning" [1] og tilpasset denne til problemstillinger som gjelder risiko ved manglende skogrydding i lavspenningsnett. HelgelandsKraft har brukt ROS-metoden til å analysere personrisiko knyttet til arbeidsoperasjoner (adferd) i nettet. Viken Nett har gjort en tilsvarende risikovurdering av uønskede hendelser knyttet til nettstasjoner utført som mastearrangement.

ROS-metoden er en forholdsvis enkel risikoanalyse der hensikten er å avdekke aktuelle uønskede hendelser slik at man kan prioritere tiltak der behovet er størst. Analysen tar for seg hendelser som har skjedd og de som ikke har skjedd, men som likevel kan inntreffe en gang i fremtiden. For hver av hendelsene skal man vurdere sannsynlighet og konsekvens. Til slutt utarbeides en handlingsplan med risikoreduserende tiltak, frister og ansvar for oppfølging. Selve risikoanalysen kan bestå av følgende 5 deler [2]:

1. Beskrivelse av analyseobjekt
2. Kartlegging og identifisering av uønskede hendelser
3. Årsaksanalyse av uønskede hendelser, bedømmelse av sannsynlighet
  - Tar utgangspunkt i de uønskede hendelsene som er identifisert, og man prøver ut fra dette å gi en kvalitativ bedømmelse av sannsynligheten for at de ulike enkelthendelsene skal inntreffe

- Bruker fortrinnsvis enkle skalaer: Usannsynlig, lite sannsynlig, mindre sannsynlig, sannsynlig, svært sannsynlig
  - Kan også ha en beskrivende del om årsakskjeder tilpasset det som er målet med risikoanalysen
4. Konsekvensanalyse av uønskede hendelser
- Tar utgangspunkt i de uønskede hendelsene som er identifisert, og man prøver ut fra dette å gi en kvalitativ bedømmelse av konsekvensen for de ulike enkelthendelsene
  - Bruker fortrinnsvis enkle skalaer: ubetydelig, mindre alvorlig, betydelig, alvorlig, svært alvorlig
5. Beskrivelse av risiko og presentasjon av resultater

Risiko knyttet til en hendelse beskrives (kvantifiseres) ved hjelp av en risikomatrise (Tabell 6.1) som produktet av:

- Sannsynligheten for at hendelsen inntreffer, og
- Konsekvensen av hendelsen hvis den inntreffer

Det er utviklet en rekke metoder som anvendes for risikoanalyse. De mest aktuelle er beskrevet i veiledningen [3] til Norsk Standard 5814 (Krav til risikoanalyser). En introduksjon til bruk av risikoanalyse i kraftnett og kraftstasjoner er beskrevet i [7].

## 6.2.2 Sannsynlighet for uønskede hendelser

En mulig uønsket hendelse som følge av manglende skogrydding er strømgjennomgang ved berøring av trær som er i kontakt med spenningsførende del, f.eks. blank line. Når sannsynligheten for denne hendelsen skal vurderes må man starte med å gjøre en årsaksanalyse, dvs finne ut hvilket hendelsesforløp som kan føre til den aktuelle uønskede hendelsen (topphendelsen). Sannsynligheten for topphendelsen blir produktet av sannsynlighetene for enkelthendelsene hvis hendelsesforløpet utgjør en seriestruktur av uavhengige hendelser.

Sannsynligheten kan angis som et tall mellom 0 og 1, eller i henhold til en kvalitativ tilnærming (skala). Det siste er mest hensiktsmessig når man mangler statistikk som gir informasjon om hvor ofte aktuelle hendelser opptrer. I denne rapporten benytter vi følgende kvalitative skala fra [2]:

Tabell 6.1 Kategorier for sannsynlighet/hyppighet.

Sannsynlighet	Kode	Beskrivelse (eks. på tolkning)
Usannsynlig	US	Kjenner ingen tilfeller, men kan ha hørt at det kan ha skjedd andre steder.
Lite sannsynlig	LS	Kjenner ett tilfelle i løpet av en 10 års periode.
Mindre sannsynlig	MS	Skjer årlig. Kjenner til at det har vært enkelttilfeller med kortere varighet.
Sannsynlig	S	Skjer månedlig. Forhold som opptrer i lengre perioder, flere måneder.
Svært sannsynlig	SS	Skjer ukentlig. Forhold som er kontinuerlige til stede i virksomheten.

### 6.2.3 Konsekvens av uønskede hendelser

I denne rapporten benytter vi følgende angivelse av konsekvens av uønskede hendelser fra [2]:

Tabell 6.2 Kategorier for konsekvens.

Konsekvens	Kode	Beskrivelse mht mennesker (eks. på tolkning)
Ubetydelig	UB	Ingen skader på mennesker.
Mindre alvorlig	MA	Tilfelle av skadd/syk. Kortvarig permisjon.
Betydelig	BET	Flere enkelttilfeller av mindre alvorlig skadde/syke. Enkeltstående klager. Merknad i forhold til regler og prosedyrer.
Alvorlig	AL	Flere enkelttilfeller av skadde/syke. Rammer også nøkkelfunksjoner i virksomheten. Klager fra naboer, ansatte og andre berørte. Avvik fra regler og prosedyrer.
Svært alvorlig	SA	Mange alvorlig syke/skadde. Rammer hele virksomheten. Svært mange klager fra naboer og ansatte. Alvorlig avvik fra regler og prosedyrer.

Fare for dødsfall, invaliditet eller langt sykefravær på en enkelt person karakteriserer vi i denne rapporten som ”Alvorlig” konsekvens. Vi har ingen hendelser med ”Svært alvorlig” konsekvens fordi vi tolker denne til å omfatte hendelser som involverer flere/mange personer.

En og samme uønskede hendelse kan ha forskjellige konsekvenser. Eksempelvis kan strømgjennomgang medføre alt fra et forbigående ubehag til i verste fall dødsfall. I risikoanalysen kan det derfor være aktuelt å skille mellom:

- Strømgjennomgang med mindre alvorlig konsekvens (f.eks. lett forbrenning)
- Strømgjennomgang med alvorlig konsekvens (f.eks. dødsfall)

### 6.2.4 Risiko og akseptkriterier

Risiko knyttet til en uønsket hendelse beskrives som produktet av sannsynligheten for at hendelsen inntreffer, og konsekvensen av hendelsen hvis den inntreffer. Når man benytter kvalitative skalaer for sannsynlighet og konsekvens blir risikoen en samlet kvalitativ vurdering av sannsynlighet og konsekvens. Dette ”produktet” vurderes i forhold til hva man oppfatter som f.eks. liten, middels og stor risiko (akseptkriterier).

Tabell 6.3 viser en risikomatrise fra [2] der kombinasjoner av sannsynlighet og konsekvens enten gir ”Akseptabel”, ”Uakseptabel” eller ”På grensen” risiko. Kombinasjoner til venstre for diagonalen har ”Akseptabel” risiko, mens kombinasjoner til høyre for diagonalen har ”Uakseptabel” risiko. Diagonalen representerer kombinasjoner som er ”På grensen” mht risiko.

Når sannsynlighet og konsekvens er analysert kan hver av hendelsene som er undersøkt plasseres i risikomatrisen. I Tabell 6.3 er dette illustrert ved at risikoen knyttet hendelsene 1, 2 og 3 er vurdert til å være henholdsvis ”På grensen”, ”Uakseptabel” og ”Akseptabel”.



Tabell 6.3 Risikomatrise.

Konsekvens Sannsynlighet	Ubetydelig	Mindre alvorlig	Betydelig	Alvorlig	Svært alvorlig
Svært sannsynlig (SS)					
Sannsynlig (S)				Uakseptabel risiko	
Mindre sannsynlig (MS)			På grensen		(Hendelse 2)
Lite sannsynlig (LS)		Akseptabel risiko		(Hendelse 1)	
Usannsynlig (US)				(Hendelse 3)	

Eksempel på risikostyring basert på risikomatrisen:

Uakseptabel risiko: Nødvendig med direkte tiltak

”På grensen” risiko: Til observasjon, ekstra påpasselighet, etc.

Akseptabel risiko: Unødvendig med tiltak

### 6.3 UØNSKEDE HENDELSER (PERSONSKADE)

Risikovurderingen i denne rapporten omfatter 6 uønskede hendelser som følge av manglende skogrydding i lavspenningsnett. Andre årsaker enn manglende skogrydding er derfor ikke med i vurderingen av sannsynlighet for at nevnte hendelser kan opptre. Hver av disse hendelsene kan ha ulike konsekvenser mht skade på personer. Hendelsene er beskrevet i det etterfølgende, inkludert konsekvensene. Konsekvenser forbundet med avbrudd inngår ikke i analysene. Risikovurderingen omfatter ikke materielle skader eller skade på dyr. Virkningen av strømgjennomgang i menneskekroppen er behandlet i Kapittel 6.5 og i Vedlegg 4.1.

#### 1. Strømgjennomgang ved berøring av trær mot line

Gjelder strømgjennomgang ved berøring av trær som er i kontakt med spenningsførende del, f.eks. blank line eller skadet EX hengeledning. Konsekvensen av strømgjennomgang antas her å være:

- Mindre alvorlig skade
- Betydelig skade

#### 2. Strømgjennomgang pga line som ligger på bakken

Gjelder strømgjennomgang ved berøring av spenningsførende del, f.eks. blank line, som har falt ned på bakken som følge av manglende rydding. Konsekvensen av strømgjennomgang antas her å være:

- Mindre alvorlig skade
- Alvorlig skade

3. Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser

Gjelder strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser, fortrinnsvis i forbindelse med klatring i trær som står nært inntil lavspenningsledninger i boligområder o.l. Konsekvensen av strømgjennomgang antas her å være:

- a. Mindre alvorlig skade
- b. Alvorlig skade

4. Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase

Gjelder strømgjennomgang ved berøring av en fase, fortrinnsvis i forbindelse med klatring i aluminiumsstige (god forbindelse til jord) som står inntil trær i hager o.l. Aktuelt ved beskjæring av grener. I slike situasjoner vil vedkommende være en voksen person som i mange tilfeller vil være oppmerksom på faren. Konsekvensen av strømgjennomgang antas her å være:

- a. Mindre alvorlig skade
- b. Alvorlig skade

5. Fallskade e.l. pga klatring i trær inntil line

Gjelder skader som følge av at personer faller ned på bakken etter å ha fått strømstøt under klatring i trær, stige e.l. nært inntil line. Årsaken er at trær står så nært lina at personer kan komme i kontakt med spenningsførende deler under klatringen. Konsekvensen av slike fall antas her å være:

- a. Mindre alvorlig skade
- b. Betydelig skade

6. Personskade pga brann i hus o.l. som følge av jordfeil

Gjelder skader på personer som følge av brann (forbrenning, kvelning) i bygninger med jordfeil der den utløsende årsaken til brannen er at det oppstår en ekstra jordfeil i lavspenningsnettet pga at faseliner faller ned på bakken pga manglende skogrydding. Konsekvensen av brannen antas her å være:

- a. Mindre alvorlig skade
- b. Alvorlig skade

7. Personer skader seg under skogrydding

Gjelder skade på personer som utfører skogrydding. Det kan være skader som følge av strømgjennomgang, fall, kutt, o.l. Konsekvensen av slike skader antas her å være:

- a. Mindre alvorlig skade
- b. Alvorlig skade

## 6.4 FAKTORER SOM PÅVIRKER SANNSYNLIGHETEN

De viktigste faktorene som påvirker sannsynligheten for hendelsene i Kapittel 6.3 er listet opp i det etterfølgende.

- Vegetasjon
  - Avstand til trær/greiner
  - Tilvekst (Skiller her mellom: liten, middels og stor tilvekst)
  - Type vegetasjon (kantskog, underskog, barskog, løvskog, o.l.)
- Terreng, adkomst
  - Lett/ulendt terreng
- Område (bestemmer type og omfang av eksponering)
  - Lite beferdet område
  - Beferdet område
  - Boligområde (områder med hagevegetasjon og stor aktivitet av barn og voksne, inkl. lekeområder)
- Ledningstype
  - Blank ledning
  - EX hengeledning (EX er i utgangspunktet berøringssikker, men kan ødelegges av mekanisk belastning (men fremdeles bedre enn blank ledning))
- Spenningsystem (utkoblingsmekanismer ved feil)
  - 230 V IT (feilfritt, eventuelt med defekt gjennomslagsikring eller stående jordfeil)
  - 400 V TN
  - 230 V TT

## 6.5 STRØMGJENNOMGANG I MENNESKEKROPPEN

### Virkning av strømgjennomgang

Den viktigste dødsårsaken ved strømgjennomgang er hjertekammerflimmer (ventrikkelflimmer), som er en tilstand hvor hjertet ikke pumper blodet rundt i kroppen. Ved strøm gjennom kroppen er faren for hjertekammerflimmer hovedsakelig gitt av strømmens størrelse (amplitude) og dens varighet. I tillegg har det betydning hvor strømmen går i kroppen. Faremomentene ved å berøre spenningssatte komponenter er belyst i Vedlegg 4.1.

### Sannsynlighet for alvorlig strømgjennomgang

Risikovurderingen omfatter følgende tilfeller av strømgjennomgang (jfr Kapittel 6.3):

- Strømgjennomgang ved berøring av trær som er i kontakt med spenningsførende del
- Strømgjennomgang ved berøring av line som ligger på bakken
- Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser
- Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase

Vedlegg 4.3 beskriver hvor stor strømgjennomgang som kan oppstå ved aktuelle tilfeller av indirekte og direkte berøring av spenningsførende deler. Beregningene viser at strømgjennomgang ved berøring av trær som er i berøring med spenningsførende deler i lavspenningsnett ikke er forbundet med personfare.

Berøring av line som ligger på bakken vil kunne gi farlig strømgjennomgang i nett med defekt gjennomslagsikring eller lavohmig jordfeil forutsatt at disse to feilsituasjonene ikke har ført til sikringsutløsning. Sannsynligheten for at manglende skogrydding fører til farlig strømgjennomgang i en slik situasjon vurderes imidlertid til å være liten.

Under skogrydding kan man tenke seg situasjoner der kroppen danner strømmens eneste returvei til jord når treet berører en fase, men dette er lite sannsynlig. I nett med defekt gjennomslagsikring eller lavohmig jordfeil vil en slik situasjon kunne føre til farlig strømgjennomgang.

Det er to situasjoner som representerer reell fare for farlig strømgjennomgang som følge av manglende skogrydding:

- Person står i en stige av ledende materiale og berører spenningsførende del (faseline). Dette kan f.eks. skje i en hage med trær som står nært inntil en lavspenningsledning. I verste fall berører personen to faser.
- Person klatrer i trær som står nært inntil en lavspenningsledning og berører to faser.

Denne faren synes imidlertid å være forholdsvis liten siden erfaringene viser at det ikke har forekommet dødsulykker som følge av manglende skogrydding i lavspenningsnett.

Trær har høy resistans. Det er grunnen til at berøring av trær som er i berøring med spenningsførende deler i lavspenningsnett ikke er forbundet med personfare. Figur 6.1 viser et eksempel på at grantrær har høy resistans og isolerer godt. Begge fasene (blank line) berører et av trærne i forgrunnen og gjennomborer treet til venstre fordi treet har grodd mellom ledningene.



Figur 6.1 Solid berøring mellom blank line og grantrær.

#### Ulykke pga klatring inntil lavspenningsledning

Det vil alltid være en viss sannsynlighet for at manglende skogrydding i lavspenningsnett vil kunne føre til alvorlige ulykker, og da spesielt ved grov uaktsomhet eller uforstand.

12. februar 2002 fikk ei 12 år gammel jente i Rogaland strøm i seg mens hun klatret i et furutre i naboens hage. I følge Aftenposten (3. oktober 2003) ville jenta vise en jevnaldrende venninne hvor tøff hun var da hun klatret opp i et tre som stod inntil ei lavspenningsledning og tok tak i to faser med hendene. Jenta datt tre meter ned på bakken og ble liggende bevisstløs en liten periode. På sykehuset ble det konstatert skrubbsår og lettere brannskader på både ben og armer, men skoleeleven kom fra det hele uten varige mén. Etter ulykken var hun på sykehus ei hel helg, hun var borte fra skolen i over ei uke og kunne ikke ha gym på en måned. Før den alvorlige hendelsen hadde det vært "sport" i lengre tid blant barna i nabolaget å klatre opp i treet og henge i ledningene. Etter ulykken har Lyse Nett skiftet ut ledningen med kabel i bakken.

## 7 ANALYSE AV RISIKO

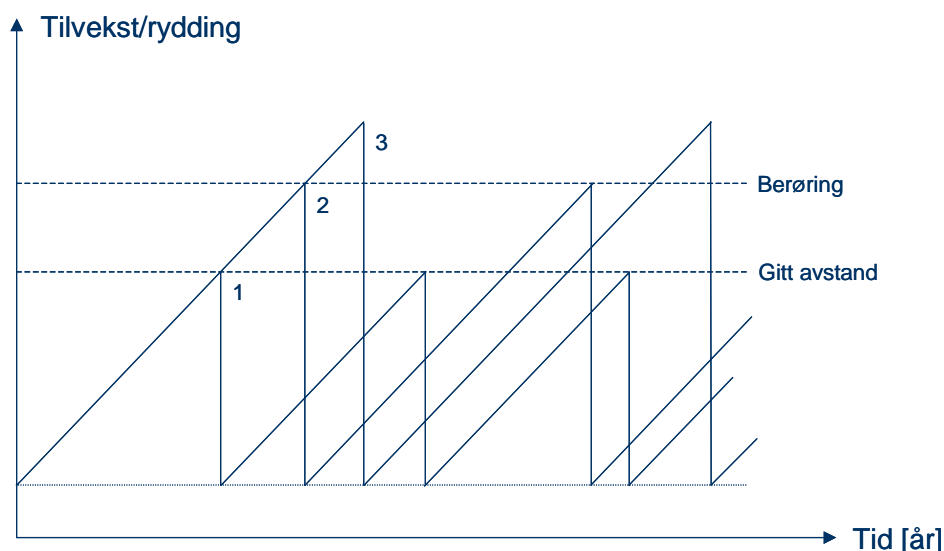
### 7.1 STRATEGIER FOR SKOGRYDDING I LAVSPENNINGSNETT

Risikovurderingen i dette kapitlet og den samfunnsmessige vurderingen i neste kapittel omfatter en sammenligning av tre aktuelle *strategier* for skogrydding i lavspenningsnett. Med strategi for skogrydding mener vi hvordan og hvor ofte man skal rydde i et gitt område.

Vi ser i første omgang kun på *vedlikeholdsrydding*, dvs skogryddingen som følger en langsiktig plan der ryddingen gjentas med jevne mellomrom eller etter behov. Såkalt *ekstraordinær* rydding er kort kommentert i Kapittel 9.1.

Figur 7.1 illustrer de tre strategiene for vedlikeholdsrydding som er sammenlignet i rapporten:

- Strategi 1: "Gitt avstand"  
Rydding når tilgroingen er kommet så langt at avstanden mellom vegetasjon og ledning når en gitt minimumsavstand. Tilsvarende dagens forskriftsbestemmelse slik DSB tolker den.
- Strategi 2: "Berøring"  
Rydding når vegetasjonen nærmer seg et nivå hvor den kan berøre eller i liten grad berører ledningen (minimumsavstand  $\geq 0$ ).
- Strategi 3: "Gjengroing"  
Rydding når vegetasjonen i stor grad berører ledningen (minimumsavstand  $< 0$ ). Innslag av grove greiner som gir mekanisk belastning på ledningen.



Figur 7.1 Tre ulike strategier mht nivå/perioditet på skogryddingen.

Langs tidsaksen ser man illustrert forskjellen i perioditet mellom de tre strategiene.

## 7.2 SANNSYNLIGHET FOR AKTUELLE HENDELSER

Tabell 7.1 og Tabell 7.2 viser en kvalitativ vurdering av sannsynlighet for følgende 6 hendelser beskrevet i Kapittel 6.3:

1. Strømgjennomgang ved berøring av trær mot line
2. Strømgjennomgang pga line som ligger på bakken
3. Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser
4. Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase
5. Fallskade e.l. pga klatring i trær inntil line
6. Personskade pga brann i hus o.l. som følge av jordfeil

Hendelse 7, Personer skader seg under skogrydding, inngår ikke i sammenligningen av strategier for vedlikeholdsrydding, men kommenteres kort i tilknytning til behandlingen av ekstraordinær rydding i Kapittel 9.1.

Tabell 7.1 gjelder blank ledning, mens Tabell 7.2 gjelder EX hengeledning.

Sannsynligheten for uønskede hendelser antas å variere både med valgt ryddestrategi og type område som ledningene går i. Hva slags eksponering og i hvor stor grad personer eksponeres for fare pga manglende skogrydding vil avhenge av aktiviteten i området. Vi skiller her mellom følgende tre typer av områder:

- Lite beferdet område (LB): område med liten eksponering
- Beferdet område (B): område med middels eksponering
- Boligområde (Bo), dvs områder med hagevegetasjon og stor aktivitet av barn og voksne, inkl. lekeområder: område med stor eksponering

Den kvalitative angivelsen av sannsynlighet er i henhold til følgende skala fra [2]:

Usannsynlig (US)  
Lite sannsynlig (LS)  
Mindre sannsynlig (MS)  
Sannsynlig (S)  
Svært sannsynlig (SS)

Hver av de 6 uønskede hendelsene har to utfall (a og b). Hendelse 1 "Strømgjennomgang ved berøring av trær mot line" har følgende to utfall:

- 1a. Mindre alvorlig skade
- 1b. Betydelig skade

Sannsynligheten for hendelse 1a er produktet av sannsynlighetene for delhendelsene 1.1, 1.2 og 1.3, mens sannsynligheten for hendelse 1b er produktet av sannsynlighetene for delhendelsene 1.1, 1.2 og 1.4. I Tabell 7.1 og Tabell 7.2 er dette beskrevet som "Totalt for 1.1, 1.2, 1.3" og "Totalt for 1.1, 1.2, 1.4" for henholdsvis hendelsene 1a og 1b.

Alle hendelser som har minimum en delhendelse med sannsynlighet lik "Usannsynlig" (US) får en samlet sannsynlighet lik "Usannsynlig" (US). Den samlede sannsynligheten blir aldri større enn sannsynligheten for delhendelsen som har den minste sannsynligheten. Sannsynligheten for hendelse 1a for Strategi 2 og Boligområde (Bo) er produktet av S (1.1), S (1.2) og LS (1.3). Samlet sannsynlighet blir i dette tilfellet LS (Lite sannsynlig).

Tabell 7.1 Sannsynlighet for uønskede hendelser, Blank ledning.

Uønskede hendelser		Strategi 1 "Gitt avstand"			Strategi 2 "Berøring"			Strategi 3 "Gjengroing"		
Type område ->		LB	B	Bo	LB	B	Bo	LB	B	Bo
<b>1</b>	<b>Strømgjennomgang ved berøring av trær mot line</b>									
1.1	Tre berører sp.førende del	US	US	US	S	S	S	SS	SS	SS
1.2	Person berører treet	LS	MS	S	LS	MS	S	LS	MS	S
1.3	Mindre alvorlig skade	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
1.4	Betydelig skade	US	US	US	US	US	US	US	US	US
1a	Totalt for 1.1, 1.2, 1.3	US	US	US	LS	LS	LS	LS	LS	LS
1b	Totalt for 1.1, 1.2, 1.4	US	US	US	US	US	US	US	US	US
<b>2</b>	<b>Strømgjennomgang pga line som ligger på bakken</b>									
2.1	Line faller til bakken	US	US	US	US	US	US	LS	LS	LS
2.2	Person berører sp.førende del	LS	MS	S	LS	MS	S	LS	MS	S
2.3	Mindre alvorlig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
2.4	Alvorlig skade <sup>1</sup>	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
2a	Totalt for 2.1, 2.2, 2.3	US	US	US	US	US	US	US	LS	LS
2b	Totalt for 2.1, 2.2, 2.4	US	US	US	US	US	US	US	US	<b>LS</b>
<b>3</b>	<b>Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser</b>									
3.1	Person klatrer inntil ledning	US	US	US	US	US	LS	US	LS	S
3.2	Person berører to faser	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
3.3	Mindre alvorlig skade	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
3.4	Alvorlig skade	S	S	S	S	S	S	S	S	S
3a	Totalt for 3.1, 3.2, 3.3	US	US	US	US	US	LS	US	LS	MS
3b	Totalt for 3.1, 3.2, 3.4	US	US	US	US	US	<b>LS</b>	US	<b>LS</b>	<b>MS</b>
<b>4</b>	<b>Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase</b>									
4.1	Person klatrer inntil ledning <sup>2</sup>	US	US	US	US	US	LS	US	US	MS
4.2	Person berører en fase	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
4.3	Mindre alvorlig skade	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4.4	Alvorlig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
4a	Totalt for 4.1, 4.2, 4.3	US	US	US	US	US	LS	US	US	MS
4b	Totalt for 4.1, 4.2, 4.4	US	US	US	US	US	<b>LS</b>	US	US	<b>MS</b>
<b>5</b>	<b>Fallskade e.l. pga klatring i trær inntil line</b>									
5.1	Klatring fører til strømstøt	US	US	US	US	US	LS	LS	LS	MS
5.2	Faller i bakken e.l. pga støt	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
5.3	Mindre alvorlig skade	S	S	S	S	S	S	S	S	S
5.4	Betydelig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
5a	Totalt for 5.1, 5.2, 5.3	US	US	US	US	US	LS	LS	LS	MS
5b	Totalt for 5.1, 5.2, 5.4	US	US	US	US	US	LS	LS	LS	<b>MS</b>
<b>6</b>	<b>Personskade pga brann i hus o.l. som følge av jordfeil</b>									
6.1	Line faller til bakken	US	US	US	US	US	US	LS	LS	LS
6.2	Jordfeil medfører husbrann <sup>3</sup>	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
6.3	Mindre alvorlig skade	S	S	S	S	S	S	S	S	S
6.4	Alvorlig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
6a	Totalt for 6.1, 6.2, 6.3	US	US	US	US	US	US	LS	LS	LS
6b	Totalt for 6.1, 6.2, 6.4	US	US	US	US	US	US	<b>LS</b>	<b>LS</b>	<b>LS</b>

<sup>1</sup> Alvorlig skade forutsetter at man har defekt gjennomslagsikring eller lavohmig jordfeil i nettet.

<sup>2</sup> Forutsetter at personen står i en ledende stige.

<sup>3</sup> Brannfarlig jordstrøm forutsetter at lina på bakken gir lavohmig jordfeil i tillegg til at det er jordfeil i huset.



Tabell 7.2 Sannsynlighet for uønskede hendelser, EX hengeledning.

Uønskede hendelser		Strategi 1 "Gitt avstand"			Strategi 2 "Berøring"			Strategi 3 "Gjengroing"		
Type område ->		LB	B	Bo	LB	B	Bo	LB	B	Bo
<b>1</b>	<b>Strømgjennomgang ved berøring av trær mot line</b>									
1.1	Tre berører sp.førende del	US	US	US	LS	LS	LS	MS	MS	MS
1.2	Person berører treet	LS	MS	S	LS	MS	S	LS	MS	S
1.3	Mindre alvorlig skade	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
1.4	Betydelig skade	US	US	US	US	US	US	US	US	US
1a	Totalt for 1.1, 1.2, 1.3	US	US	US	US	US	LS	US	LS	LS
1b	Totalt for 1.1, 1.2, 1.4	US	US	US	US	US	US	US	US	US
<b>2</b>	<b>Strømgjennomgang pga line som ligger på bakken</b>									
2.1	Line faller til bakken	US	US	US	US	US	US	LS	LS	LS
2.2	Person berører sp.førende del	US	LS	MS	US	LS	MS	US	LS	MS
2.3	Mindre alvorlig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
2.4	Alvorlig skade <sup>1</sup>	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
2a	Totalt for 2.1, 2.2, 2.3	US	US	US	US	US	US	US	US	LS
2b	Totalt for 2.1, 2.2, 2.4	US	US	US	US	US	US	US	US	US
<b>3</b>	<b>Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser</b>									
3.1	Person klatrer inntil ledning	US	US	US	US	US	LS	US	LS	S
3.2	Person berører to faser	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
3.3	Mindre alvorlig skade	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
3.4	Alvorlig skade	US	US	US	US	US	US	US	US	US
3a	Totalt for 3.1, 3.2, 3.3	US	US	US	US	US	US	US	US	LS
3b	Totalt for 3.1, 3.2, 3.4	US	US	US	US	US	US	US	US	US
<b>4</b>	<b>Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase</b>									
4.1	Person klatrer inntil ledning <sup>2</sup>	US	US	US	US	US	LS	US	US	MS
4.2	Person berører en fase	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
4.3	Mindre alvorlig skade	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS	LS
4.4	Alvorlig skade	US	US	US	US	US	US	US	US	US
4a	Totalt for 4.1, 4.2, 4.3	US	US	US	US	US	LS	US	US	LS
4b	Totalt for 4.1, 4.2, 4.4	US	US	US	US	US	US	US	US	US
<b>5</b>	<b>Fallskade e.l. pga klatring i trær inntil line</b>									
5.1	Klatring fører til strømstøt	US	US	US	US	US	US	US	LS	LS
5.2	Faller i bakken e.l. pga støt	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
5.3	Mindre alvorlig skade	S	S	S	S	S	S	S	S	S
5.4	Betydelig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
5a	Totalt for 5.1, 5.2, 5.3	US	US	US	US	US	US	US	LS	LS
5b	Totalt for 5.1, 5.2, 5.4	US	US	US	US	US	US	US	LS	LS
<b>6</b>	<b>Personskade pga brann i hus o.l. som følge av jordfeil</b>									
6.1	Line faller til bakken	US	US	US	US	US	US	LS	LS	LS
6.2	Jordfeil medfører husbrann <sup>3</sup>	US	US	US	US	US	US	US	US	US
6.3	Mindre alvorlig skade	S	S	S	S	S	S	S	S	S
6.4	Alvorlig skade	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
6a	Totalt for 6.1, 6.2, 6.3	US	US	US	US	US	US	US	US	US
6b	Totalt for 6.1, 6.2, 6.4	US	US	US	US	US	US	US	US	US

<sup>1</sup> Alvorlig skade forutsetter at man har defekt gjennomslagsikring eller lavohmig jordfeil i nettet.

<sup>2</sup> Forutsetter at personen står i en ledende stige.

<sup>3</sup> Brannfarlig jordstrøm forutsetter at lina på bakken gir lavohmig jordfeil i tillegg til at det er jordfeil i huset.

### 7.3 RISIKO FOR AKTUELLE HENDELSER

Risikoen for uønskede hendelser der man har blank ledning er plottet i risikomatrisen i Tabell 7.3. Sannsynligheten for hendelsene er iht. Tabell 7.1. Tallene i parentes angir antall tilfeller av de totalt 9 mulige kombinasjoner av Strategi og Type område (jfr Tabell 7.1).

Tabell 7.3 Risiko, Blank ledning.

Konsekvens Sannsynlighet	Ubetydelig	Mindre alvorlig	Betydelig	Alvorlig	Svært alvorlig
Svært sannsynlig (SS)					
Sannsynlig (S)					
Mindre sannsynlig (MS)		3a (1/9) 4a (1/9) 5a (1/9)	5b (1/9)	3b (1/9) 4b (1/9)	
Lite sannsynlig (LS)		1a (6/9) 2a (2/9) 3a (2/9) 4a (1/9) 5a (3/9) 6a (3/9)	5b (3/9)	2b (1/9) 3b (2/9) 4b (1/9)	
Usannsynlig (US)		1a (3/9) 2a (7/9) 3a (6/9) 4a (7/9) 5a (5/9) 6a (6/9)	1b (9/9) 5b (5/9)	2b (8/9) 3b (6/9) 4b (7/9) 6b (9/9)	

To hendelser har ”Uakseptabel” risiko. Det gjelder følgende tilfeller:

- 3b. Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser
  - Strategi 3 (Gjengroing) i Boligområder (Bo)
- 4b. Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase
  - Strategi 3 (Gjengroing) i Boligområder (Bo)

Totalt 4 hendelser har ”På grensen” risiko. Det gjelder følgende tilfeller:

- 2b. Strømgjennomgang pga line som ligger på bakken
  - Strategi 3 (Gjengroing) i Boligområde (Bo)
- 3b. Strømgjennomgang ved direkte berøring av to faser
  - Strategi 2 (Berøring) i Boligområde (Bo)
  - Strategi 3 (Gjengroing) i Beferdet område (B)

- 4b. Strømgjennomgang ved direkte berøring av en fase
  - Strategi 2 (Berøring) i Boligområde (Bo)
- 5b. Fallskade e.l. pga klatring i trær inntil line
  - Strategi 3 (Gjengroing) i Boligområde (Bo)

Risikoen for uønskede hendelser der man har EX hengeledning er plottet i risikomatriksen i Tabell 7.4. Sannsynligheten for hendelsene er iht. Tabell 7.2. Tallene i parentes angir antall tilfeller av de totalt 9 mulige kombinasjoner av Strategi og Type område (jfr Tabell 7.2).

Tabell 7.4 Risiko, EX hengeledning.

Konsekvens Sannsynlighet	Ubetydelig	Mindre alvorlig	Betydelig	Alvorlig	Svært alvorlig
Svært sannsynlig (SS)					
Sannsynlig (S)					
Mindre sannsynlig (MS)					
Lite sannsynlig (LS)		1a (3/9) 2a (1/9) 3a (1/9) 4a (2/9) 5a (2/9)	5b (2/9)		
Usannsynlig (US)		1a (6/9) 2a (8/9) 3a (8/9) 4a (7/9) 5a (7/9) 6a (9/9)	1b (9/9) 5b (7/9)	2b (9/9) 3b (9/9) 4b (9/9) 6b (9/9)	

Ingen av hendelsene har ”Uakseptabel” eller ”På grensen” risiko.

## 8 SAMFUNNSMESSIG VURDERING

Den samfunnsmessige vurderingen omfatter en samlet vurdering av følgende forhold:

- Sikkerhet / risiko (behandlet i Kapittel 7)
- Økonomi
- Leveringskvalitet
- Miljø/estetikk
- Omdømme

### 8.1 KOSTNADER

#### 8.1.1 Skogrydding (vedlikeholdsrydding)

Tabell 8.1 viser *valgt* perioditet for skogrydding i lavspenningsnett avhengig av ryddestrategi og tilvekst *for å kunne gjøre en kostnadssammenligning*. Det er her tatt utgangspunkt i perioditeten for Strategi 1 "Gitt avstand" i områder med Middels tilvekst ("normal"). Erfaringer fra nettselskapene i prosjektet tilsier at 4 år mellom hver skogrydding kan synes nødvendig hvis man skal holde seg på et nivå tilsvarende det vi har definert som "Gitt avstand". For Strategi 2 og Strategi 3 har vi vurdert tilsvarende perioditet til å være henholdsvis 8 år og 16 år.

Liten tilvekst er definert til å være 50 % av Middels tilvekst, mens Stor tilvekst er definert til å være 150 % av Middels tilvekst. Denne forutsetningen gir tallene for perioditet for henholdsvis Liten og Stor tilvekst i Tabell 8.1.

Tabell 8.1 Perioditet [år] for skogrydding i lavspenningsnett avhengig av strategi og tilvekst.

	Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Liten tilvekst	6 år	12 år	24 år
Middels tilvekst	4 år	8 år	16 år
Stor tilvekst	2 år	4 år	8 år

Basert på kostnadstallene i Kapittel 5.1 har vi valgt følgende enhetskostnader for skogrydding i lavspenningsnett (kr/løpemeter i skog med ryddebehov):

Boligområde: 30 kr/løpemeter

Øvrige områder: 18 kr/løpemeter

I tillegg kommer nødvendig inspeksjon for å vurdere behov for skogrydding. Denne kostnaden er ikke tatt med i analysene i denne rapporten.

Tabell 8.9 viser en sammenligning av kostnadene for skogrydding ved ulike strategier basert på tallene i Tabell 8.1 og valgte enhetskostnader for skogrydding.

### 8.1.2 Reparasjon av skader på luftledning

Manglende skogrydding vil kunne føre til skader på luftledninger, fortrinnsvis hvis skogen har vokst så mye at man har fått "Gjengroing" (Strategi 3). Vi antar at skader primært oppstår når grove grener eller trestammer over tid gnager mot ledningene. Ved "Gjengroing" vil det i tillegg være større sannsynlighet for å skade ledningene under selve skogryddingen enn om ryddingen gjøres ved en "Gitt avstand" (Strategi 1) eller ved "Berøring" (Strategi 2), dvs på et mye tidligere stadium. Det er vanskelig å estimere hvor store ekstrakostnader man vil ha pga ekstra reparasjonsbehov som følge av "Gjengroing". Det er heller ikke gjort i denne rapporten.

### 8.1.3 Andre kostnader

Det er en viss sannsynlighet for at manglende skogrydding kan føre til brannskader i bygninger med jordfeil i områder med blank line ("Lite sannsynlig" i Tabell 7.1). Den utløsende årsaken til brannen vil da være at det oppstår en ekstra jordfeil i lavspenningsnettet pga at faseliner faller ned på bakken pga manglende skogrydding. Siden sannsynligheten for dette antas å være liten vil også ekstrakostnaden pga dette være forholdsvis liten. Vi tror ikke skogbrann som følge av manglende skogrydding i lavspenningsnett representerer noen fare eller kostnad.

KILE-ordningen omfatter ikke avbrudd pga feil i lavspenningsnett. Til tross for dette vil slike feil likevel representere en kostnad for kundene. Avbrudd som følge av manglende skogrydding i lavspenningsnett vil derfor representere en samfunnsøkonomisk kostnad.

### 8.1.4 Årlige skogryddingskostnader for noen nettselskaper

Tabellene 8.2 – 8.6 viser grovt stipulerte ryddekostnader for Energi1 Follo/Røyken, Eidsiva energi, Fortum Distribution, Skagerak Nett og Viken Nett for vedlikeholdsrydding i henhold til strategiene 1, 2 og 3. Kostnadene bygger på følgende forutsetninger:

- Perioditet for skogrydding iht. Tabell 8.1, Middels tilvekst:
  - Strategi 1 "Gitt avstand": 4 år
  - Strategi 2 "Berøring": 8 år
  - Strategi 3 "Gjengroing": 16 år
- Ryddekostnader: 30 kr/m i skog for boligområder o.l., 18 kr/m i skog i øvrige områder. Disse kostnadene er sannsynligvis litt for høye ut fra ny prisinformasjon vi har fått etter at enhetskostnadene ble fastlagt. Alternativt kunne man ha brukt henholdsvis 25 og 15 kr/m. Dette hadde imidlertid ikke gitt andre konklusjoner.
- Angitte ledningslengder gjelder kun ledning i *skog*.
- Fordelingen av antall km ledning på type område er meget grove estimat.
- For noen selskaper har man brukt omtrent samme fordeling mellom blank ledning og EX hengeledning for alle tre områder.

Til tross for at dette er grovt stipulerte ryddekostnader så illustrerer de likevel hvilket kostnadsomfang det her er snakk om med de valgte forutsetningene.

Tabell 8.2 Årlige ryddekostnader ved ulike strategier for Energi1 Follo/Røyken.

		Ledning i skog [km]	Årlige kostnader [kk/år]		
			Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Blank ledning	Lite beferdet område	17	77	38	19
	Beferdet område	82	369	185	92
	Boligområde	66	495	248	124
	Sum	165	941	470	235
EX	Lite beferdet område	21	95	47	24
	Beferdet område	102	459	230	115
	Boligområde	82	615	308	154
	Sum	205	1169	584	292
Totalt for blank ledning + EX		370	2109	1055	527

Tabell 8.3 Årlige ryddekostnader ved ulike strategier for Eidsiva energi.

		Ledning i skog [km]	Årlige kostnader [kk/år]		
			Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Blank ledning	Lite beferdet område	1943	8744	4372	2186
	Beferdet område	610	2745	1373	686
	Boligområde	313	2348	1174	587
	Sum	2866	13836	6918	3459
EX	Lite beferdet område	2413	10859	5429	2715
	Beferdet område	1096	4932	2466	1233
	Boligområde	705	5288	2644	1322
	Sum	4214	21078	10539	5270
Totalt for blank ledning + EX		7080	34914	17457	8729

Tabell 8.4 Årlige ryddekostnader ved ulike strategier for Fortum Distribution.

		Ledning i skog [km]	Årlige kostnader [kk/år]		
			Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Blank ledning	Lite beferdet område	121	545	272	136
	Beferdet område	101	455	227	114
	Boligområde	181	1358	679	339
	Sum	403	2357	1178	589
EX	Lite beferdet område	260	1170	585	293
	Beferdet område	217	977	488	244
	Boligområde	390	2925	1463	731
	Sum	867	5072	2536	1268
Totalt for blank ledning + EX		1270	7428	3714	1857

Tabell 8.5 Årlige ryddekostnader ved ulike strategier for Skagerak Nett.

		Ledning i skog [km]	Årlige kostnader [kkkr/år]		
			Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Blank ledning	Lite beferdet område	370	1665	833	416
	Beferdet område	782	3519	1760	880
	Boligområde	741	5558	2779	1389
	Sum	1893	10742	5371	2685
EX	Lite beferdet område	555	2498	1249	624
	Beferdet område	629	2831	1415	708
	Boligområde	610	4575	2288	1144
	Sum	1794	9903	4952	2476
Totalt for blank ledning + EX		3687	20645	10322	5161

Tabell 8.6 Årlige ryddekostnader ved ulike strategier for Viken Nett.

		Ledning i skog [km]	Årlige kostnader [kkkr/år]		
			Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Blank ledning	Lite beferdet område	416	1872	936	468
	Beferdet område	78	351	176	88
	Boligområde	138	1035	518	259
	Sum	632	3258	1629	815
EX	Lite beferdet område	416	1872	936	468
	Beferdet område	312	1404	702	351
	Boligområde	1240	9300	4650	2325
	Sum	1968	12576	6288	3144
Totalt for blank ledning + EX		2600	15834	7917	3959

Tabell 8.7 viser sum ryddekostnader for de fem selskapene basert på tallene i Tabell 8.2 – 8.6.

De fem selskapene har til sammen ca 15000 km lavspenningsledning som går i områder med behov for skogrydding. Av dette er ca 6000 km blank ledning og ca 9000 EX hengeledning. Differansen i årlige kostnader mellom strategi 1 og strategi 2 er i sum ca 40 mill. kr/år, og mellom strategi 2 og strategi 3 ca 20 mill. kr/år.

Tabell 8.7 Sum årlige ryddekostnader ved ulike strategier for Energi1 Follo/Røyken, Eidsiva energi, Fortum Distribution, Skagerak Nett og Viken Nett.

		Ledning i skog [km]	Årlige kostnader [kkkr/år]		
			Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Blank ledning	Lite beferdet område	2867	12902	6451	3225
	Beferdet område	1653	7439	3719	1860
	Boligområde	1439	10793	5396	2698
	Sum	5959	31133	15566	7783
EX	Lite beferdet område	3665	16493	8246	4123
	Beferdet område	2356	10602	5301	2651
	Boligområde	3027	22703	11351	5676
	Sum	9048	49797	24899	12449
Totalt for blank ledning + EX		15007	80930	40465	20232

Tabell 8.8 viser sum ryddekostnader for de fem selskapene for noen kombinasjoner av de tre hovedstrategiene basert på tallene i Tabell 8.7. Sammenlignet med å følge strategi 1 i alle områder vil en strategi hvor boligområder med blank ledning ryddes i henhold til strategi 1, mens øvrige områder ryddes i henhold til strategi 2 gi en samlet årlig reduksjon i ryddekostnadene på ca 35 mill. kr/år.

Tabell 8.8 Sum ryddekostnader for selskapene ved ulike kombinasjoner av ryddestrategier.

Strategi	Årlig ryddekostnad [kkkr/år]	Reduksj. ift. Strategi 1 i alle områder [kkkr/år]
Strategi 1 i alle områder	80930	0
Strategi 1 i beferdet område + boligområder Strategi 2 i lite beferdet område	66233	14697
Strategi 1 i boligområder Strategi 2 i øvrige områder	57213	23717
Strategi 1 i boligområder med blank ledning Strategi 2 i øvrige områder	45861	35069
Strategi 2 i alle områder	40465	40465
Strategi 1 i boligområder med blank ledning Strategi 2 i øvrige områder m/blank ledning Strategi 2 i boligområder med EX Strategi 3 i øvrige områder med EX	39088	41842
Strategi 1 i boligområder med blank ledning Strategi 2 i øvrige områder m/blank ledning Strategi 3 i områder med EX	33412	47518



## **8.2 LEVERINGSKVALITET**

”Gjengroing” (Strategi 3) vil føre til noen flere feil og avbrudd som følge av at grove grener eller trestammer over tid gnager mot ledningene slik at det til slutt oppstår brudd. Ved ”Gjengroing” vil det i tillegg være større sannsynlighet for å skade ledningene under selve skogryddingen enn om ryddingen gjøres ved en ”Gitt avstand” (Strategi 1) eller ved ”Berøring” (Strategi 2), dvs på et mye tidligere stadium.

Vi tror ikke ryddestrategiene har noen innvirkning på avbruddstidene ved feil i lavspenningsnett.

I den grad at manglende skogrydding i lavspenningsnett, eventuelt i kombinasjon med snø/is/vind, medfører fasebrudd, sammenslag av faser og usymmetri vil ”Gjengroing” føre til noe dårligere spenningskvalitet enn om ryddingen gjøres oftere. Dette vil primært ha betydning i områder med blank ledning.

## **8.3 MILJØ/ESTETIKK, OMDØMME**

Omfattende skogrydding i form av brede ryddegater vil kunne oppfattes som lite pent. Omfattende beskæring, eventuelt fjerning, av store trær i hager fører til protester fra mange hageeiere. Gjengroing vil på sin side kunne oppfattes som lite pent (”rotet”), samt bli oppfattet som et uttrykk for manglende vedlikehold og manglende fokus på sikkerhet generelt.

Både hyppig og omfattende skogrydding, samt sjelden rydding som fører til gjengroing vil kunne resultere i dårlig omdømme for nettselskapene. Omdømmet kan også bli noe dårligere mens selve ryddingen pågår, spesielt i villahager.

Alt i alt er likevel vår vurdering at ”Gjengroing” (Strategi 3) gir dårligere omdømme enn skogrydding i henhold til ”Gitt avstand” (Strategi 1) og ”Berøring” (Strategi 2), samt at ”Gitt avstand” er litt bedre enn ”Berøring”.

## 8.4 SAMLET VURDERING

Tabell 8.9 viser en sammenstilling av resultatene fra risikovurderingen i Kapittel 7.3 og den øvrige samfunnsmessige vurderingen i foregående delkapitler (8.1 – 8.3). Forutsetningene for kostnadsestimatene er beskrevet i Kapittel 8.1.

Når det gjelder risiko angir tallene i parentes hvor mange uønskede hendelser som har hhv ”Uakseptabel” (totalt 2 hendelser) og ”På grensen” risiko (totalt 5 hendelser). Når det gjelder Leveringskvalitet og Andre forhold er det benyttet en skala  $\pm 5$  der  $-5$  er dårligst og  $+5$  er best. Sammenligningsgrunnlaget er Strategi 1 (0 i tabellen). Minus 1 ( $-1$ ) for Strategi 2 når det gjelder Omdømme betyr at Strategi 2 kommer litt dårligere ut enn Strategi 1 med hensyn til Omdømme.

Tabell 8.9 Samlet vurdering.

		Strategi 1 ”Gitt avstand”	Strategi 2 ”Berøring”	Strategi 3 ”Gjengroing”
<b>Risiko</b>				
Blank ledn.	Lite beferdet omr.	Akseptabel	Akseptabel	Akseptabel
	Beferdet område	Akseptabel	Akseptabel	På grensen (1)
	Boligområde	Akseptabel	På grensen (2)	På grensen (2) Uakseptabel (2)
EX	Lite beferdet omr.	Akseptabel	Akseptabel	Akseptabel
	Beferdet område	Akseptabel	Akseptabel	Akseptabel
	Boligområde	Akseptabel	Akseptabel	Akseptabel
<b>Kostnader</b>				
Skogrydding		[kr/km,år]	[kr/km,år]	[kr/km,år]
Bolig-område	Liten tilvekst	5000	2500	1250
	Middels tilvekst	7500	3750	1875
	Stor tilvekst	15000	7500	3750
Andre områd.	Liten tilvekst	3000	1500	750
	Middels tilvekst	4500	2250	1125
	Stor tilvekst	9000	4500	2250
Reparasjon av ledning		0	0	>> 0
Andre kostnader (samf.)		0	0	> 0
<b>Leveringskvalitet (skala: <math>\pm 5</math>)</b>				
Blank ledn.	Avbruddsfrekvens	0	- 1	- 3
	Avbruddstid	0	0	0
	Spenningskvalitet	0	- 1	- 3
EX	Avbruddsfrekvens	0	0	- 1
	Avbruddstid	0	0	0
	Spenningskvalitet	0	0	- 1
<b>Andre forhold (skala: <math>\pm 5</math>)</b>				
Miljø / estetikk		0	0	- 1
Omdømme		0	- 1	- 2

Tabell 8.9 viser at det er liten risikomessig gevinst i å gjennomføre skogrydding i henhold til Strategi 1 "Gitt avstand" sammenlignet med Strategi 2 "Berøring". Det er heller ikke noen gevinst av betydning med hensyn til Leveringskvalitet, Miljø/estetikk og Omdømme. Antatte kostnader til skogrydding er imidlertid betydelig høyere for Strategi 1. Reparasjonskostnader og Andre kostnader antas å være de samme for de to strategiene. Ut fra dette vil det være samfunnsmessig riktig å tillate Strategi 2 "Berøring" som ryddestrategi i lavspenningsnett. Den ekstra innsatsen som Strategi 1 innebærer vil ikke kunne forsvare merkostnadene.

Strategi 2 "Berøring" omfatter to tilfeller av "På grensen" risiko. Begge gjelder blank ledning i "Boligområde". Det vil derfor kunne være aktuelt å foreta skogrydding i henhold til Strategi 1 "Gitt avstand" i denne type områder.

Strategi 3 "Gjengroing" omfatter to tilfeller av "Uakseptabel" risiko og to tilfeller av "På grensen" risiko for blank ledning i "Boligområde", samt ett tilfelle av "På grensen" risiko for blank ledning i "Beferdet område". I tillegg representerer Strategi 1 "Gjengroing" en del ulemper med hensyn til Leveringskvalitet, Miljø/estetikk og Omdømme sammenlignet med øvrige ryddestrategier. Til tross for betydelig lavere ryddekostnader ved Strategi 1 "Gjengroing" mener vi at Strategi 2 "Berøring" vil være en samfunnsmessig bedre strategi når det gjelder "Boligområde" og "Beferdet område" med blank ledning.

I "Lite beferdet område" med blank ledning, samt alle områder med EX hengeledning er risikoen funnet å være "Akseptabel". I slike områder vil det derfor være akseptabelt med hensyn til personsikkerhet å tillate skogrydding i henhold til Strategi 3 "Gjengroing". Vi tror imidlertid at de negative sidene ved en slik strategi for nettselskapene tilsier at man bør begrense rydding i henhold til Strategi 3 til "Lite beferdet område" med EX hengeledning, eventuelt til en viss grad også i "Beferdet område" med EX hengeledning.

## 8.5 SAMMENLIGNING MED ANDRE TILTAK

Ved prioritering av ressurser til sikkerhetstiltak vil det være riktig å sammenligne forventet samfunnsmessig gevinst ved skogrydding i lavspenningsnett med andre sikkerhetstiltak, som f.eks.:

- Kabling av lavspenningslinjer i utsatte områder
- Skogrydding i høyspenningsnett
- Utskifting av gamle bryteranlegg

Isolert sett vil det være riktig å prioritere sistnevnte to tiltak i høyspenningsnett foran skogrydding i lavspenningsnett på bakgrunn av risikovurderingen i denne rapporten. Det betyr imidlertid ikke at man skal la være å rydde skog i lavspenningsnett.

Det er en del fokus på at kabling av lavspenningslinjer i utsatte områder med stor tilvekst kan være et lønnsomt alternativ til fortsatt drift av luftnettet. Tabell 8.10 viser imidlertid at ryddekostnadene alene ikke vil gjøre det lønnsomt å skifte til jordkabel i områder med blank lavspenningsledning.

Kapitaliserte kostnader i Tabell 8.10 er beregnet på grunnlag årlige kostnader [kr/km,år] for skogrydding fra Tabell 8.9. Kostnadene er kapitalisert over en periode på 25 år med rente 6 % på ( $\lambda_{6,25} = 12,78$ , dvs. at den kapitaliserte kostnaden er ca 13 ganger årskostnaden).

Tabell 8.10 Kapitaliserte kostnader av skogrydding [kr/km].

		Strategi 1 "Gitt avstand"	Strategi 2 "Berøring"	Strategi 3 "Gjengroing"
Bolig- område	Liten tilvekst	63900	31950	15975
	Middels tilvekst	95850	47925	23963
	Stor tilvekst	191700	95850	47925
Andre områd.	Liten tilvekst	38340	19170	9585
	Middels tilvekst	57510	28755	14378
	Stor tilvekst	115020	57510	28755

Dersom eksisterende luftnett er i så dårlig stand at det er nødvendig å foreta utskifting i løpet av noen få år, vil framtidige ryddekostnader i enkelte tilfeller kunne gjøre det lønnsomt å velge jordkabel i stedet for å bygge nytt luftnett. Dette kan belyses med følgende eksempel:

- Bygging av nytt luftnett koster f.eks. 110000 kr/km.
- Legging av jordkabel koster f.eks. 200000 kr/km.
- Merkostnaden for skogrydding koster f.eks. 96000 kr/km (strategi 2 – boligområde – stor tilvekst).
- Besparelsen ved legging av jordkabel blir da  $110000 + 96000 - 200000 = 6000$  kr/km. Omregnet til årskostnad:  $6000/12,78 = 470$  kr/km,år.

Hvis skogryddingen i nevnte eksempel skulle gjennomføres i henhold til strategi 1 hadde besparelsen blitt vesentlig større:  $110000 + 192000 - 200000 = 102000$  kr/km.

## 9 EKSTRAORDINÆRE FORHOLD

### 9.1 EKSTRAORDINÆR SKOGRYDDING

Ekstraordinær rydding er rydding i etterkant av kraftig uvær eller etter en lang periode hvor man har latt være å rydde ("ukontrollert" tilgroing). Eksempel på slik skogrydding er den ryddingen som for tiden pågår som følge av pålegg fra DSB, samt den ryddingen som måtte gjøres i etterkant av uværet i desember 2003 på Østlandet.

Mulige ulemper ved en ekstraordinær skogrydding tilsvarende den som man nå har hatt:

- Unødvendig høy kostnad på skogryddingstjenester som følge av mangelfull kapasitet på utførersiden ("selgers marked"), i alle fall den første tiden.
- Økt sannsynlighet knyttet til at personer skader seg under skogrydding som følge av mangelfull opplæring og kompetanse i perioden da kapasiteten på utførersiden ble økt forholdsvis raskt.
- Økt sannsynlighet for skader på ledninger og tilhørende anlegg (line- og stolpebrudd) under skogrydding, bl.a. som følge av mangelfull opplæring og kompetanse.
- Fjerning av for mye verneskog på kort tid gir svekket motstandskraft mot ekstraordinære værpåkjenninger (vind, snø).
- Beslaglegger kapasitet som kunne vært brukt til tiltak med større sikkerhetsmessig gevinst.
- Ekstraordinær administrativ belastning for både nettselskaper og tilsynsmyndighet.

Mulige fordeler:

- Nødvendig press for å komme i gang.
- Økt fokus på ulempene ved manglende skogrydding.

Ulempene vurderes å være klart større enn fordelene ved en ekstraordinær skogrydding tilsvarende den som man nå har hatt. I tillegg viser risikoanalysen at manglende skogrydding kun representerer *uakseptabel* risiko med hensyn til personskade i boligområder med blank ledning. Totalt sett skulle det derfor ikke være nødvendig å foreta ekstraordinær skogrydding i lavspenningsnett i andre områder enn boligområder med blank ledning.

Vår anbefaling når det gjelder riktig strategi vedrørende den ekstraordinære skogryddingen som nå initieres av DSB er derfor følgende:

- Gjennomføre ekstraordinær rydding i boligområder med blank ledning.
- Sette i gang skogrydding i øvrige områder med tanke på å komme à jour i løpet av 4-6 år (jfr Tabell 8.1), og deretter fortsette med periodisk vedlikeholdsrydding.
- Prioritere områder med blank ledning foran områder med EX hengeledning.
- Prioritere beferdede områder foran lite beferdede områder.

## **9.2 EKSTRAORDINÆRE VÆRPÅKJENNINGER**

Med ekstraordinære værpåkjenninger menes f.eks. det uværet man hadde i desember 2003 på Østlandet. Ekstraordinære værpåkjenninger vil derfor typisk ha en returtid på 1-5 år.

Det vil være meget kostbart og sannsynligvis lite akseptabelt sett fra en miljømessig og estetisk synsvinkel å dimensjonere skogryddingen med tanke på situasjoner med nevnte værpåkjenninger. Det ville i så fall måtte innebære langt bredere ryddebelter enn det som har vært vanlig fram til i dag.

## 10 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

### 10.1 VEDLIKEHOLDSRYDDING

Når det gjelder *risiko* mht personskade kan resultatene fra analysen vedrørende vedlikeholdsrydding oppsummeres i følgende punkter:

- Risikoanalysen viser at manglende skogrydding i lavspenningsnett generelt sett ikke representerer en *uakseptabel* risiko.
- I boligområder o.l. med blank ledning bør man unngå *gjengroing*. Det er identifisert to hendelser med *uakseptabel* risiko for kombinasjonen ”boligområde – blank ledning – gjengroing”. Hendelsene gjelder alvorlig personskade som følge av strømgjennomgang ved direkte berøring av en eller to faser, fortrinnsvis i forbindelse med klatring i trær eller i aluminiumstige som står inntil trær i hager o.l.
- Risikoen er vurdert å være ”*på grensen*” til uakseptabel for noen kombinasjoner av ”blank ledning – berøring/gjengroing”.
- I *lite beferdede* områder er risikoen akseptabel for alle hendelser.
- I områder med *EX hengeledning* er risikoen akseptabel for alle hendelser.

Det kan være betydelige kostnader å spare på å tillate at vegetasjonen når *berøring*.

Samfunnsmessig vil det være riktig å tillate at vegetasjonen når berøring siden gevinsten mht risiko, leveringskvalitet, miljø/estetikk og omdømme er liten ved å rydde oftere.

Kostnadsvurderingen baser seg på at nødvendig ryddefrekvens i områder med middels tilvekst er henholdsvis 4 år, 8 år og 16 år for de tre ryddestrategiene ”gitt avstand”, ”berøring” og ”gjengroing”. Det er videre antatt en ryddekostnad på henholdsvis 30 kr/m i boligområder o.l. og 18 kr/m for øvrige områder (kr/løpemeter i skog med ryddebehov).

*Gjengroing* har en rekke ulemper både for nettselskapene og samfunnet for øvrig, og anbefales ikke som generell strategi for skogrydding. Gjengroing bør begrenses til lite beferdede områder med EX hengeledning, eventuelt også i beferdede områder med EX hengeledning.

Ved prioritering av ressurser til sikkerhetstiltak vil det være riktig å sammenligne forventet samfunnsmessig gevinst ved skogrydding i lavspenningsnett med andre sikkerhetstiltak. Isolert sett vil det f.eks. være riktig å prioritere skogrydding i høyspenningsnett og utskifting av gamle bryteranlegg foran skogrydding i lavspenningsnett ut fra risiko.

Ryddekostnadene alene tilsier ikke at det vil være lønnsomt å skifte til jordkabel i områder med blank lavspenningsledning, selv ikke der det er stor tilvekst. Dersom eksisterende luftnett er i så dårlig stand at det er nødvendig å foreta utskifting i løpet av noen få år, vil framtidige ryddekostnader i enkelte tilfeller kunne gjøre det lønnsomt å velge jordkabel i stedet for å bygge nytt luftnett.

## **10.2 EKSTRAORDINÆR SKOGRYDDING**

Resultatene fra risikoanalysen gir grunnlag for følgende anbefalinger vedrørende den ekstraordinære skogryddingen som nå initieres av DSB:

- Ut fra en samlet samfunnsmessig vurdering av fordeler og ulemper kan vi ikke se at det er nødvendig for DSB å gi generelle pålegg om skogrydding i lavspenningsnett med de tidsfrister som er gitt.
- I boligområder og andre beferdede områder med blank ledning og gjengroing bør det imidlertid foretas skogrydding i løpet av 1 år.
- For øvrige områder burde nettselskapene og DSB bli enige om en strategi som sikrer at man kommer à jour i løpet av 4-6 år.
- Lite beferdede områder med blank ledning og områder med EX hengeledning bør ryddes til slutt.

Anbefalingen om 1 år skyldes at rydding i slike områder nå bør prioriteres og helst være ferdig innen 1 års tid for at man skal kunne komme à jour for hele nettet i løpet av nevnte 4-6 år.

## **10.3 PLANLEGGING OG GJENNOMFØRING**

For å sikre en samfunnsmessig riktig nettforvaltning med hensyn til skogrydding i lavspenningsnett bør nettselskapene utarbeide differensierte strategier og langsiktige planer der ryddingen skal gjentas med jevne mellomrom eller etter behov. Områder med blank ledning bør prioriteres foran områder med EX hengeledning, og boligområder o.l. bør prioriteres foran beferdede og lite beferdede områder.

Det bør etableres systematiske og effektive opplegg for planlegging og gjennomføring av skogrydding som sikrer riktig kvalitet til lavest mulig kostnad. Man må påse at skogryddingen utføres av folk med tilstrekkelig kompetanse.

Det bør legges stor vekt på å få til god dialog med DSB om gode og langsiktige løsninger for skogrydding i lavspenningsnett for alle parter.

Risikoanalyse er et nyttig verktøy i forbindelse med vurdering av riktig strategi for skogrydding. Dokumentasjonen av risiko gir et godt grunnlag for en konstruktiv dialog mellom nettselskaper og tilsynsmyndighet.



## **11 LITTERATURREFERANSER**

- [1] ROS Program for risiko- og sårbarhetsforskning (Norges forskningsråd):  
Risikostyring - Helse, miljø og sikkerhet, Tapir forlag.
- [2] Harald Landrø, Hege A. Granlund:  
Temahefte 1 fra PULS-prosjektet, Risikoanalyse, NTNU.
- [3] Marvin Rausand:  
Risikoanalyse, Veiledning til NS 5814, SINTEF Sikkerhet og pålitelighet.
- [4] IEC 479-1:  
Effects of current on human beings and livestock” - Part 1: General aspects.  
Technical Report (Type 2), Third edition 1994-09.
- [5] H, Weldingh, I. R. Ludvigsen:  
“Impact of deregulation on safety for personnel.”  
Artikkel til CIRED 2003, Barcelona
- [6] Trond Ulven Ingvaldsen, OED:  
Leveringskvalitet og produktansvar - Hvilke lover regulerer dette?  
Foredrag på NEK Leveringskvalitet Workshop 2004-02-10  
[http://www.nek-konferanse.no/leveringskvalitet\\_workshop\\_foredrag.htm](http://www.nek-konferanse.no/leveringskvalitet_workshop_foredrag.htm)
- [7] Kjell Sand:  
Introduksjon til bruk av risikoanalyse i kraftnett og kraftstasjoner  
TR A4529, SINTEF Energiforskning, mars 1997



## **VEDLEGG**



## **V1 MYNDIGHETSKRAV MHT SKOGRYDDING I LAVSPENNINGSNETT**

### **V1.1 FEA-F §§ 89.13 OG 93.3**

I de norske forskriftene er krav til avstander i lavspenningstraséer behandlet i FEA-F §§ 89.13 og 93.3.

§ 89.13:

”Det skal sørges for betryggende avstand til trær o.l. . Ledninger samt uisolerte spenningsførende deler av sikringer, bokser, muffe m.m. må ikke være innenfor rekkevidde.”

§ 93.3:

”Hengeledninger skal ha betryggende avstand til trær”.

I DSBs informasjonsskrift ”Elsikkerhet” nr. 61 (1/2002) er dette kommentert videre:

”Formålet med bestemmelsene er både å sikre at trær ikke gir skader på ledningene og å sikre at personer som klatrer i trær, ikke skal komme i kontakt med ledningene. Vi anser at kravene er tilfredsstillende dersom:

1. Trær generelt er fjernet så de ikke kan komme i kontakt med ledningene.
2. Trær det kan klatres i har så lang avstand fra ledninger at ledningene ikke kan nåes fra treet.

Forskriftene skiller her ikke mellom blanke ledninger og EX-ledninger. EX-ledninger er ikke fullverdig isolert som kabel, og skader kan gjøre den berøringsfarlig. Det legges derfor til grunn at kravene til skogrydding er de samme for blanke ledninger som for EX-ledninger.

Hva som skal anses som rekkevidde angis ikke i forskriftene, men må vurderes i hvert enkelt tilfelle.”

## **V1.2 MYNDIGHETSKRAV I ANDRE LAND**

### **V1.2.1 Sverige**

I Starkströmsföreskrifterna oppgis det at luftledninger i lavspenningsnettet skal kontrolleres med et tidsintervall som ikke overskrider 8 år. Videre står det at ledningsgater skal holdes ”väl upprenskade”. I rådene knyttet til forskriften sies det at avstanden mellom vegetasjon og ledning bør være 0,5 – 3,5 meter avhengig av spenningsnivå. Trær i eller nær en ledningsgate som kan utgjøre en fare for ledningen bør fjernes.

I anbefalingene fra EBR i Sverige oppgis 0,5 meter som vegetasjonsfri avstand for linjer med spenning < 1 kV.

### **V1.2.2 Finland**

I Finland gjelder følgende minimumsavstander for lavspenning linjetraseer:

#### 0,4 kV isolert ledning:

- 1 m fra tre til tre
- fritt rom med radius 0,5 m fra lederne
- 3,5 m under ledningen

#### 0,4 kV blank ledning:

- 2 m fra tre til tre
- fritt rom med radius 1,0 m fra lederne
- 3,5 m under ledningen

Videre skal alle trær som bøyer seg mot linjegaten (for eksempel grunnet snølast) fjernes selv om de står utenfor den minst tillatte tre-til-tre-avstanden.

## V2 DSBS OG NVES ANSVARSOMRÅDER OG ROLLER

DBS og NVE regulerer ulike sider av nettselskapenes virksomhet. Dette kapitlet inneholder en kort beskrivelse av hvilket overordnet ansvar som tilligger de to direktoratene.

### V2.1 DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP (DSB)

*”Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) skal bidra til å hindre tap av liv og verne om helse, miljø, viktige samfunnsfunksjoner og materielle verdier i forbindelse med ulykker, katastrofer og andre uønskede hendelser i fred, krise og krig.*

*Direktoratet skal ha oversikt over sårbarhets og trussel- utviklingen i samfunnet, både når det gjelder ulykker, katastrofer og andre uønskede hendelser. DSB skal ta initiativ for å forebygge at slike hendelser inntreffer, se til at det er gjennomført nødvendige forebyggende tiltak og sikre at tilstrekkelig beredskap er tilgjengelig for å begrense konsekvensene hvis det oppstår uønskede situasjoner. Ved manglende sikkerhet og beredskap skal DSB ta initiativ for oppfølging overfor ansvarlig myndighet.” (Kilde: [www.dsb.no](http://www.dsb.no))*

#### ”Eltryggleik

Direktoratet for samfunnstryggleik og beredskap skal føre tilsyn med eltryggleiken i 1,7 millionar bustader og rundt 600 000 verksemder, 1 600 skip og 40 offshoreinstallasjonar, og det elektromedisinske utstyret ved rundt 100 større helseinstitusjonar og 8 000 enkle helseinstitusjonar. Etaten har også ansvar for tilsynet med produsentar, importørar og detaljistar for rundt 93 000 ulike typar elektriske produkt på marknaden. Elektrisk utstyr er blant dei tre største varegruppene som blir importert, og blir omsett for ca. 36 milliardar kroner i året.

Elektrisitet er eit av dei få produkta som i seg sjølv representerer fare, berre å røre leiarar som fører spenning er livsfarleg. Likeins kan feil i elektriske anlegg og elektrisk utstyr eller feil bruk føre til brann. Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr har som formål å verne menneske, dyr og eigedom mot slike farar.<sup>2</sup>

Direktoratet forvaltar eltryggleiken i heile verdikjeda frå produksjon, distribusjon og bruk av elektrisitet til bruk av elektrisk utstyr i yrkeslivet og heime.”

#### Kommentarer

DSB sin rolle er i hovudsak knyttet til elsikkerhet – og da personsikkerhet og brannfare i forbindelse med elektrisitet. DSB har også i noen sammenhenger inkludert ”følgeskader” som følge av strømbrudd inn under personsikkerhetsfokuset.

Dette kan (og blir) av nettselskapene oppfattes som en ”dobbelregulering” av leveringskvalitet i nettet med uklarhet mht hvilke av etatene som har ansvaret for dette.

---

<sup>2</sup> Understrekning gjort av SINTEF Energiforskning  
12X320

## V2.2 NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT (NVE)

Om sin rolle skriver NVE følgende (kilde: [www.nve.no](http://www.nve.no)):

”NVE skal sikre ei samla og miljøvennleg forvaltning av vassdraga, arbeide for ei effektiv kraftomsetjing og kostnadseffektive energisystem og bidra til ein effektiv energibruk.”

### Om leveringskvalitet

I samband med lavspenningslinjer er det spesielt forholdet knyttet til leveringskvalitet som er aktuelt. Om leveringskvalitet skriver NVE bl.a. følgende (kilde: [www.nve.no](http://www.nve.no)):

”..NVE skal bl.a. medvirke til kostnadseffektiv nettdrift gjennom kontroll av nettdriften og nødvendige krav til nettselskapene. Som et ledd i oppfølgingen av energilovens intensjoner, er nettselskapene fra og med 1995 pålagt årlig innrapportering av nærmere spesifiserte nøkkeltall for avbrudd hos sluttbruker. Avbruddsrapporteringen er fra 01.01.2000 hjemlet i forskrift om kontroll av nettvirksomhet (kap. 6).

NVE legger stor vekt på dokumentasjon av leveringskvalitet. Hele nettsystemet skal planlegges, drives og vedlikeholdes på en samfunnsmessig optimal måte. Dette betyr blant annet at det skal være samsvar mellom den leveringskvalitet nettselskapet tilbyr og den kvalitet som kundene trenger.<sup>3</sup>

En viktig del av leveringskvaliteten er leveringspåliteligheten. For å kunne måle denne, er det utviklet et nasjonalt registreringssystem, kalt FASIT (Feil- og AvbruddsStatistikk I Totalsystemet), for å kunne samle data om feil og avbrudd i alle punkter i nettet med levering til sluttbruker. På grunnlag av disse registreringene, er nettselskapene pålagt å beregne nøkkeltall for antall avbrudd, avbruddstid og ikke levert energi. Nøkkeltallene rapporteres til NVE for hvert år.”

For øvrig vises det til et foredrag av Trond Ulven Ingvaldsen i OED vedrørende ”Leveringskvalitet og produktansvar - Hvilke lover regulerer dette?” [6].

### Kommentarer

Rapporteringsplikten som omtales knyttet til feil og avbrudd gjelder ikke for hendelser i lavspenningsnettet. KILE-ordningen omfatter heller ikke feil og avbrudd som skyldes hendelser i lavspenningsnettet. Fra 2005-01-01 (mest sannsynlig) vil 'Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet' tre i kraft. Denne forskriften vil også omfatte forhold / hendelser i lavspenningsnettet.

---

<sup>3</sup> Understreking gjort av SINTEF Energiforskning  
12X320



### V3 REN-ANBEFALING MHT RYDDING I LAVSPENNINGSNETT

I det følgende tas det med et utdrag fra REN-blad 4011 vedrørende linjerydding i lavspenningsnett.

#### Generelt vedrørende ryddesone

- Avstand fra ledere til kvist, greiner og mindre trær skal etter utført rydding ha en minimum avstand tilsvarende 1 meter. Det skal taes hensyn til tilvekst. Det skal ryddes på en slik måte at tilveksten normalt vil vokse i høyden og ikke i sonen rundt ledningsnettet. Spesielt ved beskjæring av private trær, må det tas hensyn slik at trær og eiendom ikke skades unødig.
- Topping og beskjæring av prydbusker og frukttrær under linjen samt behandling mot ettervekst på trestubber skal skje i samarbeid med grunneier.

Maksimal driftsspenning [kV]	Type nett	Min. avstand til stamme [m]	Min. avstand til Greiner [m]
0,23-1,0	blankt/isolert	0,2	1,0 + T
Svakstrømsanlegg			0,1 + T

Tilvekst (T) for bartrær : 0-1 meter.

Tilvekst (T) for løvtrær : 0,5 meter og oppover etter erfaring og skjønn. (3-5 års perspektiv).

#### Trestammer

Avstand fra ledere til trestammer skal ikke være mindre enn 0,2 meter. Ved trestammer nærmere enn 1 meter fra ledningsnettet skal grener kuttes opp til 2,5 meters høyde slik at det ikke er mulig å klatre i treet, og på denne måte komme i berøring med ledningsnettet. Alternativt må hele treet kuttes ned dersom det ikke er tilstrekkelig å fjerne grener.

#### Svakstrøms fellesføringsanlegg

Svakstrømsanlegg som er etablert i fellesføringsstolper skal ryddes slik at grener ikke ligger inntil ledningene.

## V4 STRØMGJENNOMGANG I MENNESKEKROPPEN

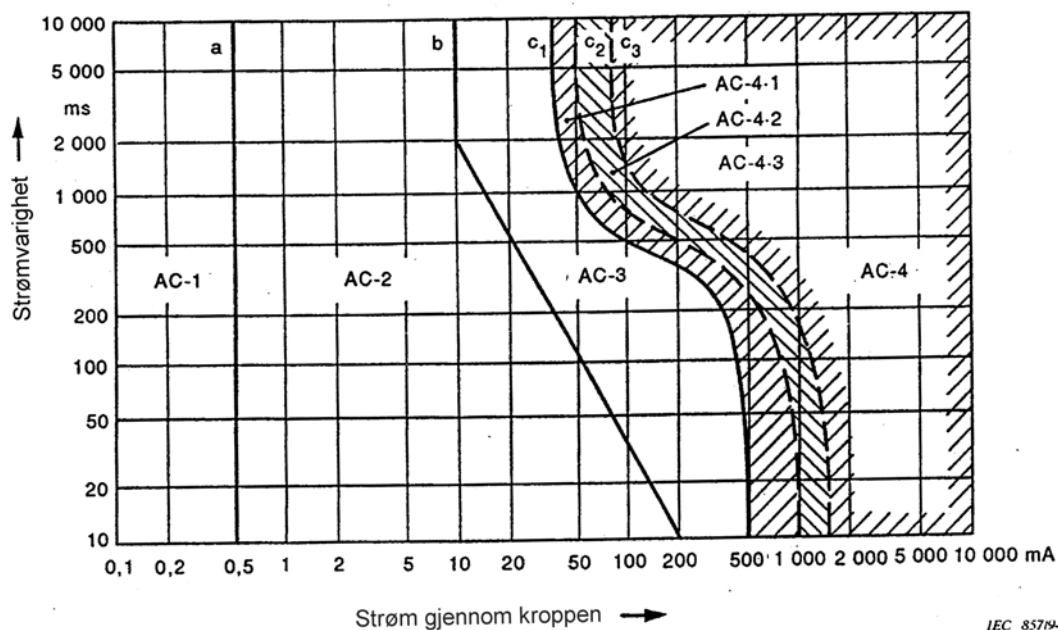
Dette vedlegget belyser faremomentene ved å berøre spenningssatte komponenter. Beskrivelsen omfatter utdrag fra IEC-rapporten 479-1 fra 1994, "Effects of current on human beings and livestock" [4], samt beregning av strømgjennomgang for noen aktuelle tilfeller.

### V4.1 VIRKNING AV STRØMGJENNOMGANG

Formålet med IEC 479-1 [4] er å være et underlag for etablering av elektriske sikkerhetskrav ved berøring av spenningssatte komponenter. Dataunderlaget for IEC 479-1 er basert på eksperimenter med dyr så vel som tilgjengelig informasjon fra kliniske observasjoner. Det er kun utført relativt få forsøk med kortvarige elektriske sjokk på levende mennesker. På grunnlag av tilgjengelig informasjon hovedsakelig fra forskning på dyr, er angitte verdier så konservative at de kan anvendes på normalt friske personer hvor barn uansett alder og vekt er inkludert.

Den første utgaven av IEC 479-1 fra 1974 baserte seg på litteraturstudier og evaluering av svar fra en spørreundersøkelse. Senere har ny forskning blitt utført. Sammen med analyser av tidligere publiseringer er dette grunnlaget for en forbedret forståelse av virkningene av elektrisk strøm gjennom levende organismer og spesielt gjennom mennesker og dyr.

Den viktigste dødsårsaken ved strømgjennomgang er hjertekammerflimrer (ventrikkelflimmer), som er en tilstand hvor hjertet ikke pumper blodet rundt i kroppen. Den siste forskning på hjertefysiologi og flimringsterskel (dvs. grensen som må overskrides for å utløse hjertekammerflimring) har bidratt til økt forståelse av hvilke parametere som er kritiske i denne sammenheng. Ved strøm gjennom kroppen er faren for hjertekammerflimrer hovedsakelig gitt av strømmens størrelse (amplitude) og dens varighet. Dette er vist i Figur V4.1 nedenfor.



Figur V4.1 Virkning av 15-100 Hz vekselstrøm på mennesker ved strøm gjennom venstre hånd til begge føtter [4].

For varighet under 10 ms er strømmen for kurve b konstant lik 200 mA.

Virkningen i de ulike sonene er:

- Sone AC-1: Vanligvis ingen virkning
- Sone AC-2: Følbart virkning. Faren for lammelse av muskler som strømmen passerer øker med strømstyrken, men vanligvis ingen fysiologisk virkning.
- Sone AC-3: Vanligvis ingen organisk skade. Sannsynlighet for krampaktige muskulære sammentrekninger og pustevansker når strømmen varer lengre enn 2 sek. Reversible forstyrrelser av dannelse og overføring av impulser i hjertet inklusive irregulær hjerterytme og forbigående hjertestans uten at hjertekammerflimring oppstår, øker med økende strøm og varighet.
- Sone AC-4: I tillegg til virkningene i sone AC-3 oppstår "pathophysiological effects" som hjertestans, pustestans og alvorlige brannskår som øker med økende strøm og varighet.
- Sone AC-4.1: Sannsynlighet for hjertekammerflimmet øker opp til omkring 5%.
- Sone AC-4.2: Sannsynlighet for hjertekammerflimmet øker opp til omkring 50%.
- Sone AC-4.3: Sannsynlighet for hjertekammerflimmet øker til over 50%.

Hjertekammerflimmet er den normale dødsårsaken i forbindelse med elektrisk sjokk, men det har også forekommet dødsfall pga kveling og hjertestans.

I tilfeller hvor strømmen ikke går fra venstre hånd til føttene kan korreksjonsfaktorene i Tabell V4.1 benyttes.

Tabell V4.1 Hjertestrømfaktor F for forskjellige strømveier [4].

Strømvei	Hjertestrømfaktor F
Venstre hånd til høyre fot, venstre fot eller begge føtter	1,0
Begge hender til begge føtter	1,0
Venstre hånd til høyre hånd	0,4
Høyre hånd til venstre fot, høyre fot eller begge føtter	0,8
Rygg til høyre hånd	0,3
Rygg til venstre hånd	0,7
Bryst til høyre hånd	1,3
Bryst til venstre hånd	1,5
Sete til venstre hånd, høyre hånd eller begge hender	0,7

Faktoren  $F = 0,4$  for en strøm fra hånd til hånd på 200 mA betyr at denne strømmen har samme virkning som en strøm fra venstre hånd til begge føtter ( $F = 1,0$ ) på 80 mA ( $0,4 \cdot 200 = 1,0 \cdot 80$ ).

### Andre skader av strømgjennomgang

De helseeffekter som omhandles i IEC 479 er spesielt risiko for ventrikkelflimmer (hjertestans) ved strømgjennomgang. Andre viktige helseeffekter av strømgjennomgang er i følge Kaj Bo Veiersted ved Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI):

- Akutt: brannskader, "pustestans", fallskader
- Subakutt: indre brannskader, nyresvikt
- Senskader: muskel-/skjelettplager, nerveskader, grå stær (sen katarakt), psykiske skader.

STAMI gjennomfører et prosjekt (31189) hvor man ser på hvilke senskader som kan oppstå ved ulykker der lavspent strøm passerer gjennom kroppen. Prosjektet skal avsluttes innen utgangen av 2004 og rapport foreligger ennå ikke. I bakgrunnen for prosjektet skriver STAMI følgende:

*"Strømgjennomgang er en betydelig eksponering i yrkeslivet som kun er kartlagt i begrenset omfang. Det ble i 2000 meldt 71 ulykker til Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i Norge. Gjennomsnitt for perioden 1990-99 var 51,3. Det er en betydelig underrapportering særlig for strømstøt uten store akutteffekter. I bransjen som helhet skjer antagelig omkring 3000 ulykker årlig, som oppleves som alvorlige av ofrene."*

I det videre arbeid vedrørende personsikkerhet i nettvirksomheten blir det viktig å se nærmere på resultatene fra nevnte STAMI-prosjekt, og lignende prosjekter.

## **V4.2 KROPPENS TOTALE IMPEDANS**

Kravene til personsikkerhet slik de er gitt i forskriftene er knyttet til begrepet berøringsspenning, og i NEK 400:2002 "Elektriske lavspenningsinstallasjoner" er høyeste tillatte berøringsspenning satt til 50 V AC (respektive 120 V rippelfri DC). Berøringsspenningen er definert som produktet av den totale kroppsimpedansen og strømmen gjennom kroppen. Det er derfor nødvendig å ha kunnskap om størrelsen på kroppens totale impedans. Denne er omtalt i kapittel 2 i IEC 479-1 [4], der berøringsspenningen defineres som:

$$U_T = Z_T I_B$$

der:

$$U_T = \text{Berøringsspenning}$$

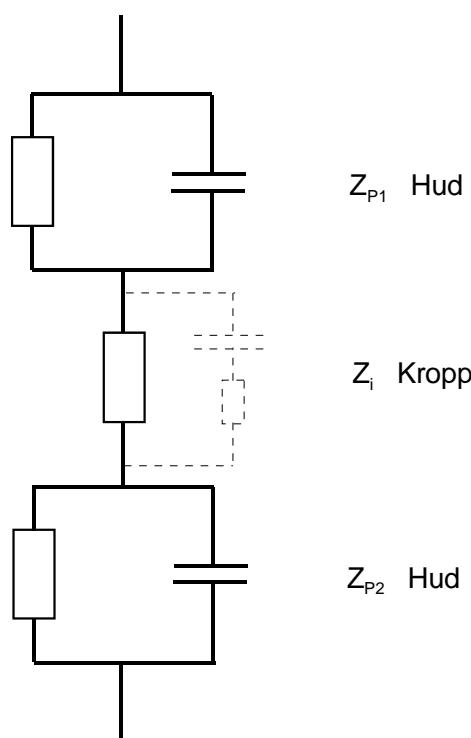
$$Z_T = \text{Kroppens totale impedans}$$

$$I_B = \text{Strømmen gjennom kroppen}$$

Kroppens totale impedans  $Z_T$  kan generelt beskrives som en seriekopling av impedans for hud via kropp til hud som vist i Figur V4.2. Den totale kroppsimpedansen blir:

$$Z_T = Z_{P1} + Z_i + Z_{P2}$$

Impedansen for huden består av en parallellkopling av en resistiv og kapasitiv komponent som vist i Figur V4.2, mens impedansen i selve kroppsvevet kan med god tilnærming beskrives som en ren resistans.



Figur V4.2 Kroppens totale impedans [4].

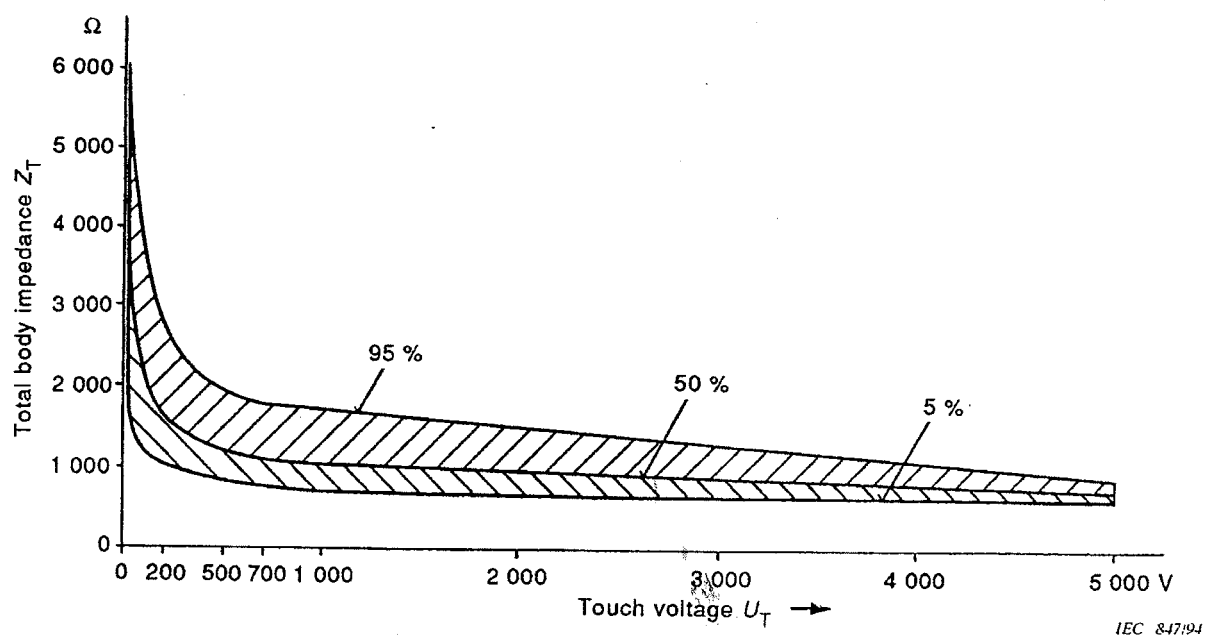
Det er imidlertid flere kompliserende faktorer som det må tas hensyn til når den totale kroppsimpedansen skal fastlegges. Siden kapasitive elementer er med i hudimpedansen indikerer dette at den er frekvensavhengig. Det viktigste er imidlertid at den er ulineær og varierer med berøringsspenningen. I tillegg avhenger kroppsimpedansen også av hudens fuktighet, kontaktoverflate og kontaktrykk og dessuten av hvilken vei strømmen tar gjennom kroppen (hånd til fot, hånd til hånd osv.). Tabell V4.2 fra IEC 479-1 gjengir verdier for den totale kroppsimpedansen  $Z_T$  ved strømgjennomgang fra hånd til hånd (50/60 Hz).

Tabell V4.2 Total kroppsimpedans  $Z_T$  for strømgjennomgang hånd til hånd ved stor kontaktoverflate [4].

Berøringspenning V	Total kroppsimpedans i [ $\Omega$ ] som ikke overskrides av		
	5 % av befolkningen	50 % av befolkningen	95 % av befolkningen
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	650	1050	1500
Asymptotisk verdi	650	750	850

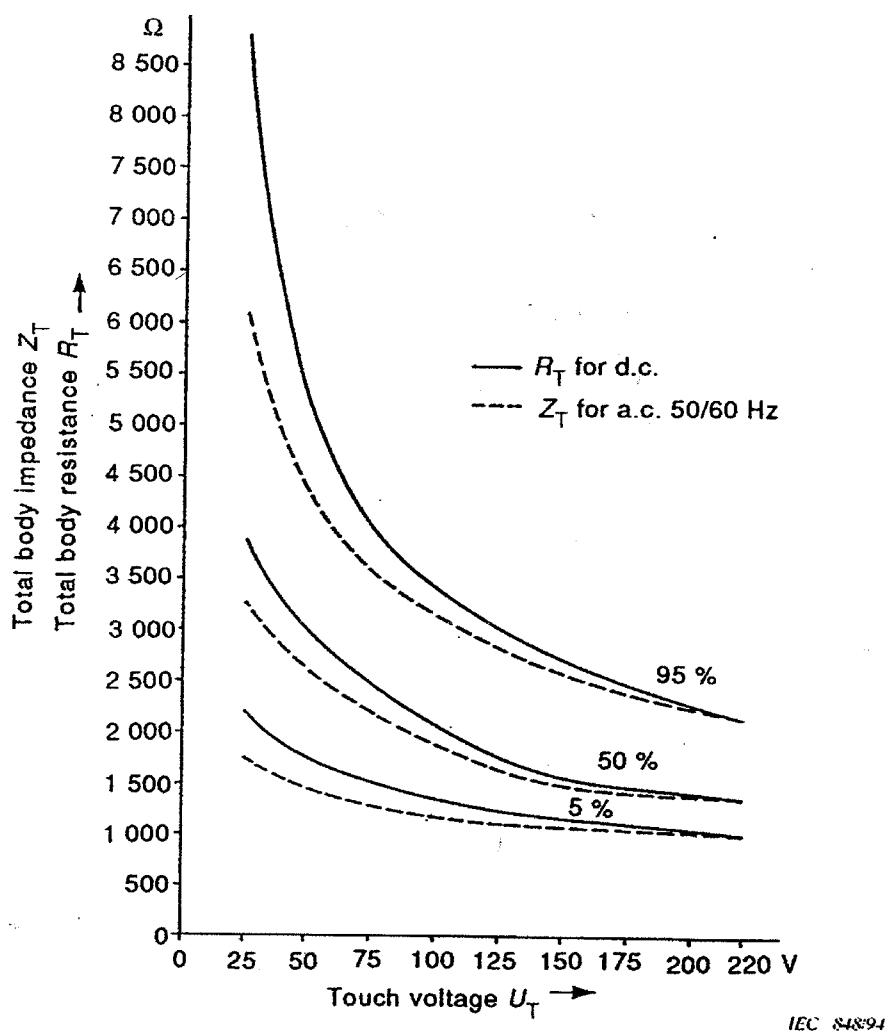
Merknad: Noen målinger viser at den totale kroppsimpedansen for en strømgjennomgang fra hånd til fot er noe lavere enn for strømgjennomgang fra hånd til hånd (10 % til 30 %).

En grafisk fremstilling av verdiene i Tabell V4.2 er gjengitt i Figur V4.3.



Figur V4.3 Total kroppsimpedans  $Z_T$  for strømgjennomgang hånd til hånd ved stor kontaktflate [4].

Figur V4.4 viser statistiske verdier for den totale kroppsimpedansen  $Z_T$  for levende mennesker for AC 50/60 Hz og DC for berøringsspenninger opp til 220 V. Verdiene i Figur V4.3 og V4.4 representerer den beste tilgjengelige kunnskapen om den totale kroppsimpedansen for levende mennesker.



Figur V4.4 Statistisk verdi av total kroppsimpedans  $Z_T$  for mennesker hånd til hånd eller hånd til fot for 50/60 Hz AC og DC berøringsspenninger opp til 220 V [4].

### V4.3 STRØMGJENNOMGANG VED NOEN AKTUELLE TILFELLER

Hvilke strømmer som vil gå gjennom menneskekroppen ved berøring av spenningsførende deler i lavspenningsnett avhenger av en rekke faktorer, som f.eks.:

- Type spenningssystem, dvs IT eller TN nett.
- Tilstand i IT nett, som f.eks.:
  - Stående jordfeil
  - Defekt nullpunksikring (Disneuter) slik at transformatorens nøytralpunkt er forbundet til jord.
- Varierende impedansforhold for trær pga varierende værforhold (fukt og temperatur).

#### V4.3.1 Feilfritt 230 V IT nett

I et feilfritt IT nett vil jordfeilstrømmen begrenses av ledernes kapasitet til jord. For blanke Al, Cu og FeAl lavspenningsledninger varierer kapasiteten fra 4,0 til 4,8 nF/km med den laveste verdien for de laveste tverrsnittene. For EX hengeledning varierer kapasiteten til jord fra 0,3 til 0,6 nF. I et lavspenningsnett med EX hengeledning vil med samme utstrekning jordfeilstrømmene grovt sett være omkring 10% av jordfeilstrømmene i lavspenningsnett med blanke ledere.

Feilstrøm til jord i et IT nett kan beregnes vha følgende formel:

$$I_j = \sqrt{3} U \omega \sum C_0$$

der:

$I_j$  = Feilstrøm til jord [mA]

$U$  = Linjespenning [V]

$\omega = 2\pi f = 314,2$  ved 50 Hz

$\sum C_0$  = Resulterende kapasitet mot jord [F]

Ved direkte jordslutning fra en blank faseleder i et 15 km (konservativt) langt lavspenningsnett blir feilstrømmen:

$$I_j = \sqrt{3} \cdot 230 \text{ V} \cdot 314,2 \cdot 15 \text{ km} \cdot 4,76 \text{ nF/km} = 8,94 \text{ mA (sone AC-2 i Figur V4.1)}$$

Hvis denne strømmen hadde gått gjennom kroppen hvor kroppsimpedansen (konservativt) er anslått til 1000 ohm ville berøringspenningen blitt 8,94 V (< 50 V).

Her er alle andre impedanser som vil bidra til å redusere feilstrømmen neglisjerte. Denne beregningen viser derfor at i et friskt 230 V IT nett vil direkte berøring av en fase, eventuelt berøring av en fase via et tre, ikke medføre personfare pga strømgjennomgang.

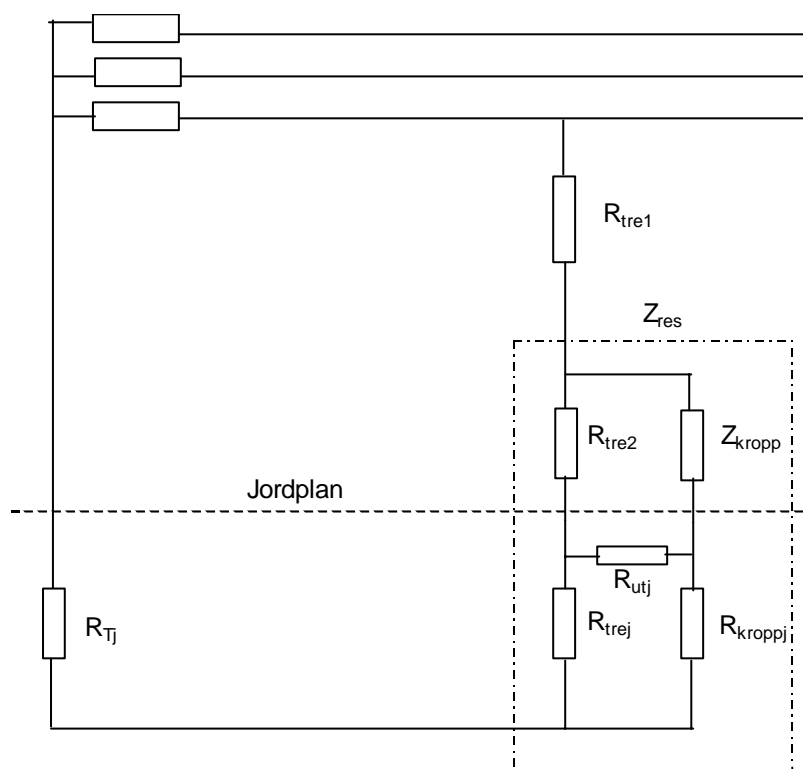


### V4.3.2 230 V IT nett med gjennomtrengt gjennomslagssikring

#### Berøring av spenningsførende del via trær

I et 230 V IT nett hvor gjennomslagssikringen er gjennomtrengt, dvs nullpunktet er direkte jordet, vil forholdene bli langt verre enn i et feilfritt 230 V IT nett. I ugunstigste tilfelle hvor strømmen kun begrenses av en kroppsimpedans på 1000 ohm vil strømmen gjennom kroppen bli  $230/\sqrt{3}/1000 = 132$  mA. Hvis denne strømmen varer mer enn ca 0,4 sek. oppstår det fare for hjertekammerflimrer (sone AC-4.1) og etter ca 1 sek. (sone AC-4.3) vil sannsynligheten for dette øke til over 50 %.

Hvis en person berører et tre som er i berøring med en fase vil situasjonen prinsipielt være som vist i Figur V4.5. Motstanden  $R_{tre1}$  representerer motstanden mellom faseline og det punktet på treet som personen berører.  $R_{tre2}$  representerer motstanden i treet mellom berøringspunktet og bakken.  $Z_{kropp}$  representerer kroppsimpedansen,  $R_{trej}$  er treet overgangsmotstand til jord og  $R_{kroppj}$  er kroppens overgangsmotstand til jord. Det vil også være en utjevningssmotstand mellom de to sistnevnte motstandene som er betegnet  $R_{utj}$ . Impedansbildet blir det samme når en person feller et tre som berører en fase eller kommer i berøring med fasen som følge av fellingen.  $R_{tre2}$  er da motstanden i det som er igjen av treet over bakken.



Figur V4.5 Impedansforhold ved berøring av tre som berører kraftledning.

Motstanden i tre er forsøkt målt ved Trøgstad Elverk og innledende målinger indikerer at motstanden selv i våt tilstand er svært høy (0,23 MΩ/m). Inntil flere målinger av motstanden i trær under ulike vilkår foreligger er det naturlig å foreta en følsomhetsanalyse med denne parameteren som variabel.

Vedlegg 4.4 viser aktuelle formler for beregning av resulterende impedans, strøm gjennom kroppen og berøringspenning i henhold til Figur V4.5. Hvis vi regner med et tre som måler 6 m fra bakken til det punkter hvor treet berører fasen, og en person berører dette treet 1 m over bakken, kan følgende verdier benyttes i beregningen:

$$R_{tre1} = 0,23 \cdot 5 = 1,15 \text{ M}\Omega \text{ (varieres)}$$

$$R_{tre2} = 0,23 \text{ M}\Omega \text{ (varieres)}$$

$$R_{trej} = 15 \text{ }\Omega$$

$$R_{utj} = 10 \text{ }\Omega$$

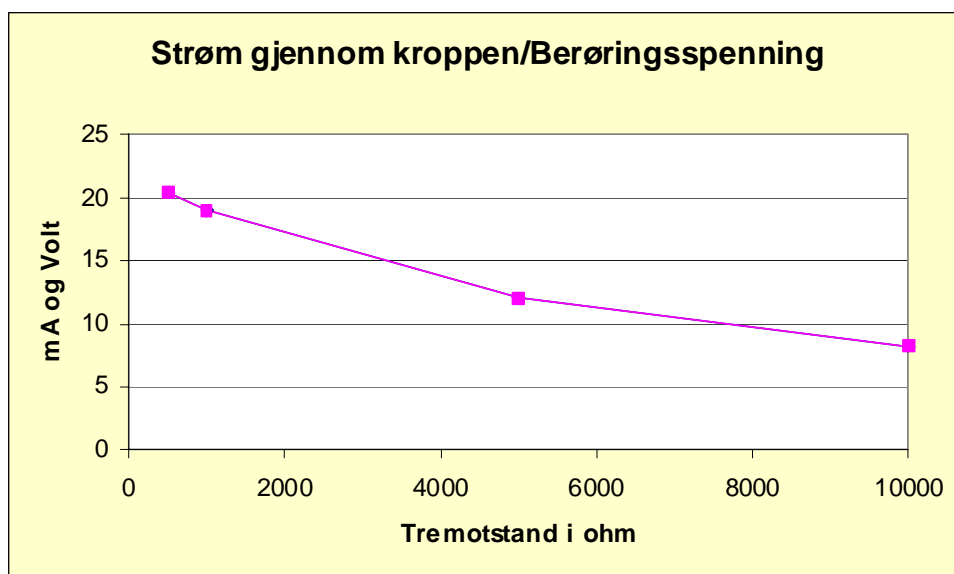
$$Z_{kropp} = 1000 \text{ }\Omega$$

$$R_{kroppj} = 15 \text{ }\Omega$$

$$R_{Tj} = 10 \text{ }\Omega$$

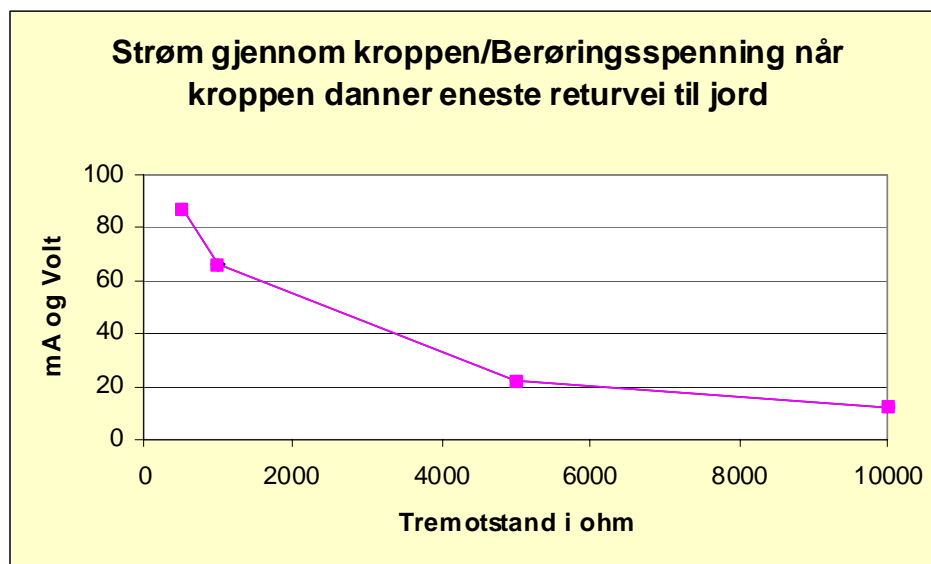
Den resulterende impedansen  $Z_{res}$  for parallellstrukturen blir i dette tilfellet 1005  $\Omega$  og naturlig nok svært liten sammenlignet med tremotstanden  $R_{tre1}$ . 99,9 % av spenningen fase-jord blir liggende over treet. Strømmen gjennom kroppen blir 0,115 mA og berøringspenningen kun 0,115 V. Ved å variere tremotstanden mot betydelig lavere verdier kan det fremskaffes bedre viten om hvor lav den må være før den gir kritisk strømgjennomgang i kroppen.

Figur V4.6 viser hvordan strømmen gjennom kroppen og berøringspenningen varierer som funksjon av tremotstanden. Figuren viser at tremotstanden må være svært liten og reduseres ned til 500  $\Omega$  før strømmen gjennom kroppen passerer 20 mA, og berøringspenningen blir større enn 20 V. Dette viser at berøring av tre som berører en lavspenningsledning normalt ikke representerer personfare av betydning.



Figur V4.6 Strøm gjennom kroppen [mA] og berøringspenning [V] som funksjon av tremotstanden i et 230 V IT nett med gjennombrønt gjennomslagsikring.

Hvis kroppen til en person som feller et tre *danner strømmens eneste returvei* til jord blir forholdene verre. Dette er vist i Figur V4.7. I dette tilfellet må tremotstanden være større enn 3000  $\Omega$  for at strømmen gjennom kroppen skal være mindre enn 40 mA, som er en nedre grense for hjertekammerflimmer.



Figur V4.7 Strøm gjennom kroppen [mA] og berøringsspenning [V] som funksjon av tremotstanden når kroppen danner eneste returvei til jord i et 230 IT system med gjennombrønt gjennomslagsikring.

#### Berøring av faseline fra ledende stige

Hvis det benyttes aluminiumsstige reist mot et tre og vedkommende i stigen berører en fase med venstre hånd vil strømvien gå fra venstre hånd til det punktet på kroppen som berører stigen (f.eks. høyre hånd eller begge føttene), og derfra via stigen til jord. I dette tilfellet er tremotstanden  $R_{tre1} = 0$  og tremotstanden  $R_{tre2}$  tilnærmet uendelig stor. I dette tilfellet blir berøringsspenningen lik nesten hele fasespenningen og strømmen gjennom kroppen blir ca 130 mA når kroppsimpedansen  $Z_{kropp} = 1000 \Omega$ . Hvis denne strømgjennomgangen overskrider knappe 0,5 sek. inntreffer fare for hjertekammerflimmer. En sannsynlig reaksjonen på strømgjennomgangen er en brå tilbaketrekking av hånden med etterfølgende tap av balanse slik at vedkommende faller ned fra stigen. I noen tilfeller kan fallskader representere den største faren for skade.

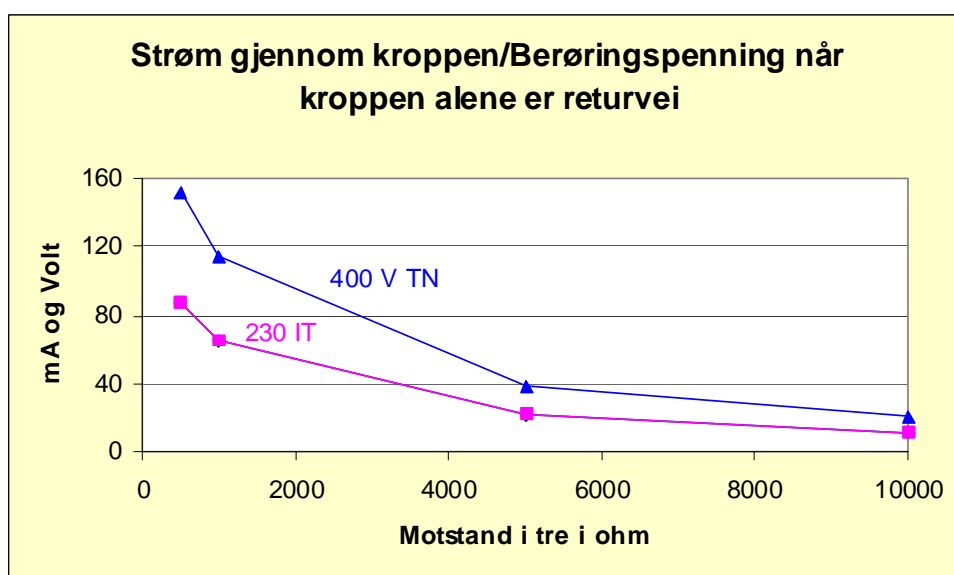
Når man er i en stige oppstår det dessuten fare for at to faser kan berøres og dermed kan full fasespenning oppstå over kroppen. Det ugunstigste tilfellet er ifølge Tabell V4.1 en strømvien gjennom venstre hånd og bryst hvor hjertestrømfaktoren  $F$  blir lik 1,5. Med samme kroppsimpedans som tidligere blir strømmen gjennom kroppen ca 230 mA og virkningen tilsvarer da en strøm på 345 mA. I dette tilfellet oppstår faren for hjertekammerflimmer umiddelbart og i dette tilfellet vil fallskade i tillegg også være en sannsynlig konsekvens.

### V4.3.3 230 V IT nett med stående jordfeil

Faren for personskade ved berøring av trær som berører spenningsførende del i et 230 V IT nett med stående jordfeil i en annen fase er mindre enn det man har i 230 V IT nett med gjennombrent gjennomslagsikring (Vedlegg 4.3.2). Spenningen fase-fase er imidlertid  $\sqrt{3}$  større enn spenningen fase-jord, men impedansen i jordfeilen vil med stor sannsynlighet være så stor at den utligner forholdet  $\sqrt{3}$  og vel så det. Dette gjelder i alle fall dersom jordfeilen er et annet tre som berører en av de andre to fasene.

### V4.3.4 400 V TN nett

Med de samme forutsetningene som i Figur V4.7, men med et 400 V TN nett blir strømmen gjennom kroppen og berøringsspenningen som vist i Figur V4.8. Her kommer strømmen gjennom kroppen opp i 40 mA når tre motstanden går ned mot 5000  $\Omega$ .



Figur V4.8 Strøm gjennom kroppen [mA] og berøringspenning [V] som funksjon av tre motstanden når kroppen danner eneste returvei til jord i et 400 V TN nett.

### V4.3.5 Oppsummering

Beregningene i dette vedlegget viser at strømgjennomgang ved berøring av trær som er i berøring med spenningsførende deler i lavspenningsnett ikke er forbundet med personfare.

Under skogrydding kan man tenke seg situasjoner der kroppen danner strømmens eneste returvei til jord når treet berører en fase, men dette er lite sannsynlig. I 230 V IT nett med gjennombrent gjennomslagsikring vil en slik situasjon kunne føre til farlig strømgjennomgang.

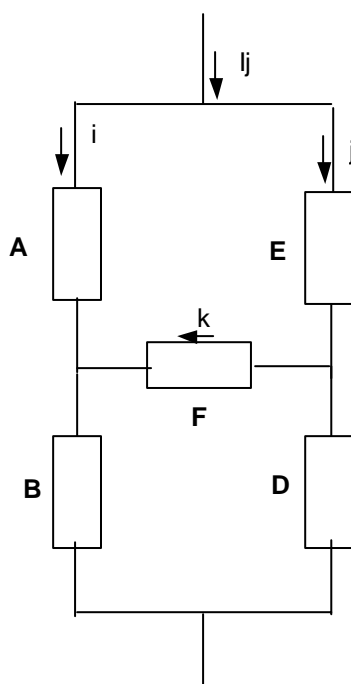
Det er to situasjoner som representerer reell fare for farlig strømgjennomgang som følge av manglende skogrydding:

- Person står i en stige av ledende materiale og berører spenningsførende del (faseline). Dette kan f.eks. skje i en hage med trær som står nært inntil en lavspenningsledning. I verste fall berører personen to faser.
- Person klatrer i trær som står nært inntil en lavspenningsledning og berører to faser.

Denne faren synes imidlertid å være liten siden erfaringene viser at det ikke har forekommet dødsulykker som følge av manglende skogrydding i lavspenningsnett.

#### V4.4 FORMLER FOR IMPEDANS, STRØM OG BERØRINGSSPENNING

Ved beregning av resulterende impedans, strøm gjennom kroppen og berøringspenning er det benyttet en beregningsmodell som vist i Figur V4.5. Enlinjeskjemaet for resulterende impedans  $Z_{\text{res}}$  i Figur V4.5, med strøm- og impedansbetegnelser, er vist i Figur V4.9.



Figur V4.9 Enlinjeskjema med strøm- og impedansbetegnelser.

$Z_{\text{kropp}}$  i Figur V4.5 er i Figur V4.9 og i utledningen nedenfor erstattet med bokstaven E.

For å finne de ønskede strømmene  $i$ ,  $j$  og  $k$  må det etableres 3 uavhengige ligninger. Den første ligningen finnes ved å summere spenningen rundt øverste sløyfe og sette den lik null.

$$iA - kF - jE = 0 \quad (1)$$

Denne løses med hensyn på  $k$ :

$$k = \frac{iA - jE}{F} \quad (2)$$

For spenningen over impedansen kan følgende to ligninger settes opp for de to grenene:

$$V = iA + (i + k)B \quad (3)$$

$$V = jE + (j - k)D \quad (4)$$

Eliminerer  $k$  ved hjelp av (2):

$$V = iA + iB + \frac{iA - jE}{F} B \quad (5)$$

$$V = jE + jD - \frac{iA - jE}{F} D \quad (6)$$

Setter ligning (5) og ligning (6) lik hverandre:

$$iA + iB + i \frac{A}{F} B - j \frac{E}{F} B = jE + jD - i \frac{A}{F} D + j \frac{E}{F} D \quad (7)$$

Sorterer  $i$  og  $j$  på hver side av likhetstegnet for å finne forholdet  $K$  mellom  $i$  og  $j$ :

$$iA + iB + i \frac{A}{F} B + i \frac{A}{F} D = jE + jD + j \frac{E}{F} B + j \frac{E}{F} D \quad (8)$$

$$\frac{j}{i} = \frac{A + B + \frac{A}{F}(B + D)}{E + D + \frac{E}{F}(B + D)} = K \quad (9)$$

Impedansen  $Z$  for kretsen finnes som:

$$Z = \frac{V}{j + i} \quad (10)$$

Vi benytter uttrykket for  $V$  fra (5) og eliminerer  $j$  ved å benytte (9):

$$Z = \frac{iA + iB + i \frac{AB}{F} - iK \cdot \frac{EB}{F}}{i + iK} = \frac{A + B + \frac{B}{F}(A - EK)}{1 + K} \quad (11)$$

Den totale jordfeilstrømmen blir da :

$$I_j = \frac{U / \sqrt{3}}{R_{tre1} + Z + R_{Tj}} \quad (12)$$

Videre er:

$$I_j = i + j = i + iK \quad (13)$$

eller:

$$i = \frac{I_j}{1 + K} \quad (14)$$

Videre er:

$$j = iK \quad (15)$$

og berøringspenningen  $U_B$  blir:

$$U_B = j \cdot Z_{kropp} \quad (16)$$

For å beregne størrelsen på strømmen gjennom kroppen og berøringspenningen er det laget et beregningsopplegg i et regneark som beregner impedansen  $Z$  etter ligning (11) og strømmen  $I_j$  etter ligning (12).

Strømmen gjennom kroppen,  $j$ , beregnes ved å benytte ligningene (14) og (15).  
Berøringspenningen  $U_B$  beregnes etter ligning (16).

## **V5 LINJEHOGST, UVÆR OG VINDFALL (PREVISTA)**

Notat fra Prevista AS v/ Per Olav Fladset, 10.12.2003

### **Uvær og ustabile kanter**

Prevista AS har på oppdrag for Energi1 vurdert om pågående hogst i høyspenttraseene kan forklare noe av det betydelige vindfallet langs linjenettet som følge av uværet første helga i desember.

Energi1 gjennomfører for tiden en omfattende rydding/hogst i høyspentnettet, med målsetting om å innfri forskriftenes krav til minsteavstand mellom linje og nærmeste tre/vegetasjonsdel. Foruten ordinær rydding av kratt og småskog under selve linja, medfører arbeidet i mange tilfeller at det må avvirkes skog for å innfri forskriftenes krav.

### **Størst risiko i tett, langstrakt granskog**

Det er en kjennsgjerning at når en skog ”åpnes”, for eksempel ved at kanttrær langs linjenettet fjernes, så øker risikoen for vindfall på de nye kanttrærne. Det som skjer, er i korte trekk at når robuste kanttrær fjernes, så vil trær som har levd en beskyttet tilværelse i ly av kanttrærne bli eksponert for mer vær og vind enn tidligere. Mens etablerte kanttrær kjennetegnes av en robust stamme, mye kvist og kraftig rotsystem, er ”de nye” kanttrærne karakterisert ved slankere stamme og et dårligere utviklet rotsystem.

Risikoen for kantskader varierer blant annet med treslag, alder og tetthet på skogen. Størst risiko er det i eldre, tett, langstrakt granskog på god mark. I slik skog kan man ofte se at når først ett tre faller, så kollapser grupper av trær som følge av at vinden får bedre og bedre ”tak”. Stor risiko er det også i storvokst furuskog på skrinne mark. Slik skog finnes ofte på høydedrag hvor vinden får godt tak. Langt mindre risiko er det i mer glissen furuskog og lauvskog. Jo mer glissen skogen er, desto mer stabilt er hvert enkelt tre i skogen.

Risikoen for vindfall vil være størst de første årene etter at de gamle kanttrærne ble fjernet. Over tid vil den nye kanten stabilisere seg, og risikoen for vindfall avtar.

### **Flere uheldige sammentreff**

Uværet første helga i desember har vist at fjerning av etablerte kanttrær langs linjenettet, på kort sikt, medfører økt risiko for vindfall. Et moment som bidro til å forsterke skadene den aktuelle uværsnatta, var fraværet av frost i bakken. Kraftig vind, ”nye” kanttrær og bløtt jordsmonn den aktuelle uværperioden forklarer det store omfanget av vindfall i høyspenttraseene til Energi1.

Vindfall langs linja på en gitt skogstrekning kan i langt større grad enn i dag kontrolleres dersom rydding/hogst i linjenettet blir mer skogfaglig fundert. Prevista har forvaltningsmodeller for vegetasjonskontroll i og langs linjenettet, og vi kan med relativt stor grad av nøyaktighet kartlegge en gitt skogstrekning med hensyn på risiko for vindfall. Netteier vil da ha et verktøy som gjør det mulig å være mer ”føre var” i forhold til vindfall.